

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Сборник трудов
Международной научно-практической
конференции**

**17-18 декабря 2015 года
Юрга**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

17–18 декабря 2015 г.

Томск 2015

УДК 62.002(063)

ББК 34.4л0

А43

Актуальные проблемы современного машиностроения : сборник трудов Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 198 с.

Сборник содержит материалы Международной научно-практической конференции по актуальным проблемам в сварочном производстве, машиностроении, металлургии, экологии и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических и экономических специальностей.

УДК 62.002(063)

ББК 34.4л0

Ответственный редактор

Д.А. Чинахов

Редакционная коллегия

Д.В. Валуев

Е.А. Зернин

А.А. Моховиков

А.А. Сапрыкин

С.А. Солодский

Е.Г. Фисоченко

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Темпель Ю.А., Темпель О.А.</i>	7
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО» НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Темпель О.А., Темпель Ю.А.</i>	11
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MECHBIOS DEVELOPMENT STUDIO <i>Чиков И.Н., Родионов Г.В., Киселёв А.В.</i>	14
ОЦЕНКА ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК <i>Аксенов В.В., Косолец А.В., Нестерук Д.Н., Адамков А.В., Нестерова А.О.</i>	16
ПЕРЕДАЧА АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ПК С ДАТЧИКА УСКОРЕНИЯ <i>Жуков Е.М., Жугда В.А.</i>	21
ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИКИ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ <i>Алешин А.К., Ковалева Н.Л., Фирсов Г.И.</i>	23
АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА <i>Афиногенова И.Н.</i>	28
МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА <i>Мамедов Ф.М.</i>	31
ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ <i>Шаталов М.А., Мычка С.Ю.</i>	32
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА <i>Глеков П.М.</i>	36
НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА <i>Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В.</i>	38
МАТРИЧНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Кожина Т.Д., Eroшков В.Ю.</i>	40
УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА С УЧЕТОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ <i>Пилипенко А.В., Пилипенко О.В., Пилипенко А.П.</i>	47
ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ <i>Буялич Г.Д., Антонов Ю.А.</i>	50
ДИНАМИЧЕСКИЙ ГАСИТЕЛЬ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАСТРОЙКОЙ <i>Томилини А.К., Прокопенко Е.В.</i>	52

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ КОМПАНИИ «ПИТЕРСОФТ» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	
<i>Филистеева Е.А.</i>	57
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ	
<i>Жуков Е.М., Тюрин А.В., Жуков В.Е.</i>	60
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	
<i>Статников И.Н., Фирсов Г.И.</i>	63
ПРОБЛЕМА МИГРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
<i>Полежаев П.Н., Адрова Л.С.</i>	69
<u>СЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ</u>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОПРОВОДОВ	
<i>Голубкин И.А.</i>	72
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕМ СПАРЕННОМ ДИСКОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ НА ЧЕТЫРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ	
<i>Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю., Воробьев А.В.</i>	77
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТЯГОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧИСЛОМ ФАЗ НЕКРАТНЫМ ТРЕМ	
<i>Морозов П.В.</i>	86
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ	
<i>Нейман Л.А.</i>	88
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ	
<i>Нейман Л.А., Нейман В.Ю.</i>	93
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ	
<i>Петров Д.А., Проскурин С.Г.</i>	98
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУКОЯТИ ЭКСКАВАТОРА	
<i>Ахметжанов Т.Б., Даненова Г.Т.</i>	100
ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПРЕПОДАВАНИИ ОСНОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ВУЗАХ	
<i>Горбатов В.В., Горбатов И.В., Акимов А.В.</i>	103
МЕТОД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕКТОРНЫХ МАГНИТНЫХ ДИПОЛЕЙ В РАСЧЕТАХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	
<i>Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Юфанова А.Л.</i>	107
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ГЛУБИН ПРИ СЪЕМКЕ МОРСКОГО ДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ CARIS HIPS, GMT И ARCGIS	
<i>Леменкова П.А.</i>	111

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Гнедаш Е.В.</i>	117
ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАМЕТРА ГИДРОЦИЛИНДРА НА ЕГО ОБЩУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА <i>Увакин С.В., Буялич Г.Д.</i>	120
ПРИМЕНЕНИЕ ДВУСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ГИДРОСТОЙКАХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ <i>Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Воеводин В.В.</i>	123
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЦАПФЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ЭКСКАВАТОРА-МЕХЛОПАТЫ <i>Хорешок А.А., Буянкин П.В., Воробьев А.В.</i>	125
<u>СЕКЦИЯ 3: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ</u>	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПУТЁМ СНЯТИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЖУЩИХ В ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИНАХ <i>Макарчук А.Е., Мельников А.А., Темпель Ю.А.</i>	130
ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЕВ Ti-AL НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА VT1-0 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ <i>Матц О.Э., Батаев И.А.</i>	133
ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ «СВМПЭ+ПТФЭ», НАПОЛНЕННЫЕ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦАМИ И ВОЛОКНАМИ <i>НуеунСуан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.</i>	135
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕЛЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ <i>Окулова А.А., Орлова Н.Ю.</i>	139
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕДОМОГО ДИСКА УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ НА НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ <i>Коперчук А.В., Мурин А.В.</i>	141
РЕКОНСТРУКЦИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С РЕКУПЕРАТОРНЫМИ ХОЛОДИЛЬНИКАМИ, С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ <i>Липчанская Ю.Г., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А.</i>	146
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СВОБОДНОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОСТРАНСТВА ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА С ГИДРОЦИЛИНДРАМИ <i>Блащук М.Ю., Дронов А.А.</i>	150
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАГНЕТРОННОГО СИНТЕЗА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК AlTiN НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ <i>Кожина Т.Д.</i>	155
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ «КАРБИД ТИТАНА – ТИТАН» ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ <i>Креницын М.Г.</i>	161
ПОКРЫТИЯ «ТИТАН – КАРБИД ТИТАНА» ПОЛУЧЕННЫЕ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ <i>Креницын М.Г.</i>	166

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Кожина Т.Д., Курочкин А.В.</i>	169
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА НАПЛАВКИ ТЕПЛОСТОЙКИМИ СТАЛЯМИ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ <i>Малушин Н.Н., Валуев Д.В., Ковалев А.П., Серикбол А.</i>	177
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ В СРЕДЕ АЗОТА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНО - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Малушин Н.Н., Валуев Д.В., Ковалев А.П., Серикбол А.</i>	183
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В СВАРНОМ ШВЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6, ПОЛУЧЕННОГО СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Клименов В.А., Абзаев Ю.А., Клопотов А.А., Поробова С.А.</i>	189
СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДВУХЛУЧЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА И КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНТЕРФЕРОГРАММ <i>Носков М.Ф., Овчинников С.С.</i>	192
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	197

СЕКЦИЯ 1: СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Ю.А. Темпель, магистрант, О.А. Темпель, магистрант
Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, 8-906-825-38-14
E-mail: Tempeljulia@mail.ru*

В теории организационной деятельности на базе классических школ управления выделяют несколько подходов к анализу организации как объекта менеджмента: механистический, интеракционный, органический (естественный, поведенческий), ресурсный, процессный.

Широкое распространение на сегодняшний день получил процессный подход, при котором любая организация рассматривается как экономическая структура, и всю ее деятельность можно разделить не только на технологические процессы, но также и на экономические. Именно данный подход построен на новых принципах менеджмента, позволяющих реализовать цель инновационной стратегии предприятий. Среди таких принципов важное место занимают следующие: направленность на улучшение качества конечного продукта и удовлетворение клиента, взаимная ответственность за результат и вовлеченность всех участников, результативная система мотивация работы персонала и другие [9].

Именно такой подход позволяет определить важнейшую категорию процессного подхода – «бизнес-процесс» (БП) [10], который представляет собой логичный, последовательный, взаимосвязанный набор мероприятий, определяющий ресурсы, создающий ценность и выдающий определенный результат [11]. В международном стандарте ИСО 9000 принят термин «процесс».

В настоящее время процессное управление является стандартом менеджмента качества, основной идеей которого является концентрация любых мероприятий в области профессиональной и организационной деятельности вокруг протекающих в ней процессов. Рассматриваемая форма организации позволяет установить четкую взаимосвязь стратегических целей предприятия с реализующимися бизнес-процессами и повседневными действиями сотрудников на каждом уровне управления.

Сущность процессного подхода к реинжинирингу заключается в рассмотрении его как совокупности взаимосвязанных действий, преобразующих входы в выходы, причем каждый выход предыдущего этапа реинжиниринга является входом для последующего с разграничением четких границ.

Именно такой подход позволяет осуществить его реализацию наиболее эффективно и результативно, особенно в условиях острой конкуренции как на отечественном, так и на мировом рынках для предприятий машиностроительной отрасли. Поскольку при анализе теоретических подходов [1,2,3,4,5,6,7,8] к данному понятию было выявлено, что это сложный процесс, который требует радикального перепроектирования деятельности организации с большими затратами на его реализацию, зачастую заканчивающийся неудачей.

С целью наиболее качественного выявления бизнес-процессов предприятия, их ранжирования по степени важности, идентификации и отбора наиболее приоритетных процессов для реализации реинжиниринга возникает необходимость их классификации.

Наиболее значимым, с точки зрения выполнения исследования представляется выделить классификацию бизнес-процессов на самом общем уровне – по характеру деятельности и отношению к создаваемому продукту (производственные процессы) [5], поскольку именно данные процессы являются ключевыми для большинства проектов реинжиниринга.

В соответствии с данной классификацией процессы могут быть разделены на четыре основных типа охватывающих:

- основные бизнес-процессы
- вспомогательные бизнес-процессы
- бизнес-процессы управления
- бизнес-процессы развития.

Перечень основных процессов на основе жизненного цикла изделия (ЖЦИ) в соответствии с ИСО 9004 [6] для конкретного предприятия могут отсутствовать или быть объединены с другими

этапами ЖЦИ в зависимости от типа производства и области промышленности. Как правило, число основных процессов не должно превышать десяти.

Для предприятий машиностроительной отрасли наиболее значимыми из основных процессов являются производственные процессы, которые непосредственно связаны с превращением потребностей потребителя в готовый продукт.

Как отмечалось выше, реинжиниринг имеет ряд недостатков, анализ которых позволил перейти к следующему выводу. Наибольшее число причин неудач связано с отсутствием адаптированного на любое предприятие алгоритма выполнения работ по реинжинирингу. Непосредственно, это влияет на качество, результативность и эффективность выполняемых мероприятий, что, как следствие, приводит к неудачам при его реализации и существенным экономико-финансовым потерям организации.

Решение данных проблем возможно только при системном подходе, который заключается в рассмотрении реинжиниринга как системы, а его этапов, как процессов, где каждый выход последующего этапа является непосредственным входом для другого этапа, причем каждый процесс (этап в общей модели реинжиниринга) имеет своего владельца, участников и исполнителей, ресурсы, методы, средства и технологии его реализации.

На основании вышеприведенных выводов исследования, была разработана модель проведения реинжиниринга бизнес-процессов, основанная на системном и процессном подходе в соответствии с этим были проработаны принципы реинжиниринга, методы и средства, определены основные этапы реинжиниринга и взаимосвязь участников и исполнителей.

Наиболее подробная информация о каждом из этапов, как подпроцесса, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Описание этапов процесса реинжиниринга бизнес-процессов

№	Название этапа	Вход этапа	Выход этапа	Владелец и участники процесса	Средства и методы реализации этапа
1	Подготовительный этап	Стратегические цели предприятия; Видение и перспективы развития; Стандарт организации в области управления проектами; Регламент осуществления проекта на этапе инициации, формирования, реализации и завершения; Система мотивации	План-проект на проведение реинжиниринга; Матрица распределения ответственности между исполнителями проекта	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса - Команда по реинжинирингу - Консультант	Диаграмма Ганта
2	Создание модели существующей компании	План проект на проведение реинжиниринга; Календарный план-график выполнения работ; Матрица распределения ответственности между исполнителями проекта	Задokumentированные результаты аудита БП компании; Перечень идентифицируемых процессов и методика их определения	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса - Команда по реинжинирингу - Консультант	SWOT-анализ, Система сбалансированных показателей, матрица М. Портера, Бенчмаркинг, Причинно-следственная диаграмма Исикавы

Международная научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы современного машиностроения» в ЮТИ ТПУ

№	Название этапа	Вход этапа	Выход этапа	Владелец и участники процесса	Средства и методы реализации этапа
3	Выбор и анализ бизнес-процессов	Задокументированные результаты аудита БП компании; Перечень идентифицируемых процессов и методика их определения	Перечень ранжируемых по важности процессов для предприятия и результаты качественной и количественной оценки каждого из них, Перечень выявленных проблем и узких мест отобранных приоритетных бизнес-процессов	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса - Команда по реинжинирингу - Консультант	Сбалансированная система показателей (ССП), Методика по идентификации и выбору приоритетных производственных процессов для реинжиниринга М.Ю. Фоминых, Анализ БП по показателям
4	Стратегическое планирование	Перечень ранжируемых по важности процессов для предприятия и результаты качественной и количественной оценки каждого из них, Перечень выявленных проблем и узких мест отобранных приоритетных бизнес-процессов	Задокументированные этапы реинжиниринга; Календарный план-график выполнения работ; Матрица распределения ответственности	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса - Команда по реинжинирингу - Консультант	Диаграмма Ганта, Матрица распределения ответственности
5	Разработка нового бизнеса (инновационная идея)	Задокументированные этапы реинжиниринга; Календарный план-график выполнения работ; Матрица распределения ответственности	Организационная структура с учетом нововведений; Рекомендации по внедрению; Перечень документированных новых или усовершенствованных ПС	- Консультант	Методы мозгового штурма, новые методы качества и семь методов Исикавы
6	Утверждение инновационной идеи	Организационная структура с учетом нововведений; Рекомендации по внедрению; Перечень документированных новых или усовершенствованных ПС	Документированные результаты оценки плановых показателей и прогнозов от реинжиниринга; Документ, подтверждающий согласие и утверждение внедрения	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса - Команда по реинжинирингу - Консультант	Экспертные методы оценки результативности внедряемых мероприятий
7	Внедрение новой модели	Документированные результаты оценки плановых показателей и прогнозов от реинжиниринга; Документ, подтверждающий согласие и утверждение внедрения	Должностные инструкции; Оценка результативности и эффективности бизнес-процесса		Обучение персонала, испытания, диаграмма Ганта, оценочные методы

Секция 1: Системы управления в машиностроении

№	Название этапа	Вход этапа	Выход этапа	Владелец и участники процесса	Средства и методы реализации этапа
8	Контроль	Должностные инструкции; Оценка результативности и эффективности бизнес-процесса	Результаты аудита качества выполнения реализованных мероприятий по реинжинирингу бизнес-процессов	- Лидер проекта; - Организационный комитет; - Руководитель процесса	Тотальный контроль мероприятий
9	Переход к непрерывному совершенствованию	Результаты аудита качества выполнения реализованных мероприятий по реинжинирингу бизнес-процессов	Выработанный план по корректирующим и предупреждающим действиям	- Команда по реинжинирингу - Консультант	Стандартизация, процессный подход, новые инструменты качества и 7 инструментов Исикавы, методы обработки бенчмаркинговой информации

Каждый из девяти этапов, отображенных в таблице 1, детализирован и представлен планом работ в виде диаграммы Ганта. В зависимости от вида и типа производства, отрасли, хозяйственной деятельности и целей реинжиниринга БП план-график работ может быть более детализирован и адаптирован на любое предприятие машиностроения.

Кроме того, в таблице представлены результаты работы по определению входов и выходов для каждого этапа в зависимости от целей и задач подпроцесса, наблюдается взаимосвязь этапов, поскольку они представлены как подпроцессы, где каждый последующий выход является входом для другого процесса (этапа) реинжиниринга.

Причем начальным входом проведения реинжиниринга служит разработанный стандарт организации в области управления проектами и регламент осуществления проекта по этапам, что позволяет распределить сферы ответственности руководителя проекта, руководителей функциональных подразделений, членов проектной группы, а также их права и обязанности, что позволит избежать многих конфликтов [7,8]. Наряду со стандартом в сфере управления проектами необходимо сформировать систему мотивации. Анализ имеющихся содержательных теорий мотивации [9] показывает, что наиболее результативной является двухфакторная теория мотивации Герцберга, которая позволяет стимулировать сотрудников на действия в своей профессиональной деятельности, как со стороны факторов мотиваторов, в большей степени влияющих на их мотивацию, так и факторов условий труда не оказывающих значительного воздействия на удовлетворенность, но снижающих ее при их отсутствии.

В рамках разработанной модели проведения реинжиниринга бизнес-процессов также предлагаются определенные методы и средства, способствующие реализации конкретного этапа.

Например, для осуществления анализа предприятия и его проблемных мест предлагаются методы обработки бенчмаркинговой информации, среди которых система сбалансированных показателей, SWOT-анализ, кроме того для выявления уровня собственной конкурентоспособности предприятия эффективнее всего использовать матрицу М. Портера, для выявления проблем конкретных производственных процессов – один из инструментов качества, а именно причинно-следственную диаграмму Исикавы. На стадии выбора и анализа процессов лучше применять методику по идентификации и выбору приоритетных производственных процессов машиностроения для реинжиниринга М.Ю. Фоминых. В целях осуществления стратегического планирования предлагается использовать диаграмму Ганта для выявления и планирования по длительности основных работ и матрицу распределения ответственности для установления ответственных лиц и лиц, контролирующих процесс.

В предлагаемой методологии проведения реинжиниринга, данный процесс рассматривается как непрерывное совершенствование организации, а не однократные мероприятия по улучшению его деятельности. Реализация этой цели возможна за счет таких методов и инструментов, как стандарти-

зация, инструменты качества, процессный подход, методы обработки внешней и внутренней бенчмаркинговой информации.

Таким образом, практическое значение работы заключается в создании модели проведения реинжиниринга бизнес-процессов, которая позволяет выполнить ряд определенных условий успешного реинжиниринга, основываясь на современных принципах менеджмента качества и организации в целом.

Кроме того, рассматриваемый подход позволяет выделить основные ресурсы, методы и средства необходимые для осуществления этапа, принципы и технологию реализации, позволяющие снизить основные статьи расходов на данный процесс за счет рационального и стратегического целенаправленного планирования проводимых мероприятий в рамках проекта.

Литература

1. Абдикеев Н.М. Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса [Текст] / Н.М. Абдикеев. – М.: ИНФРА – Москва, 2011. - №2. – с. 382.
2. Адзиев И. Управление изменениями [Текст] / И. Адзиев, пер.с англ. СПб.: - Питер, 2008. – с. 224.
3. Блинов А.О., Рудакова О.С., Сафонов Е.Н. Методологические и методические основы диагностики современных организаций [Текст] / А.О. Блинов, О.С. Рудаков, Н.Н. Сафонов. – М.: Интеграция, 2013 – с.56.
4. Блинов А.О., Яшева Г.А. Реинжиниринг бизнес процессов как управленческая инновация современных организаций: методологический аспект [Текст] / А.О. Блинов, Г.А. Яшева // Экономика – 2014 – с.147-160.
5. Бурма К.С. Этапы реинжиниринга бизнес-процессов на предприятии фармацевтической отрасли [Текст] / К.С. Бурма // Управление – 2010 – с.8
6. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2014. Система менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. 2012-01-01 – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2014. – с. 41.
7. Ковалев С.М., Ковалев В.М. Секреты успешных предприятий: бизнес-процессы и организационная структура [Текст] / С.М. Ковалева, В.М. Ковалев. – М.: ГОЛОС-ПРЕСС. – 2009. – с. 78.
8. Кокаев З.А. Роль инноваций в устойчивом развитии экономики РФ [Текст] / З. Кочеихин А.Л. Бизнес-процессы как основной фактор инновационной деятельности коммерческого банка. Реинжиниринг бизнес-процессов[Текст] / А.Л. Кочеихин // Управление – 2011 – с.37-39.
9. Пешкова Н.Н., Темпель Ю.А., Темпель О.А. Двухфакторная теория мотивации Герцберга как один из методов эффективного управления профессиональной деятельностью человека [текст] / Н.Н. Пешкова, Ю.А. Темпель, О.А. Темпель // Сборник трудов Проблемы устойчивого развития российских регионов: материалы ВНИПК, институт менеджмента и бизнеса, кафедра экономики, организации и управления производством. – Тюмень, 2014. – с. 20-23.
10. Рудакова О.С. Новый подход к реинжинирингу бизнеса промышленных организаций [Текст] / О.С. Рудакова // Прикладные исследования социально-экономических процессов – 2010 – с.82-86.
11. Смолякова Н.В. Теоретические основы реинжиниринга бизнес процессов в коммерческом банке [Текст] / Н.В. Смолякова // Управление – 2015. – с. 64-67.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО» НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*О.А. Темпель, магистрант, Ю.А. Темпель, магистрант
Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, 89523496121
E-mail: tempel_o@mail.ru*

В настоящее время крупные предприятия машиностроения России применяют новые методы и технологии управления производством с целью снижения производственных издержек, связанных с увеличением расходов на сырье и материалы, а так же для снижения себестоимости производимой продукции и повышения прибыли на заводе.

Поэтому широко стало применяться бережливое производство, как подход по улучшению деятельности машиностроительных предприятий, который позволяет значительно упростить производственные процессы и повысить производительность работ, тем самым повышая качество производимой продукции на предприятии [1].

Была произведена оценка эффективности внедрения элементов бережливого производства на примере Уральского завода технических изделий. Внедрение концепции бережливого производства

на заводе началось в 2013 году. Машиностроительное предприятие поставило перед собой цель, которую необходимо достичь после внедрения инструментов бережливого производства:

12. сократить производственный цикл продукции;
13. сокращение времени на выполнение технологических операций;
14. снижение уровня брака;
15. оптимизация численности персонала;
16. повышение культуры производства [2].

Для оценки эффективности работы машиностроительного предприятия по бережливому производству применяется методика «колесо бережливое производство», которое рассматривается различными учеными и профессорами. Методика включает в себя стратегический, интеллектуальный, производственный и ресурсный треугольник. Каждый из этих треугольников показывает проблемы и возможности дальнейшего развития бережливого производства в соответствующих направлениях [3].

Показатели оценки каждого из треугольников представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели оценки методики «Колесо бережливое производство» [3]

№	Наименование треугольника	Назначение треугольника	Показатели оценки
1	Стратегический треугольник	Возможность предприятия формировать стратегию развития, философию бережливого производства и донесение ее до всего персонала, а так же выявление ключевых показателей для последующего расчета результативности деятельности предприятия.	Применение стратегического управления
			Философия бережливого производства
			Наличие ключевых показателей эффективности
2	Интеллектуальный треугольник	Необходимость вовлечения высшего руководства в процесс, сплоченность коллектива, применение кайдзен-технологий, проведение обучающих курсов по применению инструментов бережливого производства в управлении предприятия.	Вовлеченность высшего руководства
			Сплоченность коллектива
			Применение кайдзен – технологии
3	Производственный треугольник	Внедрение и применение инструментов и методов бережливого производства в производственный процесс предприятия машиностроения, а так же сокращение потерь в виде результатов внедрения данных методов.	Применение системы 5С
			Снижение потерь
			Применение системы вытягивания
4	Ресурсный треугольник	Работы по улучшению качества выпускаемой продукции на всех стадиях жизненного цикла изделия, а так же выстраивание взаимовыгодных отношений с поставщиками.	Изучение потребностей потребителей
			Улучшение качества продукции
			Работа с поставщиками

Для оценки факторов бережливого производства предприятия ОАО «Уральский завод технических изделий» используется подход, представленный в таблице 1. То есть, была заполнена анкета, по данным показателям, и ответы на вопросы оценивались в баллах от 0 до 3, где 0 – отсутствие показателя; 1 балл – низкий уровень, отсутствует результат; 2 балла – средний уровень, без постоянного совершенствования деятельности; 3 балла – высокий уровень, постоянное совершенствование деятельности в данном направлении [3].

После, результаты анкетирования, были перенесены в таблицу 2 и суммированы.

Таблица 2

Расчет результатов оценки

№	Показатели оценки	Значение баллов, после заполнения анкеты			Сумма
1	Применение стратегического управления	3	2	3	8
2	Философия бережливого производства	2	1	2	5
3	Наличие ключевых показателей эффективности	2	1	2	5

№	Показатели оценки	Значение баллов, после за- полнения анкеты			Сумма
4	Вовлеченность высшего руководства	3	3	3	9
5	Сплоченность коллектива	3	3	3	9
6	Применение кайдзен – технологии	3	2	3	8
7	Применение системы 5С	3	3	3	9
8	Снижение потерь	3	3	2	8
9	Применение системы вытягивания	2	3	1	6
10	Изучение потребностей потребителей	3	3	2	8
11	Улучшение качества продукции	3	3	2	8
12	Работа с поставщиками	3	2	2	7

В графическом представлении колесо бережливого производства представлено на рисунке 1. Получилась фигура, которая показывает, что необходимо улучшить работу по отдельным показателям.



Рис. 1. Колесо бережливого производства

Можно отметить, такие показатели, как ключевые показатели эффективности, применение философии бережливого производства, относящиеся к стратегическому треугольнику, использование системы вытягивания, которая относится к производственному треугольнику. То есть, в целом, предприятие достигло больших изменений, внедрив инструменты бережливого производства, весь персонал и высшее руководство делает все для получения качественной продукции и удовлетворения потребностей потребителей.

По результатам экспертной оценке в виде балльно-рейтинговой системы и построения колеса бережливого производства «Уральского завода технических изделий» было выявлено, что завод еще должен проделать большую работу, поскольку внедрение элементов бережливого производства недостаточно, необходимо все время поддерживать и улучшать деятельность производства в целом для повышения эффективности работы всех процессов на предприятии. Необходимо продумать заинтересованность персонала для четкого понимания философии бережливого производства и выявление конкретных показателей эффективности для улучшения качества выпускаемой продукции в целях получения прибыли и повышения конкурентоспособных качеств завода.

Можно сказать, что благодаря внедренной системе 5S на предприятии, рабочее место сотрудника улучшилось в связи с высвобождением площадей и отведенных специальных мест для инструментов. Благодаря правильному и удобному расположению инструментов и деталей сократилось время на выполнение заказа. В целом, предприятие направлено на результативность и эффективность деятельности управлением производством.

Таким образом, можно сделать вывод, что развитие методов и инструментов бережливого производства широко применяется на заводах машиностроительной отрасли, поскольку позволяет обеспечить реализацию потенциала машиностроительного предприятия, достичь качественного

уровня выпускаемой продукции, а так же способствует формированию конкурентоспособности предприятия и закреплению его на рынке в конкретной отрасли.

Литература.

1. Позднякова Н.О., Юсупова Э.М., Стариков А.И. Обучение бережливому производству, как фактор повышения качества производимой продукции на производственном предприятии // Научный поиск в современном мире – 2015 – с.37-38
2. Бережливое производство [Электронный ресурс] – Режим доступа. - URL: <http://www.uralrti.ru>
3. Давыдова Н.С. Бережливое производство: монография. Ижевск, изд-во Института экономики и управления, 2012 – 138с.
4. Бережливое производство [Электронный ресурс] – Режим доступа. - URL: <http://www.up-pro.ru>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MECHBIOS DEVELOPMENT STUDIO

И.Н. Чиков, студент, Г.В. Родионов, ассистент, А.В. Киселёв, инженер

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. 8-923-477-00-44

E-mail: blacklotos42@yandex.ru

С середины двадцатого века начало активно развиваться производство и использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Одним из главных недостатков процесса внедрения этих станков в производство является необходимость в опытном программисте для разработки системы управления. Это влечет за собой дополнительные затраты и сложности для производителя.

Одним из возможных решений данной проблемы является использование визуальной среды разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами и программируемыми логическими контроллерами MechBIOS Development Studio. Данная среда позволяет инженеру без знания языков программирования разработать систему управления для разрабатываемых станков, с минимальными затратами времени, средств и усилий.

Имея базовые знания в области теории автоматического управления и теории электрического привода, любой специалист-инженер сможет с помощью различных элементов провести синтез системы управления, предварительно проверить ее работоспособность на имитационной модели, а затем перенести полученные результаты на физическую модель.

В ЧПУ ставится позиционный привод который можно реализовать на двигателе постоянного тока с обратной связью по току, скорости и положению. На рис. 1 приведена структура алгоритма замкнутой системы управления двигателем постоянного тока, реализованная в программной среде MechBIOS.

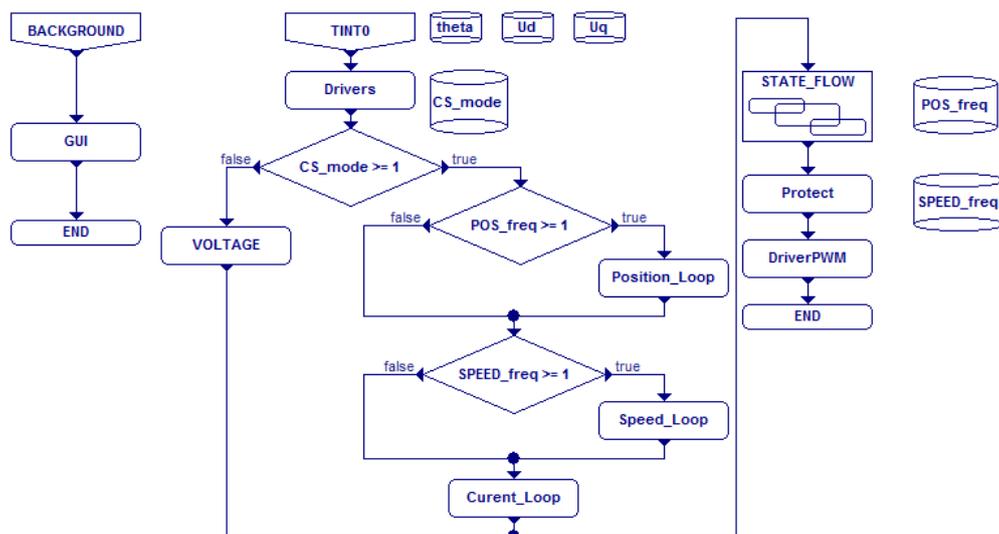


Рис. 1. Замкнутая система управления двигателем постоянного тока в программной среде MechBIOS

Реализованы два режима замкнутой системы управления: скоростью и положением. Результаты работы контуров, полученные с реального двигателя, показаны на рис.2 и рис.3.

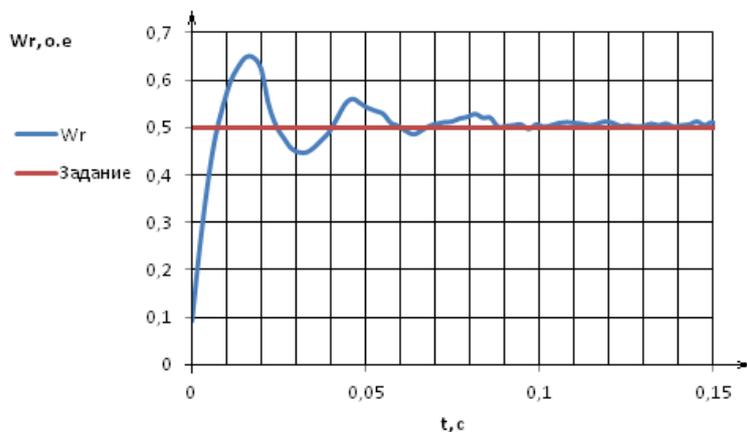


Рис. 2. Переходный процесс в контуре скорости

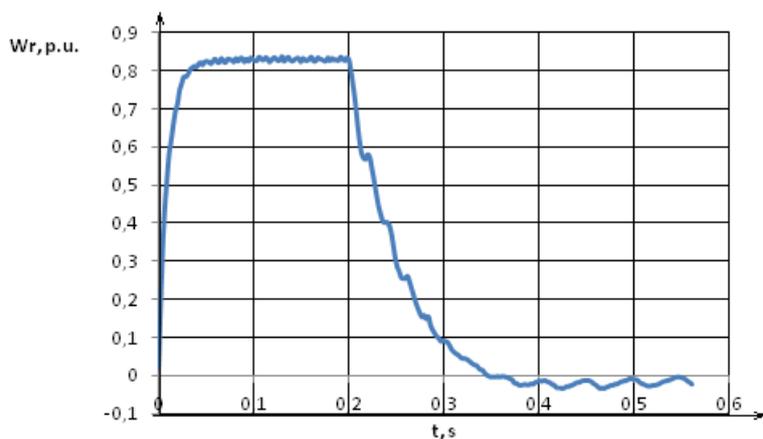


Рис. 3. Скорость вращения вала при отработке задания угла поворота

График, показывающий положение ротора, изображен на рис.4.

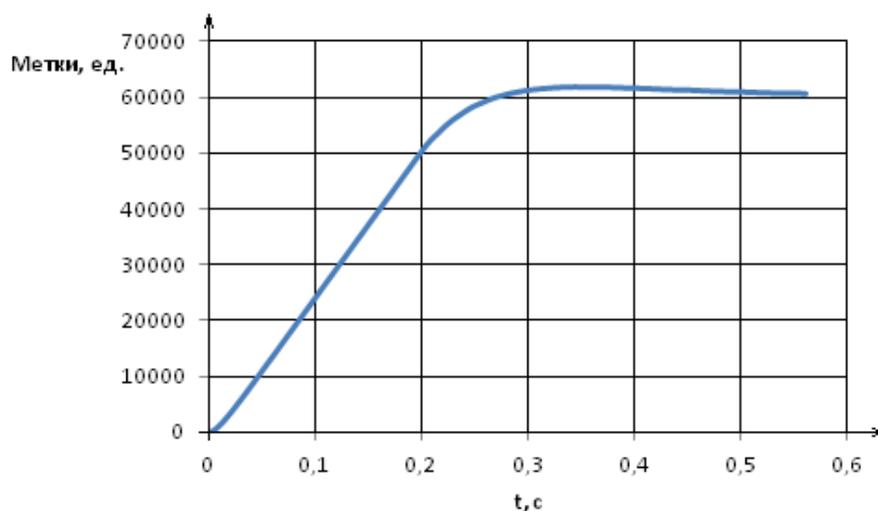


Рис. 4. Переходный процесс в контуре положения ротора

Таким образом, при использовании программной среды MexBIOS Development Studio для разработки системы управления станками с ЧПУ, мы получаем возможности:

- создавать собственные программы управления;
- производить отладку программы загруженной в микроконтроллер без остановки процессов;
- устанавливать библиотеки компонентов для новых микроконтроллеров.

Эти возможности позволяют сократить время разработки системы управления станками, сэкономить средства на услугах программиста.

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту № 3852.

Литература.

1. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей: учебное пособие. – М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», 2004. – 360 с.
2. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Мехатроника, автоматизация, управление» (МАУ'2005): Сб. трудов. Том 1. – Уфа: УГАТУ, 2005. – 445 с.
3. Схиртладзе А.Г. Оборудование машиностроительных предприятий: учебное пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2007. – 168 с.
4. Гуреева М.А. Основы экономики машиностроения: учебник для нач. проф. образования / М.А.Гуреева. – М.: Издательский центр "Академия", 2010. – 208 с.
5. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ: учебное пособие. – К.: Выща школа, 1991.–276 с.

ОЦЕНКА ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В.В. Аксенов, А.В. Косовец, Д.Н. Нестерук, А.В. Адамков, А.О. Нестерова

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-62

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

E-mail: nesteruk@tpu.ru

Эффективное управление горнодобывающим предприятием определяется, прежде всего, уровнем применяемой техники и технологии.

Эффективность работы горнодобывающей промышленности, являющейся основной сырьевой и энергетической базой для всех отраслей народного хозяйства, определяется техническим уровнем средств механизации и автоматизации технологических процессов проходки и добычи. В условиях рыночных экономических отношений, основными требованиями для горно-шахтного оборудования становятся: повышение эффективности и безопасности эксплуатации, снижение металлоемкости проходческой техники и энергоемкости разрушения горной массы, уменьшение экологической вредности горных работ.

В настоящее время существующие структурно-компоновочные схемы применяемых проходческих комбайнов (ПК) не обеспечивают возможности дальнейшего качественного повышения их технического уровня, невозможность создания больших напорных усилий на исполнительном органе для разрушения крепких пород, больших трудозатрат на возведение крепи, недостаточной устойчивости и значительного числа циклов знакопеременного нагружения, конструкцией исполнительного органа. К основным недостаткам проходческих комбайнов можно отнести следующие показатели:

- большая масса ПК, которая в настоящее время составляет более 100 тонн;
- низкая безопасность ведения работ в призабойной зоне;
- ограничение по горизонтальным углам наклона проведения выработки;
- увеличение энерговооруженности ПК и повышение технического уровня, что влияет на увеличение стоимости проходческих работ;
- трудоемкости процесса крепления выработки;
- недостаточно эффективное пылеподавление при эксплуатации.
- высокая цена.

Геоход – аппарат, движущийся в породном массиве с использованием геосреды, представляет собой новый класс горных машин, геоход предназначен для проходки подземных выработок различного назначения и расположения в пространстве. К основным отличиям Геохода, по сравнению с ПК, можно отнести следующие параметры:

- возможность реализации на исполнительном органе любых напорных усилий (возможность создания исполнительного органа для разрушения крепких пород);
- снижение в 6 и более раз металлоемкости оборудования проходческой системы;
- повышенная безопасность ведения проходческих работ при полной защите призабойной зоны от вывалов породы;
- совмещенное выполнение операций при проходке горных выработок и возведению подземных сооружений:
- снижение трудоемкости и стоимости ведения горнопроходческих работ;
- возможность проведения выработок с любым расположением в пространстве;
- невысокая цена в сравнении с проходческими комбайнами. [1-7]

Ряд работ авторов [8-12] посвящены разработке методики обоснования и оценки стоимости и экономической эффективности применения геохода. В ходе работ проведен анализ вариантов применения геохода по сравнению с существующими технологиями для различных горно-геологических условий.

Одним из ключевых параметров обоснования экономической целесообразности применения новой техники является такой показатель, как стоимость выполняемых работ. Сравнение стоимости проведения горных выработок ПК и геоходом проведено для следующих горно-геологических и горнотехнических условий проведения выработки:

1. Горная выработка проводится проходческим комбайном 1ГПКС-00 в однородных мягких породах крепостью $f = 1-2$, угол наклона выработки $\alpha = 0-10$, сечение горной выработки $S_{пр} = 10,4 \text{ м}^2$ арочной формы, крепление горной выработки осуществляется арочной металлической крепью с железобетонной затяжкой и расстоянием между рамами крепи $0,8 \text{ м}$.

Технологическая схема проведения выработки, для обеспечения непрерывной работы призабойных транспортных средств, будет иметь следующий состав оборудования: проходческий комбайн избирательного действия 1ГПКС-00, скребковый конвейер 2СР 70М, ленточный конвейер КЛК-1000, погрузочная лебедка ЛВД-24.

Технологический цикл при проведении горной выработки состоит из основных процессов:

- разрушение горного массива проходческим комбайном 1 ГПКС-00 с одновременной погрузкой горной массы на скребковый конвейер;
 - установка временной крепи;
 - крепление выработки арочной крепью;
 - наращивание скребкового конвейера;
- и вспомогательных процессов:
- наращивание ленточного конвейера;
 - наращивание става вентиляционных труб.

Подвигание забоя за цикл составляет $1,6 \text{ м}$, кратное шагу установки крепи $0,8 \text{ м}$.

При проведении выработки проходческий комбайн 1ГПКС-00 устанавливается по оси выработки и распирается в почву опорным устройством, исполнительный орган с помощью телескопического устройства подается на забой, производится обработка забоя путем перемещения исполнительного органа, разрушенная горная масса захватывается нагребными элементами питателя и подается на скребковый конвейер с подъемно-поворотной хвостовой частью.

Скребковый конвейер 2СР70М перегружает горную массу на ленточный конвейер КЛК-1000 и наращивается по мере подвигания горной выработки.

Ленточный конвейер КЛК-1000 перемещает разрушенную горную массу из проводимой выработки. Наращивание ленточного конвейера производится на длину 200 метров , после того как будет пройдено 200 м горной выработки. В ремонтную смену перед тем как наращивать ленточный конвейер скребковой конвейер демонтируют.

Для обеспечения безопасности работ в забое при установке постоянной крепи монтируется предохранительная консольная выдвижная временная крепь, которая состоит из консольно расположенных у кровли выработки металлических балок из СВП и опирающегося на них предохранительного перекрытия в виде настила из верхняков с затяжками. Отставание основной крепи от забоя при проведении выработок не должно быть более 3 м (§94 ПБ).

Для проветривания проводимой выработки применяется вентилятор местного проветривания ВМ-6 с использованием гибких труб диаметром 600 мм . Наращивание вентиляционных труб осуществляется звеньями длиной по 5 м .

Технологическая схема проведения выработки проходческим комбайном 1 ГПКС-00 приведена на рис.1.

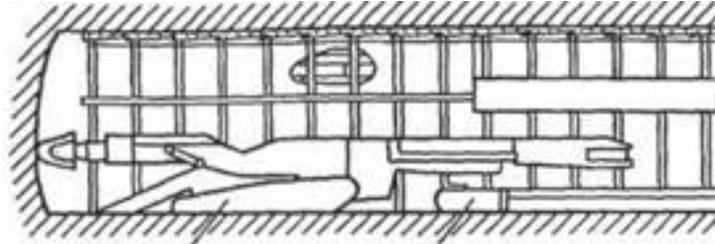


Рис. 1. Технологическая схема проведения выработки проходческим комбайном 1 ГПКС-00

Организация работ

Проектом принимается следующая организация работ:

продолжительность смены, ч6

количество рабочих смен в сутки:

проходческих..... 3

ремонтно-подготовительных1

число рабочих дней в месяц, сут.26

Виды работы, выполняемые в рабочую смену:

- выемка и погрузка горной массы проходческим комбайном 1ГПКС-00;
- установка временной крепи;
- крепление горной выработки рамной крепью КМП-А3 из СВП-17;
- наращивание скребкового конвейера;

Вспомогательные работы:

- наращивание ленточного конвейера;
- наращивание става вентиляционных труб.

2. Горная выработка проводится Геоходом $\varnothing 3,2$ м. в однородных мягких породах крепостью $f = 1-2$, угол наклона выработки $\alpha = 0-10^\circ$, сечение горной выработки $S_{пр} = 8,1$ м² круглой формы, крепление горной выработки осуществляется круглой законтурной фермовой крепью.

Технологическая схема проведения выработки, для обеспечения непрерывной работы призабойных транспортных средств, будет иметь следующий состав оборудования: Геоход $\varnothing 3,2$ м., скребковый конвейер 2СР 70М, ленточный конвейер КЛК-1000.

Технологический цикл при проведении горной выработки состоит из основных процессов:

- разрушение горного массива Геоходом с одновременной погрузкой горной массы на скребковый конвейер, с одновременном креплении выработки круглой законтурной фермовой крепью;
- наращивание скребкового конвейера;

и вспомогательных процессов:

- наращивание ленточного конвейера;
- наращивание става вентиляционных труб.

Подвигание забоя за цикл составляет 1,6 м кратное шагу установки крепи 0,4 м. Скребковый конвейер 2СР70М перегружает горную массу на ленточный конвейер КЛК-1000 и наращивается по мере подвигания горной выработки.

Ленточный конвейер КЛК-1000 перемещает разрушенную горную массу из проводимой выработки. Наращивание ленточного конвейера производится на длину 200 метров, после того как будет пройдено 200м горной выработки. В ремонтную смену пред тем как наращивать ленточный конвейер скребковой конвейер демонтируют..

Для крепления выработки применяется круглая законтурная фермовая крепь. Крепление выработки производится механизировано, с использованием особенностей работы Геохода, В законтурные каналы выработки устанавливают сегменты крепи в требуемое проектное положение, после чего производят перетяжку межвиткового пространства. Возведение постоянной крепи совмещают с разработкой забоя и погрузкой разрушенной горной массой.

Технологическая схема проведения горной выработки геоходом $\varnothing 3,2$ м. приведена на рис. 2.

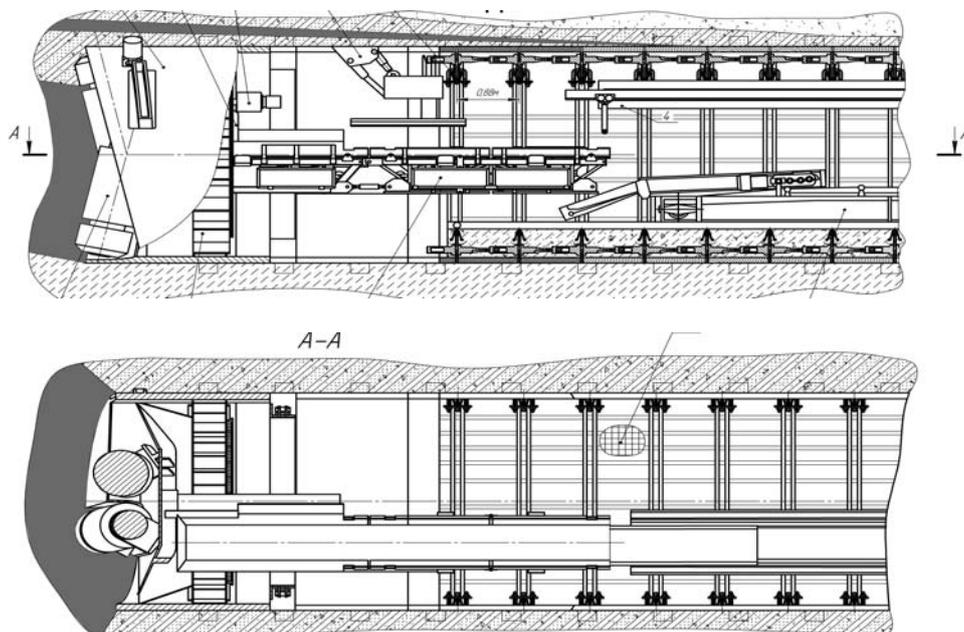


Рис. 2. Технологическая схема проведения горной выработки геоходом Ø3,2 м

Организация работ

Проектом принимается следующая организация работ:

продолжительность смены, ч6

количество рабочих смен в сутки:

проходческих..... 3

ремонтно-подготовительных1

число рабочих дней в месяц, сут.26

Виды работы, выполняемые в рабочую смену:

- выемка и погрузка горной массы Геоходом Ø 3,2 м.;

- крепление горной выработки круглой законтурной фермовой крепью;

- наращивание скребкового конвейера;

Вспомогательные работы:

- наращивание ленточного конвейера;

- наращивание става вентиляционных труб.

Расчет стоимости проведения выработки по следующим элементам затрат:

1. оплата труда;

2. затраты на материалы;

3. амортизационные отчисления;

4. расчет расхода электроэнергии

Результаты расчетов и сравнения экономических показателей и показателей проведения выработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение показателей проведения выработки ПК и Геоходом

№ п/п	Наименование показателей	Вид оборудования		Отклонение абсолют.
		ПК (1ГПКС-00)	Геоход Ø 3,2 м	
I. Основные экономические показатели				
1	оплата труда, руб./м	10 390,94	8 610,00	1 780,94
2	затраты на материалы, руб./м	10 386,10	8 061,10	2 325,00
3	амортизационные отчисления, руб./м	754,53	1 761,08	- 961,55
4	расчет расхода электроэнергии, руб./м	260,63	208,89	51,74
	Итого:	21 792,20	18 596,07	3 196,13

№ п/п	Наименование показателей	Вид оборудования		Отклонение абсолют.
		ПК (1ГПКС-00)	Геоход Ø 3,2 м	
II. Основные показатели выработки				
1	длина проходки в месяц, м	249,6	374,4	- 124,8
2	длина проходки в сутки, м	9,6	14,4	- 4,8
3	длина проходки за цикл, м	1,6	1,6	0
4	количество циклов в смену, шт.	2	3	- 1
5	время работы оборудования в цикле, мин.	40	25	15
6	трудоемкость работ на 1 м проходки, чел.-ч	18,2	17,09	1,11
7	количественный состав бригады, чел.	20	20	
8	производительность труда проходчи- ков, м/чел.см.	0,48	0,72	

Из результатов таблицы 1 можно сделать вывод, что месячная норма проходки геоходом по сравнению с ПК выше на 124,8 м или на 33,3%, время работы геохода меньше времени работы ПК на 15 мин. или 37,5%, за счет чего количество циклов в смену, у геохода больше на 1 цикл по сравнению с ПК.

Такие показатели, как трудоемкость (на 1,11 чел.ч, или 6,1%) и трудозатраты (на 1780,94 руб. или 17,14%), соответственно и сумма затрат на 1 м проходки (на 3 196,13 руб. или 14,4%) у геохода ниже, чем у ПК.

Таким образом в ходе проведенных расчетов видно, что проведение горных выработок с использованием Геохода имеют более лучшие экономические показатели и показатели проходки по сравнению с проходческим комбайном.

Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор №02.G25.31.0076

Литература.

- Vladimir V. Aksenov, Mikhail Yu. Blaschuk, Mikhail V. Dubrovskii. Estimation of torque variation of geohod V. Aksenov with hydraulic drive // *Applied Mechanics and Materials* Vol. 379 (2013) pp 11-15 © (2013) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/ www.scientific.net/ AMM.379.11.
- V.V. Aksenov, A.B. Efremenkov, V.Yu. Beglykov. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face // *Applied Mechanics and Materials* Vol. 379 (2013) pp 16-19 © (2013) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/ www.scientific.net/ AMM.379.16.
- V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglykov. Justification of creation of an external propulsor for multi-purpose shield-type heading machine – GEO-WALKER // *Applied Mechanics and Materials* Vol. 379 (2013) pp 20-23 © (2013) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/ www.scientific.net/ AMM.379.20.
- V. V. Aksenov, A. V. Walter, A. A. Gordeyev, and A. V. Kosovets, “Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 91, p. 012088, Sep. 2015.
- V. V. Aksenov, A. V. Walter, A. A. Gordeyev, and A. V. Kosovets, “Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 91, p. 012088, Sep. 2015.
- Аксенов В. В., Герике Б. Л., Костинцев И. К., Емельяненко Н. А. Проведение подземных выработок. Структура инновационного инструментария для формирования подземного пространства // ГИАБ . 2011. №12. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/provedenie-podzemnyh-vyrabotok-struktura-innovatsionnogo-instrumentariya-dlya-formirovaniya-podzemnogo-prostranstva> (дата обращения: 25.11.2015).
- В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, А. Б. Ефременков, А. А. Казанцев, В. Ю. Бегляков, and А. В. Вальтер, “Создание нового инструментария для освоения подземного пространства,” *Горная техника*, no. 1(15), pp. 24–26, 2015.
- D. Nesteruk, M. Momot, V. Beglyakov, and E. Politsinskaya, “Expert Evaluation of the Quality of the Development of New Technics’ Samples: Experience in the Development of a New Kind of Multipurpose Shield-Type Heading Machine,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 756, pp. 709–713, Apr. 2015.

9. D. Nesteruk and M. Momot, "Information Technology of Estimation and Forecasting Innovative Activity Based on Distributed Data Input," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 682, pp. 579–585, Oct. 2014.
10. Аксенов В. В. , Косолец А. В. Этапы и методы расчета затрат при создании инновационной техники промышленного назначения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. - Вып. 6S. - С. 405-410.
11. Нестерук Д. Н. , Косолец А. В. Оценка экономического эффекта применения нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения - геохода [Электронный ресурс] // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности / Кузбасский Международный угольный форум -2014: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 7-10 Октября 2014. - Кемерово: «Экспо-Сибирь», 2014 - С. 27-32.
12. Бурова (Косолец) О. А. , Косолец А. В. , Нестерук Д. Н. , Подзорова Е. А. Обоснование цены нового класса горнопроходческой техники в машиностроительном производстве // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов международной научно-практической конференции, Юрга, 11-12 Декабря 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 416-418.

ПЕРЕДАЧА АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ПК С ДАТЧИКА УСКОРЕНИЯ

Е.М. Жуков, к.т.н., доц., В.А. Жугда, студент

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: jonyj@yandex.ru

Развитие цифровых измерительных систем привело к росту потребности в разработках цифровых датчиков и устройств сопряжения аналоговых датчиков с цифровыми системами [2]. Невозможно себе представить область промышленного производства, где бы не применялись датчики положения и перемещения, являясь важным связующим звеном между электронной и механической частями приборов. К таким датчикам относятся и датчики ускорения. Датчики ускорения нашли широкое применение в системах навигации, медицине, промышленности, различных технологических системах: управления, измерения и стабилизации различного промышленного оборудования [1, 4, 5, 6].

Чувствительным элементом датчика является двухосный акселерометр, выполненный на основе МЭМС-технологии (технология микроэлектро-механических систем).

В данной статье представлена реализация индикации мощности преобразователя напряжение-частота датчика ускорения, выполненного на базе двухосного интегрального акселерометра *ADXL202*, производимого фирмой *AnalogDevices*, являющимся недорогим, экономичным двухосным акселерометром.

Характеристики датчика *ADXL202* [3]:

- диапазон измерения $\pm 2g$
- питание от 0,3 V до +7.0 V
- масса 5 г
- рабочая температура
 - 0 – 55 C
 - 0 +125 C
- разрешение 5 mg
- ток потребления 0,5 mA
- полоса частот от 0,01 Гц до 6 кГц
- чувствительность 12,5 %/g

Индикация аналогового сигнала с датчика реализуется с помощью преобразователя напряжение-частота (*VFC – Voltage-to-Frequency Converters*), с последующим считыванием преобразованного сигнала таймером ПК в режиме ШИМ. Принципиальная схема передачи данных показана на рисунке 1.

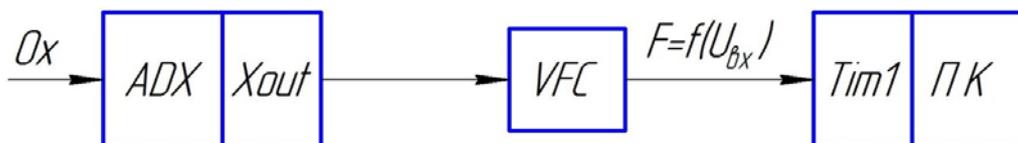


Рис. 1. Принципиальная схема передачи данных

Выходным сигналом датчика ускорения является напряжение, величина которого пропорциональна ускорению. Таким образом, зная величину проекции ускорения свободного падения на ось прибора, можно определить величину угла поворота объекта относительно плоскости земли (рис.2).

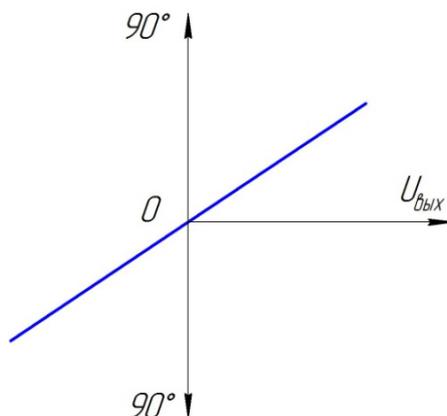


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения датчика от угла поворота объекта

VFC преобразует аналоговый сигнал датчика ускорения в дискретный с частотой пропорциональной величине входного напряжения. Дальнейшее считывание осуществляется таймером ПК периода импульсов (рис. 3) позволяет определить угол поворота датчика, это считывание реализуется программным путем, а именно умножением периода импульсов на коэффициент пропорциональности K , [grad/c].

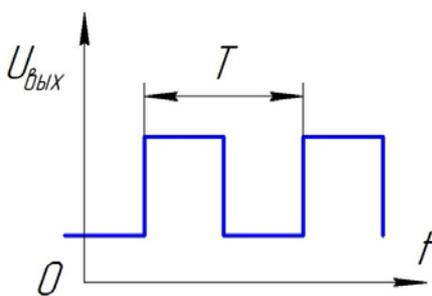


Рис. 3. Выходной сигнал с VFC

Результаты, полученные авторами статьи, позволяют использовать акселерометры в контрольных приспособлениях для установки измерительной оси ортогонально проекции вектора силы тяжести, в частности в приборе контроля круглости поверхности катания бурового долота для предварительного выставления его измерительной оси.

Исследования выполнены в рамках гранта Проект ПСР № 2011-ПР-146 договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.

Литература.

1. Cherpchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. GETTING FLAT SURFACES IN TURNING/ World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30. № 10. С. 1208-1213.
2. Волович А., Волович Г. Интегральные акселерометры [Электронный ресурс] // Журнал «Компоненты и технологии»: [сайт]. [2002]. URL: http://kit-e.ru/articles/elcomp/2002_01_66.php (дата обращения: 23.11.2015).
3. Нестерук Р. М., Друк А. С. Микропроцессорная система измерения ускорения на базе датчика ADXL202 [Электронный ресурс] // Электронная библиотека БГУ: [сайт]. [2002]. URL: [http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/7357/1/микропроцессорная система измерения ускорения на базе датчика adxl202.pdf](http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/7357/1/микропроцессорная%20система%20измерения%20ускорения%20на%20базе%20датчика%20adxl202.pdf) (дата обращения: 23.11.2015).
4. Чепчуров М.С. Использование АЦП для регистрации и обработки аналогового сигнала в ПК/ Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 6. С. 31-34.
5. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Тюрин А.В. Структурная схема управления приводами технологического комплекса/ Технические науки - от теории к практике. 2013. № 29. С. 85-92.
6. Чепчуров М.С., Феофанов А.Н. Управление специальным станочным модулем при восстановительной обработке поверхностей крупногабаритных деталей/ Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 11. С. 03-06.

**ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИКИ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ**

А.К. Алешин, к.т.н., с.н.с., Н.Л. Ковалева, к.т.н., с.н.с., Г.И. Фирсов, с.н.с.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, тел. (495) 624-00-72

E-mail: firsovgi@mail.ru

Особенность динамических систем циклического действия состоит в многократном выполнении с периодом $t_{ц}$ заданного закона движения. Это колебательные системы или механизмы с периодическими поступательными или вращательными движениями звеньев. Для них время цикла $t_{ц}$ - это важный технологический параметр, определяющий быстродействие и синхронизацию с другими устройствами. Кроме того, оно используется как внешний признак возникновения дефектов в форме отклонения $t_{ц}$ за допустимые пределы [1,2].

Однако время t как физический параметр весьма ограниченно рассматривается как самостоятельный диагностический сигнал и источник информации для распознавания дефектов. Это обусловлено тем, что знание фактической величины интервала времени $t_{ц}$ не позволяет указать конкретный дефект и не обладает необходимой глубиной диагностирования. Ограниченность информации связана с представлением об интервалах времени $t_{ц}$ как о детерминированных величинах, которые принимают фиксированные и вполне конкретные значения. В такой интерпретации разные по физической природе дефекты могут приводить к одинаковым изменениям $t_{ц}$ и указать конкретную причину невозможно.

Представление об интервалах времени t как о случайных величинах более полно и точно отражает их физические свойства и открывает возможности для увеличения их информативности как диагностических сигналов. Дело в том, что, при достаточно точных многократных измерениях периода $t_{ц}$ обнаруживаются его случайные отклонения около некоторого среднего значения. В зависимости от динамических свойств диагностируемой системы средние значения также могут претерпевать эволюцию. При этом оказывается, что в случайной составляющей времени t заключен значительный объем диагностической информации о текущем состоянии динамической системы. Таким образом, наряду с анализом конкретного физического процесса $x(t)$ как диагностического сигнала предлагается измерять и анализировать время достижения этим процессом некоторой величины, например время достижения звеном механизма заданной точки в процессе движения. Существует связь между характером изменения во времени физического процесса $x(t)$ как случайного процесса и законом распределения $f(t)$ времени достижения этим процессом постоянной заданной величины. Эта связь следует из уравнения Понтрягина для закона распределения $f(p_i, t)$ времени первого достижения случайным процессом заданной величины как функции параметров p_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) динамической системы [3]. Каждый дефект - это отклонение δp_k ($k = 1, 2, \dots, s$) одного или нескольких параметров диагностируемой системы от нормативных значений. Детерминированная функциональная зависимость $f(p_i, t)$ от p_i ведет к характерным изменениям закона распределения $f(p_i, t)$ в случае проявления дефекта. Именно эту особенность интервалов времени t как случайных величин предлагается использовать для распознавания дефектов [4].

Кроме известных статистических характеристик случайных процессов, как математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение (с.к.о.), асимметрия и эксцесс, конструктивным представляется использование энтропийного коэффициента плотности распределения вероятности [5]

$$K_H = \Delta_s \sigma^{-1} = 0,5 \exp \{I_w(n)\} \sigma^{-1} = \frac{bN}{2\sigma} 10^{-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^d n_i \lg n_i},$$

где $I_w(n)$ - энтропия (информация по Шеннону), определяемая из

$$I_w(W_0) = M \{ \ln W_0(\xi) \} = - \int_{-\infty}^{\infty} W_0(\xi) \ln W_0(\xi) d\xi,$$

σ - с.к.о, $b - N$ - объем выборки, d - число столбцов гистограммы, n_i - число наблюдений в i -м столбце гистограммы. Заметим, что для любых законов распределения величина K_H лежит в пределах $0, \dots, 2,066$, причем максимальное значение $K_H = 2,066$ имеет гауссовское распределение. Кроме этого, удобнее использовать не коэффициент эксцесса k_s , изменяющийся от 1 до ∞ , а контрэксцесс $k_s^{-0,5}$, значение которого может меняться в пределах от 0 до 1.

Для получения адекватной численной характеристики случайного процесса в присутствии корреляции необходимо задать число N измерений (элементов выборки), время каждого измерения τ и интервал T между последовательными измерениями, который может отличаться от τ на величину мертвого времени ($T - \tau$). После этого можно определить для этого набора данных так называемую N -точечную выборочную дисперсию при заданном числе измерений N и заданных величинах T и τ :

$$\sigma^2(N, T, \tau) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\bar{y}_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j \right)^2. \quad (1)$$

В настоящее время общепринято [6] следовать предложению Дэйва Аллана [7, 8] и использовать выборочную дисперсию с $N = 2$ и $T = \tau$. Эта так называемая дисперсия Аллана $\sigma_y^2(2, \tau, \tau)$, для которой используются также более короткие обозначения $\sigma_y^2(2, \tau)$ или $\sigma_y^2(\tau)$, может быть определена с использованием формулы (1), как

$$\sigma_y^2(\tau) = \left\langle \sum_{i=1}^2 \left(\bar{y}_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \bar{y}_j \right)^2 \right\rangle = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_2 - \bar{y}_1)^2 \rangle. \quad (2)$$

Дисперсия Аллана и квадратный корень из нее, называемый иногда стандартным отклонением или девиацией Аллана, опираются на измерение разности двух соседних последовательных измерений длительности цикла, а не на измерение отклонения длительности цикла от среднего значения, как в случае классического определения стандартного отклонения. Для заданного интервала τ $\bar{y}_i = (\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i) / \tau$. Подстановка последнего соотношения в формулу (2) дает $\sigma_y^2(\tau) = \langle (\bar{x}_{i+2} - 2\bar{x}_{i+1} + \bar{x}_i)^2 \rangle / 2\tau^2$.

В случае линейного дрейфа длительности цикла, $y(t) = at$, где a задает скорость дрейфа. С учетом того, что $\bar{y}_1 = [\alpha t_0 + \alpha(t_0 + \tau)] / 2$ и $\bar{y}_2 = [\alpha(t_0 + \tau) + \alpha(t_0 + 2\tau)] / 2$, из формулы (3.13) следует, что $\sigma_y(\tau) = \langle \alpha\tau / \sqrt{2} \rangle = \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \tau$. Следовательно, линейный дрейф длительности цикла приводит к девиации Аллана, линейно зависящей от времени измерения τ .

При гармонической модуляции длительности цикла

$$y(t) = \frac{\delta v_0}{v_0} \sin(2\pi f_m t), \quad (3)$$

где f_m - частота модуляции. Подстановка (3) в (2) дает $\sigma_y(\tau) = \frac{\delta v_0}{v_0} \frac{\sin^2(\pi f_m \tau)}{\pi f_m \tau}$ [6].

Отсюда видно, что вклад частотной модуляции в девиацию Аллана становится равным нулю при $\tau = 1/f_m$, то есть когда время τ кратно периоду модуляции $1/f_m$ и влияние модуляции обнуляется при усреднении по времени. Девиация максимальна при $\tau \approx n/(2f_m)$, где n - целое нечетное число.

Для случайных вариаций длительности цикла можно в первом приближении аппроксимировать спектральную плотность частотного шума степенной функцией вида $S(f) = h_\alpha f^\alpha$, что соответствует следующей природе шума: белый фазовый шум ($\alpha = 2$), фазовый фликкер-шум ($\alpha = 1$), белый частотный шум ($\alpha = 0$), частотный фликкер-шум ($\alpha = -1$), шум случайных блужданий частоты ($\alpha = -2$). При этом дисперсию Аллана можно также аппроксимировать степенной функцией $\sigma_y^2(\tau) = k_\mu \tau^\mu$. Между величинами α и μ существует зависимость $\mu = -\alpha - 1$. Эта зависимость однозначно выполняется в диапазоне $-2 \leq \alpha \leq +1$, при этом для фазовых шумов ($\alpha = 1$ и $\alpha = 2$), которые проявляются на малых интервалах измерения, существует определенная неоднозначность [9]. Иначе говоря, белый фазовый шум во временной области выглядит так же, как и фазовый фликкер-шум. Для преодоления этого недостатка была предложена так называемая модифицированная дисперсия Аллана [10]

$$\text{Mod } \sigma_y^2 = \frac{1}{3} \left\langle \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{y}_{i+k+n, \tau_0} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{y}_{i+k, \tau_0} \right) \right]^2 \right\rangle.$$

Модифицированная дисперсия Аллана устраняет указанную неоднозначность за счет искусственного сужения полосы пропускания измерительной системы, но она обладает повышенной чувствительностью белому шуму фазы.

Дополнительно можно использовать для оценки гистограммы показатели, полученные с помощью метода триангуляционной интерполяции, суть которого состоит в представлении гистограммы в виде равнобедренного треугольника. Так называемый "Индекс Святого Георга" равен ширине основания треугольника, приближенного к гистограмме распределения интервалов. Величина основания гистограммы рассматривается как основание треугольника, полученного при аппроксимации распределения методом наименьших квадратов. При этом для вычисления этого основания на оси времени гистограммы задаются некоторые точка A и B , после чего конструируется мультилинейная функция $q(t)$, такая, что $q(t) = 0$ для $t \leq A$ и $t \geq B$, и интеграл $\int_0^{+\infty} (D(t) - q(t))^2 dt$ минимален при всех возможных значениях между A и B . Другой показатель, называемый триангуляционным индексом, равен отношению общего количества интервалов к высоте гистограммы (ее моде). Иными словами, триангуляционный индекс – интеграл плотности распределения D , отнесенный к максимуму плотности распределения [11].

Динамические свойства электромеханической системы робота, в том числе деформации звеньев и элементов кинематических пар, величины зазоров, силы трения и прочее проявлялись по-разному в зависимости от закона движения и инерционных нагрузок. Это явно отразилось на различии в законах распределения для t [12].

Для сравнения гистограмм как оценок эмпирической плотности распределения обычно используются так называемые критерии однородности [13]. Одним из примеров критерия однородности является самый общеупотребительный критерий χ^2 , аналогичный критерию согласия Пирсона. Этот критерий, как, впрочем, и все остальные традиционные критерии однородности, не чувствителен к форме гистограмм и не годится для сравнения сложных форм распределений. Поэтому для сравнения сложных дискретных форм гистограмм и для определения степени (случайности) их сходства целесообразно использовать корреляционный критерий [14], основанный на вычислении коэффициента корреляции ординат двух гистограмм после нормировки каждой из них на плотность нормального распределения, подобранную по среднему значению и дисперсии, а также критерий ранговой корреляции, основанный на вычислении статистики Спирмэна для ординат сравниваемых гистограмм. Кроме этих методов может использоваться мера Кульбака отличия распределения $f(x)$ от заданного $f_0(x)$ $H = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \ln[f(x)/f_0(x)] dx$, где $f(x)$ - в плотность распределения вероятностей флуктуаций (вариаций) временных интервалов, показавшая высокую эффективность при решении задач диагностики таких цикловых машин, как звенья часового механизма, редуктор и турбоагрегат [15].

Рассматривались гистограммы распределения времени t поворота руки робота "PUMA" на заданный угол [5]. Схват робота с оптическим датчиком положения многократно перемещался в одной и той же плоскости, но с разными законами изменения скорости: "трапецеидальным" и "треугольным". Оптический датчик, состоящий из источника света и фототранзистора, реагирует на изменение светового потока. В двух крайних положениях неподвижно установлены светонепроницаемые пластины. Открытие светового потока датчика при его перемещении из начального положения запускает таймер на измерение времени движения, а перекрытие его в конечном положении пластиной останавливает измерение. В результате многократного повторения движений формируется статистический массив для t , по которому строится гистограмма. Для проверки устойчивого соответствия форм гистограмм законам движения эксперименты повторяли. Для этого заново воспроизводили закон движения и процесс измерения t . Близкое совпадение соответствующих гистограмм свидетельствует об устойчивом соответствии между динамическими свойствами механизма и соответствующими законами распределения для t . Покажем, что это обусловлено наличием детерминированной функциональной зависимости законов распределения $f(p_i, t)$ от параметров p_i .

Пусть $x(t)$ - обобщенная координата динамической системы. Вероятностное описание $x(t)$ как случайного процесса возможно, если он является марковским процессом [16, 17]. Известно, что процессы, удовлетворяющие этому условию, описываются дифференциальными уравнениями первого порядка или системами дифференциальных уравнений первого порядка. К такой схеме описания сводится довольно большое количество реальных систем. Пусть уравнение динамической системы задано в общем виде

$$\dot{x} = F(p_1, p_2, \dots, p_n, x, t) + G\xi(t) \quad (4)$$

с начальным условием $x(t_0) = x_0$ при $t = t_0$. Здесь $G\zeta(t)$ - случайное воздействие типа белого шума; G - интенсивность белого шума; p_i - параметры динамической системы, отклонения которых от допустимых величин вызывают появление дефекта.

Вероятностным описанием случайного процесса $x(t)$, удовлетворяющего уравнению (4), будет функция условной плотности распределения вероятностей $\varphi(p_1, p_2, \dots, p_n, x, t/x_0, t_0)$, которая является решением уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова, позволяющего оценить изменение координат случайного непрерывного марковского процесса от времени [16, 17]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t_0} + k_1(p_i, x_0, t_0) \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + \frac{1}{2} k_2(p_i, x_0, t_0) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_0^2} = 0, \quad (5)$$

где $k_1(p_i, x_0, t_0)$ и $k_2(p_i, x_0, t_0)$ - коэффициенты сноса и диффузии соответственно. Коэффициент сноса $k_1(p_i, x_0, t_0)$ характеризует среднее значение локальной скорости случайного непрерывного марковского процесса, коэффициент диффузии $k_2(p_i, x_0, t_0)$ характеризует локальную скорость изменения дисперсии марковского процесса. Они определяются из уравнения движения (4) [16, 17]

$$k_1(p_i, x_0, t_0) = \lim_{\Delta t_0 \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t_0} [F(p_i, x, t) \Delta t_0 + m_\varepsilon(t) \Delta t_0],$$

$$k_2(p_i, x_0, t_0) = \lim_{\Delta t_0 \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t_0} \int_t^{t+\Delta t_0} \int K_\varepsilon(t_1, t_2) dt_1 dt_2,$$

где $K_\varepsilon(t_1, t_2)$ - корреляционная функция случайного возмущения $G\zeta(t)$. Для стационарного случайного возмущения типа белого шума с нулевым математическим ожиданием $m_\varepsilon(t) = 0$ и дисперсией $\sigma^2 = G$ функция $K_\varepsilon(t_1, t_2)$ - это дельта-функция $\delta(\tau)$, где $\tau = t_2 - t_1$.

Из уравнения Колмогорова (5) можно получить уравнение для функции $f(p_i, x_0, t)$ - плотности вероятности распределения времени первого достижения случайным процессом $x(t)$ заданной величины x_1 [17, 18]. Полагая процесс стационарным, уравнение для $f(p_i, x_0, t)$ имеет вид

$$\frac{\partial f}{\partial t} = k_1(p_i, x_0) \frac{\partial f}{\partial x_0} + \frac{1}{2} k_2(p_i, x_0) \frac{\partial^2 f}{\partial x_0^2} \quad (6)$$

с начальными и граничными условиями: $f(p_i, x, t_0) = \delta(t - t_0)$; $f(p_i, x_0, t) = \delta(x - x_0)$; $f(p_i, x_1, t) = \delta(x - x_1)$. В этом уравнении (6) коэффициенты сноса и диффузии не зависят от времени. При постоянных коэффициентах сноса $k_1(p_i, x_0, t_0) = -a$ и диффузии $k_2(p_i, x_0, t_0) = b$ уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова при начальном условии $f(p_i, x_0, t) = \delta(x - x_0)$ и нулевых значениях на бесконечности имеет следующее решение

$$\varphi(p, x_0, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi bt}} \exp\left[-\frac{(x - x_0 + at)^2}{2bt}\right] \quad [19].$$

Для задач диагностики и идентификации уравнение (6) дает важный результат. Его решение определяет закон распределения времени достижения обобщенной координатой $x(t)$ заданного значения x_1 как детерминированную функцию параметров p_i динамической системы. Зарождение дефекта (отклонение δp_i) влечет за собой изменения коэффициентов $k_1(p_i, x_0)$ и $k_2(p_i, x_0)$ в уравнении (6) и, как следствие, меняет функцию $f(p_i, x_0, t)$. Это будет признаком возникновения дефекта. Поскольку каждая неисправность специфическим образом меняет функции $k_1(p_i, x_0)$ и $k_2(p_i, x_0)$, характерные изменения будут наблюдаться и у $f(p_i, x_0, t)$. Имея предварительно полученный набор распределений (гистограмм) для каждого дефекта и предъявляя к распознаванию экспериментально полученную гистограмму, по результатам сравнения можно определить конкретный дефект.

Однако особенность дефектов механических систем состоит в непрерывном эволюционном характере развития от стадии зарождения до аварийного отказа. Кроме того, в сложных системах возникновение одного дефекта стимулирует возникновение другого, так что возможно очень широкое разнообразие сочетаний различных дефектных состояний. В такой ситуации предварительное создание "банка дефектов" с соответствующими законами распределения практически невозможно.

В этой ситуации локализацию дефектов эффективно проводить на основе регистрации и анализа дополнительных диагностических сигналов, которые непосредственно связаны с процессом формирования дефектов [20]. Например, для механизмов поворотных столов станков такими параметрами являются угловая скорость поворота ω и ускорение ε планшайбы - платформы, на которой закрепляют обрабатываемые детали. Характер изменения осциллограммы ω и максимальные значения ускорений ε планшайбы при торможении свидетельствуют о появлении дефекта в механизме торможения. Дефект состоит в засорении дросселирующих отверстий механизма торможения фраг-

ментами износа и разрушения материала уплотнения поршня гидроцилиндра привода поворота планшайбы. Значительные динамические нагрузки, многократно возникающие при торможении, ведут к смещению планшайбы и потере точности поворотным столом, браку деталей и длительным аварийным простоям оборудования. Таким образом, предлагаемый метод в данном случае будет играть роль индикатора, превентивно на ранних стадиях сигнализирующего о зарождении дефекта и необходимости проведения более глубокой диагностической процедуры.

Предъявленные к распознаванию гистограммы отражают не только собственные свойства динамической системы, как это следует из уравнения (3), но и метрологические свойства измерительного тракта для интервалов времени. Процесс измерения обладает неизбежными погрешностями, которые имеют свой закон распределения $w(t)$, определяемый свойствами измерительной системы. Погрешность измерения создает маскирующий фон, который усиливает неопределенность законов распределения $f(p_i, x_0, t)$. На практике это сказывается в "размывании" форм гистограмм и снижении надежности распознавания.

В первом приближении модель случайной составляющей измеряемого интервала t можно представить в виде суммы

$$t = t_1 + t_2, \quad (7)$$

где t_1 и t_2 - случайные компоненты, определяемые свойствами динамической и измерительной систем соответственно. Согласно этой модели, экспериментально полученные законы распределения $f^*(p_i, x_0, t)$ в виде гистограмм (рис. 1) - это композиции законов распределения $f(p_i, x_0, t)$ и $w(t_2)$:

$$f^*(p_i, x_0, t) = f(p_i, x_0, t_1)w(t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} f(p_i, x_0, t_1)w(t - t_1)dt_1.$$

Следовательно, "образы" дефектов в форме гистограмм зависят от принятой схемы измерения и не являются универсальными. Для надежности всей процедуры распознавания важно, чтобы функция $w(t_2)$ обладала свойством стационарности и минимально зависела от свойств диагностируемой системы. Функция $w(t_2)$ в основном определяется погрешностью устройства, запускающего и останавливающего таймер на измерение времени. Если это устройство (датчик на рис. 2) не меняет своих характеристик в процессе эксплуатации и с изменением состояний диагностируемой системы, то свойство стационарности закона $w(t_2)$ обеспечено. Дело в том, что точность измерения времени самим таймером может быть практически любой разумной величиной, так что его собственная погрешность значительно меньше погрешности датчика. Свойство стационарности желательно и для компоненты t_1 в (7). Оно обеспечивается свойством времени t как физического параметра. Измеряемый интервал - это время достижения обобщенной координаты одной и той же постоянной величины. Это означает, что при многократном повторении измерений будет действовать один и тот же комплекс факторов при формировании t_1 и в эксперимент не будут вовлекаться новые, ранее не учтенные. Кроме того, в результате каждого измерения интервала времени его величина формировалась на всем протяжении изменения обобщенной координаты. В процессе этого изменения происходит взаимная нейтрализация различных нестационарных источников возмущений и только после этого заканчивается измерение интервала времени. Этим диагностический сигнал (время t) выгодно отличается от виброакустического сигнала [21,22], который реагирует на весь комплекс возмущений в каждое мгновение и поэтому обладает ярко выраженным свойством нестационарности. Для времени t нет необходимости в аппаратной и алгоритмической фильтрации нестационарной составляющей. Признаком устойчивости и стационарности t является близкое совпадение форм гистограмм при повторном воссоздании схемы измерения и воспроизведении экспериментов.

В заключение следует отметить, что результаты измерения времени получаются в цифровом виде, что исключает этап аналогово-цифрового преобразования и связанного с ним искажения исходной информации.

Литература.

1. Пронякин В.И. Проблемы диагностики циклических машин и механизмов // Измерительная техника. - 2008. - № 10. - С.9-13.
2. Киселев М.И., Пронякин В.И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. - 2001. - № 9. - С.15-18.
3. Понрягин Л.С., Андронов А.А., Витт А.А. О статистическом рассмотрении динамических систем // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 1933. - Т. 3. Вып. 3. - С.165-180.
4. Алешин А.К. и др. Способ диагностирования механизмов машин: А.С. № 1393623 // Б.И. 1988, № 17.

5. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
6. Rutman J. Characterization of phase and frequency instabilities in precision frequency sources: fifteen years of progress. – Proc. IEEE. – 1978. – V.66. – P. 1048-1075.
7. Allan D.W. Statistics of atomic frequency standards. – Proc. IEEE. – 1966. – V. 54. – P.221-230.
8. Barnes J.A., Chi A.R., Cutler L.S., Leeson D.B., McGunidal T.E., Mulla J.A., Smith W.L., Sydnor R.L., Vessot R.F.C., Winkler G.M.R. Characterization of frequency stability. – IEEE Trans. Instrum. Meas. – 1971. – V. IM-20. – P.105-120.
9. Крошкин А.Н. Соотношения для оценки характеристик нестабильности частоты и погрешностей временной синхронизации // Измерительная техника. – 2000. - № 10. – С. 33-37.
10. Allan D.W., Barnes J. A modified “Allan variance” with increased oscillator characterization ability // Proceedings of the 35th Ann. Freq. Control Symposium. – Ft. Monmouth, NJ, Electronic Industries Association, 1981. – P. 470-475.
11. Алешин А.К. Диагностика динамических систем циклического действия // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. - № 6. – С.100-105.
12. Алешин А.К., Ковалева Н.Л., Фирсов Г.И. Оценка статистических характеристик законов движения в задачах диагностики цикловых механизмов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. - № 1(5). - С.57-61.
13. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования. – Вестник аритмологии. – 1999. - № 11. – С. 52-77.
14. Шноль С.Э. Космофизические факторы в случайных процессах. – Stockholm: Svenska fysikarkivet, 2009. - 388 с.
15. Назолин А.Л. Обнаружение дефектов машин и механизмов циклического действия по временным и виброакустическим параметрам // Необратимые процессы в природе и технике. Часть II. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - С.231-235.
16. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. - М.: Наука, 1968. – 449 с.
17. Болотин В.В. Случайные колебания механических систем. - М.: Наука, 1986. – 335 с.
18. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. - М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.
19. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Синтез нечетких регуляторов на основе вероятностных моделей // Новые методы управления сложными системами. – М.: Наука, 2004. - С. 60-86.
20. Нахапетян Е.Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования. - М.: Наука, 1990. – 272 с.
21. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин. - М.: Машиностроение, 1987. - 224 с.
22. Добрынин С.А., Сулов В.Н., Фирсов Г.И. Динамические испытания машин и методы оценки их частотных характеристик для задач вибрационной диагностики // Инновации в машиностроении. Сборник трудов 2-ой Международной научно-практической конференции. Под ред. В.Ю. Блюменштейна. - Кемерово: КузГТУ, 2011. - С. 256-261.

АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

И.Н. Афиногенова, к.х.н., доц.

Воронежский экономико-правовой институт

394042, г. Воронеж, пр. Ленинский, 119а, тел. (473)-272-79-39

E-mail: amista2007@rambler.ru

В условиях вступления России в ВТО и нарастание в этой связи конкуренции на рынке сырья и готовой продукции высокую актуальность приобретают проблемы поиска эффективных стратегий развития предприятий машиностроительного комплекса. В этой связи на основе анализа теории и практики стратегического управления [1-3; 5-6] нами предлагается системный подход к формированию адаптированных моделей развития, который предполагает:

- анализ существующих и прогнозирование будущих потребностей представителей внешней среды и определение целевых параметров рынков;
- формирование «видения» оптимального развития, удовлетворяющего потребностям основных заинтересованных групп;

- разработку миссии развития и целевых индикаторов;
- разработку стратегий развития отраслевых предприятий, исходя из поставленных целей, а также специализированных интеграционных стратегий, направленных на достижение оптимальных параметров;
- формирование сценариев реализации альтернативных стратегий и базового портфеля мероприятий по их реализации;
- определение критериев эффективности стратегий развития;
- мониторинг и корректировка выбранных стратегий.

При этом сама стратегия может быть представлена с точки зрения общих подходов (системы правил) к реализации долгосрочных целей. Несмотря на значительное многообразие толкований сущности понятия стратегии наиболее взвешенным и обоснованным, по мнению автора, является представление стратегии как модели, направленной на реализацию долгосрочных целей организации.

Таким образом, стратегия определяет вектор (направление) развития социально-экономической системы, однако стратегия может быть описана только нелинейной траекторией, поскольку цели системы подвижны и изменчивы. Отсюда возникает утверждение о том, что реализация стратегии предполагает внесение уточнений при движении системы в выбранном направлении [4-5].

На основании этого подхода мы выделяем следующие альтернативные стратегии развития предприятий машиностроительного комплекса:

- либеральная - предусматривает свободный рынок, минимизацию государственного регулирования и вмешательства;
- административная – предусматривает широкий спектр государственного воздействия от стимулирования до жестких ограничительных воздействий;
- смешанная - предполагающая меры защиты местных производителей;
- рыночная - предполагает стимулирование инвестиций в обновление производств и широкое развитие интеграционных процессов.

Так, проведенная нами оценка альтернативных моделей развития предприятий машиностроительного комплекса показала, что наиболее оптимальной является социально-рыночная модель, предусматривающая, в частности эффективное соотношение государственного регулирования и саморегулирующей функции рынка.

Однако необходимо отметить, что в рамках данного подхода стратегии развития имеют двойственный характер связей:

- во-первых, как инструмент реализации стратегии комплексного развития хозяйственных образований машиностроительного комплекса (стратегия на макроуровне);
- во-вторых, как средство реализации «частных интересов», направленных на достижение отдельных корпоративных бизнес-интересов (стратегия на микроуровне).

В этой связи по каждой предложенной стратегии развития нами предлагаются альтернативные варианты реализации бизнес-поведения:

- стратегия органического роста, которая предполагает реинвестирование полученной прибыли и заемных средств в существующие и новые бизнес-проекты, в результате чего происходит наращивание производственных мощностей и выход на новые рынки сбыта продукции;
- стратегия фокусирования – предполагает сосредоточение внимания на отдельных узких сегментах рынка и увеличение рыночной доли на этих сегментах за счет повышения качества продукции;
- стратегия диверсификации – предполагает расширение доли рынка за счет расширения ассортимента продукции и проникновение за счет этого на новые сегменты рынка;
- интеграционная стратегия – которая предполагает объединение разрозненных участников рынка на принципах экономической интеграции, в результате чего достигаются синергетические эффекты взаимодействия за счет устранения нерационального посредничества [7-8].

Таким образом, на основании предложенных альтернативных моделей развития можно предложить следующую блок-схему стратегий в их взаимосвязи (рис. 1).

Далее по каждой альтернативной стратегии для ее реализации определяются соответствующий методический инструментарий и портфель мероприятий. Возможна и дальнейшая детализация стратегий, в частности, интеграционную стратегию развития целесообразно разделить на кластерную стратегию и вертикальную. Это, таким образом, позволит определить роль интеграционной стратегии в развитии регионального машиностроительного производства и обозначить оптимальные направления воздействия. Кроме того, это создаст возможность формирования адаптивного механизма

интеграционного развития конкретных хозяйственных образований на микроуровне и обеспечить оценку социально-экономической эффективности ее осуществления.

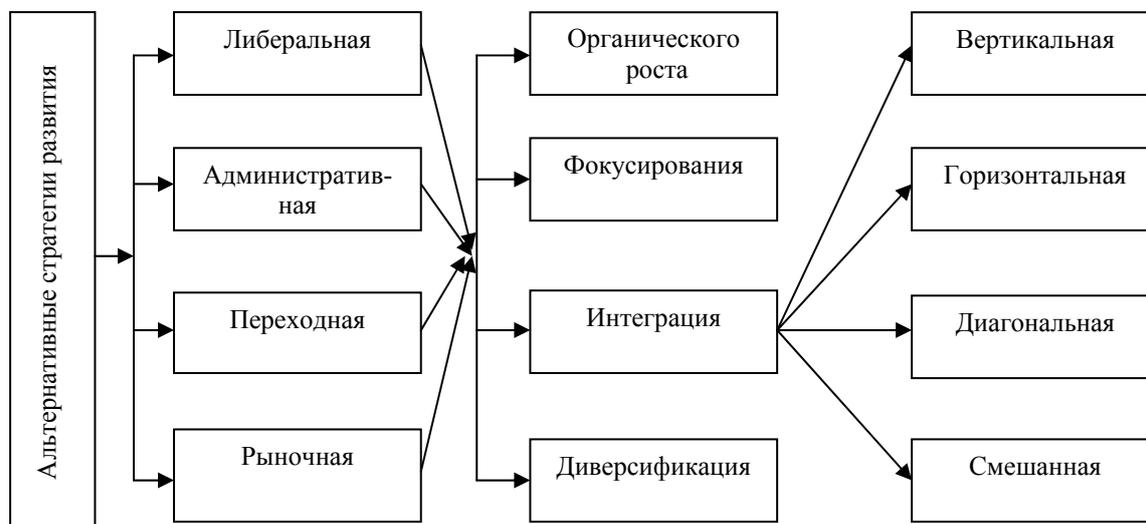


Рис. 1. Блок-схема альтернативных стратегий развития предприятий машиностроительного комплекса

Таким образом, необходимо отметить, что при всем многообразии альтернативных стратегий развития предприятий машиностроительного комплекса, наиболее оптимальными в современных условиях хозяйствования представляются интеграционные стратегии, которые предполагают объединение разрозненных участников рынка на принципах экономической интеграции, в результате чего достигаются синергетические эффекты взаимодействия за счет устранения нерационального посредничества.

