

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Нижнетагильский
технологический
институт (филиал)**

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА

В двух томах

ТОМ 1

Материалы международной научно-практической конференции
старшеклассников, студентов и аспирантов 27 мая 2022 года

Нижний Тагил
2022

УДК 378
ББК Ч21
М73

Ответственные редакторы:
Миронова М. В., канд. техн. наук;
Андреева Т. Н., ст. преподаватель кафедры ОМ

М73 **Молодежь и наука** : мат-лы международной науч.-практ. конф. старшеклассников, студентов и аспирантов (27 мая 2022 г., г. Нижний Тагил) : в 2 т. Т. 1 ; Миново науки и высш. образования РФ, ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2022. – 300 с.

ISBN 978-5-9544-0132-5 (*т. 1*).

ISBN 978-5-9544-0131-8.

В сборнике представлены материалы участников XVIII Международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА». Тематика докладов охватывает актуальные проблемы в области машиностроения, металлургии, мехатроники и робототехники.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, магистрантов, студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

УДК 378
ББК Ч21

*Сборник составлен на основе материалов,
предоставленных участниками конференции.*

ISBN 978-5-9544-0132-5 (*т. 1*)
ISBN 978-5-9544-0131-8

© Авторы статей, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА.....9

<i>Байнов А. С., Пегашкин В. Ф., Никонов М. П.</i> ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАЗОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ	10
<i>Беляков Н. В., Яснев Д. А., Эбако М. Э.</i> ОЦЕНКА ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СЛОЕОБРАЗУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА 3D-ПРИНТЕРА В ЗАДАЧЕ БАЗИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	13
<i>Борисевич И. С., Сырокваш Н. А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	16
<i>Вершинин Г. А., Шевченко О. И.</i> ПОВЫШЕНИЕ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ В УСЛОВИЯХ ООО «НОВАТОР»	19
<i>Губина М. А., Пегашкин В. Ф.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ.....	23
<i>Дуббесса М. Х., Коптев А. Н., Деста А. Б.</i> ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	27
<i>Елистратов Д. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ОТКРЫТОГО МОЛОТОВОГО ШТАМПА.....	31
<i>Жлобо Р. А., Сязин И. Е., Биденко А. Г.</i> ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА СЖИМАЕМОСТИ ДИФТОРЭТАНА ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	34
<i>Иванов К. Г., Федорова А. А.</i> СРАВНЕНИЕ КОНКУРСНЫХ ЗАДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САД-СИСТЕМ	37
<i>Ильченко И. А., Пегашкин В. Ф.</i> АЛГОРИТМ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	40
<i>Ильченко И. А., Пегашкин В. Ф.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	43
<i>Коротков В. А.</i> УРАЛЬСКАЯ ШКОЛА НАПЛАВКИ	46
<i>Кузьменко Е. Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	50
<i>Кузьменко Е. Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20	54
<i>Курасов О. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ.....	57
<i>Медведева А. А., Акулов А. В., Боршова Л. В.</i> УСТАНОВКА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ	60

<i>Минабутдинов И. В., Боршова Л. В., Калугин А. В.</i> ПРОГРАММИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SOLIDCAM	63
<i>Немченко А. А., Сторожниченко А. А.</i> УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	66
<i>Новоженков В. А., Стручева Н. Е.</i> ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ ИНДИЙ-РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ	69
<i>Олейник М. А., Злобин Е. П.</i> РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ МНОГОСТРУЙНОГО СОПЛА	73
<i>Панкова М. С., Пегашикин В. Ф., Смирнов А. С., Стяжский М. Г., Лежнев Д. А.</i> АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА	76
<i>Полуянова А. Е., Пегашикин В. Ф.</i> СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ	79
<i>Савин Е. Р., Боршова Л. В., Ахременко В. А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ВАЛ».....	82
<i>Садриева А. А., Панчина А. Д., Татаров Г. Л.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	85
<i>Татаров Г. Л., Качкаев Г. Е., Дорофеев Е. С.</i> АНАЛИЗ ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ	88
<i>Тычкин Н. В., Боршова Л. В.</i> СВЕРЛЕНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ	91
<i>Шутько С. П., Татаров Г. Л.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТОВ ДАЙМОНД 40/42	94
СПЕЦИАЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ.....	98
<i>Агаев Т. Р., Молоковских Н. А., Хмельников Е. А., Заводова Т. Е.</i> РАЗРАБОТКА НАТУРНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ РАКЕТ С-13Т И С-13Б.....	99
<i>Бадртдинов М. А., Юдинцев Д. В., Шадрин И. Д.</i> ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ СОВРЕМЕННЫХ ОСНОВНЫХ БОЕВЫХ ТАНКОВ	103
<i>Бадртдинов М. А., Яковлева Л. В.</i> К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ УНИФИКАЦИИ	106
<i>Байматов Д. К., Бызова Н. А., Хмельников Е. А., Смагин К. В., Окулов С. А.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОТОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С НАПОЛНЕНИЕМ ИЗ РЕАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	110
<i>Бражаева В. Д., Юдинцев Д. В.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОПРИВОДА ДЛЯ ЭКСКАВАТОРА	114
<i>Бызова Н. А., Байматов Д. К., Хмельников Е. А., Заводова Т. Е.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО МЕТАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ПОРАЖЕНИЕ БОЕПРИПАСОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ОСКОЛКОМ	117

<i>Волков В. А., Юдинцев Д. В.</i>	
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	121
<i>Горин А. Г., Чванов Р. С., Сидоркин В. А., Смагин К. В., Хмельников Е. А.</i>	
О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО БОЕПРИПАСА КАЛИБРА 57 ММ	124
<i>Ильин С. С., Рязанов Д. А., Хмельников Е. А., Смагин К. В., Заводова Т. Е., Семашко М. Ю.</i>	
ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ВКЛАДНОГО ВЕДУЩЕГО УСТРОЙСТВА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ПОЛИИМИДА, ДЛЯ СНАРЯДА КАЛИБРОМ 120 ММ УМЕНЬШЕННОЙ РАДИОЗАМЕТНОСТИ К СИСТЕМЕ 2С9 «НОНА-С»	128
<i>Литус И. Б., Хмельников Е. А., Дуньков А. И., Дубинина С. Ф.</i>	
РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ДЛЯ АРТИЛЛЕРИЙСКО-МИНОМЕТНОЙ УСТАНОВКИ 2С9	133
<i>Литус И. Б., Хмельников Е. А., Сидоркин В. А., Прокопович Е. А., Заводова Т. Е.</i>	
РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЖАРОСТОЙКОСТЬ	138
<i>Лузин С. А., Юдинцев Д. В.</i>	
ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ	142
<i>Мельников Н. А., Юдинцев Д. В.</i>	
ВЫБОР СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМУФТОЙ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЕННО ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	145
<i>Молоковских Н. А., Размирица А. С., Хмельников Е. А., Заводова Т. Е.</i>	
РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРЕЛЬБОВЫХ ИСПЫТАНИЙ	148
<i>Прокопович Е. А., Хмельников Е. А., Заводова Т. Е.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ТРОТИЛОВОГО ЗАРЯДА НА БРОНЕВОЕ СТЕКЛО ШЛЮЗОВОЙ КАБИНЫ	151
<i>Размирица А. С., Хмельников Е. А., Смагин К. В., Шикин А. А.</i>	
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ СНАРЯДА ПОВЫШЕННОГО МОГУЩЕСТВА 130-ММ	154
<i>Сорока Н. В., Москвичев А. В.</i>	
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ОБКАТКИ ТЯГОВЫХ ЛЕБЕДОК ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН	159
<i>Тельминов Н. В., Юдинцев Д. В.</i>	
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ ГУСЕНИЦ	162
<i>Чапайкин В. А., Юдинцев Д. В., Бадртдинов М. А., Мельников Н. А.</i>	
РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМУФТОЙ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТССН	166
<i>Черных А. А.</i>	
РЕДУКТОР ХОДА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ МАШИНЫ НА БАЗЕ ЭКСКАВАТОРА.	169
<i>Шикин А. А., Хмельников Е. А., Козяр А. В., Литус И. Б.</i>	
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ТАРИРОВАНИЯ КРЕШЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УСТАНОВКЕ С ПАДАЮЩИМ ШАРОМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕСООТВЕТСТВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ КРИВЫХ ДАВЛЕНИЙ В АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМАХ.	171

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....175

Антонов Н. А., Пыхтеева К. Б.
ВЛИЯНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И РАСХОД КОКСА.....176

Бизик Д. С., Обьедкова С. В.
ПЕРЕРАБОТКА ДОМЕННОГО ШЛАКА В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК».....181

Виниченко В. О., Соколов Е. Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВОГО ЖЕЛЕЗА
РАСПЛАВОМ ЭВТЕКТИКИ «СВИНЕЦ-ВИСМУТ».....184

Еремин К. О., Шевченко О. И., Рубцов В. Ю.
ОПЫТ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КАДРОВ188

Казаковцев М. А., Лановенко И. Э., Шевченко О. И., Рубцов В. Ю.
УПРАВЛЕНИЕ ТВЕРДОСТЬЮ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ.....192

Котюков Т. Д., Метёлкин А. А., Шешуков О. Ю., Шевченко О. И.
АНАЛИЗ ПРИЧИН ИЗНОСА ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША
В УСЛОВИЯХ КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ НТМК»197

Лоптев А. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО
КОНЦЕНТРАТА В ПОТОКЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА.....200

Мухаматьянова В. Р., Пыхтеева К. Б.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМОВАННОГО
КОКСА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ203

Новожилов И. С., Рубцов В. Ю.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ ЭКРАНОВ
ПРИ ПРОКАТКЕ РЕЛЬСОВ.....206

Обьедкова С. В., Пыхтеева К. Б.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ
В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ.....211

Обьедкова С. В., Бизик Д. С., Пыхтеева К. Б.
ПЕРЕРАБОТКА ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ
В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ НТМК»214

Половец М. В., Пыхтеева К. Б.
ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПЛАВКИ
ВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНОСТИ
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ.....217

Половец М.В., Форшиев¹ А. А.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ МАРКИ КС В ШИХТЕ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ АО «ЕВРАЗ НТМК»...221

Полуэктов Д. А., Рубцов В. Ю., Шевченко О. И., Миронова М. В., Тюттерев В. В.
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ДВУТАВРА 100Ш
ИЗ ФАСОННОЙ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ.....224

Салина В. А., Жучков В. И.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЕРЫ
В ОКСИДНОЙ БОРСОДЕРЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ.....228

Фирстов А. П.
ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП
НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ232

МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	237
<i>Абрамов Р. Ш.</i>	
О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРАМВАЙНОГО ПУТИ.....	238
<i>Васильев А. С., Родионов В. И.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, СОВМЕЩАЮЩИХ ФУНКЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ.....	242
<i>Васильева Л. Н., Тимофеева Н. Н., Морозова Н. Н.</i>	
РЕГИСТРАТОР ДАННЫХ НА БАЗЕ NI MYRIO	246
<i>Гакман М. О., Олейник М. А.</i>	
СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	249
<i>Евсеева А. А., Васильева Л. Н.</i>	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ДОМАШНИХ ПИТОМЦЕВ	253
<i>Кайкы М. Н., Иванюк А. А.</i>	
ПРИМЕНИМОСТЬ И СРАВНЕНИЕ ФНФ ТИПА АРБИТР И СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ	257
<i>Комкина У. С., Филипас А. А.</i>	
УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНОГО ПОДХОДА	260
<i>Королева В. В., Сохачевский М. К., Сохачевский Я. К.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТЕ «РОБОТ- МУСОРЩИК»	263
<i>Левитанус К. А., Морозова М. О., Васильева Л. Н.</i>	
СЕЙФ С ЭЛЕКТРОННЫМ ЗАМКОМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO	266
<i>Мошкин Г. П., Грачев А. В., Туманина П. Д., Аминев Т. Р.</i>	
АДАПТАЦИЯ И СОЗДАНИЕ МОДУЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА.....	269
<i>Олигер М. М., Габитов Р. И.</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА КАМЕР ВЫРАЩИВАНИЯ	272
<i>Подколзин Г. Д.</i>	
ИНСТРУМЕНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ	276
<i>Ромащенко Н. А.</i>	
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ЭКЗОСКЕЛЕТА, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ.....	279
<i>Ромащенко Н. А.</i>	
СЛОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ	283
<i>Сёмина А. В., Шамардина И. А.</i>	
ДРОНЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	285
<i>Толокнов А. Ю.</i>	
ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНОГО ТРАФИКА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ	289

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ.....292

Омиччук Е. А., Татаров Г. Л.

ГРП И ГРУ. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ С ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-293

СБРОСНЫМ КЛАПАНОМ.....294

Трекин Г. Е.

ДЕГРАДАЦИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО СЛОЯ ПРИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРЕВЕ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ И ПОД
РАСПЛАВАМИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ297

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И
МЕТАЛЛООБРАБОТКА**

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАЗОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ

Байнов Александр Сергеевич, студент магистратуры,
Пегашкин Владимир Федорович, д-р техн. наук
Никонов Максим Павлович, инженер-конструктор 1 категории
E-mail: bajnov.aleksandr@yandex.ru

НТИ (филиал) УрФУ
г. Нижний Тагил

Аннотация. Во время плавки алюминиевые расплавы подвергаются очистке от растворенных металлических примесей (натрия, магния, железа и цинка), взвешенных оксидных (неметаллических) включений и растворенного водорода. Разработано устройство для газового рафинирования алюминиевых расплавов, предназначено для газового рафинирования жидких расплавов алюминия с помощью инертных газов аргона или азота. Устройство включает колонну, фиксатор стрелы на колонне, стрелу поворотную с датчиками для определения положения каретки, каретку, которая перемещается по направляющим стрелы при помощи мотор-редуктора и цепной передачи. На каретке установлен электродвигатель для вращения ротора при помощи ременной передачи и сервомеханизм для поворота шверта. Устройство имеет несколько алгоритмов работы: ручной режим работы; полуавтоматический режим работы; автоматический режим работы.

Ключевые слова. Газовое рафинирование.

Устройство для газового рафинирования алюминиевых расплавов предназначено для газового рафинирования жидких расплавов алюминия с помощью инертных газов аргона или азота [1].

Во время плавки алюминиевые расплавы подвергаются очистке от растворенных металлических примесей (натрия, магния, железа и цинка), взвешенных оксидных (неметаллических) включений и растворенного водорода. Азот или аргон с водородом не вступают в химическую реакцию. Пузырьки азота или аргона наполняются водородом и всплывают на поверхность. По мере поступления новых пузырьков азота или аргона, растворенный в металле водород будет переходить в пузырьки и вместе с ними удаляться из расплава.

Одновременно с удалением водорода из расплава удаляются и неметаллические включения в виде окислов и шлака, которые прилипают к пузырькам азота или аргона и, на основе законов флотации, всплывают на поверхность.

Известны различные варианты устройств, позволяющих производить рафинирование цветных металлов и сплавов (в т. ч. и алюминиевых расплавов).

Например, устройство для дисперсионной подачи газа в массу расплавленного металла [2]. В этом устройстве вал, проходящий через статор, соединяет механизм вращения с лопастным ротором. Внутренняя поверхность статора и наружная поверхность вала образуют кольцевой канал с отверстиями для подачи и впрыскивания газа в массу расплавленного металла. В нижней части статора расположены лопасти, образующие вертикальные каналы. Внутри вала находится продольный канал с отверстием для соединения с кольцевым каналом. Это устройство выполняет эффективную рафинацию алюминиевых расплавов. Но имеет сложную конструкцию – содержит электропривод и высокоскоростной ротор, диспергирующий потоки газов в расплаве. Вследствие чего ротор подвержен интенсивному износу и часто выходит из строя.