Литература.

1. Ахмедов А.Э., Ахмедова О.И., Шаталов М.А. Адаптивные стратегии развития предприятий мебельной промышленности Воронежской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 394-398.
2. Ахмедов А.Э., Шаталов М.А. Управление стратегией инновационного развития интегрированных структур пищевой промышленности // Перспективы инновационного развития современного мирового сообщества: экономико-правовые и социальные аспекты. Материалы Международной юбилейной научно-практической конференции ВЭПИ-ВГЛТА, в 5-ти томах. Редколлегия: главный редактор С.Л. Иголкин, ответственный редактор Т.Л. Безрукова, А.Э. Ахмедова. 2012. С. 21-27.
3. Захаров П.Н., Оценка факторов корректировки стратегии развития организации // Вестник ВлГТУ 2012. № 3 (14). С. 39-50.
4. Палкина М. В. Инновационная стратегия региона // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И.Вернадского. Сер. Экономика. 2009. № 8 (22).
5. Самостроев Г.М. Методология формирования стратегии развития региона на основе концепции интеграционного маркетинга [Электронный ресурс]: Дис... д-ра экон. наук: 08.00.05. – М.: РГБ, 2003
6. Спицын В.В. Стратегии маркетинга региона: понятие, виды, место в стратегии развития региона // Вестник ВолГТУ. 2007. № 5. С.221-227.
7. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Адаптивные стратегии развития предприятий пищевой промышленности Воронежской области // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2015. № 1 (23). С. 61-66.
8. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Совершенствование механизма государственного регулирования металлургического комплекса в условиях нестабильности внешней среды // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 1. С. 67-73.

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА

Ф.М. Мамедов, аспирант

Воронежский экономико-правовой институт

394042, г. Воронеж, пр. Ленинский, 119а, тел. (473)-272-79-39

E-mail: amista2007@rambler.ru

В настоящее время в экономике кластерный подход занимает весомое место, привлекая к себе внимание многих ученых. Это связано, в основном, с тем, что спектр применения данного подхода весьма многообразен и применяется, как в области биологических и социологических наук, так и в археологии, не говоря о том, что главное место кластеры занимают в экономике [1; 3].

Применение кластеров как модели экономического развития современной России используют многие инвестиционно-активные регионы, которые смогли организовать успешную деятельность взаимодополняющих друг друга предприятий на своей территории [4].

Основными задачами машиностроительного кластера можно назвать привлечение в экономику региона инвестиций, формирование, развитие и совершенствование кадрового потенциала путем преобразования системы профессионального образования, внедрение результатов НИОКР, реформирование и модернизация существующих производств. Предприятия – участники организованного машиностроительного кластера имеют возможность привлечения ресурсов с целью реализации совместных международных проектов, тем самым повышая конкурентоспособность своих предприятий.

Организация и реализация кластерного подхода в машиностроительном комплексе отвечают на следующие требования мирового рынка:

- повышение уровня международного разделения труда;
- концепция современного маркетинга ориентирована на потребителя;
- ограниченность и дефицит энергоресурсов и сырья в стратегическом масштабе для подавляющего числа государств и т.д. [5].

В связи с данными требованиями машиностроительные кластеры в целях повышения уровня своей конкурентоспособности реализуют такие направления в деятельности, как:

1. Внедрение НИОКР, увеличение автоматизации производства с применением технологий ресурсосбережения;
2. Инвестирование в подготовку и переподготовку кадрового состава, что позволяет усовершенствовать применение новых технологий и отвечать современным требованиям рынка и т.п.

Создание и эффективное функционирование предприятий машиностроительного комплекса на основе кластерного подхода предполагает наличие современной высокотехнологичной промышленной зоны для размещения промышленных и обслуживающих производств на территории инфраструктуры кластера с задачей выпуска конкурентоспособной современной продукции не только для внутреннего, но и для внешнего рынка.

Пример организации работы машиностроительного кластера показан на рисунке 1.

Данный пример показывает организацию эффективного управления и взаимодействия предприятий – участников кластера при рациональном использовании ресурсов и правильной кооперации. Однако перспективы развития предприятий машиностроительного комплекса на основе кластерного подхода в России на современном этапе оцениваются весьма неоднозначно. С одной стороны, наличие благоприятных условий для развития: потенциал рынка, рост потребительского спроса, наличие запасов полезных ископаемых; с другой, – наличие экономических рисков [2]. Конечно, здесь не обойтись без реформирования и развития инновационной деятельности кластера, начиная от совершенствования менеджмента и маркетинга, заканчивая модернизацией технологических процессов.

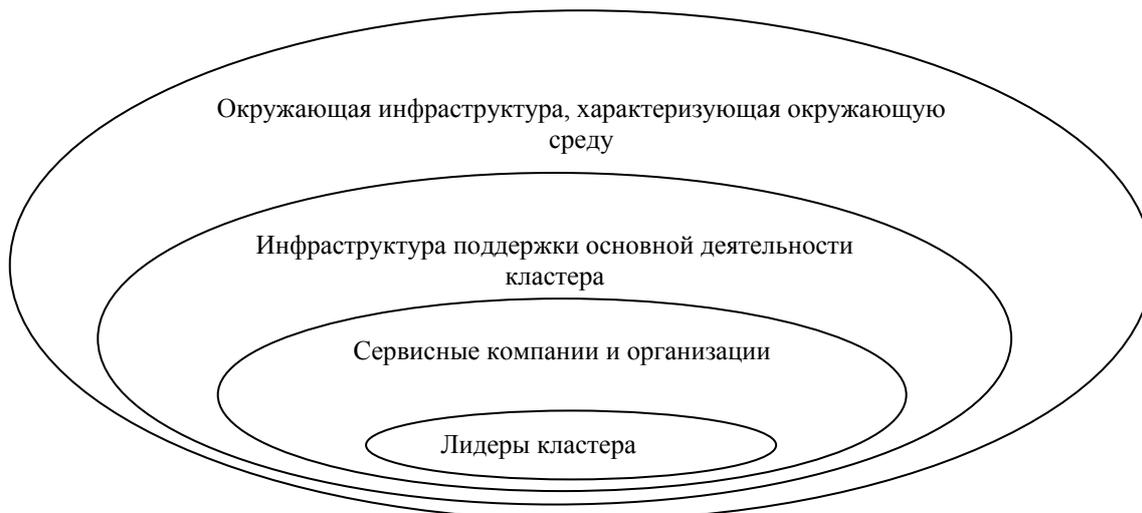


Рис. 1. Концепция организации предприятий машиностроительного комплекса на основе кластерного подхода

Таким образом, управление предприятиями машиностроительного комплекса на основе кластерного подхода – процесс актуальный и необходимый, направленный на повышение конкурентоспособности предприятий данной отрасли, переход их на новый качественный уровень, в т.ч. и международный, при этом развивая национальную экономику с максимизацией собственной прибыли.

Литература.

1. Баутин В.М., Шаталов М.А. Интеграция предприятий пищевой промышленности и сопряженных отраслей на основе кластерного подхода // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1 (63). С. 210-216.
2. Мычка С.Ю. Кластер как приоритетная форма интеграции науки, бизнеса и образования // Территория науки. 2014. № 3. С. 9-12.
3. Шаталов М.А., Мычка С.Ю. Организационно-экономические аспекты кластерного развития предприятий АПК// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т.2. № 5-3. С. 459-463.
4. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э., Мычка С.Ю. Кластерный подход развития регионов // Территория науки. 2015. № 2. С. 142-145.
5. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Совершенствование механизма государственного регулирования металлургического комплекса в условиях нестабильности внешней среды // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 1. С. 67-73.

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

М.А. Шаталов, к.э.н., доц., С.Ю. Мычка, ст. преподаватель

Воронежский экономико-правовой институт

394042, г. Воронеж, пр. Ленинский, 119а, тел. (473)-272-79-39

E-mail: amista2007@rambler.ru

Инновационная деятельность является базисом активного развития любой экономической системы, обеспечивая высокую конкурентоспособность государства в условиях нестабильности внешней среды. Уровень развитости и совершенствования национальной инновационной деятельности образует фундамент стабильного экономического роста, что определяет место страны в мировом разделении труда.

В современной системе хозяйствования машиностроительный комплекс представляет собой одну из базовых отраслей промышленности и, соответственно, ее уровень должен отвечать стратеги-

ческим задачам обеспечения качественной продукцией отечественный и зарубежный рынок со стабильным позиционированием и конкурентоспособностью.

Особенностью предприятий машиностроительного комплекса как инновационного объекта являются высокие капиталоемкость, материалоемкость, энергоемкость производств, а также продолжительность инвестиционного цикла.

Для эффективного развития предприятий машиностроительного комплекса также необходимо уделять большое внимание механизму правового и нормативного обеспечения системы управления инновационными мероприятиями на отраслевых предприятиях (Рисунок 1).



Рис. 1. Механизм нормативно-правового обеспечения системы инновационного менеджмента машиностроительного комплекса

Что касается перспектив развития рынков машиностроения и факторов, которые оказывают влияние на конкурентоспособность российских предприятий машиностроительного комплекса (Рисунок 2), то в качестве главной цели развития отраслевых предприятий является производство качественной конкурентоспособной продукции для внутреннего и внешнего рынка. Для реализации поставленной цели необходимо внедрение инноваций и инновационной политики в рамках функционирования предприятия на всех производственных циклах.

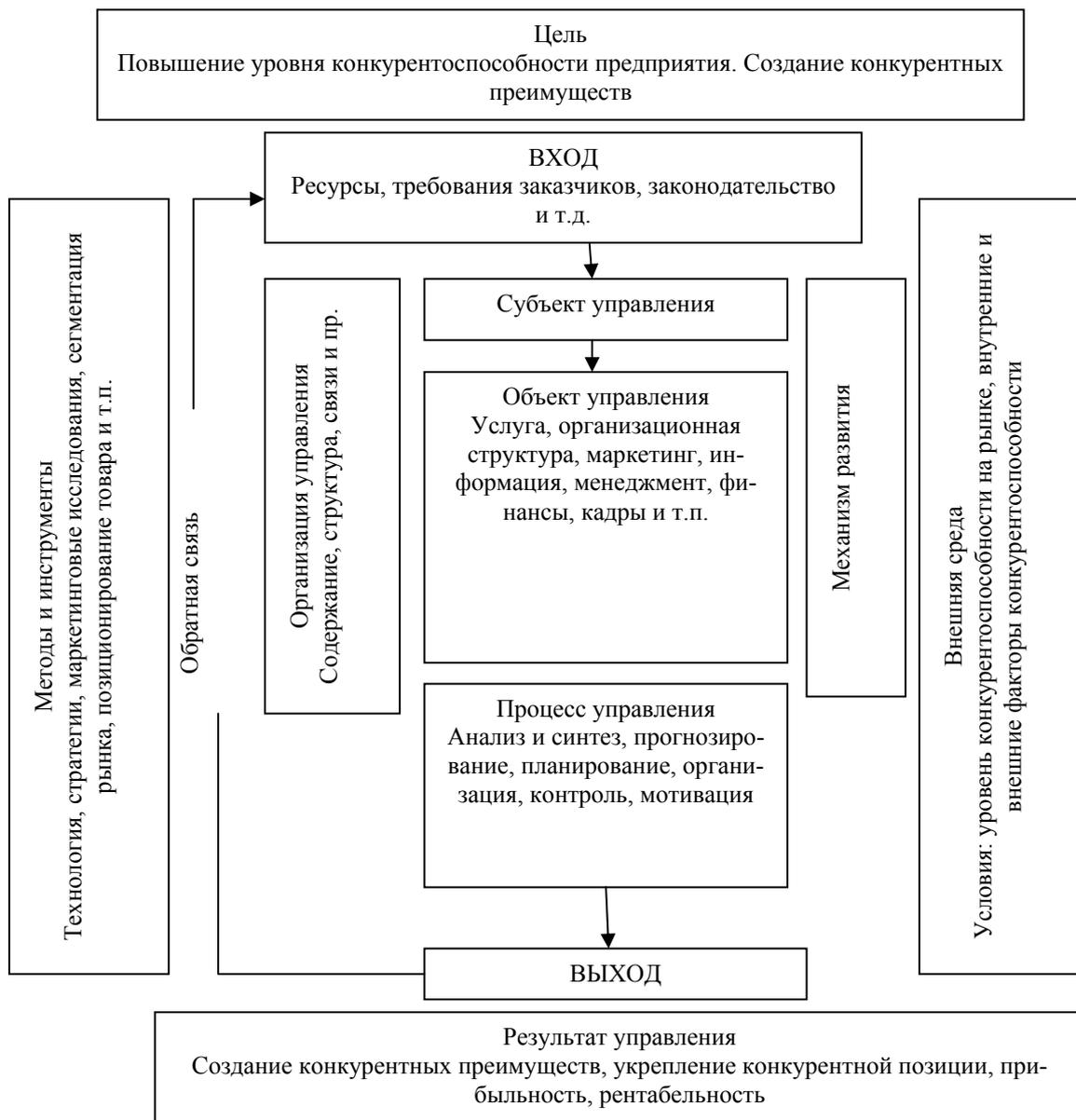


Рис. 2. Модель организационно-экономического механизма управления конкурентоспособностью предприятия

Повышение инновационной деятельности гарантирует устойчивое развитие предприятий машиностроительного комплекса, обеспечивает кардинальное обновление производственного потенциала и пр.

На основе ускорения темпов внедрения инновационных процедур предусматривается совершенствование производственной структуры предприятий машиностроительного комплекса, в основном, за счет повышения удельного веса конкурентоспособных мощностей, а также увеличения мощностей для усовершенствованной продукции, доли импортозамещающих и новых производств. Данные процессы позволяют улучшить структуру и ассортимент продукции, максимизировать ее конкурентоспособность, адекватность требованиям рынков.

Изменения прогрессивного характера в структуре производства предприятий машиностроительного комплекса предполагают дальнейшие институциональные метаморфозы в оргсреде: организация

мощных вертикально-интегрированных и диверсифицированных структур, которые обладают способностью успешно и эффективно конкурировать на внутреннем и внешнем рынках машиностроения.

Как отмечалось ранее, в современных условиях развития предприятий машиностроительного комплекса в целом конкурентоспособность в большинстве своем зависит от их способности создавать и адекватно воспринимать инновации.

Крупнейшие компании машиностроительного комплекса мира имеют в своем составе научно-исследовательские и научно-производственные центры, основной задачей которых является создание и внедрение технологических инноваций в производство. Сегодня именно эти компании являются лидерами в технологиях и определяют технологическое развитие отрасли.

Основной проблемой поддержки и развития научно-технического потенциала отраслевых предприятий остается проблема инвестирования средств в НИОКР, научные достижения. На сегодняшний день в качестве определяющих источников средств, которые применяются для финансирования инновационной деятельности, можно выделить:

- бюджетные ассигнования, выделяемые на различных уровнях;
- средства специализированных фондов для инвестирования в НИОКР;
- собственные активы и средства предприятия;
- привлеченные финансовые активы сторонних коммерческих организаций;
- кредитные ресурсы и т.п.

Для повышения эффективности инновационного обеспечения предприятий машиностроительного комплекса необходимо проведение следующих мероприятий [1-3]:

- укрепление научно-технической инфраструктуры с привлечением финансирования крупными инвесторами;
- развитие проектно-конструкторских подразделений, способных удовлетворять все возрастающие потребности рынка в современных условиях;
- развитие информационных, а также маркетинговых служб с применением современных новейших технологий и т.д.

Следовательно, на основании анализа вышеуказанных проблем инновационного развития предприятий машиностроительного комплекса нами предложены следующие рекомендации по увеличению благоприятных экономических условий для эффективного внедрения и использования инновационных процессов [4-5]:

- Поддержка ключевых экономических сфер через государственные заказы;
- Создание интегрированных производств с иностранными предприятиями;
- Модернизация производственных мощностей на основе инноваций и др.

Таким образом, нами видится, что предложенные мероприятия по решению актуальных проблем инновационного развития предприятий машиностроительного комплекса позволят сохранить и повысить уровень конкурентоспособности на мировом рынке с установлением стабильного роста экономики государства.

Литература.

1. Ахмедов А.Э., Ахмедова О.И., Смольянинова И.В. Инвестиции в инновационные изменения как ключевой фактор развития региональной экономики // Территория науки. 2014. № 4. С. 11-18.
2. Мычка С.Ю., Богданова Т.Н., Воронкова В.В. Инновационные формы маркетинговой деятельности предприятия // Территория науки. 2015. № 1. С. 81-85.
3. Смольянинова И.В., Ахмедов А.Э. Система стратегического управления предприятием в условиях развития инновационной деятельности. Воронеж, 2013.
4. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Совершенствование механизма государственного регулирования металлургического комплекса в условиях нестабильности внешней среды // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 1. С. 67-73.
5. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В. Обоснование стратегии диверсификации предпринимательских структур в условиях нестабильности внешней среды // Государственный советник. 2015. № 1. С. 9-13.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

П.М. Глеков, аспирант

Воронежский экономико-правовой институт

394042, г. Воронеж, пр. Ленинский, 119а, тел. (473)-272-79-39

E-mail: amista2007@rambler.ru

Рыночные условия хозяйствования и общественно-политическая ситуация развития российской экономики, требуют задействования усилий всех хозяйствующих субъектов экономики, а в первую очередь промышленных структур. Факторы экономического роста разнонаправлены, так как складываются не только на региональном уровне, но и на уровне предприятия, взаимодействуя с внутренней и внешней средой. Эффективность управления предприятием заключается в способности принимать оперативные управленческие решения по адаптации предприятия к изменениям в рыночных условиях и формированию механизма обеспечения устойчивого развития предприятия.

Следовательно, механизм устойчивого развития предприятия - это такое состояние предприятия, при котором все его основные элементы находятся в состоянии поддерживать свои параметры в определенном диапазоне. Переход к устойчивому развитию означает создание сбалансированной системы, сочетающей социальную справедливость, экологическую безопасность и экономическую эффективность [1].

Отсюда, следует выделить следующие характеристики устойчивого развития:

- надежность функционирования предприятия;
- конкурентоспособность предприятия и его продукции (работ, услуг);
- гибкость предприятия по отношению к внешней среде;
- система риск менеджмента;
- экономическая безопасность предприятия.

Одной из основных задач развития промышленности является формирование механизма принятия управленческих решений на уровне предприятий для обеспечения их устойчивого развития. Эта задача – обусловлена условиями общих финансово-экономических проблем экономики, взаимодействия субъектов рынка, организации внутрипроизводственных отношений в деятельности предприятий.

Логическая модель механизма управления эффективным развитием машиностроительного предприятия представлена на рис.1.



Рис. 1. Модель механизма обеспечения устойчивого развития машиностроительного предприятия

Проведенные исследования позволили обосновать механизм управления устойчивым развитием машиностроительных предприятий, учитывающий систематизированные авторами перспективные направления и инструменты развития, и включающий в себя алгоритм, отличительным свойством которого является возможность своевременной оценки возможных затрат и выбора оптимального портфеля мероприятий по реализации стратегии устойчивого развития.

При этом целью устойчивого развития отраслевых предприятий является их переход в новое качественное состояние за счет усиления производственно-хозяйственных связей, что в конечном итоге обеспечит формирование эффектов взаимодействия за счет устранения нерационального посредничества.

Отсюда, ключевой составляющей достижения указанной цели являются формирование новых адаптированных предпринимательских структур на основе своевременного анализа межотраслевых пропорций и региональных особенностей развития лесопромышленного комплекса, а также прогнозирования и диагностики внутренних и внешних потенциалов развития.

Следовательно, формирование механизма управления устойчивым развитием рассматривает как обязательный элемент моделирование и прогнозирование стратегий развития и может служить основой для выбора оптимального «портфеля» мероприятий по повышению эффективности финансово-хозяйственной деятельности предпринимательских структур машиностроительного комплекса.

При этом определение уровня устойчивого развития машиностроительного предприятия имеет два основных назначения:

- теоретическое определение сущности и содержания устойчивого развития предприятия;
- практическая разработка и использование показателей управления деятельностью предприятия для повышения устойчивого развития [2].

Для гарантии устойчивого развития предприятий машиностроительного комплекса необходимо осуществлять деятельность по следующим направлениям, чтобы устранить причины неустойчивого положения внутри отрасли:

- ориентация на рынок и конкуренцию;
- обеспечение прибыльности;
- снижение издержек;
- повышение управляемости и гибкости организационной структуры;
- повышение инвестиционной и инновационной активности;
- создание механизмов снижения риска потерь и др. [3].

Вместе с тем, если рассматривать устойчивое развитие машиностроительного предприятия в целом, то можно представить два общих направления поступательного развития предприятия:

- самосохранение предприятия, когда целью его деятельности является только выживание, и отсутствует задача стать лидером на рынке;
- саморазвитие предприятия, когда предприятие наиболее полно использует производственный потенциал, ресурсы и нацелено на увеличение объемов производства и реализации продукции, т.е. цель предприятия – устойчивое развитие [4; 5].

Таким образом, предприятие способно работать безотказно, обеспечивая постепенное развитие под действием приложенных сил. Сила, которая обеспечивает функционирование предприятия – это и есть механизм обеспечения устойчивого развития предприятия, наличие которого является одним из основных признаков высокоразвитого предприятия [1].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что на устойчивость развития предприятия может влиять множество факторов, но для эффективного функционирования деятельности важен не только характер факторов, но и сам механизм, который способен обеспечить устойчивое развитие предприятия.

Литература.

1. Ахмедов А.Э., Ахмедова О.И., Шаталов М.А. Адаптивные стратегии развития предприятий мебельной промышленности Воронежской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 394-398.
2. Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В., Шаталов М.А. Корпоративные финансы. Воронеж, 2015. – 180 с.
3. Мычка С.Ю., Шаталов М.А. Аутстаффинг в системе оптимизации бизнес-процессов организации // Территория науки. 2015. № 2. С. 121-124.

4. Шаталов М.А., Давыдова Е.Ю., Болдырев В.Н. Формирование механизма управления устойчивым развитием предприятий мебельной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 483-486.
5. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Совершенствование механизма государственного регулирования металлургического комплекса в условиях нестабильности внешней среды // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 1. С. 67-73.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

А.Э. Ахмедов, к.э.н., доц., И.В. Смольянинова, к.э.н., доц.

Воронежский экономико-правовой институт

394042, г. Воронеж, пр. Ленинский, 119а, тел. (473)-272-79-39

E-mail: amista2007@rambler.ru

Государственная функция регулирования деятельности предпринимательства, в том числе, с точки зрения устойчивого развития является важнейшей составляющей функционирования предприятий в промышленном секторе. Особенно важно, чтобы эта функция проявляла себя в период нестабильности внешней среды, в том числе глобального характера. Государственное регулирование особенно важно для машиностроительных предприятий, поскольку в России преобладает крупное и среднее предпринимательство.

Машиностроительный комплекс традиционно имеет высокую капиталоемкость и наукоемкость. Его особенностью является консолидация предпринимательских структур для повышения конкурентоспособности и использование франчайзинга и интеграции по вертикальному типу. В настоящее время мировой рынок машиностроительной продукции представлен несколькими многопрофильными корпорациями.

В последние годы машиностроительный комплекс развивались достаточно успешно. Однако глобальные экономические процессы наложили свой отпечаток на развитие исследуемой отрасли. Так, в частности, в условиях мировых финансовых и экономических кризисов 2008 – 2012 г.г. из-за возникновения множества, прежде всего макроэкономических рисков, существенно изменились результаты деятельности рынка машиностроения, что нашло свое отражение в тенденции снижения экономической активности хозяйственных образований.

В условиях затянувшегося финансово-экономического кризиса предприятия машиностроительного комплекса находятся в сложном взаимодействии с негативными факторами внутренней и внешней среды (высокий уровень износа основных промышленно-производственных фондов, низкая восприимчивость предприятий к внедрению инноваций, дисбаланс спроса и предложения, острая конкуренция с зарубежными производителями). В этой связи возникает необходимость обеспечения соответствия показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий, требованиям мирового уровня конкурентоспособности и, в конечном счете, прибыльности и рентабельности, априорно взаимосвязанное с устойчивым развитием [1; 5].

Однако, проведенный анализ и оценка тенденций и закономерностей развития предприятий машиностроительного комплекса выявили значительные стратегические разрывы между существующим и желаемым состоянием использования рыночного потенциала.

В этой связи в условиях экономической нестабильности внешней среды необходим научно-обоснованный анализ и классификация факторов риска, затрудняющих устойчивое развитие отрасли, которые в экономической теории принято делить на две группы.

Применительно к исследуемой отрасли промышленности, на наш взгляд, можно выделить следующие ключевые факторы риска. Среди внутри отраслевых рисков это, прежде всего высокий уровень износа основных промышленно-производственных фондов отраслей, низкая восприимчивость предприятий к внедрению инноваций, дисбаланс спроса и предложения на внутреннем рынке. Среди внешних факторов необходимо отметить вступление в ВТО, которое неминуемо повлечет острую конкуренцию с зарубежными производителями, прежде всего Китая и других стран азиатского региона на рынках машиностроения.

Основываясь на выделенных отраслевых рисках, произведем оценку их влияния на обеспечение устойчивого развития исследуемой отрасли промышленности (рисунок 1).

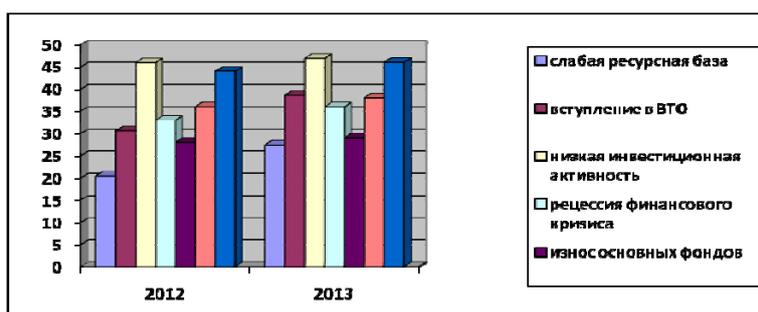


Рис. 1. Оценка влияния факторов риска в машиностроении

В условиях глобального рынка машиностроительный комплекс сталкивается с агрессивной ценовой политикой крупных транснациональных компаний, выходящих на отечественный рынок. Макроэкономическая конъюнктура способствует снижению рентабельности выпускаемой продукции, а в производстве продукции отрасли наблюдается высокий уровень использования импортных комплектующих.

При этом, особую роль в поступательном развитии машиностроительного комплекса, на наш взгляд, должно играть государство. В условиях произошедшего вступления в ВТО наиболее эффективной и рациональной представляется политика государства по стимулированию интеграционных процессов, а также по обеспечению защиты интересов отечественных товаропроизводителей от недобросовестной конкуренции иностранных компаний.

Отсюда первоочередными задачами госрегулирования устойчивого развития отраслей машиностроения являются: обеспечение благоприятных правовых, организационных и экономических условий для формирования и функционирования предприятий машиностроительного комплекса, поддержка инвестиционной и инновационной составляющей устойчивого развития; обеспечение баланса экономических и социальных аспектов деятельности предприятий; обеспечение эффективного выхода отраслевых холдингов на международные рынки [3; 6].

На основании предложенной системы целеполагания мы предлагаем следующие меры государственного содействия обеспечению устойчивого развития машиностроительного комплекса (рисунок 2).



Рис. 2. Направления государственного содействия обеспечению устойчивого развития предприятий машиностроительного комплекса

Представленные нами предложения по защите отечественных товаропроизводителей, конкурентные позиции которых ухудшаются под влиянием зарубежных производителей, обеспечат возможности для поддержания спроса на выпускаемую ими продукцию на внутреннем рынке. Вместе с тем дальнейшее повышение конкурентоспособности отечественных предприятий неразрывно связано с ускорением развития инвестиционной и инновационной деятельности.

Таким образом, как было отмечено выше, в условиях нестабильности экономики предприятия машиностроительного комплекса находятся в сложном взаимодействии с негативными факторами внутренней и внешней среды. В этой связи возникает необходимость совершенствования механизма управления устойчивым развитием предпринимательских структур машиностроительного комплекса, смещая акцент на априорно взаимосвязанное инвестиционно-инновационное развитие, направленное на создание адаптивных форм хозяйствования.

Литература.

1. Ахмедов А.Э., Шаталов М.А., Смольянинова И.В. Государственное регулирование агропромышленного производства в условиях реализации политики импортозамещения // Регион: государственное и муниципальное управление. 2015. № 1. С. 1.
2. Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В., Шаталов М.А. Формирование системы мониторинга и прогнозирования деятельности экономических систем // Территория науки. 2015. № 4. С. 148-153.
3. Мычка С.Ю., Шаталов М.А. Аутстаффинг в системе оптимизации бизнес-процессов организации // Территория науки. 2015. № 2. С. 121-124.
4. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э. Совершенствование механизма государственного регулирования металлургического комплекса в условиях нестабильности внешней среды // Вести высших учебных заведений Черного моря. 2015. № 1. С. 67-73.
5. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В. Обоснование стратегии диверсификации предпринимательских структур в условиях нестабильности внешней среды // Государственный советник. 2015. № 3. С. 9-13.
6. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э., Мычка С.Ю. Кластерный подход развития регионов // Территория науки. 2015. № 2. С. 142-145.

МАТРИЧНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Т.Д. Кожина, докт. техн. наук, В.Ю. Ерошков, канд. техн. наук

*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева,
г. Рыбинск*

E-mail: proectnir@rgata.ru; eroschkow@mail.ru

Надёжность, ресурс работы и экономичность газотурбинного двигателя во многом определяются качеством изготовления его деталей. Высокая точность при малой жесткости деталей, повышенные требования к качеству поверхности и физико-механическим свойствам материала, использование жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов обуславливает применение прогрессивных методов получения заготовок деталей и их последующей обработки.

Диски являются наиболее характерными деталями ГТД, имеющими соответствующие сложности изделия конструктивно-технологические признаки. Так, ответственные диски компрессоров и турбин авиационных двигателей работают с большими нагрузками при высоких числах оборотов. Необходимость уменьшения веса двигателей приводит к усложнению формы данных деталей, заставляет делать их пустотелыми. С точки зрения механической обработки наиболее сложны в изготовлении диски компрессоров, так как внешние поверхности этих деталей представляют собой различные комбинации цилиндрических поверхностей, фланцев, зубчатых колес, пазов под лопатки и других поверхностей, имеющих малую жесткость.

Качество реализации технологии обработки дисков компрессоров ГТД представляет результат взаимодействия ряда факторов, в большей или меньшей степени влияющих на эксплуатационные характеристики данных деталей [1]. В частности, для дисков компрессора ГТД характерна тщательная обработка даже несопрягаемых поверхностей, широкое применение различных методов упрочняющих технологий, а также нанесения или синтеза покрытий и химической обработка. Диски подвергаются термической или термохимической обработке, что значительно усложняет технологию

ские процессы их изготовления, увеличивает цикл их изготовления вследствие необходимости введения дополнительных операций и увеличения технологического маршрута. Для обеспечения требуемой точности обработки при проектировании технологических процессов в авиадвигателестроении особое внимание уделяют выбору технологических баз. С этой же целью поверхности дисков ГТД обрабатывают за несколько этапов. Выбирая методы обработки, в особенности на финишных операциях, учитывают возможность появления наклёпа и остаточных напряжений, которые заметно влияют на эксплуатационные характеристики данных деталей.

Кроме того, производство авиадвигателей отличается также особой тщательностью контроля. Все ответственные детали и узлы подвергаются стопроцентному контролю с использованием специальных автоматизированных средств, тем не менее, некоторые труднодоступные места таких деталей могут быть проконтролированы только косвенными методами за счет контроля непосредственно инструмента и процесса обработки.

Все вышеперечисленные факторы следует учитывать технологу при проектировании технологических процессов и расчете режимов обработки деталей.

Назначение технологических условий обработки на основании расчета матриц технологических и эксплуатационных показателей

На практике технологу предприятия требуется анализировать как внешние факторы производства, касающиеся требований конструктора и себестоимости изделия, так и внутренние – уровень технологической оснащённости и возможности оборудования.

В первую очередь анализируются технические требования, заложенные в чертеже изделия, например, закладываются требования к шероховатости поверхностей Ra , пределу прочности σ_b , качеству обработки посадочных поверхностей (полировке), методам контроля материала заготовки и др. Эти требования являются основными при назначении технологических условий обработки.

Кроме этого, требуется назначить технологические условия обработки, которые обеспечили бы не только заданные эксплуатационные показатели, но и технико-экономические показатели, или максимальную размерную стойкость инструмента, или требуемую точность обработки, а если этого требует разрабатываемый технологический процесс, заданные параметры качества поверхностного слоя или любой другой вариант из вышеперечисленных.

Системный учет всех стадий воздействия на поверхностный слой изготавливаемой детали внешних и внутренних факторов, влияющих на процесс обработки, дает возможность прогнозировать технологическую наследственность обработки и создавать готовые изделия с требуемыми эксплуатационными характеристиками без применения разрушающих методов контроля и отделочных методов обработки.

В качестве рекомендаций, на основании проведенных расчетов, технологом могут быть предложены дополнительные технические требования, обеспечивающие эксплуатационные характеристики, которые конструктор может внести в чертеж.

Результаты проведенной работы позволяют внести коррективы в существующие технологические процессы, изменяющие структуру и содержание самой обработки тяжело нагруженных деталей газотурбинных двигателей.

Рассмотрим реализацию данных положений на практике.

В результате ряда исследований разработана методика назначения режимов обработки на основе анализа матрицы групп технологических показателей и эксплуатационных показателей и построенный на ее основе многоуровневый алгоритм оптимизации технологических условий обработки, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики. Данные инструменты могут быть использованы для различных задач технолога и требований конструктора, которые они предъявляют при разработке конструкции детали и технологического процесса ее изготовления в зависимости от факторов внешней и внутренней среды, т.е. от назначения, условий работы и технологической оснащённости [2], [3].

На практике не всегда есть необходимость в выполнении расчетов по полной программе, т.е. в обеспечении эксплуатационных показателей деталей через контроль параметров качества поверхностного слоя и выполнении технико-экономических критериев: максимальной производительности, минимальной себестоимости или того и другого вместе. С целью упрощения расчетов была разработана матрица возможных вариантов расчета на базе многоуровневого алгоритма оптимизации, по которой возможен выбор необходимого расчета режимов обработки, исходя из требований разработчика или заказчика.

Примеры матриц возможных вариантов расчета технологических условий обработки представлены в таблицах на рис.1. В данном случае приняты следующие условные обозначения:

C_{min} – технологические условия обработки, обеспечивающие минимальную себестоимость технологической операции;

P_{max} – технологические условия обработки, обеспечивающие достижение максимальной производительности;

C, P – технологические условия обработки, обеспечивающие оптимальное сочетание себестоимости и производительности при выполнении технологической операции;

σ_{\perp}, y, I, V – технологические условия обработки, обеспечивающие соответственно требуемый предел выносливости, величину сближения контактирующих поверхностей, интенсивность износа, объем зазора в стыке, т. е. эксплуатационные показатели;

T_p – технологические условия обработки, обеспечивающие заданную стойкость инструмента;

$\Delta_{изн}$ - технологические условия обработки, обеспечивающие требуемый износ инструмента (особенно это важно при смене инструмента);

$T_p, \Delta_{изн}$ - технологические условия обработки, обеспечивающие заданную стойкость инструмента и заданную фаску износа одновременно.



Рис. 1. Матрица групп технологических и эксплуатационных показателей

В строках и столбцах таблиц матрицы (см. рис.2) указаны возможные сочетания различных показателей и параметров, в обеспечении которых при обработке может существовать необходимость. На пересечении строк и столбцов таблиц с помощью условных обозначений показана целесообразность обеспечения того или иного сочетания показателей. Знаком «+» помечены те сочетания показателей, обеспечение которых целесообразно и может быть осуществлено с использованием многоуровневого алгоритма оптимизации. Отсутствие вышеуказанного знака свидетельствует о том, что данное сочетание показателей обеспечивать нецелесообразно в связи с тем, что существуют прямые зависимости между некоторыми из них.

Так, например, разработка технологических условий обработки, обеспечивающих требуемые значения остаточных напряжений и глубины наклепа в сочетании с выполнением условия о минимальной себестоимости обработки, целесообразно и может быть осуществлена посредством вышеупомянутого алгоритма.

Из анализа матрицы можно сделать вывод о том, что разрабатывать режимы обработки, обеспечивающие наряду с заданными величинами предела выносливости, сближения контактирующих поверхностей, интенсивности износа и объема зазора в стыке требуемые значения остаточных напряжений и стойкости инструмента нецелесообразно, потому что величина остаточных напряжений

по разработанному алгоритму и методике расчета, также как и стойкость инструмента, зависит от заданного первоначально эксплуатационного показателя, и их величина является результатом промежуточного звена общей цепи расчета, т.е.

$$\sigma_{-1} \Rightarrow f(\sigma_{ocm}, \Delta_{\Sigma}) \Rightarrow f(S, V, t) \quad (1)$$

Если проанализировать таблицы 1 - 5, то можно выявить следующие сочетания показателей и параметров, для обеспечения которых является целесообразной и может быть осуществлена разработка технологических условий обработки с помощью многоуровневого алгоритма оптимизации:

1. Предел выносливости (σ_{-1}), минимальная себестоимость обработки (C_{min});
2. Предел выносливости (σ_{-1}), максимальная производительность обработки (Π_{max});
3. Предел выносливости (σ_{-1}), оптимальное сочетание между себестоимостью и производительностью обработки (C, Π);
4. Величина сближения контактирующих поверхностей (y), интенсивность износа (I), величина суммарной погрешности обработки (Δ_{Σ}), минимальная себестоимость обработки (C_{min});
5. Предел выносливости (σ_{-1}), величина сближения контактирующих поверхностей (y), объем зазора в стыке (V), величина суммарной погрешности обработки (Δ_{Σ}), максимальная производительность обработки (Π_{max});
6. Предел выносливости (σ_{-1}), величина сближения контактирующих поверхностей (y), объем зазора в стыке (V), величина суммарной погрешности обработки (Δ_{Σ}), оптимальное сочетание между себестоимостью и производительностью обработки (C, Π);
7. Предел выносливости (σ_{-1}), интенсивность износа (I), объем зазора в стыке (V), величина суммарной погрешности обработки (Δ_{Σ}), минимальная себестоимость обработки (C_{min});
8. Шероховатость поверхности (Rz), величина остаточных напряжений ($\sigma_{ост}$), стойкость инструмента (Tr);
9. Величина сближения контактирующих поверхностей (y), объем зазора в стыке (V), величина остаточных напряжений ($\sigma_{ост}$), величина суммарной погрешности обработки (Δ_{Σ}), фаска износа инструмента ($\Delta_{изн}$), оптимальное сочетание между себестоимостью и производительностью обработки (C, Π) и т.д.

Например, необходимо определить технологические условия обработки, обеспечивающие заданную величину погрешности обработки и глубину наклепа с учетом максимальной производительности или заданный предел выносливости и максимальную производительность обработки. Это осуществляется следующим образом:

1) перед началом работы дается команда управляющей программе по выбору целевой функции в данном случае:

$$\begin{cases} y_1 = f(h_c) \\ y_2 = f(\Delta_{\Sigma}) \\ y_3 = f(\Pi_{max}) \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} y_1 = f(\sigma_{-1}) \\ y_2 = f(\Pi_{max}) \end{cases} \quad (2)$$

2) ведется расчет по методике, представленной ранее, где итогом является назначение подачи, скорости и глубины резания (с учетом припуска на обработку), а, если необходимо, то выдаются рекомендации по смене первоначальной геометрии инструмента ($\varphi, \varphi_1, r, \alpha, \gamma, \dots$),

3) расчет технологических условий может осуществляться как в пакетном режиме, так и в диалоговом, что зависит от требований заказчика.

Системный учет всех стадий воздействия на поверхностный слой изготавливаемой детали внешних и внутренних факторов, влияющих на процесс обработки, дает возможность прогнозировать технологическую наследственность обработки и создавать готовые изделия с требуемыми эксплуатационными характеристиками без применения разрушающих методов контроля и отделочных методов обработки. Результаты проведенной работы позволяют внести коррективы в существующие технологические процессы, изменяющие структуру и содержание самой обработки тяжело нагруженных деталей газотурбинных двигателей.

Производственная реализация методики определения технологических условий обработки и результаты экспериментальных исследований деталей и образцов

В качестве примера практического применения результатов исследования в условиях промышленных предприятий рассмотрим технологический процесс изготовления диска компрессора ГТД, а также структуру его изменения в свете использования автоматической системы управления технологическими условиями обработки (рис.2., табл. 1).

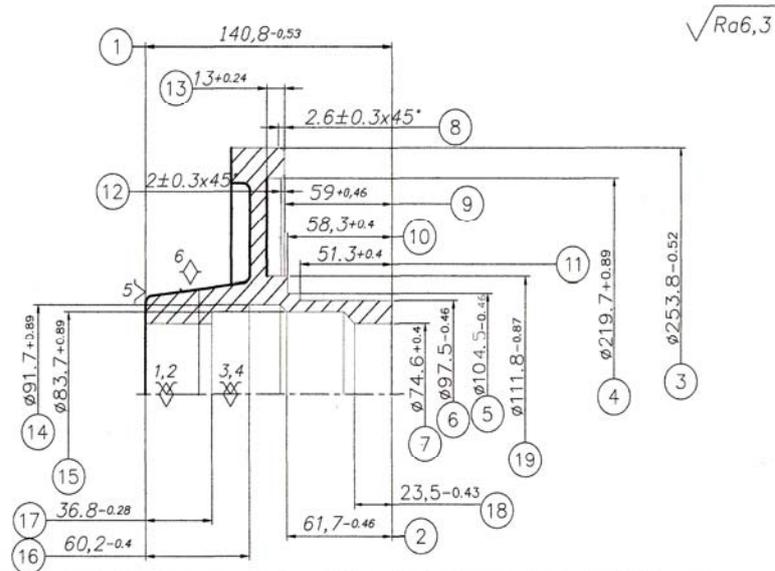


Рис. 2. Эскиз обработки заготовки диска компрессора ГТД на токарной операции

Из расчетов видно, что на различные токарные операции (проточить пов. 1, 4, 5, ..., 12, 13, 14, ...) назначен практически один и тот же режим обработки ($S=0,2\text{мм/об}$, $n=48\text{об/мин}$), независимо от различной длины обработки и величины допуска Δ . Если при этом воспользоваться справочными данными, то практически, как видно из таблицы, это ничего не меняет в процессе проведения токарной операции, причем даже в сравнении с заводской технологией справочный материал получается со слишком завышенной скоростью обработки, но при этом совершенно не учитывающий заданную чертежом детали величину высоты неровностей обработанной поверхности.

Это подтверждают и заводские испытания диска компрессора одного из серийно выпускаемых изделий ГТД, обработанного по существующей технологии - обнаружено свечение люминофора в виде продольных трещин (рис. 3, а) по полотну дисков.

Таблица 1

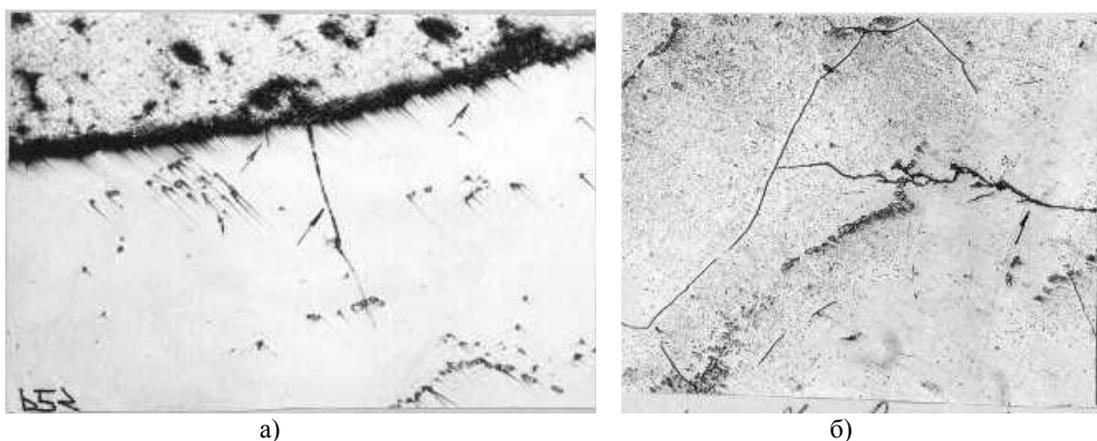
Фрагмент технологического процесса токарных операций диска компрессора 2 ступени ГТД (материал диска ВТЗ-1)

I Существующая производственная технология				II Справочные данные			
Инструментальный материал – ВК8 $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = 5^\circ$ $\gamma = 5^\circ$ }заточивает рабочий $r = 0,5\text{ мм}$, $l_{\text{обр}} = 50\text{мм}$, $t = 1,5\text{ мм}$, $S = 0,2\text{мм/об}$ Параметры качества: $Ra = 2,5\text{ мкм}$, $\Delta = \begin{matrix} 0,00 \\ -0,26 \end{matrix}\text{ мм}$.				Инструментальный материал – ВК8 $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $r = 0,5\text{ мм}$, $l_{\text{обр}} = 50\text{мм}$, $t = 1,5\text{ мм}$, $S = 0,2\text{ мм/об}$, Обработка поверхности ←: $V = \frac{125}{T^{0,35} \cdot 0,2^{0,4} \cdot 1,5^{0,2}} = \frac{125}{T^{0,35} \cdot 0,525 \cdot 1,08} = \frac{220,5}{T^{0,35}}$ Режим обработки: при $T = 60\text{ мин}$, $V = 52,6\text{ м/мин} = 0,876\text{ м/с}$, $n = 200\text{ об/мин}$, $S = 0,2\text{ мм/об}$.			
	n	S	i				
1) Проточить пов. 1	48	0,2	2				
2) Проточить пов. 4, 5 и R 3, 6	48	0,2	2				
3) Проточить пов. 11	48	0,2	2				
4) Проточить пов. 12, 13, 14 и R 18	48	0,2	2				
5) Проточить фаску 10	48	руч-ная					

Отметим, что трещина начинает образовываться от поверхности и распространяться на глубину, т.е. усталость идет от поверхности. При этом развиваются сжимающие остаточные напряжения,

величина которых колеблется от -200 до -480 МПа при глубине наклепанного слоя более 40 мкм, со степенью наклепа $13-29\%$ и потерей пластичности материала.

Контроль механических свойств, проводившийся на образцах, изготовленных из ободной и ступичной части, свидетельствует о том, что после длительной эксплуатации на изделии (наработка 4805 циклов) микроструктура материала удовлетворительная, а трещины расположены по телу зерен, что характерно для усталости (рис.3, б). Общая протяженность усталостных трещин $6-10$ мм, их глубина – до $0,7$ мм.



а) б)
 Рис. 3. Вид растрескивания полотна дисков компрессора:
 а) фотография микроструктуры диска (увеличение $\times 200$),
 б) вид трещины на микрошлифе диска (увеличение $\times 200$).

Усталостные изломы образовались на дисках в процессе испытаний из-за того, потому что заводской режим, представленный в табл. 6, соответствует глубине наклепа 86 мкм, если его рассчитывать по методике, предложенной в работе, а это соразмерно с глубиной распространения трещины ($0,4 - 0,7$ мм). Результаты производственных испытаний свидетельствуют о том, что ни один отделочный метод обработки не снимет усталостную трещину, развивающуюся на глубину $0,7$ мм, а только упрочнит поверхность обработанной детали, не решая при этом проблему долговечности.

Если воспользоваться разработанной программой расчета технологических условий обработки (табл. 2), не меняя при этом структуры проведения технологического процесса, получим режим обработки, соответствующий по величине скорости резания нормативному, а по значению высоты неровностей обработанной поверхности - значительно меньшей ($R_z = 9,8$ мкм) по сравнению с заданной чертежом, причем с величиной наклепанного слоя $h_c = 86$ мкм и погрешностью обработки $\delta_z = -67,75$ мкм [5].

Таблица 2

Расчет по разработанной методике и программе (материал инструмента ВК8 ($\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $r = 1$ мм, $\rho = 30$ мкм, $\delta_{изн} = 100$))

№пов.	$R_{нар}$	$t_{рез}$	l	Требуемые характеристик.		Расчетные Характеристики				Параметры качества			
				Rz	$\delta_{диам}$	S	V	n	T	Rz	δ	h_c	$\sigma_{ост}$
6	157	2	49,6	10	-20...0	0,247	0,326	39,7	2,77	10	-19,61	180	-270
				10	-10...0	0,247	0,323	39,2	1,78	10	-10	160	-360

Следовательно, при проведении обработки по заводской технологии не учитываются резервы самого процесса, а при назначении режима резания по справочным данным - становится полностью исключенной точность обработки.

Результаты испытаний диска компрессора, обработанного на новых режимах и контроль микрошлифов показали отсутствие явных дефектов (нет усталостных трещин залегающих на значительную глубину) (рис.4), т.е. подтвердили адекватность разработанной методики и точность расчетов.

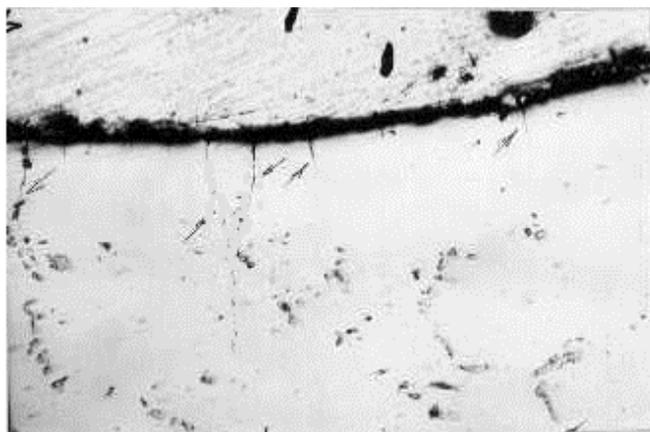


Рис. 4. Микроструктура диска после ЛЮМ-контроля (увеличение $\times 200$)

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в существующей технологии обработки типового диска компрессора ГТД режимы обработки назначены некорректно и только косвенно учитываются отдельные элементы выходных параметров обработки, не говоря уже о порядке выбора геометрии инструмента. Не учитываются как внешние факторы, связанные с эксплуатацией диска, так и внутренние, связанные с его обработкой. В соответствии с анализом технологических процессов и анализом заводских испытаний дисков следует считать, что режимы, необходимые для обработки ответственных деталей ГТД, в частности дисков, следует назначать строго регламентировано, с учетом групп технологических и эксплуатационных показателей, чтобы избежать образования дефектов, описанных выше.

С целью решения указанной проблемы может быть использован разработанный математический аппарат, позволяющий назначать технологические условия обработки. Для повышения эффективности и надежности расчетов режимов обработки использован многоуровневый алгоритм оптимизации, что позволяет проводить оптимизационный поиск с использованием выбираемых технологических дополнительных технологических условий процесса обработки, что значительно увеличивает возможности разработанной системы. Отличительной особенностью созданной методики является возможность использования ее для различных исходных данных, различных методов обработки, для различных технологических операций и использования в различных автоматических системах управления за счет возможности пластического изменения элементов алгоритма расчета.

Анализ производственных технологий свидетельствует о том, что предлагаемый подход к назначению технологических условий обработки, дает возможность создавать технологии, позволяющие значительно сократить время на внедрение новых изделий в производство и увеличении их надежности эксплуатации и долговечности за счет смены существующего подхода к нормированию технологических операций: сокращение числа проходов на операции; снятие дорогостоящих отделочных операций; прогнозирование эксплуатационных свойств деталей.

Литература.

1. Безъязычный В. Ф., Крылов В. Н., Полетаев В. А. и др. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей. Часть первая / В. Ф. Безъязычный, В. Н. Крылов, В. А. Полетаев и др.; Под ред. В. Ф. Безъязычного и В. Н. Крылова. – М.: Машиностроение, 2005. – 560 с.
2. Кожина Т.Д. Логическая система проектирования технологических операций с использованием расчетных методов назначения технологических условий обработки, основанных на обеспечении требуемых эксплуатационных показателей / Canadian Journal of Science and Education, Toronto, 2014, №2.
3. Кожина Т.Д. Определение физико-механических параметров обработки деталей ГТД на основе анализа температурных полей в зоне резания / Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьева, № 3 (30), 2014.

**УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА С УЧЕТОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

А.В. Пилипенко, к.т.н., PhD., О.В. Пилипенко, д.т.н., проф., А.П. Пилипенко

Приокский государственный университет

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, тел. (4862) 41-66-84

E-mail: a@pilipenko.info

В современном машиностроительном или инструментальном производстве на смену рабочему персоналу приходят дорогостоящие и высокоточные станки, однако и ими должны управлять люди. Оператор станка с ЧПУ, имеющий хороший опыт работы на станках Sodici или Fanuc [1], «стоит» чуть меньше «вагона с золотом». Одно только обучение аналогичного специалиста работе на одной из моделей станков обходится не менее 200 000 рублей. Увеличение спроса на специалистов по управлению опасным и дорогостоящим оборудованием влечет к стремлению обезопасить сотрудника и повысить качество его рабочего пространства и жизни. Отравление токсичными испарениями и газами, уменьшение внимательности и увеличение ошибок, нервный стресс и агрессивное поведение – это характерные признаки любого крупного производственного предприятия, которые отрицательно сказываются не только на качестве технологических процессов, но и влекут опасность для жизни сотрудников. Современное состояние информационных технологий позволяет развить телемедицинские технологии, а также перейти к постановке вопроса об автоматизации сбора данных о психофизических состояниях человека, а в дальнейшем и о прогнозировании медицинских состояний [2]. Дальнейшее развитие технологий мониторинга состояния человека и прогнозирования психофизических состояний позволит реализовывать адаптивные интеллектуальные системы управления, алгоритмы работы которых напрямую зависят от оператора и его показателей здоровья в определенный момент времени.

Общеизвестно, что в качестве сигналов функционального состояния человека используются показатели кожно-гальванической реакции, речевой деятельности, величины артериального давления, тонуса сосудов, диаметр зрачка и т.п. На основании данных, полученных с помощью этих сигналов, возможно определить текущее состояние человека. Имея достаточный набор достоверных сведений о состоянии человека и окружающей его среды, можно диагностировать и прогнозировать его медицинские состояния, начиная с эмоциональных изменений и заканчивая заболеваниями конкретных органов. В связи с этим представляется целесообразным разработать новые методы получения информационных сигналов о состоянии человека и алгоритмов сбора данных, а также создание комбинированных динамических методов сбора информации. Получение информации в режиме реального времени с устройств сбора данных порождает сверхбольшие наборы данных (Bigdata) [3]. Для их обработки требуется выполнение оптимизации алгоритмов быстрого поиска.

Одним из определяющих факторов, формирующим качество жизни человека, является окружающая его среда. Приведем пример: человек А проживает на нижнем этаже многоэтажного дома, где на верхнем этаже проживает человек В, также оба соседа работают в одном здании. Многоэтажное строение, в котором проживают А и В, имеет среднюю звукоизоляцию и нарушение звукоизоляционного режима на нижнем этаже. Соседом А сверху является неблагополучный сосед, ежедневно злоупотребляющий алкоголем со своими друзьями на протяжении большей части ночи. На работу и с работы В выезжает на 60 минут раньше А и доезжает до работы за 15 минут. А, выезжая позже, попадает в дорожные заторы, поэтому добирается с работы и на работу по 40-60 минут. Можно предположить, что А, живя в помещении, в окна которого редко светит солнце, с постоянным недосыпом и проводя по полтора-два часа в дорожных заторах, имеет значительно больший риск развития хронической депрессии и, возможно, сам может впоследствии прибегнуть к алкоголю и другим вредным привычкам, борясь со стрессом. Лечение алкогольной зависимости А не приведет к его стойкой ремиссии без изменений в ключевых параметрах окружающей его среды. Из данного примера следует, что очень важной задачей является анализ не только биометрических параметров человека, но и анализ параметров окружающей его среды.

Определим два основных психофизических состояния человека как состояние нормы (функционального оптимума) и патологии. Патологией считаем результат истощения и надлома адаптации

онных механизмов. Все возможные отклонения от состояния нормы являются патологиями или патологическими состояниями и образуют множество патологий.

По существу прогнозирование медицинских состояний обычно сводится к задаче прогнозирования состояния одной, наиболее важной в данный момент, функциональной способности человека. Примером может служить определение умственной работоспособности. В этом случае прогнозируется количество «отказов», т.е. таких состояний, при которых требуется выполнение функций управления, но человек не может их выполнять ввиду утомления, временной утраты работоспособности и др.

Для прогнозирования медицинских состояний часто используются технические и экономические модели, в основе которых лежит теория информации, теория распознавания образов, дискретно-дифференциальные методы, теории случайных процессов, разделение в пространстве признаков, математическая логика, логико-дискретный метод.

Разработки в области систем сбора данных о состоянии человека и его параметров в основном представляют зарубежные компании Apple и Samsung. Samsung уже несколько лет продает умные часы с пульсометром и недавно представила новый продукт Simband, который имеет набор датчиков для сбора данных о состоянии здоровья человека (пульс, температура, давление, уровень сахара и т. д.) и окружающей его среды. Сам девайс мультимодульный, т.е. человек сможет самостоятельно выбрать интересующие его модули. К примеру, модуль может включать датчик фотоплетизмограммы (ФПГ) для регистрации показателей сердечно-сосудистой активности и "изменений в кровяном русле на уровне капилляров", а также датчик электрокардиограммы (ЭКГ) для записи скорости и регулярности биения сердца. Необходимость замены программного обеспечения очевидна, учитывая, что Simband будет отправляет всю собранную информацию по открытому каналу в компанию Samsung. Однако на данный момент разработки в области систем сбора данных о состоянии человека используются лишь для представления собранных данных "хозяину" и ведения отчетности о физических нагрузках.

Среди существующих методов и систем медицинского прогнозирования с точки зрения используемого математического обеспечения можно выделить следующие:

- вероятностные методы, которые на основании признаков определяют одно из возможных событий с определенной вероятностью;
- методы многомерного статистического анализа, которые позволяют выявить характер и структуру взаимосвязей между компонентами исследуемого многомерного признака;
- последовательный статистический анализ, представляющий последовательную процедуру обследования, при которой достигается выбранный уровень вероятности диагноза или прогноза;
- логико-вероятностный, который использует значение условной вероятности появления признаков, характерных для того или иного заболевания и его априорную вероятность.

Авторы предпринимают попытку разработать совокупность аппаратных и программных средств (устройство) сбора биометрической информации и сбора данных о параметрах окружающей человека среды, анализа собранных данных в режиме, приближенном к реальному времени, а также отображения этих данных в удобном виде.

Назначение продукта:

1. Сбор данных о биометрическом состоянии и местонахождении человека.
2. Сбор данных об окружающей обстановке: шум, температура, влажность, загрязнение воздуха и примеси в нем.
3. Обработка собранной информации, приведение информации к общему виду.
4. Сравнение собранной информации с эталонными значениями биометрических параметров состояния человека и определение отклонений.
5. Анализ причин отклонений сравниваемых параметров в зависимости от окружающей обстановки.
6. В перспективе: Обеспечение выдачи негативных результатов мониторинга для экстренных служб и прогнозирование медицинских состояний человека.

Структурная схема устройства многопараметрического мониторинга состояния человека представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема устройства многопараметрического мониторинга состояния человека

Разработку устройства мониторинга состояния человека можно реализовать одним из следующих способов:

1. Модульный бюджетный. Разрабатываются два ранее не существующих устройства, связанных между собой по беспроводному каналу данных типа Zigbee[4]. Одно устройство собирает и анализирует данные об окружающей человека обстановке, а второе находится на человеке, собирая и анализируя данные о его биометрических параметрах. Такие устройства можно реализовать на базе микроконтроллера AVR или PIC с подключением к нему набора микросхем и датчиков. Несмотря на то, что часть микросхем придется выполнить на заказ, себестоимость прототипа такого комплекта будет не более 20 000 рублей, но в случае успешного тестирования придется вложить не менее 100 000 рублей в уменьшение форм-фактора и улучшения эргономики. Внешний вид первого устройства будет выполнен из пластикового бокса размером 10 на 15 см. Питание от аккумуляторной батареи 9 В с возможностью подзарядки от прикуривателя автомобиля и сети в 220 В. Корпус будет разборный для обеспечения ремонтпригодности устройства и возможности расширения функционала. Второе устройство реализуется в виде наручного браслета с несколькими выходами для подключения датчиков и выходом для зарядки от сети в 220 В. Корпус второго устройства неразборный (Рисунок 2).

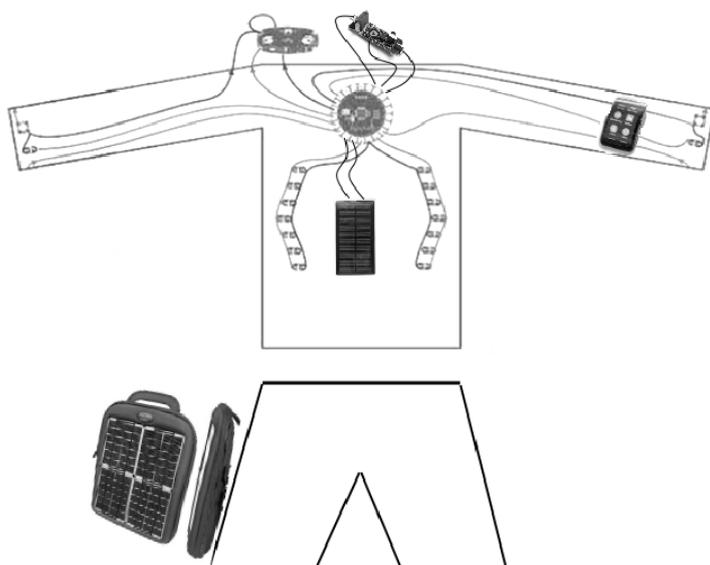


Рис. 2. Схема расположения аппаратной части на теле оператора станка

2. Модульный дорогой. В основе данного способа лежат также два устройства, но связанных уже по GPRS или Bluetooth каналу. Устройство сбора информации о внешнем окружении человека разрабатывается на базе MyRIO от NI, ArduinoMega или PLC-контроллера, а в качестве нательного устройства для определения состояний человека берется готовый продукт SamsungGear S, который имеет открытую операционную систему Tizen, датчик пульса, шагомер, интерфейс связи Bluetooth и Wi-fi, а также поддерживает программирование на языке JavaScript. Расширить возможности Gear S придется с помощью разработки

комплекса собственных модульных датчиков, поддерживающих связь по Bluetooth с данным устройством. Себестоимость проекта в таком виде складывается из той же суммы в 20 000 на разработку микросхем; Gear S – 14 000; MyRIO – 50 000 и равна 84 000 рублей без учета работы [5]. На уменьшение форм-фактора потребуется та же сумма, не менее 100 000 рублей.

Стоит отметить, что расчеты представлены без учета налогов и заработной платы. Выбор способа будет зависеть от бюджета проекта и от результатов полного патентного поиска, который необходимо проводить, как минимум, на основе поиска по патентной базе РФ и по научно-технической литературе на русском и английском языках. Однозначно надо учитывать, что сделать устройство можно с учетом критериев и требований к метрологической точности, но пройти сертификацию на медицинское оборудование практически невозможно, хотя для автоматизированных систем управления это не является стоп-фактором.

Разрабатываемое устройство может в будущем использоваться как отдельно в качестве источника достоверной и своевременной информации о состоянии человека, так и в качестве подсистемы в масштабных и очень перспективных проектах "безопасный город", "умный город". По мнению авторов, в будущем интеллектуальные системы управления автомобилями, станками и другим сложным оборудованием будут иметь модуль анализа состояния оператора и на основании этих данных будут принимать решения об ограничении доступа оператора к опасным зонам технологического процесса.

Литература.

1. Патрахин В. PPS–новое яркое предложение на рынке DCS //Промышленные АСУ и контроллеры. – 2008. – №. 11. – С. 9-15.
2. Павлова Т. М., Березка Н. И., Грозный С. В. Новый подход к ранней диагностике и прогнозированию жизнеспособности костной ткани при открытых переломах //Проблемы травматологии та остеосинтезу. – 2015. – №. 1. – С. 28-36.
3. Протопопова Д. А. Разработка методики формирования комплексной сети концептов в миварной базе знаний в целях решения задачи понимания текстов на естественном русском языке //Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – №. 4. – С. 100-108.
4. А.В. Пилипенко, А.П. Пилипенко. Подходы к разработке системы мониторинга параметров микроклимата предприятия //Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – № 5. –С.40-46 – ISSN 1561-1531
5. Пилипенко А.В. Имитационное моделирование как элемент адаптивной системы управления нестационарным технологическим процессом валковой штамповки //Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Инженерные, научные и образовательные приложения на базе технологий National Instruments – 2011». – 2011. – С. 213–215.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Г.Д. Буялич^{1,2,a}, Ю.А. Антонов^{1,b}

*¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Россия, тел. +7 (3842)-39-69-40*

*²Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. +7 (38451) 6-05-37
E-mail: ^a*gdb@kuzstu.ru*, ^b*antonovya@gmail.com**

В настоящее время в угольной отрасли наблюдается общая тенденция снижения количества комплексно-механизированных забоев и увеличения общей добычи из них, в связи с чем повышение производительности проходческих комбайнов по подготовке очистного фронта является весьма актуальным.

Среди проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса преобладают комбайны избирательного действия как отечественного, так и зарубежного производства, отличающиеся друг от друга производительностью, энерговооруженностью, массой, типом привода и системами управления.

В связи с тенденцией увеличения энерговооруженности и повышения производительности комбайнов на их исполнительных органах находят применение современные рабочие инструменты, в том числе и дисковые, способные работать с большими сечениями стружки [1–3]. Это вызывает необходимость проведения дополнительных разработок по повышению эффективности пылеподавления [4] и работ по обслуживанию исполнительных органов в части замены инструмента [5].

Кроме того, с увеличением сил резания на исполнительном органе, вызванных увеличением параметров резания, предъявляются повышенные требования к устойчивости проходческого комбайна.

С точки зрения устойчивости на примере наиболее распространённого отечественного комбайна КП21 можно выделить 3 проблемы.

Проблема 1. Аутригеры, расположенные в хвостовой части комбайна и предназначенные для повышения его устойчивости, управляются гидроцилиндрами, поршневые и штоковые полости которых гидравлически соединены параллельно. Необходимо обеспечить как совместное, так и раздельное управление аутригерами.

Решение. Для этого гидрораспределитель должен быть выполнен с шестью рабочими позициями.

В предлагаемом техническом решении обеспечивается как раздельное, так и совместное управление аутригерами, что повышает универсальность и удобство управления комбайном, положительно влияет на его устойчивость, а также на безопасность работ при ремонте и техническом обслуживании [6].

Проблема 2. Сокращение гидроцилиндров аутригеров (перевод их в нерабочее положение) выполняется только независимо от включения гидромоторов гусеничного хода в положение «ход вперед», либо «ход назад», а включение гидромоторов в любое из этих положений не приводит к отрыву аутригеров от почвы, если они были предварительно расперты.

Решение. В серийную гидросхему введены клапан «или», каждый вход которого соединён с одной из магистралей гидромоторов, и обратный клапан, подклапанная полость которого соединена с выходом клапана «или», а надклапанная – через гидрозамки гидроцилиндров соединена с их штоковыми полостями. При этом в нейтральной позиции гидрораспределителя управления гидроцилиндрами их поршневые полости через гидрозамки соединены со сливной магистралью.

В такой схеме при переводе гидрораспределителя управления гидромоторами в позицию для движения комбайна и вперёд и назад рабочая жидкость поступает не только в гидромоторы, но и одновременно с этим через клапан «или», обратный клапан и гидрозамки в штоковые полости гидроцилиндров аутригеров. Они сокращаются без дополнительной гидравлической команды. А независимо от гидромоторов управление гидроцилиндрами осуществляется штатным гидрораспределителем. При этом обратный клапан препятствует подаче рабочей жидкости в гидромоторы и исключает их запуск [7,8,9].

Проблема 3. Решение первой проблемы позволяет совместно или раздельно управлять гидроцилиндрами аутригеров. Решение второй проблемы позволяет одной гидравлической командой совместить во времени запуск гидромоторов и перевод аутригеров в нерабочее положение, исключив при этом человеческий фактор. Однако эти задачи решены по отдельности и не реализуются совместно в рамках единой гидросистемы.

Решение. Дополнительно к стандартной гидросистеме в её состав наряду с клапаном «или» и обратным клапаном, установленным по аналогии с предыдущей схемой, добавлены два двухсторонних гидрозамка и два гидрораспределителя.

В последнем варианте гидросистема комбайна объединяет достоинства технических решений, предложенных при решении проблем, выявленных при анализе серийной гидросхемы и делает её наиболее универсальной. Она обеспечивает возможность совмещения операций по управлению гидромоторами гусеничного хода и гидроцилиндрами аутригеров при сохранении возможности как совместного, так и раздельного управления гидроцилиндрами аутригеров независимо от гидромоторов механизма перемещения. Это расширяет возможности управления, повышает удобство обслуживания и безопасность труда [10].

Внедрение описанных технических [11] решений позволит повысить устойчивость проходческого комбайнов с исполнительным органом избирательного действия и одновременно уменьшить время на передвижение комбайна и управление аутригерами, (увеличение производительность), а также автоматизировать процесс управления аутригерами и исключить их поломку при ошибочных действиях машиниста комбайна при его передвижке.

Литература.

1. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 5. – С. 2–6.

2. Маметьев, Л.Е. Направление повышения зарубежной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 21–24.
3. Хорешок, А.А. Основные этапы разработки и моделирования параметров дискового инструмента проходческих и очистных горных машин / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7. – С. 9–16.
4. Маметьев, Л.Е. Разработка устройства пылеподавления для реверсивных коронок проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 3. – С. 17–21.
5. Маметьев, Л.Е. Улучшение процессов монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 23–26.
6. Проходческий комбайн : пат. на полезную модель 117503 РФ, МПК Е 21 D 9/00 (2006.01). / Антонов Ю. А., Горощенко Н. О., Буялич Г. Д., ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2012106078/03 ; заявл. 20.02.12; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. – 7 с.
7. Совершенствование гидросистемы проходческого комбайна / Ю. А. Антонов, В. А. Ковалев, В. И. Нестеров, Г. Д. Буялич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 11–13.
8. Проходческий комбайн : пат. на полезную модель 119391 РФ : МПК Е 21 D 9/00 (2006.01). / Антонов Ю. А., Горощенко Н. О., Буялич Г. Д., ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2012113660/03 ; заявл. 06.04.2012 ; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23. – 8 с.
9. Проходческий комбайн : пат. на изобретение 2494253 РФ : МПК Е 21 С 27/02 (2006.01), Е 21 С 35/24 (2006.01). / Антонов Ю. А., Горощенко Н. О., Буялич Г. Д. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2012113667/03 ; заявл. 06.04.2012 ; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27. – 7 с.
10. Проходческий комбайн : пат. на полезную модель 120140 РФ : МПК Е 21 С 35/24 (2006.01). / Антонов Ю. А., Ковалев В. А., Горощенко Н. О., Буялич Г. Д., ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2012114017/03 ; заявл. 10.04.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. – 11 с.
11. Антонов, Ю. А. Предложения по совершенствованию гидросистемы проходческого комбайна / Ю. А. Антонов, Г. Д. Буялич, И. Ю. Корчагин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 6 : Промышленная безопасность и охрана труда. – С. 90–95.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ГАСИТЕЛЬ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАСТРОЙКОЙ

А.К. Томилин¹, д.ф.-м.н., проф., Е.В. Прокopenko²

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

г. Томск, 634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. 8-913-874-08-77

E-mail: aktomilin@gmail.com

²*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева*

Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69

E-mail: prokopenko.1982@mail.ru

В статье [1] описан эксперимент, в котором наблюдается движение тороидальной катушки с током вдоль своей оси в поле магнитной пары. Рассмотрена задача о собственных колебаниях тороида на упругой подвеске с учетом продольной электромагнитной силы. Исследовано влияние индуктивности тороида на квазиупругие свойства системы, а, следовательно, и на ее собственные частоты. Исследована возможность резонансной настройки системы за счет изменения индуктивного параметра, включенного в цепь тороида.

В данной работе предлагается использовать этот эффект для гашения колебаний в системе с двумя степенями свободы. Цель исследования заключается в расчете индуктивности тороида, при которой обеспечивается полное гашение вынужденных колебаний основного тела.

Рассмотрим случай, когда система состоит из основного тела массой m_1 и тороидальной катушки, соединенных упругими связями (пружинами) (рисунок 1). Жесткости пружин обозначены c_1, c_2, c_3 . На основной груз действует периодическая вынуждающая внешняя сила с частотой p :

$$F = F_0 \sin(pt + \delta). \quad (1)$$

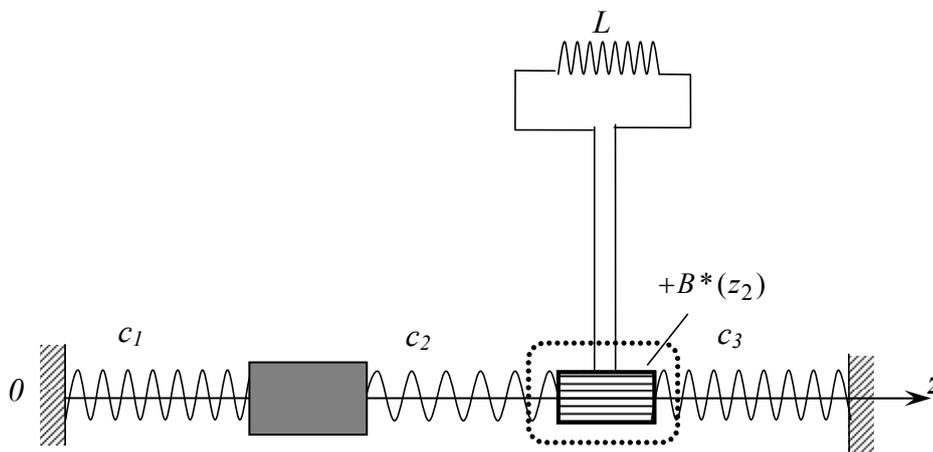


Рис. 1. Схема колебательной системы

Пусть цилиндрический тороид имеет размеры: внешний радиус $R_T = 10 \text{ мм}$, внутренний радиус $r_T = 5 \text{ мм}$, высота $h = 10 \text{ мм}$. Двухслойная бифилярная обмотка (с целью компенсации «набегающего» витка) состоит из 30 витков медного провода диаметром 1 мм. В качестве основы тороида используется пластиковый полый цилиндр. Тороид подвешивается над линией соединения двух плоских магнитов, каждый из которых имеет размеры: $10 \times 20 \times 50 \text{ мм}$. На торцах магнитной пары (вверху и внизу) образуются области, в которых создается магнитное поле, обладающее потенциальными свойствами [2]. Индукция этой компоненты магнитного поля описывается скалярной функцией B^* , поэтому используется термин «скалярное магнитное поле» (СМП). Как следует из эксперимента, в положительном СМП магнитная сила направлена по внутреннему току тороида, а в отрицательном – против этого тока. Представление об СМП позволяет теоретически рассчитать силу, действующую на тороид с током, помещенный во внешнее СМП [2].

Запишем дифференциальные уравнения вынужденных продольных колебаний системы при $c_1 = c_2 = c_3 = c$ [3]:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c(2z_1 - z_2) = F_0 \sin(pt + \delta) \\ m_2 \ddot{z}_2 + c(2z_2 - z_1) = F^*(t) \end{cases}, \quad (2)$$

где z_1, z_2 - горизонтальные перемещения центров основного тела 1 и тороида 2 соответственно от состояния равновесия, в котором пружины не деформированы, $F^*(t)$ - продольная магнитная сила.

Рассчитаем продольную магнитную силу, действующую на тороид. Используем закон безвихревой электромагнитной индукции [2]:

$$\varepsilon^* = \frac{d\Phi^*}{dt}.$$

Здесь Φ^* - аналог потока магнитной индукции:

$$d\Phi^* = B^*(z_2) \cdot z_2(t) dz_2,$$

$z_2(t)$ - закон движения центра тороида.

В каждом витке обмотки тороида индуцируется напряжение. Витки соединены последовательно, поэтому:

$$U_L = wV(t) \int_{\xi_1}^{\xi_2} B^*(z_2) dz_2, \quad (3)$$

где w - число витков в обмотке тороида, $V(t) = \dot{z}_2(t)$ - скорость тороида, $\xi_1 = z_2 - \frac{h}{2}$, $\xi_2 = z_2 + \frac{h}{2}$ - координаты торцов тороида, h - высота тороида.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть закон распределения СМП будет симметричен относительно точки равновесия тороида:

$$B^*(z_2) = B_0^* - \lambda z_2^2, \quad (4)$$

где B_0^* - максимальное значение СМП, λ - постоянная величина.

Пусть $\lambda = 2 \cdot 10^4 \text{ Тл} / \text{м}^2$, максимальное значение $B_0^* = 1 \text{ Тл}$, $z_{2\text{max}} = 0,005 \text{ м}$.

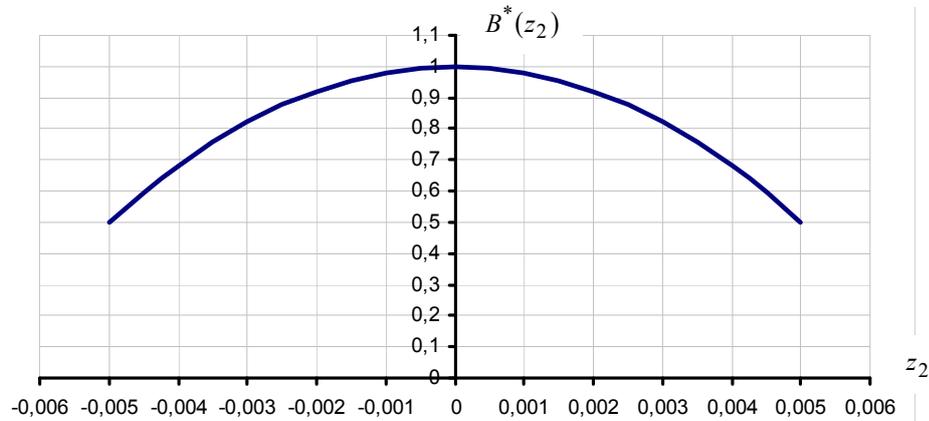


Рис. 2. График распределения СМП

Тогда закон (3) запишется в виде:

$$U_L = w\dot{z}_2 \int_{\xi_1}^{\xi_2} (B_0^* - \lambda z_2^2) dz_2 = w\dot{z}_2 \left[B_0^* \cdot h - \lambda h \left(z_2^2 + \frac{h^2}{12} \right) \right].$$

Связь между напряжением и током J выражается законом электромагнитной индукции:

$$U_L = -L \frac{dJ}{dt}.$$

где L - индуктивность в цепи тороида.

Считаем, что собственная индуктивность тороида включена в L . Запишем выражение для силы тока:

$$J(t) = - \int_0^t \frac{U_L}{L} dt, \quad (5)$$

Преобразуем (5) с учетом (4):

$$J(t) = - \frac{1}{L} \int_0^t U_L dt = - \frac{w}{L} \left(\left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right) z_2 - \frac{1}{3} \lambda \cdot h z_2^3 \right). \quad (6)$$

Если пренебречь активным сопротивлением, то ток смещен по фазе относительно напряжения на $\pi/2$. Поэтому при $z = 0$ ток равен нулю: $J_{z=0} = 0$. Максимальное значение ток имеет при $z = z_{\text{max}}$ (когда напряжение равно нулю).

Считаем, что условие, при котором можно пренебречь активным сопротивлением, при вынужденных колебаниях выполняется:

$$pL \gg R.$$

Запишем выражение продольной магнитной силы, действующей на тороид:

$$F^*(t) = wJ(t) \int_{\xi_1}^{\xi_2} B^*(z_2) dz_2. \quad (7)$$

С учетом (4) и (6) получаем:

$$F^*(z_2) = -\frac{w^2}{L} \left[\left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right) z_2 - \frac{1}{3} \lambda \cdot h z_2^3 \right] \left[B_0^* \cdot h - \lambda h \left(z_2^2 + \frac{h^2}{12} \right) \right]. \quad (8)$$

Магнитная сила $F^*(z_2)$ нелинейно зависит от координаты z_2 . График зависимости представлен на рисунке 3.

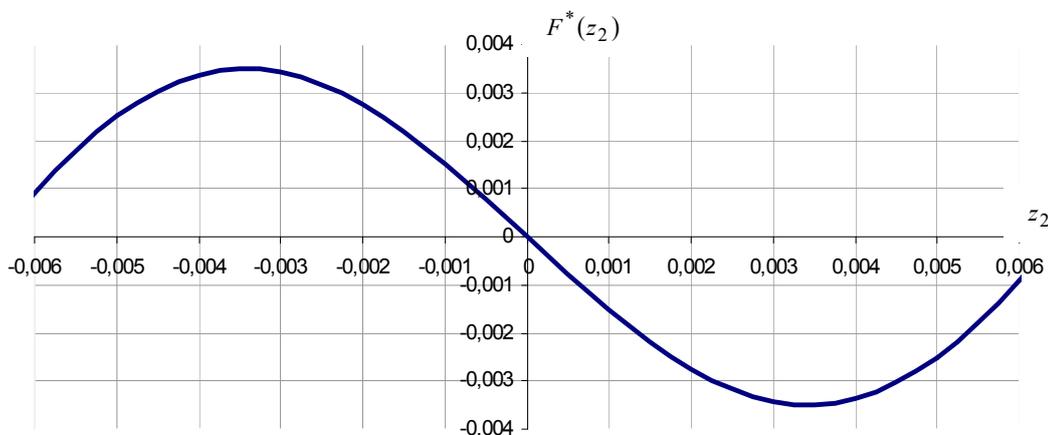


Рис. 3. График восстанавливающей магнитной силы $F^*(z_2)$

Из графика (рис.3) видно, что в пределах $z_2 = \pm 0,003$ характеристика практически линейная, то есть в этих пределах задачу можно линеаризовать.

$$F^*(z_2) \approx -\frac{w^2}{L} \left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right)^2 z_2 = -c^* z_2, \quad (9)$$

где

$$c^* = \frac{w^2}{L} \left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right)^2 \quad (10)$$

- дополнительная жесткость.

Запишем дифференциальные уравнения (2) в виде:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c(2z_1 - z_2) = F_0 \sin(pt + \delta), \\ m_2 \ddot{z}_2 + c(2z_2 - z_1) + c^* z_2 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Из второго уравнения (11) видно, что магнитная сила в данной системе является квазиупругой. Следовательно, с ее помощью можно дистанционно, не останавливая процесс колебаний системы, влиять на режим движения. Решим вопрос о гашении колебаний основного тела.

Ищем частное решение этой системы уравнений в виде:

$$z_1 = A_1 \sin(pt + \delta), \quad z_2 = A_2 \sin(pt + \delta). \quad (12)$$

Из уравнений (11) с учетом (12) получаем значения амплитуд вынужденных колебаний:

$$A_1 = \frac{F_0(2c - m_2 p^2 + c^*)}{(2c - m_2 p^2 + c^*)(2c - m_1 p^2) - c^2},$$

$$A_2 = \frac{F_0 c}{(2c - m_2 p^2 + c^*)(2c - m_1 p^2) - c^2}.$$
(13)

Для гашения колебаний основного тела ($A_1 = 0$) необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие:

$$2c - m_2 p^2 + c^* = 0,$$

то есть

$$c^* = m_2 p^2 - 2c.$$
(14)

Используя выражение (10) для дополнительной жесткости, получаем соотношение:

$$\frac{w^2}{L} \left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right)^2 = m_2 p^2 - 2c,$$

из которого определяется значение индуктивности, при которой обеспечивается динамическое гашение колебаний основного тела:

$$L = \frac{w^2}{m_2 p^2 - 2c} \left(B_0^* \cdot h - \frac{1}{12} \lambda \cdot h^3 \right)^2.$$
(15)

Рассмотрим численный пример при следующих значениях: $B_0^* = 1 \text{ Тл}$ - индукция СМП, $\lambda = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{Тл}}{\text{м}^2}$ - постоянная величина, $h = 0,01 \text{ м}$ - высота тороида, $m_2 = 0,007 \text{ кг}$ - масса тороида, $p = 25 \text{ с}^{-1}$ - частота вынуждающей силы, $c = 1,5 \frac{\text{кН}}{\text{с}^2}$ - жесткость пружин.

Для гашения колебаний основного тела необходимо включить в цепь тороида индуктивность величиной:

$$L = 0,045 \text{ Гн}.$$

В качестве вывода отметим, что при помощи регулировки индуктивности в цепи тороида можно изменять квазиупругие свойства системы и настраивать ее в режим гашения колебаний основного тела.

Литература.

1. Tomilin A.K., Prokopenko E.V. Effect of the inductive parameter of mechatronic system on elastic element longitudinal vibrations// Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) : proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU) ; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). — [S. l.]: IEEE, 2014. — [4 p.]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6986861
2. Томилин А.К. Основы обобщенной электродинамики. – Интернет-журнал СПбГТУ "Математика в ВУЗе" № 17. http://www.spbstu.ru/publications/m_v/N_017/frame_17.html
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. - Учебное пособие для вузов. — 3-е изд., перераб. — М.: Наука, 1991. — 256 с.
4. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. – Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 3 исп. и доп.: М. «ВШ», 1975. – 248 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ КОМПАНИИ «ПИТЕРСОФТ» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ДОКУМЕНТООБОРОТА В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Е.А. Филистеева, магистрант

Тюменский государственный нефтегазовый университет

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

E-mail: filisteeva_ekaterina@mail.ru

Согласно данным Минпромторг положительную тенденцию имеет рост числа действующих организаций в отрасли машиностроения (рис.1).

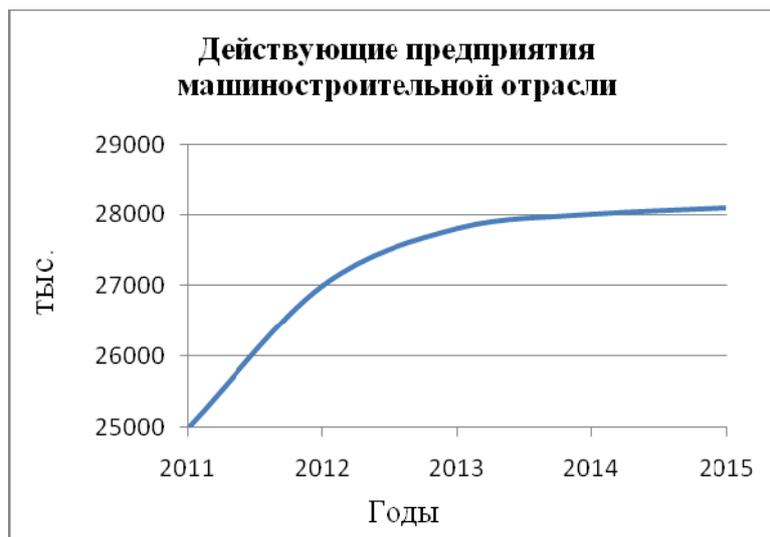


Рис. 1. Предприятия машиностроительной отрасли в России

От уровня развития отрасли машиностроения зависят показатели ВВП страны и ее регионов, производительность, обеспеченность населения транспортом, обороноспособность государства, уровень экологической безопасности, качество жизни населения и т. д.

Система управления должна быть эффективной, что предполагает оперативность и надежность, качества принимаемых решений; сокращение до минимума связанных с этим затрат времени; экономию общих издержек, а также расходов на содержание аппарата управления и т. д. Эффективность функционирования системы управления можно повысить за счет более надежных обратных связей, своевременности и полноты информации [1].

Проектирование машин и систем машин является многоэтапным динамическим процессом. Это процесс творческий, многоплановый и достаточно трудоемкий. Как правило, проектирование машин, в том числе подъемно - транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования, осуществляется большим коллективом различных специалистов с использованием многочисленных расчетных, экспериментальных, эвристических методов и приемов[2].

Требования, предъявляемые к качеству проектов, срокам их выполнения, оказываются все более жесткими по мере увеличения сложности проектируемых объектов и повышения важности выполняемых ими функций. Удовлетворить эти требования с помощью простого возрастания численности работников нельзя, так как возможность параллельного проведения проектных работ и составления отчетов ограничена, и численность технических работников в проектных организациях страны не может быть заметно увеличена. Решить проблему можно на основе автоматизации документооборота - широкого применения вычислительной техники[3].

Цель автоматизации документооборота - повышение качества, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования и ликвидация тенденции к росту числа инженерно-технических работников, занятых проектированием, повышение производительности их труда[4].

Для реализации задач пользователей необходим программный инструментарий - точные и подробные инструкции, содержащие последовательность действий по обработке информации. Сам по себе компьютер не обладает знаниями ни в одной области своего применения, все эти знания сосредоточены в выполняемых на компьютере программах. Программное обеспечение САПР включает

комплекс программ различного назначения, обеспечивающих функционирование компьютерной системы и решение задач автоматизированного документооборота.

Примером применения САПР в машиностроительной отрасли является Санкт-Петербургская компания **«ПитерСофт»**, которая специализируется на комплексной автоматизации средних и корпоративных клиентов.

Отличительная особенность ПитерСофт — применение на проектах технологии **процессного управления**, в данной компетенции компания является ведущей в России. Компания является лидером в Санкт-Петербурге по построению крупных информационных систем на платформе **«1С:Предприятие 8»**. Выполняется ряд проектов с количеством рабочих мест более 100. «ПитерСофт» внедряет корпоративные информационные системы, **электронный документооборот** и процессное управление для предприятий и организаций любой отрасли.

Фирма **«1С»** является крупнейшим партнером российских разработчиков и дистрибьютеров ПО, специализирующаяся в области компьютерных программ и баз данных делового и домашнего назначения.

Основой проекта является диагностика и экспресс-анализ деятельности предприятия в областях управления и ИТ, ведь результатом данного этапа является выработанный и согласованный план мероприятий, в результате выполнения которых заказчик получает желаемое для своего предприятия состояние.

ПитерСофт участвует в программах партнеров — **проекте "1С:Центр ERP" от фирмы 1С**, проекте «1С:Машиностроение» и является 1С: Центром Компетенций по Торговле, используя при этом уникальную методологию ПитерСофт для разработки информационных систем класса ERP II.

Клиентами по продукту «ПитерСофт» являются предприятия машиностроительной отрасли.

Применение продукта «ПитерСофт: Управление процессами» в компании «ЦНИИ судового машиностроения» г. Санкт-Петербург.

Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения (ЦНИИ СМ) является ведущей научно-исследовательской и опытно-конструкторской организацией в России по созданию судовых машин и механизмов, подземных буровых станков для добычи тяжелой нефти, грузоподъемного оборудования для металлургических производств, самоходных установок для ремонта и монтажа контактных подвесок электрифицированных железных дорог.

Для повышения эффективности работы и автоматизации основных бизнес-процессов в ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения» был выбран программный продукт «ПитерСофт: Управление процессами».

В июне 2010 г. был приобретен программный продукт «ПитерСофт: Управление процессами» в целях автоматизации административного документооборота и создания электронного архива документов. Внедрение программного продукта наладило контроль исполнительской дисциплины начальников подразделений, автоматизировало внутреннюю переписку между подразделениями.

Применение продукта «ПитерСофт: 1С: Управление производственным предприятием» в компании «Плаза» г. Санкт-Петербург.

В мае 2008 года закончено внедрение комплексной информационной системы на основе «1С: Управление производственным предприятием 8» и «ПитерСофт: Управление процессами» на машиностроительном предприятии Плаза.

ЗАО «Плаза» - ведущий завод по серийному производству автомобильных амортизаторов. Гидропневматические газомасляные амортизаторы с торговой маркой «Plaza» выпускаются с 1992 года. Амортизаторы с маркой «Plaza» поставляются на сборочные конвейеры таких автозаводов, как ГАЗ, УАЗ, КАМАЗ, УралАЗ, на Ирбитский и Киевский мотоциклетные заводы, а также на предприятие «Русская механика», выпускающее снегоходы.

В июле 2007 года было принято решение об автоматизации бизнес-процессов завода «Плаза» в единой информационной системе, поскольку существующая на тот момент система учета не удовлетворяла потребностям предприятия в поддержке управления и учета.

К весне 2008 года была собрана **процессная статистика**. На основании данных по процессным показателям были сделаны выводы, позволяющие произвести дополнительные, более оптимальные настройки бизнес-процессов. В марте 2008 года настроенные бизнес-процессы приобрели окончательный вариант и были запущены в промышленную эксплуатацию. В рамках настроенных процессов была также автоматизирована система внутреннего документооборота предприятия ЗАО «Плаза» (приказы, служебные записки, заявки, согласование договоров и др).

Всего автоматизировано 20 рабочих мест и в настоящее время ведутся работы по внедрению второй очереди в промышленную эксплуатацию. К запуску планируются модули, относящиеся к управлению производством, управлению персоналом и расчету заработной платы и бюджетированию[5].

Применение комплексной автоматизации в АО «АЭМ-технологии», ведущей инжиниринговой компании России в области энергетического машиностроения, г. Санкт-Петербург.

Для автоматизации электронного документооборота внутренних организационных документов и бизнес-процессов в компании АО «АЭМ-технологии» была внедрена система электронного документооборота на базе программного продукта «1С:Документооборот 8».

В рамках проекта по внедрению автоматизированной системы электронного документооборота для выполнения работ была привлечена компания «ПитерСофт». Работы по проекту были начаты в августе 2014 года.

В результате выполненных работ были автоматизированы следующие направления деятельности:

- Учет и контроль исполнения поручений;
- Анализ деятельности в разрезе проектов;
- Планирование проектов;
- Автоматизация бизнес-процессов управления проектами.

В результате внедрения в компании АО «АЭМ-технологии» была создана упорядоченная система хранения входящих и исходящих документов, обеспечено оперативное управление документами, а также обеспечен контроль сроков исполнения и согласования документов. Внедренная система помогла решить стоявшие перед компанией АО «АЭМ-технологии» задачи по созданию единой системы контроля ключевых событий, производственных заказов и проектов. Система электронного документооборота обеспечивает выполнение производственных процессов, дает возможность прогнозирования сроков исполнения задач и рисков проекта, а также контролирует реализацию организационных и иных проектов[6].

Сейчас российские компании могут обеспечить потребность производственных компаний в управлении и планировании за относительно небольшие деньги. Раньше были доступны только дорогие западные программы за миллионы долларов. Решение компании «под ключ» для предприятия в 200 человек на сегодня будет стоить около трех миллионов рублей. А в результате его внедрения скорость производства может вырасти в разы. Анализ отзывов клиентов компании «ПитерСофт» говорит, что до внедрения системы, компания могла выполнять 2 заказа в неделю, сейчас делает 7 таких заказов. Причем теми же силами тех же сотрудников. Ну, и конечно, вырастает уровень сервиса. А это одно из ключевых конкурентных преимуществ на насыщенном рынке. Одна из моих любимых цитат Стругацких гласит: «Они были магами потому, что очень много знали, так много, что количество перешло у них, наконец, в качество, и они стали с миром в другие отношения, нежели обычные люди».

Литература.

1. Бурков В.Н. Как управлять организациями/В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. - М.: Синтсг, 2004. - 400 с.
2. Захарова М.И. Обоснование необходимости разработки систем управления инновациями на предприятиях / М.И. Захарова // Молодой ученый. - 2014. - №3. -С. 415-417.
3. Иванченко О.Г. Инновационное развитие машиностроения : современные оценки и методы достижения / О.Г. Иванченко, М.С. Паклина // Власть и управление на востоке России. - 2011. - № 3. - С. 13-21.
4. САПР в машиностроении - все о САПР в машиностроении - <http://www.ieportal.net/modules/sections/index.php?op=viewarticle&artid=1&page=0>
5. Электронный ресурс. Статья Гордеева А.С. «Новое программное решение - объединенная конфигурация «1С:Государственные и муниципальные закупки» и «ПитерСофт: Управление процессами»». Дата обращения 30.10.15.
6. Электронный ресурс. Датаобращения 30.10.15. <Http://piter-soft.ru/clients/plaza/>

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ

*Е.М. Жуков, к.т.н., доц., А.В. Тюрин, соискатель кафедры ТМ, В.Е. Жуков, студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
E-mail: jonyj@yandex.ru*

Для реализации технологического процесса автоматизированного получения деталей в технологическом комплексе [9] на базе токарного автомата с использованием адаптивных инструментальных модулей (АИМ) требуется расширенное представление схемы управления[8], позволяющее реализовать её на элементной базе, обеспечивающей полный цикл обработки. Данная задача была решена путем создания управляющей программы на языке программирования *Microsoft Visual Basic 6.0*. Подобные задачи управления технологическим оборудованием ранее рассматривались в статьях [1 - 8, 10].

Программа предназначена для управления АИМ, используемым опционально в токарных автоматах продольного точения. Программа управляет шаговым электродвигателем поперечных подач и шаговым электродвигателем механизма качания резца. Она выстроена таким образом, что движение поперечных подач и качание резца синхронизируются с приводом главного движения автомата, что позволяет получать сложные поверхности изготавливаемых деталей, имеющих плоскости[11].

Управление шаговыми двигателями выполняется с использованием внутреннего таймера ПЭВМ, что позволяет получить высокие частоты управляющих сигналов подаваемых на приводы, а, следовательно, и высокие скорости перемещения рабочих органов. Программа определяет тактовую частоту ПЭВМ в тиках, затем путем расчётов вычисляет количество тиков на один период управляющих импульсов и формирует соответствующий сигнал в параллельный порт ПЭВМ. Чтение датчика положения шпинделя станка (токарного автомата) также выполняется через параллельный порт ПЭВМ.

Настройка аппаратного обеспечения может быть выполнена вручную или назначена автоматически на основе данных о частоте процессора ПЭВМ. Программа позволяет переназначать любые контакты выходов, входов в соответствии с решаемой задачей. Использование программой для ввода-вывода параллельного порта ПЭВМ позволяет обеспечить высокие скорости передачи данных на приводы двигателей.

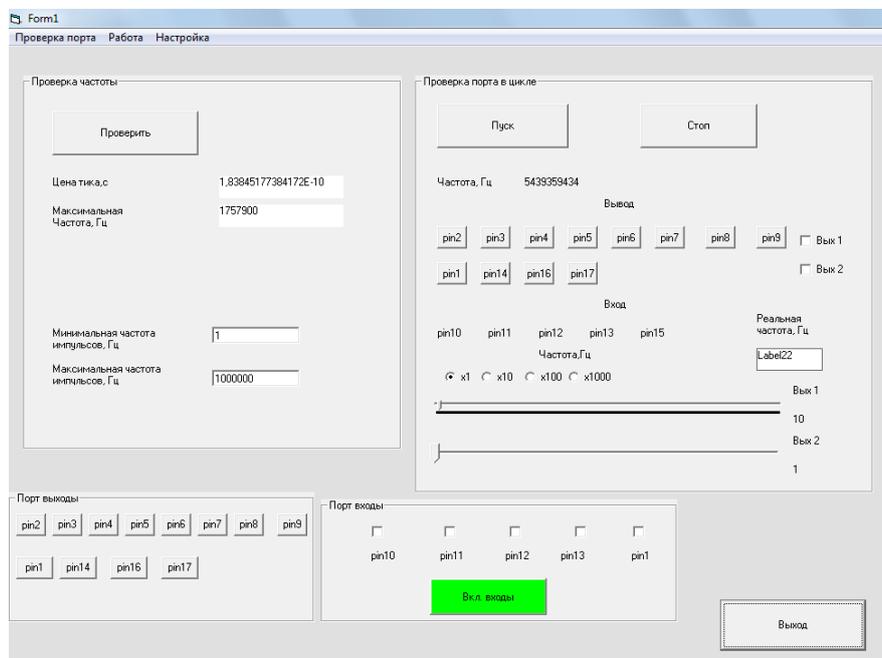


Рис. 1. Интерфейс программы

На рисунке 1 показан интерфейс программы: вкладка проверки приводов и параллельного порта ПЭВМ. На этой вкладке выполняются следующие настройки: проверка тактового генератора компьютера; назначение контактов LPT-порта для вывода сигналов управления приводами: pin

2..pin9, pin1, pin14, pin16, pin17; проверка входов: pin10, pin11, pin12, pin15; регулировка частоты выходных импульсов.

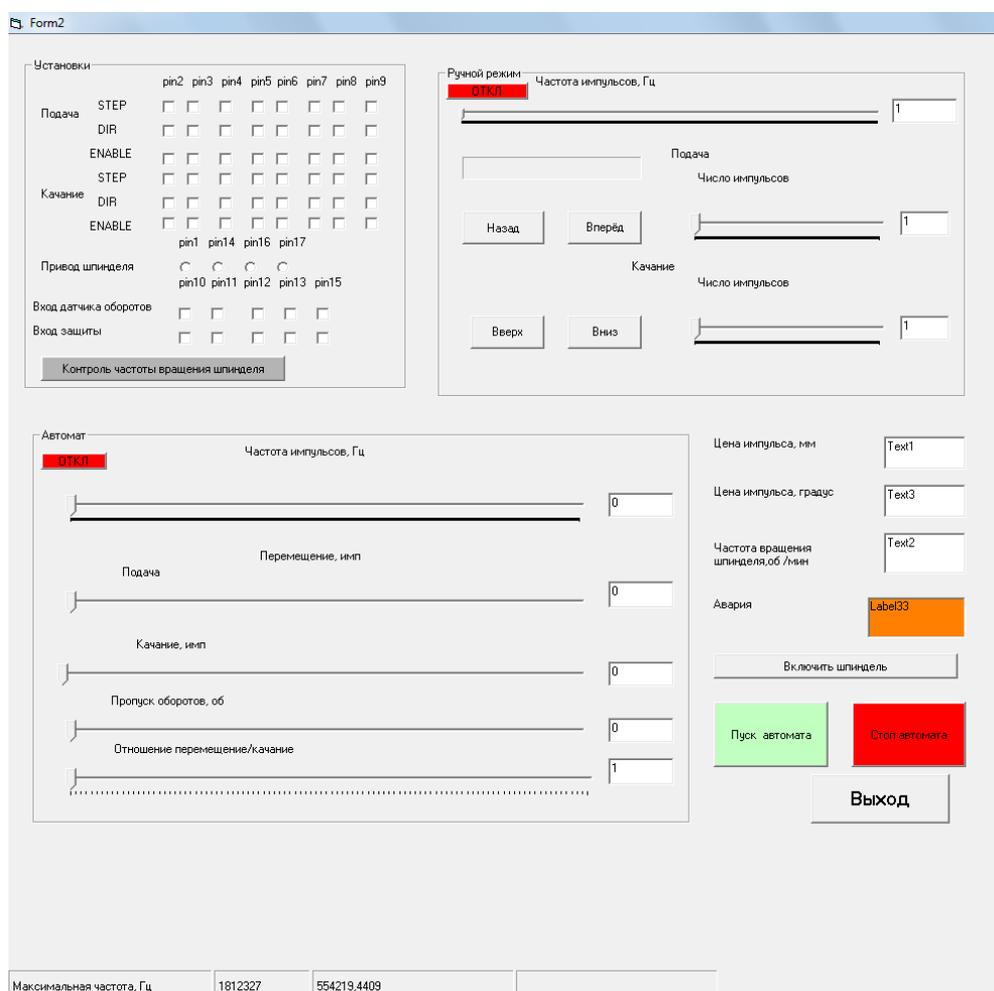


Рис. 2. Окно программы: режим наладки

На рисунке 2 показано окно программы: режим наладки. В этом режиме происходит настройка следующих параметров: назначение контактов pin2..pin8 для сигналов STEP-DIR-ENABLE приводов; назначение контактов дискретного выхода управления включением/выключением привода шпинделя; назначение контактов входа датчика оборотов и защиты; установка частоты импульсов и числа импульсов на перемещения; назначение элементов траектории перемещения режущего инструмента.

В алгоритме управления АИМ (рис. 3) для управления обработкой плоских поверхностей на заготовке выполняется следующая последовательность действий:

- 1 – Начало алгоритма;
- 2 – Ввод исходных данных: под исходными данными принимаем – диаметр заготовки D , мм; параметры обрабатываемой плоскости: количество ппл, шт; отступ от края l , мм; длина плоскости L , мм; глубина h , мм.

3 – Контроль правильности ввода исходных данных. Контроль введенных данных принимаем для предотвращения возможных поломок оборудования. Условиями контроля считаем: $0 < D \leq D_{max}$; $L \leq L_{max}$; ппл > 0 ; $l > 0$. Причем максимальные значения параметров рассчитываются на основании технологических возможностей используемого основного оборудования. Принимаем следующие диапазоны условий: $0 < D \leq 5$; $L \leq 5$; ппл ≥ 0 ; $l > 0$. При невыполнении данных условий программа затребует повторный ввод исходных данных до тех пор, пока они не будут находиться в пределах условий.

4 – При выполнении условий контроля вводимых данных, производится расчет технологических режимов резания.

Под расчетом технологических режимов резания понимаем: расчет скорости резания $V_{рез}$, м/мин; расчет поперечной подачи $S_{поп}$, мм/об; расчет силы резания $P_{рез}$, Н.

5 – Контроль реальности расчетных значений режимов резания с реальными возможностями оборудования. Контроль осуществляется с помощью сравнения расчетных режимов с их максимальными допустимыми значениями на конкретном оборудовании: $S_{поп} \leq S_{попmax}$; $P_{рез} \leq P_{резmax}$. Контроль силы резания является очень важной составляющей условия, т.к. позволяет не допустить деформации заготовки в процессе резания.

6 – Вычисление мощности резания $N_{рез}$, кВт.

7 – Условие контроля величины мощности резания.

8 - Условие выбора ручного ввода программы обработки или из библиотеки готовых решений.

9 – Выбор программы обработки из библиотеки готовых решений.

10 – Ввод программы обработки в ручном режиме.

11 – Конец алгоритма.

Далее следует обработка поверхности по программе.

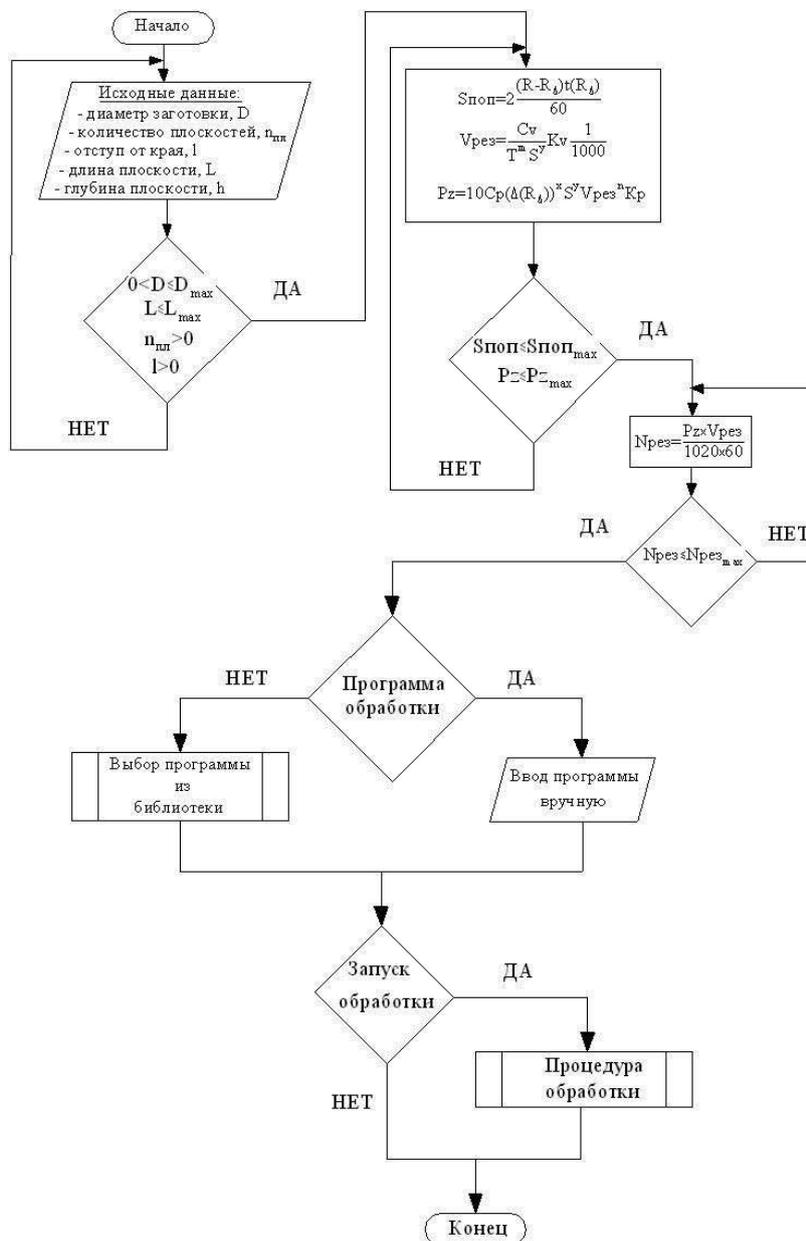


Рис. 3. Алгоритм управления адаптивным инструментальным модулем (АИМ)

Исследования выполнены в рамках гранта Проект ПСР № 2011-ПР-146 договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.

Литература.

1. Жуков Е.М., Блудов А.Н. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса/ Информационные системы и технологии. 2014. № 5 (85). С. 74-80.
2. Жуков Е.М., Тюрин А.В., Линниченко М.В. О защите адаптивного инструментального модуля/ Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 6-1. С. 133-135.
3. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В. Нестационарный станочный модуль с адаптивной системой управления/ Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 2. С. 72-75.
4. Рыбак Л.А., Гапоненко Е.В., Жуков Е.М. Исследование точности обработки на станках с параллельной кинематикой с учетом смещений приводных механизмов и силы резания/ Технология машиностроения. 2012. № 12. С. 25-28.
5. Санин С.Н., Карталов А.В., Жуков Е.М. Адаптивный суппорт/ патент на полезную модель RUS 119274 06.02.2012
6. Чепчуров М.С. Использование АЦП для регистрации и обработки аналогового сигнала в ПК/ Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 6. С. 31-34.
7. Чепчуров М.С. Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК/ Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 7. С. 13-15.
8. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Тюрин А.В. Структурная схема управления приводами технологического комплекса/ Технические науки - от теории к практике. 2013. № 29. С. 85-92.
9. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Технологические системы на базе автоматов продольного точения с использованием модульной компоновки оборудования/ Технология машиностроения. 2013. № 7. С. 64-69.
10. Чепчуров М.С., Феофанов А.Н. Управление специальным станочным модулем при восстановительной обработке поверхностей крупногабаритных деталей/ Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 11. С. 03-06.
11. Cherpchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. GETTING FLAT SURFACES IN TURNING/ World Applied Sciences Journal. 2014. T. 30. № 10. С. 1208-1213.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

И.Н. Статников, к.т.н., в.н.с., Г.И. Фирсов, с.н.с.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва
101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, тел. (495) 624-00-72
E-mail: firsovgi@mail.ru*

Перефразируя известное выражение, можно сказать, что как могущество человека прирастает могуществом создаваемой им техники, так и эффективность используемой техники определяется во многом интеллектуальными возможностями человека, т.е. мыслительными способностями человека освоить получаемую информацию. Это положение полностью подтверждается историей создания и использования вычислительной техники. Как только появились ЭВМ, стало возможным использование методов Монте-Карло, которые мы и рассматриваем как представителей идеологии «слепого» перебора [1]. Привлекала как их независимость от вида широкого класса исследуемых функций, так и простота алгоритмической реализации на ЭВМ (хотя всегда имеют место проблемы качества используемых датчиков случайных или квазислучайных (псевдослучайных) чисел). Но возникало противоречие: колоссальные объемы числовой информации и возможности интерпретации исследователем таких объемов. Статистическая обработка числовой информации, добываемой при использовании дискретных методов, представляет собой, безусловно, пример интеллектуализации процесса анализа этой информации. Однако стандартный набор статистических характеристик (средние, среднеквадратичные отклонения и т.д.) все же оставлял без ответа очень важный вопрос: а что между двумя последовательными испытаниями функции?

Полагаем, что ответом на этот вопрос, в значительной мере, явилось создание метода ПЛП-поиска, основная идея которого заключается в синтезе двух подходов: дискретного случайного поиска и его особой организации в пространстве параметров исследуемой функции (отсюда и название метода: Планируемый ЛП - (дискретный) - поиск) [2 -5]. Благодаря этому удается статистическим

путем оценить в среднем чувствительность исследуемой функции к изменениям параметров, в нее входящих со всеми вытекающими из этого обстоятельства возможностями при решении задач проектирования динамических систем. Одним из определяющих условий, повышающих эффективность применения поисковых методов при решении задач оптимального проектирования, является классификация всех параметров по степени их влияния на значения функций цели, т.е. выделение существенных параметров.

Таким образом, метод планируемого ЛП-поиска (ПЛП-поиска) [3] объединяет стохастические модели, свойственные методу Монте-Карло, и планирование вычислительного эксперимента. При этом благодаря одновременной реализации идеи дискретного квазиравномерного по вероятности зондирования J -мерного пространства варьируемых параметров α_j ($j = 1, \dots, J$) и методологии планируемого математического эксперимента, с одной стороны, осуществляется глобальный квазиравномерный просмотр заданной области варьируемых параметров, а, с другой стороны, появляется возможность применить многие формальные оценки из математической статистики. Как указывалось в работе [4], в основание метода положена рандомизация расположения в области $G(\vec{\alpha})$ векторов $\vec{\alpha}$, рассчитываемых по ЛП-сеткам [6], и которая возможна благодаря тому, что весь вычислительный эксперимент производится сериями. В ПЛП-поиске на сегодняшний день можно варьировать одновременно значения до 51-го параметров ($J = 51$). Для рандомизации (случайного смещения уровней варьируемых параметров α_{ijk}) дискретного обзора $G(\vec{\alpha})$ могут быть использованы многие существующие таблицы равномерно распределенных по вероятности целых чисел. В ПЛП-поиске алгоритм рандомизации построен на использовании датчика псевдослучайных чисел q ($0 < q < 1$) из [6]. Рандомизация состоит в том, что для каждой h -ой серии экспериментов ($h = 1, \dots, H(i, j)$), где $H(i, j)$ – объем выборки из элементов для одного критерия Φ_{ijk} , вычисляется свой вектор случайных номеров строк $\vec{j} (j_{1h}, \dots, j_{\beta h})$ в таблице направляющих числителей (ТНЧ) по формуле $j_{\beta h} = [R \cdot q] + 1$, а значения α_{ij} в h -ой серии рассчитываются с помощью линейного преобразования $\alpha_{ijh} = \alpha_{j^*} + q_{ihj\beta h} \times \Delta\alpha_j$, где: $\Delta\alpha_j = \alpha_{j^{**}} - \alpha_{j^*}$, $\alpha_{j^{**}}$ и α_{j^*} – соответственно верхние и нижние границы области $G(\vec{\alpha})$; $\beta = 1, \dots, J$; R – любое целое число (в ПЛП-поиске $R = 51$); j^* – фиксированный номер варьируемого параметра; $i = 1, \dots, M(j)$ – номер уровня j -го параметра в h -й серии; $M(j)$ – число уровней, на которое разбивается j -ый параметр; в общем случае $j_{\beta h} \neq j$ (в чем и состоит одна из целей рандомизации).

Таким образом, в результате рандомизации процесса проведения N вычислительных экспериментов образуется совокупность значений $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$, где $\tilde{\Phi}_{ijk}$ – среднее значение k -го критерия качества на i -м уровне j -го параметра, Совокупности значений $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$ позволяют на основе техники дисперсионного, регрессионного и топологического анализов дать ответы на все пункты постановки задачи. Отметим также психологический аспект в применении ПЛП-поиска [7]: используемые совокупности $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$ позволяют исследователю в диалоге с ЭВМ грубо (в линейном приближении) оценить влияния всех варьируемых коэффициентов уравнений на каждый критерий качества. Таким образом, "проклятие размерности" по Беллману уже на предварительном этапе исследования в значительной мере уменьшает свое отрицательное воздействие на ход решения задачи.

Описанный выше подход был применен при решении совместно с Я.М. Зархом задачи оптимального проектирования резонансного преобразователя (РП) для судовых валопроводов, используемых в целях изменения (снижения) уровня продольных колебаний механической системы, так как с его помощью можно воздействовать на собственные частоты системы ω_k . Известно [8], что продольные колебания судовых валопроводов часто становятся причиной поломок в двигательных комплексах и повышенной вибрации корпуса судна. Данное обстоятельство связано с постоянным ростом скоростей хода судов, приводящих к увеличению неравномерности потока в диске гребных винтов и повышению переменных составляющих сил упора. Одним из перспективных путей предупреждения резонансных режимов продольных колебаний валопроводов во всем диапазоне их чисел оборотов является использование резонансного преобразователя, представляющего собой поршень и гидравлический цилиндр. Полость цилиндра соединена с дополнительным резервуаром, и оба они заполнены маслом, находящимся под давлением, которое регулируется таким образом, чтобы уравновесить силу упора гребного винта, которая полностью передается на поршень. Таким образом, ме-

жду валопроводом и корпусом главного упорного подшипника создается масляная полость, с помощью которой изменяют упруго-инерционные характеристики всей системы.

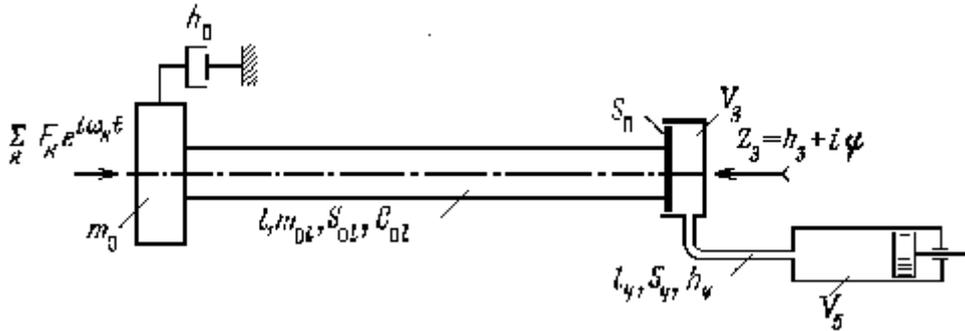


Рис. 1. Структурная модель системы валопровод - резонансный преобразователь - корпус судна

Структурная модель системы валопровод - резонансный преобразователь - корпус судна, согласно [9, 10], представлена на рис. 1, где гребной винт моделируется массой m_0 , к которой приложена сила активного сопротивления с коэффициентом сопротивления h_0 , учитывающим потери как непосредственно на винте, так и на валопроводе; валопровод представлен протяженным весом стержнем с параметрами m_0, l, S_{0l}, C_{0l} соответствующими массе, длине, площади поперечного сечения и продольной жесткости реального валопровода; главный упорный подшипник (ГУП) задается его импедансом $Z_3 = h_3 + i\psi$, учитывающим полное сопротивление как собственно ГУП, так и корпуса судна; резонансный преобразователь показан как гидросистема, имеющая суммарную площадь плунжеров $S_{п}$, емкость полости внутри ГУП V_3 с длиной l_3 , длину и проходное сечение соединительных трубопроводов l_4 и S_4 и емкость вынесенного резервуара V_5 с площадью сечения S_{45} и длиной l_5 . Гидросистема заполнена маслом, имеющим плотность ρ и коэффициент динамической вязкости μ .

Динамическая модель этой системы представлена в работах [9, 10], где выведены математические зависимости между амплитудами колебаний главного упорного подшипника (ГУП), величинами возбуждающих сил, параметрами РП и ее собственными частотами. Эти частоты являются корнями уравнения

$$i\omega Z_{П} G_1(\omega) - E S_{0l} \beta G_1'(\omega) = 0,$$

где

$$\begin{aligned} 1/Z_{П} &= 1/Z_{РП} + 1/Z_3, \\ G_1 &= \cos \beta l + a \sin \beta l; G_1' = \sin \beta l - a \cos \beta l; a = \alpha_2 - i\beta_2; \\ \alpha_2 &= -m_0 \omega^2 / E S_{0l} \beta; \beta_2 = h_0 \omega / E S_{0l} \beta; \beta = \omega \sqrt{m_{0l} / E S_{0l} l}; \end{aligned}$$

причем $G_1, G_1', E, S_{0l}, \beta, Z_3$ не зависят от параметров РП.

Входной импеданс резонансного преобразователя $Z_{РП}$ связан с его геометрическими параметрами следующим образом:

$$1/Z_{РП} = \frac{\alpha_4 \alpha_5 \alpha_6^2 - \omega \alpha_1 \alpha_2 (\omega \rho \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 - \alpha_1^2 G)}{i \alpha_1^2 G (\omega \rho \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 - \alpha_1^2 G)},$$

где $\alpha_1 = S_{п}$ - суммарная площадь плунжеров в системе, $\alpha_2 = l$ - длина полости внутри ГУП, $\alpha_3 = l_4$ и $\alpha_6 = S_4$ - длина и проходное сечение соединительных трубопроводов, $\alpha_4 = S_5$ и $\alpha_5 = l_5$ - площадь сечения и длина вынесенного резервуара, G - объемный модуль упругости для жидкости, ρ - плотность жидкости, заполняющей гидросистему РП. Расчет и проектирование РП в среде MATLAB сводится к выбору его геометрических параметров α_j ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) при выбранной конструктивной схеме. Каждое такое сочетание параметров определяет степень эффективности управления резонансными свойствами системы с помощью РП.

Количественно возможность такого управления оценивается по величине модуля производных $|d\omega_k / d\alpha_j|$. Чем больше модуль производной, тем эффективнее можно влиять на резонансные свой-

ства системы. Формально такую функцию цели запишем как $\Phi_k(\alpha) = \max |d\omega_k / d\alpha_j|$, где $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6)$ — вектор геометрических параметров РП.

Таблица 1

Матрица планирования экспериментов

N	α_j					
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
1	1969	5,28	260,94	496,87	183,91	11,56
2	1781	4,03	148,44	721,88	242,66	7,06
3	1843	5,91	429,69	1059,38	87,03	4,81
4	1218	6,53	373,44	1171,88	125,16	16,06
5	1343	3,41	204,69	609,88	154,53	13,81
6	1093	4,66	92,19	384,38	213,28	9,31
7	1281	4,34	232,81	440,63	110,47	5,94
8	1781	6,84	457,81	890,63	227,97	14,94
9	1031	5,59	120,31	665,62	51,72	19,44
10	1906	4,97	176,56	553,12	81,09	3,69
11	1406	2,47	401,56	1003,12	198,59	12,69
12	1656	3,72	64,06	328,13	226,34	17,19
13	1031	3,72	401,56	496,87	81,09	13,81
14	1531	6,22	176,56	946,87	198,59	4,81
15	1281	2,47	64,06	721,88	139,84	18,31
16	1156	4,34	457,81	843,38	169,22	16,06
17	1781	4,97	289,06	1171,88	22,34	9,31
18	1656	6,84	232,81	384,38	51,72	7,06
•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
214	1906	4,34	457,81	328,13	95,78	14,94
215	1406	6,84	232,81	778,12	213,28	5,94
216	1531	2,47	64,06	890,63	66,41	17,19
217	1031	4,97	289,06	440,63	183,91	8,19
218	1781	6,22	176,56	665,62	125,16	3,69

При решении задачи по изложенной выше методике осуществлялась рандомизация всего процесса поиска оптимальных сочетаний параметров α_j . Таким способом строилась матрица планирования экспериментов, часть которой дана в таблице 1. Параметры матрицы планирования выбраны следующими: $N = 218$ — общее число всех машинных экспериментов на ЭЦВМ, $r = 6$ — размерность исходного пространства варьируемых параметров, $N_l = 16$ — число уровней, на которые разбивался каждый параметр α_j ; M_g - число серий экспериментов или число реализаций на каждом уровне параметра α_j ($g = 1, 2, \dots, N_l$); общее число экспериментов $N = \sum_{g=1}^{N_l} M_g$.

Область поиска оптимальных сочетаний параметров представляла гиперпараллелепипед, заданный следующей системой параметрических ограничений:

$$970 \leq \alpha_1 \leq 2300; 40 \leq \alpha_2 \leq 515; 10 \leq \alpha_3 \leq 260, \\ 1,8 \leq \alpha_4 \leq 7,1; 300 \leq \alpha_5 \leq 1200; 1,5 \leq \alpha_6 \leq 22.$$

После всех машинных экспериментов каждый параметр α_j (фактор), в том числе и все парные произведения, был подвергнут дисперсионному анализу с целью определения его статистической значимости [11]. При этом подсчитывается среднее значение $\tilde{\Phi}(\alpha)$ для всей совокупности экспери-

ментов $\tilde{\Phi}(\alpha) = \frac{1}{N} \left| \sum_{g=1}^{N_l} \sum_{h=1}^{M_g} \Phi_{gh}(\alpha) \right|$. Для каждого фактора α_j подсчитываются средние значения $\tilde{\Phi}_g$ на

каждом g -м уровне, вычисляются оценки дисперсий между уровнями и внутри них. По полученным оценкам дисперсий рассчитывается критерий статистической значимости Фишера F . Найденное зна-

чение сопоставляется с теоретическим критерием F_T , из таблицы XVIII работы [11] при соответствующих степенях свободы $\nu_1 = N_j$ и $\nu_2 = N - N_j$ и 5%-ном уровне значимости критерия F . Для проведения подобного анализа над 15 парными сочетаниями факторов ($C_6^2 = 15$) в каждом эксперименте подсчитываются значения всех произведений типа $\alpha_i \alpha_j$, где $i \neq j$. Затем полученные значения для каждого типа произведения при $i = \text{const}$ и $j = \text{const}$ группируются в интервалы так, чтобы в каждом интервале $M_g \geq 10$. В дальнейшем каждый тип парного сочетания подвергался дисперсионному анализу. По результатам анализа выявлены статистически значимые линейные и парные эффекты отдельных факторов и их парных сочетаний (таблица 2) при уровне значимости $P = 0,05$.

Таблица 2

Эффекты линейных и парных взаимодействий

Фактор	ν_1	ν_2	F	F_T
α_5	15	202	33,46	1,70
α_4	15	202	1,87	1,70
$\alpha_2 \alpha_5$	9	208	29,83	1,89
$\alpha_1 \alpha_5$	12	205	29,40	1,78
$\alpha_4 \alpha_5$	10	207	19,20	1,89
$\alpha_5 \alpha_6$	11	206	17,90	1,80
$\alpha_3 \alpha_5$	11	206	9,00	1,80

По результатам дисперсионного анализа и данным матрицы планирования экспериментов, пользуясь, например, методом наименьших квадратов, можно построить корреляционную зависимость $\tilde{F}(\alpha)$ в виде полинома, содержащего линейные члены и парные сочетания таблицы 2. Основываясь на результатах таблицы 2, можно также построить функцию, аппроксимирующую поверхность заданной функции цели $\Phi(\alpha)$. В этом случае построенная зависимость будет носить более простой и достоверный характер по сравнению с аналогичным выражением, построенным для исходной размерности пространства исследуемых параметров, по следующим причинам: 1) размерность пространства поиска значительно сокращена (например, в данной задаче от $r = 6$ можно перейти к $r = 2$); 2) учитываются наиболее существенные парные взаимодействия типа $\alpha_i \alpha_j$; 3) с учетом первой и второй причин аппроксимация будет производиться на более «гладких» участках поверхности функции цели.

Для дальнейшего поиска сочетаний параметров, дающих максимальное значение $\Phi(\alpha)$, применялся следующий прием. На основании критерия Дункана [12] выявлены наиболее существенные в статистическом смысле интервалы у всех парных сочетаний из табл. 2 и составлена система неравенств

$$48 \leq \alpha_2 \alpha_5 \leq 333, \quad 23042 \leq \alpha_1 \alpha_5 \leq 130030, \\ 7331 \leq \alpha_4 \alpha_5 \leq 61562, \quad 57 \leq \alpha_3 \alpha_6 \leq 1154, \quad 1431 \leq \alpha_3 \alpha_5 \leq 27317. \quad (1)$$

Далее были проведены три серии экспериментов.

Серия 1. Выбран набор постоянных значений параметров $\alpha_1 = 1406,25$, $\alpha_2 = 3,41$, $\alpha_3 = 401,53$, $\alpha_4 = 360$ и $\alpha_6 = 4,81$. С учетом системы неравенств (1) назначен диапазон варьирования $22 \leq \alpha_5 \leq 100$. При этом были несколько завышены верхние границы неравенств у $\alpha_1 \alpha_5$ и $\alpha_3 \alpha_5$. Затем применили одномерный ЛП-поиск по α_5 . Усредненные результаты приведены в таблице 3.

Серия 2. Оставлен тот же набор постоянных значений α_1 , α_2 , α_3 и α_6 . С учетом системы (1) область поиска максимальных значений $\Phi(\alpha)$ по α_4 и α_5 , определялась следующими диапазонами их варьирования:

$$905 \leq \alpha_4 \leq 1060; \quad 21 \leq \alpha_5 \leq 58.$$

При этом соблюдались все неравенства в системе (1). Усредненные результаты исследования с применением ЛП-поиска в области (α_4, α_5) даны в таблице 3.

Серия 3. Был выбран другой произвольный набор постоянных значений параметров $\alpha_1 = 1346,75$, $\alpha_2 = 5,59$, $\alpha_3 = 457,81$ и $\alpha_6 = 2,56$. Область поиска на плоскости (α_4, α_5) оставлена та же, что и во второй серии. Применялся метод ЛП-поиска. Усредненные результаты даны в таблице 3. Кроме трех серий, поиск оптимального набора параметров производился ЛП-поиском в исходной области, заданной системой неравенств (5). Усредненные результаты также показаны в табл. 3.

N	Оценки средних значений функции цели			
	Среднее значение функции цели $\bar{\Phi}(\bar{\alpha})$			
	ЛП-поиск в исходной области	Планирование экспериментов		
1-я серия		2-я серия	3-я серия	
16	2,70	4,51	8,82	7,22
32	2,27	4,56	9,07	7,80

В этой же исходной~ области поиска проведено 200 машинных экспериментов ЛП-поиском. При этом получено $\bar{\Phi}(\alpha) = 2,62$, что несущественно отличалось от среднего значения этой функции, полученного при планировании экспериментов.

Данные таблицы 3 показывают, сколь значительно повышается эффективность дальнейшего применения поисковых методов, в том числе и ЛП-поиска, если на начальном этапе решения задачи оптимального проектирования использовать описанный прием определения существенных и несущественных параметров. В частности, в результате использования предварительно спланированных экспериментов удалось существенно снизить размерность пространства поиска оптимальных решений при одновременном отыскании в среднем более высоких значений функции цели.

Литература.

1. Бусленко Н.П., Голенко Д.И., Соболев И.М. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). - М.: Физматгиз, 1962. - 322 с.
2. Статников И.Н., Андреевков Е.В. ПЛП - поиск – эвристический метод решения задач математического программирования. - М.: ИИЦ МГУДТ, 2006. - 140 с.
3. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Интеллектуальный метод решения задач моделирования и исследования машин и механизмов на основе планируемого вычислительного эксперимента// Актуальные проблемы современного машиностроения. Международная научно-практическая конференция. (Юрга, 11-12 декабря 2014 г.). Сборник трудов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 157-161.
4. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Об одной технологии дискретного зондирования пространства исследуемых параметров // Современные информационные технологии / Труды Международной научно-технической конференции. Весенняя сессия. - Пенза: Пензенская гос. технол. академия, 2004. - С.63-68.
5. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Использование ПЛП-поиска в задачах обработки результатов вычислительного эксперимента // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. VI Международная научно-практическая конференция. (Юрга, 21-23 мая 2015 г.). Сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 247-252.
6. Соболев И.М. Многомерные квадратные формулы и функции Хаара. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1969. - 288 с.
7. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Эвристические возможности ПЛП-поиска при проектировании динамических систем // Обзорение прикладной и промышленной математики. - 2008. - Т.15, вып. 3. - С.930-931.
8. Генкин М.Д., Тайчер С.Я. К вопросу о возможности снижения уровня продольных резонансных колебаний судовых валопроводов // Виброакустическая активность механизмов с зубчатыми передачами. - М.: Наука, 1971. - С.136-145.
9. Глазов Ю.Е., Зарх Я.М., Тайчер С.Я. Методы подбора параметров резонансного преобразователя для судовых валопроводов // Акустическая динамика машин и конструкций. - М., Наука, 1973. - С.96-101.
10. Генкин М.Д., Глазов Ю.Е., Зарх Я.М., Короткина И.С., Тайчер С.Я. Исследование динамических свойств резонансного преобразователя // Акустическая динамика машин и конструкций. - М., Наука, 1973. - С.87-95.
11. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит. 1971. - 576 с.
12. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. - М., Мир, 1967. – 408 с.

ПРОБЛЕМА МИГРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*П.Н. Полежаев, преподаватель, Л.С. Адрова, студент
специальности 090301 – Компьютерная безопасность
Оренбургский государственный университет, Оренбург
46000, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел. (3532) 37-25-34
E-mail: newblackpit@mail.ru*

В настоящее время облачные вычисления получили широкое распространение в различных сферах деятельности человека. Основное их назначение заключается в предоставлении некоторых услуг в виде сервиса: серверной инфраструктуры (виртуальных машин) – IaaS (Infrastructure as a Service), платформы для размещения бизнес приложений – PaaS (Platform as a Service), программного обеспечения – SaaS (Software as a Service), удаленного доступа к рабочему окружению – DaaS (Desktop as a Service). Основные достоинства облачных систем: гибкость оплаты за фактически потребляемые ресурсы, возможность масштабирования сервисов в зависимости от нагрузки, простота создания и управления через портал самообслуживания, наличие скоростного доступа к сервисам через Интернет.

В машиностроении облачные системы активно используются для размещения САПР (например, CATIA, AutoCAD), что позволяет организовать коллективный доступ сотрудников организации к лицензионному ПО (аренда ПО), вычислительным возможностям серверов, а также к хранимым проектным данным. Другим применением является использование вычислительных возможностей серверов для наукоемких расчетных вычислений, моделирования производимой продукции, создания виртуальных испытательных стендов. В обоих случаях организациям не надо владеть мощными серверами, суперкомпьютерным кластером, нет необходимости его покупать, устанавливать, обслуживать, утилизировать. Достаточно иметь обычные персональные компьютеры и скоростной доступ в Интернет.

Если рассматривать облачные системы с точки зрения владельцев облачных ЦОД, то существует ряд проблем, требующих решения [1, 2]:

а) Использование простых алгоритмов выбора ресурсов для запуска виртуальных машин и их групп. Как правило, это анализ списка доступных ресурсов, его фильтрация на соответствие требованиям виртуальных машин, сортировка и последующий выбор. Недостаток – назначение виртуальных машин без учета состояния сети и их топологической локальности.

б) Применение алгоритмов миграции виртуальных машин, ориентированных только на обеспечение отказоустойчивости и загруженности вычислительных узлов. Недостаток – не учитывается возможность перемещения виртуальных машин с целью обеспечения их компактного назначения на вычислительные узлы или улучшения значений параметров качества обслуживания передаваемых между ними потоков данных.

в) Существующие алгоритмы отображения вычислительных сервисов на виртуальные машины, как правило, действуют неэффективно, т.к. не учитывают возможное бездействие виртуальных машин между вычислениями, не принимают во внимание схемы коммуникаций между сервисами.

г) Алгоритмы маршрутизации (например, OSPF, RIP) не учитывают семантику передаваемых потоков данных и прокладывают маршруты их передачи по реактивному принципу – в момент обнаружения потока, что приводит к некоторым задержкам в выполнении сетевых операций, а, как следствие, увеличивает время обслуживания выполнения сервисов.

В рамках данного исследования будут разработаны алгоритмы, устраняющие вышеупомянутые недостатки. В частности, в рамках данной статьи рассмотрим подходы к решению проблемы б).

Система OpenNebula [3] поддерживает миграцию виртуальных машин, действующую по принципу Live Migration, т.е. без остановки виртуальной машины. Основные ее этапы:

а) Настройка – создается виртуальная машина на узле назначения, настраивается сетевое соединение, включается журналирование страниц памяти, в которые производилась запись.

б) Передача памяти – передается вся память, а также все журналируемые страницы.

в) Остановка исходной виртуальной машины.

г) Передача состояния виртуальной машины и последних журналированных страниц памяти.

д) Запуск виртуальной машины на узле назначения.

Запуск Live Migration в OpenNebula происходит либо вручную, либо при возникновении предаварийной ситуации на используемом сервере.

В рамках данного проекта было предложено запускать Live Migration, также в случаях освобождения ранее занятых ресурсов. Это позволит обеспечивать более компактное размещение вирту-

альных машин с точки зрения сетевой связности, что, в конечном счете, положительным образом скажется на времени выполнения вычислительных задач.

Пусть $VMGroups = \{VMGroup_i\}_{i=1}^F$ – множество групп виртуальных машин, запущенных в настоящее время в облачной системе, $K = \sum_{i=1}^F |VMGroup_i|$ – общее количество виртуальных машин всех групп, ψ – функция, описывающая их размещение ($\psi(VM)$ – физический узел, назначенный виртуальной машине VM), $T_{exec}(\psi)$ – оценка времени выполнения набора вычислительных задач SaaS-сервисов внутри виртуальных машин при их размещении ψ .

Следует заметить, что функция ψ может быть представлена вектором физических узлов размерности K .

Была сформулирована следующая оптимизационная задача:

$$S(\psi) = \sum_{VMGroup \in VMGroups} \sum_{VM_i, VM_j \in VMGroup} \text{dist}(\psi(VM_i), \psi(VM_j)),$$

при ограничении:

$$T_{exec}(\psi_{min}) + T_{mig}(\psi_{min}, \psi_{cur}) < T_{exec}(\psi_{cur}).$$

Здесь ψ_{min} – вектор назначения, обеспечивающий минимум функции $S(\psi)$, ψ_{cur} – текущий вектор назначения, $T_{mig}(\psi_{min}, \psi_{cur})$ – оценка времени выполнения Live Migration от вектора назначения ψ_{cur} к вектору ψ_{min} .

Для решения данной оптимизационной задачи предложен алгоритм имитации отжига. Данный алгоритм основан на физическом процессе кристаллизации вещества при управляемом охлаждении. Опишем шаги предложенного алгоритма:

Шаг 1. Построить начальный вектор назначения $\psi_1 := \psi_{cur}$.

Шаг 2. Задать начальную температуру $t_1 := t_{max}$, задать начальное значение номера итерации $i := 1$.

Шаг 3. Пока $t_i > t_{min}$ и $i \leq I_{max}$, выполнять следующие действия:

Шаг 3.1. Положить $\psi_c := \psi_i$.

Шаг 3.2. Для всех j от 1 до K выполнить подшаги:

Шаг 3.2.1. Сгенерировать случайное число $r \in [0; 1]$.

Шаг 3.2.2. Если $r \leq P_{mutation}$, то:

Шаг 3.2.2.1. для виртуальной машины VM_r составить список узлов L_{nodes} , на которые она может быть назначена, не включая текущий узел $\psi_c(VM_r)$;

Шаг 3.2.2.2. если $L_{nodes} \neq \emptyset$, то выбрать случайное число $k \in \overline{1, |L_{nodes}|}$ и в ψ_c сохранить информации о соответствии VM_r и $Node_k \in L_{nodes}$;

Шаг 3.3. проверить, что ψ_c удовлетворяет ограничению (6.1);

Шаг 3.4. если $S(\psi_c) \leq S(\psi_i)$, то $\psi_{i+1} := \psi_c$, иначе:

Шаг 3.4.1. сгенерировать случайное число $r' \in [0, 1]$;

Шаг 3.4.2. если $r' \leq e^{-\frac{S(\psi_i) - S(\psi_c)}{t_i}}$, то $\psi_{i+1} := \psi_c$;

Шаг 3.5. понизить температуру $t_{i+1} := \frac{t_1 \cdot \tau}{i}$;

Шаг 3.6. увеличить номер итерации $i := i + 1$ и перейти на шаг 3.

Шаг 4. Вернуть полученный вектор ψ_i .

Данный алгоритм был предварительно экспериментально исследован на симуляторе облачной системы и тестовых конфигурациях, результаты показали его эффективность. В настоящее время проходит полное исследование, и его результаты будут опубликованы в дальнейшем.

В рамках данной статьи рассмотрены проблемы облачных систем с точки зрения владельцев облачных ЦОД. Формализована оптимизационная задача миграции виртуальных машин и предложен подход к ее решению с помощью алгоритма имитации отжига.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проекты № 15-07-06071 и № 15-47-02686), Президента Российской Федерации, стипендии для молодых ученых и аспирантов (СП-2179.2015.5).

Литература.

1. Полежаев П.Н., Адрова Л.С. Разработка распределенной облачной платформы на базе технологии программно-конфигурируемых сетей // Информационные технологии и их применение: сб. тезисов докладов III Всероссийской интернет-конференции (Иркутск, 27 мая – 29 мая 2015 г.). – Иркутск: МГЛУ ЕАЛИ, 2015. – С. 92-95.
2. Адрова Л.С., Полежаев П.Н. Разработка моделей облачной системы, построенной на базе технологии программно-конфигурируемых сетей // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы международной научной конференции (БГУИР, Минск, Беларусь, 28 октября 2015)=Information Technologies and Systems 2015 (ITS 2015) : Proceeding of the International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 28th October 2015) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 282-283.
3. OpenNebula | Flexible Enterprise Cloud Made Simple [Электронный ресурс] // OpenNebula.org. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://opennebula.org/>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 04.11.2015)

СЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОПРОВОДОВ

И.А. Голубкин, аспирант

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, тел. (8512) 61-41-00

E-mail: golubkin@inbox.ru

Внедрение мобильных роботов в процесс телеинспекции и обслуживания газопроводов позволяет предупреждать техногенные и экологические аварии и катастрофы, а также использовать беспристрастные методы ремонта.

Исследуемый колесный робот для внутритрубной диагностики газопроводов имеет в своем составе следующие ключевые элементы: три колесных модуля, расположенных под углом 120° относительно друг друга, которые предназначены для регулировки скоростей движения при преодолении поворотов и тройников; механизм регулировки диаметра робота и силы прижатия колесных модулей к стенкам газопровода; сенсорная подсистема, включающая необходимый набор датчиков и сенсоров для контроля робота и окружающего его пространства [1-2]. Цель работы – разработка математической модели внутритрубного робота, которая способна обеспечить преодоление роботом всех выявленных прецедентов, отличающейся разделением на модели подсистем регуляторного и ситуационного уровней

Структура математической модели

С учетом сформулированных требований к системе управления мобильным диагностическим роботом [3-4] и предложенной конструкции мобильного робота разработана математическая модель робота. Структура математической модели мобильного колесного робота для внутритрубной диагностики газопроводов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура математической модели

Математическая модель состоит из двух частей:

– математическая модель подсистемы регуляторного уровня, которая учитывает работу центрального двигателя робота с механизмом регулировки радиуса робота и силы прижатия колесных модулей к стенкам трубопровода;

– математическая модель подсистемы ситуационного уровня, которая предназначена для обеспечения прохождения роботом поворотов, отводов и тройников путем изменения скоростей 3-х колесных модулей робота.

Математическая модель подсистемы регуляторного уровня.

Рассмотрим математическую модель подсистемы регуляторного уровня ММ1. Подсистема регуляторного уровня предназначена для изменения радиуса робота в случае изменения внутреннего радиуса газопровода и для регулировки силы прижатия колесных модулей к стенкам газопровода в случае изменения наклона трубы. Данные функции осуществляются при использовании механизма регулировки диаметра робота и силы прижатия колес.

На рис. 2 изображена одна из колесных секций робота, расположенных под углом 120° относительно друг к другу.

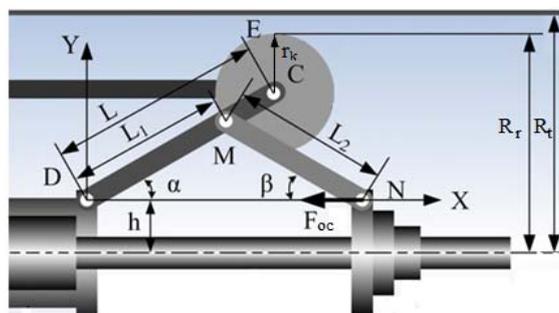


Рис. 2. Колесная секция робота: R_r – радиус робота; R_t – радиус трубопровода; L – длина звена ED; L_1 – длина звена DM; L_2 – длина звена NM; r_k – радиус колеса робота; α – угол между звеном CD и осью X; β – угол между звеном MN и осью X; h – расстояние от центральной оси робота до точки D; F_{oc} – осевая сила

Необходимо рассмотреть два случая: когда центральная ось робота совпадает с центральной осью газопровода, и когда не совпадает.

В работе [5] получено выражение для осевой силы:

$$F_{oc} = \frac{mg \cos \varphi \cos \gamma}{k_1} (k_2 k_4 \mu + k_3),$$

где

$$\left\{ \begin{aligned} k_1 &= \frac{L_1(R_r - r_k - h)}{L} \left(\frac{1}{\sqrt{L^2 - (R_r - r_k - h)^2}} + \frac{1}{\sqrt{L^2 L_2^2 - L_1^2 (R_r - r_k - h)^2}} \right) dR \\ k_2 &= \frac{R_t \sin \varphi}{\sqrt{R_t^2 - R_r^2 \sin^2 \varphi}} \\ k_3 &= \cos \varphi + \frac{R_r \sin^2 \varphi}{\sqrt{R_t^2 - R_r^2 \sin^2 \varphi}} \\ k_4 &= \frac{R_t}{\sqrt{R_t^2 - R_r^2 \sin^2 \varphi}} \end{aligned} \right.$$

Рассмотрим второй случай, когда центральная ось робота совпадает с центральной осью газопровода.

Необходимо вывести уравнения для определения силы, с какой нужно прижимать колесные модули к стенкам газопровода, чтобы производить движение на наклонных или вертикальных участках.

Получено выражение для осевой силы:

$$F_{oc} = \frac{1}{k_1} \sum N = \frac{1}{k_1 \mu} F_T,$$

где

$$\sum N = \begin{cases} mg \cos\varphi \cos\gamma & -60^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ \\ mg \cos\varphi \cos(\gamma - 120^\circ) & 60^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ \\ mg \cos\varphi \cos(\gamma - 240^\circ) & 180^\circ \leq \gamma \leq 300^\circ \end{cases}$$

В графической среде Simulink программного комплекса MATLAB реализована математическая модель и система управления подсистемой регуляторного уровня. Данная система управления включает в себя следующие составляющие блоки: блок расчета силы для регулировки радиуса робота; блок расчета суммы сил реакции опоры; блок расчета осевой силы на основании вычисленной силы тяги; блок определения режимов работы робота на основании типа прецедента; пропорционально-интегральный регулятор для регулирования радиуса робота; пропорционально-интегральный регулятор для регулирования осевой силы центрального двигателя робота. Ключевым параметром системы управления является тип текущего прецедента, встречающегося роботу при движении в газопроводе. На основании типа прецедента производится выбор режимов работы системы управления, а также устанавливается взаимосвязь блоков математической модели регуляторного уровня.

Параметр PrecR – тип прецедента подсистемы управления регуляторного уровня. Для рассматриваемой подсистемы данный параметр имеет четыре возможных значения: 1 – изменение радиуса при горизонтальном газопроводе, 2 – изменение радиуса и наклона газопровода, 3 – изменение наклона газопровода, 4 – отсутствие прецедента (горизонтальный газопровод).

В графической среде Simulink программного комплекса MATLAB реализована система управления подсистемой регуляторного уровня, которая представлена на рис. 3.

Входными параметрами системы управления подсистемой регуляторного уровня являются: угол ориентации колесных модулей (γ); угол наклона робота относительно вертикали (φ); радиус газопровода (R_0); тип прецедента подсистемы регуляторного уровня (PrecR).

Выходная переменная – вычисляемое значение осевой силы (F_{oc}).

Таким образом, разработан алгоритм, в соответствии с которым производится управление системой регуляторного уровня на основе математической модели. На основании типа прецедента, встречающегося роботу при движении в газопроводе, производится выбор режимов работы системы управления, а также устанавливается взаимосвязь блоков математической модели регуляторного уровня.

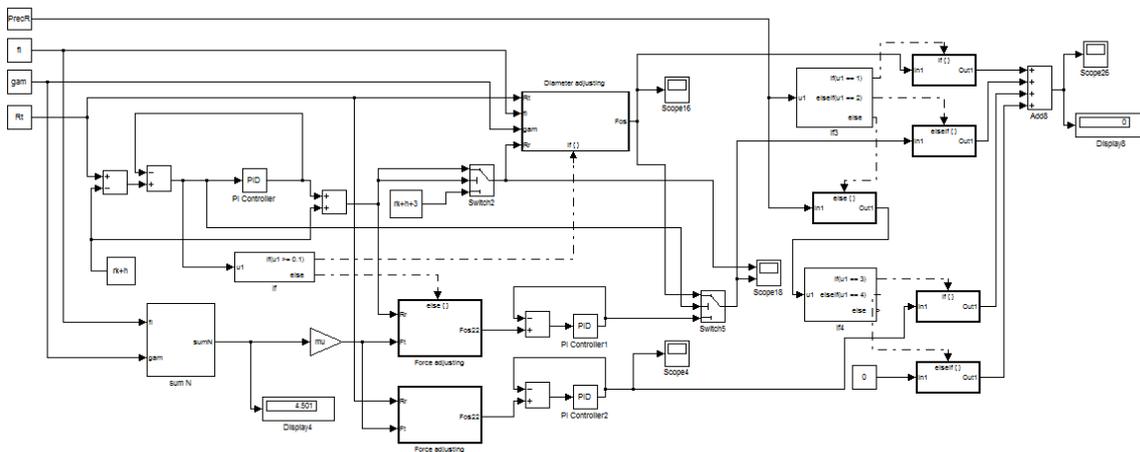


Рис. 3. Модель подсистемы управления регуляторного уровня

Математическая модель подсистемы ситуационного уровня

Разработаем и опишем модель подсистемы ситуационного уровня ММ2. Подсистема ситуационного уровня предназначена для регулировки скоростей колесных модулей робота с целью преодоления им поворотов и тройников, встречающихся в газопроводе.

Модель подсистемы ситуационного уровня реализуем в виде сетевой структуры, представляющей собой взаимосвязь входных, выходных и промежуточных параметров (рис. 4).

Входные параметры модели системы:

1. PrecS – тип прецедента. Для системы ситуационного уровня параметр имеет три возможных значения: 1 – тройник, 2 – поворот, 3 – отсутствие прецедента (прямой газопровод).

2. N_{prg} – целеуказание направления движения в тройнике. Данный параметр принимает значение и учитывается при управлении, в случае, если текущим прецедентом является тройник. Возможные значения: 1 – вниз, 2 – направо, 3 – вверх, 4 – налево, 5 – прямо.

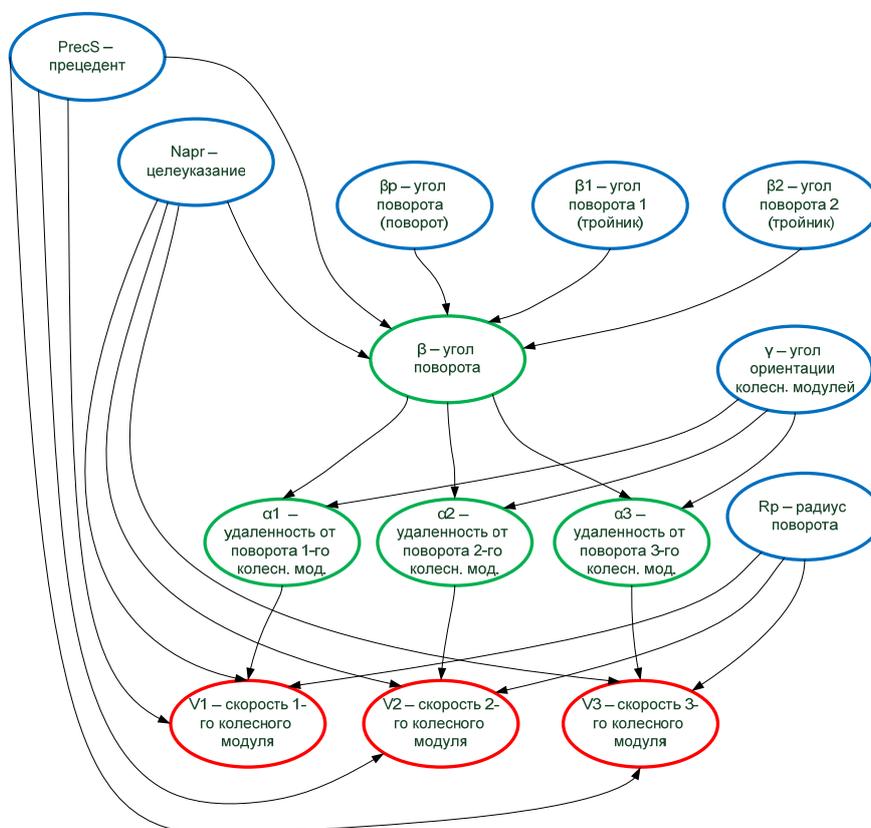


Рис. 4. Сетевая структура параметров системы ситуационного уровня

3. Углы поворота:

3.1. β_p – угол поворота (поворот). Данный параметр принимает значение и учитывается при управлении, в случае, если текущим прецедентом является поворот трубопровода. Угол поворота представляет собой угол на плоскости, перпендикулярной центральной оси трубы, как показано на рис. 5.

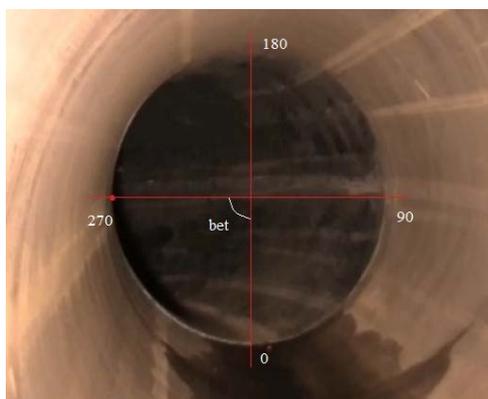


Рис. 5. Угол поворота газопровода

3.2. β_1 – угол первого поворота в тройнике. Данный параметр принимает значение и учитывается при управлении, в случае, если текущим прецедентом является тройник. При этом параметр N_{prg} не должен быть равен «Прямо».

3.3. β_2 – угол второго поворота в тройнике. Данный параметр принимает значение и учитывается при управлении, в случае, если текущим прецедентом является тройник. При этом параметр Narg не должен быть равен «Прямо».

4. γ – угол ориентации колесных модулей.

5. R_p – радиус поворота газопровода. Предельный радиус поворота в соответствии с нормативами составляет 1.5 от диаметра газопровода.

Промежуточные параметры модели системы:

1. β – результирующий угол поворота. Данный угол определяется на основании значений параметров: PrecS (тип прецедента), Narg – целеуказание и углов поворота для разных типов прецедентов $\beta_p, \beta_1, \beta_2$.

2. α_1 – удаленность от поворота 1-го колесного модуля. Значение данного параметра определяется на основании угла поворота и положения 1-го колесного модуля.

3. α_2 – удаленность от поворота 2-го колесного модуля. Значение данного параметра определяется на основании угла поворота и положения 2-го колесного модуля.

4. α_3 – удаленность от поворота 3-го колесного модуля. Значение данного параметра определяется на основании угла поворота и положения 3-го колесного модуля.

Выходные параметры модели системы:

1. V_1 – скорость 1-го колесного модуля. Скорость определяется на основании значений параметров: PrecS (тип прецедента), Narg (целеуказание), радиуса поворота (R_p) и удаленности от поворота 1-го колесного модуля (α_1).

2. V_2 – скорость 2-го колесного модуля. Скорость определяется на основании значений параметров: PrecS (тип прецедента), Narg (целеуказание), радиуса поворота (R_p) и удаленности от поворота 2-го колесного модуля (α_2).

3. V_3 – скорость 3-го колесного модуля. Скорость определяется на основании значений параметров: PrecS (тип прецедента), Narg (целеуказание), радиуса поворота (R_p) и удаленности от поворота 3-го колесного модуля (α_3).

Для управления данной системой ситуационного уровня разработана методика, которая обеспечивает решение задачи перемещения диагностических роботов разных размеров в заранее неизвестных условиях изменяющихся параметров газопровода [6].

Разработана математическая модель мобильного диагностическим роботом, способная обеспечить преодоление роботом всех выявленных прецедентов, отличающаяся разделением на модели подсистем регуляторного и ситуационного уровней. Использование данной модели позволит мобильным роботам производить инспекцию в газопроводах, включающих наклонные и вертикальные участки, в автоматическом режиме.

Литература

1. Голубкин, И. А. Исследование и моделирование процесса проведения дефектоскопии газопроводов мобильным колесным роботом / Голубкин И. А., Антонов О.В. // Журнал «Вестник Астраханского государственного технического университета». Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань, 2014. – №1, С. 18-28.
2. Голубкин, И. А. Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота / И. А. Голубкин, И. А. Щербатов // Научно-технический и производственный журнал «Датчики и системы». – М., 2010. – №8 (135), С. 32-35.
3. Голубкин, И. А. Система управления мобильным колесным роботом для внутритрубной инспекции газопроводов / И. А. Голубкин, И. А. Щербатов // Журнал «Информатика и системы управления». – Благовещенск: издательство АмГУ, 2014. – №4(42), – С. 129-140.
4. Голубкин, И. А. Теоретико-множественная модель процесса проведения инспекции газопроводов мобильным роботом / И. А. Голубкин, И. А. Щербатов // Materials of the second international scientific-practical conference «Innovative information technologies». - Prague, 2013. – part 3, – P. 127-129.
5. Zhang, Y. In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting / Y. Zhang, G. Yan // Mechanism and Machine Theory 42. – 2007. – P. 1618–1631.
6. Голубкин, И. А. Методика нечеткого ситуационного управления мобильным роботом для диагностики газопроводов [Электронный ресурс] / И. А. Голубкин, Г. А. Кочкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; Режим доступа: <http://www.science-education.ru/115-12185>.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕМ СПАРЕННОМ ДИСКОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ НА ЧЕТЫРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ

А.А. Хорешок*, ** д.т.н., проф., Л.Е. Маметьев*, д.т.н., проф., А.Ю. Борисов*, ст. преп.,
А.В. Воробьев**, к.т.н., доц.

* Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000, Россия

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: haa.omit@kuzstu.ru, bau.asp@rambler.ru, vorob@tpu.ru

Основным недостатком многочисленных исполнительных органов проходческих комбайнов с поперечно-осевыми исполнительными органами является низкая производительность процесса зарубки из-за наличия неразрушаемого целика забойного массива в межкорончатом пространстве, что требует дополнительных возвратно-поворотных движений стрелы в горизонтальной плоскости. Для повышения эффективности процесса зарубки исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия с поперечно-осевыми аксиальными коронками, разделенными друг от друга корпусом раздаточного редуктора, предложено техническое решение (патент РФ 136086), на базе которого в межкорончатой зоне размещены дисковые инструменты на четырехгранных призмах (рис. 1) [9–11, 13, 14, 16, 17].

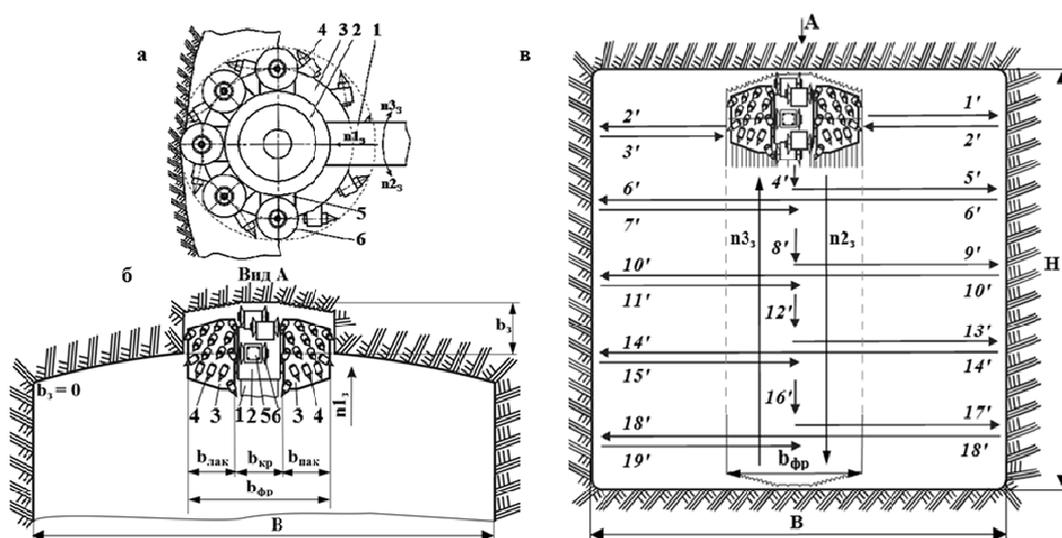


Рис. 1. Исполнительный орган с резцовыми и дисковыми инструментами: а – зона размещения дисковых инструментов; б – процесс центральной зарубки; в – последовательность обработки проходческого забоя

Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия (рис. 1, а, б) содержит стрелу 1, корпус раздаточного редуктора 2 с двумя разрушающими аксиальными коронками 3, содержащими резцы 4. К цилиндрической наружной поверхности корпуса раздаточного редуктора 2 прикреплены четырехгранные призмы 5 с двумя дисковыми инструментами 6. Стрела 1 исполнительного органа может перемещаться в трех направлениях относительно неподвижного корпуса проходческого комбайна с помощью шести гидродомкратов. При этом два гидродомкрата обеспечивают телескопическую осевую раздвижность по стрелке n_{1z} , два гидродомкрата подъема и опускания в вертикальной плоскости перемещают стрелу 1 по стрелкам n_{2z} или n_{3z} , а два гидродомкрата поворота в горизонтальной плоскости обеспечивают ее движение к бортам выработки.

Внутреннее пространство четырехгранной призмы 5 с узлами крепления дискового инструмента 6 закрыто герметичной четырехгранной крышкой. При этом диаметр окружности (рис. 1, а), описывающий вылет наружных кромок дисковых инструментов 6 в плоскости перпендикулярной оси вращения коронок 3 не превышает диаметра окружности, описывающий максимальный радиальный вылет крайних резцов 4 на больших основаниях разрушающих аксиальных коронок 3.

Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия осуществляет циклическое проведение выработки прямоугольного сечения по высоте H и ширине B (рис. 1, б, в). Подготовка к циклу проходки начинается с процесса зарубки в центральной части выработки. При зарубке стрелы с двумя разрушающими аксиальными коронками на требуемую величину заглупления в направлении продольной оси выработки или на ширину поперечного захвата b_z (рис. 1, б), совмещают возвратно-циклические перемещения стрелы в вертикальной плоскости от кровли до почвы выработки n_2 и обратно, n_3 с постепенной телескопической раздвижностью n_1 на заданную ширину захвата b_z . Этот процесс обеспечивается одновременной работой гидродомкратов подъема стрелы, гидродомкратов телескопической раздвижности стрелы и непрерывным вращением двух разрушающих аксиальных коронок с резами. Процесс зарубки осуществляется по ширине фронта зарубки $b_{фр}$, включающего ширину зарубки левой $b_{лак}$ и правой $b_{пак}$ разрушающих аксиальных коронок, а также ширину $b_{кр}$ корпуса раздаточного редуктора в виде сектора цилиндра с углом охвата $\varphi \leq \pi/2$, на наружной поверхности которого с определенной схемой набора прикреплены четырехгранные призмы с двумя дисковыми инструментами, работающими в режиме поворотно-строгальной установки.

После зарубки можно использовать следующую траекторию движения стрелы с разрушающими аксиальными коронками, осуществляемую по направлениям перемещения $1'-19'$ (рис. 1, в). На направлениях перемещения $1'-11'$ преобладают процессы разрушения, а на направлении перемещения $1'-3'$, $17'-19'$ преобладают процессы разрушения, зачистки выступов-гребешков на поверхностях кровли и почвы выработки. После окончательной зачистки почвы от продуктов разрушения по всей ширине B выработки, проходческий комбайн подается вперед на забой, а стрела сокращает телескопическую раздвижность гидродомкратами на величину b_z и следующий рабочий цикл обработки забоя повторяется.

Результаты исследований по моделированию напряженного состояния сопрягаемых элементов узлов крепления двух дисковых инструментов на четырехгранных призмах в отдельных режимах вращения при центральной зарубке в забойные массивы проходческих горных выработок представлены в работах [13, 14, 16, 17].

Для исследования напряженного состояния узлов крепления дискового инструмента к четырехгранным призмам в спаренном режиме вращения при центральной зарубке исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия, предложено оригинальное техническое решение (патент РФ 146845), включающее четырехгранную призму со спаренными дисковыми инструментами (рис. 2) [14]. Реализация данного технического решения обеспечивает совместное вращение двух дисковых инструментов на каждой четырехгранной призме с уменьшением процесса их заклинивания и износа при зарубке стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна в горный массив.

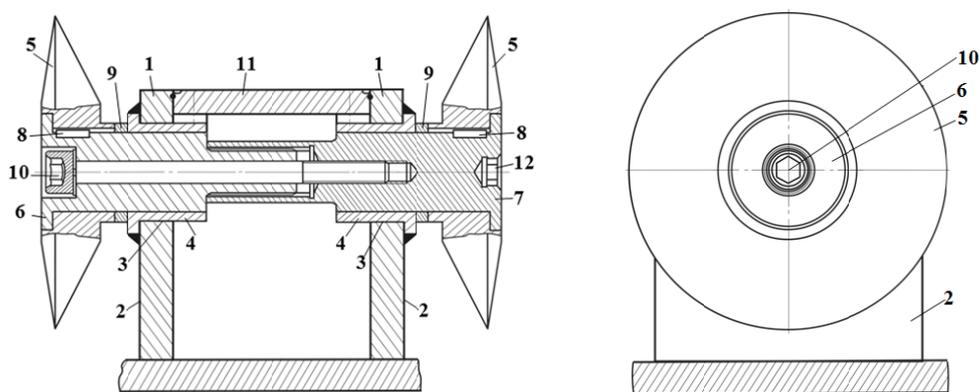


Рис. 2. Устройство жесткого соединения между двумя дисками четырехгранной призмы

Четырехгранная призма 1 (рис. 2) состоит из двух рабочих граней 2 со сквозными цилиндрическими отверстиями 3 и двух боковых граней. Внутри каждого сквозного цилиндрического отверстия 3 размещена цапфа-штулка 4. При этом спаренные дисковые инструменты 5 выполнены в виде единого сборно-разборного конструктивного модульного блока с возможностью совместного свободного вращения относительно неподвижных цапф-штулок 4. Единый сборно-разборный конструктивный модульный блок выполнен в виде жестко прикрепленных друг другу двух осей 6 и 7 с упор-

ными буртиками, одна из которых содержит шлицевой хвостовик, а другая содержит шлицевую втулку. Оси 6 и 7 имеют зоны, обеспечивающие шпоночное присоединение дискового инструмента 5 посредством шпонки-фиксатора 8. Дистанционные торцевые шайбы 9 размещены между торцевыми поверхностями каждого из двух дисковых инструментов 5 и торцевыми поверхностями упорных буртиков каждой из двух цапф-втулок 4. Ось 6 выполнена со ступенчатым сквозным отверстием, внутри которого размещен дистанционный винт 10 для крепления единого сборно-разборного конструктивного блока. Для защиты внутреннего пространства четырехгранной призмы 1 используют четырехгранную крышку 11. Со стороны свободного торца оси 7 выполнено шестигранное углубление 12 под ключ для осуществления монтажно-демонтажных операций.

Построение конечно-элементных моделей (рис. 3) и расчет усилий нагружений P_z , P_y , P_x (табл. 1) для спаренного дискового инструмента с узлами крепления на четырехгранных призмах осуществлено по методикам, изложенным в исследованиях исполнительного органа с реверсивными радиальными коронками и одиночными дисковыми инструментами на опорах-кронштейнах и трехгранных призмах, а также с аксиальными резовыми коронками и двумя отдельными дисковыми инструментами на четырехгранных призмах [4–6, 12–17]. За исходные условия при расчете параметров напряженного состояния были выбраны диапазоны характеристик разрушаемых забойных массивов: угольного ($\sigma_{сж} = 12,4; 13,5; 14,8$ МПа) и породного ($\sigma_{сж} = 51; 60,6; 78,9$ МПа). Для моделирования напряженно-деформированного состояния сопрягаемых элементов узлов крепления использованы четыре варианта конструкций дискового инструмента диаметром $D = 0,16$ м (три биконических с углами заострения: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ; 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ; 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$).

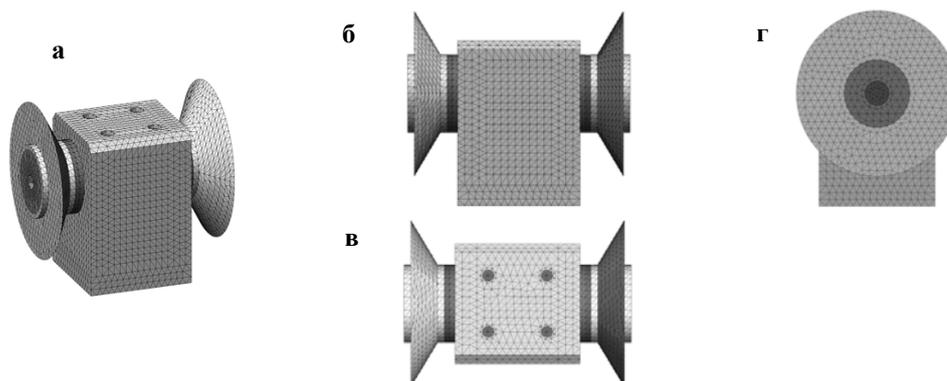


Рис. 3. Конечно-элементная модель четырехгранной призмы со спаренными дисковыми инструментами: а – в аксонометрии; б, в, г – по трем основным проекциям

Таблица 1

Результаты расчета нагрузок при разрушении забойных массивов
спаренным дисковым инструментом

Усилия, кН	Характеристики разрушаемого массива по $\sigma_{сж}$, МПа					
	Угольный массив			Породный массив		
	12,4	13,5	14,8	51	60,6	78,9
	при $h = 0,04$ м			при $h = 0,006$ м		
<i>Биконический дисковый инструмент: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$</i>						
P_z	4,946	5,255	5,812	3,548	4,216	5,489
P_y	11,11	11,737	13,054	11,009	13,082	17,033
P_x	0,323	0,314	0,318	4,337	5,154	6,71
<i>Биконический дисковый инструмент: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$</i>						
P_z	5,003	5,286	5,879	3,589	4,26	5,553
P_y	11,239	11,873	13,205	11,137	13,23	17,23
P_x	0,327	0,317	0,322	4,388	5,21	6,788
<i>Биконический дисковый инструмент: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$</i>						
P_z	5,101	5,389	5,994	3,659	4,348	5,662
P_y	11,458	12,105	13,463	11,354	13,492	17,566
P_x	0,333	0,324	0,328	4,473	5,315	6,921

Усилия, кН	Характеристики разрушаемого массива по $\sigma_{сж}$, МПа					
	Угольный массив			Породный массив		
	12,4	13,5	14,8	51	60,6	78,9
	при $h = 0,04$ м			при $h = 0,006$ м		
	Конический дисковый инструмент: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 0^\circ + 30^\circ$					
P_z	4,927	5,205	5,79	3,535	4,2	5,469
P_y	11,068	11,692	13,004	10,968	13,032	16,968
P_x	1,739	1,837	2,043	4,321	5,134	6,685

При моделировании напряженно-деформированного состояния сопрягаемых элементов узлов крепления спаренных дисковых инструментов к четырехгранным призмам на корпусе раздаточного редуктора в межкорончатом пространстве исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия использовалась система SolidWorks Simulation, в которой решаются общие задачи по методу конечных элементов (МКЭ) в линейной постановке. При дискретизации геометрической модели использовалась сетка с параболическими конечными элементами (КЭ) в форме тетраэдров. Параболические КЭ обеспечивают лучшее описание геометрии модели сеткой и повышенную точность расчетов за счет большего по сравнению с линейными КЭ числа узлов. Размер конечных элементов выбирался таким образом, чтобы дальнейшее повышение плотности сетки не оказывало существенного влияния на результаты расчетов. Параметры сетки: размер КЭ – 10 мм; допуск – 0,5 мм; автоматическое уплотнение сетки не использовалось. Для расчета использовался алгоритм FFEPlus, так как он является более производительным при решении задач большой размерности [6]. Для описания взаимодействия деталей в сборке использовались следующие контактные условия: для неразъемных соединений элементов корпуса – тип контактного условия «связанные», для разъемных соединений – контактное условие «нет проникновения».

Усилия резания P_z , внедрения P_y и бокового усилия P_x на спаренных дисковых инструментах (рис. 4) определены с учетом конструктивных, режимных параметров и характеристик разрушаемого массива $\sigma_{сж}$. Расчетные усилия нагружения P_z , P_y , P_x (табл. 1) прикладывались к конечно-элементным моделям спаренных дисковых инструментов с узлами крепления в четырехгранных призмах для получения картины напряженного состояния (рис. 5–8) для биконических и конических дисковых инструментов с учетом предела прочности на одноосное сжатие горного массива $\sigma_{сж}$ от 12,4 до 78,9 МПа. Материалы сопрягаемых деталей в конструкции: 35ХГСА, Ст. 45, Ст. 65Г, Ст. 15.