Другой пример – устройство для рафинирования расплава металлов или сплавов [3]. В нем содержатся трубчатые тракты и сопла для подачи газов, а также гибкий релаксатор термонапряжений. Тракт для подачи инертного газа выполнен в виде змеевика. Во-

круг оси сопла для активного газа по окружности находятся сопла для инертного газа. Это устройство также эффективно рафинирует цветные расплавы и имеет более простую конструкцию по сравнению с предыдущим. Недостаток устройства заключается в недостаточной надежности конструкции, в пониженной износостойкости рассматриваемого устройства вследствие неустойчивой работы тракта и гибкого релаксатора термонапряжений. Возможно выходит из строя из-за частичного оплавления гибкого релаксатора, что может повлечь прорыв газа в окружающую среду.

Существующие устройства для газового рафинирования не удовлетворяют требованиям выполнения такой операции в условиях Уралвагонзавода. Рабочее положение каретки должно находиться ниже «нуля» (печь находится в приемке), а существующие конструкции обеспечивают положение только выше «нуля». Так же существующих устройств только один – автоматический режим работы.

Схема разработанного устройства для газового рафинирования алюминиевых расплавов показана на рис. 1. Состав устройства: колонна – 1; фиксатор – 2 (фиксация стрелы на колонне); стрела поворотная – 3 (угол поворота 180°), на стреле установлены датчики для определения положения каретки; каретка – 4 (перемещение каретки по направляющим стрелы поворотной при помощи мотор-редуктора и цепной передачи), на каретке установлен электродвигатель для вращения ротора при помощи ременной передачи и сервомеханизм для поворота шверта.

Первоначальное положение механизмов перед работой: стрела находится в исходном (левом) положении, каретка находится в исходном (верхнем) положении, исходное положение шверта «шверт вдоль потока».

Предлагаемые алгоритмы работы устройства:

- ручной режим работы;
- полуавтоматический режим работы;
- автоматический режим работы.

Подробнее рассмотрим автоматический режим работы.

В автоматический режим работы для поворота стрелы в рабочее положение: освобождается стрела от фиксации и поворачивается в рабочее положение, фиксируется стрела на колонне при помощи фиксатора в рабочем положении, открывается кран подачи аргона. На пульте управления выбирается «режим работы автоматический» и устанавливается время периодов работы T_1 , T_2 , T_3 .

Алгоритм работы автоматического цикла рафинирования включает в себя следующее. На пульте управления нажать кнопку «Цикл». Каретка перемещается от датчика 1 до датчика 2 в среднее положение. Включается индикация «каретка в среднем положении». После того как каретка переместилась в среднее положение, включается вращение ротора со скоростью N_1 , на панели пульта управления включается световая сигнализация «вращение ротора со скоростью N_1 ». Запускается таймер времени T_1 . По завершении времени T_1 каретка перемещается от датчика 2 до датчика 3. Включается индикация «каретка в рабочем положении». Скорость вращения ротора повышается до максимальной N_2 , включается индикация скорости вращения ротора N_2 . Шверт переводится в положение «шверт поперек потока», включается индикация «шверт поперек потока». На пульте управления запускается таймер времени T_2 . После завершения времени T_2 шверт переводится в положение «шверт вдоль потока», а скорость вращения ротора понижается до N_1 . Включается индикация положение шверта «шверт вдоль потока» и скорость вращения ротора N_1 . После чего каретка перемещается от датчика 3 до датчика 2, в среднее положение. Вращение ротора отключается и запускается таймер времени T_3 . По завершении времени T_3 каретка перемещается от датчика 2 до датчика 1 в исходное положение. На пульте управления включается индикация «каретка в исходном положении». Включается световой и/или звуковой сигнал «цикл завершен». Выключить устройство и перекрыть кран подачи аргона.

Перевод стрелы в исходное положение: убедившись в безопасном повороте стрелы в исходное положение, освободить стрелу от фиксации на колонне и вручную повернуть ее на 180° в исходное положение. Зафиксировать стрелу в исходном положении фиксатором.

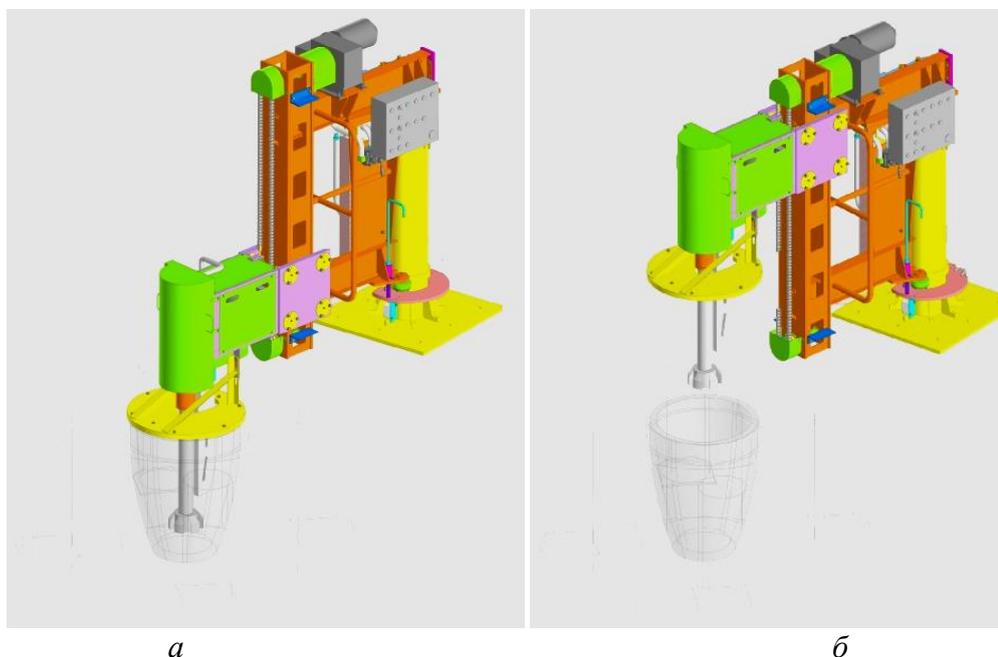


Рис. 1. Эскиз устройства для газового рафинирования:
а – нижнее положение, *б* – верхнее положение

Техническая характеристика устройства для газового рафинирования алюминиевых расплавов представлена в табл.

Таблица

Техническая характеристика

Наименование параметра		Значение
Вид газа		<i>Ar, N</i>
Рабочее давление газа, МПа		0,04
Расход газа, л/м		2-40
Скорость перемещения каретки, м/с		0,07
Ход каретки, мм		900
Габаритные размеры	Длина, мм	2306
	Ширина, мм	920
	Высота, мм	1854
Масса, кг		740

Библиографический список

1. Метод рафинирования продувкой расплава газами.
https://studref.com/526865/tehnika/metod_rafinirovaniya_produvkoy_rasplava_gazami
2. Патент SU № 1068040, С22В 9/00, опубл. 15.01.1984, бюл. № 2
3. Патент RU № 2228379 С1, С22В 9/05, опубл. 10.05.2004, бюл. № 13

ОЦЕНКА ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СЛОЕОБРАЗУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА 3D-ПРИНТЕРА В ЗАДАЧЕ БАЗИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Беляков Николай Владимирович, канд. техн. наук, доц.
Яснев Данила Андреевич, студент
Эбако Максим Элисович, студент
E-Mail: nikolay_belyakov@mail.ru

Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье описана область применения 3D-принтеров на машиностроительных предприятиях, перечислен ряд факторов, обуславливающих параметры точности деталей машин (допуски линейных и угловых размеров, формы, взаимного расположения и т.д.) в аддитивном производстве. Особое влияние на обеспечение допусков взаимного расположения напечатанных деталей оказывает неперпендикулярность направляющих 3D-принтера, а также ориентация (базирование) модели детали в рабочей зоне принтера. Для решения задач базирования моделей деталей машин в аддитивном производстве предлагается после процедур сборки, настройки, калибровки и юстировки 3D-принтера оценивать параллельность перемещений слоеобразующего элемента по трем осям в двух направлениях для каждой оси. Оценку предлагается производить либо с помощью измерений на координатно-измерительной машине параметров напечатанной образцовой детали, либо с помощью специального индикаторного приспособления. Указанные методики имеют свои достоинства и недостатки. Для реализации одной из методик спроектировано и изготовлено соответствующее индикаторное приспособление. Методика оценки с помощью индикаторного приспособления прошла опытную апробацию в Центре аддитивных технологий Республиканского инновационного унитарного предприятия «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» и доказала свою работоспособность.

Ключевые слова. Геометрическая точность, взаимное расположение, индикаторное приспособление, 3D-принтер, базирование, аддитивное производство.

На машиностроительных предприятиях 3D-принтеры нашли применение для: прототипирования изделий, литейного производства, а также производства деталей машин.

Важнейшими параметрами качества деталей машин являются точность размеров и допусков взаимного расположения поверхностей. В аддитивном производстве при 3D-печати точностные параметры деталей обуславливаются рядом факторов таких как: 1. технология печати; 2. материал для печати; 3. толщина слоя (разрешение); 4. конструкция поддержек для печати; 5. температурные деформации в процессе охлаждения и затвердения; 6. компоновочная схема принтера; 7. жесткость и точность изготовления деталей принтера; 8. качество сборки, калибровки и юстировки принтера; 9. конструкция и точность механических приводов и передач (точность перемещения слоеобразующих элементов); 10. конструкция и ориентация направляющих; 11. ориентация (базирование) модели детали при печати и др.

Неперпендикулярность направляющих 3D-принтера оказывает особое влияние на взаимное расположение слоев при печати и, как следствие, на обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей. Если допуски взаимного расположения не обеспечены, то деталь неизбежно перейдет в неустраняемый брак.

Задача обеспечения перпендикулярности направляющих решается за счет: конструктивных особенностей рамы, направляющих, креплений узлов принтера; точности изготовле-

ния деталей; качества сборки принтера, а также его калибровки и юстировки. В последнее время распространение получают методики устранения влияния неперпендикулярности направляющих на точность печати на этапе юстировки программным способом. Для этого в «прошивку» принтера встраивается модуль (например, Bed skew compensation для Marlin), который на основе ввода данных об измерениях диагоналей распечатанных прямоугольных образцов, расположенных в различных плоскостях, регулирует работу двигателей.

Однако, опыт использования подобных модулей, а также анализ отзывов о результатах реализации указанной методики, показывает, что погрешность взаимного расположения поверхностей напечатанных деталей остается критичной для качества.

Обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей деталей машин в аддитивном производстве должно осуществляться уже на этапе базирования (ориентации) модели детали в рабочей зоне принтера с помощью программ-слайсеров за счет правильного выбора баз с учетом геометрической точности принтера после процедур его сборки, настройки, калибровки и юстировки [1-2].

Для определения геометрической точности 3D-принтера в задаче базирования предлагается оценить параллельность перемещений слоеобразующего элемента по трем осям в двух направлениях для каждой оси: для оси X – в плоскостях XZ и XY; для Y – в плоскостях YZ и YX, для Z – в плоскостях ZY и ZX (рис. 1).

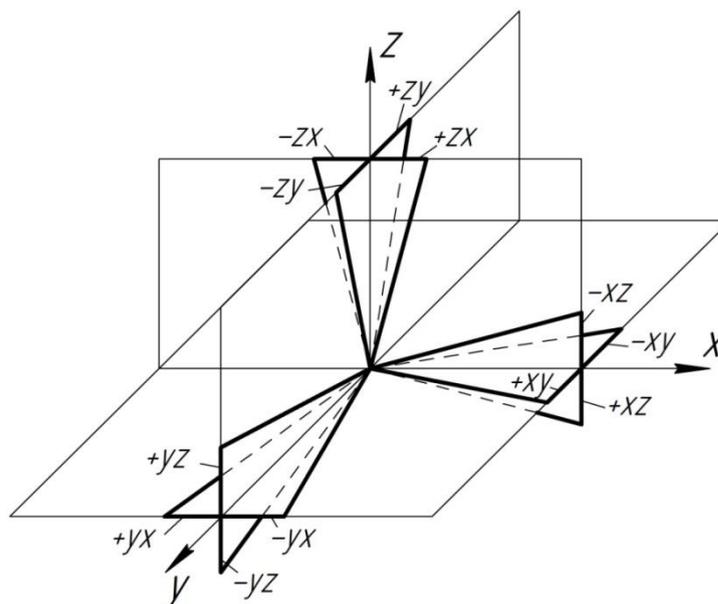


Рис. 1. Схема для оценки параллельности перемещений слоеобразующего элемента 3D-принтера

Указанная процедура может быть реализована тремя способами:

- по паспортным данным 3-D принтера (анализ паспортных данных показывает, что исследования геометрической точности практически не производятся);
- печать на 3D-принтере опытных деталей, измерение на координатно-измерительной машине соответствующих параметров по трем осям в двух направлениях и пересчет на габариты рабочей зоны;
- с помощью индикаторного приспособления по методике, разработанной на основе ГОСТ 22267 «Станки металлорежущие. Схемы и способы измерения геометрических параметров» (рис. 2). При этом предлагается индикаторную головку устанавливать на место слоеобразующего элемента.

Недостатками второго способа является косвенность измерения, необходимость использования дорогостоящих средств измерения и расходование материалов.

Недостатками третьего способа является невозможность учета влияния температурных деформаций и других свойств материалов, а также (в случае отсутствия паспорт-

ных данных по геометрической точности 3-D принтера) необходимость изготовления специальной оснастки для крепления и ориентации индикатора.

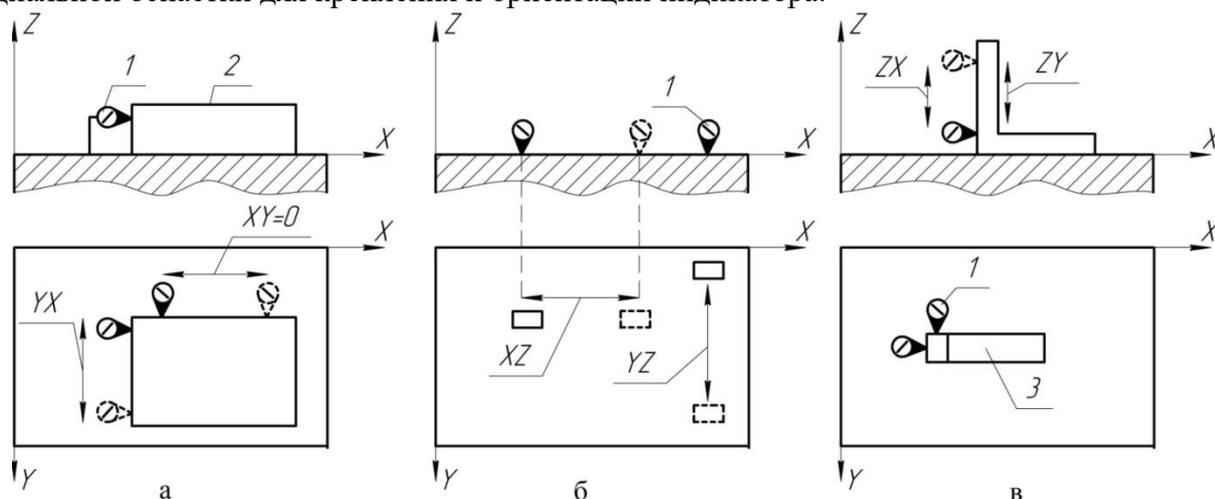


Рис. 2. Схемы методики измерения параллельности перемещений слоеобразующего элемента:
 а – для осей X и Y в плоскости XY; б – для осей X и Y в плоскостях YZ и XZ;
 в – для оси Z в плоскостях YZ и XZ; 1 – индикаторная головка, 2 – концевая мера,
 3 – поверочный угольник

Для реализации третьего способа спроектировано и изготовлено соответствующее индикаторное приспособление (рис. 3). Методика прошла опытную апробацию в Центре аддитивных технологий РИУП «Научно-технологический парк ВГТУ» и показала свою работоспособность.