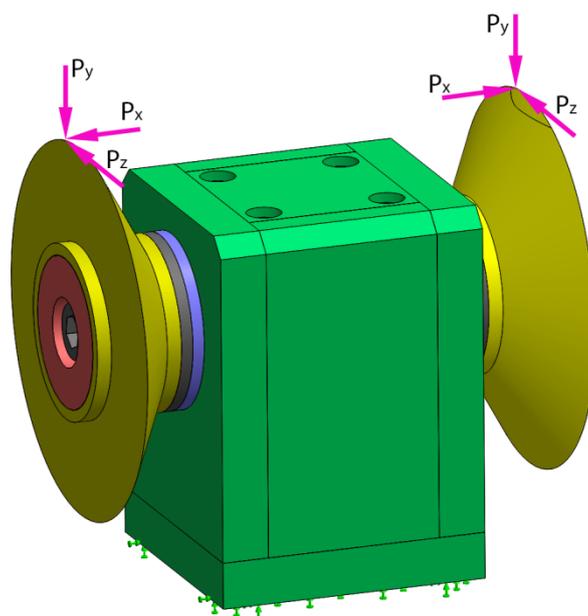


Рис. 4. Схема приложения нагрузок к дискам и крепления четырехгранной призмы

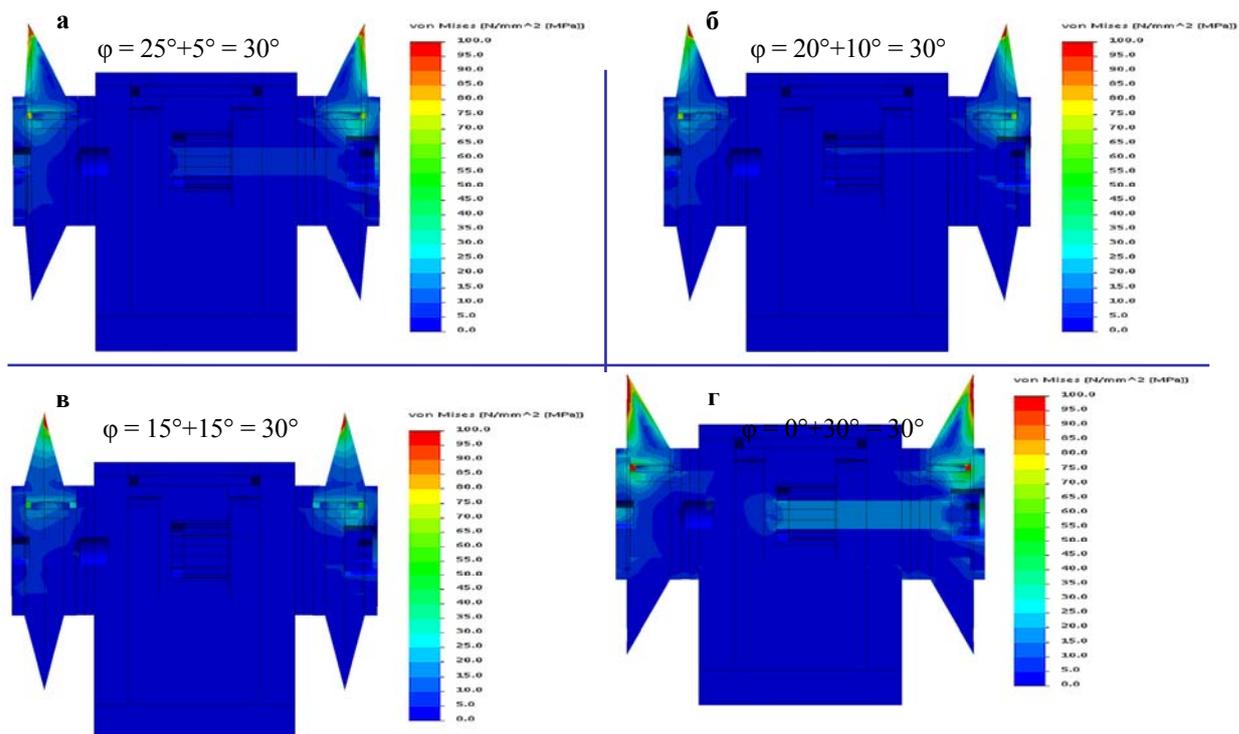


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в деталях узлов крепления спаренных дисковых инструментов при разрушении угольного массива $\sigma_{сжк} = 12,4$ МПа

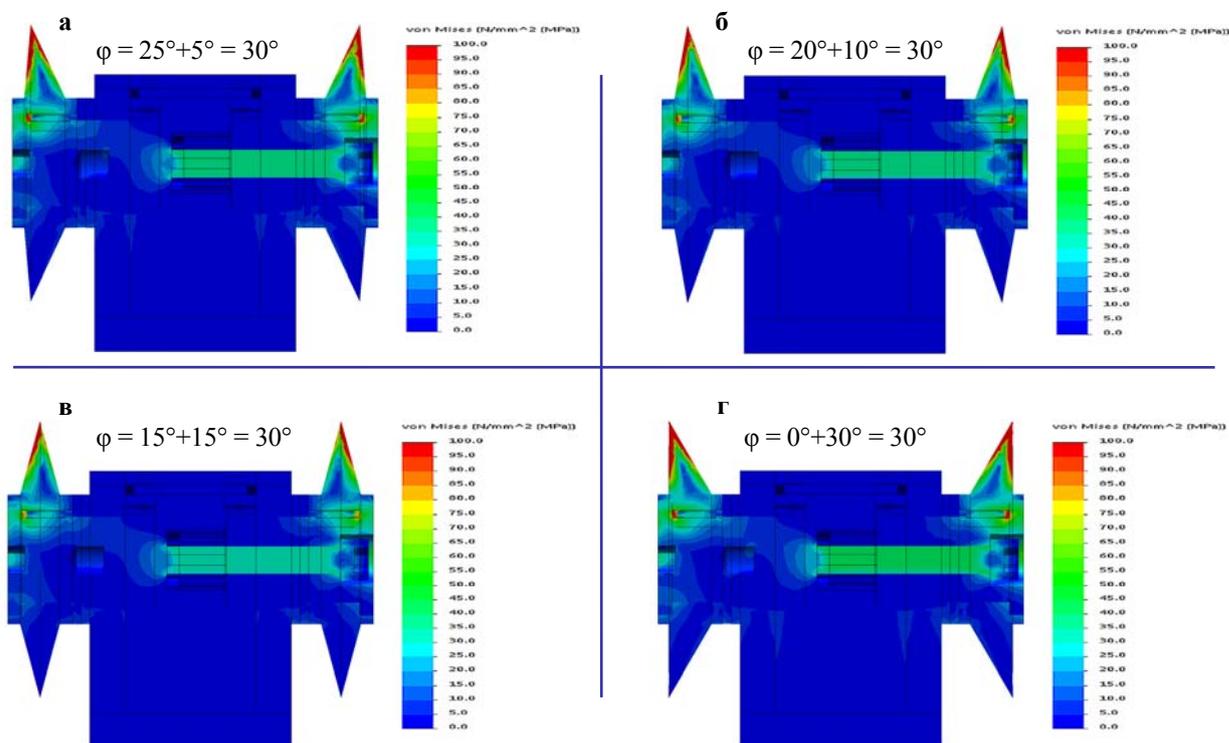


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в деталях узлов крепления спаренных дисковых инструментов при разрушении породного массива $\sigma_{сжк} = 51$ МПа

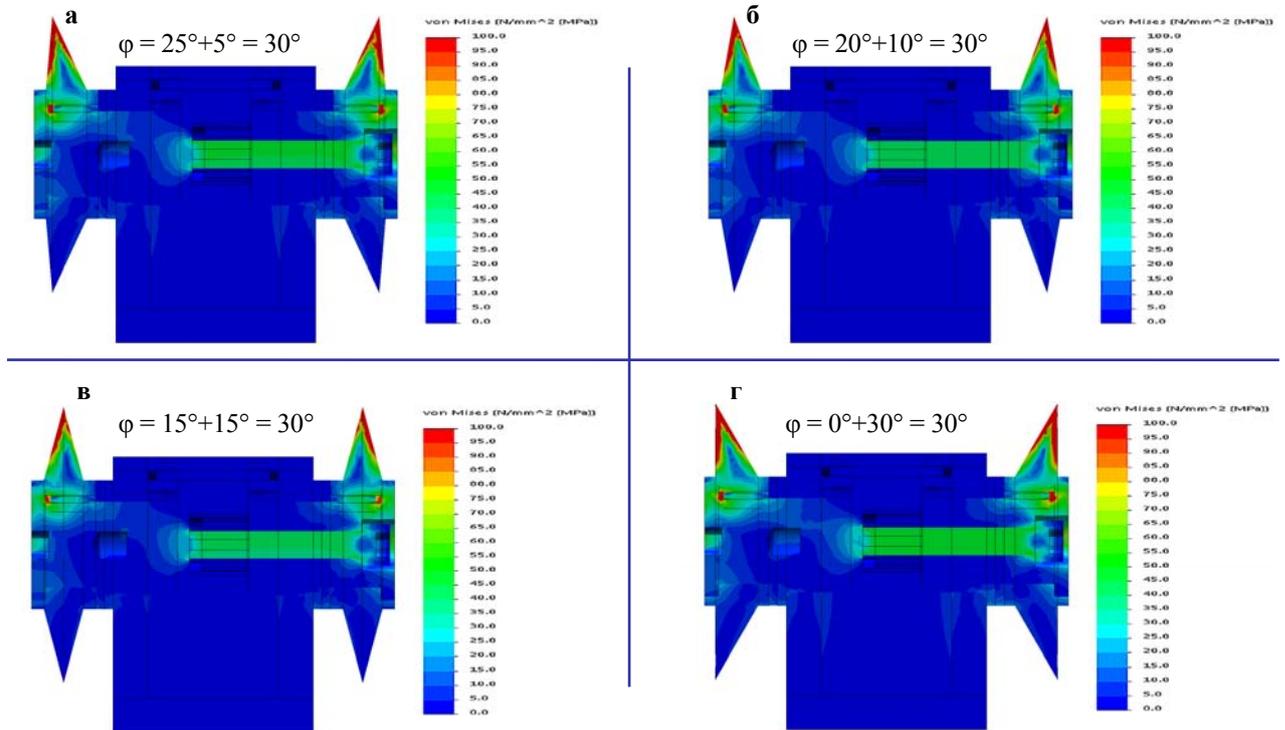


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в деталях узлов крепления спаренных дисковых инструментов при разрушении породного массива $\sigma_{сж} = 60,6$ МПа

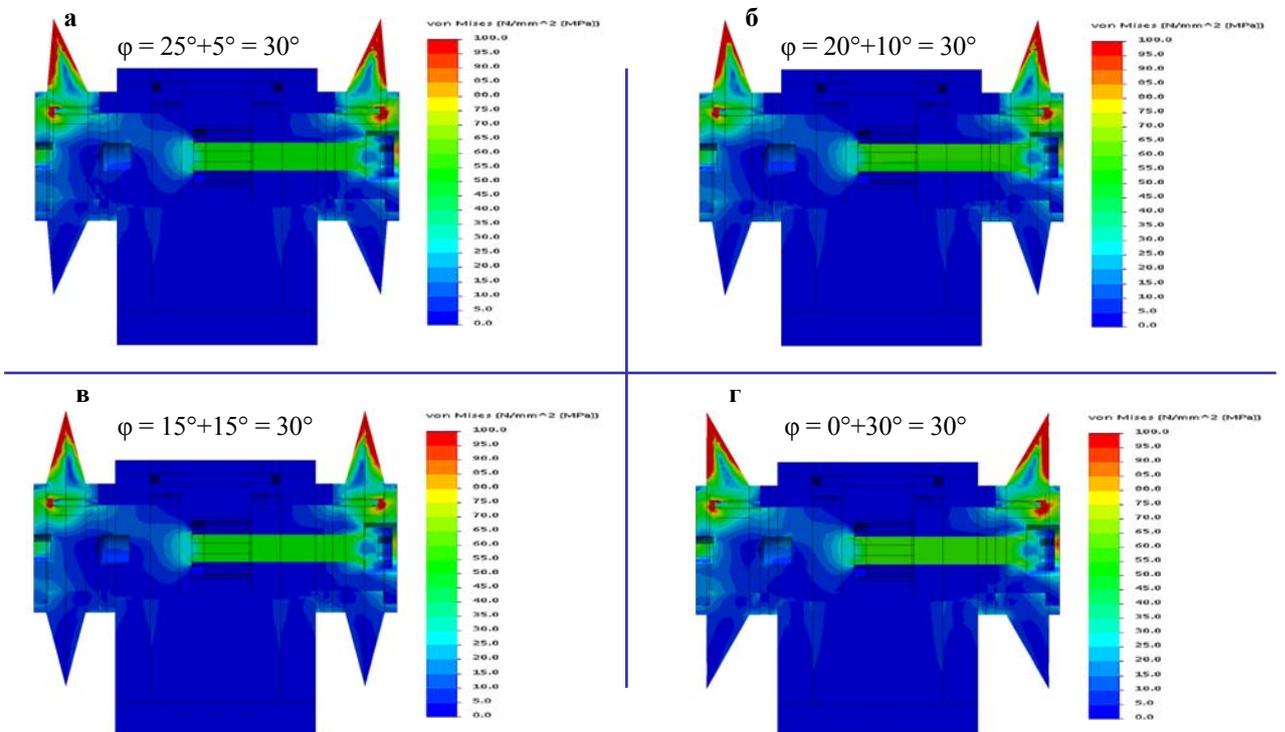


Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в деталях узлов крепления спаренных дисковых инструментов при разрушении породного массива $\sigma_{сж} = 78,9$ МПа

На рис. 9–12 представлены зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{эКВ}$ по критерию Мизеса от диаметра D дискового инструмента в плоскости сечения по клиновидной реборде со стороны крепеж-

ного винта для спаренного режима вращения дисков при разрушении забойных массивов: угольного ($1 - \sigma_{сж} = 12,4$ МПа), породных ($2 - \sigma_{сж} = 51$ МПа; $3 - \sigma_{сж} = 60,6$ МПа; $4 - \sigma_{сж} = 78,9$ МПа).

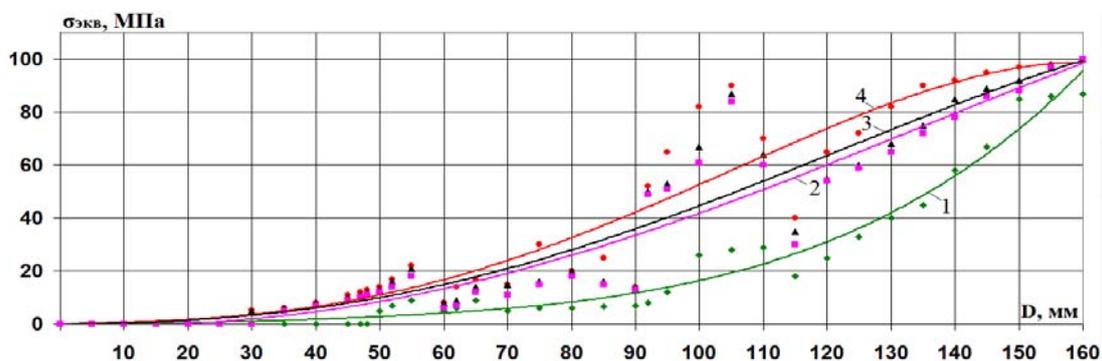


Рис. 9. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ от диаметра D биконического дискового инструмента с углом заострения $\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$

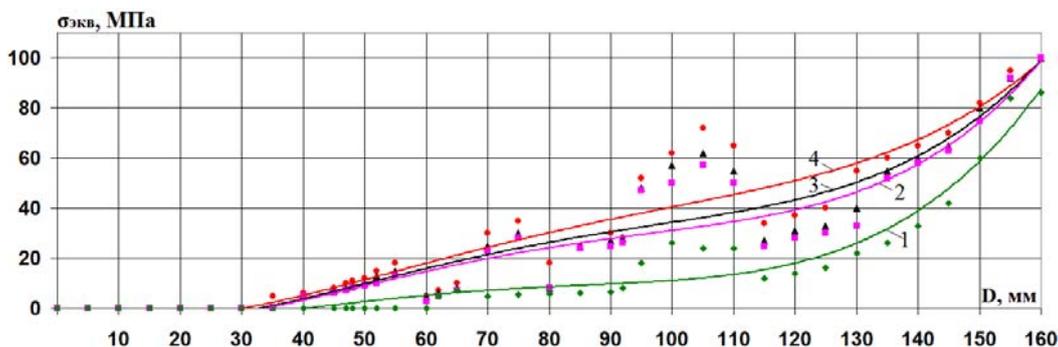


Рис. 10. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ от диаметра D биконического дискового инструмента с углом заострения $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$

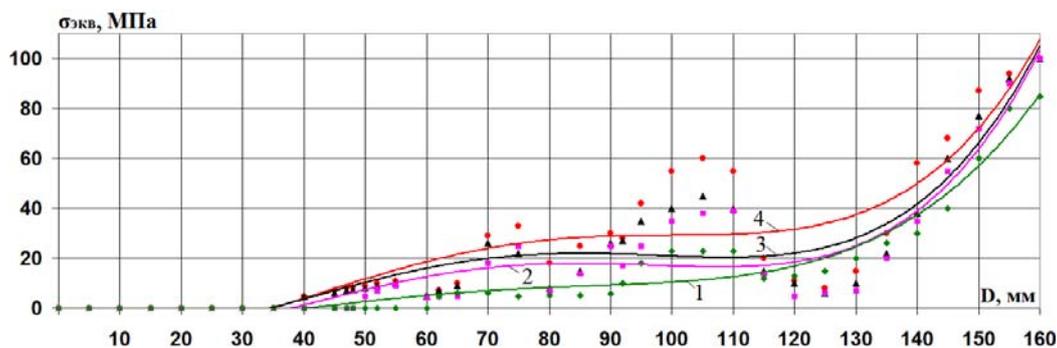


Рис. 11. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ от диаметра D биконического дискового инструмента с углом заострения $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$

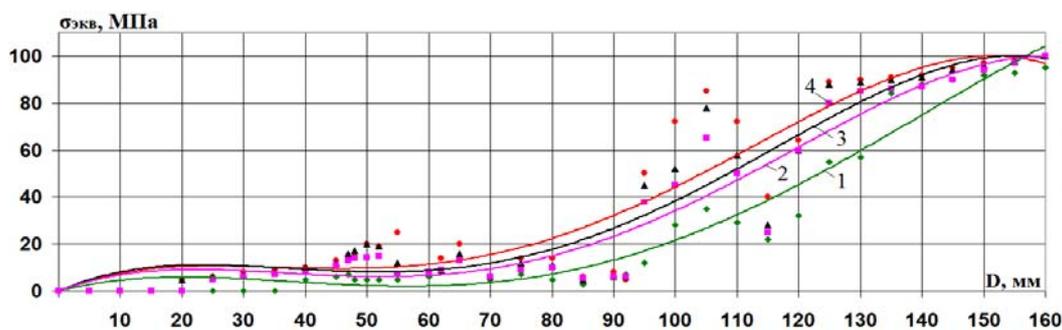


Рис. 12. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ от диаметра D конического дискового инструмента с углом заострения $\varphi = 0^\circ + 30^\circ = 30^\circ$

В табл. 2 представлены полиномиальные зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Мизеса от диаметра D дискового инструмента в плоскости сечения по клиновой реборде со стороны крепежного винта узла крепления к четырехгранной призме для спаренного режима вращения четырех конструктивных вариантов дисков при разрушении забойных массивов.

Таблица 2

Полиномиальные зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D для четырех конструктивных вариантов спаренных дисковых инструментов

Углы заострения диска $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, град	Забойные массивы, $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Полиномиальные зависимости	Коэффициенты достоверности аппроксимации R^2
25°+5°	12,4	$\sigma_{\text{экв}} = 2\text{E-}07D^4 - 3\text{E-}05D^3 + 0,002D^2 - 0,0106D$	0,9711
	51	$\sigma_{\text{экв}} = -8\text{E-}08D^4 + 1\text{E-}05D^3 + 0,0049D^2 - 0,0918D$	0,898
	60,6	$\sigma_{\text{экв}} = -2\text{E-}07D^4 + 4\text{E-}05D^3 + 0,0025D^2 + 0,0038D$	0,8982
	78,9	$\sigma_{\text{экв}} = -4\text{E-}07D^4 + 1\text{E-}04D^3 - 0,0005D^2 + 0,0579D$	0,9037
20°+10°	12,4	$\sigma_{\text{экв}} = 1\text{E-}06D^4 - 0,0003D^3 + 0,0244D^2 - 0,5984D$	0,9399
	51	$\sigma_{\text{экв}} = 1\text{E-}06D^4 - 0,0003D^3 + 0,0339D^2 - 0,7942D$	0,8921
	60,6	$\sigma_{\text{экв}} = 1\text{E-}06D^4 - 0,0003D^3 + 0,0329D^2 - 0,7628D$	0,8877
	78,9	$\sigma_{\text{экв}} = 9\text{E-}07D^4 - 0,0003D^3 + 0,0295D^2 - 0,6635D$	0,8909
15°+15°	12,4	$\sigma_{\text{экв}} = 1\text{E-}06D^4 - 0,0003D^3 + 0,0247D^2 - 0,6035D$	0,9423
	51	$\sigma_{\text{экв}} = 2\text{E-}06D^4 - 0,0006D^3 + 0,0517D^2 - 1,2264D$	0,858
	60,6	$\sigma_{\text{экв}} = 2\text{E-}06D^4 - 0,0006D^3 + 0,0523D^2 - 1,1771D$	0,8458
	78,9	$\sigma_{\text{экв}} = 2\text{E-}06D^4 - 0,0006D^3 + 0,0548D^2 - 1,2626D$	0,8041
0°+30°	12,4	$\sigma_{\text{экв}} = -8\text{E-}07D^4 + 0,0003D^3 - 0,0246D^2 + 0,6791D$	0,9532
	51	$\sigma_{\text{экв}} = -1\text{E-}06D^4 + 0,0004D^3 - 0,0355D^2 + 1,0052D$	0,9246
	60,6	$\sigma_{\text{экв}} = -2\text{E-}06D^4 + 0,0005D^3 - 0,0405D^2 + 1,178D$	0,8986
	78,9	$\sigma_{\text{экв}} = -2\text{E-}06D^4 + 0,0005D^3 - 0,037D^2 + 1,0852D$	0,8808

На рис. 13 представлен сводный график зависимостей эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D спаренных дисковых инструментов разных конструктивных вариантов на четырехгранных призмах (трех биконических с углами заострения: 1 – $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; 2 – $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; 3 – $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и одного конического 4 – $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$) при разрушении угольных забойных массивов проходческих горных выработок.

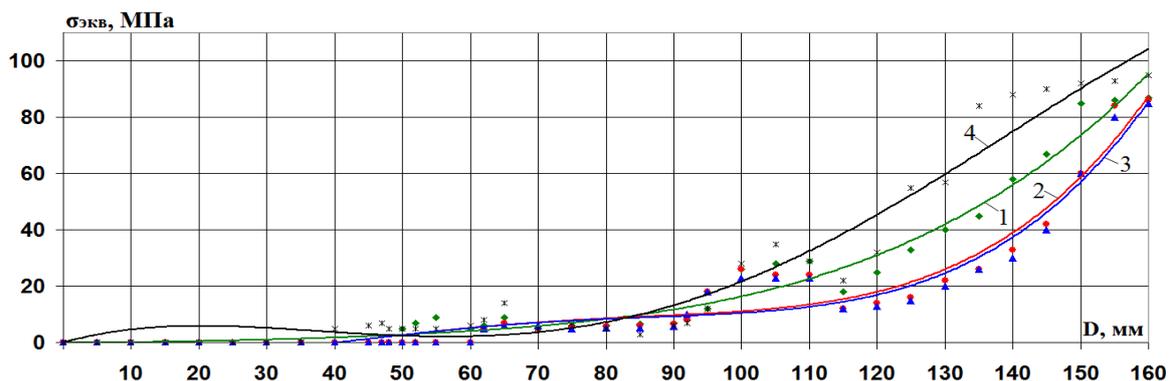


Рис. 13. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D дисковых инструментов разного конструктивного исполнения при разрушении угольного забойного массива $\sigma_{\text{сж}} = 12,4$ МПа

Результаты исследований и технические решения получены в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 “Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе”.

Анализ результатов зависимостей эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D спаренных дисковых инструментов четырех конструктивных вариантов показывает, что при разрушении угольных забойных массивов проходческих горных выработок все они имеют характер изменения в виде полиноми-

альных зависимостей с максимальной крутизной нарастания к зоне разрушения массива с глубиной внедрения $h = 0,04$ м при диаметре клиновой реборды диска $D = 0,16$ м. Здесь максимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ составляет 95 МПа, что характерно при разрушении угольного забойного массива коническим дисковым инструментом $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 0^\circ + 30^\circ$. Для трех конструктивных вариантов биконических спаренных дисковых инструментов ($\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) отмечается снижение уровня эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ до 85–87 МПа

Установлено, что при разрушении породных забойных массивов зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D спаренных дисковых инструментов также имеют сходный характер изменения в виде полиномиальных зависимостей с более пологой крутизной нарастания к зоне разрушения массива по сравнению угольными забоями при глубине внедрения $h = 0,006$ м на диаметре клиновой реборды диска $D = 0,16$ м. При этом для всех вариантов конструкций дисковых инструментов максимальный уровень эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ расположен в диапазоне 97–100 МПа.

В целом закономерности изменения напряженного состояния узлов крепления спаренного дискового инструмента при разрушении как угольных, так и породных, характеризуются тем, что:

- при использовании биконических дисковых инструментов с переходом от параметров асимметрии ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$) к параметрам симметрии ($15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) в зоне разрушения забойных массивов выявлено выполаживание полиномиальных зависимостей эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ от диаметра D дисков.

- при использовании конического дискового инструмента ($\varphi = 0^\circ + 30^\circ$) отмечается максимальная крутизна нарастания полиномиальных зависимостей по сравнению с биконическими дисковыми инструментами на диаметрах, близких к зоне разрушения;

Таким образом, реализация предложенного технического решения узлов крепления породоразрушающих дисковых инструментов на четырехгранных призмах для обеспечения спаренного режима вращения позволит расширить область применения и повысить эффективность эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия отечественного и зарубежного производства с исполнительными органами в виде двух аксиальных коронок на телескопической стреле как в угольных, так и в породных забойных массивах.

Литература.

1. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 5. – С. 2–6.
2. Хорешок, А.А. Прогнозирование максимального объема разрушенного материала дисковым инструментом / А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 9. – С. 299–304.
3. Нестеров, В.И. Исполнительный орган проходческого комбайна для совмещения процессов разрушения забоя с дроблением негабаритов и погрузкой горной массы / В.И. Нестеров, Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2012. – № 3. – С. 112–117.
4. Хорешок, А.А. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2012. – № 6. – С. 34–40.
5. Хорешок, А.А. Разработка реверсивных коронок для проходческих комбайнов с дисковым инструментом на сменных трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков, А.В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 40–44.
6. Маметьев, Л.Е. Совершенствование конструкций узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
7. Маметьев, Л.Е. Разработка устройства пылеподавления для реверсивных коронок проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2014. – № 3. – С. 17–21.
8. Маметьев, Л.Е. Улучшение процессов монтажа и демонтажа узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2014. – № 4. – С. 23–26.
9. Маметьев, Л.Е. Направление повышения зарубежной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-ва. – 2014. – № 5. – С. 21–24.

10. Хорешок, А.А. Устройства для улучшения процессов зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 11–16.
11. Хорешок, А.А. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.
12. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders / Khoreshok A, Mame-tyev L, Borisov A, Vorobiev A // Mining 2014. Taishan academic forum - project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. pp. 177-183.
13. Борисов, А.Ю. Напряжения в сопрягаемых элементах дисковых инструментов при разрушении проходческих забоев / А.Ю. Борисов, Л.Е. Маметьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2015. – №4. – С. 26–35.
14. Хорешок, А.А. Основные этапы разработки и моделирования параметров дискового инструмента проходческих и очистных горных машин / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7. – С. 9–16.
15. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms / Khoreshok A.A., Mame-tyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 770. С. 429-433.
16. Stress state of disk tool attachment points on tetrahedral prisms between axial bits / Khoreshok A.A., Mame-tyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 770. С. 434-438.
17. The distribution of stresses and strains in the mating elements disk tools working bodies of roadheaders / Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 91. № 1. С. 012084.
18. Маметьев, Л.Е. Разработка исполнительных органов и инструмента для стреловых проходческих комбайнов и бурошнековых машин / Л.Е. Маметьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2015. – № 5. – С. 56–64.
19. The application of the analytic hierarchy process when choosing layout schemes for a geokhod pumping station / Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 91. № 1. С. 012086.
20. Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production / Aksenov V.V., Walter A.V., Gordeyev A.A., Kosovets A.V. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 91. № 1. С. 012088.
21. Determination of necessary forces for geokhod movement / Efremkov A.B., Timofeev V.Y. // IFOST 2012: Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, September 18-32, 2012, Tomsk. – С. 1 – 4.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТЯГОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧИСЛОМ ФАЗ НЕКРАТНЫМ ТРЕМ

П.В. Морозов, к.т.н.

*Новосибирский государственный технический университет
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, тел. (383)-346-04-42*

E-mail: kaftoe@ngs.ru

Большинство стандартных трансформаторных преобразователей переменного тока, применяемых в промышленности и на транспорте, преобразуют три фазы в три или в одну, а также другое количество фаз кратное трем. Развитие промышленных и тяговых электрических машин привело к появлению и распространению двухфазных и четырехфазных нагрузок, у которых количество фаз некратно трем фазам первичной сети. Примерами таких нагрузок являются двухфазные и четырехфазные двигатели в системах позиционирования инструментов и заготовок, а также двух- и четырехфазные системы тягового электроснабжения скоростных железных дорог переменного тока.

Для моделирования трансформаторов целесообразно использовать программы типа Matlab Simulink, PSIM, Multisim и т.д. В них содержатся библиотеки элементов электрических схем, где в наличии имеются только типовые трансформаторные преобразователи с числом фаз кратным трем.

Предложено дополнить эти библиотеки трехфазно-двухфазными и трехфазно-четырёхфазными трансформаторными преобразователями, выполненными по схеме Скотта [1,2]. Пример преобразователя из трех фаз в четыре показан на рисунке 1. Если из данного преобразователя удалить авто-

трансформаторы с нагрузками на их вторичной стороне, то получится стандартный трехфазно-двухфазный трансформатор Скотта.

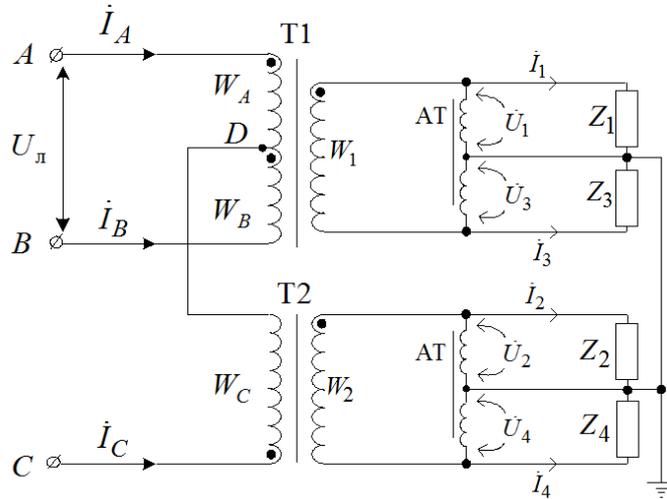


Рис. 1. Расчетная схема преобразователя числа фаз 3 в 4 на основе трансформатора Скотта

При необходимости модель преобразователя трех фаз в две или в четыре дополняют моделями активных фильтров на основе емкостных накопителей энергии и коммутационных матриц [3]. Каждая коммутационная матрица подключается через реактор параллельно нагрузке трансформаторного преобразователя на его вторичной стороне. На рисунке 2 показана одна базовая ячейка активного фильтра, подключенная к одной из обмоток трансформаторного преобразователя, которая представлена в виде эквивалентного источника напряжения. В модели предусмотрено импульсное включение и выключение нагрузки, за счет чего имитируется самый неблагоприятный режим функционирования многофазной нагрузки с числом фаз не кратным трем в трехфазной сети.

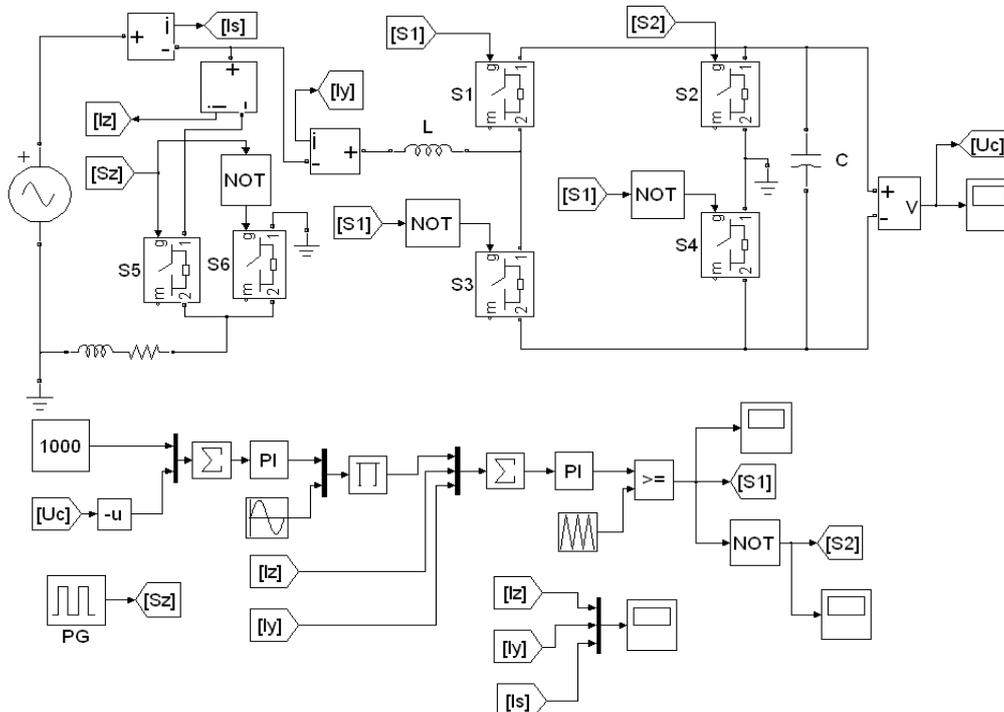


Рис. 2. Модель вторичной обмотки трансформатора Скотта с одной базовой ячейкой активного фильтра

Моделирование выполнялось при следующих модельных параметрах: индуктивность реактора (индуктивность утечки согласующего трансформатора) $L = 15$ мГн, емкость конденсаторной батареи $C = 5000$ мкФ. Моделирование показывает, что на конденсаторной батарее поддерживается напряжение, в 2 раза больше напряжения на обмотке трансформатора Скотта. Оно уменьшается при появлении нагрузки, и увеличивается при ее исчезновении. Эти изменения компенсируются с помощью ПИ-регулятора.

Разработанная модель позволяет оценить фазовый сдвиг между фазными токами, который должен быть как можно ближе к 90 градусам, и уровень их амплитуд, который должен быть для них одинаковым. В этом случае коэффициент несимметрии по току на первичной стороне трансформаторного преобразователя будет почти нулевым, а коэффициент несимметрии по напряжению не превысит значений, приведенных в ГОСТ [4, 5].

Таким образом, дополнение стандартных библиотек моделирующих программ моделями трехфазно-двухфазных и трехфазно-четырёхфазных трансформаторных преобразователей с активными фильтрами позволит получать объективную информацию о влиянии многофазных нагрузок на симметрию токов и напряжений в первичной трехфазную сети.

Литература.

1. Манусов В. З. Исследование методов снижения несимметрии нагрузки трехфазной сети на тяговых подстанциях скоростных железных дорог переменного тока / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Известия Транссиба. - 2012. - № 2 (10). - С. 87-93.
2. Манусов В. З. Снижение несимметрии в трехфазной сети, питающей двухфазную сеть тяговых подстанций скоростных железных дорог переменного тока / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. - 2012. - № 1 (25), ч. 1. - С. 204-207.
3. Fei-feng J, Mansoor, Qain A. A Single-Phase Shunt Active Power Filter Based on Cycle Discrete Control for DC Bus Voltage// Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision, Malta, September 15-17, 2005.- P. 47-52
4. Никифоров В.В. Новый стандарт по качеству электрической энергии. Основные положения и отличия от ГОСТ 13109-97// Новости электротехники, 2011.-№3.-С.15-17.
5. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

Л.А. Нейман, к.т.н., доцент

*Новосибирский государственный технический университет
630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, тел. (383)3460442*

E-mail: neyman@ngs.ru

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что применение линейных электромеханических систем с электромагнитным возбуждением от источников электромагнитного поля в отдельных случаях обеспечивает некоторые экономические выгоды. Они просты в устройстве, обладают высокой надежностью и большим рабочим ресурсом, имеют малые габариты и массу, а также обладают возможностью снижения энергопотребления при работе в резонансных и окологрезонансных режимах, что широко используется в технических системах [1–4].

В особенности широкое развитие получили синхронные линейные электромагнитные системы, для которых частота механических колебаний инерционных масс равна или кратна частоте питающей сети 50 Гц [5–8].

Изучение энергопреобразовательных процессов, а также реализация новых рабочих циклов и вариантов конструктивных схем машин и устройств на основе электромагнитного привода колебательного действия позволяют значительно улучшить их силовые и энергетические показатели [9–11].

Необходимо также отметить, что расширение области использования линейных преобразователей с возбуждением от источников электромагнитного поля в значительной степени определяется совершенствованием методик по их рациональному конструированию и расчету [12–16].

В особенности с большими трудностями приходится сталкиваться при расчете нестационарных режимов, зависящих от скорости, частоты, нагрева электропривода и свойств упругих связей инерционных элементов колебательной системы и т.д. [17–23].

Простота реализации независимого управления амплитудой и частотой колебаний является еще одним главным достоинством подобных преобразователей.

На стадии проектирования подобного электропривода возникает необходимость проведения динамического расчета с возможностью анализа работы тесно связанных между собой параметров электрической, магнитной и механической подсистем.

Как правило, проведение такого расчета сопровождается значительными трудностями, связанными с необходимостью построения математической модели в виде набора уравнений, наиболее точно отражающих физические явления. Для упрощения модели используется стандартный набор допущений, касающихся процессов рассеяния (поглощения) энергии за счет собственных демпфирующих свойств упругих связей и сил сухого трения, которые в большинстве случаев фигурируют только номинально или ими полностью игнорируют.

Учитывая, что механическая система современных электромагнитных приводов обладает несколькими степенями подвижности исполнительных механизмов, упрощение связей ограничивает возможности анализа динамической модели. Также ограничиваются возможности модели при расчетах резонансных и околорезонансных режимов, при которых достигается наибольшая экономия электроэнергии.

Целью данной работы является разработка математической модели электромагнитного привода колебательного движения с двумя степенями подвижности исполнительных механизмов, учитывающей совокупность электромеханических процессов и свойств упругих связей, а также сил сухого трения.

Расчетная схема построения динамической модели электропривода с возвратно-поступательным движением синхронно взаимодействующих между собой инерционных масс представлена на рис. 1.

Электромеханическая система содержит катушку 1, сердечник 2 и якорь 3, образующие магнитную систему. При протекании периодического тока по обмотке катушки якорь под действием электромагнитных сил и сил упругих связей механической системы совершает колебательные движения. Механическая колебательная система имеет в своем составе традиционные массоинерционные, упругие и диссипативные звенья.

На рис. 1 обозначено: $f_{эм}$ - вынуждающая электромагнитная сила; x_1, x_2 - обобщенные координаты линейного перемещения центра масс; m_1 - масса якоря; m_2 - присоединенная масса; M - масса электропривода; k_1, k_2 - коэффициенты жесткости упругих связей (пружин); b_1, b_2 - коэффициенты вязкого трения упругих связей; $f_{тр1}, f_{тр2}$ - силы сухого трения скольжения.

Количество обобщенных независимых координат определяет число степеней свободы механической системы.

Механическая и магнитная системы электропривода связаны функциональной зависимостью электромагнитного усилия $f_{эм} = f(i, x)$ от величины протекающего тока i в катушке и координаты положения якоря x_1 относительно сердечника, а связь магнитной и электрической системы – зависимостью величины потокосцепления $\psi = f(i, x)$ и в общем случае описывается дифференциальным уравнением электрического равновесия нелинейной цепи

$$u(t) = ir + \frac{d\psi(i, x)}{dt}, \quad (1)$$

где $u(t)$ - напряжение на обмотке катушки, r - активное сопротивление катушки.

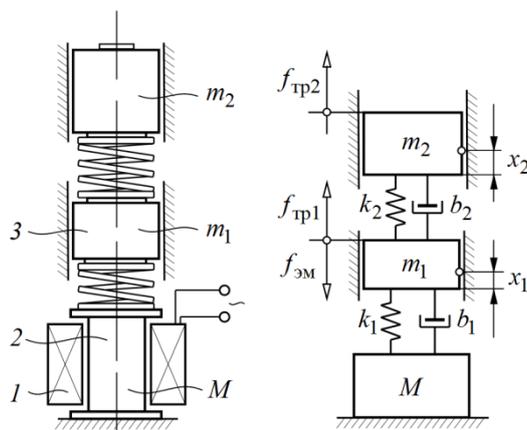


Рис. 1. Расчетная схема двухмассовой динамической модели электромагнитного привода возвратно-поступательного движения

Напряжение $u(t)$, как правило, формируется схемой управления обмотки катушки при питании от периодического синусоидального источника промышленной частоты 50 Гц. Мгновенные значения потокосцепления $\psi = f(i, x)$ и электромагнитного усилия $f_{\text{ЭМ}} = f(i, x)$ определяются в зависимости от величины тока и воздушного зазора (координата x_1) путем численного расчета магнитного поля в статических режимах для строго заданной конфигурации магнитной цепи.

Для построения модели динамического состояния механической системы воспользуемся уравнением Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_i} + Q_i, \quad (2)$$

где T - кинетическая энергия системы, Π - потенциальная энергия системы, Φ - диссипативная функция механической системы (функция Релея), Q_i - обобщенная сила системы, соответствующая i -й обобщенной координате, x_i - обобщенные координаты, \dot{x}_i - обобщенные скорости.

Рассматриваемая механическая система (рис. 1) имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат принимаем перемещение якоря x_1 массой m_1 и перемещение присоединенной массы m_2 . Начала обобщенных координат поместим в положение относительно статического равновесия инерционных масс.

Последовательно определим величины, входящие в (2).

Кинетическая энергия механической системы для поступательно движущихся масс

$$T = \frac{m_1 \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{x}_2^2}{2}.$$

Потенциальная энергия упругих элементов механической системы

$$\Pi = \frac{k_1 x_1^2}{2} + \frac{k_2 (x_2 - x_1)^2}{2}.$$

Диссипативная функция Релея

$$\Phi = \frac{b_1 \dot{x}_1^2}{2} + \frac{b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2}{2}.$$

Обобщенные силы механической системы, соответствующие i -м обобщенным координатам x_1 , x_2 и x_3

$$Q_{x_1} = f_{\text{ЭМ}}(i, x) - f_{\text{Тр1}} \text{sign } \dot{x}_1; \quad Q_{x_2} = -f_{\text{Тр2}} \text{sign } \dot{x}_2.$$

Частные производные от кинетической энергии и производные по времени

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2, \quad \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0.$$

Частные производные от потенциальной энергии по обобщенной координате x_i

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x_1} = k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1), \quad \frac{\partial \Pi}{\partial x_2} = k_2 (x_2 - x_1).$$

Частные производные от диссипативной функции Релея по обобщенной скорости \dot{x}_i

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_1} = b_1 \dot{x}_1 - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_2} = b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1).$$

В соответствии с уравнением Лагранжа (2) и с учетом полученных выражений дифференциальные уравнения динамического состояния механической системы по обобщенным координатам запишутся в виде

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = -k_1 x_1 + k_2 (x_2 - x_1) - b_1 \dot{x}_1 + b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - f_{\text{тр}1} \text{sign } \dot{x}_1 + f_{\text{эм}}(i, x); \\ m_2 \ddot{x}_2 = -k_2 (x_2 - x_1) - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - f_{\text{тр}2} \text{sign } \dot{x}_2. \end{cases}$$

В результате математическая модель динамического состояния электромеханической системы (рис. 1) с единственной обмоткой управления, возбуждаемой изменяющимся во времени периодическим током, будет описываться следующей системой уравнений

$$\begin{cases} u(t) = i r + \frac{d\psi(i, x)}{dt}; \\ m_1 \frac{dx_1^2}{dt^2} + b_1 \frac{dx_1}{dt} - b_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) = -f_{\text{тр}1} \text{sign } \frac{dx_1}{dt} + f_{\text{эм}}(i, x); \\ m_2 \frac{dx_2^2}{dt^2} + b_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + k_2 (x_2 - x_1) = -f_{\text{тр}2} \text{sign } \frac{dx_2}{dt}. \end{cases}$$

Полученная система уравнений динамического состояния электромеханической системы с электромагнитным приводом и двумя степенями подвижностями инерционных масс позволяет производить всесторонний анализ рабочих процессов в переходных и установившихся режимах.

Решение динамической части задачи связано с разработкой алгоритма расчета системы дифференциальных уравнений, что наиболее просто можно реализовать с помощью аппарата структурного моделирования, например в программной среде, *Matlab Simulink* [23].

Таким образом, полученная математическая модель динамического состояния электромеханической двухмассовой системы обеспечивает возможность всестороннего анализа колебательного режима работы электромагнитного привода, предназначенного для возбуждения механических колебаний с частотой до 100 Гц. Особенностью модели является возможность учета совокупности взаимосвязанных электромеханических процессов в переходных и установившихся режимах, учитывающих рассеяние энергии за счет собственных демпфирующих свойств упругих связей и сил сухого трения.

Литература

1. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. 2014. №1. С. 256–259.
2. Нейман В.Ю. Режимы форсированного аккумулирования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 105–112.
3. Аксютин В.А. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий / В.А. Аксютин, Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман, А.А. Скотников // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. №2. С. 220–224.
4. Нейман В.Ю. Петрова А.А. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // Электротехника. 2007. № 9. С. 47а–50.

5. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка // *Современные проблемы теории машин*. 2014. № 2. С. 109–110.
6. Нейман Л.А. Синхронный электромагнитный механизм для виброударного технологического оборудования // *Справочник. Инженерный журнал с приложением*. 2014. № 6 (207). С. 17–19.
7. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий // *Электротехника*. 2014. № 12. С. 45–49.
8. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Новые конструктивные решения проблемы точной синхронизации возвратно-поступательного движения бойка неуправляемой электромагнитной машины ударного действия // *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2015. №2. С. 280–285.
9. Нейман В.Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // *Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография / Новосибир. гос. техн. ун-т; Под ред. В.Н. Аносова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. С. 155–170.*
10. Малинин Л.И., Нейман В.Ю. Определение напряжения преобразования энергии и электромагнитных сил в электромеханических системах // *Электричество*. 2008. № 6. С. 57–62.
11. Нейман Л.А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом бойка // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. № 4, Т. 323. С. 112–116.
12. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Повышение точности аналитического расчета радиальных сил одностороннего магнитного притяжения некоаксиальных элементов магнитопровода // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2015. № 1 (58). С. 246–256.
13. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. О методике к выбору типа электромагнита по значениям конструктивного фактора // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2011. № 2. С. 310–313.
14. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. № 2 (97). С. 214–218.
15. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля // *Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. М.: Изд-во ВИНТИ, 2008. № 6. С. 21–24.*
16. Соловейчик Ю.Г. Оптимизация геометрии линейных электромагнитных двигателей с использованием конечноэлементного моделирования магнитного поля / Ю.Г. Соловейчик, В.Ю. Нейман, М.Г. Персова, М.Э. Рояк, Ю.Б. Смирнова, Р.В. Петров // *Известия вузов. Электромеханика*. 2005. № 2. С. 24–28.
17. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Шабанов А.С. Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // *Электротехника*. 2014. № 12. С. 50–53.
18. Нейман Л.А. Исследование перегрузочной способности циклического электромагнитного привода в зависимости от начального превышения температуры в переходных тепловых режимах // *Электротехника*. 2014. № 7. С. 7–12.
19. Нейман Л.А. Приближенный расчет циклического электромагнитного привода с учтенным начальным превышением температуры в переходном тепловом процессе нагрева // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. 2014. № 1 (22). С. 113–122.
20. Нейман Л.А. Оценка перегрузочной способности ударного электромагнитного привода по средней температуре перегрева в переходных режимах // *Известия вузов. Электромеханика*. 2013. №6. С. 58–61.
21. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Сравнение геометрически подобных систем электромагнитов по условию постоянства теплового критерия // *Электротехника*. 2011. № 12. С. 14а–16.
22. Нейман Л.А., Скотников А.А. Анализ процесса нагрева электромагнитного двигателя работающего в импульсном режиме // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2012. № 2. С. 319–322.
23. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. 2015. № 3 (28). С. 75–87.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

*Л.А. Нейман, к.т.н., доцент, В.Ю. Нейман, д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, тел. (383)3460442
E-mail: neyman@ngs.ru*

Линейные электромагнитные двигатели колебательного (возвратно-поступательного) движения широко используются в промышленности для механизации различных процессов и производств [1–5]. Особо следует выделить синхронные электромагнитные двигатели, а также созданные на их основе низкочастотные устройства и машины ударного принципа действия [6–8]. Существенная роль в повышении эффективности этих устройств и машин отводится сегодня изучению процессов электромагнитного преобразования энергии [9, 10]. Вследствие их относительно низкого КПД, которое в среднем не превышает 30...40%, особое внимание уделяется проблеме нагрева и охлаждения электромагнитного электропривода [11–16]. Вопросы, связанные с совершенствованием инженерных методик расчета электромагнитных двигателей и машин на их основе по-прежнему не теряет своей актуальности, как и много лет назад [17–21]. Существенно изменились конструктивные варианты схем электромагнитных машин, которые продолжают совершенствоваться [22]. Вместе с тем, разработка методов анализа динамического состояния электромагнитного привода в составе с электро-механической системы по-прежнему вызывает серьезные затруднения при решении задач оптимального проектирования электропривода.

Актуальность выполненных исследований обусловлена необходимостью совершенствования и расширения возможностей динамического расчета для решения комплексной задачи анализа и синтеза линейного электромагнитного привода колебательного движения, применяемого в технических системах для возбуждения низкочастотных колебаний и вибраций с частотой до 100 Гц.

В качестве объекта исследований рассматривается одномассовая колебательная система с однокатушечным электромагнитным приводом, получающим питание от синусоидального источника напряжения промышленной частоты [23]. Основу динамической модели электропривода составляют дифференциальные уравнения, записанные для электрического равновесия нелинейной цепи и по принципу Даламбера для механической системы с одной степенью свободы

$$u(t) = ir + \frac{d\psi(i, x)}{dt}, \quad (1)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = f_{эм}(i, x) - kx - b_0 \frac{dx}{dt} - f_{тр} \operatorname{sgn} \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

где $u(t)$ - напряжение на обмотке катушки; i - ток катушки; $\psi = f(i, x)$ - потокосцепление, зависящее от величины протекающего тока и положения якоря; r - активное сопротивление катушки; $m = m_1 + m_2$ - масса движущихся частей; $f_{эм} = f(i, x)$ - электромагнитная сила, зависящая от величины протекающего тока и положения якоря; k - коэффициент жесткости упругого элемента (пружины); b_0 - коэффициент вязкого трения упругих связей; $f_{тр}$ - сила сухого трения.

Выбор аналогов механических характеристик модели подробно рассмотрен в [24]. Расчет статических параметров модели электромагнитного двигателя $\psi = f(i, x)$ и $f_{эм} = f(i, x)$ для различных положений сердечника якоря осуществлялся через интегральные характеристики магнитного поля [25]. При определении статических параметров, применялась стандартная программа конечно-элементного моделирования *FEMM* [20].

Вариант структурной схемы динамической модели одномассовой колебательной системы с электромагнитным приводом в программе *Matlab Simulink* представлен на рис. 1.

Питание модели осуществляется от однофазного источника напряжения промышленной частоты 50 Гц по однополупериодной схеме выпрямления, реализованной с помощью блока *Electrial subsystem*. Учет нелинейных свойств модели реализован в программе с помощью подсистемы *Magnetic subsystem*. Структурная схема подсистемы в соответствии с уравнением (1) рассмотрена в [23]. Задание функции двух аргументов и интерполяция статических параметров модели $\psi(i, x)$ и $f_{эм}(i, x)$ в процессе счета осуществляется с помощью блока двумерной таблицы. Учет механических

характеристик модели, в соответствии с уравнением (2), реализован с помощью подсистемы *Mechanical subsystem* (рис. 1) [23, 24].

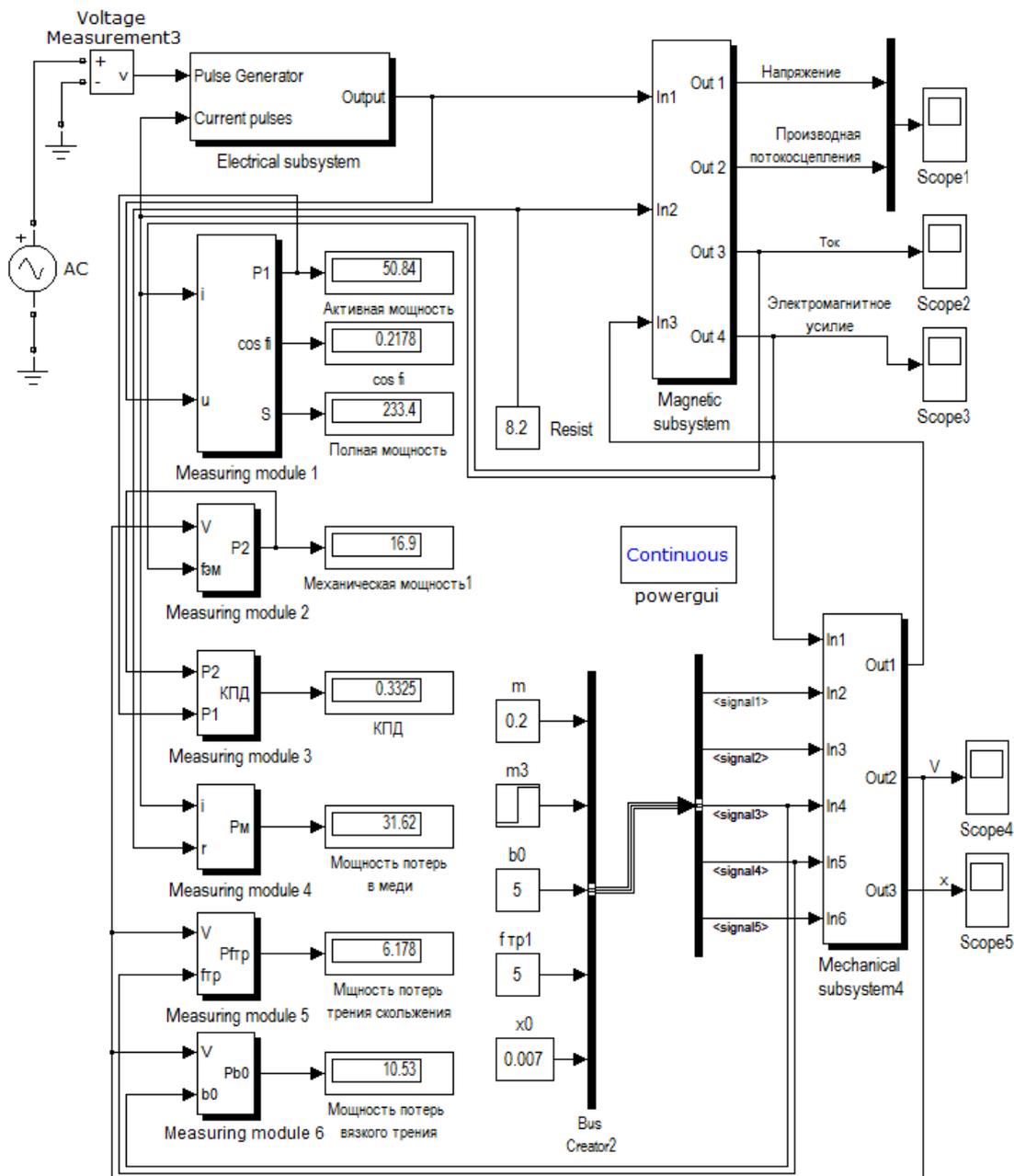


Рис. 1. Структурная схема варианта имитационной динамической модели электромагнитного двигателя колебательного движения

Для оценки эффективности работы электропривода и анализа рабочих режимов динамической модели использовалась система общепринятых показателей, реализованных в среде *Simulink* с помощью измерительных модулей *Measuring module 1...6* представленных на рис. 1.

Модуль *Measuring module 1* реализует измерительную систему из трех интегральных показателей (рис.2):

- потребляемую электроприводом электрическую активную мощность $P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt$;

- потребляемую от источника полную мощность электропривода $S = UI$,

где $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$ - действующее значение напряжения; $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$ - действующее значение тока;

- коэффициент мощности $\cos \varphi = \frac{P_1}{S}$.

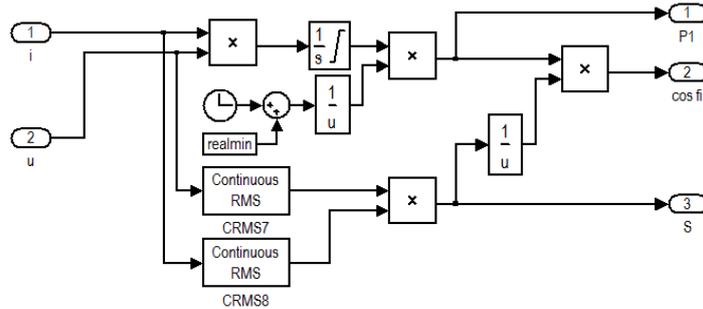


Рис. 2. Измерительный модуль Measuring module 1

Модуль *Measuring module 2* реализует расчет механической мощности электропривода (рис. 3)

$$P_2 = \frac{1}{T} \int_0^T f_{эм}(t) v(t) dt, \text{ где } v(t) - \text{ скорость перемещения якоря.}$$

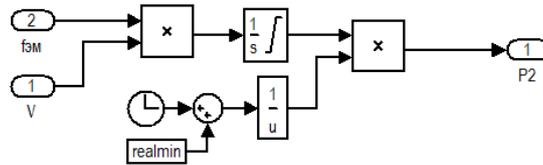


Рис. 3. Измерительный модуль Measuring module 2

Модуль *Measuring module 3* рассчитывает относительный КПД (рис. 4) $\eta = \frac{P_1}{P_2}$.

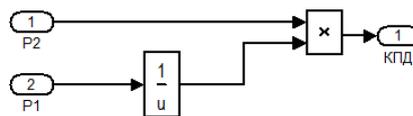


Рис. 4. Измерительный модуль Measuring module 3

Модуль *Measuring module 4* выполняет расчет мощности потерь в меди (рис. 5)

$$P_M = I^2 r = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) r dt.$$

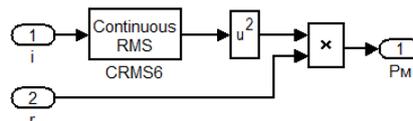


Рис. 5. Измерительный модуль Measuring module 4

Модуль *Measuring module 5* рассчитывает механические потери мощности от действия силы трения скольжения (рис. 6) $P_{f_{тр}} = \frac{1}{T} \int_0^T f_{тр} [\text{sgn } v] v(t) dt.$

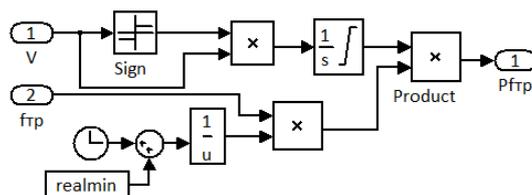


Рис. 6. Измерительный модуль Measuring module 5

Модуль *Measuring module 6* рассчитывает механические потери мощности, вызванные вязким трением (рис. 7) $P_{b0} = \frac{1}{T} \int_0^T b_0 v^2(t) dt$.

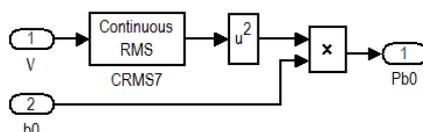


Рис. 7. Измерительный модуль Measuring module 6

В качестве примера на рис. 8 представлены графики рабочего процесса для установившегося режима в виде максимальных значений амплитуды A_m и скорости v_{\max} колебаний, а также максимальных значений тока i_{\max} и электромагнитного усилия $f_{\text{эм max}}$ в зависимости от присоединенной массы m^* подвижных частей, выраженной через относительные единицы. При этом разница в частоте собственных колебаний механической системы с увеличением относительной массы в установленных пределах составила $\omega_0 = 245 \dots 205 \text{ с}^{-1}$.

Расчет выполнен при следующих параметрах динамической модели: $U_m = 175 \text{ В}$; $m = 0,2 \text{ кг}$; $r = 8,2 \text{ Ом}$; $k = 1250 \text{ Н/м}$; $b_0 = 5 \text{ Нс/м}$; $f_{\text{тр}} = 5 \text{ Н}$. Частота собственных колебаний механической системы $\omega_0 = 250 \text{ с}^{-1}$. Катушка электропривода получает питание от однофазного источника синусоидального напряжения частотой 50 Гц по однополупериодной схеме выпрямления.

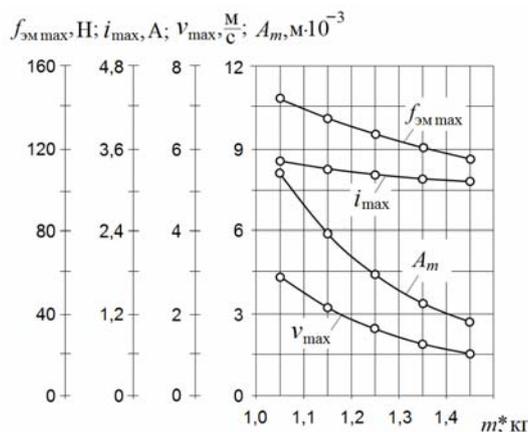


Рис. 8. Графики рабочего процесса для установившегося режима вынужденных колебаний

Из графиков (рис. 8) следует, что амплитуда колебаний A_m и максимальная скорость колебаний v_{\max} в большей степени зависят от массы подвижных частей механической системы. В меньшей степени этой зависимости подвержены максимальные значения тока в цепи катушки i_{\max} и электромагнитного усилия $f_{\text{эм max}}$.

Сравнение расчетных и экспериментальных зависимостей показывает хорошее соответствие качественных и количественных результатов, что стало возможным только при точном учете аналогов механических характеристик модели. Расхождение расчетных и экспериментальных характеристик модели не превышает погрешности 5...8%, общепринятой для инженерной практики.

Заключение. На примере расчета одномассовой колебательной системе с электромагнитным приводом рассмотрены возможности для проведения всестороннего анализа электромеханических процессов в переходных и квазиустановившихся режимах методами и средствами структурного моделирования в *Matlab Simulink*. Полученные результаты структурного моделирования и рассмотренные предложения по реализации динамической модели можно широко использовать, как в инженерной практике, так и для решения комплексных задач анализа и синтеза электромагнитного привода колебательного движения.

Литература.

1. Аксютин В.А. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий / В.А. Аксютин, Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман, А.А. Скотников // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. №2. С. 220–224.
2. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. 2014. №1. С. 256–259.
3. Нейман В.Ю. Режимы форсированного аккумулирования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 105–112.
4. Нейман В.Ю. Петрова А.А. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // Электротехника. 2007. № 9. С. 47а–50.
5. Нейман В.Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография / Новосиб. гос. техн. ун-т; Под ред. В.Н. Аносова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. С. 155–170.
6. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 109–110.
7. Нейман Л.А. Синхронный электромагнитный механизм для виброударного технологического оборудования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 6 (207). С. 17–19.
8. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий // Электротехника. 2014. № 12. С. 45–49.
9. Малинин Л.И., Нейман В.Ю. Определение напряжения преобразования энергии и электромагнитных сил в электромеханических системах // Электричество. 2008. № 6. С. 57–62.
10. Нейман Л.А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом бойка // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 4, Т. 323. С. 112–116.
11. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Шабанов А.С. Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // Электротехника. 2014. № 12. С. 50–53.
12. Нейман Л.А. Исследование перегрузочной способности циклического электромагнитного привода в зависимости от начального превышения температуры в переходных тепловых режимах // Электротехника. 2014. № 7. С. 7–12.
13. Нейман Л.А. Приближенный расчет циклического электромагнитного привода с учтенным начальным превышением температуры в переходном тепловом процессе нагрева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2014. № 1 (22). С. 113–122.
14. Нейман Л.А. Оценка перегрузочной способности ударного электромагнитного привода по средней температуре перегрева в переходных режимах // Известия вузов. Электромеханика. 2013. № 6. С. 58–61.
15. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Сравнение геометрически подобных систем электромагнитов по условию постоянства теплового критерия // Электротехника. 2011. № 12. С. 14а–16.
16. Нейман Л.А., Скотников А.А. Анализ процесса нагрева электромагнитного двигателя работающего в импульсном режиме // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 319–322.

17. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Повышение точности аналитического расчета радиальных сил одностороннего магнитного притяжения некоаксиальных элементов магнитопровода // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 1 (58). С. 246–256.
18. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. О методике к выбору типа электромагнита по значениям конструктивного фактора // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 2. С. 310–313.
19. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 214–218.
20. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. М.: Изд-во ВИНТИ, 2008. № 6. С. 21–24.
21. Соловейчик Ю.Г. Оптимизация геометрии линейных электромагнитных двигателей с использованием конечноэлементного моделирования магнитного поля / Ю.Г. Соловейчик, В.Ю. Нейман, М.Г. Персова, М.Э. Рояк, Ю.Б. Смирнова, Р.В. Петров // Известия вузов. Электромеханика. 2005. № 2. С. 24–28.
22. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Новые конструктивные решения проблемы точной синхронизации возвратно-поступательного движения бойка неуправляемой электромагнитной машины ударного действия // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. №2. С. 280–285.
23. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 3 (28). С. 75–87.
24. Нейман Л.А., Щуров Н.И. К учету аналогов механических характеристик модели электромагнитного привода колебательного движения // В сборнике: Фундаментальные проблемы науки. Ответственный редактор Сукиасян А.А., 2015. С. 43–51.
25. Нейман Л.А., Шабанов А.С., Нейман В.Ю. Решение задачи учета нелинейных свойств динамической модели электромагнитного привода // В сборнике: Теория и практика современной науки: материалы XIX Международной научно-практической конференции. Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований». Москва, 2015. С. 58–63.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Д.А. Петров, С.Г. Проскурин, к. ф.-м.н., доц.

*Тамбовский государственный технический университет
392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская 116, тел. 8 (915) 677-75-88
E-mail: den794@mail.ru*

Современные оптические методы исследования материалов (микроскопия, оптическая когерентная томография) позволяют получить детальное изображение внутренней структуры объекта. Но в некоторых случаях оптические методы не позволяют получить приемлемый результат, что связано с особенностями распространения света в среде [1]. Соответственно, для увеличения эффективности этих методов необходимо полное понимание закономерностей фотонного транспорта в оптически мутных средах.

На данный момент наиболее эффективным способом моделирования является метод, основанный на принципах Монте-Карло. Закономерности распространения света в среде, включая определение дистанции свободного пробега и угол рассеивания, выражаются через их плотности распределения вероятностей. Возможно также моделирование фотонного транспорта с помощью уравнения переноса излучения (УПИ), но в этом случае возможно появление разного рода ошибок, в особенности вблизи точек приложения источника и у границ объекта. Метод Монте-Карло является статистическим и предполагает реализацию многократных вычислений стохастических процессов, поэтому по скорости моделирования он существенно уступает аналитическому методу, основанному на УПИ.

Наиболее часто используемое на данный момент программное обеспечение, позволяющее проводить Монте-Карло моделирование, появилось в открытом доступе в девяностых годах прошлого столетия [2]. Данная программа позволяет проводить моделирование только в стационарном режиме, без учета временных флуктуаций в структуре объекта, что не позволяет исследовать материал в динамике. Также данное программное обеспечение позволяет проводить вычисления, используя

только одно ядро центрального процессора, что не позволяет воспользоваться преимуществом современных компьютерных технологий. Соответственно, для увеличения эффективности методики моделирования необходимо создание алгоритма, учитывающие эти особенности, а также позволяющее ускорить вычисления.

Обычно свободная длина пробега фотона между точками взаимодействия со средой s определяется с помощью распределение Пуассона:

$$f(s) = \mu_t \exp(-\mu_t s)$$

где μ_t - коэффициент экстинкции, который равен сумме коэффициент рассеяния μ_s и поглощения излучения μ_a . При анализе этого выражения получаем, что длина пробега может быть выражена как:

$$s = -\frac{\ln \xi}{\mu_t},$$

где ξ - случайное число равномерно распределенное между 0 и 1.

Чем меньше длина пробега фотона между точками взаимодействия, тем больше актов рассеяния в среднем будет испытывать фотон во время прохождения через среду, что означает большее количество необходимых операций вычисления. Для увеличения скорости моделирования предлагается использовать вместо коэффициента экстинкции только коэффициент рассеивания, а поглощение энергии кванта W рассчитывать аналитически с помощью закона Бера-Бугерта-Ламберта

$$W = W \exp(-\mu_a s)$$

Определение значения угла рассеяния θ предлагается осуществлять с помощью фазовой функции Хеньи-Гринштейна:

$$p(\theta, \lambda) = \frac{1 - g^2(\lambda)}{(1 + g^2(\lambda) - 2g^2(\lambda) \cos \theta)^{1.5}}$$

где g - коэффициент анизотропии среды. Полярный угол φ равномерно распределяется от 0 до 2π

После каждого акта рассеяния направление движения фотона определяется путем изменения значения направляющих косинусов в трехмерной системе координат:

$$\begin{aligned} \mu_x' &= \frac{\sin \theta (\mu_x \mu_z \cos \varphi - \mu_y \sin \varphi)}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} + \mu_z \cos \theta \\ \mu_y' &= \frac{\sin \theta (\mu_y \mu_z \cos \varphi + \mu_x \sin \varphi)}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} + \mu_y \cos \theta \\ \mu_z' &= -\sqrt{1 - \mu_z^2} \sin \theta \cos \varphi + \mu_z \cos \theta \end{aligned}$$

Для исследования прохождения света в объекте с неоднородной пространственной структурой задается трехмерная матрица элементов, каждый сегмент которого имеет свои значения коэффициента рассеяния, поглощения, индекса преломления и коэффициента анизотропии. Квант света передвигается из одного сегмента в другой, при этом возможно отражение на границе двух сегментов в случае если следующий сегмент имеет показатель преломления, отличный от такового у текущего сегмента. При этом вероятность отражения рассчитывается в вероятностном виде по формулам Френеля. Если внутри среды имеется объект, оптические характеристики которого одинаковы во всем пространстве, то границы его можно описать в аналитическом виде, что позволит увеличить скорость вычислений.

Исследование динамически изменяющихся материалов можно проводить путем задания функции изменения оптических параметров среды во времени. При этом осуществляется подсчет времени прохождения фотонов в среде с помощью дистанции пролета и скорости распространения света в среде, который определяется по индексу преломления.

Для увеличения скорости моделирования предлагается перенести вычисления с центрального процессора на графические процессоры GPU. GPU - специализированное электронное устройство,

используемое для быстрого манипулирования и изменения информации, хранящейся в кадровом буфере, и предназначенное для ускорения обработки компьютерной графики. Изначально GPU использовались только для графического рендеринга, но после добавления программируемых шейдерных блоков появилась возможность производить вычисления на GPU также и в приложениях общего назначения [3]. Для проведения моделирования на основе методов Монте-Карло каждая нить вычисляет распространение своего фотона. Атомарными операциями в этом случае будут декрементирование числа оставшихся фотонов и запись значения энергии фотона в матрицу распределения.

Используя представленные модификации, получено программное обеспечение, позволяющее проводить разрешенное по времени моделирование фотонного транспорта в оптически мутных средах.

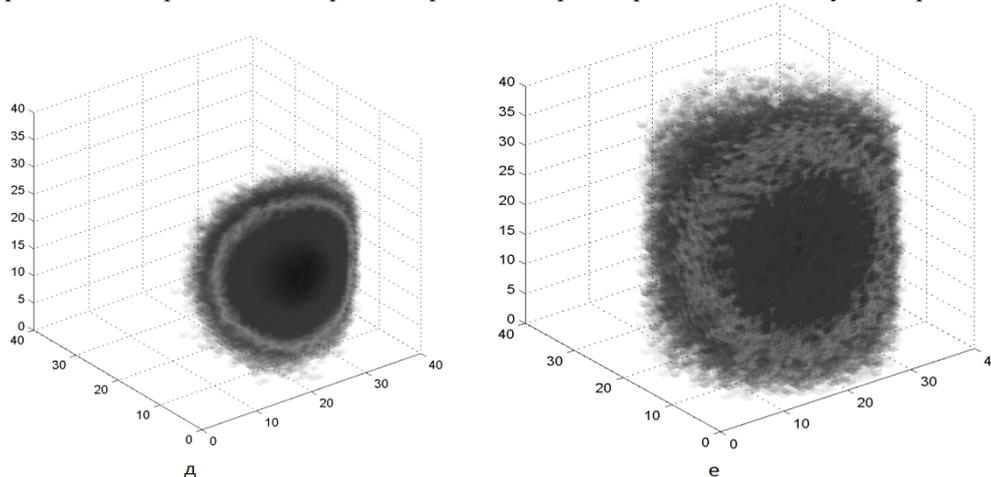


Рис. 1. Плотность распределения энергии пучка в цилиндре на момент 0.15 наносекунд (слева), и на момент 0.59 наносекунд (справа)

Результат моделирования распространения света в цилиндрическом объекте с однородным распределением оптических параметров представлен на рисунке 1. Представленные изображения позволяют судить о функциональной адекватности представленной модели.

Литература.

1. Золотарев В.М., Никоноров Н.В., Игнатъев В.И. Современные методы исследования оптических материалов // НИУ ИТМО Санкт-Петербург 2013 стр. 166
2. L.-H. Wang, S. L. Jacques, and L.-Q. Zheng MCML—Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues // Computer Methods and Programs in Biomedicine 47 (2), 1995. Pp. 131–146.
3. S. Mittal and J. Vetter, A Survey of CPU-GPU Heterogeneous Computing Techniques, // ACM Computing Surveys, 2015.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУКОЯТИ ЭКСКАВАТОРА

Т.Б. Ахметжанов, к.т.н., Г.Т. Даненова, к.т.н., доц.

Казахдинский государственный технический университет, г.Казаханда

100027, Казахстан, г.Казаханда, б.Мира, 56, тел.+7 (7212)56-75-98,

E-mail: akhmetzhanov_t@mail.ru

В данной работе предлагается результат оптимизации геометрических параметров рукояти экскаватора CAT-5130 BME (рис. 1) с использованием современного конечно-элементного комплекса ANSYS [1-2]. Исследуемая модель построена в соответствии с чертежами, учитывая материал изготовления и геометрические особенности. Объект проектирования представляет собой металлическую оболочку, на противоположных частях которой находятся стальные литые корпуса сложной формы, а также два кронштейна, служащие для соединения рукояти с гидроцилиндрами. Один из корпусов соединяется с ковшом экскаватора, другой – со стрелой. Общая длина рукояти составляет 5,3 м, масса – 5790 кг. Толщина металлических оболочек варьируется от 20 до 40 мм. Свойства материала должны отражать физические характеристики материала изготовления (Сталь 35-Л, Ст 3, 15ХСНД, 09Г2С).

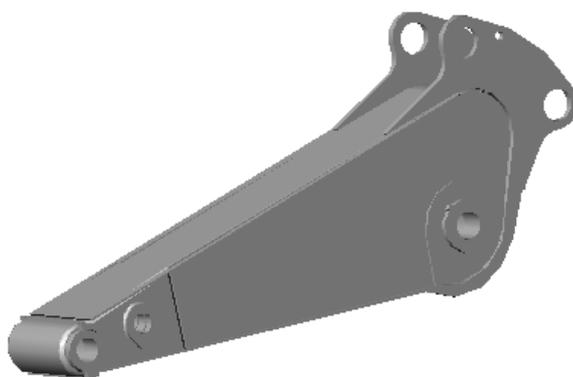


Рис. 1. Рукоять экскаватора CAT-5130 BME

Рукоять экскаватора CAT 5130 BME является сборочной единицей, состоящей из литых деталей, соединенных стальными листами толщиной от 20 до 40 мм. Следовательно, должен применяться твердотельный тип конечного элемента - SOLID. В работе был использован для решения трехмерной структурной задачи – SOLID95. Дискретная модель объекта представлена на рисунке 2. Силы, действующие на рукоять во время работы экскаватора, являются распределенными. Они возникают в местах соединения рукояти со стрелой, ковшом и гидроцилиндрами и имеют поверхностный характер.

Процедура оптимизации в ANSYS использует три типа переменных, которые характеризуют процесс оптимизации: проектные переменные, переменные состояния и целевая функция. Эти переменные представляются скалярными параметрами в APDL. Независимыми переменными в проектной оптимизации являются проектные переменные (Design Variables - DV). Проектные переменные ограничены верхним и нижним пределом. Ограничения проектных переменных определяют область допустимых решений.

Таким образом, для нахождения оптимального проекта необходимо минимизировать целевую функцию, в которой параметрами являются проектные переменные, ограниченные верхним и нижним пределом, при этом попутно должны проверяться верхние и нижние границы зависимых переменных (переменные состояния, State Variable - SV). Для задания переменных состояния и целевой функции необходимо определить суммарный объем модели и максимальное возникающее напряжение.

Для решения задачи оптимизации необходимо определить варьируемые геометрические параметры, переменную состояния, целевую функцию и определить используемый метод оптимизации. Проектными переменными являются толщина боковой стенки и толщина боковины, диапазон значений которых составляет от 15мм до 30мм и от 20мм до 40 мм соответственно. В качестве переменной состояния будет выступать напряжение. Ограничением будет являться максимальное значение, соответствующее пределу прочности стали. Целевая функция будет задана в виде суммарного объема модели.



Рис. 2. Дискретная модель рукояти экскаватора CAT-5130 BME

В результате решения получена достоверная картина напряжений, смещений и деформаций, которая позволит проводить дальнейшие исследования. Как видно из рисунка 23 максимальное положительное отклонение по оси X составляет 0,09 мм, отрицательное – 0,47 мм. Как видно из рисунка максимальный прогиб составляет 0,69 мм в положительном направлении и 0,05 мм. Следовательно, можно сделать вывод, что смещения незначительны.

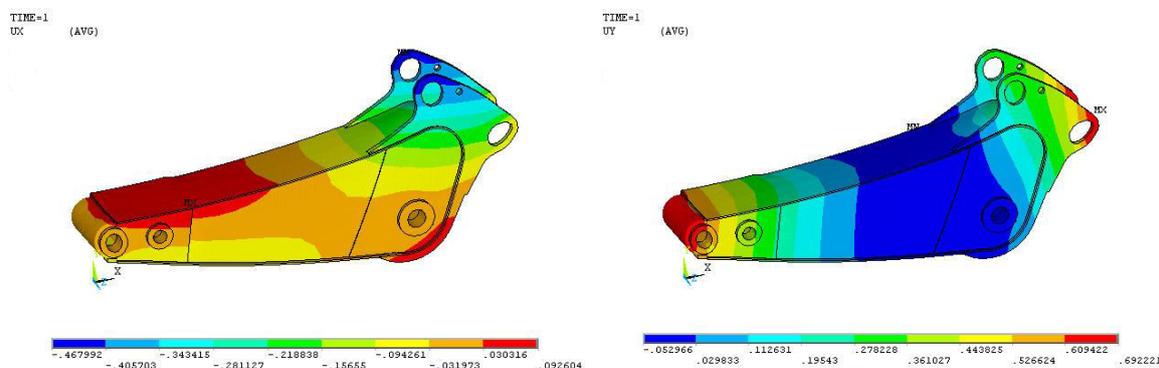


Рис. 3. Карты распределения перемещений модели до оптимизации

Также получены значения возникающих напряжений. Минимальное значение напряжений по оси X составляет -127 МПа, максимальное - 102.646 МПа. Из эпюры напряжений по оси Y видно, что значение напряжения изменяется от -305 до 320 Мпа. Максимальное значение эквивалентных напряжений по Мизесу составляет 391.8 МПа (рис.4).

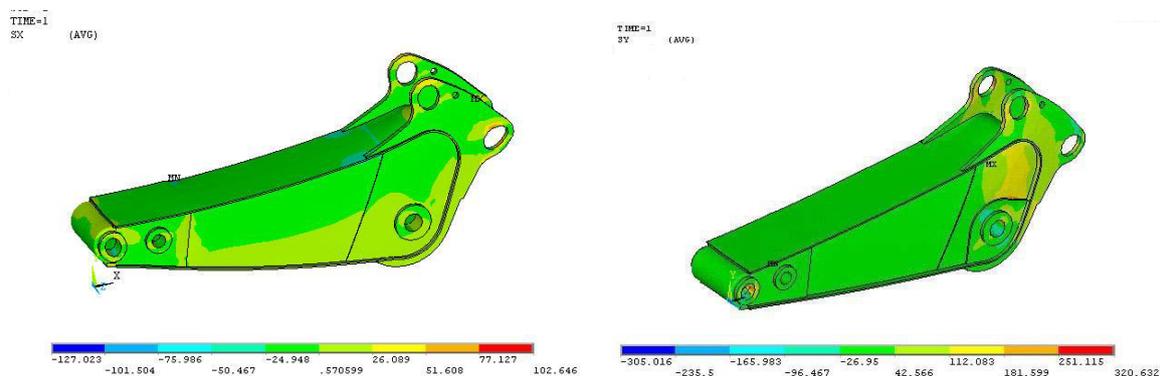


Рис. 4. Карты распределения напряжений рукояти экскаватора до оптимизации

Проанализировав эпюры перемещений и напряжений, можно сделать вывод, что изделие выдерживает все нагрузки (что подтверждается практикой), а запас прочности является завышенным. Следовательно, есть возможность уменьшить расход материала за счет изменения толщины стенок. Для этого была проведена оптимизация, и результаты лучшего проекта представлены на рисунках 5, 6. После проведения оптимизации ANSYS получены значения параметров, удовлетворяющих поставленным требованиям.

Принимаем значения $WTICK = 30$ мм (боковина) и $WTICK = 20$ мм (боковая сторона). С этими значениями были проведены расчет и анализ напряженно-деформированного состояния рукояти экскаватора. Эпюры перемещений по осям X и Y показывают, что после оптимизации значения этих величин изменились незначительно. Так, максимальное перемещение по оси X увеличилось на 0,07 мм, по оси Y – на 0,623 мм.

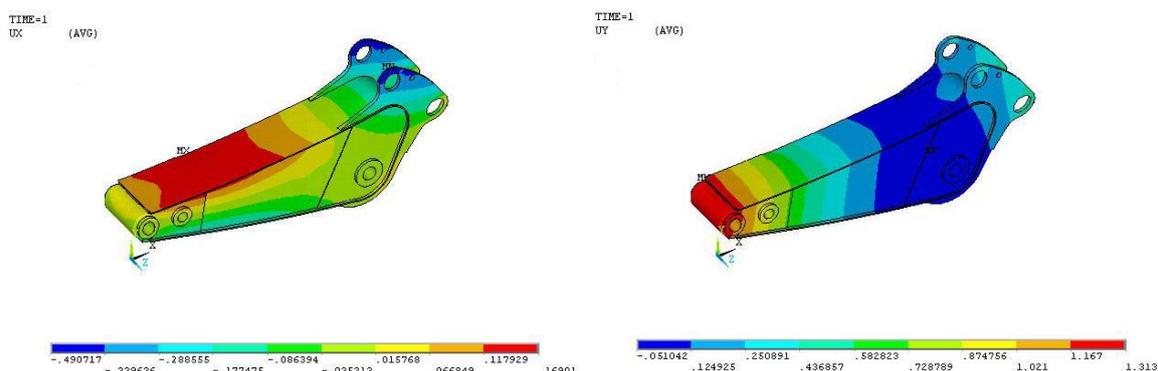


Рис. 5. Карты распределения перемещений модели после оптимизации

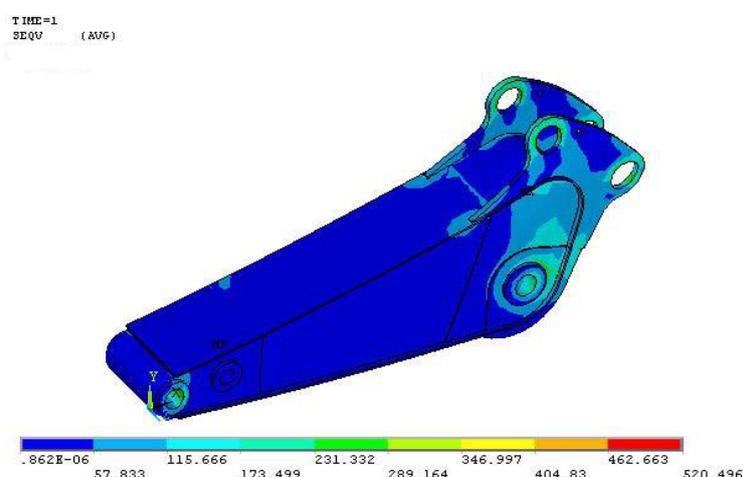


Рис. 6. Эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу после оптимизации

После проведения оптимизации объем конструкции составил 695078923 мм^3 , т.е. уменьшился на 63982528 мм^3 , а масса, в свою очередь, уменьшилась почти на 500 кг.

Таким образом, в результате проведения исследования можно сделать следующие выводы:

- рукоять экскаватора CAT 5130В ME имеет повышенный запас прочности;
- толщину металла на боковых стенках можно уменьшить – боковину – на 10 мм, стенку боковую – на 10 мм;
- изменение толщины стенок приведет к уменьшению массы конструкции на 500 кг;
- облегчение конструкции сократит нагрузку на гидроцилиндры, что продлит срок их эксплуатации.

Литература

1. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя – М. : Пресс, 2005. – 640 с.
2. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПРЕПОДАВАНИИ ОСНОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ВУЗАХ

В.В. Горбатов, магистр, И.В. Горбатов, магистр, А.В. Акимов, студент

Научный руководитель: Жуков Е.М, к.т.н., доцент.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

309130, Белгородская обл., Ивнянский район, с. Вознесенка, ул. Садовая, 11

E-mail: icewation15@gmail.com

В данной статье будет рассмотрен вопрос создания специально направленных приложений, связанных с изучением машиностроительных дисциплин. Целью создания данных приложений была разработка специализированного программного обеспечения, направленного на более углубленное

изучение специальности студентами 2-4 курсов по направлению технология машиностроения, а так же упрощения изучения работы производств, независимо от их видов.

На данный момент одной из основных проблем машиностроительной отрасли является нехватка профессионально подготовленных кадров. Это связано с тем, что большинство студентов, обучающихся по данной специальности, теряют интерес, и перестают учиться и повышать свои профессиональные качества.

На основании этой проблемы, нами предлагается следующее возможное решение:

1. Вовлечь обучающихся в практический процесс изучения дисциплины при помощи специализированных приложений.
2. Неявное изучение тем посредством практических повторений пройденного материала.
3. Использование технологий виртуальной реальности типа Oculus [1, 3].

1. Вовлечение обучающихся в практический процесс изучения дисциплины при помощи специализированных приложений.

На данном этапе мы разрабатываем парк станков «ручной» механической системы. Это требуется для того, чтобы обучающиеся могли использовать режим единичного производства. Если по заданию преподавателя, студенту достаётся вариант единичного производства изделия, он может выбрать станки, подходящие именно к его варианту. Данный этап направлен на изучение работы предприятия при различных типах и ситуациях производства. На рисунке 1 представлена модель станка 2Н135 [2] разработанная Акимовым А.В. в программе трёхмерного моделирования Blender. Данная модель станка будет являться начальной, так как является наиболее простой в изучении. В дальнейшем будут разработаны другие виды станков, для создания целого парка.

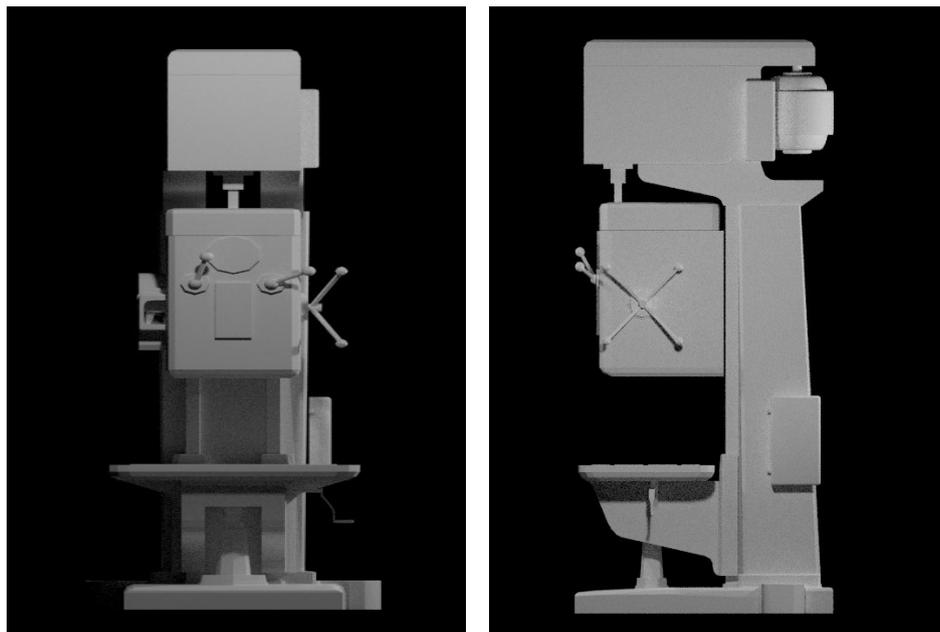


Рис. 1. Трёхмерная модель станка 2Н135

Так же будет полностью разработана внутренняя система станка (рис. 2), включая её кинематику. Это будет полезно для понимания кинематической структуры станков, принципа передачи основного и вспомогательного движений. Благодаря симулятору изучение машиностроительных дисциплин приобретёт более интересный и практический характер. Это позволит увеличить аудиторию, которая будет изучать машиностроение в целом. После того, как будет полностью проработан парк металлорежущих станков, ЧПУ станков, и тд. начнётся проработка математических зависимостей работы этих станков на языке C++. Это требуется для оптимальной работы с графическим движком Unreal Engine 4.



Рис. 2. Элементы компоновки станка

2. Неявное изучение тем посредством практических повторений пройденного материала.

Этот пункт предполагается реализовать следующим образом: для того чтобы работать с данным приложением оптимально и эффективно, студенту потребуется знать определённые параметры, которые нужно будет задавать в приложение время от времени. Это не является обязательным условием, так как в помощь будет предоставлены оптимальные значения из матрицы одной из баз данных приложения, что в свою очередь позволит нам не принуждать студента к учёбе. Но используя на практике то или иное значение несколько раз, обучаемый запомнит его, тем самым усвоив часть материала по дисциплине. Так же в определённом виде будет представлена конструкторская часть приложения посредством проектировки и замены вышедших и строя элементов того или иного агрегата: Принцип построения будет реализован на основе работы в AutoCAD. Эти элементы так же будут способствовать усваиваемости материала студентами (рис.3).

Пользователи систем автоматизированного проектирования (computer-aided design, CAD) уже достаточно давно могут управлять и редактировать различные объекты в трех измерениях, но пока все это делается на плоских двухмерных дисплеях с помощью клавиатуры, традиционной мыши или, в лучшем случае, при помощи специальных манипуляторов. Все это приводит к некоторым ограничениям функциональности и связанным с ними неудобствами.



Рис. 3. Упрощенное построение эвольвенты зуба в AutoCAD

3.Использование технологий виртуальной реальности типа Oculus.

Но, в настоящее время появился достаточно широкий ряд трехмерных контроллеров, типа MicrosoftKinect или OculusRift, и других подобных устройств, которые с помощью камер и лучей инфракрасного света могут отслеживать движения и жесты рук человека в непосредственной близости от них[4]. И ЭлонМаск наглядно демонстрирует, что именно такие устройства являются недостающим звеном в современных технологиях автоматизированного проектирования.

Благодаря данным технологиям вовлечение в процесс обучения будет иметь небывалый подъем (рис. 4).Соединив функции программного обеспечения трехмерного проектирования с возможностями устройства LeapMotion, которое не так давно появилось на рынке, можно с помощью интуитивно простых жестов управлять превращениями деталей в трехмерном пространстве

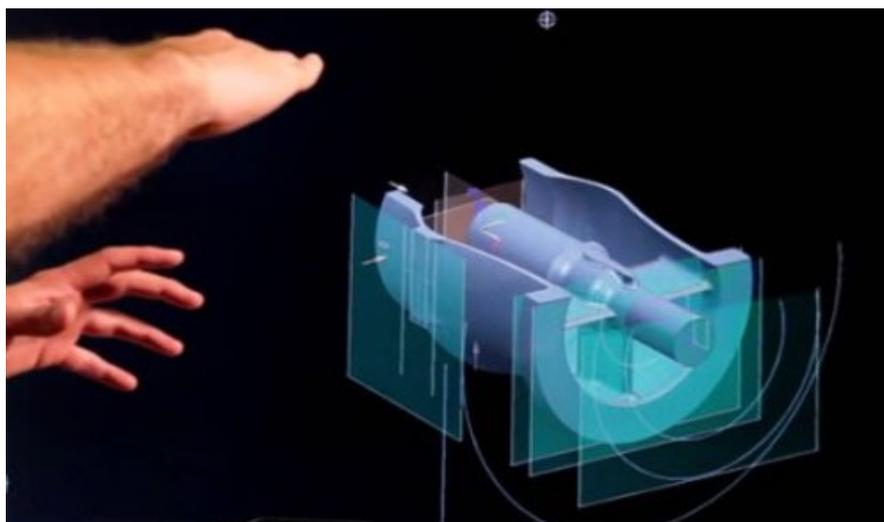


Рис. 4.УстройствоLeapMotion

Выводы

Используя современные технологии и вековой опыт, можно достичь небывалых высот в подготовке специализированных кадров для машиностроительной отрасли. Данный метод будет иметь под собой научно – практическое подтверждение, благодаря чему будет возможно увеличение знака качества выпускаемых специалистов.

Литература.

1. Н.Н.Шабров, С.Г. Орлов, Н.Б. Мельникова Моделирование и параллельные вычисления в системе виртуальной реальности CAVE -Н.Н. // Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии 2009"/27.03.2009
2. Паспорт станка 2Н125, 2Н135, 2Н150 – красный пролетарий М. 1976 г
3. Сухарев, Э.А. Методы моделирования и оптимизации механических систем машин и оборудования: // Э.А. Сухарев. Учебное пособие – Ровно: Изд-во НУВХП, 2008. – 194 с.
4. ЭлонМаск демонстрирует будущее технологий трехмерного проектирования// URL:<http://www.dailytechinfo.org/infotech/5161-elon-mask-demonstriruet-budushee-tehnologiy-trehmernogo-proektirovaniya.html>

**МЕТОД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕКТОРНЫХ
МАГНИТНЫХ ДИПОЛЕЙ В РАСЧЕТАХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Ю.А. Бахвалов, д.т.н., проф., В.В. Гречихин, д.т.н., проф., А.Л. Юфанова, магистрант
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. (8635)255240
E-mail: vgrech@mail.ru

В последние годы в расчетах полей широкое применение получили бессеточный метод фундаментальных решений (МФР) и его варианты в сочетании с сеточными методами (конечных разностей или конечных элементов) [1 – 5]. В работе [6], посвященной расчету магнитного поля электромагнита, движущегося вдоль ферромагнитной пластины, расчет поля магнитного диполя используется во вспомогательной задаче. В [7] поле в окружающем ферромагнетик пространстве определяется с применением магнитных диполей, а поле в нелинейной среде рассчитывается методом конечных элементов. Там же показано, что при использовании диполей поле определяется с погрешностью, зависящей от расстояния между зарядами $+q_i$ и $-q_i$.

Для того чтобы исключить указанную погрешность используем подход, применяемый при расчетах электростатических полей [8]. Если расположить заряды $+q$ и $-q$, как показано на рис. 1, то значение потенциала в произвольной точке P определяется выражением

$$\varphi_3(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r_+} - \frac{q}{r_-} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{|\vec{r}_- + \vec{l}|} - \frac{1}{|\vec{r}_-|} \right). \quad (1)$$

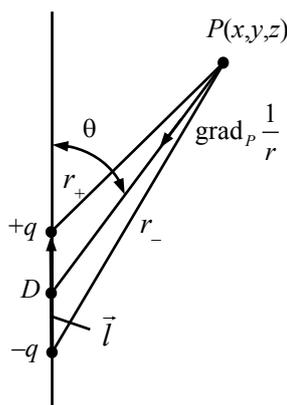


Рис. 1. К определению скалярного магнитного потенциала

Будем уменьшать расстояние l между зарядами и увеличивать q так, чтобы произведение $ql = \vec{m}_3$ оставалось постоянным. Тогда при $l \rightarrow 0$ выражение (1) будет давать в пределе точное значение потенциала

$$\varphi_3(P) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \vec{m}_3 \text{grad}_P \frac{1}{r_{DP}}. \quad (2)$$

Вектор \vec{m}_3 , как и \vec{l} , направлен от отрицательного заряда к положительному. Величину \vec{m}_3 называют моментом электрического диполя. Диполь, характеризуемый \vec{m}_3 , назовем векторным электрическим диполем.

Учитывая аналогию магнитного и электрического полей, будем определять момент магнитного диполя по формуле

$$\vec{m}_m = q_m \vec{l},$$

где q_m – фиктивный магнитный заряд, а диполь называть векторным магнитным диполем.

Скалярный магнитный потенциал такого диполя в вакууме определяется по аналогии с (2) выражением

$$\varphi(P) = -\frac{1}{4\pi\mu_0} \vec{m}_m \text{grad}_P \frac{1}{r_{DP}}. \quad (3)$$

Выражению для скалярного магнитного потенциала векторного диполя (3) можно придать вид

$$\varphi(P) = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{\vec{m} \vec{e}_r}{r_{DP}^2} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m \cos \theta}{r_{DP}^2}.$$

Потенциал векторного диполя равен нулю в плоскости, нормальной к оси диполя и проходящей через его центр.

Напряженность магнитного поля векторного диполя определяются по формулам

$$H_r = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{1}{2\pi\mu_0} \frac{m \cos \theta}{r_{DP}^3}; \quad H_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m \sin \theta}{r_{DP}^3}; \quad H_\alpha = 0.$$

На рис. 2 показано размещение обычных диполей для задачи, рассмотренной в [7]. На рисунке положительные заряды диполей $+q_i$ размещены над плоскостью с $\varphi_m = 0$, отрицательные заряды диполей $-q_i$ – под плоскостью. Точки D_i расположены на плоскости с $\varphi_m = 0$. На рис. 3 показано размещение векторных магнитных диполей \vec{m}_i для той же задачи.

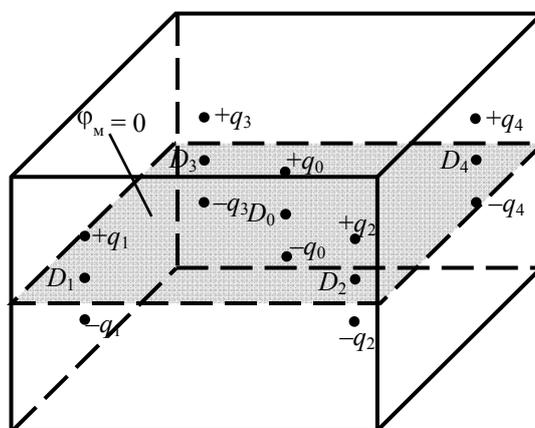


Рис. 2. Размещение точек D_i и диполей q_i

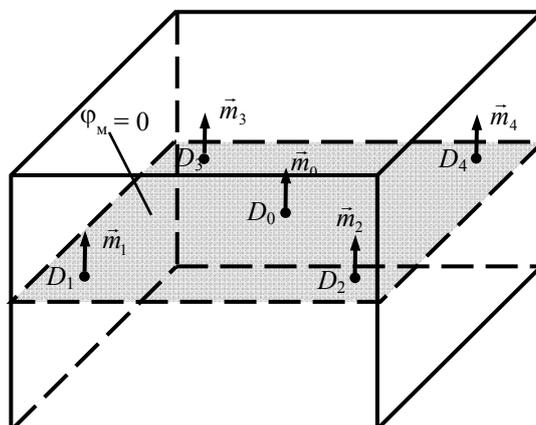


Рис. 3. Размещение векторных магнитных диполей \vec{m}_i

Рассмотрим применение векторных магнитных диполей для решения тестовой задачи «сплошной ферромагнитный шар в однородном магнитном поле», используя результаты, полученные в [7].

На рис. 4 для расчета магнитного поля вне шара используется обычный диполь, на рис. 5 – векторный магнитный диполь.

Аналитическое решение тестовой задачи приведено в [9]. Точное значение z -составляющей напряженности магнитного поля вне шара в точке M_0 определяется по формуле:

$$\vec{H}_z^-(M_0) = 2 \frac{\mu_{ш} - \mu_0}{\mu_{ш} + 2\mu_0} H_{0z}, \quad (4)$$

где H_{0z} – z-составляющая напряженности внешнего однородного известного магнитного поля;
 $\mu_{ш}$ – магнитная проницаемость шара, причем $\mu_{ш} \gg \mu_0$.

Формулы для определения той же напряженности МФР (рис. 4) имеет вид:

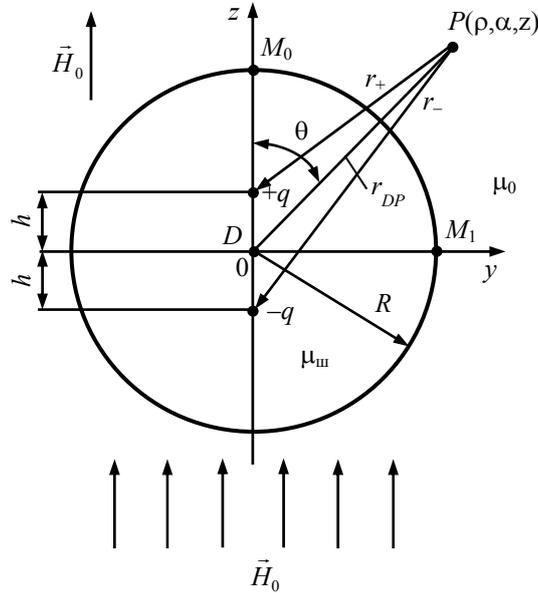


Рис. 4. Расположение зарядов +q и -q, используемых для расчета поля вне шара

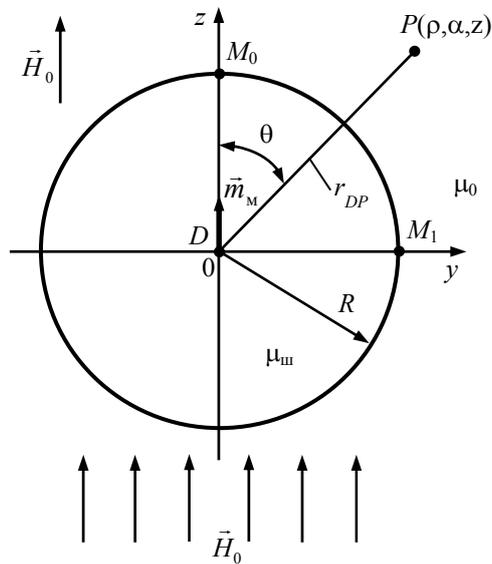


Рис. 5. Расположение векторного магнитного диполя \vec{m}_m для расчета поля вне шара

$$\tilde{H}_z^-(M_0) = q_0 \left(\frac{1}{(R-h)^2} - \frac{1}{(R+h)^2} \right). \quad (5)$$

Положим $h = R/n$. Подставив h в уравнение (5), получим

$$\tilde{H}_z^-(M_0) = q_0 \frac{4n^3}{R^2(n^2-1)^2}.$$

В [7] решена тестовая задача с обычными диполями (рис. 4) с использованием граничных условий в точке M_0 . В результате получено

$$\tilde{H}_z^-(M_0) = \frac{n^2}{n^2 - 1} 2 \frac{\mu_{ш} - \mu_0}{\mu_{ш} + 2\mu_0} H_{0z}.$$

Оценим относительную погрешность $\tilde{H}_z^-(M_0)$

$$\delta(\tilde{H}_z^-(M_0)) = \frac{|\tilde{H}_z^- - H_z^-|}{|H_z^-|} 10^2 = \frac{200}{n^2 - 1} \%.$$

Зависимость $\delta(\tilde{H}_z^-(M_0))$ от $n = R/h$ представлена в табл. 1

Таблица 1.

$n = R/h$	2	4	6	8	10
$\delta(\tilde{H}_z^-(M_0)) \%$	33	6,7	2,9	1,6	1,0

С той же погрешностью определяются другие величины задачи: $H_z^+(M_0)$; $\varphi_m^-(M_0)$; $\varphi_m^+(M_0)$.

Рассмотрим решение тестовой задачи с применением векторного магнитного диполя (рис. 5). Используя граничные условия в точке M_0 , получим соотношения следующего вида [8]

$$\begin{cases} \varphi^+(M_0) = \varphi^-(M_0) + \varphi_\delta^-(M_0); \\ \mu_{ш} H_z^+(M_0) = \mu_0 H_z^-(M_0) + \mu_0 H_{0z}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\varphi^+(M_0) = -H_z^+ R$; $\varphi_\delta^-(M_0) = -H_{0z} R$; $\varphi^-(M_0) = -m'_m \text{grad} \frac{1}{r_{DM_0}} = \frac{m'_m}{R^2}$; $H_z^-(M_0) = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{2m'_m}{R^2}$;

$$m'_m = \frac{m_m}{4\pi\mu_0}.$$

В системе (6) имеем две неизвестные величины H_z^+ и m'_m . Решая систему (6), получим

$$\begin{aligned} \tilde{H}_z^+(M_0) &= \frac{3\mu_0}{\mu_{ш} + 2\mu_0} H_{0z}; \\ m'_m &= \frac{3\mu_0}{\mu_{ш} + 2\mu_0} R^3 H_{0z}. \end{aligned}$$

Из второго уравнения системы (6) можно определить $H_z^-(M_0)$ через $H_{0z}(M_0)$:

$$H_z^-(M_0) = 2 \frac{\mu_{ш} - \mu_0}{\mu_{ш} + 2\mu_0} H_{0z}. \quad (7)$$

Сравнение (7) и (4) показывает, что применение векторных магнитных диполей позволяет получить решение тестовой задачи, полностью совпадающее с аналитическим решением.

Выводы

Применение в методе фундаментальных решений векторных магнитных диполей позволяет повысить точность расчета магнитных полей, а в ряде случаев получить решение, совпадающее с аналитическим.

Аналогичный вывод можно сделать о применении МФР с векторными диполями при расчете других физических полей (электрических, тепловых и т.п.).

Результаты работы получены при поддержке проекта № 1.2690.2014/К «Методы решения обратных задач диагностики сложных систем (в технике и медицине) на основе натурно-модельного эксперимента», выполняемого в рамках проектной части государственного задания.

Литература.

1. Chen C.S., Karageorghis A., Smyrlis Y.S. The Method of Fundamental Solutions – A Meshless Method. Dynamic Publishers, 2008. 338 p.
2. Купрадзе В.Д., Алексидзе М.А. Метод функциональных уравнений для приближенного решения некоторых граничных задач // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1964. Т. 4. № 4. С. 683-715.
3. The method of fundamental solutions for potential problem numerical and mathematical aspects / M.A. Golberg, C.S. Chen; Golberg M. A., editor // Bound. Integral Methods: WIT Press, 1998, pp. 103-176.

4. Chen C.S, Reutskiy S.Y, Rozov V.Y. The method of the fundamental solutions and its modifications for electromagnetic field problems // Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences, 2009. Vol.16, pp. 21–33.
5. Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Юфанова А.Л. Расчет магнитного поля актуатора с эффектом памяти формы комбинированным методом фундаментальных решений и конечных элементов // Фундаментальные исследования, 2015. № 11. С. 21-26.
6. Тозони О.В. Расчет поля электромагнита, движущегося вдоль ферромагнитной пластины // Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт, 1977. № 6. С. 95-109.
7. Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Юфанова А.Л. Математическое моделирование магнитных полей комбинированным методом фундаментальных решений и конечных элементов в задачах диагностики исполнительных систем с эффектом памяти формы // Известия вузов. Электромеханика, 2015. № 6.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника. М.: Мир, 1964. 775 с.
9. Штафль М. Электродинамические задачи в электрических машинах и трансформаторах. М.- Л.: Энергия, 1966. 200 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ГЛУБИН ПРИ СЪЕМКЕ МОРСКОГО ДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ CARIS HIPS, GMT И ARCGIS

*П.А. Леменкова, аспирант
Карлов университет в Праге
г. Прага, пл. Овочны 3, Чехия, тел. +420774056176
E-mail: pauline.lemenkova@gmail.com*

Проведение батиметрической съемки с использованием высокоточных сонарных измерений на основе современных приборов (ультразвуковой гидролокатор) обеспечивает детальной информацией о глубинах и рельефе дна океанов, облегчает точное позиционирование и навигацию судна и вносит существенный вклад в изучение интерпретаций движений литосферных плит. Последнее особенно важно для ключевых тектонических регионов в области границ литосферных плит. ПО Caris Hips - наиболее профессиональная и признанная во всем мире программа, предназначенная для составления лоцманских карт на основе данных промера [1]. Это многофункциональный инструмент для обработки батиметрических данных, обеспечивающий также создание векторных карт на базе снятых измерений. Caris Hips обрабатывает исходные данные, полученные на борту корабля, доводя их до уровня лоцманских и батиметрических карт. Программа поддерживает более 40 рабочих стандартов и форматов сонарных данных, чем облегчается их установка на борту практически любого НИС [2]. Его используют организации по составлению лоцманских карт. Caris Hips Professional обеспечивает осуществление полной последовательности батиметрической обработки данных, включая визуализацию, просмотр, корректировку эходанных и изготовление карт на их основе, а также обработку эходанных различных типов акустических гидролокаторов. В программе Caris Hips проводится редактирование измеренных глубин, а также чистка профилей рельефа дна от пиков, т.е. значений глубин, резко и во много раз отличающихся по абсолютному значению от всех соседних, т.е. неточных измерений (Рис.1).

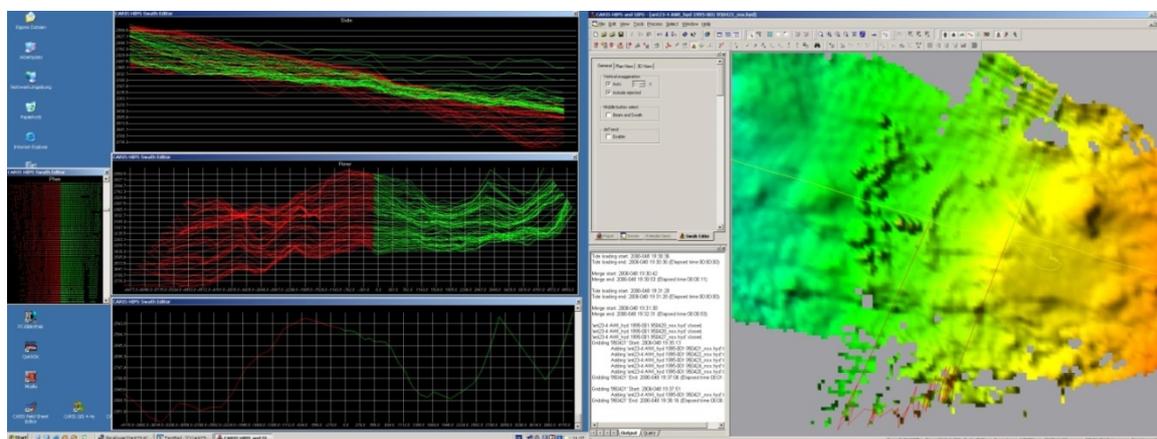


Рис. 1. Графическая обработка батиметрических профилей, ПО Caris Hips

Далее, обработка данных включала в себя также импорт всех данных о навигации судна в базе данных ESRI - BatGIS, а также постоянное online отображение в ArcGIS маршрута всего рейса судна. Создание метаданных, описывающих набор дат на каждый галс, обеспечило архивацию данных и их хранение в обменных форматах (Рис.2). Для интерпретации топографии морского дна на основании отредактированных данных были рассчитаны цифровые модели рельефа дна (ЦМР) и отражены в предварительных батиметрических картах с использованием программного обеспечения Generic Mapping Tool (GMT) и ESRI ArcGIS. Для построения цифровых моделей географическая система координат была переведена в метрическую систему с последующим пересчетом глубин. Для того, чтобы сделать данные о глубинах сравнимыми с предыдущими и последующими измерениями общая для всех измерений скорость отсылаемого сигнала была принята равной 1500мс.

Составление батиметрических карт проводилось в течение нескольких этапов, технологическая схема которых заключается в следующем. На этапе обработки данных проводится процессинг данных в программе GMT (Generic Mapping Tool) по установленной схеме, где вычислялась модель рельефа поверхности, из которой затем экспортировались изолинии в ArcGIS для последующего составления карт. Результат сравнивался с имеющимися изолиниями (из прежде полученных данных).

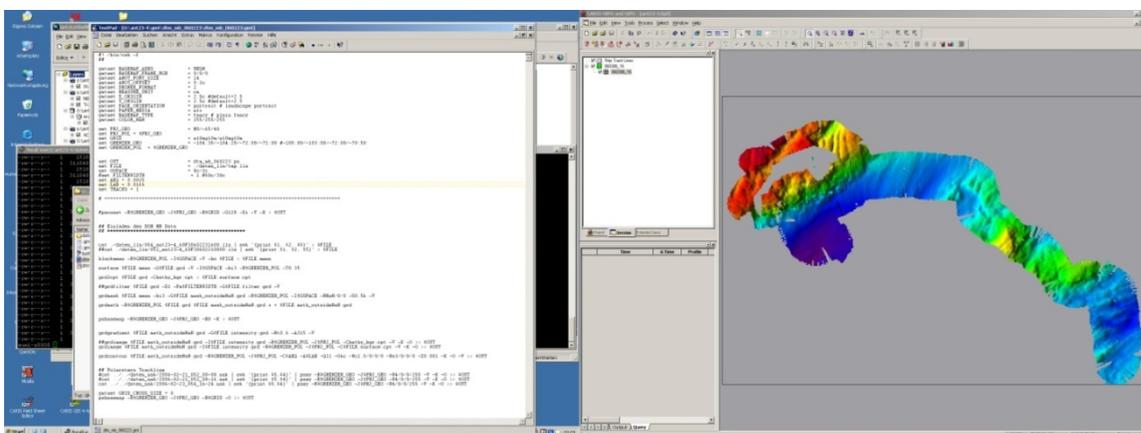


Рис. 2. Снимок экрана в момент работы с ПО Caris Hips Professional. ANT-XXIII/4

Автоматическое построение цифровой модели рельефа и загрузка полученной сетки с координатами и глубинами осуществлялись по существующему скрипту в программе GMT `./gmt/gridding/gridding_surflin.gmt`

Блок работы в Arc GIS проводился в полном соответствии с установленными указаниями.

Схема работы в ArcGIS заключалась в следующих технологических этапах:

1. перевод исходного файла в модуль установки проекции. В модуле ArcToolBox - Coverage Tools - Conversion – to coverage –generate; input *.gen, output ./arcgis/yymmdd_hh, projection geo.prj.
2. определение проекции Coverage Tools - Data Management – Projections – Define Projection.
3. перевод проекции в условную, принятую для всех экспедиционных карт.
4. загрузка файла с исправленной проекцией из текущего каталога для дальнейшей работы.
5. загрузка данных в ArcMap для работы в режиме редактора в ArcMap Editor.
6. визуализация в ArcMap текущей линии траектории движения судна, обновляющейся каждые 4 часа, и его актуальные координаты.
7. в каталоге данных загрузка текстового файла File-Name.txt для установки в ArcGIS координатной системы Меркатора. Изменение координатной системы происходит на станции ArcINFO автоматически благодаря написанному скрипту, после чего файл сохраняется с названием *_merc.txt.
8. загрузка файла на платформе ArcINFO файла ASCII
9. импорт и загрузка в программе ArcCatalog полученных грид-файлов с сеткой координат и глубин.

Используя модуль ArcScene для наглядности также составлены несколько виртуальных полетов над уровнем морского дна, приготовленные для регионов, представляющих особый интерес. Эти трехмерные наглядные визуализации облегчают интерпретацию морфологии рельефа дна и поддерживают междисциплинарные работы. На составленных рабочих картах рельефа дна, созданных по полученным ЦМР (частота точек с глубинами до 50 м), ранжированы глубины, оконтуренные по кон-

трастным цветам (масштабы до 1:100000), а также нанесена дополнительная информация (уточненный рисунок береговых линий, поверхности покрытия моря льдом, отображены пунсонами точки отбора био-, гидро- и геологических проб).

Результатом проведенных технических работ отдела батиметрии экспедиционного состава явилось:

1) проведение мультиспектральной съемки высокого разрешения рельефа морского дна на продолжении пути следования судна для получения обновленной информации

2) обработка отснятых измерений для устранения погрешностей автоматической съемки эхолотом (Рис.3)

3) составление обновленных карт рельефа дна на акватории морей на основе обработанных измерений

4) картографирование точек отбора проб геологического и биологического материала

5) сохранение и запись всей полученной информации для расширения мирового банка данных рельефа дна

В заключение, следует кратко отметить особенности в исследовании морей Амундсена и Беллинсгаузена и актуальность поставленной цели - съемка рельефа дна и проведение геологических работ в районе исследования. Дело в том, что шельф морей, а также значительная часть акватории практически постоянно закрыты паковым льдом, и по этой причине совершенно не исследованы с достаточной точностью. Поэтому экспедиция в эти районы с целью проведения съемочных работ и обновления данных о регионе, особенно в свете проблем глобального картографирования океанов, являлась крайне актуальной научной задачей в области полярных исследований.

Море Амундсена расположено между 100 и 123 ° з.д. в Южном океане у берегов Антарктиды. Площадь моря — 98 тыс. км², глубина достигает до 585 м. и практически на большей его части покрыто паковыми льдами. Ограниченное на западе Землей Мэри Бёрд и мысом Дарт, островом Тарстон на востоке, оно граничит с морями Росса и Беллинсгаузена. Название получено в честь норвежского полярного исследователя Руаля Амундсена. В море Амундсена проходила основная, большая часть всех выполненных работ экспедиции. Континентальный склон западной части моря Амундсена имеет сложный рельеф: по диагонали к направлению общего простираения его пересекают ориентированные в северо-западном направлении ряд подводных хребтов, которые носят общее название хребтов Амундсена. Наиболее крупным из них является массив Мэри Бёрд. Его плоская вершинная поверхность лежит на глубинах порядка 500-1000м (минимальная глубина 511м), достигает 3000-3500м, так что высота склона над окружающей поверхностью достигает 2500-3000м. Вершины других массивов поднимаются над склоном до глубин 930-1431м. Ряд крупных подводных каньонов прорезают поверхность склона. Подножие крутого уступа верхней части континентального склона в районе моря Амундсена оконтуривается изобатой 4000м. Ниже склон выполаживается и образует пологий переход к ложу океана. Это аккумулятивный шлейф континента, который здесь имеет очень большую ширину. По различию в наклоне поверхности этот шлейф делят на три ступени: верхнюю, шириной не более 100 км и с относительно ровной поверхностью, среднюю шириной 100-200 км, расчлененную многочисленными каналами суспензионных потоков, их прирусловыми валами шириной 4-20 км и дюнами шириной около 1 км, и нижнюю, очень пологую имеющую округлые очертания конусов выноса (конус выноса Амундсена), пересекаемых редкими руслами суспензионных потоков. Мощность аккумулятивных отложений континентального подножия Антарктиды. Выступ побережья Антарктиды сопровождается сложно расчлененным шельфом сравнительно небольшой ширины с глубинами порядка 500м. Для рельефа шельфа Антарктиды характерно наличие более выровненной внешней части, в то время как внутренняя часть обладает сложным, бугристым рельефом. Это объясняется тем, что внешняя, более поднятая часть шельфа в большей степени подвергалась абразионно-аккумулятивному выравниванию в периоды более низкого стояния уровня океана. Сейчас шельф Антарктиды представляет собой пологоволнистую аккумулятивную равнину с отдельными моренными грядами. Внутренняя часть шельфа сохраняет раздробленный, тектонически обусловленный рельеф, осложненный обработкой покровного ледника в периоды максимального покровного оледенения. Подводная часть материка здесь представлена морем Амундсена, дно которого представляет собой глубокий шельф или подводное плато с сильно расчлененным континентальным склоном, осложненным подводными горами и каньонами. На глубине около 4000 м. склон выполаживается и переходит в днище котловины. Эта часть котловины представляет собой аккумулятивный шлейф мощностью до 3000м [3].

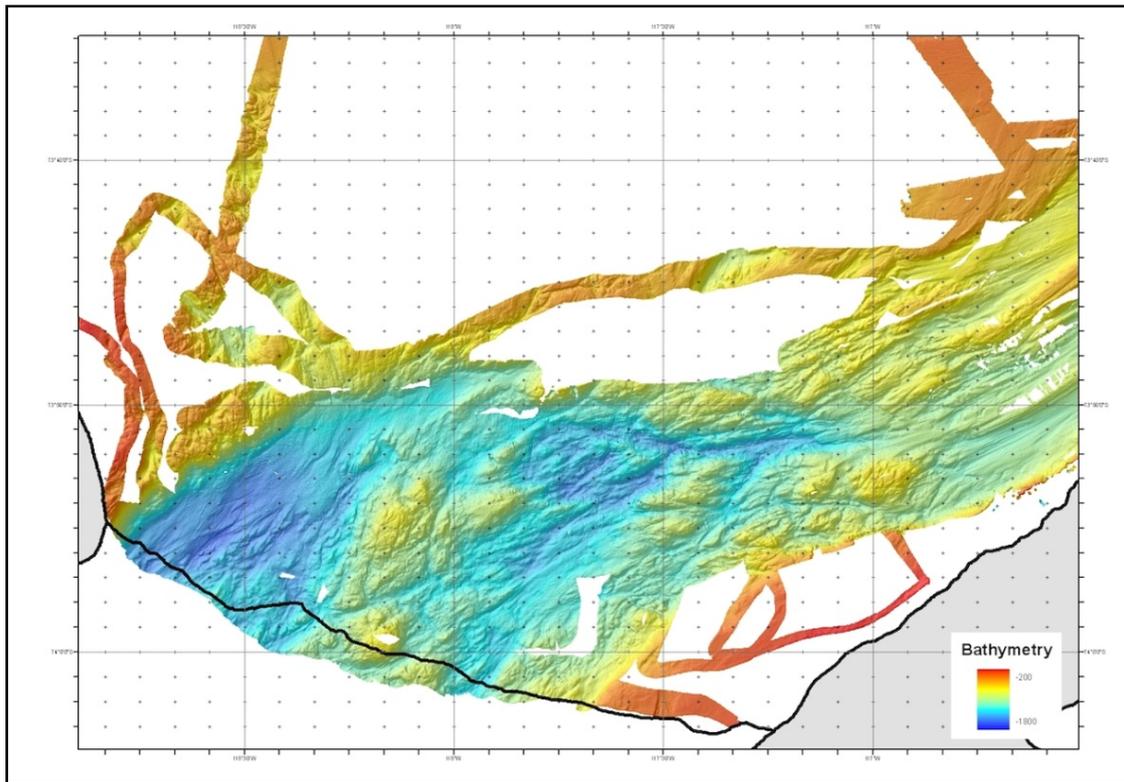


Рис. 3. Визуализация снятых измерений

Море Беллинсгаузена - окраинное море Южного океана у берегов Антарктиды, между полуостровами Антарктическим и Терстон. 487 тыс.км². Глубина до 4115 м, соленость 33,5‰. Крупные острова - Петра I и Земля Александра I. Большую часть года покрыто плавучими льдами и айсбергами. Расположенное восточнее, шельфовое море Беллинсгаузена сходно по морфологии с морем Амундсена, от которого оно отделено выступом Земли Элсуэрта. Ширина шельфа здесь достигает 550км, бровка его находится на глубине около 500м. Вблизи основания склона находится вулканический о.Петра1, сложенный щелочными базальтами и трахиандезитами гавайского типа, возраст которых достигает 12 млн. лет и окруженный аккумулятивным шлейфом верхней части континентального подножия. Континентальное подножие очень широкое – достигает 400-500 км и прорезано многочисленными руслами суспензионных потоков. Континентальный склон на глубине 3000 м выполаживается и переходит в аккумулятивный шлейф, прорезанный подводными каньонами и осложненный крупным конусом выноса Беллинсгаузена. Восточный берег моря образован Антарктическим полуостровом, являющейся островодужной системой. Волнистая поверхность дна и осадочные дюны, выявленные сейсмическим профилированием, на поверхности континентального подножия Антарктиды, подтверждает возникновение здесь контурных течений как следствие возникновения сплошного кольца океана возле Антарктиды. Это служит подтверждением предположения о недавнем разрушении континентального моста между Южной Америкой и Антарктидой. Морфологической границей между материком и океаном служит подошва континентального склона, фиксирующая смену геофизических типов коры. В результате использованной технологической схемы Caris, GMT и ArcGIS были проведены следующие измерения:

1. Батиметрическая съемка в бухте моря Амундсена. В бухте моря Амундсена в дополнение к батиметрическим измерениям в течение сейсмических съемок и работ на научных станциях были проведены 2 основные систематические измерения рельефа дна. Еще несколько небольших съемок были проведены к востоку от п-ова Медвежий (74°30' ю.ш., 110° в.д), где были сняты части желоба к морю от ледника Кроссон с глубинами более, чем 1300м. Новые батиметрические данные были добавлены к уже существующим данным на акватории бухты о-ва Пайн, базирующимся в основном на данных съемок НИС «Палмер», проведенных в 1999 и 2000г.

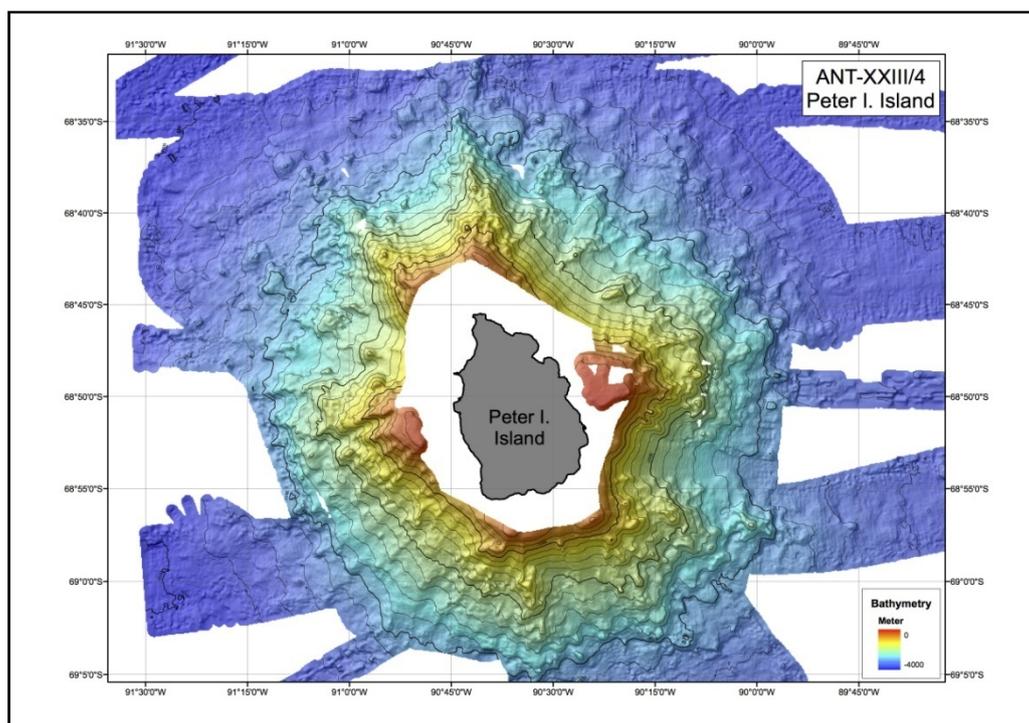


Рис. 4. Результаты батиметрической съемки с помощью ПО Caris в районе о.Петра I. ANT-XXIII/4

2. Ледниковое протяжение к востоку от ледника Аббота. Проведенная съемка акватории полосой в 800 км² у входа в залив, к западу от ледника Аббот (71°50' ю.ш., 104°20' в.д.), показывает крупномасштабные ледниковые протяженности, следы прохождения придонного льда по поверхности дна. На глубинах между 550 и 750м были зафиксированы четыре выдающихся отдельных простирания с направлениями между 2, 10, 25 и 35 м, максимальная длина – 24 км, глубины около 25 м и шириной около 600 м, а также несколько менее значимых протяженностей, простирающихся в том же направлении. С использованием данных о морфологии отдельных исследованных участков морского дна хребта, был получен относительный возраст простирания: с изменением общей направленности на северо-восточное возраст хребта становится меньше. В то время как в наиболее глубоких участках не видно следов эрозионного воздействия ледника, они наиболее распространены на мелководьях (менее 650м).

3. Безымянный хребет. Этот маленький хребет был отснят тремя сериями измерений приблизительно 240 км к северу от о. Петра I (66°50' ю.ш., 91° в.д.), Рис. 4. Маленький хребет был открыт на предыдущем сейсмическом профиле и его морфология неизвестна и до сих пор. Меридиональная ориентация хребта составляет примерно 31 км длины и 2-5 км ширины. Высота его примерно 950 м над окружающей поверхностью дна с глубинами примерно 4600м. Склоны хребта имеют наклон 40°; хребет имеет 3 вершины, наибольшая из которых – крайняя к югу.

4. Желоб на подводном береговом склоне у ледника Гетц. Желоб на подводном береговом склоне у центральной части ледника Гетц (74° ю.ш., 118° в.д.), площадью около 3000км², был отснят приблизительно за 36 часов систематической многолучевой съемки, в дополнение к всего лишь одной отснятой линии, выполненной НИС «Палмер» в 2000г. Суммарно в районе ледника было проведено 3 дня и район покрыт подробными измерениями, 1,5 из которых были использованы исключительно для картографирования трога ледника. В оставшееся время были проведены сейсмические измерения и стационарные геологические и биологические работы на станциях и отснята одна из полей в море Амундсена. Исследованная область состыкуется с районом, отснятым на НИС «Джеймс Кларк Росс» Британской Антарктической Службой в 2006г. Основываясь на данных о морфологии желоба, его приблизительно можно разделить на 2 части, где ложе океанского дна было сформировано придонными «царапаньями» льда по дну океана, а также талыми водами. Первая часть, прямо напротив ледника, характеризуется очень грубой морфологией с глубинами, изменяющимися в пределах 700-1600м. Вторая часть в северо-восточной части желоба характеризуется заметными ледниковыми

протяжениями, ориентированными в северо-восточном направлении, а также глубинами 800-1100м. Результатом съемки на леднике Гетц является практически завершенное картографирование поверхности дна района, отличающегося очень интересной морфологией дна в результате длительного воздействия ледника, в т.ч. «выпахивания» трогом. В общей сложности отснятая область занимает около 3000км.кв и достигает глубин 200-1600м. Трудности работы в этом районе заключались в практически постоянном сплошном покрытии поверхности акватории паковыми льдами. В результате, работы были прекращены на несколько дней и возобновлены с 11.03, когда ледоколу удалось пробить выход из пакового льда в залив о.Пайн. Практически постоянно в этом районе движения судна было крайне затруднено из-за сплошного покрытия паковым льдом. В такие периоды вынужденных стоянок были проделаны камеральные работы: более подробное картографирование на основе предыдущих измерений, обработка собранных морских и наземных материалов биологами и т.д. С помощью ArcScene были созданы обзорные виртуальные 3D модели местности (троги ледника Гетц), которые служили для визуальной, наглядной демонстрации. Кроме этого, за время работы в районе ледника были отсняты несколько профилей ледниковых трогов, спускающихся к морю от п-ова Медвежий (Bear Peninsula).

5. О.Пайн (Pine Island). В районе острова акватория была практически постоянно покрыта паковыми льдами, что крайне затрудняло работу и не позволяло проводить систематические измерения. Поэтому на район были составлены лишь 2 сейсмических профиля и нескольких отборов геологических проб. Работы проводились до 18 марта, где были установлены несколько станций и проведены отдельные измерения. Средние глубины не превышали 100 м, минимальная зафиксированная 37,5м, в связи с чем режим работы эхолота был переведен на шельфовый. Подробная драгировка и регулярная батиметрическая съемка рельефа дна возобновились лишь по прибытии в район Земли Мэри Бёрд.

6. Подводные горы Мэри Бёрд. Острова Мэри Бёрд, расположенные к востоку от моря Росса и сложенные раннепалеозойскими осадочными породами, сложно дислоцированными, метаморфизованными в фации. Тектоническая активность подводных гор наиболее интенсивно проявилась от середины юры до середины мела, сопровождавшаяся вулканической деятельностью, в результате которой сформировалась вулканогенная платобазальтовая толща. В плиоцене и плейстоцене эта часть окраины Антарктиды была разбита разломами на блоки, испытавшие поднятие. В строении Земли Мэри Бёрд участвуют сложно смятые метаморфические породы палеозоя и мела, граниты среднего мела и кайнозойские вулканы, представляя собой континентальную часть коры. С 25.03.2006 по 02.04.2006 в районе Земли Мэри Бёрд проводилось драгирование. В западном направлении от г.Смита-Сандвелла был отснят подводный хребет двумя параллельными профилями съемки. Далее работы проводились в районе подводной горы №6 с координатами $69^{\circ} 50' S / 126^{\circ} W$. За это время была отснята восточная часть горы Смита-Сандвелла этой области Земли Мэри Бёрд, до этого временно никогда подробно не картографировавшейся. Для геологической интерпретации района и последующего геологического картографирования крайне важным является наличие подробных данных о морфологии и рельефе морского дна, поэтому данный район был покрыт максимально подробными съемками. В районе южных островов Мэри Бёрд, где, по предыдущим батиметрическим данным, полученным по обработке спутниковых данных и данных многолучевого сонара, была показана подводная гора довольно крупных размеров (71° ю.ш., $122^{\circ}30'$ в.д). В ходе дальнейших работ был отснят одиночный хребет, простирающийся с северо-запада в юго-восточном направлении ($70^{\circ}40'$ ю.ш., $122^{\circ}30'$ в.д) с двумя перекрывающимися профилями. Юго-восточная подводная гора с координатами ($69^{\circ}35'$ ю.ш., $124^{\circ}45'$ в.д), которая никогда не была прежде показана на картах, была отснята примерно за 16 часов. Простираясь от северо-запада к юго-востоку, гора имеет плоскую вершину и расположена на глубине 1200 м, крутые склоны, достигающие океанического ложа на глубине 3400м и множество вулканических конусов с высотами приблизительно 200м. Подводная гора с координатами $69^{\circ}35'$ ю.ш., $124^{\circ}45'$ в.д, которая была частично отснята прежде, во время экспедиции НИС «Палмер» в 1996г., была пересечена по линии к северу от существующего профиля, чтобы дополнить исходный набор батиметрических данных. Подводная гора с координатами $69^{\circ}05'$ ю.ш., $123^{\circ}30'$ в.д, которая была полностью отснята в 1996 рейсом НИС «Палмер», была пересечена по линии вдоль южного склона. Гора Хьюберта Миллера ($69^{\circ}15'$ ю.ш., $121^{\circ}30'$ в.д), которая была частично отснята на рейсе НИС «Полярштерн» в 2001г., была пересечена по линии маршрута вдоль южного склона, и добавила новую батиметрическую информацию к существующему набору данных. Также была заново отснята подводная гора с координатами $69^{\circ}12'$ ю.ш., $117^{\circ}30'$ в.д., которая была обнаружена прежде во время рейса НИС «Полярштерн» в 2001г.

7. Остров Короля Георга. В дополнение к предыдущим измерениям, проведенным НИС «Полярштерн», районы залива Максвелла и небольшой бухты Поттер были отсняты за 1 день систематических наблюдений и работы на станциях. В итоге была покрыта съемкой акватория порядка 50км², имеющая диапазон глубин между 50 и 500м, включая остров Короля Георга, находящийся между антарктическим полуостровом и оконечностью Южной Америки.

Результаты геодезических измерений большей частью используются в различных интернациональных исследовательских и картографических проектах, а также как базовые данные для других научных дисциплин. Так, например, данные о дрефте и топографической высоте шельфового льда используют для определения и расчета объемов морского льда в Антарктике. Результаты измерений, проведенные за время рейса ANT-XXIII/4, внесли свой определенный вклад в общемировое морское картографирование в рамках GEBCO-проекта, обеспечив обновленными данными о батиметрии морского дна.

Литература.

1. Caris Hips and Sips User Guide 8.1. 2013 - The Marine GIS Experts.
2. Caris Hips and Sips Professional 7.1. 2012 - The Marine GIS Experts.
3. Forbes, D.L. and R.B. Taylor, 1994: Ice in the shore zone and the geomorphology of cold coasts. Progress in Physical Geography, 18, 59–89.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е.В. Гнедаш, студ. гр. 17В20,

Научный руководитель: Чернышева Т.Ю., к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: sunshine9494@rambler.ru

Инвестиции и инвестиционные проекты являются одними из самых важных факторов, влияющих на экономику субъектов любого уровня и любого масштаба.

Актуальность задач сравнительного анализа и отбора определяется тем, что на предварительной стадии обычно рассматривается достаточно широкое множество альтернативных вариантов проекта, детальный анализ которых приводит к существенным затратам ресурсов и времени[1].

Исходя из вышеизложенного, целью работы является разработка информационной системы поддержки принятия инвестиционных решений для руководителей малых предприятий.

Задачей данной работы является повышение качества оценки инвестиционных проектов, снижение риска и повышение доходов предприятия-инвестора за счет снижения числа неэффективных инвестиций.

Эффективность управленческих решений в сфере инвестиций предполагает применение адекватных и точных методов оценки последствий принятия решений. Проанализировав методы, применяемые для поддержки принятия решений было решено, что в разрабатываемой информационной системе будут использоваться 2 метода: метод анализа иерархий и интегральная методика оценки эффективности и выбора инвестиционного проекта, в рамках которого определяется единый интегральный показатель эффективности того или иного инвестиционного проекта[2].

В условиях неточности и неполноты исходной информации и наличия большого числа разнокачественных критериев для оценки альтернативных проектов также эффективно применение метода анализа иерархий. Результатом применения данного метода является определение наиболее предпочтительного варианта, а также конкретное обоснование выбора и распределения всех вариантов, что позволяет подробно исследовать задачу в целом[3].

Внедрение информационной системы позволит решить следующие задачи (функции ИС): учет инвестиционных проектов; оценка экспертными методами; расчет группового мнения экспертов; оценка эффективности проекта; расчет дисконтных показателей оценки эффективности инвестиционного проекта; поддержка выбора оптимального проекта.

К входной информации будет относиться: информация о проекте, информация об инициаторе проекта, параметры бизнес-плана, критерии оценки, информация об эксперте, шкала оценивания.

В результате своей работы информационная система будет выдавать следующую выходную информацию: отчет «Инвестиционный проект»; отчет «Выбор проекта методом анализа иерархий»;

отчет «Выбор проекта несколькими экспертами»; отчет «Выбор проекта методом интегральной оценки»; отчет «Значения дисконтных показателей»; отчет «Решение о приеме/отклонении проекта».

Объектом исследования является процесс учета, оценки и поддержки принятия инвестиционных решений. Данный процесс представлен на рисунке 1.

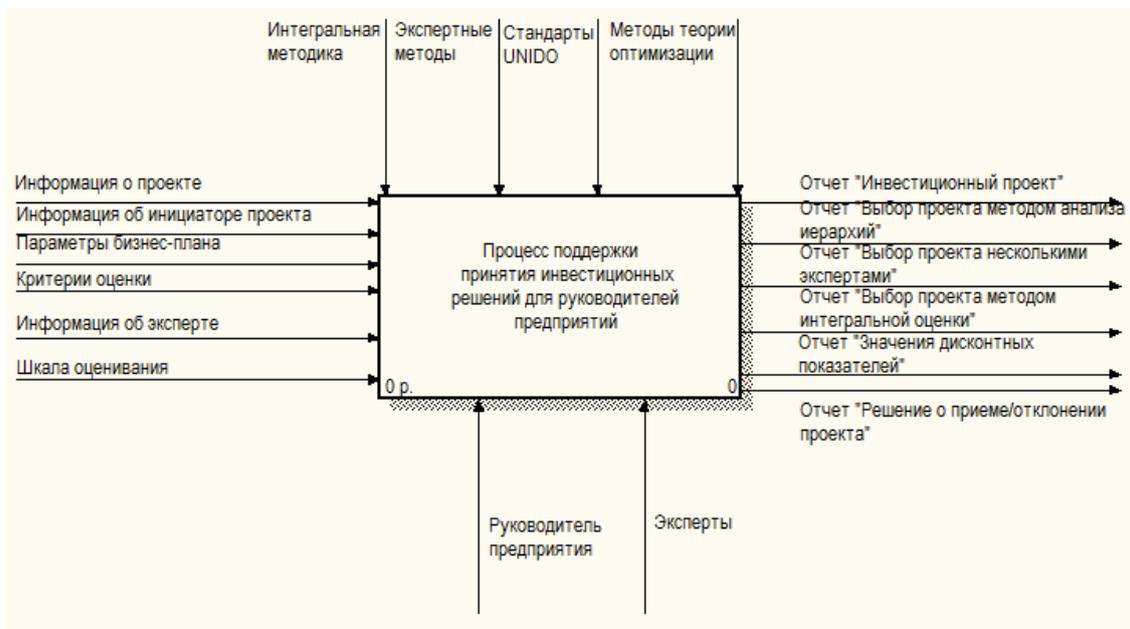


Рис. 1. Модель «Процесс поддержки принятия инвестиционных решений для руководителей предприятий» А-0

Весь процесс учета, оценки и поддержки принятия инвестиционных решений осуществляется при помощи нескольких функций. Декомпозиция по функциям показана на рисунке 2-3.

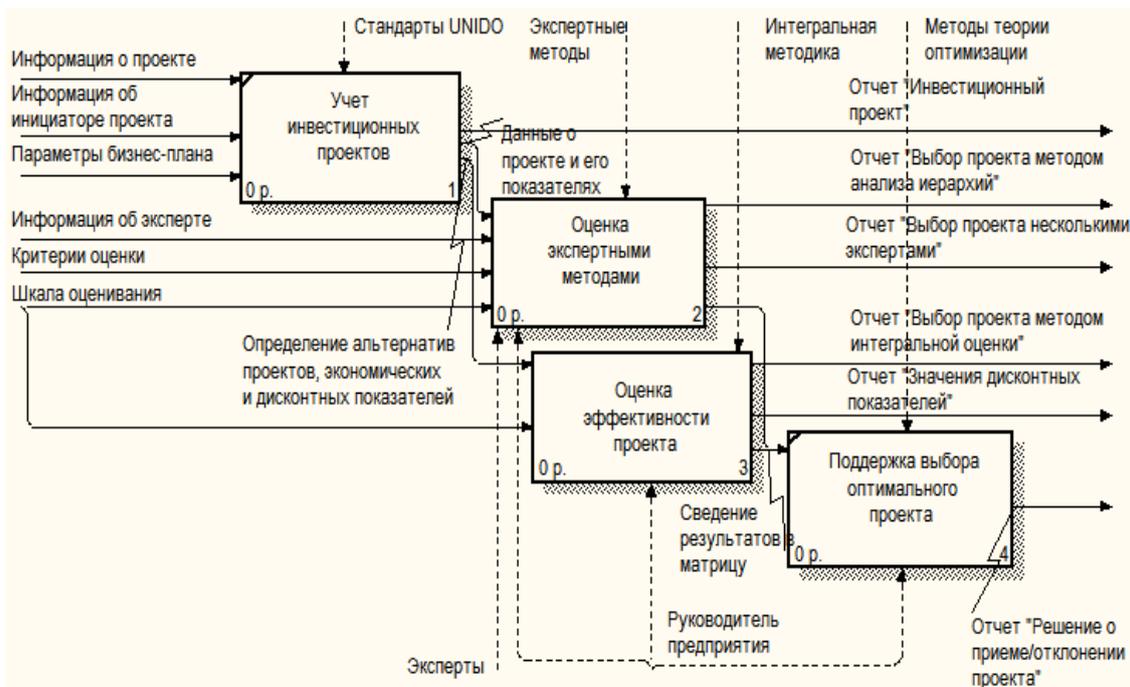


Рис. 2. Декомпозиция модели «Процесс поддержки принятия инвестиционных решений для руководителей предприятий» А-0

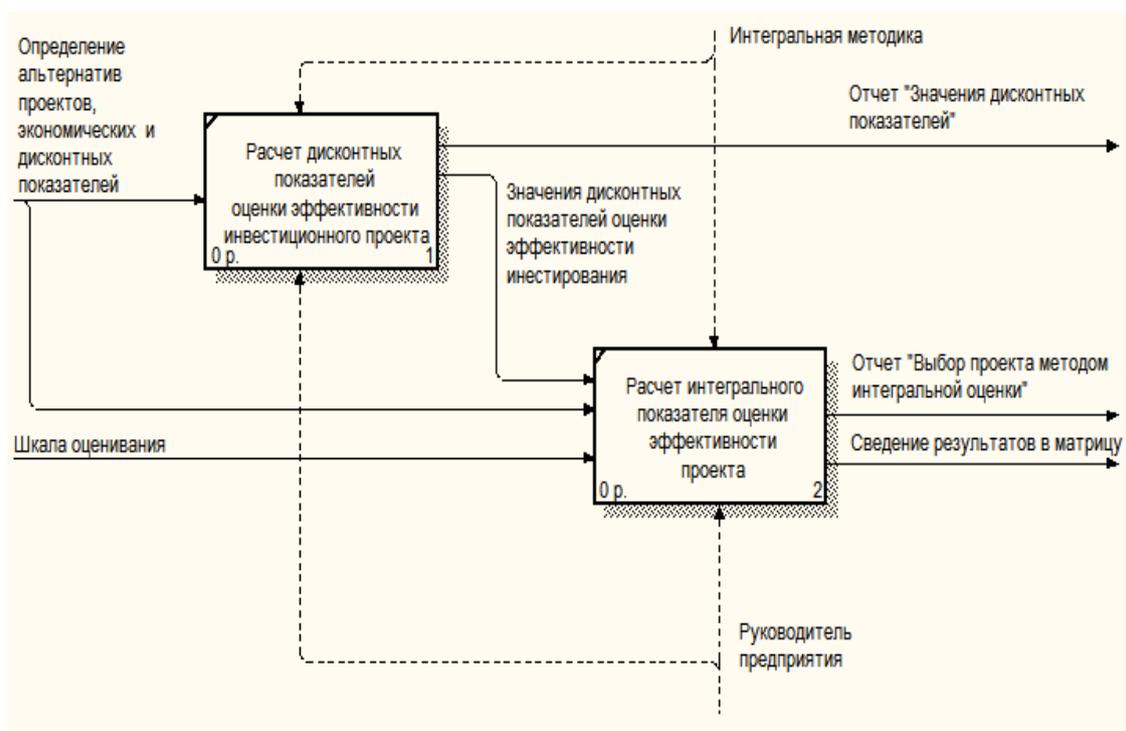


Рис. 3. Декомпозиция модели «Оценка эффективности проекта» А-2

На рисунке 4 представлена концептуальная модель ИС на уровне ключей. Диаграмма КВ-уровня показывает логическую структуру связей сущностей, составляющих предметную область деятельности.

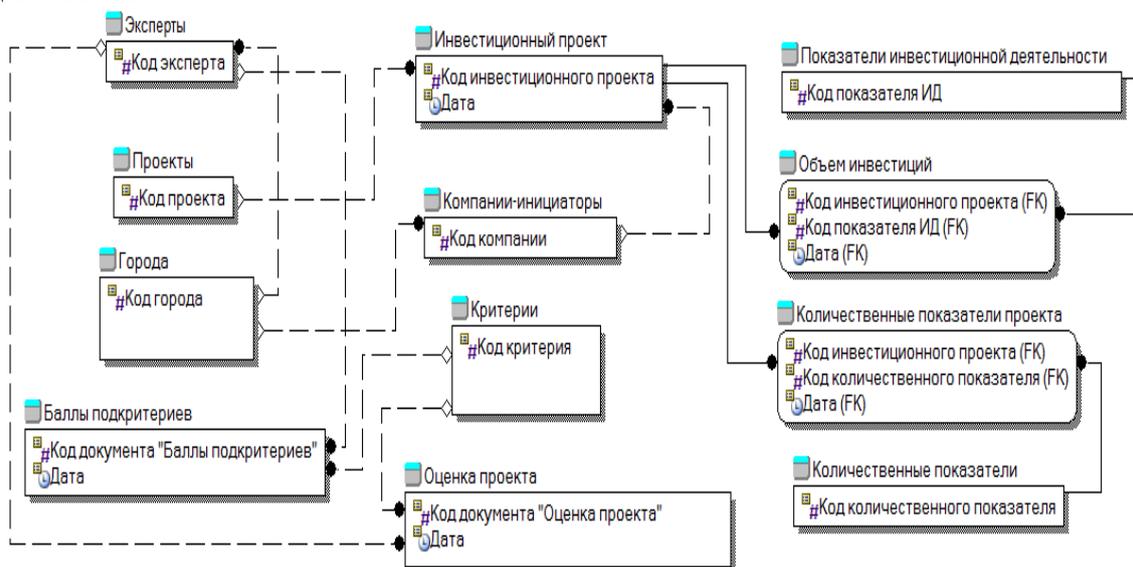


Рис. 4. Концептуальная модель на уровне ключей

Основные результаты исследования:

1. Предложены 2 метода интегральной и экспертной оценки инвестиционных проектов с целью выявления оптимального варианта инвестиционного проекта. Внедряемый математический аппарат упростит расчеты основных экономических показателей каждого проекта, что существенно облегчит работу аналитика и исключит возможные ошибки при вычислении.

2. Разработана информационная система на платформе «1С:Предприятие 8.3». Система содержит необходимый набор инструментов для ввода и учета информации, а также реализует экспертный

метод – метод анализа иерархий. Система включает в себя набор отчетов и вспомогательные средства управления данными для работы в системе, что позволяет повысить эффективность рабочего процесса, а также обработки и хранения информации.

В дальнейшем программа будет дорабатываться. Будет реализован метод интегральной оценки эффективности и оценка качества инвестиционных проектов[4].

Проектируемая система позволит значительно улучшить финансово-экономические показатели, характеризующие инвестиционную программу, существенно повысить обоснованность, качество и эффективность принимаемых управленческих решений, а также обеспечит согласованность результатов планирования и значительно снизит трудоемкость их получения.

Литература.

1. ТЕХЭКСПЕРТ Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / Об утверждении положения об оценке инвестиционных проектов // [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/802022925> Дата обращения 11.04.15.
2. Астаркина Н.Р. Интегральная методика оценки эффективности и выбора инвестиционного проекта на предприятиях малого бизнеса // Журнал «Бухгалтерский учет, статистика», 7(92), 2012, С.131-134. Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru/data/2013/05/21/1251470667/27.pdf>
3. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 25 с.
4. Бахтияров Р.С. К вопросу о роли инвестиционного менеджмента в региональной экономике // Журнал «Проблемы современной экономики», Выпуск № 2, 2010, С.331-335. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-rol-i-investitsionnogo-menedzhmenta-v-regionalnoy-ekonomike> Дата обращения 24.04.15

ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАМЕТРА ГИДРОЦИЛИНДРА НА ЕГО ОБЩУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА

С.В. Увакин, аспирант, Г.Д. Буялич, д.т.н., проф.

Кузбасский Государственный Технический Университет имени Т.Ф. Горбачева

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)39-69-60

E-mail: noxious313@gmail.com

При проектировании горных машин и их узлов, подверженным циклическим ивибрационным нагрузкам, необходимо проводить модальный анализ [1–2]. Одними из таких узлов, являются гидростойки механизированных крепей. Модальный анализ, помимо определения частот собственных колебаний, позволяет определять общую деформацию на этих частотах.

Модель исследуемой гидростойки была создана в программе Autodesk Inventor. Основные геометрические размеры модели взяты с серийно выпускаемой гидростойки МКЮ.2Ш, Юргинского машиностроительного завода. Этапы создания модели и проведения модального анализа рассмотрены в [1–5].

На рисунке 1 приведен пример модели, для которой выполнен модальный анализ и определена общая деформации для частоты 124,84 Гц.

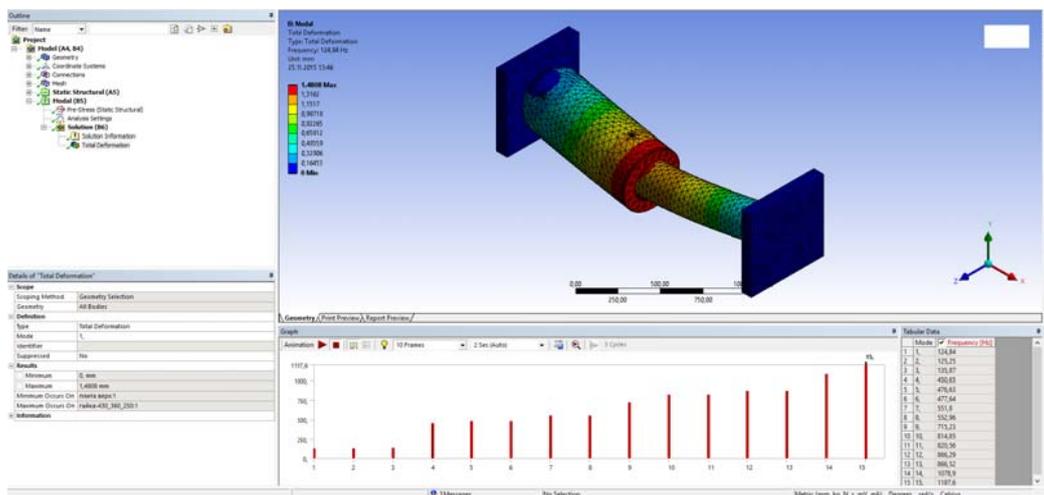


Рис. 1. Модель гидростойки

Для изучения влияния изменения диаметра гидроцилиндра на его общую деформацию при проведении модального анализа, модель была создана параметрической. Изменялись наружный и внутренний диаметры гидроцилиндра, так чтобы толщина стенки оставалась одинаковой.

Для проведения модального анализа было создано три модели, которые отличались наружными и внутренними диаметрами. Величины наружных диаметров приняты 430, 480, 530 мм и соответственно им внутренние диаметры 360, 410, 460 мм. В соответствии с принятыми изменениями, были так же увеличены диаметры поршня. Втулки и гайки. Толщина штока не изменялась и осталась равной 250 мм.

Модель гидростойки закрепляется в опорных пластинах, со сферическими выемками. Размер сферы верхней опоры не изменяется, так как не изменяется диаметр штока. Размер сферы нижней опорной плиты равен диаметру сферы дна соответствующей модели. При проведении модального анализа были заданы контактные пары в опорах, между поршнем и цилиндром и между штоком и направляющей втулкой. Расчет выполнен для различных коэффициентов трения от 0,05 до 0,2 в опорах и от 0,1 до 1,5 в цилиндре.

Общая деформация оценивается по результатам модального анализа и показывает, насколько гидростойка деформируется на частотах собственных колебаний. Для этого, после проведения модального анализа, для каждой полученной частоты собственных колебаний был проведен анализ общей деформации.

Полученные результаты представлены на рисунке 2.

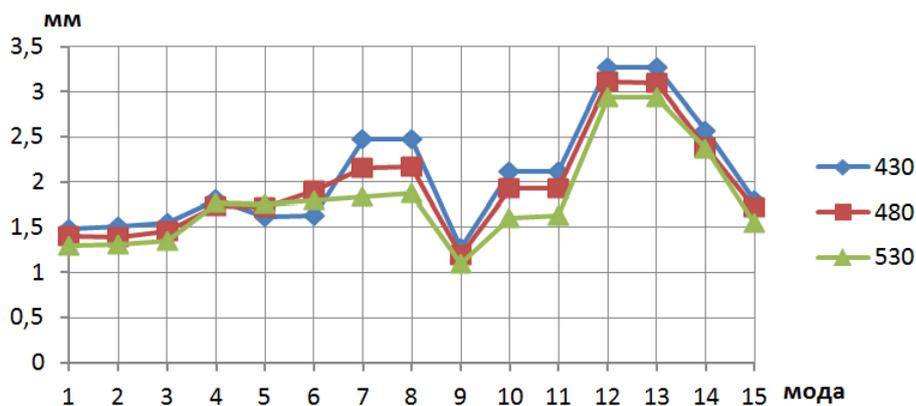


Рис. 2. Величины общей деформации

Изменение общей деформации в процентном отношении представлено на рисунке 3. За основу принята гидростойка с наружным диаметром равным 430 мм. На графике видно, что увеличение диаметра гидроцилиндра уменьшает общую деформацию. Однако есть частоты, на которых общая деформация увеличилась. При увеличении диаметра гидроцилиндра модах 5 и 6 на блюдается увеличение общей деформации.

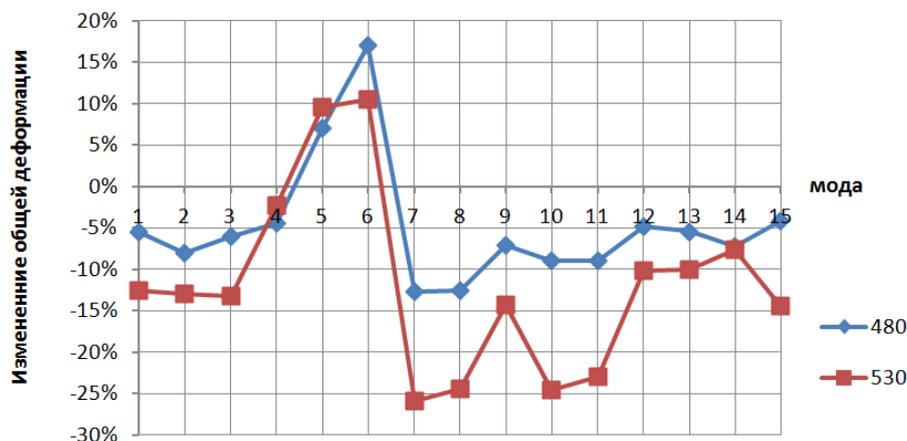


Рис. 3. Изменение общей деформации по отношению к гидроцилиндру 430 мм

Из представленного на рисунке 3 графика, можно сделать вывод о том, что увеличение диаметра гидроцилиндра приводит к уменьшению общей деформации не на всех модах. На некоторых модах наблюдается увеличение общей деформации.

Литература.

1. Буялич Г.Д., Увакин С.В. Влияние нормальной жесткости на модальный анализ в AutodeskInventor // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : материалы IV междунар. науч.-практ. конф., Ме – Кемерово, 2015. – С. 106–107.
2. Буялич Г. Д., Воеводин В. В., Увакин С. В. Варианты расчета моделей в AutodeskInventor 2014 // Сборник материалов VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» / Отв. ред. Блюменштейн В.Ю. – Кемерово, 2014. – С. 10.
3. Буялич Г.Д., Воеводин В.В., Увакин С.В. Способы построения модели в AutodeskInventor 2014 для анализа напряжений // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 7–10 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] – Кемерово : СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD–ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-902305-42-2. – С. 111–114.
4. Буялич Г.Д., Воеводин В.В., Увакин С.В. Расчет на прочность сварных деталей в AutodeskInventor 2014 // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. VII Между-нар. науч.-практ. конф., Белово, 28–29 марта 2014 г. В 4 ч. Ч. 1 /Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово, Велико Тырново : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия, 2014. – С. 121–125.
5. Буялич Г.Д., Воеводин В.В. Определение деформаций рабочего цилиндра шахтной гидростойки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2000. – № 6. – С. 70–71.
6. Буялич Г.Д., Воеводин В.В., Буялич К.Г. Оценка точности конечно-элементной модели рабочего цилиндра гидростойки крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 203–206.
7. Буялич, Г. Д. Влияние размерности модели на расчёт параметров цилиндров гидростоек/Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич//Вестник Кузбасского государственного технического университета. -2004. -№ 5. -С. 42-44.
8. Буялич Г.Д., Антонов Ю.А., Шейкин В.И. О направлении снижения напряженно-деформированного состояния призабойной зоны угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 198–202.
9. Буялич Г.Д., Антонов Ю.А., Шейкин В.И. Механизм взаимодействия механизированных крепей с кровлями угольных пластов / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 3 : Горное машиностроение. – С. 122–125.
10. Буялич, Г. Д. Направления совершенствования механизированных крепей для отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях//Горная техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. – СПб.: Славутич, 2007. – С. 10–16.
11. Контактное и силовое взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин. –Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 130 с.
12. Особенности взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами в сложных горно-геологических условиях пологих и наклонных пластов/Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, Ю. М. Леконцев, М. Г. Лупий. –Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 144 с.
13. Расширение технологических возможностей механизированных крепей/Б. А. Александров, А. Н. Коршунов, А. И. Шундулиди, Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, Ю. А. Антонов. – Кемерово: Изд-во Томского ун-та, Кузбасвузиздат, 1991. –372 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ГИДРОСТОЙКАХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Г.Д. Буялич^{1,2,a}, К.Г. Буялич^{1,b}, В.В. Воеводин^{1,c}

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Россия, тел. +7 (3842)-39-69-40

²Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. +7 (38451) 6-05-37

E-mail: ^a*gdb@kuzstu.ru*, ^b*konstantin42@mail.ru*, ^c*vvoevodin@yandex.ru*

Гидростойка представляет из себя силовой гидроцилиндр, герметичность которого определяется качеством перекрытия зазора между поршнем и цилиндром, величина которого складывается из двух составляющих: допусков на изготовление поршня и цилиндра и радиальных деформаций внутренней поверхности цилиндра (dR) под действием давления рабочей жидкости, которые определяются технологией изготовления [1–3], конструкцией крепи [4–5], конструкцией гидростоек [6–7] и их гидравлической раздвижности (l_p) [8], а также условиями эксплуатации [9–11].

Для уменьшения радиальных деформаций внутренней поверхности цилиндра с целью улучшения условий работы манжетных уплотнений и повышения герметичности гидростоек предложено рабочий цилиндр выполнить из двух слоёв, сопряжённых между собой с натягом.

Для вычисления радиальных деформаций был использован метод конечных элементов, как один из современных вычислительных методов, позволяющих с высокой точностью и скоростью производить расчёты для конструкций сложной конфигурации с использованием средств вычислительной техники, при этом была разработана специальная параметрическая модель, схема которой и параметры приведены на рис. 1.

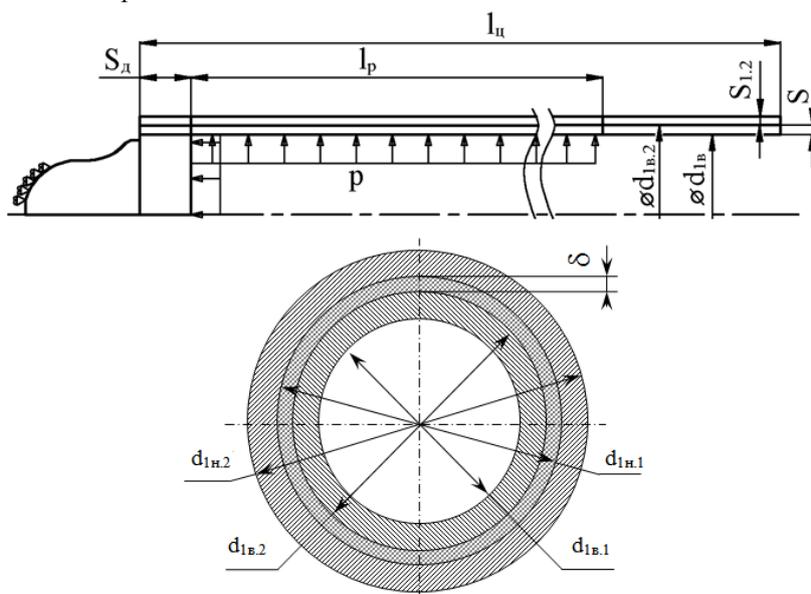


Рис. 1. Схема и параметры конечно-элементной модели для расчетов деформаций двухслойного цилиндра

В качестве материала наружного цилиндра была принята сталь 9ХФ, а материал внутреннего цилиндра – сталь 30ХГСА.

Для исследований были приняты следующие ограничения: суммарная толщина стенок – 25 мм; соотношения толщин стенок внутреннего цилиндра к наружному – 10/15, 12.5/12.5, 15/10, 20/5 мм; натяг при сборке – 0.104 мм.

Расчёты радиальных деформаций двухслойных цилиндров проводились с использованием разработанной параметрической конечно-элементной модели, в которой использованы плоские линейные 4-х узловые элементы с опцией осесимметрии и контактные элементы между слоями.

В результате расчётов получены радиальные деформации внутренней поверхности однослойного цилиндра крепи при полной раздвижности (рис. 2) и двухслойного цилиндра крепи (рис. 3). На

рис. 3 представлены деформации для различных натягов между внутренним и внешним слоями цилиндра. Для того, чтобы дать рекомендации по подбору оптимальных натягов слоев цилиндра с точки зрения герметичности необходимо произвести дополнительные исследования.



Рис. 2. Радиальные деформации внутренней поверхности однослойного цилиндра при полной раздвижности, толщине стенки 25 мм и давлении рабочей жидкости P=50 МПа

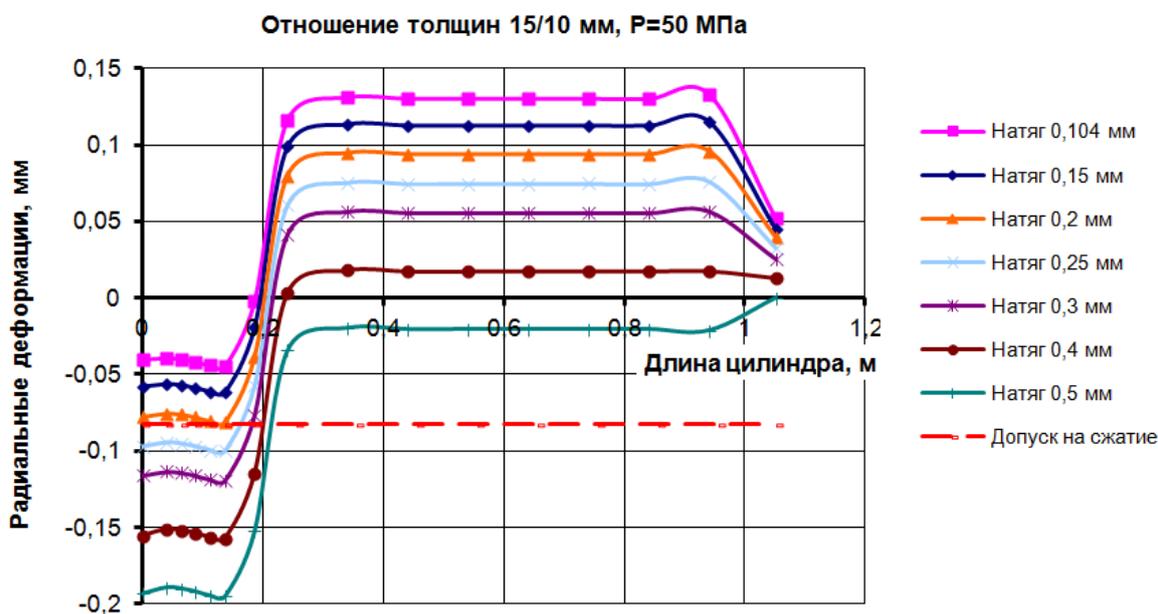


Рис. 3. Радиальные деформации внутренней поверхности цилиндра при различных натягах, давлении рабочей жидкости P=50 МПа и отношении толщин 15/10 мм

Сравнивая полученные результаты исследований двуслойных цилиндров с серийной конструкцией стойки крепи (однослойной) с толщиной стенки 25 мм, можно сделать следующие выводы. Все конструкции двуслойных цилиндров, даже с минимальным натягом, имеют меньшие радиальные деформации по отношению к однослойному цилиндру с теми же параметрами. Это благотворно сказывается на работе уплотнения [12–13] с точки зрения его работы в меньшем уплотняемом зазоре, что в свою очередь повышает герметичность стойки.

Литература.

1. Chinakhov, D.A. Study of Thermal Cycle and Cooling Rate of Steel 30XГСА Single-Pass Weld Joints, Applied Mechanics and Materials. –2011. – Vol. 52–54. –Pp 442–447.
2. Chinakhov, D.A. Simulation of Active Shielding Gas Impact on Heat Distribution in the Weld Zone, Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 762. –Pp 717–721.
3. Технологическое обеспечение надежности цилиндров гидростоек механизированных крепей / Коган Б.И., Буялич Г.Д., Буялич К.Г. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – № 10 (147). – С. 29–31.
4. Особенности взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами в сложных горно-геологических условиях пологих и наклонных пластов/Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, Ю. М. Леконцев, М. Г. Лупий. -Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. -144 с.
5. Повышение сопротивления консолей механизированной крепи/Г. Д. Буялич, Б. А. Александров, Ю. А. Антонов, В. В. Воеводин//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2000. -№ 5. -С. 82-87.
6. Буялич, Г. Д. Методика составления модели гидростойки механизированной крепи для расчетов методом конечных элементов/Г. Д. Буялич, А. В. Воробьев, А. В. Анучин//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2012. -Отд. вып. 7: Горное машиностроение. -С. 257-262.
7. Buyalich G.D., Anuchin A.V., Dronov A.A. The Numerical Analysis of Accuracy of Hydraulic Leg Cylinder in Modeling Using Solid Works Simulation, Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – pp 456-460. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.770.456.
8. Buyalich, G.D., Buyalich K.G., Voyevodin V.V. Radial deformations of working cylinder of hydraulic Legs depending on their extension, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. –Vol. 91. 012087, DOI:10.1088/1757-899X/91/1/012087.
9. Контактное и силовое взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами/Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин. -Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. -130 с.
10. Механизм взаимодействия механизированных крепей с кровлями угольных пластов/Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2012. -Отд. вып. 3: Горное машиностроение. -С. 122-125.
11. Александров, Б. А. Влияние начального распора механизированной крепи на частоту и интенсивность резких осадков кровли/Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов//Вестник Кузбасского государственного технического университета. -2002. -№ 6. -С. 21-22.
12. Buyalich G.D., Buyalich K.G. Comparative Analysis of the Lip Seal in Hydraulic Power Cylinder, Applied Mechanics and Materials. – 2015. –Vol. 770. – pp: 402-406. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.770.402.
13. Buyalich G.D., Buyalich K.G. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation, Mining 2014 : Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control: Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. – 2014 : Amsterdam, Paris, Beijing. Atlantis Press. – pp. 167–170.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЦАПФЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ЭКСКАВАТОРА-
МЕХЛОПАТЫ**

*А.А. Хорешок**, *д-р техн. наук, проф.*, *П.В. Буянкин***, *канд. техн. наук, ст. преп.*,
*А.В. Воробьев****, *канд. техн. наук, доц.*

, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,*
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000, Россия

,* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: vorob@tpi.ru

Опорно-поворотное устройство экскаватора-мехлопаты является одним из важнейших узлов, определяющим надежную и безопасную эксплуатацию машины в целом. Поэтому необходимо уделять особое внимание этому элементу как при проектировании, так при изготовлении и эксплуата-

ции. Вместе с тем отмечается недостаток работ, посвященных исследованиям нагружения опорно-поворотных устройств.

Существующие в отечественном машиностроении расчетные подходы по определению нагруженности опорно-поворотных устройств (или ОПУ) сведены к математическому расчету распределенных вертикальных нагрузок на роликовый круг и отрывающего усилия на центральной цапфе. Эти подходы, в большинстве своем, являются статическими, при этом влияние эксплуатационных нагрузок учитывается динамическим коэффициентом $K_{дин}$, принимаемым равным двум и заложенными коэффициентами запаса прочности деталей. В целом, эти методы дают хороший результат, но не всегда могут учитывать некоторые специфические особенности нагружения, такие как влияние максимальных усилий резания и напора при черпании горной массы. В ряде случаев это может привести к снижению точности расчетов, и как следствие, уменьшению несущей способности узлов и их надежности, что негативно скажется при работе машины в реальных условиях ее эксплуатации. Излишняя же металлоемкость элементов выражается в завышенной стоимости машины и снижении ее ценовой конкурентоспособности при приобретении.

Компоновочная схема ОПУ экскаватора ЭКГ-10 (как наиболее распространенного) представляет собой конструкцию с однорядным роликовым кругом с цилиндрическими роликами, расположенными между верхним и нижним рельсами. Для восприятия нагрузок и во избежание опрокидывания поворотной платформы, при потере ее устойчивости, устанавливается центральная цапфа. В процессе эксплуатации контакт роликов и рельсов происходит по линии или прямоугольнику, центральная цапфа периодически принимает возникающие нагрузки [1]. Такие воздействия неизбежно приводят к износу сопряженных элементов и выходу их из строя (рис. 1).



Рис. 1. Излом центральной цапфы экскаватора ЭКГ-10 при воздействии эксплуатационных нагрузок

Для установления полной картины напряженно-деформированного состояния элементов опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 при воздействии эксплуатационных нагрузок, с помощью системы SolidWorks Simulation построена расчетная модель. Программный комплекс SolidWorks Simulation широко применяется для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, в том числе горных машин [5-9]. Для получения количественной оценки закладываемых нагрузок использовался программный комплекс Mathcad.

Общий алгоритм работы SolidWorks Simulation при решении статической задачи в линейной постановке имеет следующий вид [2, 3].

1. Создается геометрическая модель рассчитываемой конструкции (рис. 2).
2. Строится сетка конечных элементов, т.е. производится дискретизация объема, занимаемого деталью или сборкой. Для объемного тела область разбивается на тетраэдры с гранями, аппроксимируемыми линейными или параболическими функциями координат.
3. Определяются зависимости для преобразования перемещений в узлах сетки к глобальной системе координат. Для пространственных конечных элементов степенями свободы являются перемещения в направлении осей локальной системы координат элемента.
4. Вычисляются матрицы жесткости конечных элементов. В формулах для расчета компонентов матриц жесткости конечных элементов учитываются координаты узлов, модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов.
5. Полученные матрицы жесткости преобразуются из локальных систем координат элемента в глобальные, которые в свою очередь объединяются в единую глобальную матрицу жесткости.

6. Назначенные граничные (статические и кинематические) условия преобразуются в нагрузки и перемещения в узлах, выраженные в глобальной системе координат.
7. Решается полученная линейная система уравнений, определяются перемещения в узлах конечных элементов. Для решения могут использоваться прямые и итерационные методы. Выполняется расчет деформаций в узлах.
8. На основе компонентов напряженно-деформированного состояния и параметров прочности материала производится вычисление эквивалентных напряжений по выбранному критерию прочности.