Рис. 3. Апробация методики

Библиографический список

1. Попок, Н. Н. Система поддержки принятия решений по базированию моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров / Н. Н. Попок, Н. В. Беляков, Д. А. Яснев // Вестник ПГУ. – 2022. – № 3, Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение и машиностроение – С. 9–20.
2. Попок, Н. Н. Технологическое обеспечение допусков взаимного расположения поверхностей при печати деталей машин на 3D-принтерах / Н. Н. Попок, Н. В. Беляков, Д. А. Яснев [и др.] // Менеджмент качества производственных, социально-экономических и технических систем : развитие и совершенствование : сборник научных трудов. – Брянск : БГТУ, 2022. – С. 80–87.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Борисевич Инга Сергеевна, студент 4 курса
Сырокваш Наталья Александровна, ст. преподаватель
E-Mail: iborisev@mail.ru

УО «Белорусский Государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В современных рыночных условиях увеличение экономической эффективности промышленного производства является актуальной задачей, решение которой необходимо для того, чтобы повысить темпы развития производства. В структуре хозяйства Республики Беларусь машиностроение занимает центральное место. Важными факторами отрасли в Республике является выгодное экономико-географическое положение, а также наличие высококвалифицированных трудовых ресурсов. На сегодняшний день Беларусь является монополистом среди стран Содружества Независимых Государств по выпуску ряда станков, автоматизированных комплексов по резке заготовок, а также большегрузных автомобилей. Данную отрасль представляют около 250 крупных и средних организаций, в которых трудятся 165 тыс. человек. В статье рассмотрены методы повышения эффективности функционирования машиностроительного предприятия филиала – Открытого акционерного общества «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» в г. Столбцы. Для правильного функционирования предприятия необходимо наличие определенных средств и источников. Основные производственные фонды, являются самой главной основой деятельности предприятия. Дальнейшее развитие предприятия во многом зависит от поддержания стабильного баланса между постоянством и новациями, при осуществлении эффективной деятельности в настоящем с одновременным планированием будущего предприятия.

Ключевые слова. Эффективность деятельности, функционирование предприятия, машиностроение, реализация оборудования, экономия ресурсов.

Машиностроение всегда было и остается одной из ведущих отраслей экономики страны, залогом ее экономической безопасности, независимости и благосостояния.

В качестве объекта данной статьи выступает предприятие промышленной отрасли – филиал Открытого акционерного общества «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» в г. Столбцы. Основным видом деятельности предприятия является производство деталей для двигателей, а также производство современных компрессорных станций. Данное предприятие является неотъемлемой частью отечественной отрасли машиностроения и уверенно сохраняет за собой статус крупнейшего ведущего производителя современных дизельных, газодизельных, газопоршневых двигателей не только в Беларуси, но и среди 19 стран мира. Эффективность деятельности предприятия напрямую зависит от эффективности использования всех видов ресурсов: основных средств, оборотных фондов, топливно-энергетических ресурсов и т. п.

Использование основных средств напрямую влияет на финансовый результат работы предприятия. Улучшение происходит за счет увеличения выпуска продукции, снижения себестоимости, улучшения качества продукции, а также увеличения чистой прибыли.

Улучшения использования основных средств на предприятии можно достичь различными путями. На мой взгляд, в филиале ОАО «УКХ «Минский моторный завод» актуальны следующие из них:

- приобретение высокопроизводительного оборудования;
- реализация излишнего неиспользованного оборудования;
- увеличение объемов производства продукции.

Приобретение современного высокопроизводительного оборудования позволит одновременно повысить производительность труда, тем самым снизив затраты на заработную плату рабочих, занятых на производстве и затраты электроэнергии. Но приобретение такого оборудования филиалом ОАО «УКХ «Минский моторный завод» из-за нехватки столь значительных свободных денежных средств, которые можно было бы отвлечь из оборота, становится практически невозможным. Для этого постоянно ведется работа технических служб во главе главного инженера филиала с кураторами инновационного фонда Министерства промышленности Республики Беларусь, с целью выделения средств данного фонда на приобретения современных высокоточных высокопроизводительных обрабатывающих центров.

Рассматривая движение в данном направлении необходимо рассчитать степень эффективности капиталовложений, направляемых на данные цели. Рассчитаем экономическую эффективность, используя следующие методы оценки:

Статические методы [1] – коэффициент экономической эффективности (\mathcal{E}) по формуле (1.1);

$$\mathcal{E} = \frac{\Pi}{K}, \quad (1.1)$$

где Π – годовая прибыль;

K – сумма капитальных вложений для внедряемого мероприятия.

Срок окупаемости капитальных вложений (T) определяется по формуле (1.2):

$$T = \frac{K}{\Pi}, \quad (1.2)$$

А также методами дисконтирования [2] – чистый дисконтированный доход (ЧДД) рассчитывается по формуле (1.3);

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_{t-1}}{(1+r)^{t-1}} - K, \quad (1.3)$$

где t – горизонт расчета;

r – ставка дисконтирования.

Индекс рентабельности [1] найдем (ИР) по формуле (1.4);

$$\text{ИР} = \frac{\text{ДД}}{K}, \quad (1.4)$$

где ДД – дисконтированный доход.

Рассчитаем годовой экономический эффект от внедрения мероприятия:

1) Экономия электроэнергии:

$$586000 \times 0,8 \times 0,2795 = 131,03 \text{ тыс.руб.}$$

где 586000 – план производства деталей в год;

0,8 – экономия электроэнергии на 1 деталь, кВт ч;

0,2795 – одноставочный тариф за 1 кВт ч электроэнергии применяемый на предприятии.

2) Экономия заработной платы:

$$586000 \times (0,0536 - 0,0361) \times \left(1 + \frac{24}{100}\right) \times \left(1 + \frac{31,2}{100}\right) = 16,68 \text{ тыс. руб.}$$

где 0,0536 – расценка на изготовление детали до внедрения, руб.;

0,0361 – расценка на изготовление детали после внедрения, руб.;

24,0 – % премии рабочих, занятых изготовлением детали;

31,2 – % дополнительной заработной платы рабочих;

3) Экономия отчислений от заработной платы:

$$16,68 \times \left(\frac{34 + 0,5}{100} \right) = 5,75 \text{ тыс.руб.}$$

где 34 – тариф отчислений на социальное страхование согласно законодательству;
0,5 – тариф отчислений на обязательное страхование от несчастных случаев на производстве.

Итого годовой экономический эффект составит:

$$131,03 + 16,68 + 5,75 = 153,46 \text{ тыс.руб.}$$

Учитывая то, что стоимость станков составляет 380 тыс. рублей, а также принимая ставку дисконтирования на уровне ставки рефинансирования Национального банка Республики Беларусь, показатели окупаемости капитальных вложений в станки ГД267 по обработке седла клапана будут равны:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{153,46}{380} = 0,40 \\ T &= \frac{380}{153,46} = 2,48 \text{ года} \end{aligned}$$

Так как значение срока окупаемости равно 2,48, горизонт расчета примем 3 года. В этом случае ЧДД будет равен:

$$\text{ЧДД} = (153,46 + \frac{153,46}{(1+0,14)} + \frac{153,46}{(1+0,14)^2} + \frac{153,46}{(1+0,14)^3}) - 380 = 129,73 \text{ тыс.рублей}$$

$$\text{ИР} = \frac{509,73}{380} = 1,34.$$

Так как индекс рентабельности ИР > 1, то проект имеет смысл осуществлять.

Повышение эффективности функционирования предприятия является сложной задачей. Каждое предприятие представляет собой экономическую систему, состоящую из множества элементов, между которыми существуют многообразные связи. Поэтому практически невозможно измерить и выразить эффективность работы предприятия в целом единым показателем. Дальнейшее развитие предприятия во многом зависит от поддержания стабильного баланса между постоянством и новациями, при осуществлении эффективной деятельности в настоящем с одновременным планированием будущего предприятия.

Библиографический список

1. Нешиной, А. С. Инвестиции : учебник для бакалавров / А. С. Нешиной. – 9-е изд., перераб. и испр. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2016. – 352 с.
2. Аскинадзи, В. М. Инвестиции. Практикум : учебное пособие для вузов / В. М. Аскинадзи, В. Ф. Максимова. – 2-е изд., перераб. и испр. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 347 с.

ПОВЫШЕНИЕ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ В УСЛОВИЯХ ООО «НОВАТОР»

Вершинин Григорий Александрович,
E-Mail: vershinin_grisha@mail.ru
Шевченко Олег Игоревич,
E-Mail: ntiurfu@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Стальная дробь используется во многих отраслях современной промышленности. С ее помощью очищают изделия в литейном производстве от остатков формовочных смесей, от пригаров и окалин различные, создания требуемой шероховатости поверхности и упрочнение поверхности металла путем наклепа поверхности. Стальную дробь используют при подготовке поверхности для нанесения на нее различных покрытий. Строгое соответствие химического состава дроби техническим требованиям, является основой для достижения высоких качественных показателей таких как: твердость, форма, микро- и макроструктура.

Решающими критериями качества дроби являются износостойкость и прочность, которые определяют влияние дроби на обрабатываемую поверхность. Повышение у стальной дроби механических свойств осуществляется в результате ее термической обработке (закалка, отпуск). Недостатком этого способа является высокая хрупкость, которая приводит к большому расходу стальной дроби

В данной статье предложено заменить традиционную термообработку (закалка+отпуск) на изотермическую закалку. Это и позволит сэкономить время на термообработку и энергетические затраты. При этом качество продукции будет обладать повышенной механической прочностью и достаточной пластичностью, что позволит уменьшить расход стальной дроби.

Ключевые слова. Дробь, износостойкость, качество, твердость, ударная вязкость.

Решающими критериями качества дроби является износостойкость, которая достигается за счет высоких механических свойств: прочность, твердость и пластичность.

Для достижения необходимых механических свойств, дробь подвергается различным видам термообработки

Задача изотермической закалки является сокращение времени на термообработку, и соответственно уменьшение энергозатрат. Что приводит к сокращению технологического цикла термообработки и улучшения механических свойств дроби.

Химический состав дроби (представлен в табл. 1). Он близок к хим. составу стали У10Г. Поэтому для исследования образцов на ударную вязкость использовалась эта сталь. Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали У10Г [3] (рис. 1). **По данным [4] сталь к отпускной хрупкости не склонна.**

Таблица 1

Химический состав дроби, у ООО «НОВАТОР»

C	Mn	Si	P	S
0,8-1,2	0,5-0,9	0,8-1,2	<0,05	<0,05

Термическая обработка проводилась по режимам:

1) производилась закалка: образец нагревался до температуры аустенизации (≈ 800 °C) с последующим отпуском при температурах: 300, 325, 350, 375 и 400 °C (табл. 2);

2) изотермическая закалка в ванне с расплавом Pb – Sn эвтектического состава (ПОС-61) 250 °С (табл. 3);

3) изотермическая закалка в ванне с расплавом Pb – Sn эвтектического состава (ПОС-61) 300 °С (табл. 3);

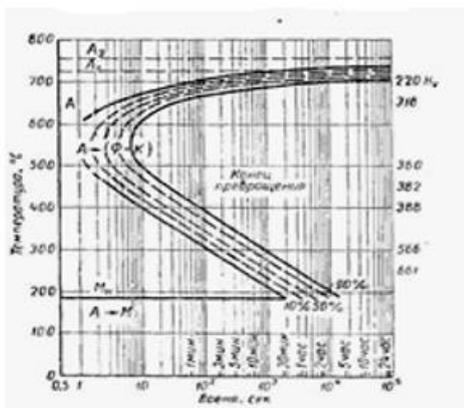


Рис. 1. Изображение распада переохлажденного аустенита для стали У10Г

Таблица 2

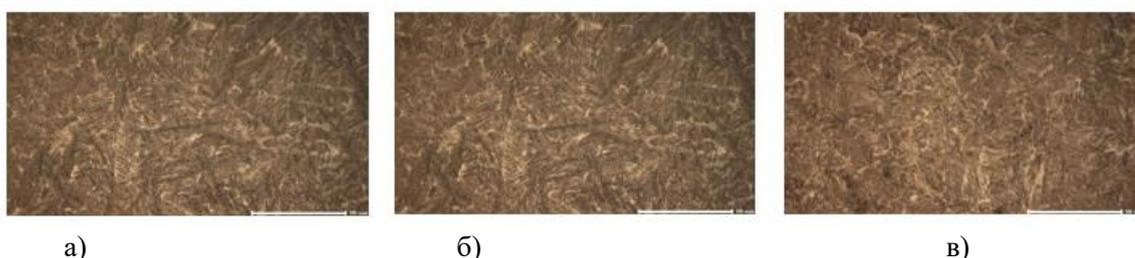
Режимы отпуска					
температура, °С	300	325	350	375	400
время выдержки, минут	40				
среда охлаждения	воздух				

Таблица 3

Режимы изотермической закалки		
Температура ванны с расплавом, °С	время выдержки, мин.	среда охлаждения
250	15	10% раствор NaCl
300		

Исследование твердости проводилось на универсальном приборе для измерений твердости металлов и сплавов ИТ 5010-01М. Исследование микроструктуры сталей на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-41, с использованием программного обеспечения «Анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел» в отраженном свете под разным увеличением. Испытания на ударную вязкость проводились на агрегате: копер маятниковый КМ-30.

После традиционной термообработки (закалка + отпуск) структура представляет отпущенный мартенсит и показана на рисунке 2. После изотермической закалки структура представляет собой нижний бейнит и мартенсит (рис. 3).



а)

б)

в)



г) д)

Рис. 3. Структура образцов после отпуска при температуре:
а) 300 °С; б) 325 °С; в) 350 °С; г) 375 °С; д) 400 °С



а) б)

Рис. 2. Структура образцов после изотермической закалки при температуре:
а) 250 °С; б) 300 °С

Таблица 4

Исследование твердости (HV) образцов после отпуска при различных температурах

Температура отпуска, °С	300		325		350		375		400	
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ср. значение твердости, HV	614,2	615,5	585,5	564	528,7	525,5	506	505,3	473,3	484

Таблица 5

Исследование твердости (HV) образцов после изотермической закалки при T=250 °С

Номер образца	1	2	3	4	5
Ср. значение твердости, HV	608,3	579	585,5	606,5	607

Таблица 6

Исследование твердости (HV) образцов после изотермической закалки при T=300 °С

Номер образца	1	2	3	4	5
Ср. значение твердости, HV	509,5	515,8	493,8	506,5	488,8

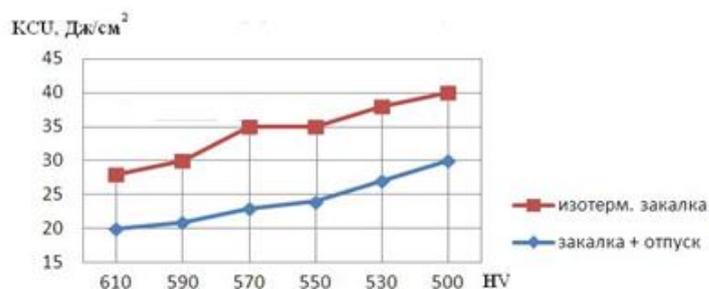


Рис. 4. Ударная вязкость в зависимости от твердости образцов при различных режимах термообработки

В результате исследований установлено, что при различных видах термообработки, ударная вязкость в случае применения изотермической закалки оказалась выше, чем у традиционного режима закалка + отпуск, хотя твердость образцов была и одинакова. После изотермической закалки в образцах сформирована структура нижний бейнит, а после закалки и отпуска отпущенный мартенсит.