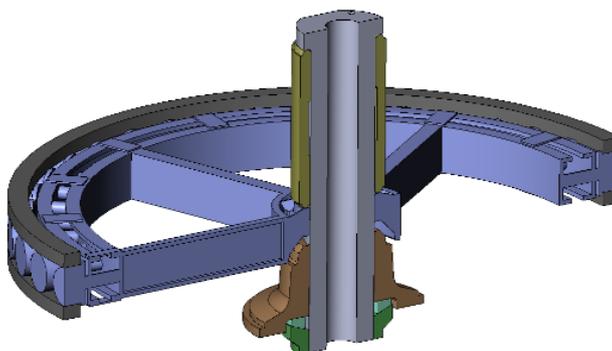


Рис. 2. Геометрическая модель опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 (в разрезе)

Для снижения объема расчетов были упрощены (рис. 2) некоторые детали (нижняя часть гайки цапфы с резьбой, втулка поворотной платформы), влияние которых компенсировалось соответствующими граничными условиями.

Рама поворотной платформы моделировалась верхним рельсом и втулкой. Нижняя рама была смоделирована как отливка и нижний рельс. Грани этих деталей связывались при помощи граничного условия «Жесткий соединитель», обеспечивающего жесткую связь выбранных поверхностей и неизменное расстояние между ними. Это условие корректно описывает работу конструкции, так как верхний рельс закреплен неподвижно к поворотной платформе, нижний рельс и отливка центральной цапфы неподвижно закреплены к нижней раме.

В качестве кинематического граничного условия применялось крепление «Зафиксированный», приложенное к грани нижнего рельса. Данный вид крепления ограничивает линейные перемещения по трем координатным осям, принимая их равными нулю.

Поскольку геометрическая модель, свойства материалов деталей и прилагаемые нагрузки симметричны относительно вертикальной плоскости, было использовано граничное условие «Симметрия». Геометрическая модель рассекалась по плоскости симметрии, к поверхностям в сечении применялось кинематическое граничное условие, запрещающее перемещения по нормали к секущей плоскости. Это позволило уменьшить размерность задачи, за счет чего была повышена плотность сетки конечных элементов и точность расчетов.

Исходя из сложности определения граничных условий приложения нагрузок на элементы ОПУ принято решение о приложении граничных сил, учитывающих влияние веса рукояти и ковша с горной массой ($G_{\text{рук+гр}} \max 250 \text{ кН}$), а также усилий резания и напора ($P_{01}=330 \text{ кН}$ и $P_{02}=100 \text{ кН}$). Это как раз является специфической особенностью нагружения, когда учитываются максимальные усилия резания и напора, возникающие при черпании горной массы. Точки приложения сил принимались в соответствии со схемой на рис. 3.

Действие сил переносилось из точек приложения на грань верхнего рельса за счет применения граничного условия «Дистанционная нагрузка» с опцией «Жесткая связь».

Так как расчет проводился для сборки, были описаны условия контактного взаимодействия для соприкасающихся граней деталей. Использовалось контактное условие «Нет проникновения», исключающее возникновение интерференции компонентов, но допускающее появление зазоров. Контактное условие использовалось с опцией «Поверхность с поверхностью». Этот набор контактных условий позволяет получить максимальную точность при решении контактной задачи с гладкими криволинейными взаимодействующими гранями, но требует наибольших затрат вычислительных ресурсов.

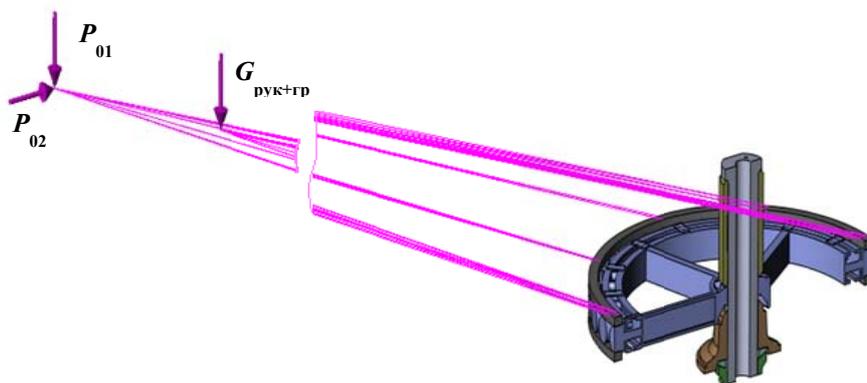


Рис. 3. Схема нагружения опорно-поворотного устройства

При дискретизации геометрической модели использовалась сетка с параболическими конечными элементами (КЭ) в форме тетраэдров. Параболические КЭ обеспечивают лучшее описание геометрии модели сеткой и повышенную точность расчетов за счет большего по сравнению с линейными КЭ числа узлов. Параметры сетки: размер КЭ – от 10 до 50 мм; соотношение увеличения размера элемента – 1,6; автоматическое уплотнение сетки не использовалось. Исходя из необходимости подробного исследования центральной цапфы, было проведено уплотнение сетки для данной детали. Максимальный размер КЭ при этом был уменьшен до 30 мм.

При вычислении исследования применялась решающая программа «FFEPlus», которая использует усовершенствованное переупорядочение матрицы, что делает ее более эффективной для больших задач.

В результате расчетов МКЭ получена картина распределения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в элементах опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 при воздействии эксплуатационных нагрузок (рис.4) [4].

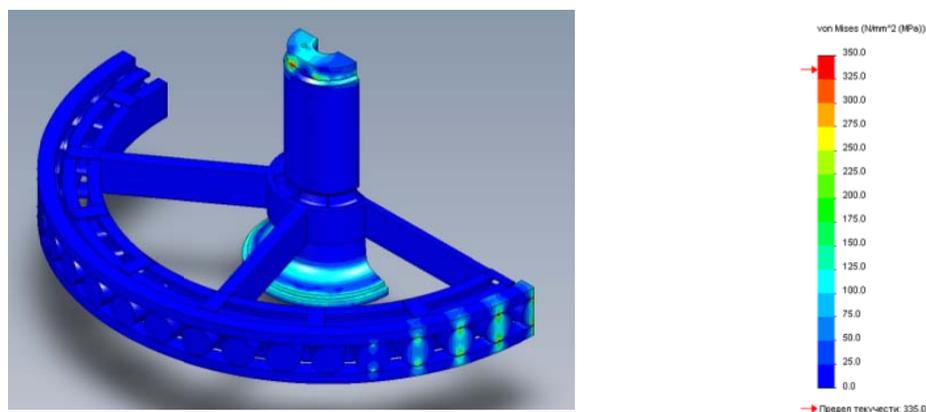


Рис. 4. Картина распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в элементах опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10

При этом установлено, что одним из наиболее нагруженных элементов ОПУ является центральная цапфа. Максимум напряжений на цапфе расположен в области галтели, при этом дополнительным концентратором напряжений является отверстие под рым-болт (рис. 5, а). На этом рисунке показана область детали, в которой напряжения превышают предел текучести для материала центральной цапфы (для стали 40 ГОСТ 1050-88 - 335 МПа). Этот факт подтверждает, что эксплуатационные нагрузки носят разрушающий характер и могут привести к поломке цапфы. Также из картины распределения эквивалентных напряжений следует, что наиболее нагружены места верхнего рельса в местах контакта с передними роликами в количестве 7 штук.

Одним из рациональных решений для исключения концентрации напряжений в центральной цапфе, предложен перенос отверстий под рым-болты ближе в центральной части (было 230 мм,

предложено 165 мм при прежней глубине отверстия), а также увеличение радиуса галтели с 10 до 25 мм (рис. 5, б). Это предложение не повлечет значительного изменения конструкции остальных (сопряженных) элементов опорно-поворотного устройства.

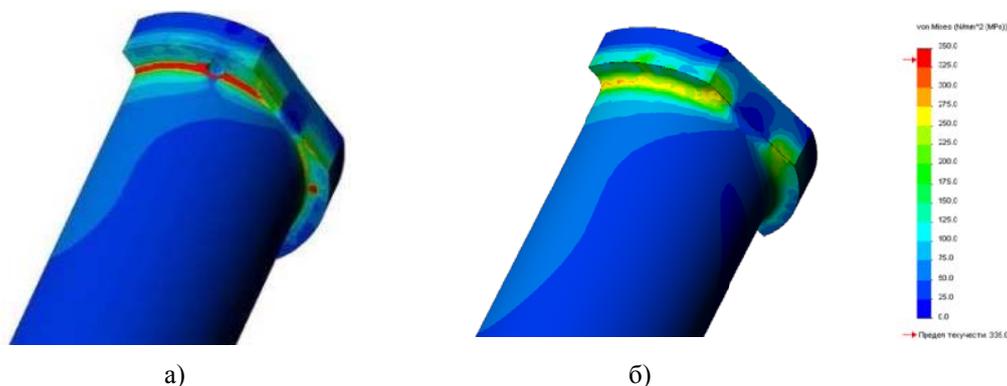


Рис. 5. Общий вид распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в центральной цапфе:
а) - в местах с наибольшей концентрацией и превышением предела текучести стали 40
ГОСТ 1050-88, б) - с концентрацией напряжений после доработки конструкции

Анализ полученного напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства позволил установить картину распределения напряжений в его элементах и установить, что в процессе эксплуатации возможно изменение технического состояния конструкции, вплоть до износа и излома отдельных элементов. Использование разработанной модели напряженно-деформированного состояния позволит разрабатывать как различные конструкции отдельных элементов, так и компоновочные схемы опорно-поворотных устройств при воздействии максимальных нагрузок, необходимых для снижения концентрации напряжений. Одним из таких решений предложена усовершенствованная цапфа, рациональная конструкция которой снижает концентрацию напряжений при воздействии эксплуатационных нагрузок.

Литература.

1. Буянкин, П. В. Расчет нагрузок в опорно-поворотном устройстве экскаватора-мехлопаты / П. В. Буянкин // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2014, №2. – С. 19–21.
2. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.: ил. + DVD – (Мастер).
3. SolidWorksSimulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 448 с.: ил. + DVD - (Мастер).
4. Хорешок, А. А. Оценка эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство экскаваторов-мехлопат /А. А. Хорешок, И.Д. Богомолов, П. В. Буянкин, А. В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – №6. – С. 43-46.
5. Effect of operating stresses on elements of shovel swing bearings / Khoreshok A.A., Bogomolov I.D., Buyankin P.V., Vorobev A.V. // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 770. pp. 445-448.
6. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders / Khoreshok A, Mameytyev L, Borisov A, Vorobiev A // Mining 2014. Taishan academic forum - project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. pp. 177-183.
7. The application of the analytic hierarchy process when choosing layout schemes for a geokhod pumping station / Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. T. 91. № 1. С. 012086.
8. Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production / Aksenov V.V., Walter A.V., Gordeyev A.A., Kosovets A.V. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. T. 91. № 1. С. 012088.
9. Determination of necessary forces for geokhod movement / Efremenkov A.B., Timofeev V.Y. // IFOST 2012: Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, September 18-32, 2012, Tomsk. – С. 1 – 4.

СЕКЦИЯ 3: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПУТЁМ СНЯТИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЖУЩИХ В ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИНАХ

*А.Е. Макаrchук, магистрант, А.А. Мельников, магистрант, Ю.А. Темпель, учебный мастер ТюмГНГУ
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, Володарского 38, тел. 89088796208
E-mail: aleksandr.makarchuk.92@mail.ru*

На сегодняшний день, инструментальная отрасль в машиностроении стремительно развивается во всех направлениях деятельности, от проработки геометрии режущего инструмента до стандартизации выпускаемой продукции. Поставляя режущий инструмент потребителю, производитель, помимо всего прочего, устанавливает ресурс его работы. Он обеспечивается применяемыми методами изготовления металлорежущего инструмента. Основной спрос приходится на инструмент со сменными многогранными пластинами (СМП), так по данным ВНИИ инструмента использование СМП по сравнению с напайными пластинами показывает увеличение стойкости примерно на 25%, сокращение расхода инструментального твердого сплава почти вдвое, а так же увеличение производительности труда порядка 20-25%.

Производственная статистика показывает, что при процессе резания труднообрабатываемых материалов на долю отказов инструмента с СМП, 70-75% приходится на разрушения пластин. В результате анализа разрушения твердосплавных пластин, были определены основные виды их отказов: выкрашивание, скалывание, поломка, преждевременный износ. Это оказывает влияние на издержки предприятия, связанные с браком продукции, заменой СМП, а также повышение временных затрат на восстановления процесса обработки. Большая часть разрушений зачастую является следствием недостаточной стойкости режущего инструмента.

Немногие предприятия задумываются о том, что ресурс СМП можно увеличить, снижая факторы, влияющие на работоспособность режущего инструмента. Одним из таких факторов является остаточные и усталостные внутренние напряжения (напряжения II рода) в инструментальном твердом сплаве, возникающие в результате изготовления СМП. Существует несколько способов, снижающих эти напряжения. В связи с этим целью данной работы является выявление оптимального метода снятия остаточных и усталостных внутренних напряжений.

Природу происхождения внутренних напряжений можно представить на примере сплава группы WC—Co, выглядит она следующим образом: карбиды вольфрама (WC) являются включениями, а связка из кобальта (Co) — охватывающим материалом.

После спекания происходит процесс остывания исходной смеси WC - Co, а так как коэффициент линейного расширения кобальта в 3 раза больше, чем у WC, то на поверхности контакта включения WC и связки Co возникают тангенциальные напряжения $\sigma_{\omega} > 0$ и, соответственно, $\sigma_1 > 0$ (напряжения растяжения), а $\sigma_r < 0$ и, соответственно, $\sigma_2 < 0$ (напряжения сжатия). Исходя из этого, можно сделать вывод, что такое изменение напряжений II рода может оказать существенное влияние на работоспособность режущих элементов из этих сплавов [1].

Существует множество методов повышения работоспособности режущего инструмента из твердого сплава, путем снижения влияния внутренних напряжений, но наиболее перспективными, по нашему мнению, являются два метода:

- 1) Метод предварительного нагрева сменных твердосплавных пластин;
- 2) Метод магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов.

Первый метод способствует увеличению трещиностойкости инструментального твердого сплава посредством заблаговременного его подогрева до температур 300 – 600 °С до начала процесса обработки и поддержания температуры в течение обработки, посредством включения или выключения нагревательной электрической цепи. Управление температурой подогрева СМП из твердого сплава в ходе обработки, сокращает долю поломок приходящихся на хрупкое разрушение посредством микросколов и выкрашивания в период приработки, то есть когда ее температура увеличивается от комнатной до температуры при которой материал твердосплавной пластины переходит из хрупкого в хрупко-пластическое состояние [2].

Впоследствии предварительного подогрева инструментального твердого сплава до температуры 300 – 600°С начинают процесс резания. В ходе резания СМП дополнительно подогревают, и

температура удерживается посредством преобразования механической энергии резания в тепловую. Для осуществления возможности увеличения работоспособности СМП из твердого сплава разработано и запатентовано устройство для контролируемого нагрева режущих пластин [3]. Установка включает в себя нагревательную электрическую цепь, цепь для контроля и регулирования температуры, а так же специальный металлорежущий инструмент, содержащий полупроводниковый слой, под которым находится токоподводящая пластинка [4]. Они изолированы от корпуса инструмента прокладкой. Электрическая цепь, обеспечивающая предварительный нагрев СМП, замыкается на корпус инструмента. После достижения заданной температуры источник питания отключают и начинают процесс резания.

К достоинствам данного метода можно отнести снижение интенсивности износа (около 40%) по задней поверхности, значительное сокращение поломок, приходящихся на хрупкое разрушение посредством микросколов и выкрашивания в период приработки, вследствие чего это ведет к сокращению себестоимости продукции, уменьшению процента брака и увеличению производительности (за счет сокращения времени на восстановление работоспособности инструмента). Зависимость износа по задней поверхности и температуры от времени резания представлена на рисунке 1.

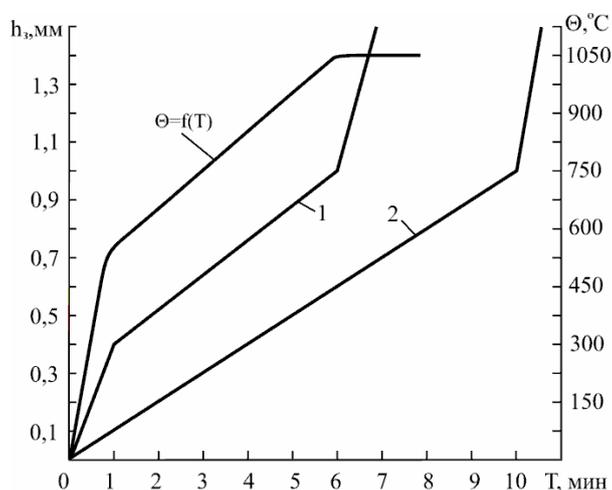


Рис. 1. Зависимость износа по задней грани и температуры от времени резания, при точении стали 40X сплавом BK8 [1]: 1 – точение без подогрева; 2 – точение с предварительным подогревом

Также к достоинствам метода можно отнести: отсутствие расходных материалов, экологическая чистота.

Тем не менее, у данного метода есть ряд недостатков. Во-первых, это неудобство его практического применения, так как перед каждым началом обработки необходимо дополнительное время на подогрев пластины, а это, как следствие, неблагоприятно сказывается на одном из главных плюсов данного метода - производительности. Во-вторых, изменение геометрических размеров инструмента, так как при предварительном подогреве, нагревается не только режущий клин инструмента, но и вся остальная часть СМП. Еще одним существенным недостатком является то, что для реализации данного метода нужен специальный инструмент с дополнительным полупроводниковым слоем между пластиной и опорной поверхностью.

Разработанные руководящие технические материалы «Повышение работоспособности сменных твердосплавных пластин путем предварительного нагрева» были переданы для внедрения на ОАО «Тюменский станкостроительный завод» и ЗАО «Тюменские авиадвигатели». Но на практике данный способ не прижился в виду того, что целесообразность применения носит спорный характер. Так как, с одной стороны, повышается работоспособность пластины, и, соответственно, снижаются затраты. Но, с другой стороны, снижается общая производительность, а себестоимость дополняется затратами на специальный инструмент и оборудование.

Вторым способом повышения эксплуатационных характеристик инструмента из твердых сплавов является комбинированная магнитно-импульсная обработка (КМИО). Он заключается в предварительном нагреве образца токами высокой частоты и последующем воздействии на него импульсного магнитного поля высокой напряженности [5]. Данный метод обработки твердых сплавов

опасный и трудоемкий процесс, так как в процессе обработки токоведущие части оборудования находятся под высоким напряжением (5-10 кВ), что может привести к опасности поражения электрическим током и требует применения дополнительных средств защиты и автоматизации процесса КМИО. Автоматизация процессов производства является одним из важнейших факторов повышения производительности, снижения себестоимости выпускаемой продукции и обеспечения безопасности персонала предприятия [6].

Для реализации процесса КМИО в лабораторных условиях использовалось устройство, объединяющие в себе импульсный и высокочастотный индукторы, и механизм подачи обрабатываемых изделий.

Многостадийная обработка проводится в следующем порядке:

1. Установка образца в комбинированный индуктор.
2. Предварительный нагрев образца током высокой частоты (ТВЧ) до температур 400, 600, 800 °С.
3. Обработка образца импульсным магнитным полем.
4. Выдержка образца на неметаллической поверхности при комнатной температуре не менее 24 часов.

При КМИО твёрдосплавных пластин Т15К6 было выявлено значительное увеличение износостойкости (приблизительно в 2 раза) по задней поверхности, это является главным достоинством данного метода. На рисунке 2 приведена зависимость износа задней поверхности твердосплавных СМП от времени резания.

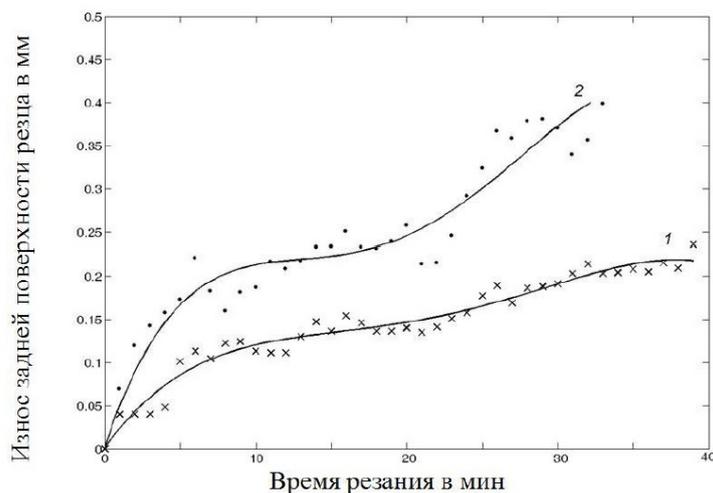


Рис. 2. Зависимость износа задней поверхности твердосплавных СМП Т15К6 от времени резания при чистовом точении стали 30Х [7]. 1-СМП Т15К6 после комбинированной МИО; 2-СМП Т15К6 необработанная

Кроме этого, данный способ обладает еще рядом преимуществ: сокращается число поломок приходящихся на хрупкое разрушение, достаточно низкая себестоимость обработки, сохранение формы режущей поверхности обработанных изделий, отсутствие расходных материалов, простота технологической оснастки, экологическая чистота, а также возможность упрочнения инструмента любой конфигурации [7].

Тем не менее, и у этого метода есть ряд минусов: длительность обработки, толщина СМП не должна превышать 5 мм, малый процент получения желаемого результата и применение дополнительных сред.

На данный момент КМИО твердосплавных пластин находится на стадии разработки. Исследованием данного метода занимаются ученые Бийского технологического института: А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что метод снятия внутренних напряжений твердосплавных пластин с помощью КМИО является эффективнее метода предварительного нагрева. Так как после КМИО, СМП сохраняет полученные свойства и не изменяет свою первоначальную геометрию. Так же наблюдается повышенная износостойкость по задней поверхности, по сравнению с методом предварительного нагрева.

На Тюменских машиностроительных предприятиях, снятие внутренних напряжений в твердосплавных СМП не практикуется, т.к. предприятия не рискуют тратить ресурсы на экспериментальные методы. Но по нашему мнению, снятие внутренних напряжений способствует повышению работоспособности СМП, что сказывается на снижении доли брака, сокращении затрат на инструментальное обеспечение и увеличении производительности. Таким образом, снятие внутренних напряжений является одной из ключевых позиций повышения работоспособности режущего инструмента. В результате выше проведенного анализа методов обработки твердосплавных пластин, мы пришли к мнению, что применение метода КМИО, по совокупности приобретаемых свойств режущими пластинами, является перспективным.

Литература.

1. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов / Монография. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2003. – 192 с.
2. Патент РФ 2207936, МПК7В23В1/00. Способ металлообработки твердосплавным инструментом / Артамонов Е.В., Ефимович И.А., Костив В.М., Помигалова Т.Е. (РФ) – №2001126982/02; Заявл. 04.10.2001; Оpubл. 10.07.2003; Бюл. №19.
3. Свидетельство на полезную модель. Заявка 2004 102 879, МПК7 В23 В 27/16. Установка для регулируемого подогрева твердосплавной режущей пластины / Чуйков Р.С., Кусков В.Н., Артамонов Е.В., Трифонов В.Б., Костив В.М.; ТГНГУ. – Заявлено 04.02.2004.; Положительное решение 18.03.2004.
4. Патент РФ 2254211, МПК7В23 В27/16. Металлорежущий инструмент / Кусков В.Н., Артамонов Е.В., Чуйков Р.С., Трифонов В.Б., Костив В.М. (РФ) – №2004101575; Заявл. 19.01.2004; Оpubл. 20.06.2005; Бюл. №17.
5. Патент РФ №2339704. Овчаренко А. Г., Козлюк А. Ю. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин / Бюл. № 33, 2008. – 6 с.
6. Овчаренко, А.Г. Повышение износостойкости пластин из твердого сплава/А.Г.Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2010. - №2. – С.13- 15. 4.
7. Овчаренко, А.Г. Исследование влияния комбинированной магнитно-импульсной обработки на качество твердосплавного инструмента/ А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2011. - №2. – С.95-99.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЕВ Ti-AL НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ВТ1-0 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

О.Э. Матц, И.А. Батаев, к.т.н., доцент

*Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20, тел.: +7 (383) 346 02 31,
E-mail: o.matts@mail.ru*

В настоящее время интерметаллиды и материалы на их основе представляют большой интерес. Среди множества известных интерметаллидов одними из наиболее широко исследованных и часто применяемых являются интерметаллиды системы Ti-Al. Они обладают высоким комплексом механических свойств и стойкостью к окислению при повышенных температурах. Одним из перспективных подходов к использованию интерметаллидов этой системы в промышленности является нанесение защитных слоев и покрытий на титановые сплавы. В настоящей работе для нанесения интерметаллидных слоев системы Ti-Al на титановый сплав ВТ1-0 использовался метод электронно-лучевой наплавки. В работе представлены результаты исследований структуры и механических свойств полученных образцов.

Наплавка алюминия на титановые пластины осуществлялась в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН на ускорителе электронов ЭЛВ-6. В качестве материала основы использовались пластины титанового сплава габаритами 50x50x12 мм. Перед электронно-лучевым оплавлением на поверхность пластин наносилась порошковая смесь, состоящая из порошков алюминия и титана технической чистоты, а также порошков СаF₂ и LiF, используемых в качестве флюса. Плотность насыпки порошковой смеси составляла 0,45 г/см². Составы порошковых смесей и обозначение образцов представлены в таблице 1. В процессе наплавки образцы перемещались относительно пучка электронов со скоростью 1 см/с при токе электронного пучка – 11 мА. Для увеличения площади об-

работываемой поверхности использовалось поперечное сканирование пучка электронов при помощи устройства электромагнитной развертки.

Таблица 1

Составы наплавочных смесей				
№ образца	Ti, %	Al, %	CaF ₂ , %	LiF, %
Ti-Al-5	16,97	28,27	41,07	13,69
Ti-Al-6	16,97	28,27	41,07	13,69
Ti-Al-7	18,4	30,49	38,31	12,8

Структуры поверхностного слоя образца, зафиксированные методами оптической и растровой электронной микроскопии представлены на рисунках 1 и 2. Следует отметить, что в наплавленном слое отсутствуют дефекты в виде крупных пор или трещин. Методом растровой электронной микроскопии было установлено, что наплавленные слои имеют типичную для титановых сплавов микроструктуру игольчатого типа.



Рис. 1. Микрофотография поперечного шлифа образца системы Ti-Al

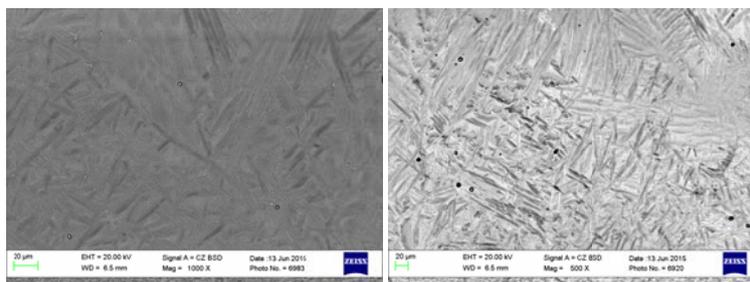


Рис. 2. Микроструктура покрытий системы Ti-Al, полученная методом растровой электронной микроскопии

Элементный состав полученных образцов определяли методом энергодисперсионного микро-рентгеноспектрального анализа. В наплавленном слое весовые концентрации составили:

1. Образец Ti-Al-5: 34,56 % Al, 65,44 % Ti.
2. Образец Ti-Al-6: 23,48 % Al, 76,52 % Ti.
3. Образец Ti-Al-7: 23,90 % Al, 76,10 % Ti.

Для определения фазового состава применялся метод рентгенофазового анализа (рисунок 3). Было установлено, что наплавленные слои состоят из трех различных фаз: Ti₃Al, TiAl и α-Ti.

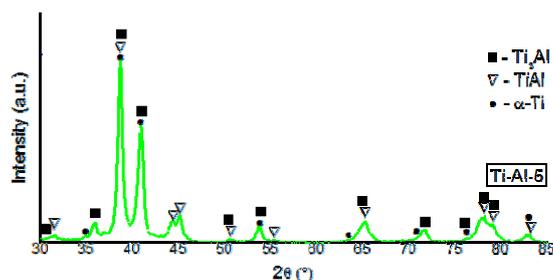


Рис. 3. Оценка фазового состава покрытий методом рентгеноспектрального анализа

Для оценки механических свойств наплавленных слоев на поперечных шлифах измерялось распределение микротвердости от поверхностного слоя к основному металлу (рисунок 4). Установлено, что значение микротвердости наплавленного слоя примерно в 5 раз превышает значение микротвердости материала основы.

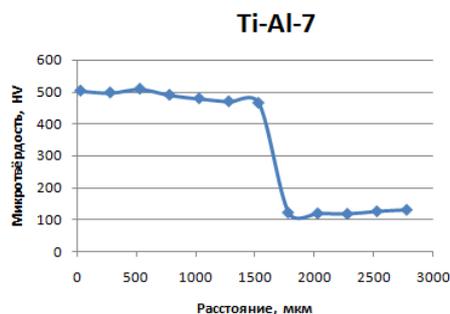


Рис. 4. Результаты измерений микротвердости покрытий системы Ti-Al, полученных методом электронно-лучевой наплавки

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет формировать высококачественные интерметаллидные слои на поверхности титановых сплавов.
2. Полученные слои не содержат крупных дефектов в виде пор или трещин.
3. В случае наплавки слоев системы Ti-Al обнаружено, что наплавленные слои состоят из трех фаз: TiAl, Ti₃Al и α-Ti.
4. Твердость наплавленных слоев примерно в 5 раз превышает твердость материала основы.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ «СВМПЭ+ПТФЭ», НАПОЛНЕННЫЕ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦАМИ И ВОЛОКНАМИ

Нгуен Суан Тьук¹, асп., С.В. Панин^{1,2}, д.т.н., проф., Л.А. Корниенко², к.ф.-м.н.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: nxthuc1986@gmail.com

При создании твердосмазочных композитов в полимерную матрицу вводят дисперсные наполнители, например, графит и дисульфид молибдена, что расширяет возможности применения антифрикционных композитов в высоконагруженных узлах трения, когда жидкие либо пастообразные смазки не выдерживают условий эксплуатации [1-4]. В [5] показано, что политетрафторэтилен выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания композиций СВМПЭ-ПТФЭ при сухом трении скольжения и в условиях смазочной среды, увеличивая износостойкость кратно. Наилучшие показатели износостойкости показывает композиция СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ с мелким наполнителем Ф4 (в 3.5 раз). Целесообразно использовать эту гибридную полимерную матрицу для разработки антифрикционных экструзируемых нано и микрокомпозитов как способ повышения износостойкости изделий и расширения номенклатуры антифрикционных композитов для применения в различных отраслях техники и условиях эксплуатации трибосопряжений.

Методики исследований. Для определения износостойкости композитов в условиях сухого трения, граничной смазки и абразивного изнашивания в работе использовали порошок СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5-15 мкм, порошок политетрафторэтилена Ф-4ПН20 (Ø 14 мкм), нановолокна углерода (УНВ - Ø 60 нм) и AlO(OH) (Ø 10 нм), наночастицы SiO₂ (Ø 90-100 нм), микрочастицы AlO(OH) (2-3 мкм) и Al₂O₃ (50 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200° С со скоростью последующего охлаждения 4°С/мин. Перемешивание смесей порошков СВМПЭ, ПТФЭ и наполнителей проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне. Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке на образец 68,8 Н и скорости вращения вала 100 мин⁻¹ в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1 (скорость скольжения 0,32 м/с).

Размер образцов В×Ш×Д=7×7×10 мм. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре ZygoNewView 6200.

Испытания на абразивный износ проводили на трибометре МИ-2 для испытаний резины на истираемость. Сопротивление изнашиванию оценивали при нагрузке 0,15 МПа и скорости скольжения вала относительно пары образцов 17,0 м/мин. Использовали частицы закрепленного на бумажной основе абразива Р 240 с размером зерна 58,5 мкм (ГОСТ 426). Объемный абразивный износ определяли взвешиванием образцов с последующим вычислением потери массы через каждые 5 минут. Методика тестирования соответствовала требованиям ASTM G99 и DIN 50324. Триботехнические характеристики оценивали усреднением по четырем образцам. Структурные исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 приведена диаграмма интенсивности изнашивания на стадии установившегося износа (I , мм²/мин) указанных выше композитов с наполнителями различной дисперсности. Видно, что интенсивности изнашивания композитов на основе матрицы «СВМПЭ+n мас.% ПТФЭ» слабо зависят как от содержания, так и от размеров частиц наполнителя (снижается на 10÷35 % в зависимости от типа наполнителя). При этом нанонаполнители более эффективны (столбцы 3÷5), но микрочастицы AlO(OH) на 60 % увеличивают сопротивление изнашиванию по сравнению с образцами с ненаполненной матрицей и в 8 раз по сравнению с чистым СВМПЭ. Шероховатость поверхности дорожек трения всех исследованных композитов аналогичным образом зависит от типа наполнителя (рис. 1).

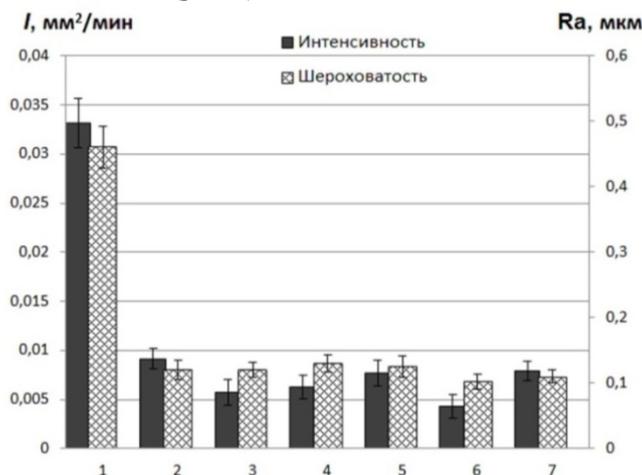


Рис. 1. Диаграмма интенсивности износа (I), шероховатости поверхности дорожки трения (R_a) СВМПЭ и композитов на основе «СВМПЭ+n мас.% ПТФЭ»: чистый СВМПЭ (1), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (2), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% AlO(OH)» (3), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO₂» (4), «СВМПЭ+ 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (5), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al₂O₃» (6), «СВМПЭ+10мас.%ПТФЭ+20 мас.% AlO(OH)» (7) на стадии установившегося износа

На рис. 3 приведены РЭМ-микрофотографии надмолекулярной структуры исследованных композитов. Видно, что наполнение гибридной матрицы наночастицами не приводит к изменению вида надмолекулярной структуры, тогда как микронаполнители подавляют формирование сферолитной структуры (в, г). В отличие от СВМПЭ-матрицы роль нанонаполнителей как твердой смазки в гибридной матрице нивелируется формированием пленки переноса политетрафторэтилена на контртело, также выступающей в качестве твердой смазки и определяющей триботехнические характеристики композиции. Максимальный эффект снижения интенсивности изнашивания при сухом трении скольжения был получен при введении 20 мас. % Al₂O₃ в гибридную полимерную матрицу «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (рис. 1). Выявленный «синергетический» эффект повышения износостойкости, по мнению авторов, обусловлен двумя причинами (механизмами): во-первых, смазывающее действие частиц ПТФЭ, что обеспечивает формирование пленки переноса на поверхности контртела. Во-вторых, армирующее действие микрочастиц Al₂O₃, благодаря которым нагрузка от контртела перераспределяется более равномерно на эти твердые частицы (см. изображения поверхности образцов после испытания рис. 2, д). В то время

как при наполнении микрочастицами $AlO(OH)$ со средней дисперсностью $\varnothing 2\div 3$ мкм оно меняется незначительно, что связано с определяющей ролью надмолекулярной структуры, которая в случае более крупного наполнителя остается сферолитной.

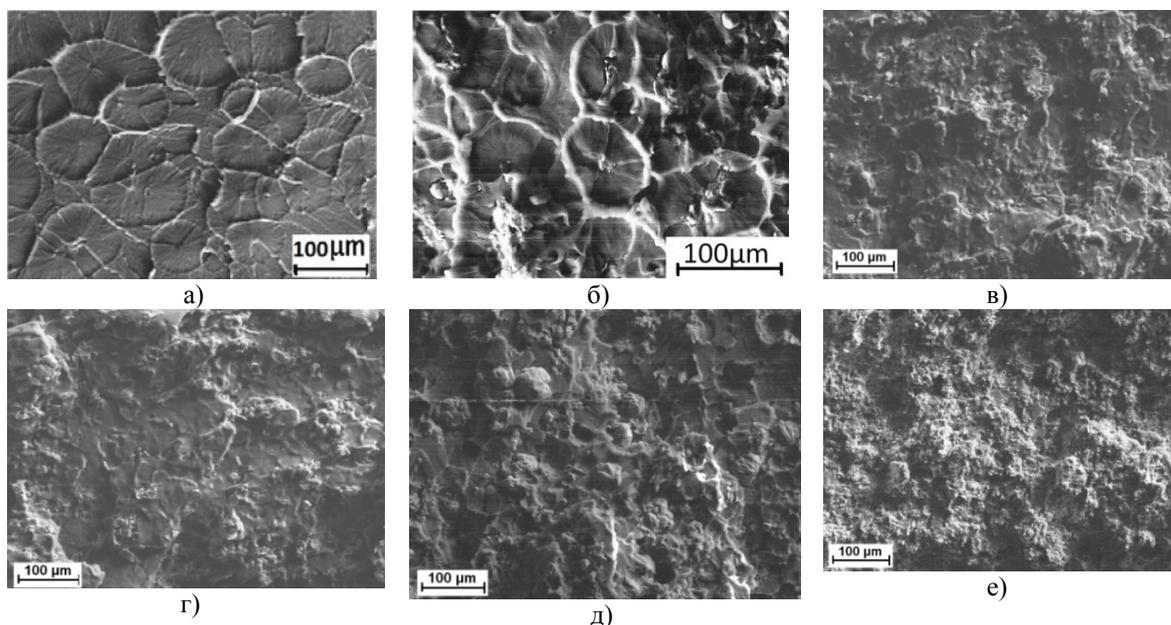


Рис. 2. Надмолекулярная структура СВМПЭ (а), СВМПЭ+ 10 мас.% ПТФЭ» (б), 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% Al_2O_3 » (в), 10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (г), 10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (д) и 10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% $AlO(OH)$ ». Размер частиц наполнителя 14 мкм

Анализ изображений поверхности дорожек трения исследованных композитов (рис. 3) показал, что микроборозды, сформировавшиеся на поверхности трения чистого СВМПЭ, практически не наблюдаются на поверхности микро-, и нанокompозитов, что коррелирует с данными по интенсивности их изнашивания, а также их шероховатости.

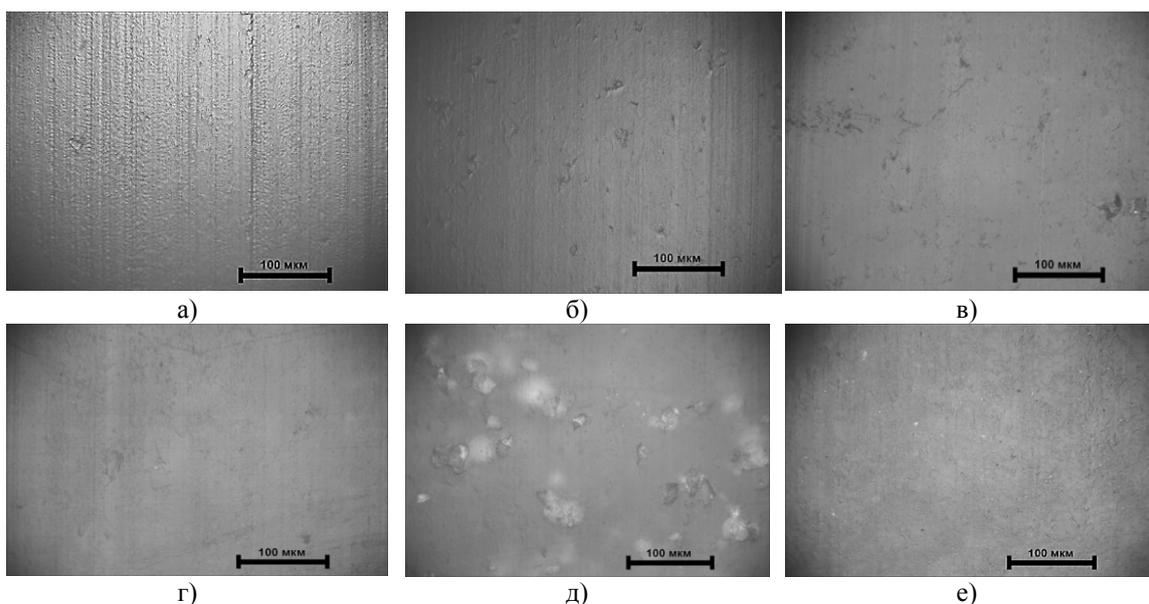


Рис. 3. Микрофотографии поверхности дорожек трения образцов СВМПЭ (а), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (б), СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% $AlO(OH)$ (в), СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ (г), СВМПЭ +10 мас.% ПТФЭ+ 20 мас.% Al_2O_3 (д) при испытаниях в режиме сухого трения скольжения. Размер частиц наполнителя 14 мкм.

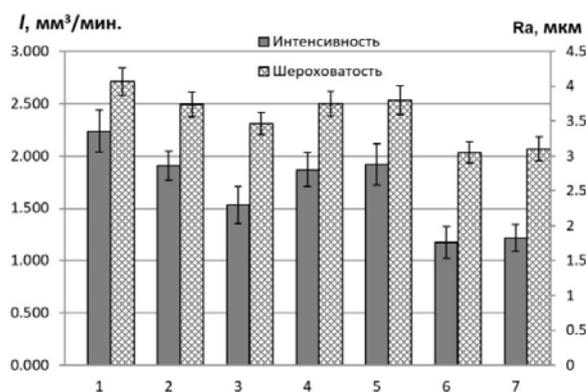


Рис. 4. Диаграммы интенсивности изнашивания (I) и шероховатости поверхности дорожки трения (Ra) образцов СВМПЭ (1) и композитов «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (2), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% Al_2O_3 » (3), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (4), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (5) «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (6), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% $AlO(OH)$ » (7) при условии абразивного изнашивания (Р 240).

На рис. 4 приведены данные об результатах трибоиспытаний в условиях абразивного изнашивания. Видно, что сопротивление абразивному изнашиванию при наполнении гибридной матрицы нанонаполнителями близко к таковому для образцов на основе материала гибридной матрицы (столбцы 3,4, 5), а при наполнении микрочастицами микрокомпозитов оно выше в 2 раза, чем для исходной матрицы (столбцы 6,7). Аналогичная картина по изменению интенсивности абразивного изнашивания наблюдается и в композитах на основе гибридной матрицы с крупным порошком фторопласта. Кроме того, подобным же образом зависит шероховатость поверхностей трения (Ra) от размера наполнителя.

На рис. 5 для иллюстрации приведены микрофотографии поверхностей абразивного изнашивания матрицы «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (а) и нано- и микрокомпозитов на ее основе (б, в, д). Из рис. 5 следует, что частицы закрепленного абразива режут матрицу, а

относительно мягкий политетрафторэтилен не способен «защитить» матрицу от подобного воздействия (борозды пропахивания смесей по размеру и форме сравнимы с таковыми в матрице и нанокомпозитах на ее основе). В микрокомпозитах крупные частицы наполнителя соизмеримы с размером зерна абразива и способны защитить матрицу от абразивно износа. Чем крупнее частицы микронаполнителя, тем выше их вклад в обеспечение абразивной износостойкости композитов [6]. Политетрафторэтилен при абразивном изнашивании лишь облегчает проскальзывание абразивной бумаги по поверхности образца композитов.

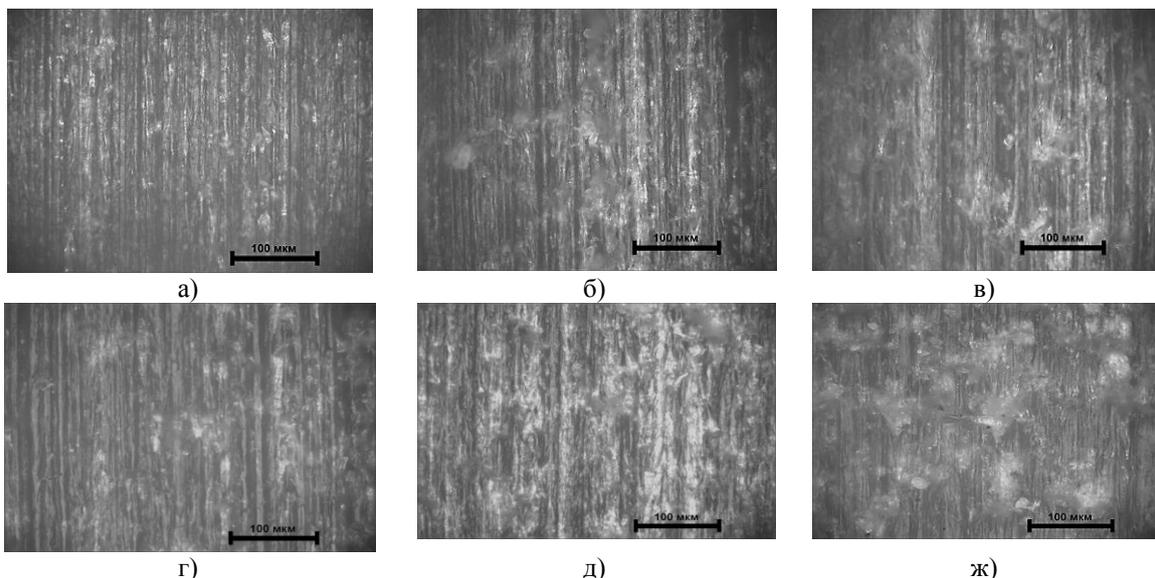


Рис. 5. Микрофотографии поверхностей износа образцов СВМПЭ (а) и композиций «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» (б), «СВМПЭ+40 мас.% ПТФЭ» (в), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% SiO_2 » (г), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+0,5 мас.% УНВ» (д), «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 » (ж) в режиме абразивного изнашивания. Р 240

Таким образом, введение нано- и микронаполнителей в смесевую матрицу «СВМПЭ – ПТФЭ» с мелкими частицами наполнителя (14 мкм) незначительно повышают износостойкость матрицы: т.е. нано- и микронаполнители и микрочастицы фторопласта функционально действуют подобно, поэтому одинаково эффективно могут быть использованы при разработке твердосмазочных износостойких композитов на основе СВМПЭ с учетом различных условий эксплуатации изделий (высокие нагрузки, низкие температуры, агрессивные среды).

Заключение

Политетрафторэтилен выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания в равной степени как в гибридной матрице СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ, так и в композитах на ее основе в условиях сухого трения скольжения и смазочной среды.

Максимальный эффект снижения интенсивности изнашивания при сухом трении скольжения (до 8 раз по сравнению с чистым СВМПЭ) был получен при введении в гибридную полимер-полимерную матрицу «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ» 20 мас.% Al_2O_3 . Выявленный эффект имеет «синергетическую» природу, сочетающую смазывающее и армирующее действие частиц наполнителей.

Для практического использования в составе узлов трения для машиностроительных приложений рекомендуется трехкомпонентный твердосмазочный композит «СВМПЭ+10 мас.% ПТФЭ+20 мас.% Al_2O_3 », который по сравнению с чистым СВМПЭ обладает в восемь раз большим сопротивлением изнашиванию при сухом трении скольжения, а также более чем в два раза высокой абразивной износостойкостью.

Литература.

1. Гоголева О.В., Охлопкова А.А., Петрова П.Н. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для эксплуатации в экстремальных условиях // *Материаловедение*. – 2011. – № 9. – С.10–13.
2. *Functional Fillers for Plastics*. Edited by M. Xanthos//Copyright 2005, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 507 p. ISBN 3-527-31054-1.
3. George Wypuch. *HANDBOOK OF FILLERS*. 2nd Edition, Toronto – New York, 2000, 895 p., ISBN 1-895198-19-4
4. . Sergey V. Panin, Lyudmila A. Kornienko, Nguyen XuanThuc, Larisa R. Ivanova, Sergey V. Shilko. Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene. *Advanced Materials Research* Vol. 1040 (2014). Pp. 148-154. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.148.
5. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. НгуенСуан, Л.Р. Иванова, М.А. Корчагин, С.В. Шилько, Ю.М. Плещачевский. Износостойкость композитов на основе полимер-полимерной матрицы СВМПЭ-ПТФЭ. Часть 1. Механические и триботехнические свойства полимер-полимерных композиций СВМПЭ-ПТФЭ // *Трение и износ*, 2015 (36), № 3, с. 244-251.
6. S.V. Panin, L.A. Kornienko, M.A. Poltaranin, L.R. Ivanova, S.V. Shilko. The role of micro- and nanofillers in abrasive wear of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)// *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology* , Volume 3, Issue 2, March 2014. PP. 532 -544.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕЛЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

А.А. Окулова, Н.Ю. Орлова

СФТИ НИЯУ МИФИ, г. Снежинск

E-mail: alenaokulova1995@Gmail.com

Большинство современных телефонов могут повредиться или выйти из строя из-за перегрева, переохлаждения, намокания, удара его элементов.

В данном проекте предполагается элементы сотового телефона покрывать пленкой аэрогеля, толщиной 2-3 мм, это позволит защитить телефон от прямого солнечного воздействия, повышенных или пониженных температур, ударов, попадания влаги, благодаря полезным свойствам этого вещества, т.к. известно, что он обладает очень низким коэффициентом теплопроводности (который на порядок меньше коэффициента самого хорошего теплоизолятора), также аэрогель обладает хорошей звукоизоляцией и электроизоляцией, и поглощает вредные волны, излучаемые сотовыми телефонами, что гарантирует безопасность для их владельцев. Возможно в будущем производство аэрогеля

станет дешевле и его использование в современной технике существенно не повысит цены на готовые продукты электроники и техники.

Были произведены следующие расчёты для нахождения влияния температуры окружающей среды на температуру элементов телефона:

рассчитаем плотности теплового потока в зависимости от толщины плёнки аэрогеля по формуле:

$$\rho = \frac{t\omega_2 - t\omega_1}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

Результаты расчётов представим в графическом виде для высоких положительных температур Рисунок 1, для отрицательных температур рисунок 2.

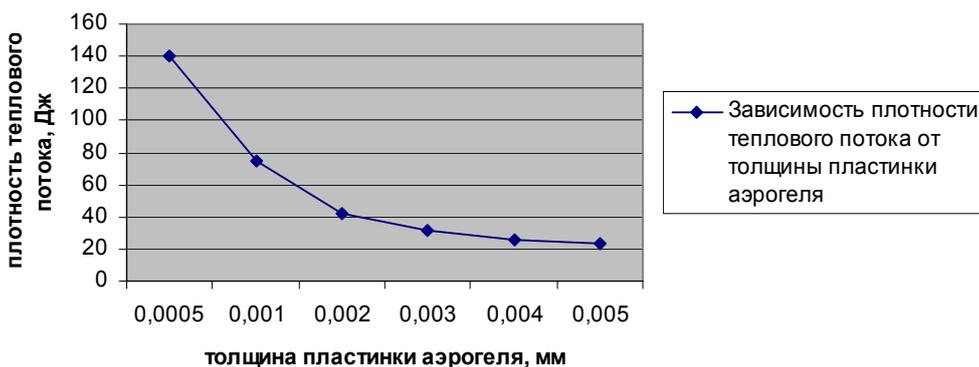


Рис. 1. График зависимости плотности теплового потока от толщины плёнки аэрогеля, при температуре окружающей среды +700С, температура телефона +200С

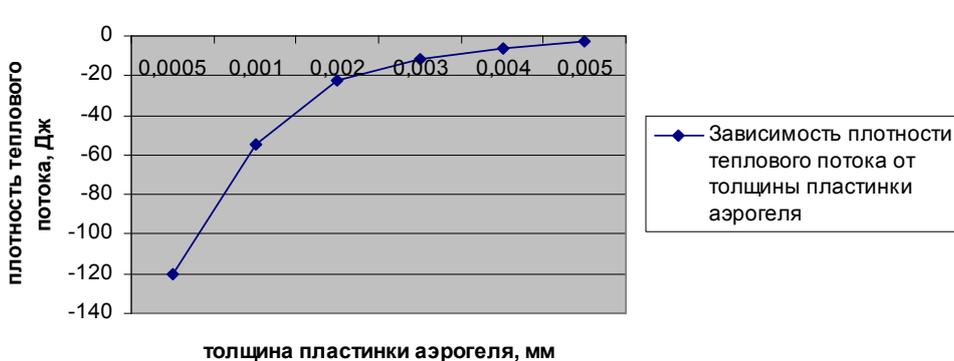


Рис. 2. График зависимости плотности теплового потока от толщины плёнки аэрогеля, при температуре окружающей среды -500С, температура телефона +200С

Если нанести небольшой слой термочувствительной краски на слой аэрогеля, можно наглядно наблюдать изменение температуры окружающей среды.

Термочувствительные краски (термоиндикаторные краски) — краски, меняющие цвет в зависимости от температуры.

Принцип действия этих красок такой: при нагревании они изменяют свою кристаллическую структуру, и, как следствие — цвет (из-за изменения спектра поглощения вследствие фазового перехода). Спектр поглощения — зависимость показателя поглощения вещества от длины волны (или частоты, волнового числа, энергии кванта и т. п.) излучения. Он связан с энергетическими переходами в веществе. Для различных веществ спектры поглощения различны. Если присоединить к приемнику телефона нагревательный элемент, то телефон будет менять цвет покрытия при приеме звонка или сообщения.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕДОМОГО ДИСКА УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ НА НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ

А.В. Коперчук, к.т.н., доц., А.В. Мурин, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет

634050, г. Томск, проспект Ленина, 30, тел. (3822) 56-46-55

E-mail: avkop@tpu.ru

Гидродинамические муфты применяются в приводах как известных всем машин (ленточные, цепные скребковые и пластинчатые конвейеры, вентиляторы, смесители и т.д. [1]), так и перспективных (геоходы - новый класс горных машин, предназначенных для проходки горных выработок [2,3]). Существенным недостатком гидродинамических муфт является потеря энергии на установившемся режиме, обусловленная разными угловыми скоростями турбинного и насосного колес. Одним из вариантов устранения этой проблемы является использование устройства блокировки. В работах [4-7] приведены результаты исследований предохранительной гидродинамической муфты, оснащенной устройством блокировки в виде центробежной муфты с дробью (рис. 1)

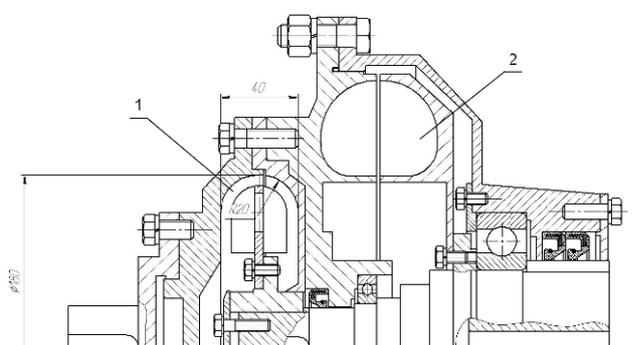


Рис. 1. Конструкция предохранительной гидродинамической муфты с устройством блокировки
1 - устройство блокировки
2 - предохранительная гидромуфта

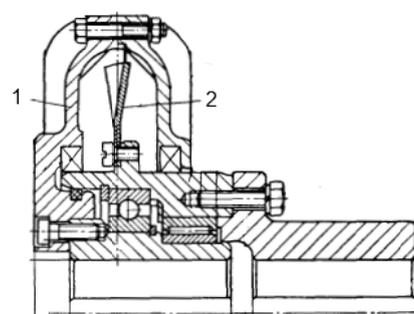


Рис. 2. Дробовая муфта производства Stromag. 1 - корпус
2 - ведомый гофрированный диск

В известных конструкциях дробовых муфт с полуторовой рабочей полостью (рис. 2) [8] на внутренней поверхности рабочей полости корпуса находятся выступы, предназначенные для повышения пускового и максимального момента муфты. Механизм блокировки не имеет таких выступов, т.к. с точки зрения плавного пуска ведомого вала важно осуществить его в основном за счет гидромуфты. Поскольку значение момента трения, формирующегося на стенках рабочей полости от контакта с дробью, будет в этом случае несколько меньшим, возникает вопрос об упрощении формы и технологии изготовления ведомого диска, который обычно выполняют гофрированным. Предложено использовать плоский ведомый диск с отверстиями (рис. 3а) и плоский диск с выступами (рис. 3б).

Теоретическая оценка величины нагрузочной способности сплошного плоского диска устройства блокировки приводится в работе [9]. Однако, информации о применении плоских дисков с отверстиями или выступами в подобных устройствах в литературе нами не найдено.

На наш взгляд, момент, передаваемый диском с отверстиями, теоретически определить затруднительно, т.к. он формируется не только за счет сил трения между элементами дроби и плоских участков диска, но и за счет сопротивления движению элементами, попавшими в отверстия и образовавшими выступы и впадины в этих зонах. Вследствие этого нагрузочная способность устройства блокировки с указанными выше дисками определялась экспериментально.

Были изготовлены диски толщиной 3 мм с 40 отверстиями диаметром 8,5 мм; с 20 отверстиями диаметром 17 мм; с 10 отверстиями диаметром 34 мм. Общая площадь отверстий была одинаковой на всех дисках.

Диски с радиальными выступами проектировались по аналогии с данными для гофрированных дисков, приведенными в источнике [10]. В первом варианте высота выступа была принята близкой к диаметру дроби (3,175 мм) и равнялась 3 мм. В конструкции второго диска высота выступа 12 мм была выбрана из условий гарантированного исключения проскальзывания сыпучего материала по диску и обеспечения зазора между корпусом и выступом, позволяющим свободное распределение

доби по внутренней полости. Длина выступов была одинакова (35 мм) и принималась согласно толщине кольцевого слоя дробы при рабочем заполнении устройства блокировки. Число выступов принято аналогично количеству гофр, т.е. по 6 с каждой стороны.

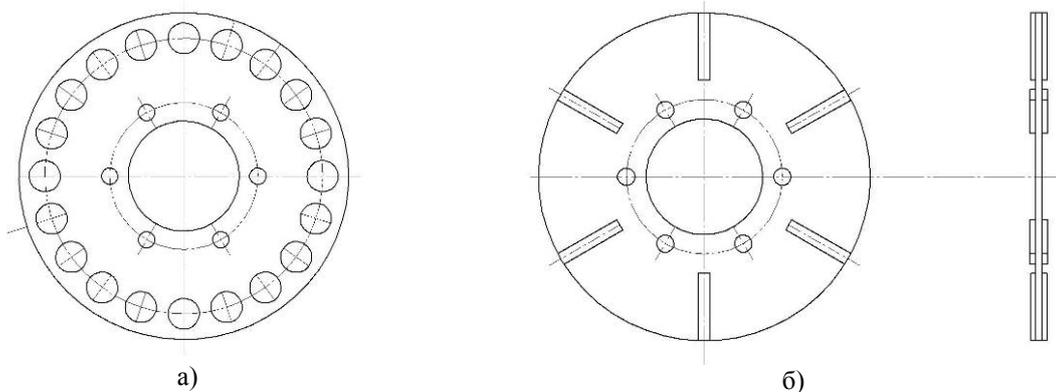


Рис. 3. Конструкция ведомых дисков

Согласно работе [11] нагрузочная способность дробовых муфт стабилизируется после приработки, т.е. нескольких циклов разгона и торможения под нагрузкой. В этот период на поверхности, по которой происходит проскальзывание сыпучего материала, образуются концентрические канавки. Поэтому результаты испытаний фиксировались после появления следов приработки.

Геометрические параметры внутренней полости корпуса устройства блокировки (рис.1):

- наибольший радиус внутренней полости $R_0 = 0,09$ м;
- радиус торовой полости $\rho = 0,02$ м.

Геометрические параметры дисков (рис. 3):

- наружный диаметр дисков с отверстиями 0,178 м;
- наружный диаметр дисков с выступами 0,17 м (для обеспечения равномерного распределения наполнителя по внутренней полости с обеих сторон диска).

В качестве наполнителя использовались закаленные полированные шарики для подшипников диаметром 3,175 и 4,763 мм из стали ШХ15. Масса наполнителя $Q = 2,2$ кг. Материал корпуса и дисков сталь 20 ГОСТ 1050-88 без термической обработки.

Экспериментально установлено [12], что без рабочей жидкости в гидромуфте нельзя осуществить разгон ненагруженного ведомого вала при заполненном дробью до рабочих значений устройстве блокировки. Пусковой момент устройства недостаточен для преодоления сопротивления в подшипниках, упругой муфте, ременной передаче и подшипниках электрического тормоза испытательного стенда. Для осуществления разгона ведомого звена в гидродинамическую муфту был залит 1 литр рабочей жидкости (И-20А ГОСТ 20799-88), что соответствует степени ее наполнения 28%.

На рисунке 4 приведена запись испытаний при разгоне без нагрузки и торможении гидромуфты с наполнением 28%, полуторовым устройством блокировки с шариками диаметром 4,763 мм и диском с выступами высотой 12 мм. В левой части рисунка показан результат тарировки динамометрического устройства в Нм. Использованные обозначения:

- n_1 - частота вращения ведущего вала гидромуфты;
- n_2 - частота вращения ведомого вала гидромуфты;
- M_2 - момент на выходном валу гидромуфты;
- t - время.

Из анализа записи эксперимента следует, что:

- совместная работа гидромуфты и устройства блокировки позволяет осуществить разгон ведомого вала до частоты ведущего;
- скольжение на установившемся режиме отсутствует и это подтверждается отсутствием нагрева гидромуфты;
- нагрузка передается только за счет устройства блокировки, т.к. при отсутствии относительного движения насосного и турбинного колес гидромуфта работать не может.

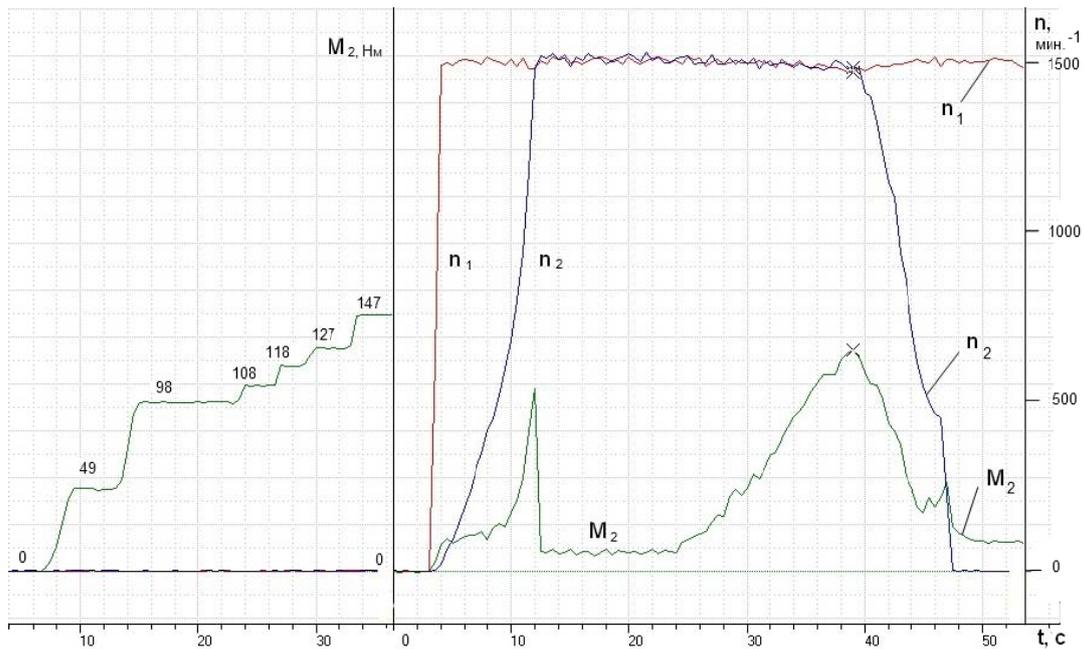


Рис. 4. Механические характеристики гидромуфты с устройством блокировки

По следам взаимодействия шариков с элементами механизма блокировки выявлено, что проскальзывание сыпучего материала для дисков с отверстиями и выступами высотой 3 мм происходит по поверхности диска (рис. 5). При использовании выступов высотой 12 мм скольжение шариков происходит, как и предполагалось, по внутренней части корпуса блокирующего механизма (рис. 6).

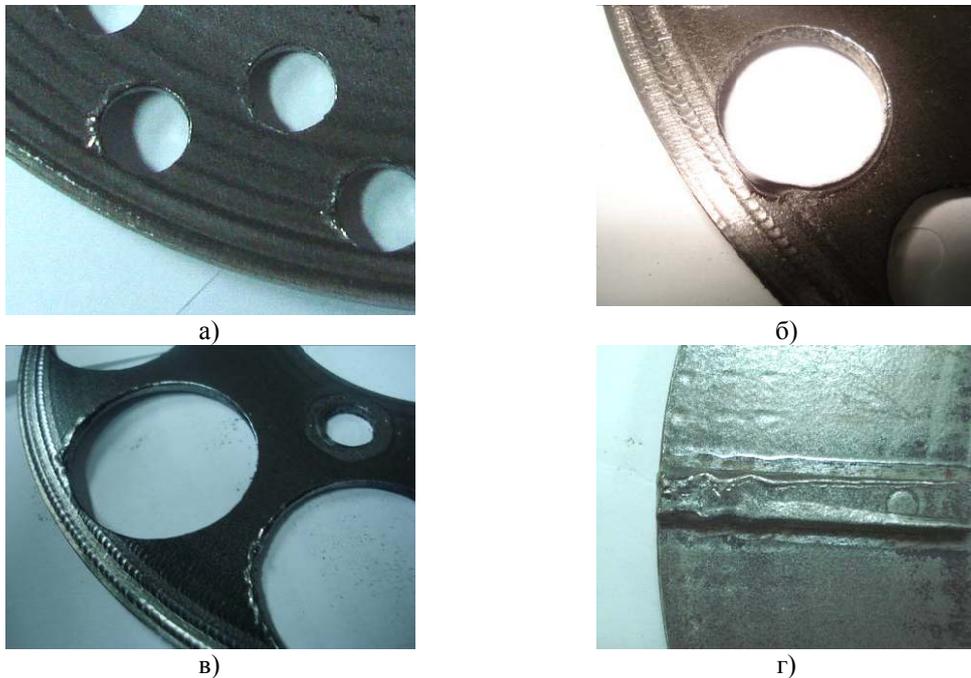


Рисунок 5 - Ведомые диски со следами скольжения шариков по их поверхности

- а) диск с отверстиями диаметром 8,5 мм
- б) диск с отверстиями диаметром 20 мм
- в) диск с отверстиями диаметром 34 мм
- г) диск с выступами высотой 3 мм



Рис. 6. Внутренняя поверхность корпуса устройства блокировки со следами скольжения шариков после работы с ведомым диском с выступами высотой 12 мм

Следует отметить, что незакаленные диски с отверстиями и выступами высотой 3 мм достаточно сильно повреждаются при проскальзывании шариков по их поверхности. При использовании диска с выступами высотой 12 мм на гладкой поверхности внутренней полости корпуса наблюдаются концентрические впадины от следов взаимодействия с сыпучим наполнителем, но их глубина после образования остается неизменной в течение довольно длительного времени.

По данным экспериментов были построены графики зависимости момента на выходном валу муфты M_2 от скольжения S , отражающие механические статические характеристики устройств блокировки с различными дисками (рис. 7).

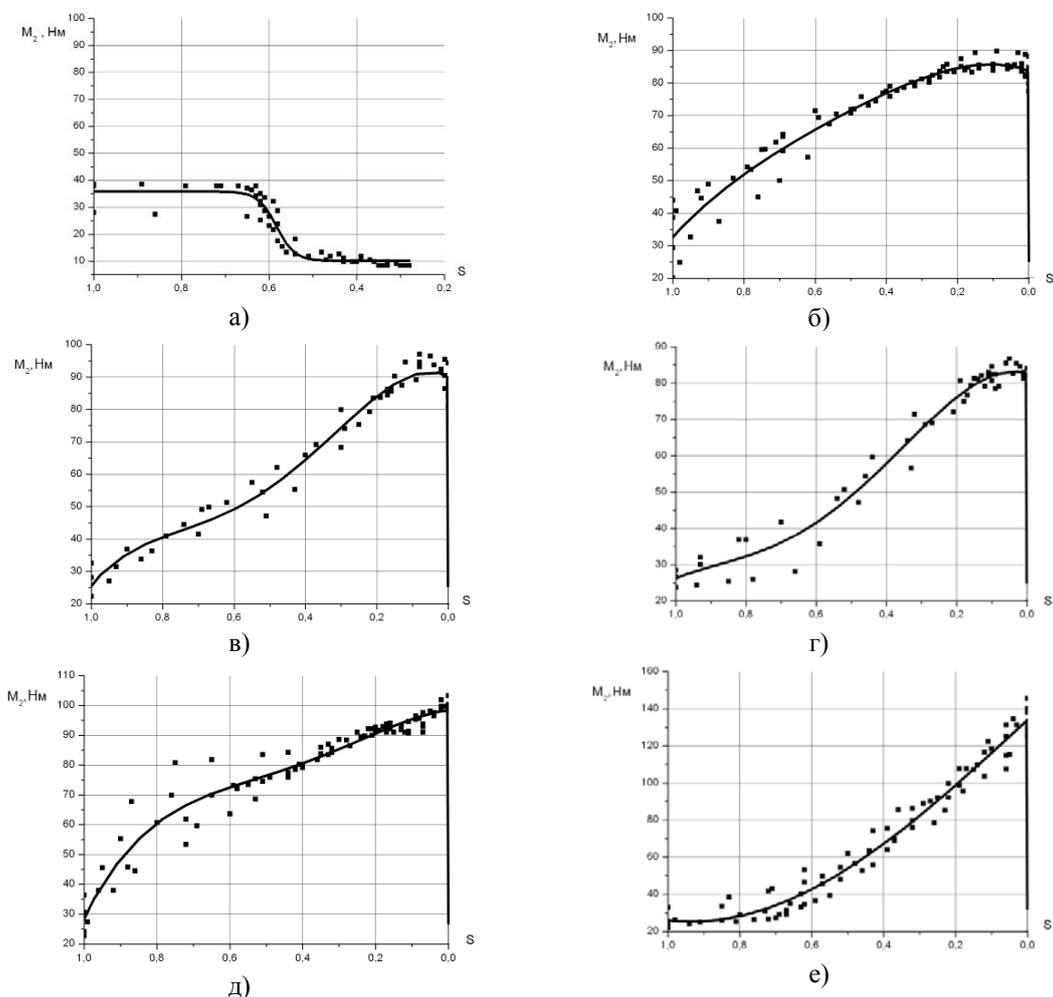


Рис. 7. Механические характеристики блокирующего устройства с полуторовой формой полости и различными дисками

- а) предохранительная гидромуфта (наполнение 28%) без устройства блокировки
- б) устройство блокировки с диском с 10 отверстиями диаметром 34 мм
- в) устройство блокировки с диском с 20 отверстиями диаметром 17 мм
- г) устройство блокировки с диском с 40 отверстиями диаметром 8,5 мм
- д) устройство блокировки с диском с 12 выступами высотой 3 мм
- е) устройство блокировки с диском с 12 выступами высотой 12 мм

Для удобства сравнения кривые совмещены на один график (рис. 8). Из анализа графиков, наблюдений при проведении экспериментальных исследований и осмотра состояния деталей устройства блокировки после эксперимента можно сделать следующие выводы:

- устройство блокировки с сыпучим наполнителем обладает малым значением пускового момента, что не снижает пусковых свойств гидромуфт;
- в дисках с отверстиями и дисках с выступами высотой 3 мм скольжение сыпучего наполнителя происходит по поверхности диска;
- диск с выступами высотой 12 мм обеспечивает скольжение дроби по внутренней поверхности корпуса; при скольжении наполнителя по поверхности внутренней полости корпуса нагрузочная способность блокирующего устройства выше в 1,35 раза;
- для применения в блокирующем устройстве предохранительной гидромуфты рекомендуется использовать диски, обеспечивающие скольжение дроби по поверхности корпуса, т.к. они обеспечивают более высокую нагрузочную способность и меньшую дополнительную нагрузку на привод при скольжении S более 0,65.

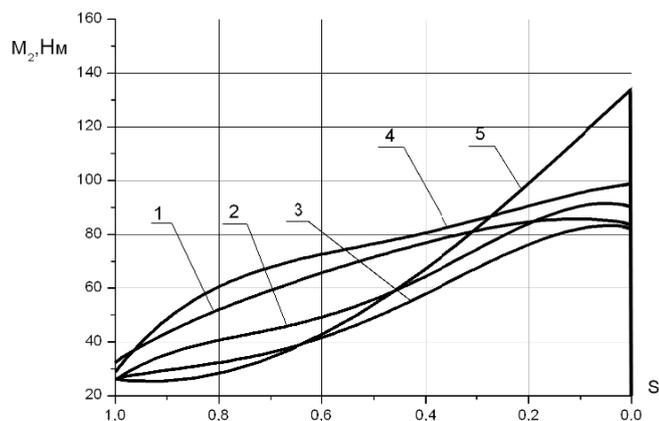


Рис. 8. Механические характеристики полуторового механизма блокировки с различными дисками
1 - диск с 10 отверстиями диаметром 34 мм
2 - диск с 20 отверстиями диаметром 17 мм
3 - диск с 40 отверстиями диаметром 8,5 мм
4 - диск с 12 выступами высотой 3 мм
5 - диск с 12 выступами высотой 12 мм

Литература

1. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блашук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обзор трансмиссии горной техники // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – Т. 3. – № 12. – С. 55-66.
2. Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production / V.V. Aksenov [и др.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Т. 91. – С. 012088.
3. Sadovets V.Y. Development of math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment / V.Y. Sadovets, V.Y. Beglyakov, V.V. Aksenov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Т. 91. – С. 012085.
4. Мурин А. В., Коперчук А. В. Снижение потерь энергии в приводах горных машин за счёт применения блокируемой гидродинамической муфты // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011 - №. ОВ2 - С. 337-343
5. Коперчук А. В., Мурин А. В. Совершенствование блокируемой гидродинамической муфты для приводов горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012 - №. ОВ3 - С. 300-305
6. Koperchuk A. V., Murin A. V. Influence of geometrics of synchronization devices of fluid coupling on loading capability // Applied Mechanics and Materials. - 2014 - Vol. 682. - p. 499-503
7. Koperchuk A. V., Murin A. V. , Dortman A. A. , Filonov V. V. A change in mechanical behavior of safety fluid couplings when the lockup device is used in its construction // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 279-282
8. Ряховский, О.А. Справочник по муфтам / О.А. Ряховский, С.С. Иванов.- Л.: Политехника, 1991.- 384 с.
9. Мурин, А.В. Предохранительная блокируемая гидромуфта / А.В. Мурин, В.А. Осипов // Бесступенчатые передачи, приводы машин и промышленное оборудование: Первая международная научно-техническая конференция. Сб. тезисов докладов.- Калининград, 1997.
10. Дьяченко, С.К. Предохранительные муфты / С.К. Дьяченко, Н.Ф. Киркач.- Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1962.- 124 с.

11. Менькова, Н.М. Исследование центробежных муфт со свободным твердым наполнителем для привода горных машин: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Менькова Надежда Марковна.- М., 1963.-273 с.
12. Коперчук, А.В. Совершенствование механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Коперчук Александр Викторович.- Томск, 2013.-109 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С РЕКУПЕРАТОРНЫМИ ХОЛОДИЛЬНИКАМИ, С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

*Ю.Г. Липчанская, аспир., М.А. Федоренко, д.т.н., проф., Ю.А.Бондаренко, д.т.н., проф.
Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова
308033, г. Белгород, ул. Шаландина, 9, кв.62, 89205578951
E-mail: uliyalipchanskaya@mail.ru*

Интенсификация развития народного хозяйства Российской Федерации в условиях рыночных отношений требует разработки и внедрения передовых новых технологических процессов производства продукции, нового технологического оборудования, новых методов обслуживания и диагностики состояния промышленного оборудования в условиях эксплуатации, новых методов и способов модернизации и ремонта устаревшего оборудования. Данная проблема и экономия всех видов ресурсов может быть решена на основе повышения производительности оборудования, находящегося в эксплуатации, а так же за счет сокращения сроков его простоев в незапланированных ремонтах, что можно достигнуть применением более производительного нового оборудования или повышением надежности и работоспособности существующего промышленного оборудования [3; 7].

В промышленности производства цемента частично применяются для производства клинкера, печи с рекуператорными холодильниками [2].



Рис. 1. Печь с рекуператорными холодильниками – вид спереди



Рис. 2. Печь с рекуператорными холодильниками – вид сзади

Эти печи по конструктивному исполнению более сложные, чем печи с колосниковыми холодильниками, но менее громоздкие и дешевле в изготовлении, в связи с тем, что колосниковые холодильники дорогие и занимают большое помещение [4].

Рекуператорные холодильники позволяют охлаждать клинкер до температуры 80—160° С [1].

Недостатком печей с рекуператорными холодильниками являлось то, что рекуператорные холодильники изготавливались длиной 6 м и диаметром 1,25...1,3 м. При эксплуатации таких печей в высокогорных условиях и в обычных климатических зонах, даже при нормальном режиме работы, клинкер не успевает остыть и на выходе температура его достигает 250°...300°С, в результате этого разрушается (сгорает) транспортер, что приводит к остановке печного агрегата. В холодное время года воздух, проходящий через рекуператорный холодильник, не успевает нагреться до необходимой температуры, в результате чего необходимо увеличивать расход газа для подогрева воздуха в цементной вращающейся печи. В связи с большими перепадами дневных и ночных температур на ре-

куператорных холодильниках появляются трещины, особенно это явление распространено в горных условиях с жарким климатом [5].

Существующая печь была остановлена, и выполнена модернизация.

Модернизация должна была обеспечить:

- охлаждение клинкера до $90^{\circ}\text{C} \dots 120^{\circ}\text{C}$;
- устранение разрушения транспортеров из – за высокой температуры клинкера;
- обеспечить хороший контакт клинкера с воздухом, поступающим в рекуператоры;
- обеспечить прогрев воздуха с целью устранения дополнительного расхода газа;
- уменьшить расход газа на производство клинкера;
- устранить появление трещин на рекуператорах;
- увеличить производительность.

С этой целью была произведена разработка некоторых узлов печи на основании конструкторских и теплотехнических расчетов с учетом климатических условий [10; 12].

Переработке были подвержены рекуператоры, корпус печи на которой располагаются рекуператоры и введена дополнительная опора. Для проведения этих работ на старой печи были демонтированы рекуператоры и удален участок корпуса печи с окнами для просыпки клинкера [6;10].

Модернизированная цементная вращающаяся печь с рекуператорными холодильниками направлена на обеспечение охлаждения клинкера до температуры $90^{\circ} \dots 120^{\circ}\text{C}$, что предотвращает появление трещин на рекуператорах и прогара цепного транспортера клинкера [9; 15]. В результате длительного контакта охлаждающего воздуха с клинкером, воздух отбирает тепло у клинкера и в печь поступает хорошо прогретым, в результате этого улучшается процесс обжига клинкера, уменьшается расход газа на производство клинкера, следовательно снижается энергоемкость [8]. Рекуператоры равномерно прогреваются, что исключает появление трещин, увеличивается срок эксплуатации цепного транспортера клинкера, а, следовательно, увеличивается производительность печи из-за уменьшения остановок на незапланированные ремонты [13].

Указанная задача достигается тем, что во вращающейся печи, содержащей корпус, загрузочное, разгрузочное и топливное устройства, а также дымососы, и закрепленные на корпусе печи рекуператорные холодильники согласно предлагаемому решению корпус печи выполнен удлиненным на 5-7 диаметров печи, рекуператорные холодильники расположены на удлиненной части печи и выполнены длиной 3-4 диаметра печи и диаметром 0,4...0,6 диаметра печи, при этом дымососы обладают мощностью, обеспечивающей скорость прохождения воздуха внутри печи не более 10 м/сек, а внутри удлиненной части печи установлен технологический коридор, обеспечивающий доступ в зону уплотнительного устройства печи для контроля процессов обжига [13; 14].

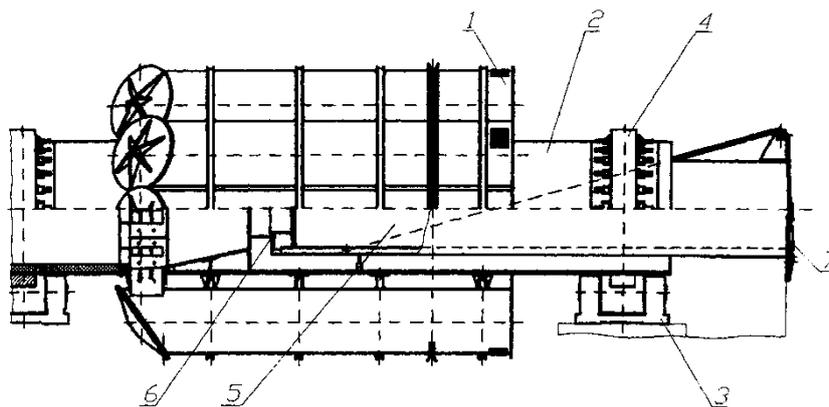


Рис. 3. Вращающаяся цементная печь с рекуператорными холодильниками – вид сбоку
1 – рекуператорные холодильники; 2 – удлиненная часть печи; 3 – дополнительная опора;
4 – дополнительный бандаж; 5 – технологический коридор;
6 – уплотнительное устройство; 7 – тросовая подвеска;

Вращающаяся цементная печь с рекуператорными холодильниками работает следующим образом. Рекуператоры, закрепленные на удлиненном корпусе, вращаются вместе с цементной печью, опирающейся удлиненным корпусом через дополнительный бандаж на дополнительную опору.

Клинкер, поступающий в рекуператоры, через тетки, охлаждается потоком воздуха. Экспериментально установлено, что для того, чтобы температура клинкера при остывании достигла заданной авторами величины, необходимо чтобы скорость прохождения воздуха не превышала 10 м/сек. В случае модернизации работающих печей оставляют старые дымососы, рассчитанные на проход воздуха через старые (не удлиненные) рекуператоры. Поэтому, в связи с тем, что с увеличением размеров рекуператоров объем охлаждающего воздуха увеличивается, а дымососы рассчитаны на проход воздуха через старые рекуператоры, воздух в новых рекуператорах движется медленнее и происходит более интенсивный теплообмен между клинкером и воздухом. Клинкер охлаждается до температуры 90°...120°С, а воздух более нагревается, в связи с этим не нужно расходовать газ на дополнительный подогрев воздуха, в чем возникает необходимость в прототипе и других работающих печах. В результате охлаждения клинкера до вышеуказанной температуры и медленного движения воздуха, стенки рекуператоров имеют постоянную температуру, на них не появляются трещины, и транспортер служит гораздо дольше без разрушений [13].

Таким образом, применение данной конструкции, вращающейся цементной печи с увеличенными размерами рекуператорных холодильников и удлиненным корпусом печи позволяет подавать в печь достаточно прогретый воздух, без наличия выгорания кислорода, а, следовательно, происходит экономия расхода газа на производство клинкера. Медленное движение воздуха (10 м/сек) в рекуператорах обеспечивает хороший отбор тепла от клинкера, чем обеспечивается необходимое его охлаждение и прогрев корпуса рекуператоров, в результате чего не разрушается цепной транспортер, т.к. температура клинкера низкая и предотвращается растрескивание рекуператоров вследствие их постоянного равномерного прогрева и как следствие увеличивается промежуток эксплуатации печи между ремонтами, а, следовательно, увеличивается производительность [15].

При этом большие размеры рекуператоров позволяют механизировать работу по замене футеровки, в результате чего сокращается время простоя печи в ремонте [16].

В связи с тем, что при движении клинкера в рекуператорах, он захватывается полками и падает с высоты 2 м на корпус рекуператора и этот процесс происходит длительное время, т.к. рекуператоры удлиненные, происходит растрескивание клинкера, в результате чего облегчается его помол, что приводит к экономии электроэнергии.

Рекуператор внутри имеет большое количество пересыпающих полок, которые захватывают клинкер и поднимают вверх, после чего осыпается вниз. Во время прохождения клинкера через рекуператор происходит теплоотдача от него не только в стены рекуператоров, но и в проточный воздух при падении клинкера с полок, в результате длительного теплообмена клинкер – воздух – полки – стенка рекуператора происходит быстрое охлаждение клинкера и хороший прогрев воздуха [11].



Рис. 4. Внутренний вид рекуператора с полками

Клинкер, падая с верхних полок и ударяясь о нижние полки и корпус рекуператора, дополнительно растрескивается и в результате уменьшается расход электроэнергии при помоле.

Связи с изменением размеров рекуператоров, количество охлаждающего воздуха увеличилось в 5...6 раз, а расход дымососов остался прежний, следовательно, снизилась скорость прохождения воздуха через рекуператоры, увеличился его прогрев и уменьшился перепад температур воздуха -

стенка рекуператора, он практически остается постоянным, в результате чего прекращается растрескивание рекуператоров.

Связи с увеличением размеров рекуператоров, размещение их на печи потребовало удлинение корпуса в районе расположения рекуператоров. Увеличение длины корпуса печи было произведено из усиленной обечайки и установлена дополнительная опора, на которую опирается бандаж новой конструкции печи.

В связи с удлинением корпуса печи, внутри его сделан специальный подвесной металлический коридор на тросовой подвеске. Коридор обеспечивает доступ машиниста в зону уплотнительного устройства и к смотровому окну для наблюдения за процессом в печи.

В результате модификации печи получено:

- клинкер выходит абсолютно однородной за счет разлома гранул;
- разломанный клинкер быстрее охлаждается и повышается степень теплообмена;
- понизилась температура на выходе клинкера из рекуператоров до $90...100^{\circ}\text{C}$;
- повысилась температура воздуха за счет его медленного движения, связи с этим уменьшился расход газа;
- разломанный клинкер имеет больше структурных дефектов, лучше разламывается, уменьшается расход электроэнергии на помол;



Рис. 5. Вид печи с разгрузочной стороны.
1 – коридор технологический; 2 – дополнительная опора

Таким образом, данная конструкция вращающейся печи с увеличенными размерами рекуператорных холодильников и удлиненным корпусом печи позволяет подавать в печь достаточно прогретый воздух, без наличия выгорания кислорода, а, следовательно, происходит экономия расхода газа на производство клинкера [10].

Медленное движение воздуха в рекуператорах обеспечивает хороший отбор тепла от клинкера, чем обеспечивается необходимое его охлаждения и прогрев корпуса рекуператоров, в результате чего не разрушается цепной транспортер, т.к. температура клинкера низкая и предотвращается растрескивание рекуператоров вследствие их постоянного равномерного прогрева и как следствие увеличивается промежуток эксплуатации печи между ремонтами, а, следовательно, увеличивается производительность.

При этом большие размеры рекуператоров позволяют механизировать работу по замене футеровки, в результате чего сокращается время простоя печи в ремонте.

В результате модернизации печи с рекуператорными холодильниками была достигнута экономия электроэнергии, топлива, а также увеличилась производительность [10].

Колоссальный объем внутреннего рынка России позволяет отнести промышленность производства строительных материалов, особенно производство цемента к числу приоритетных отраслей [5].

Литература.

1. Балакашин Б.С. Основы технологии машиностроения: учебник. М.: Машиностроение, 1969. 559 с.

2. Балакашин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : учебник. М.: Машиностроение, 1982. Кн.1. 288 с.
3. Банит Ф.Г. Механическое оборудование цементных заводов: учебник для техникумов пром-сти строит. Материалов/ Ф.Г. Банит, О.А. Нивижский. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 318 с.: ил.
4. Банит Ф.Г. Эксплуатация, ремонт и монтаж оборудования заводов строительных материалов: учебник для учащихся техникумов/ Ф.Г. Банит, Б.И. Якубович. М.: Стройиздат, 1964. 235 с. с черт.
5. Боганов А.И. Механическое оборудование цементных заводов: учеб. пособие для техн. специальностей хим. технол. вузов и фак. М.: Машгиз, 1961. 384 с. с черт.
6. Несвижский О.А. Долговечность быстроизнашивающихся деталей цементного оборудования/ О.А. Несвижский. М.: Машиностроение, 1968. 223 с.
7. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для спец. «Механ. оборудование предприятий строит. материалов, изделий и конструкций» вузов, М.: Высшая школа, 1971.
8. Технология машиностроения (специальная часть) . Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. Учебник для машиностроительных специальностей вузов, М.: Машиностроение.1986. 480 с.
9. Технология изготовления машин учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов "Конструк.-технол. обеспечение машинно-строит. пр-в" Ю. А. Бондаренко, М. А. Федоренко ; Федер. агентство по образованию, Белгор. гос. техн. ун-т им. В. Г. Шухова.
10. Федоренко М.А. Конструктивно – технологические методы и способы восстановления работоспособности цементных вращающихся печей: монография/ М.А. Федоренко.- Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 195 с.
11. Федоренко М.А. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов: монография/ М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина. – Белгород: Изд – во БГТУ, 2011. 162 с.
12. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности. 2-е издание, дополненное и перераб. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1968. 456 с.
13. Федоренко М.А., Аулов В.Г., Шевцов А.П. Анализ причин перерасхода энергоносителей в цементной промышленности // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов междунар. науч. практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых/ Сост. Т.В. Абрамова, А.П. Гаевой, В.М. Уваров и др.- Губкин ООО «Айкью». 2011. Часть 1. С. 283-284.
14. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов (монография) Белгород: Изд-во БГТУ. 2011 г. 162 с.
15. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Пелипенко Н.А., Бондаренко Е.А. Модернизация цементной вращающейся печи (статья) Промышленность строительных материалов. Экспресс-обзор. Защита от коррозии и эксплуатационная долговечность строительных конструкций и оборудования. Сер. 15. вып.1. М.:ВНИИЭСМ, 1992.
16. Федоренко М.А. Цементная вращающаяся печь с рекуператорными холодильниками/ М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко// Патент РФ №71745. Опубликовано: 20.03.2008 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СВОБОДНОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОСТРАНСТВА ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА С ГИДРОЦИЛИНДРАМИ

М.Ю. Блащук, к.т.н, доц., А.А. Дронов, асс.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: mby.tpu@gmail.com

Геоходы представляют новый класс горнопроходческой техники, с оригинальными техническими решениями и принципом работы [1]. Особенностью компоновки геохода является наличие двух цилиндрических секций, одна из которых – головная совершает вращательное движение относительно стабилизирующей хвостовой секции. Привод вращения головной секции должен разме-

щаться внутри геохода на периферии участка сопряжения секций. Одним из главных требований к таким приводам является обеспечение внутри геохода свободного пространства для транспортирования отбитой горной массы, размещения других систем, а также прохода людей для выполнения операций ремонта и обслуживания [1–3]. Ранее были рассмотрены различные варианты приводов вращения головной секции [4], в наибольшей степени требованиям к таким приводам удовлетворяют трансмиссии вращения с гидроцилиндрами размещенными по хордам [5].

При расположении гидроцилиндров по хордам окружности в пространстве между оболочкой головной секции и обечайкой хвостовой секции [6] на возможный габарит внутреннего пространства (диаметр наружной поверхности обечайки хвостовой секции) будут оказывать влияние принятые конструктивные параметры элементов трансмиссии геохода – геометрические параметры гидроцилиндров, параметры их размещения [7]. Схема к определению размеров внутреннего пространства приведена на рисунке 1.

Для обеспечения отсутствия пространственных пересечений элементов гидроцилиндров с оболочкой головной и обечайкой хвостовой секций, между гидроцилиндром и соответствующими оболочками должен оставаться гарантированный зазор. При этом наиболее важным является зазор, образующийся между корпусом гидроцилиндра и наружной поверхностью обечайки хвостовой секции, который и будет во взаимосвязи с размерами $D_{уст.шт}$, $D_{уст.гц}$, $D_{гц}$ определять максимально возможный диаметр обечайки хвостовой секции, а, соответственно и габарит внутреннего пространства.

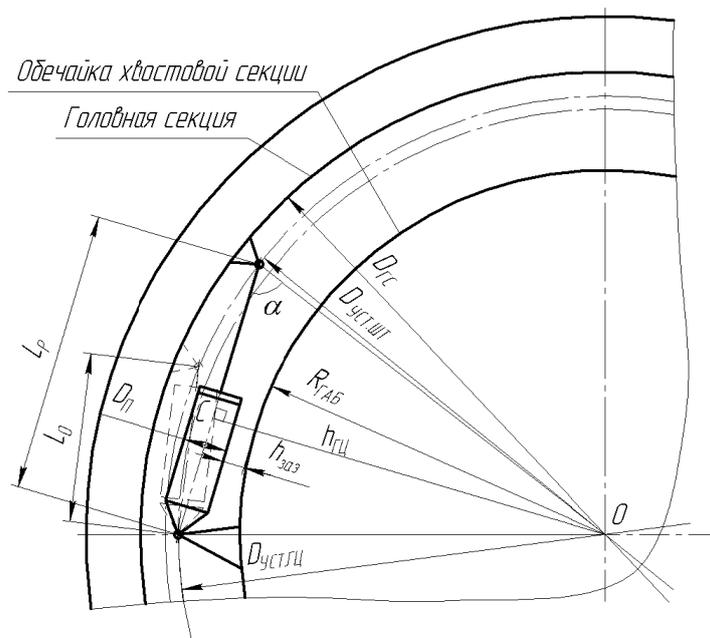


Рис.1. Расчетная схема к определению габарита внутреннего пространства

На рисунке 1 для конструктивного условия $D_{уст.шт} \approx D_{уст.гц}$ (когда цапфы корпуса и штока гидроцилиндра располагаются примерно на одной окружности) по мере выдвижения штока, корпус гидроцилиндра наклоняется внутрь секции, максимально приближаясь к её продольной оси в конечном положении выдвижения.

Наименьшее (наиближайшее) расстояние от продольной оси головной секции (центра O) до корпуса гидроцилиндра будет лежать на перпендикуляре OC к продольной оси гидроцилиндра (рисунок 1). Тогда радиус наружной поверхности обечайки хвостовой секции $R_{Габ}$ с учетом необходимого зазора $h_{заз}$ будет определяться выражением

$$R_{Габ} = h_{гц} - \frac{D_{п}}{2} - h_{заз}, \quad (1)$$

где $h_{ГЦ}$ – кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от оси секции до оси гидроцилиндра, м;
 D_{II} – диаметр поршня, м.

Величину расстояния $h_{ГЦ}$ можно определить из выражения [8]:

$$h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(\left(\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left(\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2 \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P}}, \quad (2)$$

где $D_{УСТ.ШТ}$ – диаметр окружности вращения цапфы штока на головной секции, м; $D_{УСТ.ГЦ}$ – диаметр окружности установки цапф корпусов гидроцилиндров на обечайке хвостовой секции, м; L_P – расстояние между цапфами корпуса и штока гидроцилиндра при максимальном выдвигании штока.

Подставив в (1) выражение $h_{ГЦ}$ из (2) получим

$$R_{ГАБ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(\left(\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left(\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2 \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P}} - \frac{D_{II}}{2} - h_{ЗАЗ}, \quad (3)$$

Учитывая, что толщина стенки корпуса гидроцилиндра может иметь разное значение, в зависимости от конструкции гидроцилиндра и размера поршня D_{II} , эти параметры должны быть учтены в размере зазора $h_{ЗАЗ}$. Поэтому удобнее выразить расстояние от оси гидроцилиндра до наружной поверхности обечайки в размере, связанном с диаметром поршня D_{II} . Тогда выражение (3) примет вид

$$R_{ГАБ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(\left(\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left(\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2 \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P}} - (0,75...1)D_{II}, \quad (4)$$

При определенных соотношениях размеров $D_{УСТ.ШТ}$, $D_{УСТ.ГЦ}$ расстояние $h_{ГЦ}$, определяемое по выражению (2) может становиться соизмеримым или даже меньше размеров $\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$, $\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$. В

таком случае $R_{ГАБ}$ будет определяться размерами $\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$ или $\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$ с учетом необходимого зазора $h_{ЗАЗ}$ (рисунок 1). Для случаев равенства $h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$ или $h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$ по теореме Пифагора можно найти

$$h_{ГЦ.КР} = \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} = \sqrt{\frac{D_{УСТ.ШТ}^2}{4} - L_P^2}, \quad (5)$$

$$h_{ГЦ.КР} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} = \sqrt{\frac{D_{УСТ.ГЦ}^2}{4} - L_P^2}, \quad (6)$$

Зависимость габарита внутреннего пространства (рисунок 2) от количества гидроцилиндров показывает, что при увеличении количества гидроцилиндров от 5 до 14 габарит внутреннего пространства увеличивается от 66% до 91% наружного диаметра геохода.

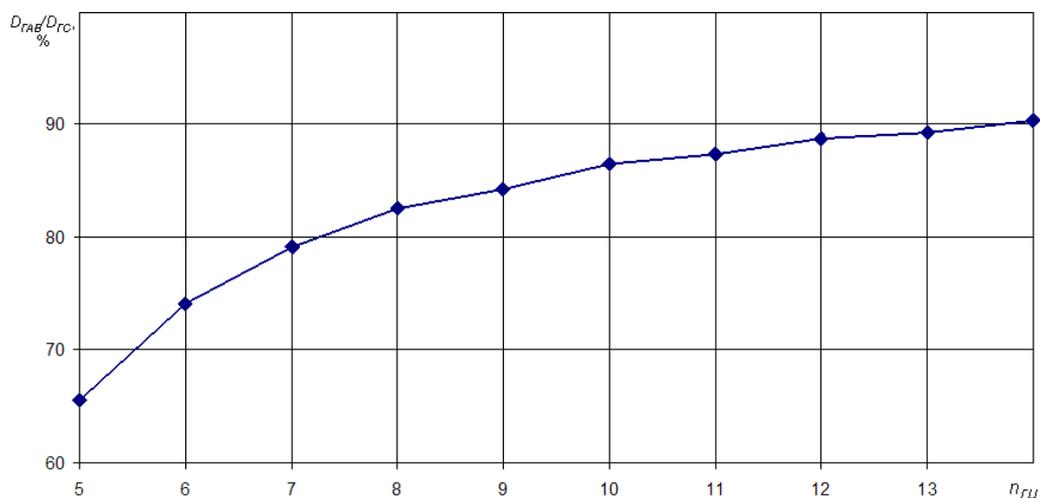


Рис. 2. Габарит внутреннего пространства, выраженный в % от диаметра головной секции $D_{ГС}$ в зависимости от количества гидроцилиндров $n_{ГЦ}$.

Более точное влияние принятых размеров гидроцилиндров ($D_{П}, L_{P}$) и их количества ($n_{ГЦ}$) на величину габарита свободного пространства внутри геохода можно получить из зависимостей геометрических параметров размещения гидроцилиндров трансмиссии геохода (рисунок 3) [9].

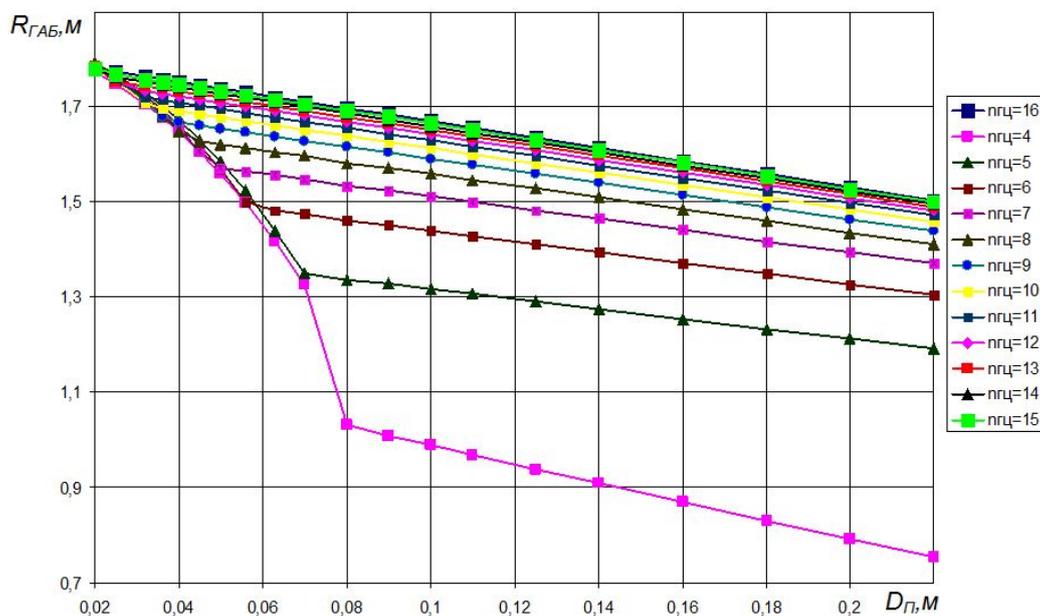


Рис. 3. Зависимость расстояния $R_{ГАБ}$ от количества гидроцилиндров $n_{ГЦ}$, размещенных по хордам внутри секций для ряда диаметров поршня $D_{П}$.

Здесь необходимо отметить, что данные зависимости построены для одного диаметра геохода ($D_{ГС} = 3,7$ м), а размеры гидроцилиндров [10,11] приняты из соображений реализации необходимой величины вращающего момента [12,13]. Также зависимость (рисунок 2) будет справедлива и для других диаметров геохода, т.к. при изменении его размеров, параметры трансмиссии габарита изменятся практически пропорционально, о чем свидетельствуют параметры трансмиссии ($R_{ГАБ}$), полученные для геоходов следующего типоразмерного ряда (Таблица 1).

Таблица 1

Геометрические параметры трансмиссии геогодов и габарита
свободного пространства для размерного ряда проходческих щитов

$D_{ГС}=2,1$ м; $M_{ВР.ТФ}=0,37$ МН·м	$n_{ГЦ}$, шт							
	4	5	6	7	8	10	12	14
$D_{П}$, м	0,125	0,09	0,08	0,07	0,063	0,056	0,05	0,045
L_{P} , м	1,2	1,05	0,9	0,78	0,7	0,56	0,47	0,4
$R_{ГАБ}$, м	0,49	0,66	0,73	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$, %	47,10	62,80	69,89	75,31	78,68	82,72	85,36	87,33
$D_{ГС}=2,6$ м; $M_{ВР.ТФ}=0,73$ МН·м								
$D_{П}$, м	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08	0,07	0,063	0,056
L_{P} , м	1,5	1,27	1,1	0,96	0,85	0,69	0,58	0,5
$R_{ГАБ}$, м	0,59	0,79	0,91	0,97	1,02	1,07	1,11	1,13
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$, %	45,31	60,65	70,00	74,73	78,52	82,62	85,16	87,23
$D_{ГС}=3,2$ м; $M_{ВР.ТФ}=1,43$ МН·м								
$D_{П}$, м	0,18	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08	0,07	0,063
L_{P} , м	1,86	1,55	1,36	1,2	1,07	0,86	0,72	0,62
$R_{ГАБ}$, м	0,77	0,96	1,11	1,22	1,27	1,34	1,38	1,41
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$, %	48,17	59,85	69,57	76,25	79,61	83,51	86,31	88,14
$D_{ГС}=4,1$ м; $M_{ВР.ТФ}=4,43$ МН·м								
$D_{П}$, м		0,2	0,18	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08
L_{P} , м		2	1,7	1,5	1,35	1,1	0,92	0,8
$R_{ГАБ}$, м		1,24	1,38	1,49	1,61	1,72	1,77	1,81
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$, %		60,30	67,51	72,55	78,58	83,84	86,29	88,20
$D_{ГС}=5,6$ м; $M_{ВР.ТФ}=10,7$ МН·м								
$D_{П}$, м					0,22	0,18	0,16	0,16
L_{P} , м					1,75	1,43	1,1	1
$R_{ГАБ}$, м					2,09	2,25	2,34	2,35
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$, %					74,64	80,25	83,58	83,95

Литература.

1. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Создание нового инструментария для освоения подземного пространства // Горная техника. 2015. № 1(15). С. 24–26.
2. Ефременков А.Б., Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к трансмиссии геогодов // Известия вузов. Горный журнал. 2009. № 8. С. 101–103.
3. Блащук М.Ю., Дронов А.А. Обзор опорно-поворотных устройств горной и строительной техники в целях создания узла сопряжения секций геогода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды Международной научно-практической конференции, Кемерово. 2013. С. 97–100.
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю. Разработка и анализ возможных вариантов гидро- и электропривода в трансмиссии геогода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 3. С. 7–14.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обзор трансмиссий горной техники // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. Т. 3, № 12. С. 55–66.
6. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка вариантов компоновочных решений гидравлической трансмиссии геогода // Инновационные технологии и экономика в машиностроении Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых. 2010. С. 461–466.

7. Блащук М.Ю., Дронов А.А., Михеев Д.А. Особенности работы и требования к узлу сопряжения секций гехода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции. Кемерово: Институт угля СО РАН, 2014. С. 104–106.
8. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Рыльцева Я.Г. Определение силовых параметров трансмиссии гехода с гидроприводом // Вестник науки Сибири. 2012. № 1 (2). С. 365–371.
9. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Определение геометрических параметров размещения гидроцилиндров трансмиссии гехода // Вестник КузГТУ. 2012. № 4 (92). С. 17–20.
10. Buyalich G.D., Anuchin A.V., Dronov A.A. The Numerical Analysis of Accuracy of Hydraulic Leg Cylinder in Modeling Using Solid Works Simulation // Appl. Mech. Mater. 2015. В. 770. С. 456–460.
11. Буялич Г.Д., Анучин А.В., Дронов А.А. Обоснование параметров конечно элементной модели для расчета силовых цилиндров в solidworkssimulations // Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Юрга: ЮТИ ТПУ: Изд-во ТПУ, 2014. С. 161–165.
12. Efremenkov A.B., Aksenov V.V., Blashchuk M.Yu. Force parameters of geohod transmission with hydraulic drive in various movement phases. IEEE, 2012. С. 1–5.
13. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Силовые параметры трансмиссии гехода с гидроприводом // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. 2012. № 4 (92). С. 21–24.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАГНЕТРОННОГО СИНТЕЗА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК AlTiN НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Т.Д. Кожина, докт. техн. наук

*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева,
г. Рыбинск*

E-mail: proectnir@rgata.ru

Современные наноструктурированные покрытия повышают износостойкость инструмента, что позволяет увеличить срок его службы и производить обработку металлов на более высоких скоростях. Улучшение технических характеристик (твердость, вязкость) металлорежущего инструмента с нанокompозитными тонкими пленками приводит к существенному увеличению производительности труда и снижению себестоимости изготавливаемой продукции.

Применение современных защитных тонких пленок позволяет использовать инструмент с напoкoкpытиями и осуществлять его переточку до 12 раз.

Наибольший потенциал для повышения эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента, таких как твердость H_V , прочность σ_u , теплостойкость T_{II} , стойкость к истиранию T_u , окислительная стойкость $T_{ок}$ заключается в правильном выборе и расчете свойств химического состава и структуры покрытия для конкретных условий работы, а так же совершенствовании технологии формирования наноструктурированных износостойких покрытий. Эксплуатационные свойства металлорежущего инструмента в основном определяются свойствами наносимых тонких пленок, поскольку именно они взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью.

Одним из способов решения проблемы получения нанокompозитных покрытий с заданными физико-механическими характеристиками, такими как инденторная твердость H , модуль упругости E , степень адгезии покрытия к подложке HF и другие, является совершенствование физико-технических процессов их синтеза. Поэтому лидеры по производству металлорежущего инструмента, такие как *Sandvik Coromant, Balzers Aerlicon, Iscar, Mitsubishi, Dormer, Walter* и другие, ведут активные разработки в данном направлении.

В настоящее время наиболее перспективными методами нанесения покрытий являются вакуумные ионно-плазменные технологии. Среди них можно выделить метод магнетронного распыления, поскольку использующийся в нем дрейфовый ток электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях позволяет обеспечить однородность наносимых покрытий на значительных площадях распыления, а также сформировать мелко- и супермелкодисперсные структуры.

Одной из главных проблем нанесения тонкопленочных покрытий на металлорежущий инструмент методом магнетронного распыления является невозможность точно спрогнозировать их состав и структуру, поскольку существует множество факторов, влияющих на свойства получаемого покрытия. Одним из наиболее значимых параметров технологического процесса синтеза нанокompозитного покрытия является ионная энергия распыляемых атомов.

Изучением ионной энергии и ионных потоков распыляемых атомов занимались многие российские и зарубежные ученые [1], [5] - [7]. Однако большинство работ посвящены исследованию влияния вольт-амперных характеристик на величину ионной энергии и распределение потока ионов, и до настоящего времени не было рассмотрено влияние параметров импульса: частоты импульсов и времени паузы. Контроль за величиной ионной энергии и распределением ионных потоков распыляемых атомов растущих тонких пленок за счет варьирования частотных характеристик может использоваться для моделирования и совершенствования структуры и свойств пленки с заданными физико-механическими характеристиками покрытия и интенсификации процесса магнетронного распыления. В этой связи необходимо определить, какое именно воздействие частота импульсов и время паузы оказывают на физико-механические характеристики получаемых высококачественных покрытий.

Анализ области использования и получения нанокompозитных покрытий металлорежущего инструмента

Наиболее перспективным методом нанесения тонких пленок является метод дуального несбалансированного магнетронного ионно-плазменного распыления с полем закрытого типа, поскольку он позволяет синтезировать покрытия практически любой композиции с высокой производительностью при обеспечении прочной адгезии по отношению к субстрату, а так же позволяет значительно повысить степень ионизации плазмы в зоне синтеза покрытия на изделии. Методы нанесения нанокompозитных покрытий на металлорежущий инструмент представлены на рис.1. [2].

В результате исследований установлено, что наиболее совершенной в настоящее время является магнетронно-распылительная система, использующая несбалансированные дуальные магнетроны с полем закрытого типа, работающие в импульсном режиме [3].

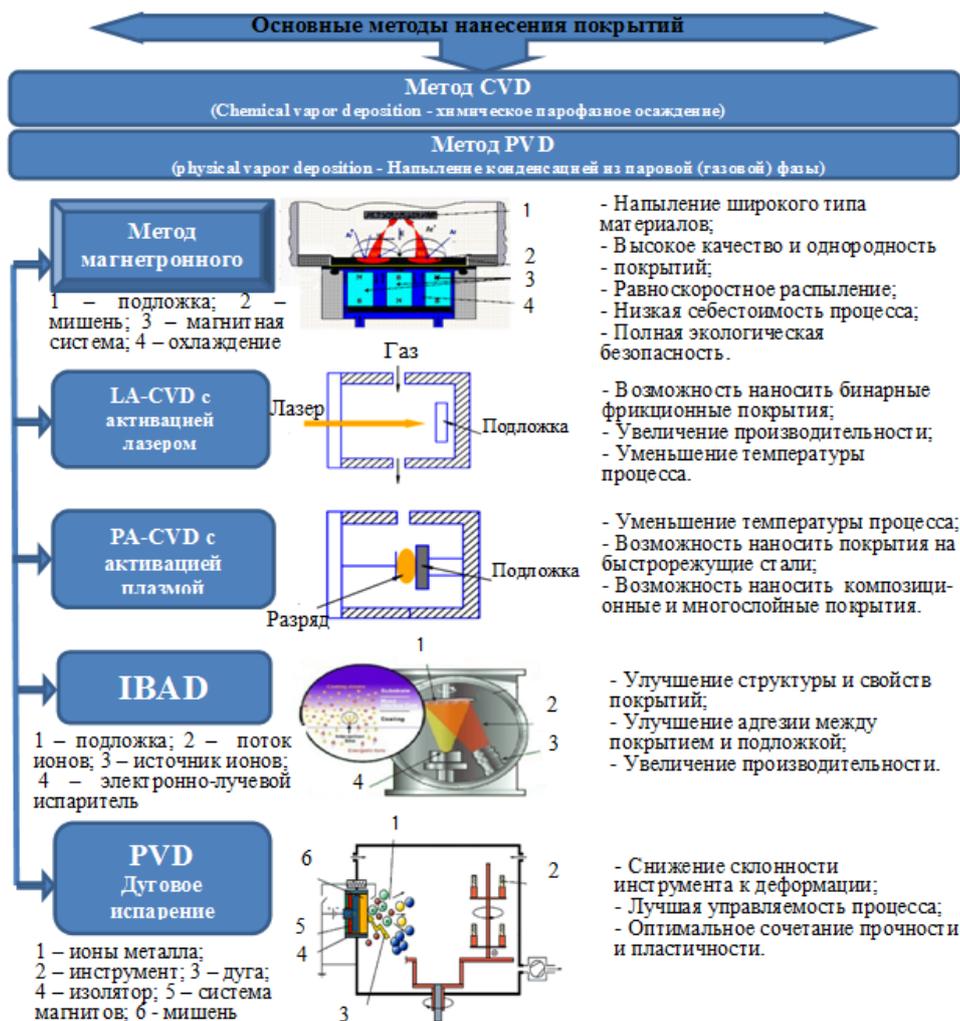


Рис. 1. Основные методы нанесения нанокompозитных покрытий

При данной системе катоды работают попеременно, увеличивая плотность ионного тока вблизи мишени. Она позволяет получать высокую степень ионизации плазмы, что положительно сказывается на свойствах, наносимых на режущий инструмент, нанокompозитных тонких пленок, повышается производительность промышленных установок за счет увеличения размеров «эффективной» зоны нанесения покрытий, появляется возможность синтезировать тонкие пленки на изделия больших размеров и сложных конфигураций.

Результаты анализа физико-механических свойств покрытий показывают, что механические, тепловые и трибологические свойства твердых тонких пленок можно существенно оптимизировать посредством хорошо спроектированной микроструктуры, управляемой энергией ионной бомбардировки, за счет варьирования импульсных параметров плазмы [4].



Рис.

2. Схема анализа структуры и свойств покрытий полученных методом магнетронного распыления

Оптимизация технологического процесса нанесения покрытия AlTiN

В результате исследований проведен анализ технологического процесса нанесения покрытия AlTiN, который осуществлялся по схеме, представленной в виде таблицы, где P_B – базовое давление, Па; P_P – рабочее давление, Па; U_d – разрядное напряжение на магнетронах, В; I_d – разрядный ток на магнетронах, А; $Bias$ – напряжение смещения, В/ток смещения, А.

Таблица 1

№ п/п	Операция	Время мин	Значения задаваемых параметров
1	Загрузка изделий в камеру	10	Подготовка поверхности к нанесению покрытия
2	Откачка вакуумной камеры до базового давления	30-60	$P_B=0,001$ Па

№ п/п	Операция	Время мин	Значения задаваемых параметров
3	Ионная очистка	10	PP=0,12Па; Ud =650/650В; Id =1/0,5А; Bias: 800 В/40 А.
4	Нанесение металлического подслоя	30-50	PP=0,12 Па; Ud =650/650 В; Id =6/0,5 А; Bias: 40 В/40 А.
5	Нанесение реактивного слоя	50-75	PP=0,1-0,15Па; QN2=5-15%; Ud =600-800 В; Id =1-6А; Bias: 40-50В/40-50А.
6	Остывание	15	PP=0,12 Па.
7	Выгрузка изделий	10	-

На основе модели, выдвинутой Дэвисом и Вандерслайсом разработана математическая модель измерения распределения ионов по энергиям, учитывающая длину свободного пробега электрона в скрещенных электрических и магнитных полях относительно процесса ионизации и частоту электрон-атомных столкновений:

$$\frac{d j_i}{d U} = (\gamma \cdot I_0 \cdot \mu_{\perp} \cdot \varepsilon_0)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{\omega}{(\lambda \cdot \nu)} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot \left[\frac{U \cdot \left(\gamma^{\frac{1}{2}} - 1 \right)}{U_k} + 1 \right], \quad (1)$$

где j_i – поток ионов, А/м²; I_0 – ток разряда; γ – коэффициент Таунсенда; μ_{\perp} – подвижность электронов в направлении перпендикулярном магнитному полю, м²/В·сек; ε_0 – диэлектрическая постоянная; ω – циклотронная частота, Гц; λ – средняя длина пробега электрона, м; ν – частота электрон – атомных столкновений, Гц; U – напряжение электрического поля, В; U_k – катодное падение потенциала, В.

С целью учета возможной ионизации в процессе магнетронного распыления принимаются следующие допущения и ограничения:

- длина свободного пробега электронов считается постоянной;
- краевые эффекты не рассматриваются;
- учитывая, что степень ионизации низкотемпературной плазмы газового разряда мала (порядка 10⁻⁵), пренебрегают столкновениями электронов с любыми частицами, кроме атомов рабочего газа.
- ось x перпендикулярна катоду и направлена к аноду, а ось y параллельна катоду а направлена вдоль линии магнитного поля;
- в пределах катодного слоя поле однородно;
- допустимое значение ионной энергии $j(U) \leq U_k$.

Для определения энергетического спектра ионов, бомбардирующих катод несбалансированного магнетрона, определена величина катодного падения потенциала по формуле:

$$U_k = 1,2 \cdot 10^{-29} \cdot \left[\frac{\gamma \cdot I_0 \cdot T}{P \cdot B} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma_i^{-\frac{3}{2}} \cdot \left(\gamma^{\frac{1}{2}} - 1 \right), \quad (2)$$

Где T – температура газа; P – давление газа в камере; B – магнитная индукция σ_i – сечение ионизации в магнетронном разряде, $\sigma_i = 2 \cdot 10^{-19}$ м².

Решив дифференциальное уравнение (1) для плотности потока ионов при начальном условии $j(U_k) = 0$ получим выражение, описывающее энергетическое распределение ионов бомбардирующих катод:

$$j(U) = \frac{\omega \cdot (U - U_k) \cdot \sqrt{\frac{\omega}{\lambda \cdot \nu}} \cdot \sqrt{\mu \cdot I_0 \cdot \varepsilon_0} \cdot (U + U_k - \sqrt{\gamma \cdot U} + \sqrt{\gamma \cdot U_k})}{2 \cdot U_k \cdot \lambda \cdot \nu}. \quad (3)$$

По результатам математического моделирования доказано, что наибольший вклад в процесс распыления вносят не высокоэнергетические ионы, так как их плотность в потоке мала, а ионы со средними значениями энергий; при увеличении напряжения разряда увеличивается величина катодного падения потенциала, вследствие чего ионы разгоняются с большей скоростью, а, следовательно, увеличивается их кинетическая энергия, которая передается атомам мишени, что положительно сказывается на скорости распыления.

Влияние параметров импульса на свойства и структуру покрытия AlTiN

При выполнении исследования влияния параметров импульса на свойства и структуру покрытия AlTiN варьировались значения времени паузы (времени возврата) и значения частоты импульсов. Исходя из проведенного математического моделирования, были выбраны следующие значения технологических параметров: частота импульсов 100 кГц и 350 кГц (как минимально допустимая и максимально возможная) время паузы от 1,0 мкс до 5,0 мкс.

Результаты проведенного анализа двух- и трех-мерных поверхностных морфологий пленок AlTiN, нанесенных в различных условиях асинхронного пульсирования, измерялись при помощи атомно-силовой микроскопии (АСМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) (рис. 3). Изменение ионной энергии и ионного потока в плазме посредством пульсирования показывает, что увеличение ионной энергии и ионного потока ведет к изменению текстуры пленки AlTiN от (200) до (111). В настоящем исследовании пленки, нанесенные при относительно низкой ионной энергетической бомбардировке (например, режим 100/1,0 с общей ионной энергией 72 эВ), поддерживают ориентацию (200) для минимизации поверхностной энергии. С увеличением ионной энергии и ионного потока в плазме, увеличенная энергия деформации в пленке и повторное распыление из-за высокой ионной бомбардировки вызывают рост покрытия в ориентации (111) для снижения энергии деформации (например, 350кГц/1,4мкс с общей ионной энергией 200 эВ).

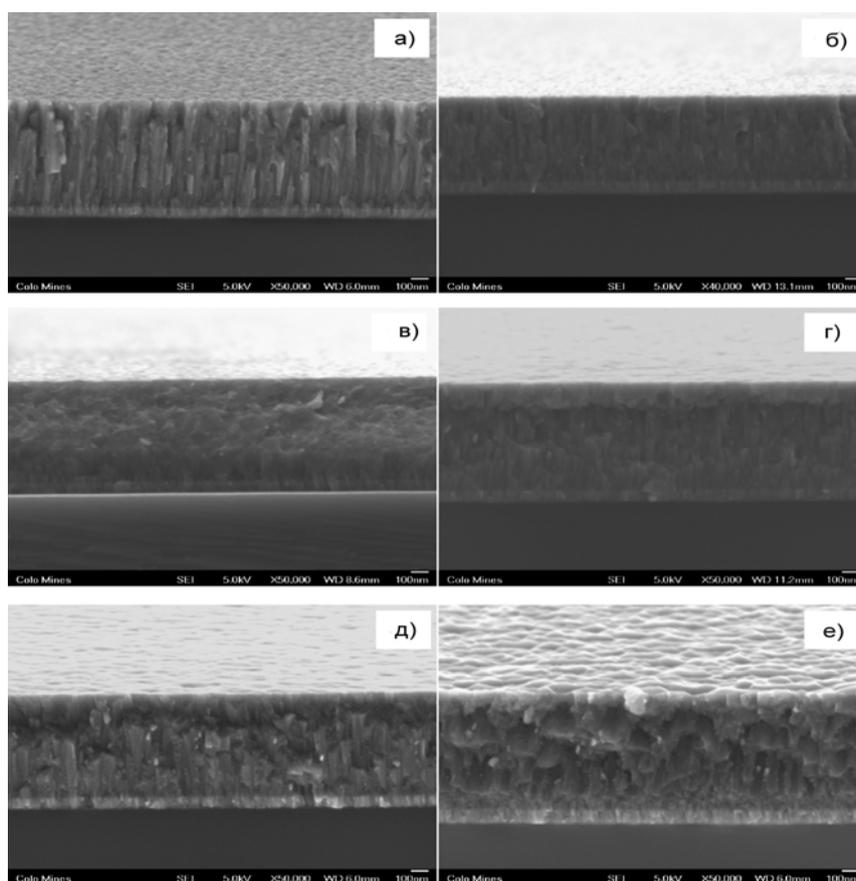


Рис. 3. Поперечные микроснимки РЭМ пленок AlTiN, нанесенных в различных условиях асинхронного пульсирования: а) 100 кГц и 1.0 мкс (72 эВ); б) 100 кГц и 2.5 мкс (84 эВ); в) 100 кГц и 5.0 мкс (122 эВ); г) 350 кГц и 0.4 мкс (177 эВ); д) 350 кГц и 1.0 мкс (180 эВ); е) 350 кГц и 1.4 мкс (200 эВ)

Импульсная ионная энергия и ионный поток оказывают значительное воздействие на структурное развитие пленки *AlTiN*. Использование контролируемой ионной бомбардировки для сохранения максимальной ионной энергии на уровне менее 120 эВ и увеличения ионного потока в средней области ионной энергии «В», будет увеличивать адатомную мобильность, усиливать плотность покрытия и уменьшать размер столбчатых кристаллов пленки.

Механические и трибологические свойства пленок *AlTiN*, полученных при различных режимах нанесения представлены в таблице 2.

Твердость пленки *AlTiN* увеличилась от 34 до 41 ГПа при увеличении общей ионной энергии от 72эВ (100кГц/1.0мкс) до 122эВ (100кГц/5.0мкс) в асинхронном импульсном режиме. Это происходит благодаря возрастанию плотности покрытия и сокращению размера зерен в условиях увеличенной ионной энергии и бомбардировки ионным потоком. Деформационное упрочнение становилось значительным и чрезмерным, при общей ионной энергии 177-200 эВ и частоте импульсов 350кГц.

Таблица 2

Механические и трибологические свойства пленок *AlTiN*

Свойства пленки	Импульсные параметры					
	100/1,0	100/2,5	100/5,0	350/0,4	350/1,0	350/1,4
<i>Al/(Ti+Al)</i>	58,5	57,3	60,4	60,9	67,5	69,7
Толщина пленки, мм	1,2	0,8	1	14,1	0,9	1,2
Поверхностная шероховатость, нм	5,45	2,43	1,04	2,16	2,01	2,25
Остаточное напряжение, ГПа	-3,4	-4	-5,6	-7,3	-12,2	-12,8
Наноидентационная твердость, ГПа	34,3 ±3,8	37 ±3,9	41,1 ±3,3	42,4 ±2,9	43,6 ±2,8	48,0 ±3,6
Модуль Юнга, ГПа	370,8± 26,3	385,6± 31,9	411,4± 32,5	432,4± 30,4	450,5± 28,4	515,5± 43,7
Н/Е	0,092	0,096	0,01	0,098	0,097	0,093
Коэффициент трения	0,38	0,43	0,46	0,46	0,87	0,63
Скорость износа	2,9	3,2	3,4	3,9	3,8	4

В результате, оптимальное сочетание механических (твердость) и трибологических свойств может достигаться, только при сохранении средней ионной энергии между 70-120 эВ с высокими ионными потоками. Работа мишеней *Ti* и *Al* при частоте 100кГц и времени паузы 5,0мкс привело к образованию пленок *AlTiN*, которые показали высокую твердость (~ 41 ГПа, вязкость 0,10) и хорошую износостойкость (коэффициент трения 0,40-0,46; скорость износа $3,4 \times 10^{-6} \text{ мм}^3 \text{ Н}^{-1} \text{ м}^{-1}$).

Заключение

По полученным данным о степени влияния частотных характеристик импульса на свойства

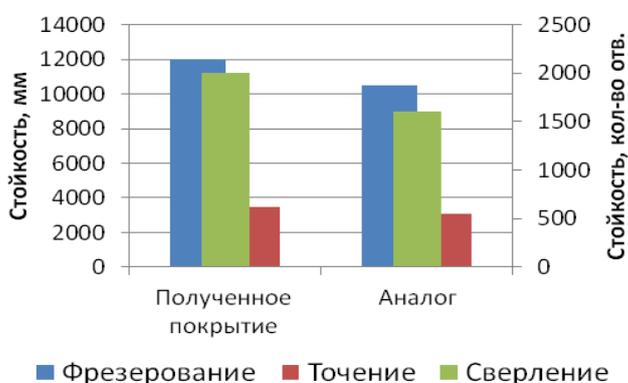


Рис. 4. Испытания покрытия *AlTiN* в сравнении с аналогами

рекомендации по повышению эффективности процесса магнетронного распыления:

покрытия *AlTiN* была составлена модель технологического процесса магнетронного распыления, обеспечивающего заданные физико-механические свойства нанокompозитных покрытий металлорежущего инструмента. Проведено испытание режущего инструмента с нанесенным нанокompозитным покрытием *AlTiN*, полученного с помощью разработанной технологии магнетронного распыления, и сравнение его с аналогами (рис.4).

В результате проведенных исследований сформулированы

- Разрядное напряжение на мишени необходимо выбирать в соответствие с процентом асимметричного импульса, для поддержания реверсивного позитивного импульсного напряжения в диапазоне 20-80 В. Предпочтительно использовать более длительное время возврата при относительно низких импульсных частотах (например, 100-200 кГц) для импульсного реактивного распыления, с целью получения подходящих значений импульсной ионной энергии и увеличения ионного потока.

- Поскольку импульсная плазма уже обеспечила относительно высокие значения ионной энергии в плазме, предлагается использовать относительно небольшое смещение подложки (не более -50 В), чтобы избежать чрезмерной ионной бомбардировки.

** Публикация подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту № 941 «Методологические основы разработки и создания функциональных наноструктур поверхностей и покрытий деталей ГТД, инструмента и технологической оснастки» в рамках базовой части государственного задания.*

Литература.

1. Кожина, Т.Д., Непомилуев, В.В., Сергеев, А.Е. Асинхронные дуальные импульсные магнетронно-распылительные системы для синтеза наноструктурированных покрытий [Текст]/Сергеев, А.Е. – Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева №2 (20), 2011. – С. 115-120
2. Курочкин, А. В. Исследование работоспособности многослойного износостойкого покрытия AlSiTiN [Текст] / А. В. Курочкин, М. О. Мезенцев // Справочник. Инженерный журнал. – 2009. – № 4 (145). – С. 62 – 64.
3. Сергеев, А.Е. Механические и трибологические свойства пленок Al-Ti-N [Текст] / Сергеев, А.Е., Ерошков, В.Ю. – Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева №1 (19), 2011. – С. 87-91/
4. Курочкин, А. В. Технологические особенности многофункциональных наноструктурированных покрытий для режущего инструмента [Текст] / А. В. Курочкин // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – Рыбинск: РГАТА, 2010. – № 3 (18). – С. 166 – 172.
5. Alan Richter. Aluminum-titanium-nitride tool coatings continue to evolve. Cutting tool engineering. – 2003. – Vol.55. – №1.
6. Alan Richter. Recipe for enhancement. Cutting tool engineering. – 2005. – Vol.57. – №1.
7. Jianliang Lina, John J. Moorea 1, Brajendra Mishraa, Malki Pinkasa,d, William D. Sproulb, J.A. Reesc Surface & Coatings Technology 202 (2008) 1418 –1436.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ «КАРБИД ТИТАНА – ТИТАН» ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ

М.Г. Криницын, аспирант

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-60-63-33

E-mail: krinmax@gmail.com

Хорошо известно, что композиционные материалы и покрытия со структурой из дисперсных твердых частиц, заключенных в металлическую матрицу (связку), обладают уникальным сочетанием твердости, прочности, пластичности и износостойкости при абразивном износе и в контактных парах. Характерным примером таких материалов являются инструментальные твердые сплавы, получаемые спеканием порошковых смесей из дисперсных карбидов и металлической связки. Хорошо известно также, что физико-механические и триботехнические свойства композиционных материалов и покрытий помимо свойств дисперсных включений и металлической связки во многом определяются структурой (объемная доля, дисперсность и морфология упрочняющей фазы).

Известно, что титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. Для повышения износостойкости деталей, подвергающихся интенсивному износу, широко применяются покрытия, наносимые на изнашиваемые поверхности наплавкой или напылением. Для получения «толстых» износостойких покрытий на титан и его сплавы используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие,

имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице. Наибольший интерес в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композитах на основе титана представляет карбид титана. Для наплавки композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [2-5].

В настоящей работе исследована структура и фазовый состав композиционных порошков, полученных самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в порошковых смесях титан – углерод.

Фазовый состав продуктов синтеза

На рис 1 приведены рентгенограммы с порошков, синтезированных в аргоне и на воздухе, а в таблицах 1 и 2 – результаты расшифровки рентгенограмм.

Рентгенофазовый анализ показал, что фактическое содержание титановой связки, рассчитанное по сумме интенсивностей рентгеновских линий, во всех СВС продуктах значительно меньше значений, рассчитанных в предположении образования карбида титана эквиатомного состава (табл.1,2). Линии титана полностью отсутствуют на рентгенограммах порошка с расчетным содержанием связки 20 об %, синтезированного в аргоне (табл. 1). На рентгенограммах порошков, синтезированных на воздухе, линии титана появляются только на рентгенограмме порошка с 60 об% титановой связки (табл. 2). Кроме этого было установлено, что во всех случаях параметр решетки карбида титана значительно меньше, чем известное значение 0,4327 нм для карбида эквиатомного состава [6].

Для композитов, синтезированных в аргоне, наиболее вероятной причиной этого отличия параметра решетки является образование нестехиометрического карбида. Согласно равновесной диаграмме двойной системы титан – углерод [8] карбид титана TiC_x имеет широкую область гомогенности. Содержание углерода в карбиде при температурах, близких температуре плавления титана на двойной равновесной диаграмме изменяется в интервале значений X от 1 до 0,5. Так как все исследованные нами реакционные смеси имеют избыток титана, то карбид титана должен иметь нестехиометрический состав в соответствии с равновесной диаграммой. В таблице 1 приведены значения стехиометрического коэффициента X в формуле TiC_x , рассчитанные по параметру решетки и известным зависимостям параметра решетки от содержания углерода в карбиде.

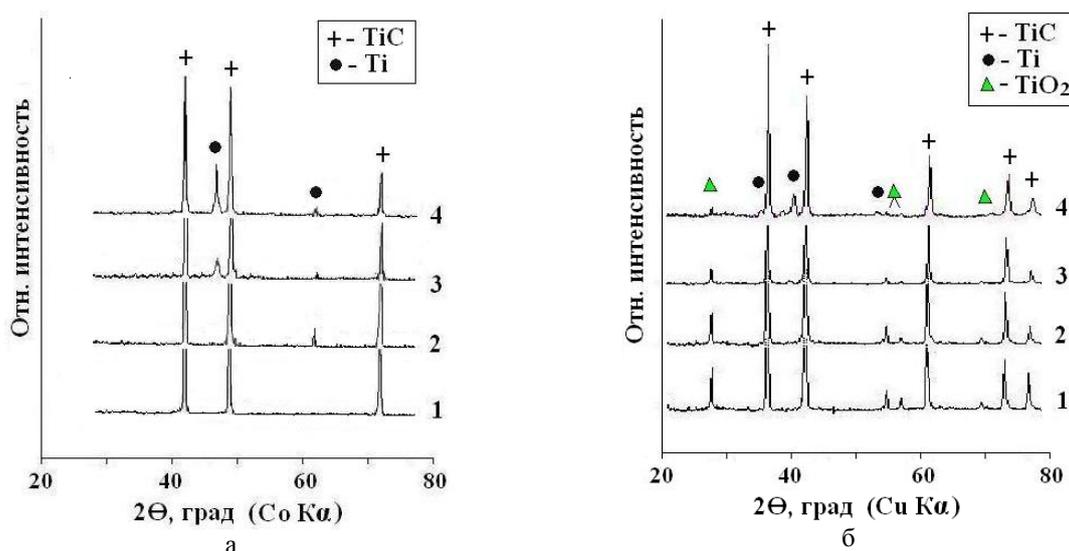


Рис. 1. Рентгенограммы СВС-порошков $TiC_x + Ti$, синтезированных в аргоне (а) и на воздухе (б). Расчетное (при $X=1$) содержание титановой связки: 1 - 30об.%, 2 - 40об.% 3 - 50об.%, 4 - 60об.%.

Таблица 1

Содержание фаз в СВС продуктах, синтезированных в аргоне, параметр решетки a карбида титана TiC_x и значение стехиометрического коэффициента X , рассчитанное по параметру решетки

Расчетный фазовый состав СВС порошков	Фактическое содержание фаз, %		a , nm	X [6]	X [7]
	TiC_x	Ti			
TiC+30 об% Ti	100	-	0,4320	0.71	0.69
TiC+40 об% Ti	95,5	4,5	0,4310	0.58	0.58
TiC+50 об% Ti	93,5	6,5	0,4302	< 0.53	0.50
TiC+60 об%Ti	75,4	24,6	0,4299	< 0.53	< 0.50

Для композитов, синтезированных в аргоне, наиболее вероятной причиной этого отличия параметра решетки является образование нестехиометрического карбида. Согласно равновесной диаграмме двойной системы титан – углерод [8] карбид титана TiC_x имеет широкую область гомогенности. Содержание углерода в карбиде при температурах, близких температуре плавления титана на двойной равновесной диаграмме изменяется в интервале значений X от 1 до 0,5. Так как все исследованные нами реакционные смеси имеют избыток титана, то карбид титана должен иметь нестехиометрический состав в соответствии с равновесной диаграммой. В таблице 1 приведены значения стехиометрического коэффициента X в формуле TiC_x , рассчитанные по параметру решетки и известным зависимостям параметра решетки от содержания углерода в карбиде.

Для СВС продуктов, синтезированных на воздухе, можно предполагать другую возможную причину уменьшения параметра решетки карбида: вхождение атомов атмосферных газов (кислород или азот) в решетку карбида с образованием оксикарбида или карбонитрида. Параметр кубической решетки этих сложных соединений значительно меньше параметра решетки эквивалентного карбида титана [9, 10]. Согласно результатам рентгенофазового анализа в продуктах синтеза на воздухе присутствует двуокись титана (табл. 2), что свидетельствует об окислении продуктов синтеза.

Таблица 2

Содержание фаз в СВС продуктах, синтезированных на воздухе, параметр решетки кубической фазы и значение стехиометрических коэффициентов карбида и оксикарбида титана

Расчетный фазовый состав	Содержание фаз, %			a , nm	Стехиометрические коэффициенты		
	TiC	Ti	TiO ₂		X [7]	TiC_xO_y [9]	TiC_xO_y [10]
TiC+30%Ti	91,3	-	8,7	0,4308	0.56	X=0.57 Y=0.42	X=0.73 Y=0.22
TiC+40%Ti	91,3	-	8,7	4.301	< 0.50	X=0.49 Y=0.50	X=0.44 Y=0.50
TiC+50%Ti	95,3	-	4,7	4.292	< 0.50	X=0.48 Y=0.51	X=0.43 Y=0.50
TiC+60%Ti	74,4	23,2	2,4	4.311	0.58	X=0.75 Y=0.24	X=0.33 Y=0.59

Этот факт является дополнительным доводом в пользу образования оксикарбида титана. Однако подтвердить или опровергнуть предположение о замещении вакансий в решетке карбида титана атомами кислорода или азота на основе только дифракционных исследований невозможно по причине совпадения параметров решетки нестехиометрического карбида титана и оксикарбидов (табл. 2).

Морфология и структура продуктов синтеза.

На рис. 2 представлена морфология композиционных порошков, синтезированных в аргоне из реакционных смесей с различным содержанием титана. Порошковый продукт синтеза, не содержащий титановой связки (рис. 2а), представляет собой сrostки карбидных зерен или отдельные крупные частицы. Структура СВС продуктов, содержащих титановую связку (рис. 2б, 2в, 2г), более дисперсная, причем дисперсность зависит от фактического содержания связки.

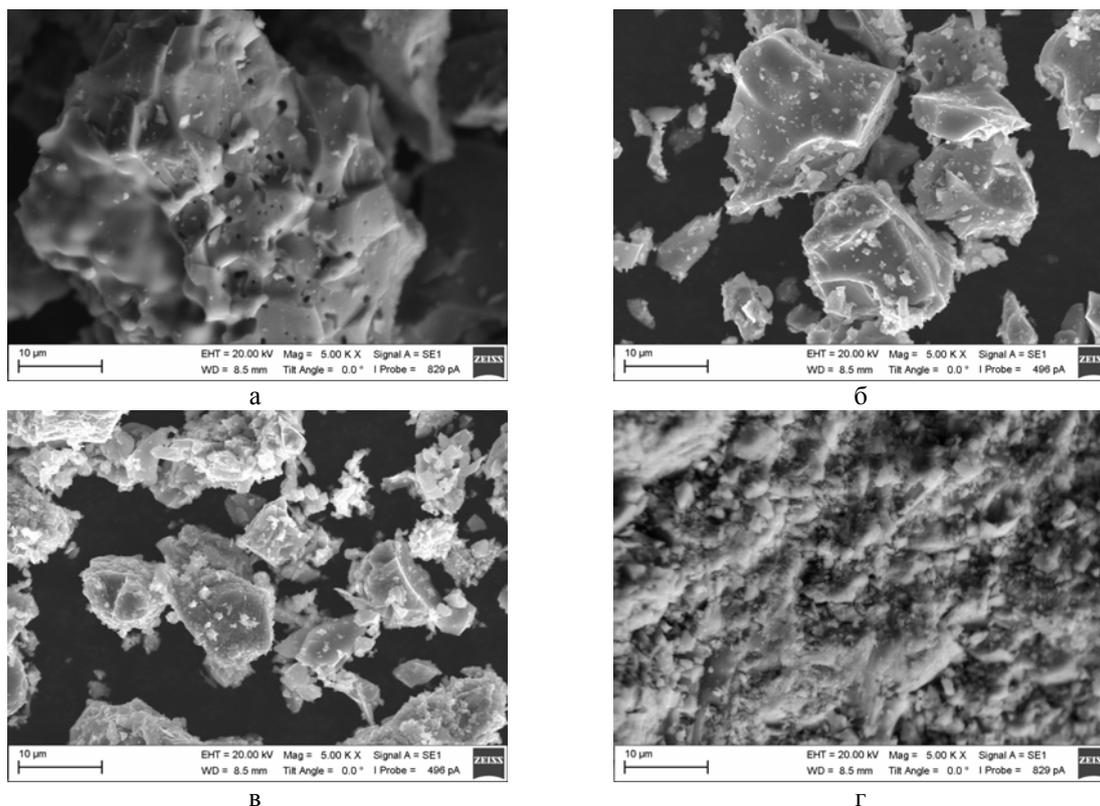


Рис. 2. Морфология СВС продуктов, синтезированных в аргоне, с различным расчетным (фактическим) содержанием титановой связки (об%): а) – 30 (0); б) – 40 (4,5); 50 (6,5); 60 (24,6).

Наблюдается корреляция между дисперсностью карбидной фазы в продуктах синтеза (рис. 2) и термокинетическими характеристиками послыонного горения в реакционных смесях с различным содержанием титана (рис. 3). Чем больше титана в реакционных смесях, тем меньше максимальная температура и скорость движения фронта горения. Подобные зависимости размера карбидных частиц в СВС продуктах от содержания инертной в тепловом отношении металлической связки являются типичными для СВС процессов в реакционных смесях с инертном. В частности, ранее мы обнаружили кратное уменьшение среднего размера частиц карбида титана в СВС композитах «карбид титана – чугунная связка» при увеличении содержания чугунного порошка в реакционных смесях [11].

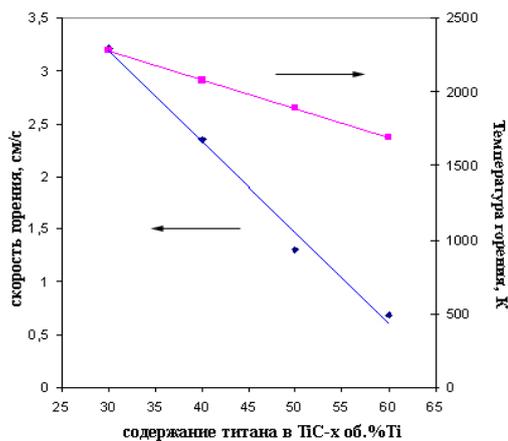


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры и скорости горения Ti-C смесей от расчетного содержания Ti связки в TiC+Ti композите (в предположении стехиометричности TiC)

Однако, в исследованном нами концентрационном интервале послыонного горения смесей титан – углерод, содержащих избыток титана, большая часть титана расходуется на образование нестехиометрического титана. Количество оставшегося свободного титана, который служит инертном, слишком мало, чтобы объяснить сильное понижение максимальной температуры горения (рис. 3). По нашему мнению, основной причиной этого понижения является зависимость энтальпии образования карбида титана от содержания в нем углерода. Чем меньше углерода содержит карбид, тем меньше возникает парных связей «титан – углерод», ответственных за тепловыделение.

Для выяснения вопроса о возможной зависимости дисперсности и морфологии

карбидной фазы от скорости охлаждения продуктов синтеза (закалка в воду или медленное охлаждение в реакторе) методом оптической металлографии была исследована структура порошков, залитых в эпоксидную смолу.

Металлографические шлифы удовлетворительного качества удалось получить только на порошках, содержащих титановую связку (рис. 4). Из сравнения изображений на рис. 4 можно сделать вывод о том, что скорость охлаждения после завершения синтеза не влияет на структуру продуктов синтеза. По-видимому, формирование структуры (рост карбидных зародышей и срастание смежных частиц) происходит только в жидкой фазе во фронте реакции и в узкой зоне позади фронта и завершается в момент кристаллизации. Последующие диффузионные процессы в твердой фазе уже не влияют на структуру даже при относительно медленном охлаждении продуктов синтеза.

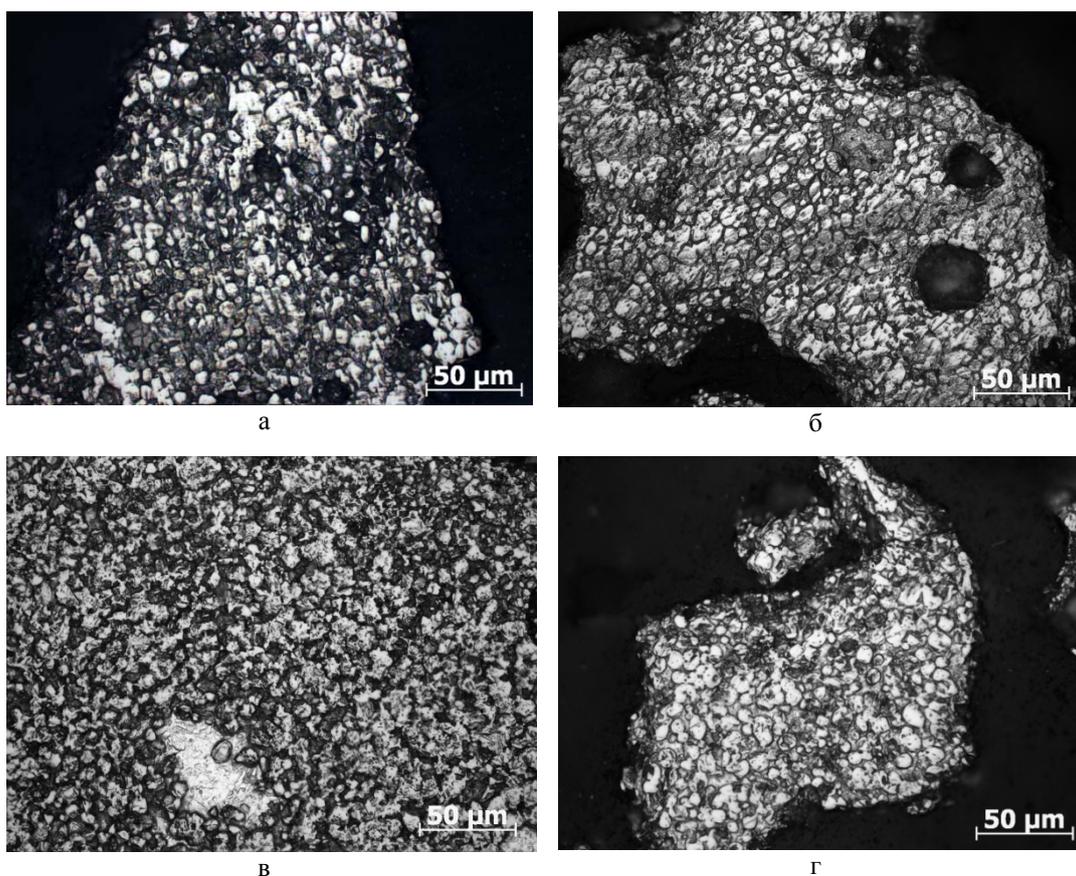


Рис. 4. Структура СВС композиционных порошков TiC+Ti, синтезированных в аргоне (а,в) и на воздухе с закалкой в воду (б,г). Расчетное (фактическое) содержание титановой связки (об. %): (а,б) – 50 (6,5); (в,г).60 (24,6).

Литература.

1. Zwikker Ulrich. Titan und Titanlegierungen. 1974. Springer-Verlag, 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J., SabbaghzadehJ.. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment. Optics and lasers in engineering. 2011, vol. 49, pp 557-563.
3. ZHANG Ke-min, ZOU Jian-xin, LI Jun, YU Zhi-shui, WANG Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010, vol. 20, pp 2192-2197.
4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface. Applied Surface Science. 2013, vol. 284, pp 472-481.
5. Weiping Liu, J.N. DuPont. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineering Net Shaping. ScriptaMaterialia. 2003, vol. 48, iss. 9, pp 1337-1342.

6. Современные инструментальные материалы на основе тугоплавких соединений. Сб. трудов ВНИИТС. – М.:Мет-гия, 1985, 128с.
7. Зуев Л.В., Гусев А.И. Влияние нестехиометрии и упорядочения на период базисной структуры кубического карбида титана. – ФТТ. 1999, т.41, вып.4, стр.1134-1141
8. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.в 3 т./ под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996.-том 1. 992 с.
9. В.А.Жиляев, А.П.Штин. Взаимодействие карбонитридов, оксикарбидов и оксинитридов титана с концентрированными минеральными кислотами – Журнал неорганической химии, 2003, т.48, №8, с.1402-1408.
10. Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Швейкин Г.П. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IVA и VA групп. М. Наука. 1981.
11. Kalambaeva S.S., Korosteleva E.N., Pribytkov G.A. Structure of composite powders “TiC – high chromium cast iron binder” produced by SHS method. IEEE conference publications. MEACS Conference Proceedings (International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems), 2014, DOI: 10.1109/MEACS.2014.6986945, Publication Year: 2014 , Page(s): 1 – 4.

ПОКРЫТИЯ «ТИТАН – КАРБИД ТИТАНА» ПОЛУЧЕННЫЕ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ

*М.Г. Креницын, аспирант
Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-60-63-33
E-mail: krinmax@gmail.com*

Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. Для получения «толстых» износостойких покрытий на титан и его сплавы широко используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие, имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице. Особый интерес в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композитах на основе титана представляет карбид титана. Для получения наплавленных композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [2-7]. Характерно, что практически во всех описанных случаях лазерной или электронно-лучевой наплавки частицы карбида титана выпадают из расплава-раствора титан-углерод на стадии его кристаллизации при охлаждении. Поэтому контролировать морфологию, дисперсность и объемную долю карбидных включений в структуре металломатричного композита очень трудно.

Структура и свойства наплавленных покрытий

Для улучшения наплавляемости к композиционным порошкам с различным содержанием титановой связки добавляли порошок титана в количестве, необходимом для получения порошковых смесей с интегральным содержанием связки 80%. Микроструктура покрытий, наплавленных порошковыми смесями, содержащими композиционные порошки четырех исследованных составов, приведена на рис. 1. Структура покрытий представляет собой светло-серые частицы карбида титана, окруженные титановой связкой. Размер карбидных частиц тем меньше, чем больше титановой связки было в синтезированном порошке.

В покрытиях, наплавленных композиционным порошком с расчетным содержанием связки 30об.% Наблюдается значительная разница в размере карбидных частиц – с одной стороны это крупные (>100 мкм) пористые частицы, с другой стороны мелкие (<20 мкм) частицы в титановой связке. В связи с продолговатой формой многих мелких частиц, можно предположить, что большинство из них – титановые, с характерной для титана игольчатой формой, а зерна, имеющие более округлую форму - это карбидные зерна, отделившиеся от крупных частиц в процессе наплавления покрытия. В покрытиях остальных составов разброс по размеру карбидных частиц не так велик.

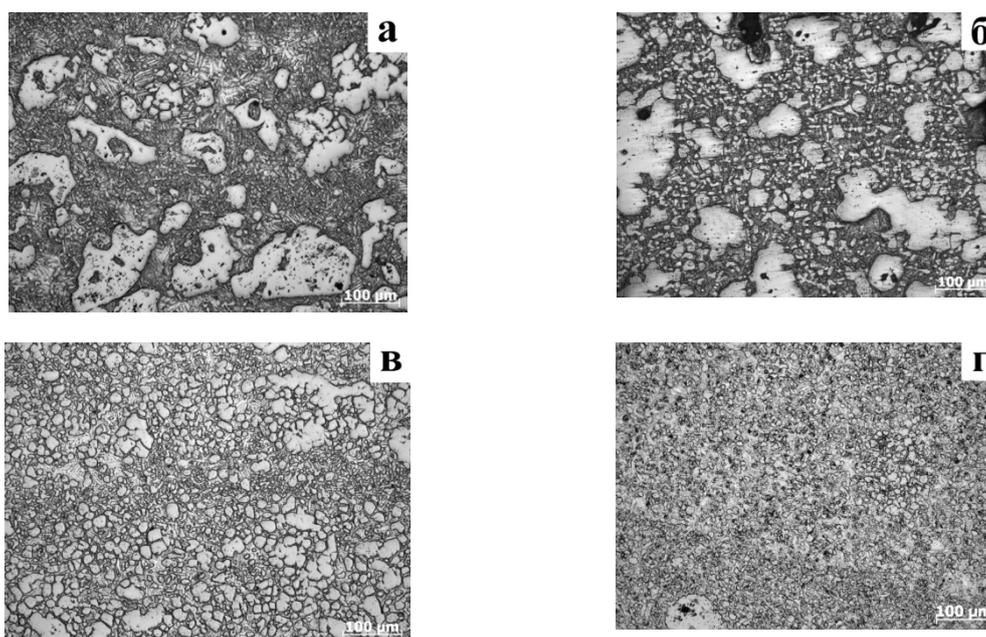


Рис. 1. Микроструктура наплавов TiC_x-Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti с расчетным ($x=1$) исходным содержанием титана
а) 30 об.%, б) 40 об.%, в) 50 об.%, г) 60 об.%

Зависимость среднего размера зерна в исследуемых наплавленных покрытиях приведена на рис. 2. Характер зависимости твердости покрытий от содержания связки в СВ-синтезированных порошках приведен на рисунке 3. Наблюдается тенденция на снижение твердости с увеличением содержания связки в порошках. Это можно объяснить, во-первых тем, что твердость нестехиометричного карбида ниже твердости стехиометричного, а с увеличением содержания связки в композиционных порошках карбид титана становится менее стехиометричным и во-вторых тем, что титановая связка обладает низкой твердостью, поэтому увеличение её содержания в композите приводит к снижению твердости в целом.

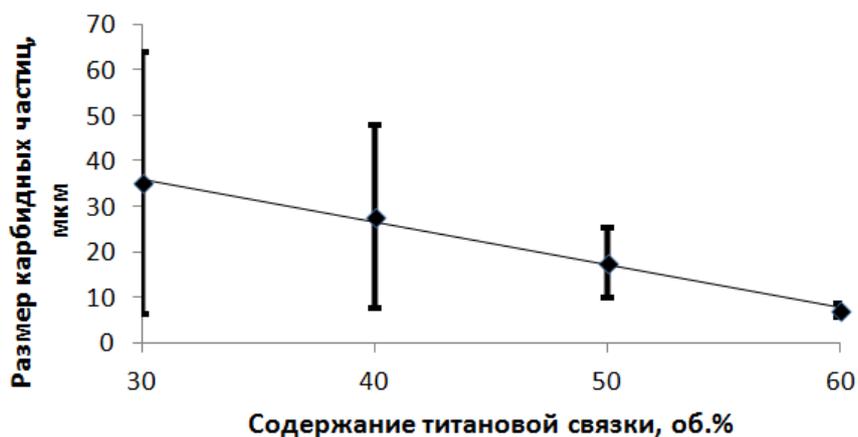


Рис. 2. Средний размер зерна в наплавках $TiC+Xоб\%Ti$ полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

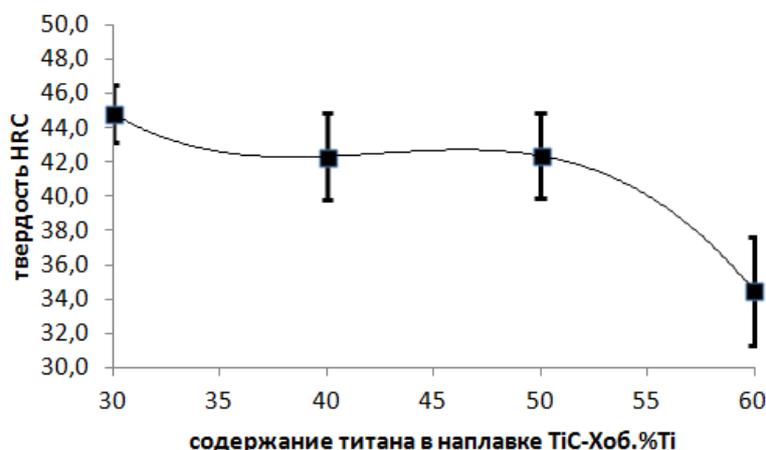


Рис. 3. Твердость наплавок TiC+Xоб.%Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

По результатам испытаний покрытий на абразивный износ (рис. 4) выявлена четкая корреляция структуры наплавленных покрытий с их износостойкостью. При одинаковом интегральном содержании связки в покрытиях наибольшую износостойкость имеет покрытие с дисперсными частицами карбида титана, равномерно распределенными в титановой матрице (рис. 1г). Минимальную износостойкость при изнашивании кварцевым песком имеет покрытие, состоящее из крупных карбидных частиц, окруженных титановой связкой (рис. 1а). Таким образом, при увеличении содержания титановой связки в порошковых композитах, несмотря на снижение твердости, покрытия увеличивают свою стойкость к абразивному износу. Для выяснения причин такой зависимости износостойкости от структуры требуются исследования механизма изнашивания.

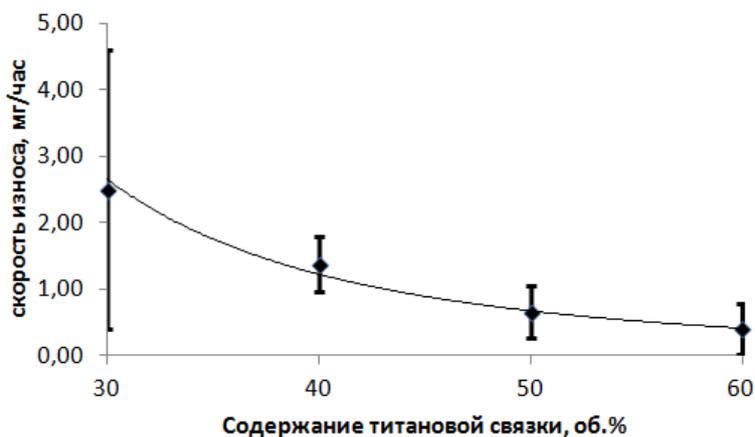


Рис. 4. Зависимость скорости износа от содержания титановой связки в наплавках TiC+Xоб.%Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

Выводы

С увеличением содержания титановой связки в исходных СВС-композитах, износостойкость покрытий повышается, а твердость понижается. Наиболее оптимальным составом, обладающим высокими значениями и твердости и износостойкости, являются композиционные порошки с 50 об.% связки.

Литература

1. Zwikker Ulrich, Titan und Titanlegierungen – Springer-Verlag, 1974. – 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J., Sabbaghzadeh J. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment. Optics and lasers in engineering, 2011. – vol. 49, pp 557-563.
3. ZHANG Ke-min, ZOU Jian-xin, LI Jun, YU Zhi-shui, WANG Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010, vol. 20, pp 2192-2197.

4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface. *Applied Surface Science*. 2013, vol. 284, pp 472-481.
5. Weiping Liu, J.N. DuPont. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineering Net Shaping. *Scripta Materialia*. 2003, vol. 48, iss. 9, pp 1337-1342.
6. V.E. Panin, S.I. Belyuk, V.G. Durakov, G.A. Pribytkov, N.G. Rempe Electron beam surfacing in vacuum: equipment, technology, coatings' properties. *Welding production*. 2000, vol. 2, pp. 34-38.
7. Korosteleva E.N., Pribytkov G.A., Krinitcyn M.G. Structure and properties of powder cathode materials of titanium - titanium carbide system. *Innovative technology and economics in mechanical engineering*. National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk, 2014. pp. 273-276.
8. G.A. Pribytkov, M.N. Khramogin, V.G. Durakov, and V.V. Korzhova. Coatings produced by electron beam surfacing of composite materials consisting of titanium carbide and a binder of high-speed R6M5 tool steel. *Welding international*. Vol. 22, No. 7, July 2008, pp. 465-467.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Т.Д. Кожина, А.В. Курочкин
РГАТУ имени П.А. Соловьева
E-mail: prorectnir@rsatu.ru*

Электрохимическая обработка является уникальным технологическим методом, позволяющим получать сложнопрофильные фасонные поверхности на изделиях из труднообрабатываемых традиционными методами материалов. Этим объясняется всё более широкое распространение ЭХО в качестве основного способа размерной обработки профилей пера лопаток компрессора современных ГТД.

Однако, помимо широких технологических возможностей, ЭХО отличается от других методов обработки сложностью основного и вспомогательного оборудования, сложностью и дороговизной применяемых приспособлений (для базирования и закрепления лопаток), высокой энергоёмкостью процессов, вредными условиями работы персонала и негативным воздействием на окружающую среду.

Точность обработки ЭХО определяется совокупностью факторов, основными из которых являются: величина межэлектродного зазора и точность его установки, локализирующая способность электролита, его вид, концентрацию и условия прокачки; точность изготовления и коррекции электрода – инструмента; электрические режимы обработки; точность применяемого оборудования; равномерность распределения электрического потенциала.

Перспективный метод повышения точности ЭХО

Одним из методов повышения точности обработки, является электрохимическая обработка с вибрацией электродов – инструментов, которая характеризуется гармоническими колебаниями электродов и синхронизированным с ними наложением импульсного тока (осциллирующими электродами).

Для электрохимической обработки лопаток газотурбинных двигателей кроме кинематической схемы с вибрацией электродов, также используются импульсно-циклическая и постоянная схема подачи (таблице 1).

Таблица 1

Сравнение кинематических схем, используемых при электрохимической
обработке лопаток ГТД

Критерий сравнения	Кинематическая схема		
	Импульсно-циклическая	Вибрирующим ЭИ	Постоянная подача
Предельные отклонения геометрических размеров пера лопатки, мм	± 0,08	± 0,02	± 0,1
Производительность обработки, мм/мин	0,4	0,2	0,5...0,8
Возможность учета неравномерности распределения припуска и деформаций лопатки в процессе обработки	+	+	–



Рис. 1 Внешний вид лопатки, изготавливаемой с использованием кинематической схемы с вибрацией электродов

Из таблицы 1 видно, что кинематическая схема с вибрацией электродов обеспечивает более высокую точность обработки, в сочетании с более низкой производительностью. Таким образом, кинематическая схема с вибрацией электродов, наиболее применима для изготовления лопаток с высокой точностью и большим углом закрутки (рисунок 1), при этом с целью сокращения времени обработки необходимо минимизировать величину удаляемого припуска.

Результаты испытаний лопаток компрессора

Испытания по электрохимической обработке лопаток с осциллирующими электродами – инструментами проводились в два этапа. На первом этапе определялись оптимальные режимы электрохимической обработки осциллирующими электродами – инструментами, на втором

проведены исследования геометрических параметров и шероховатости профиля пера лопаток в зависимости от полученных значений режимов обработки.

Исследования по определению режимов обработки ЭХО проводилось на направляющей лопатке НА 2-ой ступени (рисунок 1), изготавливаемой из титанового сплава марки ТА6V (таблица 3), согласно операционному эскизу обработки элементов пера на операции электрохимической обработки (рисунок 2), с последующим контролем геометрических параметров профиля пера лопатки согласно таблице 2.

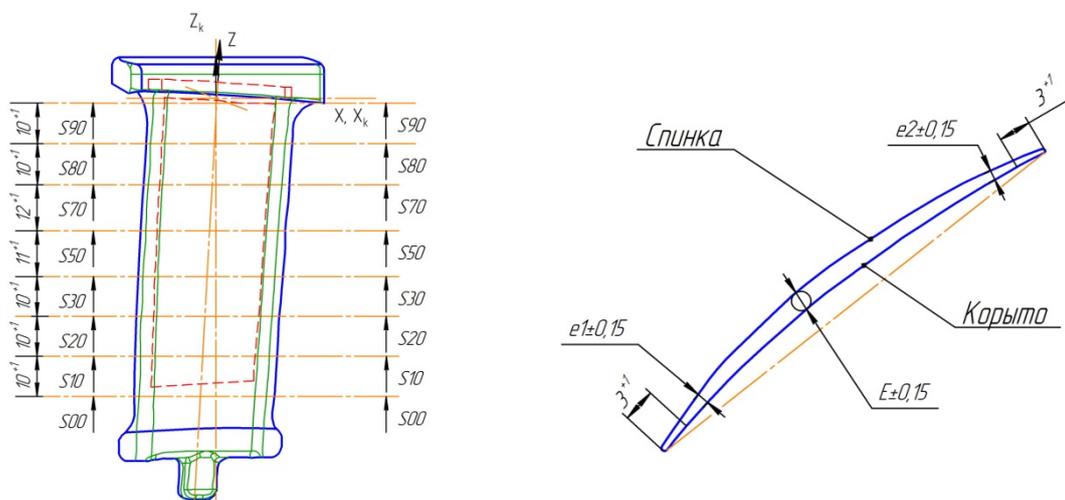


Рис. 2. Операционный эскиз обработки профиля пера направляющей лопатки НА 2-ой ступени

Таблица 2

Геометрические параметры профиля пера полуфабрикатов лопатки после ЭХО

Наименование показателя	Сечение	00	10	20	30	50	70	80	90
Максимальная толщина профиля пера, мм	Номинальное значение	0,966	1,023	1,084	1,107	1,399	1,930	2,256	2,483
	Предельные отклонения	+0,15 -0,05							

Наименование показателя	Сечение	00	10	20	30	50	70	80	90
Толщина входной кромки лопатки, мм	Номинальное значение	0,717	0,752	0,786	0,813	0,960	1,268	1,462	1,603
	Предельные отклонения	+0,15 -0,05							
Толщина выходной кромки лопатки, мм	Номинальное значение	0,455	0,446	0,453	0,442	0,539	0,588	0,580	0,637
	Предельные отклонения	+0,15 -0,05							
Шероховатость профиля пера, Ra, мкм	Номинальное значение	3,2							
	Предельные отклонения	± 1							

Таблица 3

Химический состав сплава марки ТА6V

Элемент	Обозначение	Процентное содержание от общего объема
Титан	Ti	88,37-90,62
Алюминий	Al	5,5-6,75
Ванадий	V	3,5-4,5
Углерод	C	0,08
Железо	Fe	0,3

Особенности электрохимического травления титановых сплавов, значительно осложняют выполнение операции обработки профиля пера лопаток ГТД. Это связано с ростом оксидной пленки на поверхности детали, вплоть до достижения электрического потенциала некоторой величины «пробоя», достаточной для прорыва окисной пленки и осуществления процесса снятия основного припуска материала. Повышение эффективности процесса ЭХО лопаток, изготовленных из титановых сплавов, может быть достигнуто путем настройки станка.

Для определения рекомендуемых режимов обработки, исследования проводились внутри диапазонов режимных параметров ЭХО, рекомендуемых в специальной литературе [5, табл. 4.3, стр 183] (таблица 6).

Таблица 6

Параметры процесса электрохимической обработки с осциллирующей электродов

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Параметры основного съема припуска		
Период вибрации	Мкс	27...33
Давление электролита	Атм	1,5
Период цикла промывки	Сек	10
Число циклов промывок между ощупываниями	–	1
Время промывки	Сек	0
Промывочный зазор, относительно рабочего зазора	Мкм	0
Разница припусков для включения выравнивания	Мм	0,1
Рабочий зазор	Мкм	70
Начальная скорость подачи	мм/мин	0,1

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Напряжение импульса	В	19
Форма импульса	–	Vcos
Длительность импульса	Мс	10
Фаза заднего фронта импульса	Град	240
Параметры выравнивания припуска		
Рабочий зазор	Мкм	70
Начальная скорость подачи	мм/мин	0
Напряжение импульса	В	15
Форма импульса	–	Vcos
Длительность импульса	Мс	4
Фаза заднего фронта импульса	Град	120

На первом этапе испытаний в первую очередь проводились опытные работы по определению диапазона изменения особо ответственных параметров процесса и степени их влияния на характеристики детали: электрические параметры (напряжение, длительность импульса, фаза заднего фронта, форма); давление электролита; период вибрации.

Целью этой стадии являлось достижение максимальной производительности процесса, при условии обеспечения его стабильности, повторяемости результатов, при этом показатели качества лопаток (максимальная толщина профиля пера, толщины кромок, величина шероховатости и другие) должны были быть максимально приближены к требованиям конструкторской документации. Также при был выполнен анализ конструкции оснастки и инструмента с целью выявления возможности их последующей доработки.

На второй стадии определялись режимы обработки ЭХО на установке с осциллирующими электродами на основании проведения группы экспериментальных испытаний, с учетом граничных условий, указанных выше, и возможностей используемого оборудования.

В качестве варьируемых параметров режимов ЭХО используются:

- 1 Период вибрации (T).
- 2 Напряжение импульса (U).
- 3 Длительность импульса (t_u).
- 4 Фаза заднего фронта импульса (α).

В результате выполнения первого этапа исследований разработана управляющая программа для опытно-экспериментальной установки, позволяющая осуществлять электрохимическую обработку лопаток из титановых сплавов в автоматизированном режиме.

Целью второго этапа работы являлось исследование геометрических параметров лопаток и уточнение параметров процесса, значения которых были получены на первом этапе.

На основании анализа полученных данных для электрохимической обработки лопаток из титанового сплава на опытно-экспериментальной установке с осциллирующими электродами были получены следующие параметры процесса (таблица 6).

Таблица 6

Параметры процесса электрохимической обработки с осцилляцией электродов

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Параметры основного съема припуска		
Период вибрации	мкс	27...33
Давление электролита	атм	1,5
Период цикла промывки	сек	10
Число циклов промывок между ощупываниями	–	1
Время промывки	сек	0
Промывочный зазор, относительно рабочего зазора	мкм	0
Разница припусков для включения выравнивания	мм	0,1
Рабочий зазор	мкм	70
Начальная скорость подачи	мм/мин	0,1

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Напряжение импульса	В	19
Форма импульса	–	$V\cos$
Длительность импульса	мс	10
Фаза заднего фронта импульса	град	240
Параметры выравнивания припуска		
Рабочий зазор	мкм	70
Начальная скорость подачи	мм/мин	0
Напряжение импульса	В	15
Форма импульса	–	$V\cos$
Длительность импульса	мс	4
Фаза заднего фронта импульса	град	120

Технологические приемы повышения качества ЭХО

Результаты испытаний лопаток компрессора ГТД показали, что актуальным вопросом, препятствующим совершенствованию процесса ЭХО лопаток компрессоров ГТД является недостаточная точность, и, главное, недолговечность используемой оснастки.

Станочные приспособления, применяемые при ЭХО пера лопаток, как правило, в процессе обработки размещаются внутри рабочей камеры станка (установки) и полностью погружаются в электролит. При этом, помимо механического воздействия на элементы приспособления, физика процесса ЭХО обуславливает комбинированное коррозионное и электрохимическое воздействие на приспособление. В наибольшей степени при этом повреждаются элементы базирования, непосредственно контактирующие с обрабатываемой заготовкой лопатки. На базирующих элементах – центрах и призмах образуются лунки и каверны (рисунок 3), приводящие к быстрой потере точности обработки, необходимости их замены и простою дорогостоящего оборудования.

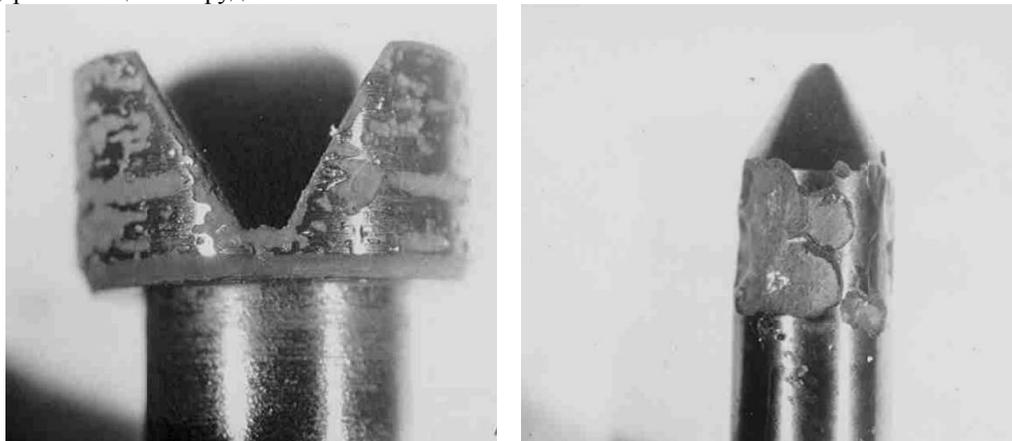


Рис. 3. Повреждение элементов базирования в процессе ЭХО

Очевидно, что обеспечение долговечности элементов базирования лопаток в данном случае возможно только за счёт корректирования применяемого конструкционного материала, а также, в некоторой степени, путём усовершенствования конструкции и технологии производства элементов базирования.

Проблема выбора материалов для изготовления элементов базирования лопаток заключается в необходимости одновременного обеспечения химической стойкости, отсутствия деформаций и механических повреждений элементов базирования. Кроме того, большое внимание уделяется сокращению затрат на изготовление и эксплуатацию приспособлений, напрямую отражающихся на себестоимости производимой продукции (лопаток и двигателя в целом).

В настоящее время для изготовления элементов базирования в основном используется ниобий, имеющий высокую химическую стойкость. Недостатками ниобия являются невысокие механические свойства (в частности, твёрдость), определённые сложности в обработке и крайне высокая стоимость материала.

Таким образом, необходимо найти материал, позволяющий заменить ниобий: обладающий сравнимой химической стойкостью, высокими механическими свойствами, приемлемыми показателями обрабатываемости и меньшей стоимостью.

Следует отметить, что в качестве электролитов при электрохимической обработке используются водные растворы нейтральных солей, обладающие высокой коррозионной активностью по отношению к незащищенным частям технологического оборудования и элементам оснастки, в том числе базирующим элементам.

Оборудование и приспособления, используемые для базирования и закрепления лопаток могут иметь различную конструкцию, однако, независимо от оформления приспособлений, в их составе присутствуют три основных базирующих элемента, непосредственно контактирующие с обрабатываемой лопаткой: базовый центр, поджимной центр и призма.

Базирующие элементы в наибольшей степени повреждаются в процессе ЭХО лопатки за счет электрохимического, коррозионного и механического воздействия. Как показывает практика, наиболее характерными повреждениями и дефектами базирующих элементов приспособления для ЭХО лопаток являются:

- линейный износ и смятие рабочих поверхностей;
- растравливание рабочих поверхностей с образованием лунок;
- растрескивание и выкрашивание материала базирующих элементов.

Растрескивание и выкрашивание, как правило, ограничивают возможность установки заготовки в приспособление, требуя немедленной замены базирующих элементов. Смятие и растравливание базовых поверхностей приводит к смещению заготовки относительно номинального положения, к появлению погрешности базирования. Поскольку растравливание является неравномерным, как правило, это приводит к повороту лопатки относительно призмы (рисунок 4), либо повороту относительно линии центров (рисунок 5). В ряде случаев, может наблюдаться геометрическое сложение этих погрешностей.