Таким образом целесообразно заменить традиционную термообработку (закалка+отпуск) на изотермическую закалку. Это позволит сэкономить время на термообработку и энергетические затраты. При этом качество продукции будет обладать повышенной механической прочностью и достаточной пластичностью, что позволит уменьшить расход стальной дроби.

Библиографический список

1. Пат. RU 2372409 С2. Способ термической обработки металлической дроби / Грачев С. В., Мальцева Л. А., Жуйков О. В. [и др.]. Патентное ведомство, Россия, 2009.
2. Технология изотермической закалки на бейнит. – Режим доступа : <https://heattreatment.ru/tekhnologiya-izotermicheskoy-zakalki-na-bejnit.html>.
3. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана : справочник термиста / Л. Е. Попова, А. А. Попов – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1991. – 503 с.
4. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Сорокина. – Москва : Машиностроение, 1989. – 640 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Губина Мария Александровна, студент бакалавриата,
Пегашкин Владимир Федорович, д-р. техн. наук
E-mail: besh1972@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Поперечное сечение тел вращения всегда имеет отклонение от теоретической формы. Для анализа процесса формирования погрешности необходимо установить математическую модель погрешности профилей. Рассмотрено описание отклонения контура поперечного сечения детали в виде гармонического ряда Фурье. Проведены исследования зависимости точности аппроксимации погрешности профиля от количества гармонических составляющих в математической модели. Установлено, что достаточная степень аппроксимации достигается при наличии в модели шести гармонических составляющих.

Ключевые слова. Погрешность обработки, гармонический анализ.

Поперечное сечение тел вращения всегда имеет отклонение от теоретической (круглой) формы (рис. 1). Для анализа процесса формирования погрешности необходимо установить математическую модель погрешности профилей.

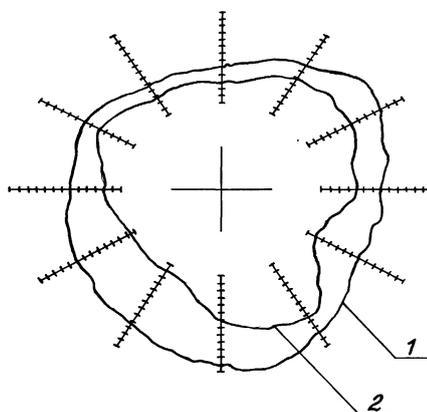


Рис. 1. Примеры круглограмм поперечного сечения детали типа «вал»: 1 и 2 – различные ступени вала

Определим математическую модель погрешности профилей. Одним из инструментов обработки данных, определенных непрерывной функцией $f(x)$, является спектральный анализ, имеющий в своей основе различные интегральные преобразования [1]. Примерами спектров являются преобразование Фурье, превращающее функцию в совокупность частотных составляющих. Преобразование Фурье – интегральное преобразование, раскладывающее исходную функцию по базисным функциям, в качестве которых выступают синусоидальные и косинусоидальные функции, т. е. представляет исходную функцию в виде интеграла синусоид и косинусоид различной частоты, амплитуды и фазы.

Рассматривая погрешность профиля Δ_i как функцию угла φ_i можно представить отклонение контура поперечного сечения детали в виде гармонического ряда Фурье

$$\Delta(\varphi) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi),$$

где a_0 , a_k , b_k – коэффициенты ряда.

Величина $(a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi)$ представляет собой k -ю гармоническую составляющую погрешности. Амплитуда отдельной гармонической составляющей находится по следующей зависимости:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2},$$

где a_0, a_k, b_k – коэффициенты ряда.

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}; a_k = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i \cos k\varphi_i}{n}; b_k = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i \sin k\varphi_i}{n}.$$

На рис. 2 приведены спектры круглограмм (рис. 1) для десяти первых гармонических составляющих.

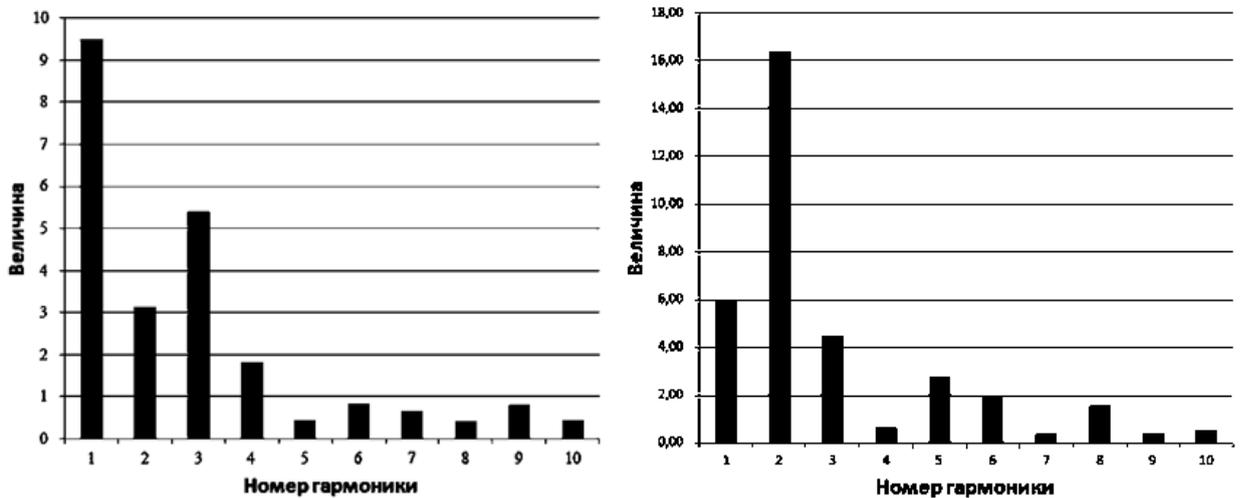


Рис. 2. Спектры круглограмм, соответствующих рис. 1

Видно, что наибольшую амплитуду имеют несколько первых гармонических составляющих. Гармонический ряд может быть бесконечен ($k \rightarrow \infty$). Необходимо провести исследования зависимости точности аппроксимации погрешности профиля от количества гармонических составляющих в математической модели.

Согласно теории гармонического анализа первая составляющая соответствует эксцентриситету профиля, вторая – эллипсообразности, третья – трехгранной огранке, четвертая – четырехгранной и т. д. [2].

Был проведен гармонический анализ кругограмм цилиндрических поверхностей деталей типа «вал» по данным [3–7]. На рис. 3 приведен пример аппроксимации погрешности профиля детали рядом Фурье для различного количества учитываемых гармоник. Видно, что с увеличением гармонических составляющих расчетный профиль, полученный в результате аппроксимации больше совпадает с реальным.

Относительную погрешность аппроксимации профиля в i -й точке (δ_i) определяли по формуле

$$\delta_i = |\Delta_{in} - \Delta_{ia}| / \Delta_{in},$$

где Δ_{in} и Δ_{ia} – погрешности профиля измеренного и аппроксимированного.

На рис. 4 представлены зависимости относительной погрешности аппроксимации от количества учитываемых гармонических составляющих для различных деталей. Видно, что при увеличении количества гармоник до 6 погрешность аппроксимации уменьшается. Дальнейшее увеличение количества гармоник не вносит существенного уточнения математической модели.

Таким образом установлено, что достаточная степень аппроксимации достигается при наличии в модели шести гармонических составляющих.

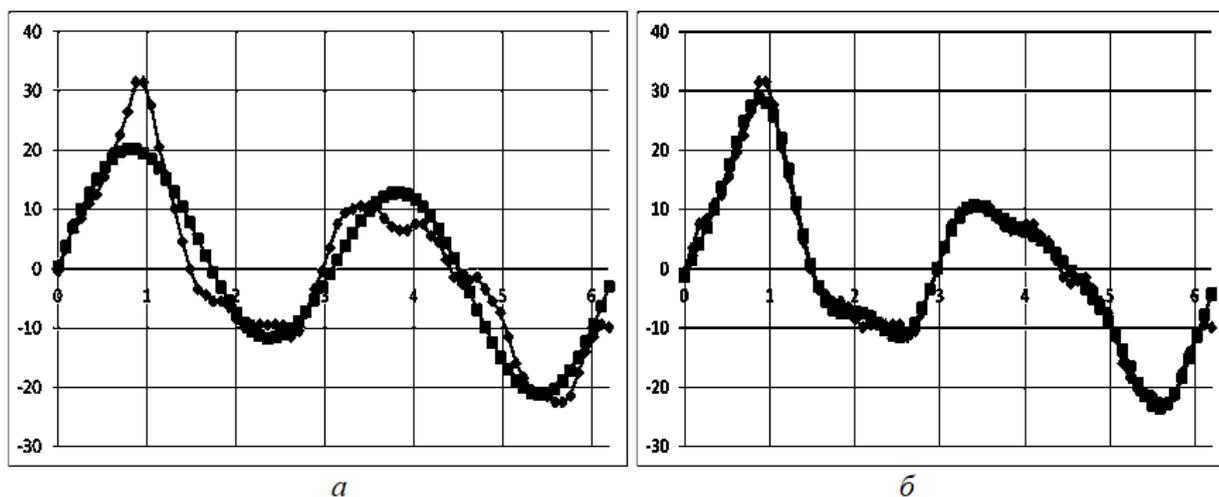


Рис. 3. Примеры аппроксимации погрешности детали для $k = 3$ (а) и $k = 6$ (б), погрешность профиля детали: ◆ – измерение, ■ – аппроксимация

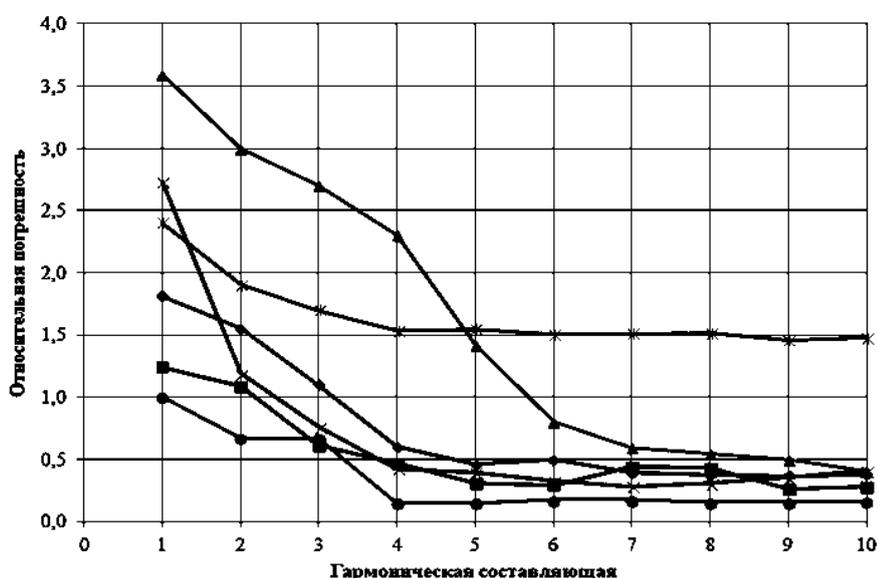


Рис. 4. Зависимость погрешности аппроксимации от количества учитываемых гармонических составляющих для различных профилей деталей

Библиографический список

1. Спектральный анализ / <http://profbeckman.narod.ru/ZastZond.files/Glava2.pdf>
2. Холопов, В. Н. Исследование физических основ образования погрешностей деталей типа тел вращения при токарной центровкой обработке. // Дисс... канд. техн. наук. – Москва, 1972. – 206 с.
3. Марков, Н. Н. Влияние отклонений от круглости поверхностей цилиндрических изделий на точность их центрирования / Н. Н. Марков // Вестник машиностроения, 1979. – № 5. – С. 51–52.

4. Авдулов, А. Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А. Н. Авдулов. – Изд-во стандартов, 1974. – 176 с.
5. Гебель, И. Д. Инвариантные свойства отклонения профиля от круглости формы / И. Д. Гебель // Измерительная техника, 1978. – № 11. – С. 16–19.
6. Когут, А. Ф. О недостатках стандартизации точности обработки деталей / А. Ф. Когут // Вестник машиностроения, 1978. – № 5. – С. 51–52.
7. Сухов, М. Ф. О контроле радиального биения детали / М. Ф. Сухов, А. А. Зюзин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1976. – № 1. – С. 52–54.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Дуббесса Мулубирхан Хайлу, аспирант,
Коптев Анатолий Никитович, д-р техн. наук, проф.
Деста Абебе Бекеле, аспирант
E-mail: mulubirhandubbessa4@gmail.com

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С. П. Королева, г. Самара, РФ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос тенденций развития систем электрообеспечения летательных аппаратов на основе анализа достижений отечественных и зарубежных самолетостроителей. Производится теоретический анализ технических характеристик агрегатов и систем электрообеспечения определяющих факторы повышения эффективности их эксплуатации.

Ключевые слова. Система электрообеспечения, Система генерации электроэнергии, Система управления нагрузкой, Статический преобразователь, Переменный ток, Постоянный ток.

Тенденции развития авиационной техники (АТ) тесно связаны с увеличением числа и мощности потребителей электрической энергии (ЭЭ) на борту летательного аппарата (ЛА). Система электрообеспечения (СЭС) ЛА обеспечивает необходимое количество и качество ЭЭ всех потребителей, которые и достигли значительных показателей за прошедшие годы, поскольку ЛА перешли к концепции электрического самолета с полностью электрифицированным оборудованием и стали более зависимыми от электроэнергии [1–3].

По отечественным и зарубежным данным замена всех видов вспомогательной энергии на борту только на ЭЭ обеспечивает уменьшение взлетной массы оборудования ЛА, упрощение и уменьшение стоимости его эксплуатации и наземного обслуживания, упрощение бортовых систем и т.д. Как показывают исследования, системы электрооборудования для электрификации систем различных классов уже в настоящее время по установленной массе не уступают гидро- и пневмомеханическому оборудованию, но при этом по величине взлетной массы, эксплуатационной надежности, технологичности и стоимости обслуживания в эксплуатации, повышению уровня автоматизации существенно превосходят его [1].

Типичной СЭС 1940-х и 1950-х годов была генератора постоянного тока 28 В установленной на двухмоторных ЛА с одной или двух аккумуляторных батареи аварийных СЭС и инвертор для подачи 36/115 В переменного тока частотой 400 Гц. Со временем уровни генерируемой мощности на ЛА значительно выросли, и эта тенденция сохраняется и даже усиливается сегодня [3].

Большинство авиационных оборудования сегодня используют 115В переменного тока постоянной частоты 400 Гц и для генерирования таких напряжений применяются приводы постоянной скорости (ППС). ППС – это сложные гидромеханические устройства, которые по своей природе не обладают высокой надежностью без значительных затрат на техническое обслуживание. Поэтому внедрение систем генерации переменного тока постоянной частоты не обошлось без сопутствующих проблем с надежностью. В современных ЛА генератор и ППС представляют собой комбинированный блок, называемый интегрированным приводным генератором (ИПГ).

С точки зрения развития СЭС ЛА общая картина более сложна как показано на рисунке 1, который показывает использование различных систем генерации и управления нагрузкой с 1950 года.

В 1950-х годов основными типами генерации ЭЭ были узкополосные и широкополосные системы переменного тока с переменной частотой (пер. Ч) или вдвоенные системы постоянного тока 28 В, которые удовлетворяли скромных потребностей в электроэнергии того времени. По мере развития технологий производства электроэнергии в конце 1950-х - начале 1960-х годов стало возможным генерировать постоянную частоту 400 Гц с 115 В переменным током, а также были разработаны схемы, которые позволяли двум генераторам переменного тока работать параллельно для обеспечения бесперебойной подачи.

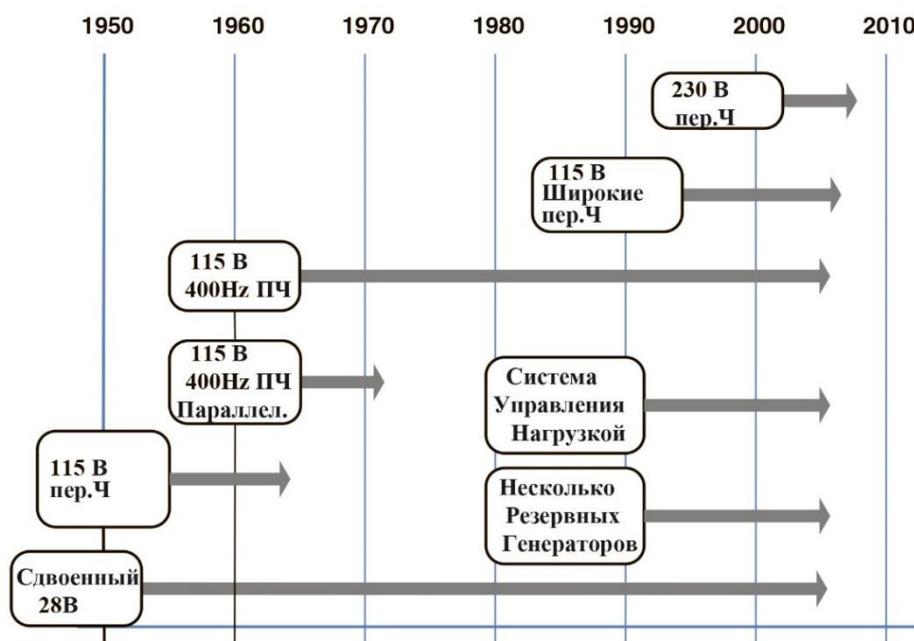


Рис. 1. Тенденции изменения в области производства СЭС и систем управления нагрузкой

Постоянное увеличение уровней мощности и усложнение электрических нагрузок ЛА привело к внедрению систем управления нагрузкой и нескольких резервных генераторов. Дальнейшая зависимость систем высокой надежности от электрических систем самолета также была важным фактором.

Достижения в технологии мощных полупроводниковых переключателей вместе с усовершенствованием необходимой управляющей силовой электроники сделали системы переменной скорости постоянной частоты жизнеспособным предложением в последнее десятилетие. Система переменной скорости постоянной частоты заменила менее надежную часть ППС, переменную частоту от генератора переменного тока преобразовав в мощность 115 В переменного тока постоянной частоты 400 Гц с помощью статического (твердотельного) преобразователя (Рисунок 2) [3].

Наиболее перспективными СЭС переменного тока постоянной частоты на современном этапе представляются [1, 4, 5]:

- переменного трехфазного тока нестабильной частоты (360...800 Гц) напряжением 115/200 В;
- переменного трехфазного тока нестабильной частоты (360...800 Гц) повышенного напряжения (230/400 В);
- переменного трехфазного тока нестабильной частоты (360...800 Гц) и нестабильного напряжения (115/200 В...230/400 В);
- системы постоянного тока повышенного напряжения (270 В или 540 В);
- системы постоянного тока нестабильного напряжения (270...540 В);

- системы переменного тока постоянной частоты 400 Гц со статическими преобразователями частоты типа ПСПЧ.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что системы электропитания ЛА в существующем виде уже во многом исчерпали возможности дальнейшего совершенствования в части увеличения мощности и повышения качества генерируемой электроэнергии. Обеспечение выполнения непрерывно возрастающих с развитием авиационной техники требований к системам электропитания и к электроэнергетическим комплексам ЛА в целом связано с поиском кардинально новых подходов к построению их силовых и информационных структур. Определенные предпосылки для решения стоящих проблем уже созданы в предыдущие годы рядом ведущих организаций и специалистов в области авиационной ЭЭ.

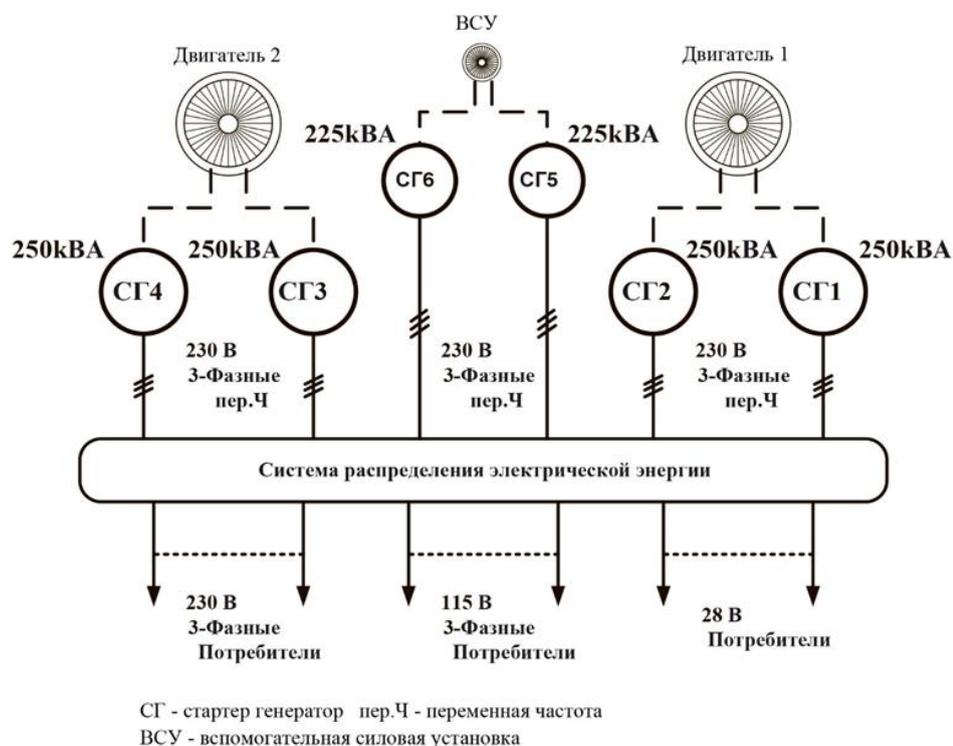


Рис. 2. Система электропитания В-787

Проведенный анализ современного состояния и тенденций развития СЭС ЛА показывает, что к наиболее важным направлениям совершенствования электроэнергетических комплексов в рамках концепции ПЭС относятся:

- разработка новых типов СЭС, а также перспективных структур с расширенными возможностями адаптации;
- разработка более совершенных источников электрической энергии повышенной мощности на базе «холодных» сверхпроводников.

Библиографический список

1. Системы электропитания летательных аппаратов / Халютин С. П., Жмуров Б. В., Тюляев М. Л. [и др.]. – Москва : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2010. – 428 с.
2. Коптев, А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации : учеб. пособие / А. Н. Коптев ; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара : Изд-во СГАУ, 2011. – 555 с.

3. Ian Moir and Allan Seabridge (2008), Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition ed, John Wiley & Sons, Ltd.
4. Воробьев В. Г. Техническая эксплуатация авиационного оборудования / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов, В. Г. Денисов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1990. – 296 с.
5. Мусин С. М. Системы электроснабжения летательных аппаратов, особенности эксплуатации и поиск неисправностей : методические рекомендации, выпуск № 7111, 1999. – 258 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ОТКРЫТОГО МОЛОТОВОГО ШТАМПА

Елистратов Данил Андреевич, аспирант
E-mail: dan.elistratow@gmail.com

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева, г. Самара, РФ

Аннотация. Целью исследования является выявление зависимости стойкости штампового инструмента от его конфигурации. В статье рассмотрены несколько вариантов выявления зависимости износостойкости от геометрии оснастки: эмпирическим путем с последующим выведением математического уравнения на основе проведенного эксперимента с опытным штампом, с помощью пакета Excel, путем построения зависимостей и выявления их достоверности, а также путем имитации технологического процесса горячей объемной штамповки в пакете Deform, анализируя пару штампов с различными заусенечными канавками. Показана зависимость износостойкости от формы облоя и заусенечной канавки. Научная новизна работы заключается в подходе к изучению стойкости: в первоначальном проведении эксперимента эмпирическим методом и его обосновании теоретическим способом, а также моделировании процесса в программе, позволяющей моделировать технологические процессы штамповки, а также, используя метод конечных элементов, обосновывать распределение температур, напряжений и деформаций в штампе. В результате для штамповочного инструмента выявлена определенная зависимость от размеров и формы заусенечной канавки, позволяющая технологу на предприятии, учитывая данные результаты, еще на моменте проектирования технологической оснастки, существенно снизить в будущем и предотвратить заранее затраты на восстановление инструмента.

Ключевые слова. Износостойкость, заусенечная канавка, облой, стойкость, оснастка, штамповка, штамповочный инструмент

Одним из важных направлений в кузнечно-штамповочном производстве остается повышение стойкости штамповой оснастки. Для жаропрочных и нержавеющей сталей стойкость до возобновления относительно малая и составляет порядка тысячи деталей до возобновления.

Так, на стойкость оказывают большое влияние как форма самого штампа, так и размеры заусенечной канавки. Высокая температура и большие напряжения в облое приводят к скоротечному смятию и истиранию поверхности мостика.

Целью данной работы является выявление зависимости стойкости штампового инструмента от его конфигурации

Для начала на контрольном штампе с расширяющейся заусенечной канавкой было получено 2000 поковок. По результатам работы, соблюдая интервалы, были произведены обмеры полученных заготовок, в дальнейшем данные об износе. Пять образцов были сфотографированы, а их площади сечений измерены. Наиболее уязвимой частью оказался выступ на верхней части штампа заусенечной канавки. Исходя из полученных расчетов, можно утверждать, что износ происходит равномерно примерно до 1500 изготовленных деталей, а далее ускоряется.



Рис. 1. Вид контрольных поковок с поперечным сечением

На основе расчетов, используя метод наименьших квадратов получено уравнение прямой (1), которой может быть описан износ:

$$hi = 7,84 \cdot 10^{-5} \cdot S + 1,297, \quad (1)$$

где hi – минимальная толщина расширяющегося мостика;

S – количество отштампованных деталей.

Также для данного эксперимента было проведено исследование с применением пакета *Excel*:

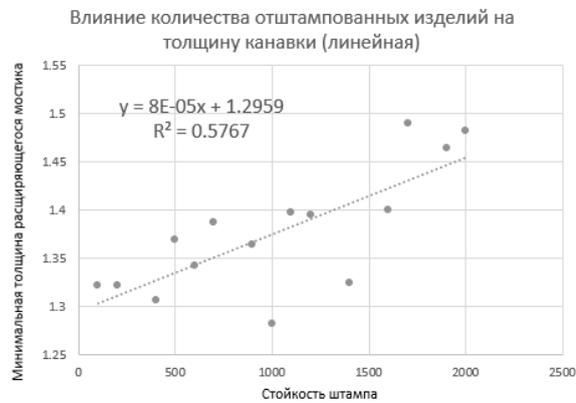


Рис. 2. Влияний количества отштампованных изделий на минимальную толщину изделий канавки (линейная зависимость)

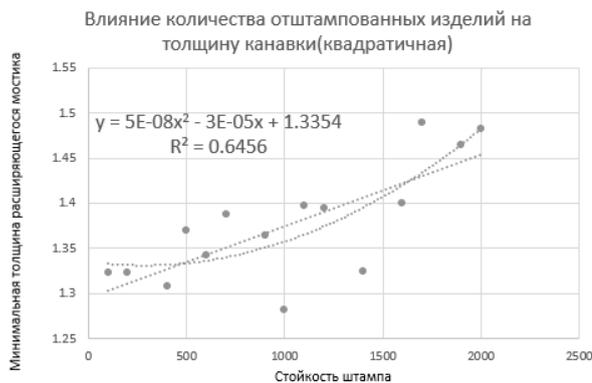


Рис. 3. Влияние количества отштампованных изделий на минимальную толщину канавки (квадратичная зависимость)

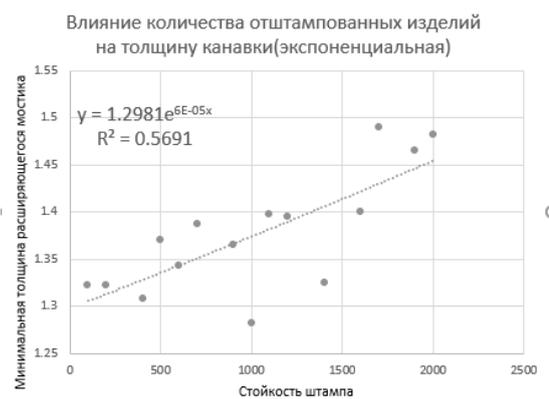


Рис. 4. Влияние количества отштампованных изделий на минимальную толщину канавки (экспоненциальная зависимость)

Модель, полученная при помощи линейной аппроксимации, подтверждает правильность полученного уравнения на основе эксперимента, т.к. параметр достоверности для данного случая составил 0,57 и модель положено считать верной. Аналогично, были проведены эксперименты с квадратичной и экспоненциальной зависимостями.

Следующим шагом, была подтверждена стойкость, сравнивая результаты моделирования процессов горячей объемной штамповки на идентичной оснастке для детали «Болт» в Deform, однако с разными облоями. Одна из них содержала параллельный мостик, другая же расширяющийся. На основе этого эксперимента, также можно утверждать, что связь есть. В опыте с оснасткой с расширяющимся мостиком были получены лучшие показатели Stress Effective, Velocity, Strain Effective, что может говорить о более легком течении металла в полости инструмента и отсутствии высоких напряжений.

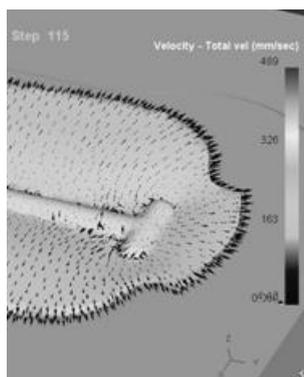


Рис. 5. Velocity для расширяющегося заусенечного мостика на 115 шаге

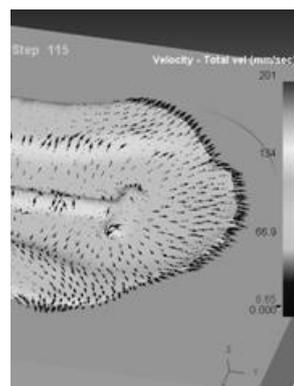


Рис. 6. Velocity для параллельного заусенечного мостика на 115 шаге

Выявление зависимостей, приводящих к выводу из строя инструмента, играет огромную роль в машиностроении, позволяя сэкономить ряд денежных средств еще на моменте проектирования оснастки. По результатам данной работы, было выявлено, что вид облоя, может оказывать значительной влияние на износостойкость штамповочной оснастки.

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА СЖИМАЕМОСТИ ДИФТОРЭТАНА ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Жлобо Руслан Андреевич, ассистент,
Сязин Иван Евгеньевич, канд. техн. наук, доц.,
Биденко Александр Геннадьевич, аспирант
E-mail: rzhlobo@bk.ru

Кубанский государственный университет,
г. Краснодар, РФ

Аннотация. В наше время зависимость температуры от давления используют по уравнению Менделеева – Клайперона (уравнение состояния идеального газа). А на практике идеальный газ от реального отличается (одна поправка учитывает собственный объем молекул газа, вторая поправка принимает во внимание силы взаимодействия молекул реального газа). И на основании этого из 70 проанализированных уравнений лучше всего подходит уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса). Предложенное уравнение характеризует наиболее точную взаимосвязь температуры и давления в реальных условиях при определенных объемах. Если знать постоянные уравнения реального газа, то можно определять очень важные теплофизические свойства данного вещества (например, коэффициент сжимаемости, теплоемкость, работу сжатия и так далее). Эти знания нужны для более энергоэффективного проектирования оборудования в машиностроении или энергомашиностроении, а также в технологических процессах при переработке ископаемого сырья. В данной статье рассматривается фреон (хладагент) R-152A. Из справочных данных по таблице химических элементов Менделеева находим газовую постоянную. Зная критические параметры данного фреона (температура, давление, объем и другие) рассчитывались две газовые постоянные и коэффициент сжимаемости в различных климатических условиях субъекта Российской Федерации.

Ключевые слова. Трифтордихлорэтан, работа сжатия, постоянные уравнения Ван-дер-Ваальса, молекулярная масса, универсальная газовая постоянная, коэффициент сжимаемости, расчет.

Фреон R-152A, имеющий название дифторэтан и химическую формулу CH_3CHF_2 , находится в группе гидрофторуглеродов и прекрасно используется в качестве компонента смесевых хладагентов. Данный фреон сжижен под давлением и похож на бесцветный газ. По термодинамическим параметрам R-152A очень похож на фреон R-134A, но имеет наиболее низкий потенциал глобального потепления. Поэтому его используют в автомобильных кондиционерах, которые предрасположены к утечкам фреона.

Зная методики расчета, рассчитываем необходимые данные [1-12]:

$$R = \frac{R_y}{M} = \frac{8314}{66} = 125,97 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{К}} \right)$$

где R_y – универсальная газовая постоянная (Дж/кг·°К);

M – молекулярная масса (г/моль);

R – газовая постоянная (Дж/кг·°К);

$$M(\text{CH}_3\text{CHF}_2) = 12 + 1 \cdot 3 + 12 + 1 + 19 \cdot 2 = 66 \left(\frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} \right)$$

Критические параметры находим в специализированной программе *CoolPack* по $\log(P)$ - h диаграмме для данного фреона.

$T_{\text{кр}} = 386,3 \text{ } ^\circ\text{К}$;

$P_{\text{кр}} = 4,52 \text{ МПа}$;

$V_{\text{кр}} = 0,002 \frac{\text{М}^3}{\text{кг}}$;

$$a = \frac{27 \cdot T^2 \cdot R^2}{64 \cdot P} = \frac{27 \cdot 386,3^2 \cdot 125,97^2}{64 \cdot 4,52 \cdot 10^6} = 221,02 \left(\frac{\text{М}^5}{\text{С}^2 \cdot \text{КГ}} \right)$$

где T – температура френа (°K);
 P – давление френа (МПа);
 V – удельный объем ($\text{м}^3/\text{кг}$).

$$b = \frac{T \cdot R}{8 \cdot P} = \frac{386,3 \cdot 125,97}{8 \cdot 4,52 \cdot 10^6} = 1345,7 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}\right)$$

$$Z_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{кр}} \cdot V_{\text{кр}}}{R \cdot T_{\text{кр}}} = \frac{4,52 \cdot 10^6 \cdot 0,002}{125,97 \cdot 386,3} = 0,18577$$

Индекс «кр» означает данные характеристики для критических параметров данного френа.

Аналогично рассчитываем коэффициент сжимаемости для рабочих температур (от 236,3 °K до 386,3 °K), и результаты значений показаны на рисунке 1:

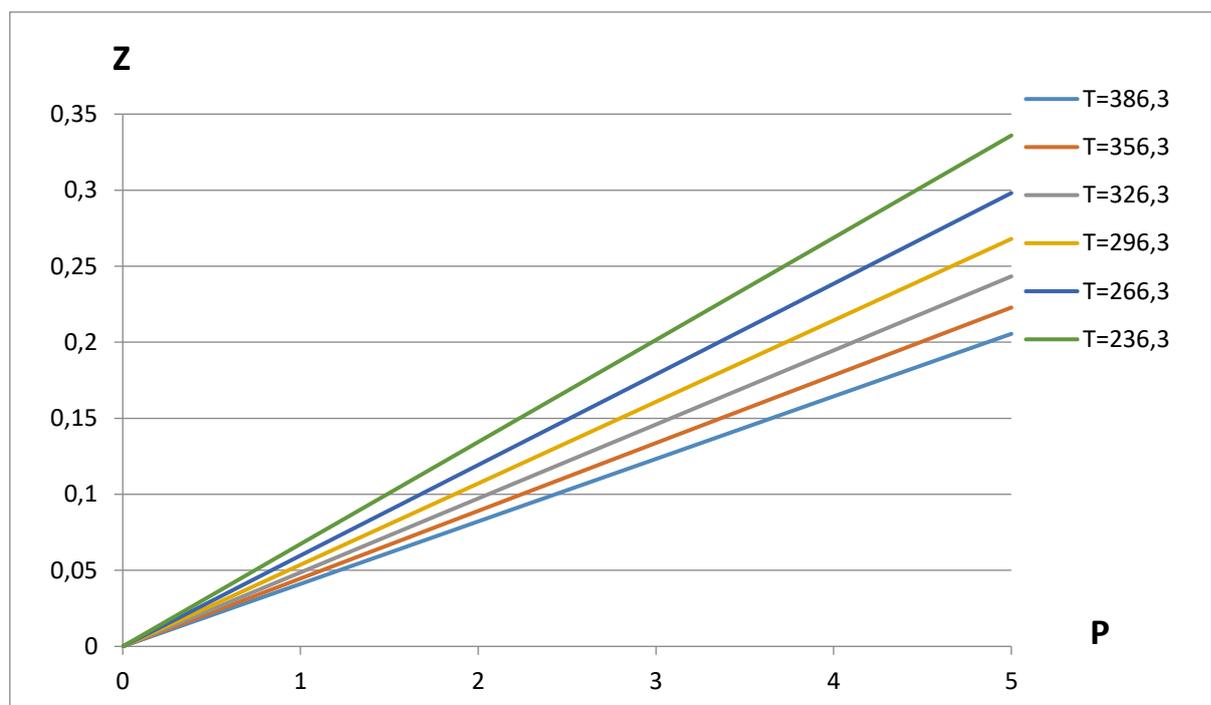


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжимаемости от давления при различных температурах

При увеличении давления и температуры можно заметить, что коэффициент сжимаемости будет увеличиваться при заданном наименьшем (критическом) объеме. При увеличении объема коэффициент сжимаемости будет увеличиваться (достигнет 1), т.к. при увеличении числителя в формуле (Z), будет увеличиваться и сам коэффициент сжимаемости (достигнет 1). Благодаря найденным значениям можно добиться энергосбережения в машиностроение, так как данный параметр будет влиять на работу сжатия.

Библиографический список

1. Жлобо Р. А. Зависимость коэффициента сжимаемости трифтортрихлорэтана от давления при различных температурах / Жлобо Р. А., Степанова Е. Г., Гармаш А. П. // Электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 893–897.
2. Жлобо Р. А. Зависимость коэффициента сжимаемости фтортрихлорметана от давления при различных температурах / Жлобо Р. А., Степанова Е. Г., Бзегежев А. З. // Электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 909–913.

3. Зависимость коэффициента сжимаемости тетрафторэтана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, И. Е. Полушкин [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 472–480.

4. Зависимость коэффициента сжимаемости тетрафторметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, О. А. Пятыхин [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 465–472.

5. Зависимость коэффициента сжимаемости тетрафтордихлорэтана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, Н. Д. Капитанов [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 457–465.

6. Зависимость коэффициента сжимаемости дихлорфторметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, М. П. Тихомиров [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 276–284.

7. Зависимость коэффициента сжимаемости дифтордихлорметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, А. Е. Лебедев [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 268–276.

8. Зависимость коэффициента сжимаемости хлордифторметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, И. В. Томашев [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 486–494.

9. Зависимость коэффициента сжимаемости трифторхлорметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, Р. В. Масленников [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 502–510.

10. Зависимость коэффициента сжимаемости оксафторциклобутана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, Г. Г. Черненко [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 338–344.

11. Зависимость коэффициента сжимаемости трифторметана от давления при различных температурах / Р. А. Жлобо, Е. Г. Степанова, А. Ю. Трудников [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии : 4 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар : ООО «ПринтТерра», 2021. – С. 494–502.

12. Расчет и проектирование сопла Лавалья / Ю. С. Беззаботов, Р. А. Жлобо, Д. Р. Мойдинов, Е. Г. Степанова // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : Сборник тезисов докладов участников I Международной научно-практической конференции, Керчь, 14–17 мая 2020 года / Под общей редакцией Е. П. Масюткина. – Керчь : ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2020. – С. 172–175.

СРАВНЕНИЕ КОНКУРСНЫХ ЗАДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САД-СИСТЕМ

Иванов Кирилл Геннадьевич, студент
Федорова Алена Анатольевна, ассистент
E-mail: e_a_a@mail.ru

Чувашский государственный университет И. Н. Ульянова
г. Чебоксары, РФ, Чувашская Республика

Аннотация. Конкурсы и олимпиады – это эффективный инструмент учебной, воспитательной и профориентационной работы среди обучающихся. Применительно к САД-системам конкурсы способствуют ускоренному формированию у обучающихся САПР-ориентированных компетенций на высоком профессиональном уровне. Эффективность таких мероприятий зависит во многом от содержания и постановки конкурсного задания. Поэтому целью работы выбрано сравнение и подбор конкурсных заданий для эффективности конкурсов и олимпиад по работе в САД-системах. Для решения поставленной цели был проведен поиск конкурсов и олимпиад в САД-системах, проводимых на территории Российской Федерации, оценка существующих конкурсных заданий, решаемых на данных конкурсах и олимпиадах, и выявление оптимального конкурсного задания для оценки умений и навыков обучающихся в работе с САД-системами. В ходе работы, было отмечено, что на территории России существуют большое количество конкурсов и олимпиад различного уровня (внутривузовский, городской, региональный, федеральный и международный) и среди них было выявлено пять основных видов конкурсных заданий. Проведенный анализ показал, что конкурсные задания отличаются целью конкурса и формируемыми компетенциями, и что каждый из них может быть применен в отдельных номинациях на различных уровнях конкурсов.

Ключевые слова. Моделирование, конкурс, олимпиада, САПР, САД-система.

В формировании у обучающихся системно сформированных профессиональных компетенций важное место принадлежит профессиональным конкурсам и междисциплинарным олимпиадам. В качестве основных целей проведения предметных олимпиад выдвигаются, как правило, повышения мотивации учебной деятельности студентов в данной предметной области, развитие творческого и профессионального потенциала, формирование и развитие когнитивных способностей. Конкурсы и олимпиады – это эффективный инструмент учебной, воспитательной и профориентационной работы среди обучающихся. Конкурсы и олимпиады по САД-системам способствуют развитию у обучающихся навыков и умений владения методами и средствами САПР, а также ускоренному формированию у обучающихся САПР-ориентированных компетенций на высоком профессиональном уровне [1].

Эффективность конкурсов и олимпиад зависит во многом от содержания и постановки конкурсного задания. Целью работы является сравнение и подбор конкурсных заданий для эффективности конкурсов и олимпиад по работе в САД-системах.

Для решения поставленной цели были поставлены следующие задачи: поиск конкурсов и олимпиад в САД-системах, проводимых на территории Российской Федерации, оценка существующих конкурсных заданий, решаемых на данных конкурсах и олимпиадах, выявление оптимального конкурсного задания для оценки умений и навыков обучающихся в работе с САД-системами.

На территории Российской Федерации существуют большое количество конкурсов и олимпиад различного уровня (внутривузовский, городской, региональный, федеральный и международный), проводимых с применением САД-систем, такие как национальный чемпионат «WorldSkillsRussia», национальный чемпионат «WorldSkillsHi-tech», всероссийский отборочный межвузовский чемпионат «Молодые профессионалы», всероссий-

ская олимпиада «Геометрическое моделирование», всероссийская студенческая олимпиада по компьютерному моделированию в конструировании аэрокосмических устройств и систем», всероссийская олимпиада по САПР г. Самара, Региональный конкурс «Трёхмерное моделирование» и другие региональные, городские, внутривузовские, а также конкурсы, проводимые отдельными организациями.

В ходе рассмотрения конкурсов олимпиад было выявлено несколько основных типов конкурсных заданий:

1. Создание 3D-модели по выданному рабочему чертежу [2]. 3D-модель в таком задании может отличаться либо сложной геометрией для оценки знаний опытных участников, либо обычной – для начинающих. В данном методе важную роль играют умение обучающегося правильно прочитать чертеж и навыки владения функционалом САПР. Примером такой олимпиады является внутривузовская олимпиада по 3D-моделированию на базе ВолГТУ [3] (рис. 1, а).

2. Создание 3D-модели и чертежа детали по выданному чертежу [2]. В этом типе задания, кроме умения обучающегося воссоздать модель, необходимо иметь навыки проектирования чертежа. Такой тип часто встречается в олимпиадах, например, во Всероссийской олимпиаде студентов образовательных учреждений высшего образования «Геометрическое моделирование» на базе ОмГТУ в номинации «Трёхмерное моделирование деталей» [4] (рис. 1, б).

3. Создание 3D-модели, рабочих чертежей сборочной единицы [2]. Для такого вида задания необходимо, помимо навыков моделирования и проектирования чертежей, знание создания сборки и разработке пакета конструкторской документации, включая сборочный чертеж и спецификацию. Такой тип тоже часто встречается в олимпиадах, например, во Всероссийской олимпиаде студентов образовательных учреждений высшего образования «Геометрическое моделирование» на базе ОмГТУ в номинации «Трёхмерное моделирование сборочных единиц» [4] (рис. 1, в).

4. Разработка сборочного узла по заданному условию и параметрам, включающего себя включающего себя 3D модели деталей и сборочных единиц, а также чертежи деталей, сборочные чертежи и спецификации. Для данного типа задания, кроме всего вышесказанного, следует знать технические дисциплины и владеть навыками конструирования. Такой тип задания характерен для федерального и международного уровня, например, всероссийская студенческая олимпиада по компьютерному моделированию в конструировании аэрокосмических устройств и систем» г. Казань (рис. 1, г) [5].

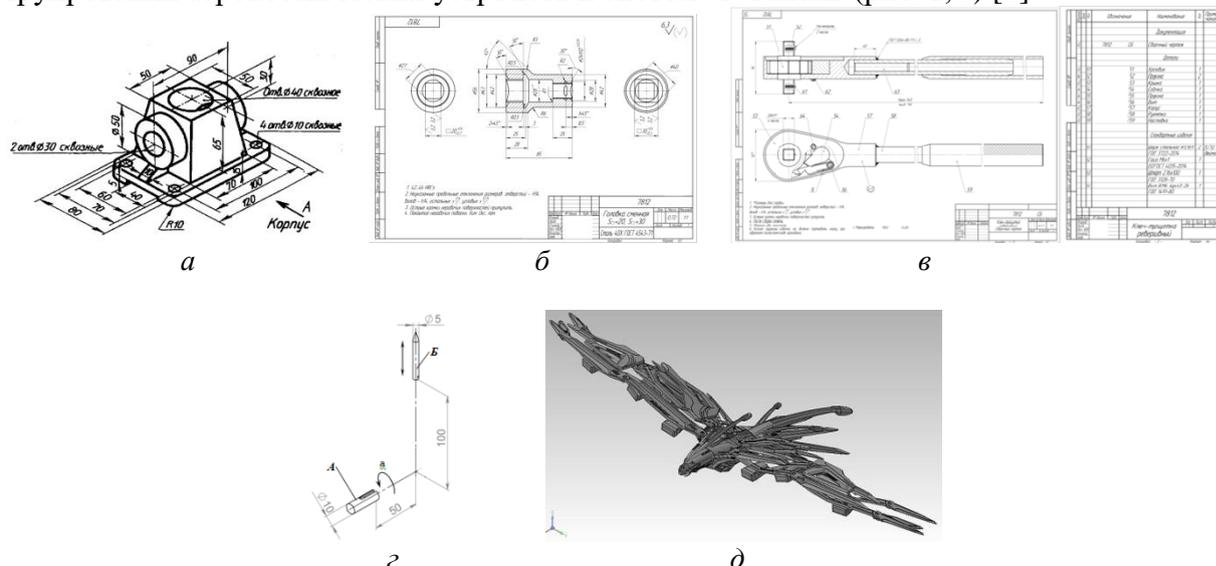


Рис. 1. Примеры конкурсных заданий:

а – первый тип, б – второй тип, в – третий тип, г – четвертый тип, д – пятый тип

5. Разработка 3D-модели детали или сборочной единицы. В данном типе задания участнику необходимо самому придумать сборку. Помимо знания ЕСКД, для выполнения этого задания необходимо иметь хорошее представление и умение воспроизвести свои задумки в реальность. Это задание уже приближенно к работе инженер-конструктора. Такой тип задания можно встретить на региональном конкурсе «Трёхмерное моделирование» проводимое ЮЗГУ, молодежном конкурсе «Будущие асы цифрового машиностроения», проводимом компанией АСКОН [7].

Кроме этого, бывают дополнительные задания в конкурсах, например, анимация и рендеринг отображения модели, применяемые в основном в пятом задании, или параметризация размеров в сборке в третьем и четвертом заданиях.

Обобщая рассмотренные типы заданий, было отмечено, что первый тип заданий олимпиад больше применим для обучающихся, освоивших начальные курсы моделирования, и может использоваться во внутривузовских олимпиадах для оценки промежуточных знаний. Второй и третий типы применимы для участников, окончивших курсы работы в САД-системах и может использоваться поэтапно на внутривузовских конкурсах, а также на вышестоящих уровнях. Четвертый вид характерен для оценки знаний обучающихся, оканчивающих и продолжающих обучение (например, в магистратуре), а пятый уровень применим в основном на федеральном уровне для оценки креативности мышления обучающихся.

Проведенный анализ показал, что конкурсные задания отличаются целью конкурса и формируемыми компетенциями и, что каждый из заданий может быть применен в отдельных номинациях на различных уровнях конкурсов, начиная с внутривузовского и заканчивая международным.

Библиографический список

1. Штерензон, В. А. Профессиональные конкурсы и олимпиады как инновационная форма САПР-компетентностной подготовки бакалавров // Преподаватель XXI век. – 2017. – № 4–1. – С. 65–78.

2. Букатин, А. В. ПРЕДМЕТНЫЕ ОЛИМПИАДЫ КАК ЭТАП ОБУЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ / А. В. Букатин, А. А. Черепашков // Замаховский МП доцент, к. ф.-м. н. Ельцов ВА Проректор по информатизации образования и дистанционному обучению ГОУ ВПО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», доктор педагогических наук, профессор. – С. 126.

3. Олимпиада по 3D-моделированию. Новости ВПИ. <https://volpi.ru/news-vpi/1640353123> (Дата обращения: 14.05.2022).

4. Архив заданий Всероссийских/Международных студенческих олимпиад. <http://olimp.omgtu.ru/olimp/arxiv-zadaniy-vserossijskixmezhdunarodnyx-studencheskix-olimpiad/> (Дата обращения: 14.05.2022).

5. План проведения студенческих олимпиад в КНИТУ-КАИ. <https://kai.ru/web/naucno-issledovatel-skaa-rabota-studentov-i-aspirantov/olimpiady> (Дата обращения: 14.05.2022).

6. Лучшие в цифре. АСКОН объявляет итоги молодежного конкурса «Будущие асы цифрового машиностроения». <https://kompas.ru/company/news/items/?news=2612> (Дата обращения: 14.05.2022).

АЛГОРИТМ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Ильченко Иван Алексеевич, аспирант
Пегашкин Владимир Федорович, д-р. техн. наук
E-mail: v.f.pegashkin@urfu.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Конструкторско-технологическая подготовка производства является одним из важнейших процессов управления и планирования, который определяет конечный результат работы. Процесс охватывает весь цикл от проектирования изделия до его производства. От того насколько эффективно организован этот процесс, напрямую зависит конкурентоспособность и качество продукции и в конечном итоге – экономическое состояние предприятия. Проведен анализ развития теоретических положений и разработка методического инструментария экономического проектирования продукции машиностроения на основе профилизации изделия и производства. Показано, что существует процессный разрыв между разработкой изделия и постановкой его на производство. Предложен алгоритм взаимной оптимизации процессов конструкторской и технологической подготовки производства на основе заблаговременной технологической подготовки производства, осуществляемой одновременно с разработкой изделия. Сравнение технико-экономического профиля изделия и технологического профиля производства на этапе проектирования даст возможность оперативного изменения конструкции с целью пропорционального выравнивания технологических потребностей для изготовления продукции с технологическими возможностями производства.

Ключевые слова. Конструкторско-технологическая подготовка производства, оптимизация процесса.

Освоение новых высокопроизводительных, долговечных, надежных в эксплуатации и экономичных машин, приборов, инструментов и другой сложной техники требует хорошо организованной подготовки производства, проведения исследовательских и экспериментальных работ. Многочисленные мероприятия по подготовке производства могут быть разделены на конструкторскую и технологическую подготовку [1, 2].

Основными задачами конструкторской подготовки производства являются создание новых и совершенствование имеющихся изделий с высокими параметрами качества в заданные сроки и с наименьшими затратами. Технологическая подготовка производства заключается в разработке технологического процесса, проектировании оснастки, которая необходима для выполнения технологического процесса, отладка техпроцесса непосредственно на рабочих местах, организация выпуска изделия.

Автоматизация конструкторской подготовки производства в настоящее время находится на удовлетворительном уровне и представлена CAD/CAM системами, которые позволяют существенно сократить сроки разработки конструкции нового изделия и повысить его качество [3].

Остаются недостаточно разработанными многие теоретико-методологические аспекты организации разработки и внедрения новой продукции на стадии конструкторской подготовки производства. В частности, отсутствуют методические подходы к формированию эффективного организационно-экономического механизма взаимодействия разработчика и изготовителя сложной продукции.

Проектирование любого изделия машиностроения является неотъемлемой частью его жизненного цикла. В современных условиях, как производства, так и потребления машиностроительной продукции, все этапы, все стадии жизненного цикла изделия (ЖЦИ)

неразрывно связаны между собой. В связи с этим, создание изделия и его проектирование необходимо рассматривать как составную часть всей системы ЖЦИ [4].

Порядок разработки и постановки продукции на производство в Российской Федерации регламентирован Государственным стандартом ГОСТ Р 15.201–2000 [2]. Данный стандарт регламентирует стадию «разработка» (опытно-конструкторские работы – ОКР) и часть стадии «производство» (постановка на производство) жизненного цикла продукции.

В соответствии со стандартом общий порядок КТПП следующий: разработка технического задания; разработка конструкторской документации; изготовление и испытания опытных образцов; корректировка конструкторской документации; передача конструкторской документации предприятию-изготовителю заказчика; технологическая подготовка производства (разработка техпроцессов, приобретение оборудования и инструмента, адаптация конструкторской документации, изготовление и испытания установочной партии); серийный выпуск продукции.

Анализируя существующий порядок конструкторско-технологической подготовки (КТПП), можно увидеть процессный разрыв между разработкой изделия и постановкой его на производство. Предприятие-разработчик изделия, изготовив и успешно проведя испытания опытного образца, формально заканчивает этап разработки конструкции изделия. В дальнейшем осуществляется серийное сопровождение изготовления изделия. Производится адаптация процесса к технологическим возможностям предприятия-изготовителя продукции.

Оптимизация КТПП должна учитывать наиболее полное удовлетворение интересов, во-первых, потребителя, во-вторых, производства. В конечном итоге в результате оптимизации достигается баланс между затратами производителя, удовлетворением потребностей потребителя и ценой товара. Процесс оптимизированной КТПП следующий: разработка технического задания; разработка конструкторской документации и технологическая подготовка производства (разработка техпроцессов, приобретение оборудования и инструмента, адаптация конструкторской документации); изготовление и испытания опытных образцов; передача конструкторской документации предприятию-изготовителю заказчика; изготовление и испытания установочной партии; серийный выпуск продукции.

Результаты оптимизации КТПП, а впоследствии работы любого предприятия необходимо оценивать и анализировать, т. е. сравнивать планируемые технические и экономические показатели с фактически достигнутыми в ходе деятельности. Одним из критериев оценки организационно-технических и административно-управленческих решений, позволяющих обеспечить требуемый экономический эффект при организации производства может являться производственная мощность. Кроме того, определение производственной мощности предприятия необходимо для планирования производственной деятельности, загрузки и своевременного обновления оборудования, формирования портфеля заказов и модернизации фирмы в целом.

В основе данного подхода лежит представление, что производственная мощность – это величина, определяющая максимально возможную способность предприятия к выпуску продукции в натуральных единицах измерения, в течение определенного периода времени (в час, смену, сутки, месяц и т. д.). При таком подходе единицами измерения являются те же продукты, в которых планируется производство (единицы веса, площади, длины, штуки и т. д.).

По этой методике можно определить количество и номенклатуру деталей, которые должны быть изготовлены в течение заданного периода времени (год, месяц).

При использовании данного метода происходит подмена понятия «скорость» на «способность». Разнообразие наименований мер сопоставимо с ассортиментом продукции и не является конечным. Кроме того, количество работы, необходимое для производства одной единицы продукции, выраженной в натуральном исчислении, существенно зависит от вида продукции, от применяемых технологий, оборудования, организации производ-

ства и не может сравниваться даже у близких как по направлениям деятельности, так и по составу оборудования, предприятий. Таким образом, измерение производственной мощности на основе натуральных единиц может применяться только в рамках каждого конкретного производства и не может использоваться для анализа и сравнения разных предприятий между собой.

Вариантами измерения производственной мощности на основе натуральных единиц являются расчеты, в которых учитываются ограничения, определяемые условиями использования оборудования и производственных ресурсов (площадей, энергии, сырья, трудовых ресурсов), т. е. технологией производства, требованиями к продукции, принципами организации производства. Данный способ дает более полное представление о возможностях предприятия, позволяет осуществлять более корректное планирование. При этом кроме собственно мощности требуется определить единицы и методику измерения условий использования, свойств каждой единицы оборудования, степени влияния различных условий, динамично изменяющиеся во времени в зависимости, в т. ч. от внешних условий. То есть, использование таких вариантов для анализа и сравнения разных предприятий представляется еще более затруднительным.

Предлагаемая методика позволяет выявить узкие места в оснащении производства технологическим оборудованием, определить целесообразность и своевременно организовать процесс технологического перевооружения предприятия. Одним из достоинств предлагаемой методики в отличие от большинства существующих методик оптимизации КТПП является практически полное исключение «человеческого фактора», проявляющегося в субъективных оценках экспертов. Предлагаемый алгоритм за счет единообразного подхода к КТПП предназначен для использования во всех отраслях промышленности (с учетом необходимой адаптации – в других производствах), связанных с преобразованием предметов труда при помощи технологического оборудования.

Сравнение технико-экономического профиля изделия и технологического профиля производства на этапе проектирования даст возможность оперативного изменения конструкции с целью пропорционального выравнивания технологических потребностей для изготовления продукции с технологическими возможностями производства. Кроме того, анализ технико-экономических профилей позволит определить узкие места в оснащении предприятия и целесообразность внедрения новых технологий в производство.

Результаты проведенного исследования заключаются в следующем: показано, что в условиях инновационной экономики процессы НИОКР и технологической подготовки производства нельзя рассматривать в отрыве друг от друга; процесс разработки изделия выходит за рамки собственно проектирования, разработки комплекта документации для изготовления опытного образца; оптимизация КТПП должна проводиться, начиная с самых ранних стадий ЖЦИ.

Библиографический список

1. Burdo, G. B. Improving the technological preparations for manufacturing production / G. B. Burdo // Russian engineering research, 2017. – № 1. – С. 49–56.
2. Pereverzev, P. P. The problem resolution of designing of cycles in the conditions of modern automated production / P. P. Pereverzev, A. V. Akintseva // Russian engineering research, 2017. – № 6. – С. 523–529.
3. Ostroukh, A. V. Life-cycle approaches in computerized vehicle design and additive technology / A. V. Ostroukh, B. S. Subbotin // Russian engineering research, 2019. – № 8. – С. 705–709.
4. Kuznetsova V. B., Sergeev A. I., Serdyuk A. I., Kondusov D. V. Automation of integrated logistical product support Russian engineering research, 2017. – № 1 – С. 57–59.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ильченко Иван Алексеевич, аспирант,
Пегашкин Владимир Федорович, д-р техн. наук, проф.
E-mail: PchenkoIA@yandex.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Цифровой двойник является отражением реально существующего физического объекта или процесса, которые могут быть каким-то образом описаны в виртуальной среде. Важно, чтобы описание носило формализованный характер, позволяющий не просто получить представление об объекте, но позволяющее обработке описания средствами информационных технологий. Используя традиционную классификацию оборудования по назначению, невозможно сравнивать и анализировать технологическое оборудование, производить расчеты. В статье предлагается авторская классификация технологий машиностроительного производства, предназначенная для обеспечения построения цифрового двойника изделия машиностроения на этапе производства. Классификация основана на определении групп преобразования (воздействия) на предметы труда.

Ключевые слова. Цифровой двойник производства, классификация технологий.

С момента появления понятия «цифровой двойник» в 2003 году, первоначально представляемое как виртуальное отображение физического продукта, содержащее информацию о нем с его характеристиками в области управления жизненным циклом, к настоящему времени получило множество определений.

Общим для различных определений понятия «цифровой двойник» является то, что цифровой двойник всегда является отражением реально существующего физического объекта или процесса, которые могут быть каким-то образом описаны в виртуальной среде. При этом представляется важным, чтобы это описание носило формализованный характер, позволяющий не просто получить представление об объекте, но позволяющее обработке описания средствами информационных технологий, например, сравнение, обобщение, исследование влияния изменений исходных условий на поведение реального объекта.

В России разработана серия предварительных национальных стандартов "Умное производство. Двойники цифровые производства", в которых определяется структура цифровых двойников производства как виртуального представления физических элементов производственного процесса, таких как персонал, продукты производства, активы и описание процессов. В ПНСТ 429-2020 «Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения» цифровой двойник производства представляется как детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукта, процесса и ресурсов в процессе производства. Определение цифрового двойника: Программно-аппаратный комплекс, реализующий комплексную динамическую модель для исследования и управления деятельностью социотехнической системы [1].

С помощью представления цифрового двойника можно обнаружить аномалии в производственных процессах и достичь различных функциональных целей, таких как управление в режиме реального времени, получение аналитики в автономном режиме, проверка работоспособности, предиктивное обслуживание, синхронизированный мониторинг/оповещения, оптимизация управления производственным процессом (МОМ), адаптация во время процесса, анализ больших данных, машинное обучение и т. д. [1].

Использование цифрового двойника увеличивает показатели эффективности предприятия в части планирования, реализации производственных планов, управления производством, финансовыми и другими ресурсами. Преимуществом цифрового двойника, обу-

словленным сутью виртуального представления, является возможность организации, планирования, прогнозирования, управления, контроля изменения процессов производства с использованием эмуляции, в режиме реального времени. Проверка изменений в виртуальной среде позволяют уменьшать использование ресурсов предприятия и, следовательно, снижать затраты, повышая конкурентоспособность продукции и предприятия в целом.

Одним из этапов жизненного цикла изделия является его производство. На этапе производства можно выделить следующие направления для возможного создания цифровых двойников:

- цифровой двойник, описывающий перемещения и трансформацию материалов заготовок, в процессе изменения которых получается реальное изделие;
- цифровой двойник, описывающий перемещения потоков объектов, обеспечивающих производство, например, инструмента, СОЖ, оснастки и т.п.;
- финансовый цифровой двойник;
- энергетический цифровой двойник;
- транспортно-логистический цифровой двойник;
- технологический цифровой двойник и другие.

В ПНСТ 429-2020 под ресурсом понимается любое устройство, инструмент и средства, за исключением сырья и компонентов конечной продукции, имеющихся в расположении предприятия для производства товаров и услуг, таким образом, технологическое оборудование, в том числе станочный парк, является одним из наиболее значимых ресурсов предприятия [1].

Одним из требований к цифровым двойникам производства, предъявляемым ПНСТ 429-2020, является то, что данные, полученные в процессе производства, следует анализировать для извлечения информации о состоянии наблюдаемых производственных элементов. Кроме того, цифровой двойник производства должен быть совместим с другими типами цифровых моделей в рамках данной системы цифровых двойников производства [1].

В ПНСТ 431-2020 «Двойники цифровые производства. Часть 3. Цифровое представление физических производственных элементов» в примере статической информации об оборудовании классификация оборудования осуществляется по способу воздействия на заготовку – фрезерное, токарное, шлифовальное и др. [2].

Используя традиционную классификацию оборудования по назначению, невозможно сравнивать и анализировать технологическое оборудование, производить расчеты. С целью разработки критериев, с помощью которых возможно обеспечить однообразный универсальный подход к оценке технологических ресурсов производства или потребностей для изготовления изделия предлагается авторский подход к классификации технологий, используемых при производстве машиностроительной продукции на основе результата воздействия на заготовку.

При рассмотрении технологий, используемых в машиностроении, можно выделить пять основных групп преобразования (воздействия) на предметы труда:

- I изменение структуры материала;
- II формообразование;
- III формирование свойств поверхности;
- IV позиционирование;
- V закрепление.

Внутри каждой группы располагаются известные технологии. Некоторые технологии преобразования предметов труда могут относиться одновременно к нескольким группам.

К группе технологий «изменение структуры материала» предлагается отнести, например, литье; сварку; объемную и поверхностную термообработку.

К группе технологий «формообразование» предлагается отнести механическую обработку, в том числе гидроабразивную, лазерную и плазменную резки, электроэрозион-

ную обработку, и другие способы отделения части материала; литье; гибку; сборку с деформацией; методы пластической деформации.

К группе технологий «формирование свойств поверхности» предлагается отнести механическую обработку; литье; сварку, пайку; объемную и поверхностную термообработку; все виды покрытий; методы пластической деформации.

К группе технологий «позиционирование» предлагается отнести собственно способы позиционирования составных частей изделий при сборочных операциях.

К группе технологий «закрепление» предлагается отнести сварку, пайку; сборку с деформацией; сборку механическую [3].

Использование предлагаемой классификации позволит создавать цифровые двойники производства в части технологического оснащения для последующего их использования с максимальной эффективностью. Помимо оценки и сравнения технологического оснащения, организации и планирования выпуска продукции, цифровые двойники на основе предлагаемой классификации позволят производить планирование техперевооружения предприятий для обеспечения постановки на производство новой продукции, а также формирование технологических ограничений (пропорций) для вновь разрабатываемой продукции.

Библиографический список

1 ПНСТ 429-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения : Предварительный национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2020-08-07 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с.

2 ПНСТ 431-2020. Двойники цифровые производства. Часть 3. Цифровое представление физических производственных элементов : Предварительный национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2020-08-07 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с.

3 Ильченко И. А. Классификация технологий в системе автоматизированного проектирования изделий машиностроения / И. А. Ильченко, В. Ф. Пегашкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 3. – С. 73–75. – EDN QSDDEY.

УРАЛЬСКАЯ ШКОЛА НАПЛАВКИ К 100-летию со дня рождения профессора М. И. Разикова (1922–1975)

Коротков Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Статья посвящается 100-летию со дня рождения проф., д.т.н. М.И. Разикова. Его инициативой в Уральском политехническом институте была открыта «Отраслевая лаборатория наплавки», своими достижениями и продолжателями снискавшая известность Уральской школы наплавки.

Ключевые слова. Наплавка, плазменная закалка, юбилейная дата.

Предисловие

Профессор Уральского политехнического института М.И. Разиков (рис. 1) в 1947 г. окончил УПИ, в 1952 г. защитил кандидатскую, а в 1964 г – докторскую диссертации, входил в координационный Совет по сварке при ЦК КПСС. В 1968 г. его стараниями в УПИ им. С.М. Кирова была организована «Отраслевая лаборатория наплавки» (ОЛН). В 2002 г. к 80-летию юбилею проф. Михаила Ивановича Разикова кафедра «Сварки» УПИ издала сборник воспоминаний его коллег, учеников, друзей [1]. Они единодушно отмечали незаурядность Михаила Ивановича, проявляющуюся во всем, в том числе как ученого, умеющего выделять и успешно решать важные научные задачи.



Рис. 1. Профессор, д-р техн. наук М. И. Разиков

Профессор-новатор

Работа профессора предполагает подготовку специалистов высокого уровня, что в технической области невозможно без ясного понимания потребностей производства. Этому в полной мере отвечал Михаил Иванович. В конце 50-х годов способ автоматической сварки, разработанный 15 лет назад, на заводах применялся недостаточно. Чтобы способствовать его внедрению в производство, Михаил Иванович публикует в сварочном журнале статью с обоснованием необходимости введения для студентов-сварщиков нового курса «Автоматизация сварочных процессов». Предложение было своевременным, и вскоре Минвуз включил новый курс в учебные планы.

В конце 60-х на Западе вводили новую дисциплину – «трибологию». В ней изучалось трение и способы борьбы с износом. Быстродействие и мощность машин росли, что ускоряло их износ, снижало эффективность новых разработок. Например, лопасти гидротурбин послевоенного поколения от возросших нагрузок могли выдерживать лишь несколько месяцев работы. Новая дисциплина была призвана вооружить инженеров знаниями как не допускать подобное. Решение очевидное, но в нашей стране Минвуз его не при-

нял. Тогда проф. Разиков М.И. добивается разрешения преподавать на своей кафедре «Металлургия сварки» нового курса «Основы износостойкой наплавки и напыления». Это был не простой шаг уже по тому, что повторение его произошло лишь через 17 лет. В 1989г. подобные дисциплины начали преподавать в Московском институте инженеров транспорта и в Н.Тагильском филиале УПИ.

Способ сварки в CO_2 , открытый в СССР в начале 50-х, промышленное применение на Урале стал получать только в 60-х годах [2]. Поэтому исследование наплавки в CO_2 , выполненное М.И. Разиковым во второй половине 50-х [3], являлось первопроходческим. Наплавка в CO_2 дала возможность восстанавливать внутренние поверхности инструмента горячего деформирования. Первые опыты показали, что восстановленный инструмент работает не только не хуже, но даже лучше, нового, при меньших затратах на изготовление. Полученные проф. Разиковым результаты были доведены до руководства промышленностью. На их основании совместным приказом Минцветмета СССР и Минвуза РСФСР от 16.02.1968г. в УПИ была создана «Отраслевая лаборатория наплавки» (ОЛН). Издание этого приказа было признанием способности к решению важных задач в масштабах целого министерства. Логичным следствием этого стало включение Михаила Ивановича в состав координационного Совета по сварке при ЦК КПСС.

В ОЛН под руководством Михаила Ивановича был составлен перечень характерных видов изнашивания деталей машин горно-металлургической отрасли. Для их упрочнения разработаны износостойкие наплавочные материалы, по которым защищено более 20 кандидатских диссертаций. С участием ОЛН на предприятиях создавались наплавочные участки, а опыт их организации изложен в справочнике «Мастер наплавочного участка» – Машгиз, 1960.

В то время появился принципиально новый класс сталей. Обычные стали приобретают наибольшую твердость при закалке, а последующий отпуск, необходимый для устранения хрупкости, делает их менее прочными. Новые же материалы упрочнялись при отпуске, и по этой причине получили название «вторично-твердеющих». Они еще не получили широкой известности, но именно с ними начал работать Михаил Иванович, что дало впечатляющий результат. Так инструмент с наплавкой ПП-НХВ65-20-6 увеличил срок службы в 10 раз [4], с наплавкой ПП-0Н4М2Д2Ю - в 8 раз [5], а с наплавкой ПП-07Н6К14М13СТ – в 5 раз [6]. Под руководством проф. Разикова была разработана порошковая проволока для условий абразивного изнашивания. Часть углерода и хрома в типовом высокохромистом сплаве были замещены элементами, создающими дисперсионное упрочнение, за счет чего произошло увеличение износостойкости [7]. Ведущий в СССР производитель твердых материалов - Торезский завод, внес новую проволоку в свою номенклатуру. В настоящее время ее под различными названиями выпускают предприятия России и Украины.

Продолжатели дела проф. М. И. Разикова

Научная деятельность профессора М. И. Разикова прервалась его скоропостижной кончиной в 1975 году. Однако созданное им научное направление продолжает развиваться через его последователей, о некоторых из них пойдет речь ниже. В настоящее время разработкой и производством наплавочных материалов занимается «Завод сварочных материалов», г. Березовский, Свердловской обл. (www.tdzsm.ru; директор – доцент, к.т.н. Баллин А. Н.).

Внимание идее профессора Разикова М.И. о преподавании «контактной прочности» уделили в Н.Тагильском филиале УПИ. Здесь в 1989 г. студентам-сварщикам начали читать курс «Методы упрочнения», который в 2004 г. был преобразован в общепрофессиональную дисциплину «Износостойкость машин», а затем (2015) – в «Машиностроительные материалы и методы упрочнения».

В 1990 г. в Нижнетагильском филиале УПИ была под научным руководством доцента, к.т.н. Толстова И. А. – ученика проф. Разикова М. И., была создана хозрасчетная «Лаборатория наплавки», затем реорганизованная в ООО «Композит»

(www.oookompozit.ru). Их сотрудники сделали более 10 изобретений, и опубликовали свыше 50 статей в центральных научных журналах. Ими в 2001...2017 совместно с Нижнетагильским филиалом УрФУ проводилась серийная (через год) научно-практическая конференция «Сварка. Реновация. Триботехника».

С ведущим участием ООО «Композит» был решен ряд важных проблем на различных предприятиях Урала. Так, в начале 90х годов кратно увеличена стойкость сварных стыков кислотных трубопроводов на Коксохимическом производстве НТМК и плунжеров прессового оборудования на ВСМПО. В середине 90-х впервые в отрасли начато восстановление роликов МНЛЗ для НТМК и 50-тонных валов дробилок для Качканарского ГОКа.

В 2002 г. Уралвагонзавод после 10-летнего простоя получил госзаказ на поставку вагонов, что, по выражению его ген. директора Малых Н.А., «было равноценно второму рождению завода». Но госзаказ предусматривал износостойкую наплавку автосцепки, которой завод не располагал. Тогда гл. инженер завода В. А. Андронов предложил ООО «Композит» разработать такую технологию и наплавить опытную партию автосцепок для приемочных испытаний на «Экспериментальном ж/д кольце» во ВНИИЖД. Намеченное в короткие сроки было выполнено, что позволило Уралвагонзаводу приступить к выполнению госзаказа.

В то же время на «Уралгидромаше» возродилась потребность в наплавке тяжелых валов для гидронасосов. Так же как на Уралвагонзаводе к решению этой задачи был привлечен ООО «Композит». Разработанная им технология превзошла ожидания – наплавленные шейки (d до 900 мм) до ремонтной проточки стали работать вдвое дольше.

В «нулевых» же годах для НТМК, взамен традиционной, была разработана специальная технология термического упрочнения штампов. Ею была увеличена их стойкость, что позволило вывести на заданную производительность новую линию по производству ж/д колес.



Рис. 2. Плазменная закалка установкой УДГЗ-200

В начале «нулевых» годов была разработана установка УДГЗ-200 (поставка info@1m63.ru), существенно расширившая область применения упрочняющей закалки. Помимо закалки массивных шестерней (рис. 2), обычно поставлявшихся без термического упрочнения, она сделала возможной закалку на высокую твердость штампового и валкового инструмента. Известные способы закалки на высокую твердость HRC 50...60 обычно приводят к их разрушениям, закалка же на меньшую твердость HRC 40...50, не допускающую разрушений – резко снижает износостойкость. Увеличить стойкость, предварительно закаленного (на HRC 40...50) инструмента дополнительной закалкой на HRC 50...60, не допуская его разрушения, позволило применение установки УДГЗ-200. Эта комбинированная технология более 10 лет используется на ЧТПЗ, ВСМПО, НТМК. Разработка установки УДГЗ-200 в 2009 году отмечена премией губернатора Свердловской области для молодых ученых и дипломом Женевского салона изобретений и инноваций.

Библиографический список

1. Разиков М.И. – ученый, педагог, человек. Сборник воспоминаний, посвященный 80-летию со дня рождения. – Екатеринбург : Шторм-Техно, 2002. – 88 с.
2. Коротков В. А. Внедрение сварочных технологий на Урале / В. А. Коротков // Материалы докладов конференции «Сварка - Контроль. Итоги 20 века». – Челябинск, 2000. – С. 7–12.
3. Разиков М. И. Автоматическая наплавка в среде углекислого газа / Разиков М. И. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1962. – 212 с.
4. Восстановление изношенных деталей методом наплавки / М. И. Разиков, И. А. Толстов. – Москва : ГОСИНТИ, 1965. – № 22-65-2081/52. – 37с.
5. Материалы и технология наплавки инструмента горячего деформирования. / В. П. Гусев, В. В. Менжелевский, Л. Г. Толстых // Цветметинформация: Цветная металлургия, 1977. – № 5. – С. 28–30.
6. Влияние кремния на упрочнение мартенситно-старееющего наплавленного металла / В. Ф. Усынин, Б. В. Арнаутов, Л. Г. Толстых // Теория и практика сварочного производства. – Свердловск : УПИ, 1978. – С. 27–28.
7. Повышение долговечности деталей машин путем износостойкой наплавки / А. В. Королев, О. И. Рылов, А. М. Мельников // Цветметинформация: Цветная металлургия, 1977. – № 5. – С. 28–30.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Кузьменко Егор Дмитриевич, студент
E-mail: edk10@tpu.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, РФ

Аннотация. В статье рассматриваются способы улучшения механических свойств сталей путем применения поверхностной обработки сплавов. Для данного направления улучшения механических свойств рассматриваются термическая обработка, химико-термическая обработка и наплавка металлов. В исследовании проведен микроанализ структур основ сталей и обработанных слоев, после проведения вышеуказанных операций, а также измерены их твердости. Рассматриваемые методы поверхностной обработки металлических поверхностей играют огромную роль в продлении срока службы металлов и сплавов, например, в автомобильных кузовах и строительных материалах. К числу отраслей промышленности, которые сегодня используют обработку металлических поверхностей, относятся следующие: автомобильная промышленность, строительная промышленность, контейнерная промышленность, электротехническая промышленность, медицинская промышленность, промышленное оборудование, отрасли, использующие лабораторное оборудование, аэрокосмическая промышленность и ряд других отраслей. В рамках статьи установлен наиболее эффективный метод обработки поверхностей для улучшения механических свойств – увеличения твердости, а также получаемая микроструктура, способствующая достижению заданных свойств. По полученным данным исследования установлено, что наибольшее увеличение твердости для рассматриваемых образцов было