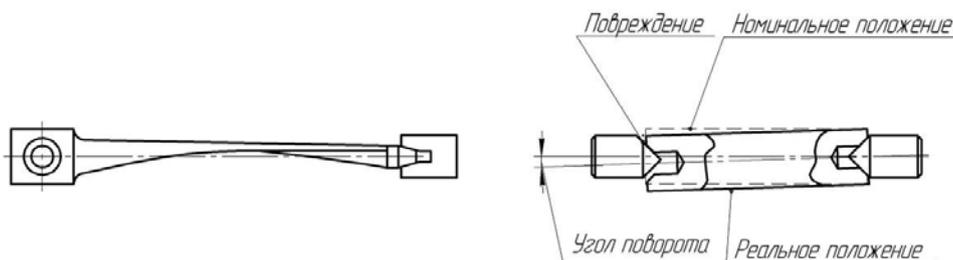


Рис. 4. Смещение (поворот) лопатки относительно призмы в результате повреждения центра

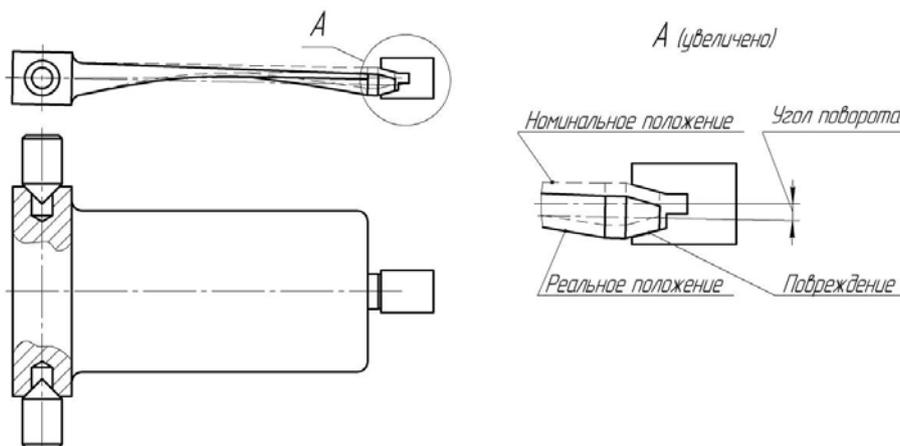


Рис. 5. Смещение (поворот) лопатки относительно линии центров в результате повреждения призмы

В настоящее время на современных предприятиях авиадвигателестроительной отрасли для изготовления элементов базирования применяется ниобий марки ВН-3 ГОСТ 16100-79 [2], стойкость к анодному растворению которого обеспечивается за счет образования пассивной оксидной пленки (Nb_2O_5) в условиях воздействия агрессивной среды (концентрированные водные растворы нейтральных солей). Однако, данный материал является довольно пластичным, что негативно сказывается как

на его работоспособности (смятие), так и на обрабатываемости резанием (наростообразование на поверхности инструмента, «засаливание» шлифовальных кругов). Твёрдость ниобия составляет 75 НВ, что существенно ниже твердости материалов, применяемых для изготовления лопаток ГТД (270-360 НВ). Невысокая твердость элементов базирования в ряде случаев приводит к их повреждению (смятию) силами закрепления, что приводит к необходимости их периодической диагностики, замены и переналадки оборудования. Низкая стойкость данного материала и при этом высокая стоимость ведет к удорожанию стоимости выполнения операции ЭХО. При этом необходимо отметить, что применения специального оборудования для изготовления элементов оснастки из ниобия не требуется, достаточно имеющегося универсального оборудования. Технологический процесс изготовления элементов базирования включает в себя операции точения и шлифования. Очевидно, что ниобий не полностью соответствует ТТ на материалы элементов базирования, сформулированным выше, однако, в виду своих свойств, а именно склонности к образованию защитной окисной пленки, ниобий получил широкое распространение при изготовлении оснастки для ЭХО за неимением альтернативы.

Проведенный анализ литературных источников [3-6] позволил выделить три основных направления поиска оптимальных материалов для изготовления элементов базирования на операциях ЭХО:

1. Материалы высокой твердости (керамика, лейкосапфиры).

Горячепрессованная нитридная керамика, выбранная в качестве потенциального материала для изготовления элементов базирования, представляет собой смесь оксида алюминия Al_2O_3 и нитрида титана TiN. Основными преимуществами данного материала являются:

- низкая электрическая проводимость, за счет чего достигается большая стойкость к химическому и электрохимическому растворению;

- высокая твердость (>400 НВ), значительно превышающая твердость заготовок изготавливаемых лопаток ГТД, что обуславливает отсутствие деформаций и малый износ элементов в процессе эксплуатации приспособления;

- достаточная технологичность (керамика позволяет получать элементы базирования путем прессования исходных порошковых смесей в горячем состоянии с последующим шлифованием заготовок до получения чертежных размеров).

Лейкосапфир – разновидность керамики, обладающая, помимо всего прочего, наибольшими стойкими характеристиками при приложении ударных нагрузок. Основным недостатком данного материала является низкий коэффициент обрабатываемости резанием. Основным методом получения деталей из сапфира является многопроходное шлифование, отличающееся низкой производительностью, снижение трудоемкости возможно при расширении допусков на элементы базирования в 1,2-1,5 раза, однако это приведет к необходимости подгонки изоляционных втулок или корпусов для элементов базирования непосредственно по изготовленному элементу. Стоимость изготовления заготовок и последующей обработки лейкосапфиров, а также необходимость последующей подгонки других элементов оснастки по месту делает ее применение нецелесообразным.

2. Пластмасса и ее производные (конструкционные пластмассы).

Конструкционные пластмассы – полимерные материалы, используемые для производства деталей машин, подверженных воздействию агрессивных сред, в частности, концентрированных солевых растворов (крепежные элементы, корпусные детали, направляющие, втулки подшипников и другие). Основными особенностями конструкционных пластмасс является химическая стойкость и инертность, гидрофобность (что обуславливает удобство очистки от электролита), высокая технологичность, низкая стоимость материала. Для изготовления опытных образцов элементов базирования была выбрана пластмасса марки Victrex 450 GL 30. Предварительные испытания показали недопустимую величину смятия элементов базирования, выполненных из пластмассы, что объясняется её малой твердостью.

3. Получение стойких оксидных пленок на элементах базирования из металлических материалов (титановые сплавы).

Элементы базирования, изготовленные непосредственно из титановых сплавов, показывают определённую стойкость к растравливанию, однако значительно меньшую, чем та, которая требуется для серийного производства лопаток.

Неоспоримым преимуществом данного материала является доступность, в том числе возможность использования отходов титана, образующихся при производстве авиационных двигателей, а также высокие механические характеристики.

Для защиты поверхности титановых базирующих элементов предпринимались попытки целенаправленного получения окисных пленок на титановых сплавах марок ВТЗ, ВТ9, ВТ20, ВТ22. Практические данные показали факт образования наиболее стабильных и стойких к разрушению окисных пленок на титановом сплаве марки ВТЗ.

По результатам выполненного анализа, сравнительные испытания для определения корректирующего материала для изготовления элементов базирования лопаток на операции ЭХО проводились для 3 материалов:

- ниобий (используемый в настоящее время);
- нитридная керамика ($Al_2O_3 + TiN$);
- оксидированный титан ВТЗ.

Целью испытаний была проверка работоспособности выбранных материалов в качестве элементов базирования и отсеивание материалов, показавших низкую стойкость. Во время испытаний изготовление лопаток выполнялось до наступления предельного (неработоспособного) состояния базирующих элементов. Испытания приводились для трёх комплектов базирующих элементов, после чего установленные показатели стойкости каждого материала были усреднены.

Наиболее высокие показатели стойкости были достигнуты для элементов из оксидированного (выдержанного 12 часов при температуре 700 – 800 °С) титанового сплава ВТЗ. Таким образом, оптимальным материалом для изготовления элементов базирования лопаток на операции электрохимической обработки пера является оксидированный титановый сплав ВТЗ.

Выводы

В результате проведения исследовательских испытаний по электрохимической обработке лопаток с осциллирующими электродами – инструментами были рассмотрены особенности данного процесса, определены оптимальные параметры процесса электрохимической обработки лопаток из титановых сплавов, обеспечивающих достижение заданных в конструкторской документации параметров качества лопатки, при обеспечении максимальной производительности.

Рассмотренные в работе технологические приемы, в частности использование вибрирующих электродов – инструментов и использования элементов базирования из высокопрочных материалов существенно расширяют возможности данного метода.

Литература

1. Елисеев, Ю. С. и др. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей [Текст] / Елисеев Ю. С., Крымов В. В., Митрофанов А. А., Саушкин Б. П. ; Под ред. Саушкина Б. П. – М. : Дрофа, 2002, – 655 с.
2. Лившиц, А. Л., Кравец А. Т., Рогачев И. С. и др. Электроимпульсная обработка металлов [Текст] / Под ред. А. Л. Лившица. – СПб : Лет Ме Принт, 2013. – 156 с.
3. Орлов, В. Ф., Чугунов Б. И. Электрохимическое формообразование [Текст] / В. Ф. Орлов, Б. И. Чугунов. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.
4. Елисеев, Ю. С. и др. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей Ю.С. Елисеев, А.Г. Бойцов, В.В. Крымов. Л.А. Хворостухин – М. : Машиностроение, 2003. – 512 с.
5. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей. Часть первая [Текст] / В. Ф. Безъязычный, В. А. Полетаев, Т. Д. Кожина и др. Под ред. В. Ф. Безъязычного, В. Н. Крылова. – М. : Машиностроение, 2012. – 560 с.
6. Полетаев, В. А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / В. А. Полетаев – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с.
7. Смирнов, В. Г. Проектирование технологии окончательной электрохимической обработки лопаток газотурбинных двигателей с учетом технологической наследственности [Текст] : Вестник самарского государственного аэрокосмического университета. / В. Г. Смирнов – Самара, 2007.
8. Хамзина, А. Р. Совершенствование технологии электрохимической обработки деталей ГТД для улучшения качества поверхностного слоя и стойкости к высокотемпературной газовой коррозии [Текст] : дис. канд. техн. наук: 05.02.08. / А. Р. Хамзина. : – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2010.
9. Смоленцев, Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки [Текст] : научное издание. / Е. В. Смоленцев. – М. : Машиностроение, 2005. – 511 с.
10. Современные электрохимические технологии [Текст] : сборник статей по материалам Всероссийской конференции СЭХТ–2002. – Саратов : СГТУ, 2002. – 248 с.

11. Кожина Т.Д., Курочкин А.В. Особенности проведения исследовательских испытаний по электрохимической обработке с осциллирующими электродами // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева. – 2015. – №1(32). – С. 89 – 93.
12. Кожина Т.Д., Курочкин А.В. Корригирование материалов для изготовления элементов базирования для операции ЭХО лопаток компрессора ГТД с целью поддержания их рохрематического цикла изготовления // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева. – 2014. – №4(31). – С. 75 – 79.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА НАПЛАВКИ ТЕПЛОСТОЙКИМИ СТАЛЯМИ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев, А.П. Ковалев*, Серикбол А. **

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652000, Кемеровская обл. г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-61.*

E-mail: valuevden@rambler.ru

**ОАО ЕвразСМК г. Новокузнецк*

E-mail : nmalushin@mail.ru

Для упрочнения деталей горно-металлургического оборудования широко применяются наплавочные материалы, разработанные на базе хромовольфрамовых теплостойких быстрорежущих сталей. Этими материалами наплавляют валки горячей прокатки, втулки и матрицы прессов, керны клещевых кранов, вырубные штампы, ножи ножниц, протяжки, развертки, резцы, ролики рольгангов, разнообразные валы и оси, моталки прокатных станов, детали молотковых дробилок и другие детали [1,2].

Основной трудностью, возникающей при наплавке хромовольфрамовыми сталями, является образование холодных (закалочных) трещин в процессе и после наплавки. Образование трещин затрудняется при повышении температуры мартенситного превращения и замедлении скорости охлаждения. Наиболее простой и эффективный способ борьбы с трещинами заключается в регулировании термического цикла путем выбора соответствующих методов и режимов наплавки, а также использования в необходимых случаях предварительного подогрева.

Температура подогрева деталей под наплавку зависит от многих факторов: состава основного и наплавляемого металла, формы детали, режима наплавки и требуемых свойств наплавленного металла. Чем больше склонность наплавленного металла к образованию трещин, тем выше должна быть температура предварительного подогрева, так как считается, что предупредить образование трещин другим путем невозможно. Для предупреждения трещин, снижения внутренних напряжений и получения достаточно пластичной структуры наплавленного металла применяют обязательный предварительный подогрев деталей до температуры 350–400 °С при наплавке высоколегированной электродной проволокой ПП–3Х2В8 или цельнотянутой ЭИ–701. Для устранения трещин при наплавке быстрорежущих сталей необходим предварительный и сопутствующий подогрев заготовок уже до температуры 500–700 °С [1,2].

Цель работы - обоснование выбора способа наплавки и оборудования для упрочнения деталей горно - металлургического оборудования теплостойкими сталями высокой твердости.

Традиционная технология изготовления биметаллических изделий (наплавка с подогревом – отжиг – закалка – отпуск) неоправданно продолжительна и трудоёмка. Существенным недостатком технологии является обязательное применение высокотемпературного подогрева ($T_{\text{подогрева}}=350\text{--}700^{\circ}\text{C}$), замедленного охлаждения и, как следствие, последующей закалки наплавленной детали, при этом высокие эксплуатационные свойства закаливаемых сталей используются не полностью. Применение высокотемпературного подогрева при наплавке хромовольфрамовых сталей значительно усложняет технологический процесс получения биметаллического наплавленного изделия. Увеличиваются затраты на наплавку за счёт необходимости нагрева и поддержания высокой температуры. Процесс наплавки за счет применения высокотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева и замедленного охлаждения значительно удлиняется. Рекомендованное для предотвращения холодных трещин замедленное охлаждение детали вызывает необходимость проведения последующей закалки биметаллического изделия, что само по себе, является сложной задачей из-за различных свойств наплавленного высоколегированного слоя и низколегированной сердцевины. Закалка некоторых крупногабаритных деталей практически не осуществима. Существующие техноло-

гические процессы наплавки инструментальных сталей не позволяют достаточно полно использовать свойства металла наплавленного слоя [1-3].

Поэтому актуальной является задача разработки и создания новых способов наплавки хромовольфрамовых сталей, позволяющих устранить отмеченные недостатки традиционной технологии и полностью использовать высокую твердость и износостойкость, заложенные металлургами и металловедцами при их создании. Целесообразно процессы наплавки и закалки совместить, что позволяет получать наплавленный слой в состоянии, близком к закаленному. Необходимо также исключить высокотемпературный подогрев или хотя бы снизить его температуру, применив новые способы борьбы с холодными трещинами.

Получить наплавленный металл, обладающий высокой стойкостью против образования холодных трещин и высокими механическими свойствами сразу же после окончания наплавки, можно путем регулирования термического цикла наплавки. Предлагаемый термический цикл для многослойной наплавки хромовольфрамовых закаливающих сталей показан на рисунке 1.

Особенность этого термического цикла заключается в трех стадиях термического нагрева. Первая обеспечивает ограниченное время нагрева и повышенную скорость охлаждения в области высоких температур, что предотвращает рост зерна и распад аустенита с образованием равновесных низкопрочных структур.

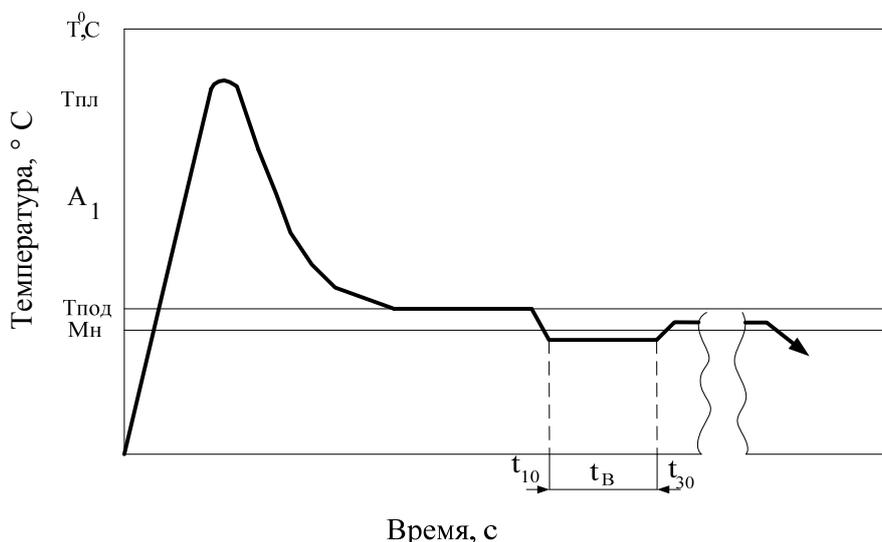


Рис. 1. Схема термического цикла при наплавке теплостойкими сталями

Первая стадия термического цикла обеспечивается применением высококонцентрированных источников нагрева (сжатой или плазменной дугой) и сопутствующего охлаждения наплавляемой детали. Вторая стадия термического цикла обеспечивает нахождение наплавленного металла в аустенитном состоянии при выполнении всех слоев в процессе наплавки. Это достигается путем применения предварительного подогрева на 50–100 °C выше температуры возникновения аномальной пластичности. Охлаждение наплавленной детали на третьей стадии термического цикла после окончания наплавки вызывает протекание фазовых превращений в хромовольфрамовом наплавленном металле, сопровождающихся возникновением аномальной пластичности (сверхпластичности). При этом внутренние временные напряжения в наплавленном изделии частично релаксируются, что позволяет получить наплавленный металл с низким уровнем остаточных напряжений, а, следовательно, с низкой склонностью к образованию холодных трещин [3-5].

Охлаждение наплавленного металла после завершения процесса приводит к образованию мартенсита. При этом отпадает необходимость проведения закалки наплавленной детали для увеличения прочности, твердости и износостойкости. Исключается необходимость проведения последующей сложной термической обработки наплавленной детали (отжиг – закалка – отпуск). В предлагаемом способе для увеличения твердости и износостойкости необходимо произвести только одну дополнительную операцию – высокотемпературный отпуск наплавленной детали.

Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин нами предлагается регулировать уровень временных напряжений в процессе наплавки. Такое регулирование можно осуществить временным снижением температуры подогрева на 20–100 °С ниже температуры начала фазовых превращений. Это позволяет снизить уровень временных напряжений за счет их частичной релаксации при фазовых превращениях, сопровождающихся возникновением аномальной пластичности. Величина уменьшения температуры подогрева зависит от необходимого уровня снижения временных напряжений, получения структуры наплавленного металла с определенным количеством аустенита и мартенсита и интервала фазовых превращений. Желательно образование в структуре незначительного количества мартенсита. После частичной релаксации временных напряжений температуру подогрева необходимо повысить. После завершения процесса наплавки деталь необходимо охладить до температуры окончания фазовых превращений (по третьей стадии термического цикла).

Предложенный способ эффективен при наплавке быстрорежущих хромовольфрамовых сталей, обладающих низко расположенными температурами начала фазовых превращений ($M_n=180^\circ - 380^\circ\text{C}$). Это позволяет значительно понизить температуру предварительного подогрева для стали Р18 с 500–600 °С до 230–280 °С и даже до 80–160 °С в предлагаемом способе, что уже само по себе упрощает технологию наплавки хромовольфрамовых сталей. Способ наплавки закаливаемых сталей обеспечивает высокую стойкость наплавленного металла против образования закалочных трещин и получение высокой твердости и износостойкости закаленного в процессе наплавки слоя. Типичная структура наплавленного металла после многослойной плазменной наплавки и высокотемпературного отпуска приведена на рисунке 2 (микроскоп - OLYPUSGX – 51, раствор для травления HNO_3 , 3% спиртовой раствор)[3-5].

В работе исследовано влияние термической обработки на твердость и фазовый состав наплавленных быстрорежущих сталей типа Р18 и Р6М5. В качестве основного металла выбрана сталь 30ХГСА, обладающая высоким комплексом механических свойств.

Наплавка заготовки осуществлялась на установке для плазменной наплавки тел вращения. Валки наплавливали плазменной дугой с подачей в сварочную ванну нетоковедущей присадочной порошковой проволоки ПП-Р18Ю и ПП-Р6М5Ю. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон, защитного – азот. Плазменная наплавка осуществлялась по термическому циклу, представленному на рисунке 1.

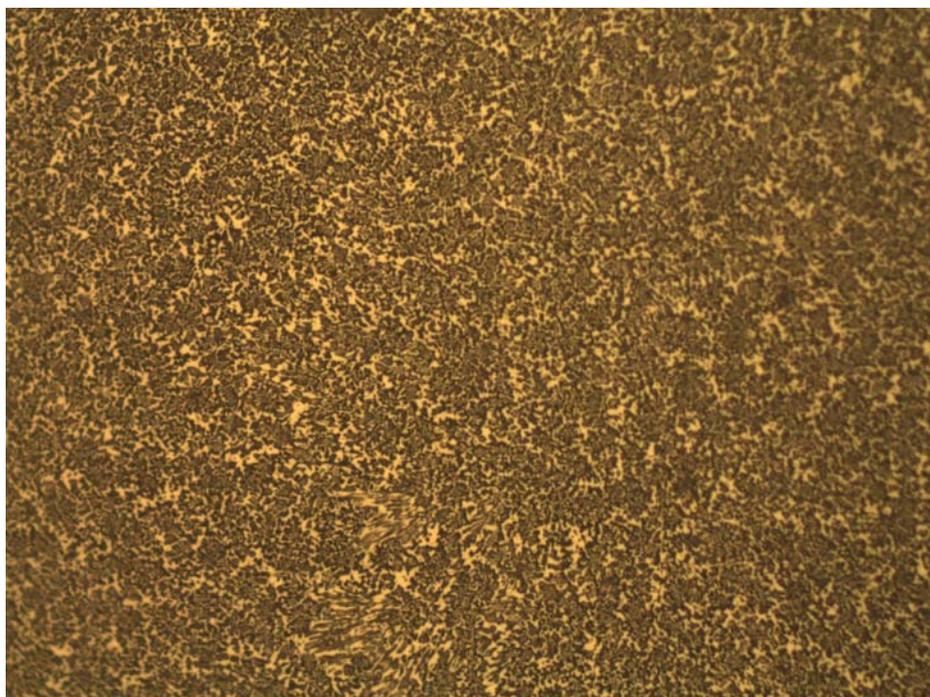


Рис. 2. Структура наплавленного металла после многослойной плазменной наплавки и высокотемпературного отпуска, x500

Заготовка с припусками под наплавку 10–12 мм на сторону устанавливалась в центрах наплавочной установки, производился предварительный подогрев до температуры 230 °С, включалось охлаждение шеек валка с расходом холодной воды до 2 л/мин. После завершения подготовительных операций производилась 5–6-ти слойная наплавка. Режим наплавки рабочих валков диаметром 100 мм и длиной бочки 315 мм: сварочный ток $I_{св}=150\dots160$ А, напряжение дуги $U_{д}=50\dots55$ В, скорость наплавки $v_{н}=18$ м/ч, скорость подачи порошковой проволоки $v_{п.пр.}=60$ м/ч, смещение с зенита 10...12 мм, длина дуги $l_{д}=20$ мм, расход защитного газа азота $Q_{заш. N}=20\dots22$ л/мин, расход плазмообразующего газа аргона $Q_{плазм. Ar}=6\dots8$ л/мин., диаметр проволоки 3, 7 мм. Продолжительность наплавки 3 часа, после окончания наплавки валок охлаждался на воздухе.

Дефекты наплавки при визуальном осмотре и ультразвуковом контроле валков не обнаружены. Качество наплавленной поверхности удовлетворительное. Твердость наплавленного металла после наплавки составляет HRC 54–58. Для увеличения твердости и износостойкости проводился 4–х кратный часовой отпуск при 580 °С. Твердость наплавленных валков после высокотемпературного отпуска соответствует требованиям, предъявляемым к поверхностному слою рабочих валков холодной прокатки. После отпуска проводилась окончательная механическая обработка.

Из верхних слоев наплавленного металла вырезались образцы размером 70x10x5 мм на станке электроискровой резки для каждой марки стали. Половина образцов от партии подвергались термической обработке, режимы которой в случае наплавленных образцов выбирались из рекомендаций для близких по составу кованных сталей P18 и P6M5.

Состояние металла после наплавки, а также после наплавки и термической обработки оценивали по результатам рентгеноструктурного и физико-химического фазового анализов. Физико-химический анализ проводится для изучения распределения и карбидообразующих элементов между твердым раствором и карбонитридной фазой. Образцы подвергались предварительно анодному растворению с поверхности для устранения измененного слоя после электроискровой резки и шлифования. Физико-химическое изолирование карбонитридной фазы проводилось в 15 %-ном водном растворе поваренной соли и 2,5 % винной кислоты. Плотность тока составляла 0,03–0,06 А/см², время электролиза 30–40 мин. Содержание карбидообразующих элементов в карбонитридной фазе определялось по отношению к навеске растворенного металла. Фазовый состав наплавленных быстрорежущих сталей типа P18 (а, б) и P6M5 (в, г) показан на рисунке 3[3,6].

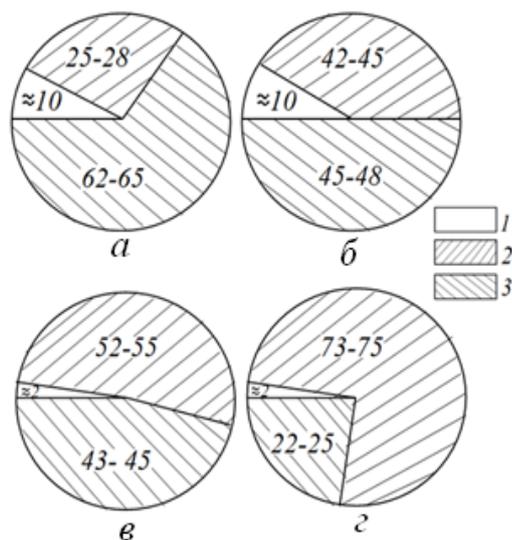


Рис. 3. Фазовый состав наплавленных быстрорежущих сталей типа P18 (а, б) и P6M5 (в, г): а, в – термически необработанные; б, г – после отжига и закалки; 1 – карбонитрид $M_6(CN)$; 2 – мартенсит; 3 – остаточный аустенит

В быстрорежущих сталях возможно образование карбидов типа M_6C , $M_{23}C_6$, M_2C , MC , а в сталях с азотом также нитридов и карбонитридов. Рентгеноструктурный анализ показал, что основной составляющей анодного осадка является фаза, изоморфная карбиду M_6C . В анодном осадке присут-

ствуют также в малом количестве $M_{23}C_6$ и следы M_2C . Содержание $M_{23}C_6$ в наплавленных термически необработанных сталях несколько больше, чем в закаленных.

Твёрдость металла после наплавки по данному способу приближается к твёрдости закаленных сталей (HRC 52–58). За счёт высокого температурного отпуска твёрдость можно повысить до HRC 62–66. Наплавка по предложенному способу позволяет полностью использовать свойства наплавленного металла.

Основой выбора в качестве способа упрочнения плазменной наплавки является возможность реализации предложенной схемы термического цикла.

Плазменная наплавка в последние годы вызывает повышенный интерес среди способов упрочнения и активно внедряется в различные отрасли промышленности и в настоящее время выходит на одно из ведущих мест. Резкое расширение объема и областей применения плазменной наплавки за последние годы обусловлено повышением качества упрочненных деталей и их высокой эксплуатационной стойкостью. Повышение интереса в нашей стране и зарубежом к плазменной наплавке как способу нанесения износостойких покрытий с целью упрочнения новых и восстановления изношенных деталей объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: такими как высокая производительность, широкая возможность легирования наплавленного металла, возможность применения различных наплавочных металлов, большой диапазон регулирования ввода теплоты в основной и наплавляемый металлы, пригодность плазменной наплавки к автоматизации с применением электронной системы регулирования плазменного процесса. Перечисленные положительные стороны способов плазменной наплавки не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения первоначальных физико-механических свойств при меньшем количестве наплавленного металла [3].

Распределение теплового потока в пятне нагрева сжатой (плазменной) дуги во многом определяет ее технологические особенности и область применения. Если вдали от источника тепла температурное поле в изделии не зависит от характера распределения теплового потока, то на расстояниях, соизмеримых с размерами пятна нагрева, распределение теплового потока существенно влияет на температурное поле, определяя геометрию наплавляемого валика, глубину проплавления основного металла, величину зоны структурных превращений. При наплавке в этой области развиваются процессы, изменяющие свойства основного и направленного металла у зоны оплавления и в значительной степени влияющие на кристаллизацию наплавленного металла, диффузионные процессы, образование прослоек, рост зерна аустенита.

Большое влияние на технологические возможности процесса наплавки оказывает полярность сжатой дуги. Прямая полярность обуславливает низкую тепловую нагрузку на электрод плазматрона, высокую пространственную устойчивость столба дуги, но при этом для получения хорошего смачивания поверхности изделия наплавляемым металлом и отсутствия в нем дефектов необходима тщательная подготовка поверхности изделия под наплавку. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки операции по предварительной очистке поверхности изделия. Очистка наплавляемой поверхности от загрязнений происходит в этом случае непосредственно в процессе наплавки за счет эффекта катодного распыления, и тем самым обеспечиваются необходимые условия смачиваемости поверхности изделия наплавляемым металлом и бездефектное формирование наплавленного слоя. При наплавке на обратной полярности достигается и меньшее разбавление наплавляемого металла основным. Особенностью сжатой дуги, как источника тепла, является то, что ее тепловые и газодинамические характеристики могут легко регулироваться в широких пределах. Это обеспечивает решение многих технологических задач по восстановлению и упрочнению деталей машин и инструмента, приданию им особых эксплуатационных свойств [2,3].

В разработанных в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) технологических процессах изготовления деталей горно-металлургического оборудования в качестве способа нанесения активного рабочего слоя предлагается использовать плазменную наплавку, кото-

рая позволяет реализовать на практике первую стадию термического цикла, положенного в основу разработанного способа наплавки.

Объемы применения плазменной наплавки для восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей машин и инструмента сегодня во многом определяются наличием соответствующего оборудования. В стране серийно выпускается несколько типов установок для плазменной наплавки, с использованием которых можно выполнить наплавку по различным схемам, но при этом большую долю составляют установки для плазменно-порошковой наплавки. Для плазменной наплавки, с использованием проволок выпускаются установки УД-417 и УПН-302. В общем случае, для реализации принятого процесса плазменной наплавки комплект оборудования, входящего в наплавочную установку, должен обеспечивать выполнение следующих основных операций: возбуждение и длительное стабильное функционирование сжатой дуги на заданных режимах; перемещение сжатой дуги относительно наплавляемой поверхности по требуемой траектории; строго дозированная подача наплавочного материала.

В СибГИУ разработана и успешно применяется установка для плазменной наплавки деталей горно - металлургического оборудования, скомпонованная из серийно выпускаемого оборудования. Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой была использована установка, состоящая из манипулятора, задней бабки, модернизированного аппарата А-384 и пульта управления. Источником питания служит выпрямитель аппарата АПР-401У4. В качестве плазмотрона использован плазмотрон, разработанный сотрудниками университета и успешно зарекомендовавший себя в эксплуатации [3]. Из серийно выпускаемого оборудования достаточно легко модернизируется для плазменной наплавки нетоковедущими порошковыми проволоками установка УД-417.

Выводы

1. Традиционная технология наплавки хромовольфрамowych сталей с высокотемпературным подогревом и замедленным охлаждением трудоемка и недостаточно эффективна и не позволяет полностью использовать высокие эксплуатационные свойства наплавленного металла.

2. Разработан способ многослойной наплавки, основой которого является соблюдение определенного термического цикла. Особенностью предложенного способа наплавки является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{под} = 230 - 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки путем их частичной релаксации за счет проявления эффекта кинетической пластичности в момент протекания мартенситного или бейнитного превращений.

3. В качестве технологического способа, реализующего предложенную схему наплавки, выбрана плазменная наплавка нетоковедущей порошковой проволокой на обратной полярности в среде азота и разработано специальное оборудование (установка и плазмотрон).

Литература.

1. Малущин Н. Н. , Валуев Д. В. Испытание деталей металлургического оборудования на износостойкость и контактную прочность предназначенного для производства деталей горно-шахтного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012 - №. 12 - С. 90-95
2. Малущин Н. Н. , Валуев Д. В. Устройства и термический цикл при плазменной наплавке деталей металлургического оборудования быстрорежущими теплостойкими сталями // Russian journal of Earth Sciences. - 2013 - №. 4. - С. 4-13
3. Малущин Н.Н. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями / Н.Н. Малущин, Д.В. Валуев - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 358 с.
4. Малущин Н.Н., Вострецова Т.Г. Регулируемый термический цикл для плазменной наплавки прокатных валков теплостойкими сталями // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. №3. С.14 – 16.
5. Малущин Н.Н. Наплавка с низкотемпературным подогревом теплостойкими сталями деталей металлургического оборудования/Н.Н. Малущин, В.Л. Осетковский, И.В. Осетковский//Заготовительные производства в машиностроении, 2014, №10, С.6–10.
6. Малущин Н. Н. , Валуев Д. В. Азотирование наплавленных деталей металлургического оборудования // Технология металлов. - 2013 - №. 7. - С. 26-28

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ
НАПЛАВКИ В СРЕДЕ АЗОТА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ВЫСОКОЙ
ТВЕРДОСТИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНО - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев, А.П. Ковалев*, Серикбол А. **

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-61*

E-mail: valuevden@rambler.ru

**ОАОЕвразЗСМК г. Новокузнецк*

E-mail : nmalushin@mail.ru

Многие детали горно- металлургического оборудования эксплуатируются в сложных напряженных и температурных условиях, подвергаясь воздействию постоянных и циклически изменяющихся температур и нагрузок. Исходя из особенностей поведения сталей и сплавов при высоких температурах и при переменном тепловом режиме, можно наметить общие требования, которые целесообразно предъявлять к активному слою наплавленных деталей горно - металлургического оборудования: высокая твердость и износостойкость при нормальных и повышенных температурах, сочетающаяся с вязкостью, статической и усталостной прочностью; высокая термостойкость: наплавленный металл должен хорошо сопротивляться образованию трещин разгара при циклическом изменении температур, в ряде случаев сопротивляемость формоизменению также играет существенную роль; достаточную прочность и пластичность при повышенных температурах; минимальную склонность к старению и тепловой хрупкости; высокое расположение критических точек: это связано с опасностью многократных $\alpha \rightarrow \gamma$ и особенно $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений при нагреве и охлаждении; удовлетворительную теплопроводность, обеспечивающую быстрый отвод тепла от контактной зоны во внутренние слои детали; достаточно высокую коррозионную стойкость при воздействии высокотемпературной газовой среды; минимальное содержание дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов. Применительно к наплавке только активного рабочего слоя последнее требование не имеет решающего значения [1].

Наиболее полно этим требованиям отвечают ставшие традиционными наплавочными материалами штамповые хромовольфрамовые теплостойкие и быстрорежущие стали. Кроме штамповых и быстрорежущих сталей находят применение при наплавке деталей горно- металлургического оборудования и другие материалы: хромистые стали, высокохромистые чугуны, кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом.

Для упрочнения деталей машин горно- металлургического комплекса широко применяются в качестве наплавочных материалов хромовольфрамовые теплостойкие быстрорежущие стали типа Р18, Р6М5, Р9, Р2М8, 3Х2В8, 3Х2В4Ф, Х10В14, 25Х5ФМС, и др. Эти стали обладают наряду с высокими служебными свойствами неудовлетворительной свариваемостью. Обычно для предотвращения образования холодных трещин традиционная технология наплавки предусматривает обязательное применение высокотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева с температурой подогрева $T_{\text{подравной}} 400-700$ °С и замедленного охлаждения изделия. При этом происходит образование пластичных продуктов распада аустенита, обладающих низкой твердостью и износостойкостью, что в свою очередь вызывает необходимость проведения сложной термической обработки. В процессе термообработки биметаллического изделия не всегда удается полностью использовать свойства высоколегированного металла и обеспечить его максимальную твердость [1].

Одним из технологических приемов регулирования величины и характера распределения напряжений, а, следовательно, величины и направления деформации, возникающей при закалке инструментальных быстрорежущих сталей, является использование эффекта кинетической пластичности при $\gamma \rightarrow \alpha$ мартенситном превращении. В разработанных в Сибирском государственном индустриальном университете способах наплавки теплостойкими сталями высокой твердости для предотвращения образования холодных трещин предложено использовать эффект кинетической пластичности («сверхпластичности»). Проявление эффекта кинетической пластичности в процессе мартенситного или бейнитного превращения было отмечено при исследованиях свойств наплавленного теплостойкими сталями высокой твердости металла на установках тепловой микроскопии типа ИМАШ. Результаты исследования показали, что в инструментальных закаливающихся сталях наблюдается эффект повышенной пластичности в момент протекания мартенситного превращения. На

основе эффекта сверхпластичности разработаны способы плазменной наплавки, для которых необходимы специальные наплавочные материалы [2,3].

Цель работы - разработка и исследование наплавочных материалов для плазменной наплавки на обратной полярности в среде азота деталей горно - металлургического оборудования на основе теплостойких сталей высокой твердости.

Стойкость металла против образования холодных трещин можно в определенных пределах изменять, регулируя нарастание в нем при охлаждении временных сварочных напряжений. Наиболее простой и надежный способ такого регулирования состоит в выборе химического состава наплавленного металла, которым определяется коэффициент линейного расширения, характер и объемный эффект структурных превращений. Эти факторы оказывают существенное влияние на развитие временных напряжений в процессе наплавки.

При исследовании эффекта кинетической пластичности стали P18 отмечено, что степень легирования оказывает известное влияние на релаксацию временных напряжений. Высказывалось предположение о возможности регулирования величины остаточных напряжений путём смещения кривой формирования временных напряжений в область более низких температур за счёт соответствующего легирования наплавленного металла. Тогда временные напряжения, накопившиеся при охлаждении металла в аустенитной области, в основном релаксируются в интервале мартенситного превращения и не получают дальнейшего развития при охлаждении до комнатной температуры T_k [2].

Ниже изложены результаты исследования влияния легирования на формирование временных напряжений в наплавленном металле с целью поисков путей уменьшения величины остаточных напряжений, а, следовательно, и снижения вероятности образования холодных трещин. Эксперименты проводились на образцах из наплавленного металла типа 3X2B8, дополнительно легированного углеродом, хромом, вольфрамом, алюминием, путём соответствующего изменения химического состава порошковой проволоки.

Исследование влияния эффекта кинетической пластичности на характер формирования временных и остаточных напряжений при охлаждении образцов из теплостойких сталей производили на установке тепловой микроскопии ИМАШ-5С-69. Образцы, имеющие форму двусторонней «лопаточки» с рабочим сечением 9 мм^2 и длиной рабочей части 46 мм, изготавливали из теплостойких сталей высокой твердости.

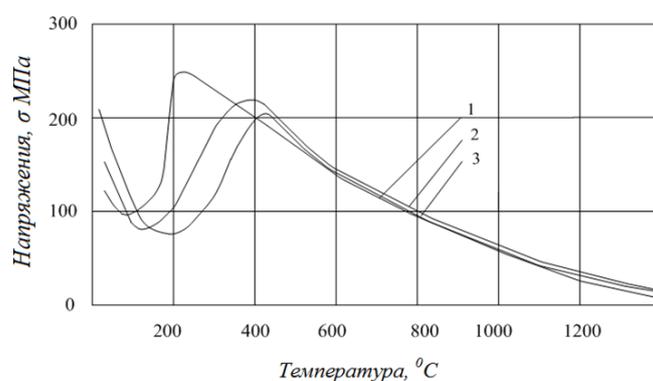
Проявление эффекта кинетической пластичности оценивали по снижению временных напряжений в процессе охлаждения жестко закрепленных образцов в интервале мартенситного превращения. Закрепление осуществляли с помощью электромеханического привода системы нагружения установки. Образцы нагревали в вакууме $5 \times 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$ за счет тепла, выделенного при протекании электрического тока. Нагрев производили до температуры $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, обеспечивающей высокую степень растворения карбидной фазы в аустените. После нагрева и выдержки образцы жестко закрепляли для сохранения постоянства его длины при последующем охлаждении. Условия нагрева и охлаждения имитировали сварочный термический цикл. Неизменность длины обуславливала соответствующий рост упругопластической деформации образца при охлаждении. Напряжения в образцах в процессе охлаждения непрерывно измеряли с помощью тензометрических датчиков с точностью $\pm 1,5 \%$. Температуру определяли платина – платинородиевой термопарой, приваренной к средней части образца. Кинетика формирования временных напряжений в жестко закрепленных образцах в зависимости от температуры непосредственно фиксировалась на двухкоординатном потенциометре типа ПДП-4.

На рисунке 1 представлены данные об изменении временных термических напряжений в жестко закрепленных образцах из наплавленного металла типа сталей 3X2B8, 4X4B10Ю и P18Ю, состав которого приведен в таблице 1. Из данных рисунка 1 кривая 1 видно, что при охлаждении образцов из стали P18Ю с температуры $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается эффект кинетической пластичности при фазовом превращении, который проявляется в снижении временных напряжений в интервале мартенситных температур. Максимум напряжений на кривой формирования временных напряжений в стали составляет $\sim 240 \text{ }^\circ\text{C}$, что довольно близко температуре начала мартенситного превращения стали P18 при её закалке с температуры нагрева $T_n = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, а минимум $100 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствует таким температурам, лежащим выше температуре конца мартенситного превращения $M_k^{усл}$ ($M_k^{усл} > M_k$), когда степень превращения уже достаточно велика, и за счет образования прочного «каркаса» из многочисленных мартенситных кристаллов возрастает предел текучести, а пластичность сплава начинает уменьшаться. Из данных рисунка 1 видно, что в интервале мартенситного превращения временные напряжения снижаются в полтора–два раза по сравнению с величиной напряжений, накопившихся в аустенитной области.

При дальнейшем охлаждении ниже температуры $M_{\kappa}^{усл}$ напряжения возрастают до 120–180 МПа за счет некоторого увеличения количества мартенсита. Результаты исследования показали, что в инструментальных закаливающихся сталях наблюдается эффект повышенной пластичности в момент протекания мартенситного превращения.

При этом остаточные напряжения в образцах из металла типа 3Х2В8 составляют 200 МПа против 100 МПа у образцов из металла типа 4Х4В10Ю. Это можно объяснить смещением положения кривой формирования временных напряжений у сплава 4Х4В10Ю в область более низких температур, что является следствием дополнительного легирования наплавленного металла углеродом, хромом и алюминием.

Дальнейшее увеличение концентрации углерода и вольфрама в наплавленном металле типа Р18Ю привело к смещению температурного интервала $M_{\kappa} - M_{\kappa}^{усл}$ в область ещё более низких температур. Временные напряжения после релаксации в области мартенситного превращения не получили существенного развития, и остаточные напряжения в наплавленном металле Р18 оказались ещё ниже, чем в металле типа 4Х4В10Ю.



$T_n = 1200^{\circ}\text{C}$; 1 – Р18Ю; 2 – 4Х4В10Ю; 3 – 3Х2В8

Рис. 1. Влияние комплексного легирования на формирование временных напряжений в металле

Таблица 1

Химический состав исследованных сталей

Наплавленный металл	Содержание элементов, в %					
	С	Si	Mn	Cr	W	Al
3Х2В8	0,35	0,8	0,9	2,5	8,5	
4Х4В10Ю	0,42	0,8	0,9	3,78	9,2	0,44
Р18Ю	0,82	0,25	0,21	4,1	18	0,68

Совместное легирование наплавленного металла углеродом, хромом, вольфрамом и алюминием способствует сохранению более мелкого аустенитного зерна, поэтому у более легированного наплавленного металла типа Р18Ю мартенсит намного дисперснее мартенсита стали 3Х2В8. От степени дисперсности мартенсита зависит полнота использования мартенситного превращения в качестве механизма релаксации внутренних пиковых напряжений. Вероятно, этим же объясняется большая степень релаксации временных напряжений стали Р18. Характерно, что за счет малой величины температурного интервала $M_{\kappa}^{усл} - T_{\kappa}$, временные напряжения не успевают получить существенного развития, и при комнатной температуре в образцах из наплавленного металла Р18Ю зафиксирован самый низкий уровень остаточных напряжений[2].

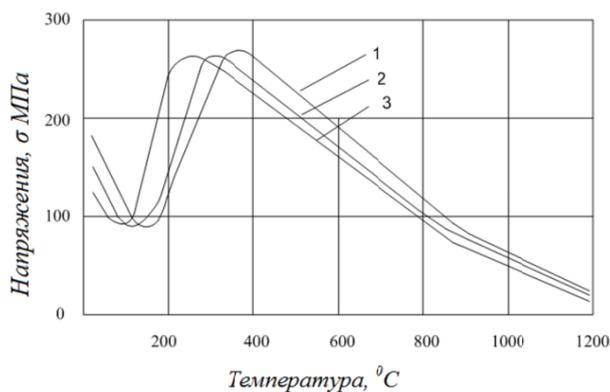
Как показали проведенные исследования, наплавленный металл типа стали Р18Ю обладает достаточно высокой твердостью. Поэтому, решив задачу предотвращения холодных трещин путем дополнительного легирования стали Р18Ю, можно рекомендовать её в качестве наплавленного материала для разработанных способов. Для подтверждения правильности вывода о том, что соответствующим легированием наплавленного металла можно регулировать уровень остаточных напряжений, а, следовательно, вероятность образования холодных трещин, наплавленный металл типа Р18Ю дополнительно легировали кобальтом и никелем. На рисунке 2 представлены данные о влиянии легирования кобальтом на смещение интервала мартенситного превращения и формирование временных напряжений в образцах из наплавленного металла типа Р18Ю. Как известно, легирование ко-

бальтом приводит к смещению мартенситного превращения в область более высоких температур. Так, при отсутствии кобальта в наплавленном металле P18Ю, точка M_n , определенная по положению максимума на кривой (см. рисунок 2), составляет 180 °С, у легированного одним процентом кобальта она достигает 250 °С, легирование двумя процентами кобальта приводит к повышению M_n до 340 °С. Видно также, что смещение точек M_n и M_k в область более высоких температур влечет за собой получение более высокого уровня остаточных напряжений [2].

Легирование некарбидообразующим никелем ухудшает несколько теплостойкость из-за вызываемого им снижения температур $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Поэтому никель вводился в небольших количествах (1–2 %). Как видно из рисунка 3, дополнительное легирование стали P18Ю никелем привело к смещению положения кривой формирования временных напряжений в область более низких температур, и величина остаточных напряжений при этом значительно уменьшилась, а, следовательно, можно ожидать увеличения стойкости такого металла против образования холодных трещин [2].

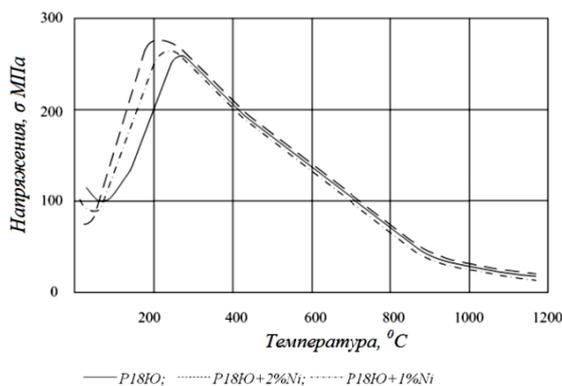
Результаты лабораторных испытаний были проверены при натурных испытаниях исследованных марок наплавленного металла на стойкость против образования холодных трещин. По разработанному способу производилась многослойная плазменная наплавка с низкотемпературным подогревом и принудительным охлаждением заготовок из стали 30ХГСА. Температура подогрева выбиралась немного выше точки начала мартенситного превращения стали P18Ю [2,4].

При наплавке порошковой проволокой, легированной 2 % Со трещины, наблюдаемые визуально, образовывались при наплавке первых витков первого слоя. Уменьшение кобальта до одного процента позволяло избежать трещин только в первом слое. Проволокой P18Ю без трещин наплавливали три слоя. Легирование никелем позволило избежать трещин при пяти–шестислойной наплавке. Однако, в присутствии никеля намного возрастают количество и устойчивость остаточного аустенита, что несколько усложняет последующий отпуск. Поэтому при легировании желательно не вводить значительное количество никеля. Для предотвращения трещин в наплавленном металле достаточно уже одного процента никеля.



1 – P16+2%Co; 2 – P16+1%Co; 3 – P16

Рис. 2. Влияние легирования наплавленного металла типа P18 кобальтом на релаксацию временных напряжений



— P18Ю; P18Ю+2%Ni; - - - - P18Ю+1%Ni

Рис. 3. Влияние легирования стали P18 никелем на релаксацию временных напряжений

Таким образом, показано, что соответствующим легированием наплавленного металла можно повысить его стойкость против образования холодных трещин, применяя при этом низкие температуры предварительного подогрева.

Для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота в Сибирском государственной индустриальном университете разработаны порошковые проволоки, обеспечивающие широкую гамму химических составов и эксплуатационных свойств наплавленного металла. При наплавке сжатой дугой в азотсодержащих газовых средах наблюдается интенсивное кипение сварочной ванны, т. к. взаимодействие жидкого металла сварочной ванны с газовой фазой в процессе наплавки приводит к насыщению металла азотом. При кристаллизации металла растворимость азота в нем резко уменьшается, избыточный азот выделяется и из-за быстротечности процесса наплавки способствует образованию пористости. Для устранения пористости в состав сердечника порошковой проволоки вводили алюминий, связывающий избыточный азот в нерастворимые в жидком металле соединения. Такие соединения частично всплывают на поверхность сварочной ванны, а также остаются в наплавленном металле и могут выступать в роли дополнительной упрочняющей фазы. С другой стороны, алюминий, переходящий в твердый раствор, оказывает существенное влияние на процесс структурообразования, увеличивая количество мягких структурных оставляющих и тем самым способствуя разрушению наплавленного металла.

В результате исследования процесса структурообразования наплавленных в азоте теплостойких инструментальных сталей высокой твердости установлено, что алюминий влияет на твердость металла после наплавки и отпуска на вторичную твердость. Алюминий, участвуя в образовании дисперсионных частиц, предположительно нитридов или комплексных оксидов, размером 6–12 мкм, способствует упрочнению металла, однако увеличение его содержания в металле более 1,0 % приводит к увеличению количества δ -феррита и разупрочняет металл. Оптимальным с точки зрения получения максимальной вторичной твердости и предотвращения пористости является концентрация алюминия в наплавленном металле в пределах 0,8–1,0 % [2]. Для уменьшения склонности к порообразованию, вызванному водородом, в состав сердечника порошковой проволоки дополнительно вводили кремнефтористый или алюмофтористый натрий (Na_2SiF_6, Na_3AlF_6), связывающие водород в соединение [HF].

Разработанные порошковые проволоки обеспечивают получение наплавленного металла типа теплостойких сталей высокой твердости таких как, P18, P6M5, P2M9 и т. п. Такие порошковые проволоки предназначены для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с целью восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей оборудования и металлообрабатывающего инструмента, когда требуется особенно высокая твердость и износостойкость рабочих поверхностей. Диаметр изготавливаемой порошковой проволоки 2,7 + 3,7 мм; коэффициент наплавки – 18–20 Г/А·ч; коэффициент разбрызгивания не более 3,5 %. Твердость наплавленного металла HRC 52–60, твердость наплавленного металла после термической обработки (высокотемпературного отпуска) – HRC 62 – 66. Характерная структура наплавленного металла и основного металла в зоне их сплавления показана на рисунке 4.

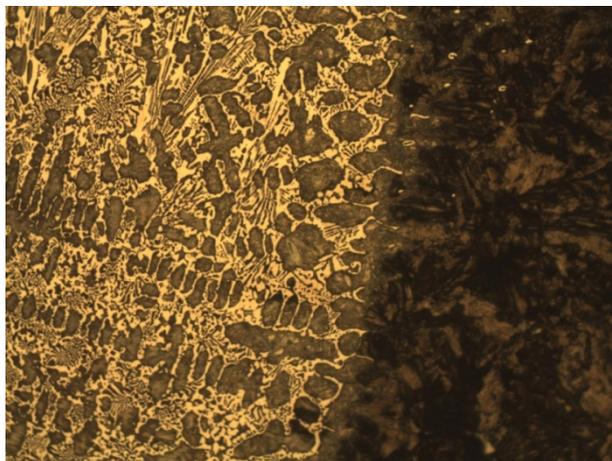


Рис. 4. Характерная структура наплавленного металла и основного металла, $\times 500$

Порошковые проволоки для плазменной наплавки изготавливались нами на станке для изготовления порошковой проволоки. Производительность станка до 50 кг порошковой проволоки за смену. Шихта порошковой проволоки перемешивалась в устройстве типа « пьяная бочка». На составы шихт для плазменной наплавки в защитно–легирующей среде азота получены авторские свидетельства.

Возможность использования в качестве защитного газа азота взамен аргона позволяет снизить материальные затраты, повысить производительность наплавки, дополнительно упрочнить наплавленный металл за счет легирования его азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки. Наплавленный металл не склонен к образованию трещин и находится в состоянии близком к закаленному металлу, что позволяет для повышения твердости и износостойкости ограничиться только высокотемпературным отпуском.

Промышленные испытания в реальных заводских условиях подтвердили результаты прямых и косвенных исследований свойств наплавленного теплостойкого металла. Установлено, что изготовленные с применением плазменной наплавки активного слоя разработанными наплавочными материалами на базе теплостойких сталей высокой твердости с регулируемым термическим циклом и низкотемпературным подогревом рабочие валки стана холодной прокатки полностью пригодны для условий прокатки трудно деформируемых сплавов и сталей при повышении в 1,5...2,0 раза стойкости по сравнению с серийными валками. Повышение износостойкости наплавленных валков можно объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов M_6C и MC . Наличие в поверхностном слое наплавленных валков сжимающих напряжений и отсутствие резкого перехода сжимающих напряжений в растягивающие является, вероятно, также одним из факторов, способствующих повышению износостойкости.

Выводы

1. Разработаны порошковые проволоки для плазменной наплавки в среде азота на обратной полярности деталей горно – металлургического оборудования, шихта которых содержит углерод, хром, вольфрам, молибден, алюминий, кобальт, никель и кремнефтористый или алюмофтористый натрий.

2. Совместное легирование наплавленного металла углеродом, хромом, вольфрамом, молибденом, алюминием, молибденом, никелем, кремнефтористым или алюмофтористым натрием позволяет получить наплавленный металл, не склонный к образованию трещин в состоянии близком к закаленному металлу.

3. Твердость направленного разработанными материалами металла составляет HRC 52–60, твердость наплавленного металла после термической обработки (отпуска) – HRC 62 – 66. Термическую обработку наплавленных деталей можно ограничить отпуском на вторичную твердость без предварительного отжига и закалки. Это существенно упрощает технологический процесс и дает экономию при изготовлении биметаллических деталей и инструмента.

Литература.

1. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин – Харьков: Металлургиздат, 1961, – 421с.
2. Малушин Н.Н. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями / Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 358 с.
3. Малушин Н.Н. Регулируемый термический цикл для плазменной наплавки прокатных валков теплостойкими сталями/Н.Н. Малушин, Т.Г. Вострцова // Заготовительные производства в машиностроении, 2014, №13, С.14–17.
4. Малушин Н. Н. , Валуев Д. В. , Валуева А. В. , Серикбол А. -. Влияние легирования наплавленного хромовольфрамового металла на формирование временных напряжений [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2015 - №. 1. - С. 1.
5. Валуев Д.В., Данилов В.И. Причины образования неоптимальных структур при обработке давлением малоуглеродистой стали // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010. -№ 3 -с. 423-432
6. Валуев Д.В., Данилов В.И., Апасов А.М. Причины брака крупнотоннажных кованых заготовок на Юргинском машиностроительном заводе // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: Труды V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 50-летию Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета - Юрга, ЮТИ ТПУ, 14–15 сент. 2007. - Томск: Изд. ТПУ, 2007. - с. 232 – 233
7. Малушин Н.Н. Наплавка с низкотемпературным подогревом теплостойкими сталями деталей металлургического оборудования/Н.Н. Малушин, В.Л. Осетковский, И.В. Осетковский // Заготовительные производства в машиностроении, 2014, №10, С.6–10.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В СВАРНОМ ШВЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6, ПОЛУЧЕННОГО СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

В.А. Клименов^{1,2} д.т.н, проф., Ю.А. Абзаев¹ д.ф.-м.н, проф., А.А. Клопотов^{1,3}, д.ф.-м.н. проф., С.А. Поробова¹, магистрант

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

634003, г. Томск пл. Соляная 2, тел. (3822)-65-07-23

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru

1. Введение

В настоящее время наблюдается широкое использование сплавов на основе алюминия. Для изготовления конструкций и технических изделий требуется их соединение. Одним из перспективных методов соединений в изделиях является метод сварки трения с перемешиванием (СТП) [1]. Сильной стороной метода СТП по сравнению с обычными методами является отсутствие расплава и дефектов, которые образуются при затвердевании жидкого металла в сварочной ванне [2]. С другой стороны, полученное структурно-фазовое состояние должно приводить к значительным внутренним напряжениям. Для уменьшения напряженного состояния сварных швов применяются, как правило, последующие обработки. Учитывая особенности СТП, наиболее подходящими являются методы нетермической природы. Применение ультразвуковой обработки (УЗ) снижает дефектность сварного соединения [3]. Поэтому применение УЗ позволяет значительно улучшить чистоту поверхности, что благоприятно влияет на усталостные свойства соединений. Поэтому рентгеноструктурные исследования необходимы для выяснения особенностей структурно-фазового состояния сплава в области сварного шва.

Цель работы – провести рентгеноструктурные исследования влияния ультразвуковой обработки на сварной шов, полученный методом сварки трением с перемешиванием.

2. Материалы и методы исследования

Для исследования использовали алюминиевый сплав АМг6 (цифровая маркировка сплава 1561). Зона сварки трением шовного соединения АМг6 получается высокочастотным вращением инструмента, при этом температура зоны не превышает $\sim 0.6 T_{пл}$. Сварной шов получался при оптимальных режимах обработки, обеспечивающих повышенные прочностные характеристики соединения [2] за счёт термомеханических процессов в зоне соединения. Исследуемые образцы сварных соединений подвергались ультразвуковой выглаживающей обработке в соответствии со схемой (рис. 1).



Рис. 1. Схема областей съемки рентгенограмм и определения микротвердости:

1 – в исходном состоянии; 2 – вдали от шва; 3 – в сварном шве;

4 – в шве, обработанном ультразвуком

При УЗ обработке поверхность подвергалась воздействию твердосплавного шарика, который динамически взаимодействовал с поверхностью с частотой 24 кГц, что приводило к вдавливанию твердосплавного шарика в поверхность при постоянном давлении. В результате УЗ обработки происходит механическое взаимодействие, определяемое ударным нагружением, периодически повторяющимся и распространяющимся на сравнительно малую площадь. Таким образом, на обрабатываемой поверхности возникают быстро чередующиеся деформации сжатия и сдвига.

Дифракционные исследования проводились на дифрактометре ДРОН4 – 07 по схеме Брегга-Брентано с шагом 0.02° и временем экспозиции в точке 1 с в угловом диапазоне $2\Theta=17 - 102^\circ$. Было использовано медное излучение $\text{Cu}_{K\alpha}$. Съёмки проводили с разных мест образца (рис. 1). Качественный фазовый анализ дифрактограмм проводили с помощью программы Match Gems (версия Tgial).

Расчет параметра решетки твердого раствора АМгб на основе обработки дифрактограмм проводили методом Ритвельда [4].

Напряжения 1-го и 2-го рода оценивались соответственно по формулам

$$\sigma = \frac{E}{\mu} \varepsilon_{CM} = \frac{E \Delta d}{\mu d} \text{ и } \sigma = \frac{E}{\mu} \varepsilon_H, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона, d – межплоскостное расстояние плоскостей отражения, ε_{CM} – деформация, связанная со смещением рефлексов, ε_H – деформация, связанная с уширением рефлексов. Для кубических кристаллов $\Delta d/d = \Delta a/a$, где a – параметр решетки. При комнатной температуре модуль Юнга и коэффициент Пуассона были взяты равными $E=65.79$ ГПа и $\mu=0.337$ [5] соответственно.

Неоднородные поля внутренних напряжений (напряжения 2-го рода) анализировались по уширению рефлексов методом Уоррена-Авербаха. При этом учитывалось, что и уменьшение областей когерентного рассеяния также вызывает уширение брэгговских рефлексов твердого раствора.

Прибором для измерения микротвердости служил микротвердомер МПТ-3М, тест-объектом являлся свежий скол кристалла поваренной соли (NaCl). Для получения отпечатка использовался алмазный наконечник (четырёхгранная пирамидка). Нагрузка на образец – 10 Гс. Микротвердость определяли на пластинах сплава в местах, указанных на рис.1.

3. Результаты и обсуждение

На основе обработки дифрактограмм определен параметр решетки твердого раствора АМгб в сплаве с разных мест образца. Полученные экспериментальные значения параметра решетки твердого раствора исходного сплава (вдали от сварного шва и без ультразвуковой обработки) несколько меньше соответствующих значений чистого Al ($a_{Al}=0,404969$ нм) [6]. Известно, что входящие в состав сплава легирующие добавки Mg, Mn, Zn, Cu и Si, находясь в твердом растворе на основе Al, по-разному влияют на параметр решетки (рис. 2). Видно, что Mg заметно повышает значения параметра решетки твердого раствора, тогда как легирование Mn, Zn, Cu и Si приводит к его понижению. В предположении аддитивности вкладов легирующих элементов в изменение параметра решетки была проведена оценка концентрации Mg в твердом растворе на основе Al (рис. 2). Видно, что концентрация Mg в исходном состоянии без ультразвуковой обработки имеет значение, близкое к значениям, полученным в [2]. С другой стороны, согласно кривой растворимости (рис. 3), эта концентрация соответствует термической обработке сплава АМгб в области температур 150 – 200 С.

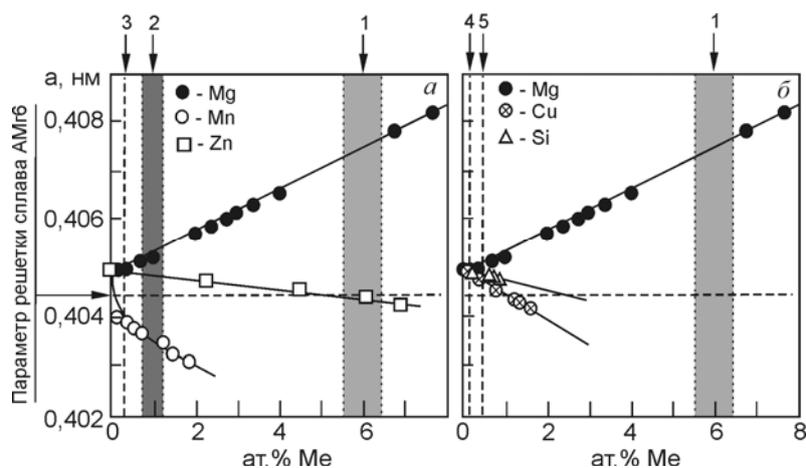


Рис. 2. Изменение параметра решетки в твердом растворе алюминиевых сплавов в зависимости от концентрации легирующего элемента. Пунктирной линией и серыми областями показаны области значений легирующих элементов в сплаве: 1 – Mg; 2 – Mn; 3 – Zn; 4 – Cu; 5 – Si. Стрелкой отмечено значение параметра решетки от исходного исследуемого сплава. Концентрационные значения параметров решетки взяты из [7]

В твердом растворе сплава на основе Al концентрация Mg превышает соответствующее значение в объеме сплава как после обработки ультразвуком, так и в области сварного шва (даже с учетом того, что произошло растворение всех частиц фазы $\beta\text{-Al}_2\text{Mg}_3$). В принципе такое растворение частиц может произойти и в результате СТП и ультразвуковой обработки, так как сплав в зоне СТП нагревается до температур 220 – 400 С [2]. Это согласуется и с данными по растворимости Mg в Al (рис. 3).

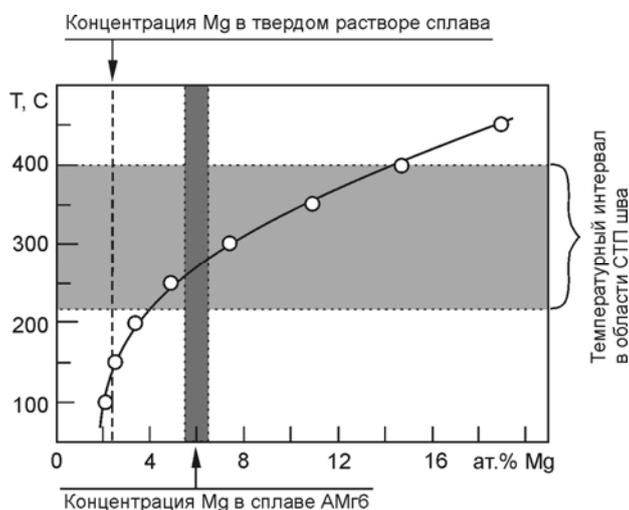


Рис. 3. Растворимость Mg в твердом растворе Al на основе ГЦК решетки [8]

Однако следует отметить, что даже полное растворение частиц $\beta\text{-Al}_2\text{Mg}_3$ не позволит достичь концентрации выше 6,5 ат.% Mg (табл. 1). Поэтому не представляется возможным объяснить повышение значений параметра решетки твердого раствора в сплаве на основе Al только за счет растворения частиц фазы $\beta\text{-Al}_2\text{Mg}_3$.

Таблица 1

Состав алюминиевого сплава АМг6

Элементы	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Zn, %	Al, %
Содержание	0,40	0,40	0,10	0,7–1,1	5,5–6,5	0,20	~ 92.5%

Был проведен расчет напряжений первого рода, возникающих в твердом растворе без учета изменений значений параметра решетки за счет изменения концентрации атомов Mg в решетке твердого раствора. Полученные значения микротвердости коррелируют с результатами рентгеноструктурного исследования.

Таким образом, можно предположить, что полученные рентгеноструктурным методом значения параметра решетки твердого раствора в сплаве как в области СТП шва, так и после ультразвуковой обработки определяются, как минимум, двумя процессами: высокими значениями микронапряжений первого рода и изменением концентрации атомов Mg в решетке твердого раствора

Заключение

Рентгеноструктурным методом установлено увеличение параметра решетки твердого раствора сплава в зоне сварки. Это изменение параметра решетки твердого раствора происходит за счет значительного растворения частиц $\beta\text{-Al}_2\text{Mg}_3$ с содержанием магния более высоким, чем в матрице. При этом происходят интенсивные диффузионные и релаксационные процессы, которые способствуют процессам перемешивания атомов в сплаве сваркой трением.

В статье использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 8.1.42.2015), в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» в 2015 г. и по государственному заданию в сфере научной деятельности (проект №11.351.2014/К).

Литература.

1. Клименко Ю.В. Способ сварки металлов трением//А.с. СССР №195846.- 1967.

2. Хайдаров А.А., Клименов В.А., Азаркин А.В. и др. Влияние частоты вращения инструмента на формирование стыковых соединений пластин из алюминиевого сплава 1561 при сварке трением с перемешиванием // Контроль. Диагностика. – 2013. – №13. С.186-191.
3. Panin A.V., Pochivalov Yu.I., Son A.A., Klimenov V.A., Kazachenok M.S. The effect of ultrasonic treatment on mechanical behavior of titanium and steel specimens // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2004. – V 41. N 1–3. – P.163–172.
4. Клопотов А.А., Абзаев Ю.А., Потекаев А.И., Волокитин О.Г. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении. / Томск.: Изд-во ТГАСУ. – 2012. – 275 с.
5. Физические величины. Справочник / Бабичев А.П., Бабушкина Н.А. и др. – М.: Энергоатомиздат. 1991. – 1232 с.
6. Эмсли Дж. Элементы. – М.: Мир. – 1993. – 256 с.
7. Pearson W.B. A handbook of lattice Spacing and Structures of Metals and Alloys. - London, New York: Pergamon Press, 1958. – 1300 p.
8. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. / М.: Машиностроение. – 1996. Т.1. 991 с.

**СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ДВУХЛУЧЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА И КОМПЬЮТЕРНОЙ
ОБРАБОТКИ ИНТЕРФЕРОГРАММ**

М.Ф. Носков, д.т.н., профессор кафедры ФП, С.С. Овчинников инженер-технолог
СФУ (Саяно-Шушенский филиал СФУ).*

*655619, Россия, Республика Хакасия, г. Саяногорск, рп Черемушки, д. 46, а/я 83
Тел.: 89039022952, e-mail: egg1@rambler.ru*

** АО «Швабе — Оборона и Защита», отдел №36*

*630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 179/2, тел.: 89618724966
E-mail: serpanya@yandex.ru*

Переход к нанотехнологиям поставил перед наукой и техникой ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур. В нанотехнологиях как нигде актуален тезис «если нельзя измерить, то невозможно создать» [1]. Достижение предельных возможностей при измерении рельефа поверхности возможно с использованием методов растровой электронной и сканирующей зондовой микроскопии [2] (СЗМ) в сочетании с эталонной световой интерферометрией.

Преимущество световой интерферометрии состоит в том, что возможна привязка к первичной, хорошо известной единице – длине световой волны. К недостаткам интерференционных измерений относят невысокую чувствительность измерений, порядка десятых долей длины волны применяющегося излучения, что для видимого света составляет около 50 нанометров.

В данной работе рассмотрен способ повышения чувствительности измерений, основанный на последовательном применении двух известных методов – нелинейной фоторегистрации интерференционной картины и обработки зарегистрированной картины при помощи программы Femtoscanner. Интерферометрические методики по-прежнему востребованы по причине необходимости решения задачи привязки измеряемого параметра к первичному эталону.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сама схема интерференционных измерений была предложена еще Майкельсоном. Принцип действия интерферометра Майкельсона состоит в делении светового пучка на два при помощи полупрозрачного зеркала. Затем, их направляют на эталонную и исследуемую поверхности. После чего происходит сведение отразившихся пучков вместе при помощи полупрозрачного зеркала. При этом, создается интерференционная картина, по анализу которой делают заключение о форме микрогеометрии исследуемого зеркала. Так как длина волны света известна, то можно напрямую измерить характеристики профиля поверхности, например, высоту ступеньки дифракционной решетки.

Такой способ широко применяется до настоящего времени, чаще всего используется микроинтерферометр МИИ-4. При этом разрешение по высоте, обусловленное чувствительностью двухлучевой интерферометрии, составляет около 50 нанометров, что существенно больше, чем необходимо для нанометрических измерений [3-6].

В настоящей работе рассматривается модифицированный интерферометр МИИ-4 и методика последовательной физической и компьютерной обработки интерференционной картины, позволяющая более чем на порядок повысить чувствительность и точность измерений.

Для измерения шероховатости полированных поверхностей используют как механические приборы – профилографы, так и оптические – рефлексометры, профилометры и интерферометры.

К недостаткам профилографов относится повреждаемость поверхности кончиком шупа и низкая разрешающая способность по поверхности. Рефлексометры, позволяющие косвенно оценивать шероховатость поверхности по величине диффузного отражения, дают значительную, до 30%, систематическую погрешность измерений, что обусловлено несовершенством физических моделей, связывающих микрогеометрию поверхности с ее отражающими способностями [7].

Наиболее удобным средством прямого и достоверного измерения геометрии и микрогеометрии полированных металлооптических поверхностей являются микроинтерферометры различных типов [8].

Многолучевые микроинтерферометры предназначены для измерения шероховатости поверхностей с высоким, более 95%, коэффициентом отражения.

Двухлучевые микроинтерферометры, с помощью которых можно исследовать шероховатость поверхностей с относительно невысокими коэффициентами отражения, не могут обеспечить измерения с погрешностью меньше $\lambda/20$.

Принцип повышения чувствительности измерений за счет увеличения числа проходов неприемлем, так как переотраженные шероховатой поверхностью лучи изменяют направление своего распространения.

Одним из вариантов повышения чувствительности микроинтерферометрических измерений является нелинейная фоторегистрация.

Для реализации метода нелинейной фоторегистрации необходимо одновременное наличие следующих предпосылок [9]:

- вариации освещенности по полю интерференции не должны превышать 5%;
- видность картины должна быть как можно ближе к единице, или, по крайней мере, должна превышать величину 0.95;
- освещенность интерференционного поля и стабильность интерференционной картины во времени должны позволять производить регистрацию интерференционной картины при повышенном, по сравнению с паспортным, временем экспозиции.

Рассмотрим подробнее влияние этих ограничений на примере двухлучевого микроинтерферометра типа МИИ-4 и его различных модификаций.

Во всех моделях микроинтерферометров источником излучения является лампа накаливания. Это обусловлено тем, что разность хода в опорном и рабочем пучке любого микроинтерферометра практически равна нулю, и использование даже такого низкокогерентного источника позволяет получить достаточно высококонтрастную картину. Следовательно, так называемой спекл-структуры в интерференционных полях не присутствует, а неравномерность освещенности не превышает 3%.

Таким образом, единственными причинами, ограничивающими видность картины и, следовательно, чувствительность измерений при нелинейной фоторегистрации, остаются неравенство интенсивностей интерферирующих пучков, а также невысокая пространственная и временная когерентность излучения.

Если конкретизировать вышеперечисленные факторы, то необходимо отметить, что стандартная комплектация интерферометра предполагает, что коэффициент отражения исследуемой поверхности близок к единице, и при исследовании, например, медных поверхностей, необходимо уменьшить каким-либо способом интенсивность опорного пучка до 60%-ного коэффициента отражения меди в видимом диапазоне.

Кроме того, необходимо максимально уменьшить ширину щели, ограничивающей размеры источника излучения, сделать ее настолько малой, насколько позволяет конструкция прибора.

И, наконец, необходимо ввести в конструкцию микроинтерферометра дополнительный светофильтр, выделяющий как можно более монохроматическое излучение.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования влияния режимов обработки на микрогеометрию поверхности медного зеркала с коэффициентом отражения 60% в качестве базового прибора использовался микроинтерферометр МИИ-4.

У стандартного прибора измеренная видность интерференционной картины оказалась равной 0,8, а средняя освещенность по полю интерференции – 0,08 люкс.

Определение оптимального режима фоторегистрации состояло в следующем:

– теоретически определено, что при видности картины $V = 0,8$ и коэффициенте контрастности фотоматериала $\gamma = 4,0$ (фотослой МИКРАТ-300 при 8 минутах проявления в проявителе №1) расчетная резкость полос $F = 6$;

– определено, что оптимальная величина экспозиции составляет $1,6 \text{лк} \times \text{с}$, и, соответственно, время экспозиции при средней освещенности интерференционного поля $E_0 = 0,08$ люкс, составляет 20 секунд.

Было оценено возможное смещение полос при таком относительно большом времени регистрации. Для прибора МИИ-4 и ему подобных смещение интерференционных полос не должно превышать одной полосы за 15 минут. Следовательно, при двадцатисекундной экспозиции не должно произойти смещения более 1/45 полосы, то есть фактически полосы стабильны, что и наблюдалось на практике.

При линейном режиме регистрации в поле зрения наблюдается 3 полосы – центральная ахроматическая и две соседние неахроматические полосы. При нелинейном режиме фоторегистрации выделенной оказывается только одна – центральная ахроматическая полоса. Это обусловлено тем, что все остальные полосы обладают в белом свете значительно меньшей, чем 0,8, видностью интерференционной картины.

Анализ интерферограмм показал следующее:

– наибольшая высота поверхностей профили, измеренная при линейной регистрации $R_{max} = 6,3$ нанометра при $\sigma_{max} = 5$ нанометров, то есть погрешность измерения практически равна измеряемой величине, и измерения показали только, что величина R_{max} не превышает 11 нанометров, что и так было известно перед сеансом контроля;

– при нелинейной фоторегистрации $R_{max} = 3$ нанометра при $\sigma_{max} = 1$ нанометр, то есть применение нелинейной фоторегистрации позволило уменьшить погрешность измерения шероховатости поверхности примерно в 5 раз.

На *рис. 1* представлена микроинтерферограмма участка поверхности металлооптического зеркала с протравленной голографической решеткой.

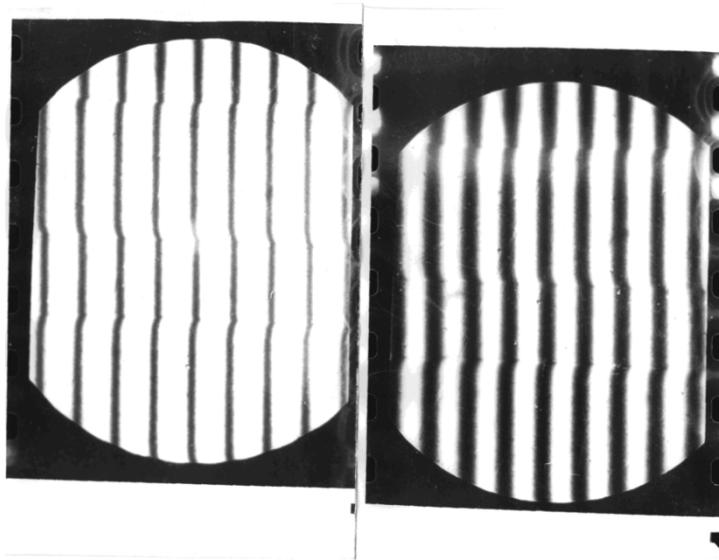


Рис. 1 Микроинтерферограмма участка поверхности металлооптического зеркала с протравленной голографической решеткой

Отметим два недостатка, которые известны самим авторам:

–увеличение времени экспозиции, преодолеть которое можно только установкой в осветительную ветвь интерферометра МИИ-4 более мощной лампы, что требует значительных конструктивных изменений корпуса прибора;

–возможность наблюдения только центральной, ахроматической полосы, что приводит к значительному уменьшению поля зрения по одной из координат и либо может привести к пропуску участка с дефектами, либо требует сканирования поверхности исследуемой поверхности.

Последний недостаток был исправлен путем помещения в наблюдательную ветвь интерферометра специально разработанного многослойного светофильтра, выполненного из цветных оптических стекол.

Рассмотрим основные характеристики таких светофильтров, в сравнении с характеристиками интерференционных светофильтров. Основными характеристиками такого фильтра являются коэффициент пропускания светофильтра $T = T(\lambda, \theta)$, где θ – угол падения пучка излучения на светофильтр.

Как правило, разработчики и изготовители интерференционных светофильтров приводят характеристики только для идеального коллимированного пучка. В реальной инженерной практике пучки не коллимированы.

К инженерным характеристикам светофильтров относят, в основном, следующие:

λ_0 – длина волны излучения, на которой при нормальном падении лучей коэффициент пропускания принимает максимальное значение T_0 ;

$\delta\lambda_0$ – полуширина полосы пропускания на уровне $T_0/2$;

d – диаметр входного зрачка светофильтра;

2θ – апертурный угол светофильтра, в пределах которого $T > T_0/2$.

В работе [9] показано, что для плоского интерференционного светофильтра при реальных углах падения θ' величина реального пропускания определяется зависимостью:

$$T(\lambda, \theta') = T_0 \cdot \exp[-2,77 \cdot Q^2 \cdot (\lambda/\lambda_0 - \cos\theta')^2] \quad (1)$$

где Q – добротность светофильтра на длине волны λ_0 (для реальных светофильтров $10^2 < Q < 10^5$).

$$\theta' = \arcsin(\sin\theta/n) \quad (2)$$

В этой же работе приведен пример расчета по формуле (1) интерференционного светофильтра с длиной волны $\lambda=530$ нм и полушириной полосы пропускания $\delta\lambda_0 = 2,4$ нм. Из расчета следует, что при изменении угла падения на θ' величина пропускания светофильтра уменьшается в пять раз, то есть даже для идеального светофильтра не превышает 20 %.

Кроме того, общеизвестным является тот факт, что при изменении угла падения света на светофильтр, то есть при работе в непараллельных пучках, происходит смещение длины волны в инфракрасную область спектра:

$$\lambda_{ef} = \lambda_0 / \cos\epsilon \quad (3)$$

где ϵ – угол падения света на светофильтр.

С целью осуществления возможности работы в расходящихся пучках авторами были разработаны методики расчета дисперсионных составных фильтров из цветного оптического стекла.

Рабочими длинами волн были приняты 425, 458, 515, 540, 570 и 610 нанометров, максимальное пропускание составило 70% и не зависело от угла падения света на светофильтр, полуширина на уровне половины максимальной интенсивности составила от 10 до 12 нанометров и также не зависела от угла падения света.

Рабочие длины волн, на первый взгляд, выбраны достаточно спонтанно, но, на самом деле, именно вблизи этих длин волн кривые спектрального пропускания оптических стекол имеют наибольшую крутизну и, следовательно, созданные на основе этих стекол светофильтры имели максимально узкую полуширину пропускания.

С учетом всего вышеперечисленного авторы модернизировали микроскоп МИИ-4 и сначала сфотографировали в нелинейном режиме элемент дифракционной решетки, протравленный на поверхности медного зеркала, а затем обработали интерференционную картину при помощи програм-

мы Фемто-Скан Онлайн. На рис. 2 итерферограммы рис. 1, инвертированные при помощи программы Фемто-Скан Онлайн.

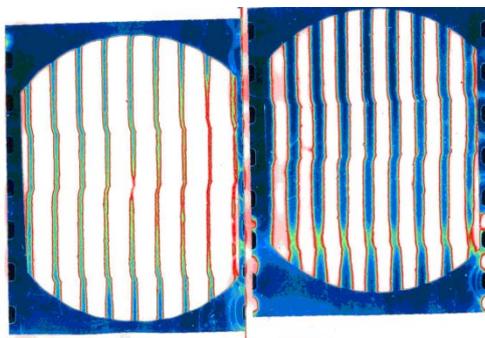


Рис. 2. Итерферограммы рис. 1, инвертированные при помощи программы Фемто-Скан Онлайн

Модернизация микроинтерферометра МИИ-4 заключалась во введении в осветительную ветвь светофильтра, максимум которого приходится на длину волны 515нм. Светофильтр на данную длину волны был изготовлен при помощи комбинации трех цветных стекол, а именно ЖС-18, толщиной 3.3мм, СЗС-20, толщиной 4.3мм, и СЗС-21, толщиной 1.6мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обработка нелинейно зарегистрированной интерференционной картины при помощи программы Фемто-Скан Онлайн позволила измерить высоту ступеньки с погрешностью до сотых долей длины волны, а именно – до 5 нанометров.

Преимуществами программы Фемто-Скан Онлайн перед другими [10], по мнению авторов, заключается в больших возможностях программы, первоначально разработанной для анализа изображений, получаемых при помощи электронного микроскопа.

Таким образом, наиболее распространенный прибор МИИ-4 может быть использован для измерения высоты ступенек на поверхностях с невысоким, порядка 60% коэффициентом отражения.

Литература.

1. Тодуа П.А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. 2007. Том 2, вып. 1-2. – С. 61-69.
2. Заблоцкий А.В., Батурин А.С., Бормашов В.С., Кадушников Р.М., Штуркин Н.А. Компьютерное моделирование растрового электронного микроскопа для целей нанометрологии // Российские нанотехнологии. 2007. Том 2, вып. 11-12. – С. 40-48.
3. Карташев А.И., Эцин И.Ш. Методы измерения малых изменений разности фаз в интерференционных устройствах // Успехи физических наук. 1972. Том 106, вып. 4. – С. 867-721.
4. Зейликович И.С., Ляликов А.М. Голографические методы регулировки чувствительности интерференционных измерений при диагностике прозрачных сред // Успехи физических наук. – 1991. – №1. – С. 143-164.
5. Zolotarevskiy Y. M., Levin G.G. Interference measurements in nanotechnologies // Measurement techniques. –2012. – V.55. – № 7. – P. 770-772.
6. Vlasov N. G. Principles for design of modern interferometers // Measurement techniques. – 2010. – V.55. – № 3. – P. 277-280.
7. Овчинников С.С., Тымкул В.М., Кузнецов М.М., Носков М.Ф., Чесноков Д.В. Способ бесконтактного измерения параметров шероховатости поверхности. Патент России № 2305519. Бюлл. Изобр. № 26 2014 г.
8. Е.Б.Клюенков, А.Е.Пестов, В.Н.Полковников, Д.Г.Раскин, М.Н.Торопов, Н.Н.Салашенко. Измерение и коррекция формы оптических элементов с субнанометровой точностью // Российские нанотехнологии. 2008. Том 3, вып. 9-10. – С. 116-124.
9. Носков М.Ф. Повышение чувствительности оптико-физических измерений путем нелинейной обработки изображений: автореф. дис. на соиск. учен. степени д.т.н. / Сибирская государственная геодезическая академия. Новосибирск, 2007.
10. Сомина С., Кадушников Р., Разводов А. Цифровая микроскопия уходит в онлайн // Наноиндустрия. – 2012. Том 34 – №4. – С. 42-45

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Абзаев Ю.А. 189
Адамков А.В. 16
Адрова Л.С. 69
Акимов А.В. 103
Аксенов В.В. 16
Алешин А.К. 23
Антонов Ю.А. 50
Афиногенова И.Н. 28
Ахмедов А.Э. 38
Ахметжанов Т.Б. 100
Батаев И.А. 133
Бахвалов Ю.А. 107
Блащук М.Ю. 150
Бондаренко Ю.А. 146
Борисов А.Ю. 77
Буялич Г.Д. 50, 120, 123
Буялич К.Г. 123
Буянкин П.В. 125
Валуев Д.В. 177, 183
Воеводин В.В. 123
Воробьев А.В. 77, 125
Глеков П.М. 36
Гнедаш Е.В. 117
Голубкин И.А. 72
Горбатов В.В. 103
Горбатов И.В. 103
Гречихин В.В. 107
Даненова Г.Т. 100
Дронов А.А. 150
Ерошков В.Ю. 40
Жугда В.А. 21
Жуков В.Е. 60
Жуков Е.М. 21, 60
Киселёв А.В. 14
Клименов В.А. 189
Клопотов А.А. 189
Ковалев А.П. 177, 183
Ковалева Н.Л. 23
Кожина Т.Д. 40, 155, 169
Коперчук А.В. 141
Корниенко Л.А. 135
Косолец А.В. 16
Криницын М.Г. 161, 166
Курочкин А.В. 169
Леменкова П.А. 111
Липчанская Ю.Г. 146
Макарчук А.Е. 130
Малушин Н.Н. 177, 183
Мамедов Ф.М. 31
Маметьев Л.Е. 77
Матц О.Э. 133
Мельников А.А. 130
Морозов П.В. 86
Мурин А.В. 141
Мычка С.Ю. 32
НгуенСуан Тьук 135
Нейман В.Ю. 93
Нейман Л.А. 88, 93
Нестерова А.О. 16
Нестерук Д.Н. 16
Носков М.Ф. 192
Овчинников С.С. 192
Окулова А.А. 139
Орлова Н.Ю. 139
Панин С.В. 135
Петров Д.А. 98
Пилипенко А.В. 47
Пилипенко А.П. 47
Пилипенко О.В. 47
Полежаев П.Н. 69
Поробова С.А. 189
Прокопенко Е.В. 52
Проскурин С.Г. 98
Родионов Г.В. 14
Серикбол А. 177, 183
Смольянинова И.В. 38
Статников И.Н. 63
Темпель О.А. 7, 11
Темпель Ю.А. 7, 11, 130
Томилин А.К. 52
Тюрин А.В. 60
Увакин С.В. 120
Федоренко М.А. 146
Филистеева Е.А. 57
Фирсов Г.И. 23, 63
Хорешок А.А. 77, 125
Чиков И.Н. 14
Шаталов М.А. 32
Юфанова А.Л. 107

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

17-18 декабря 2015 года

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Д.В. Валуев, Е.Г. Фисоченко

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .
Заказ . Тираж 150 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
Сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru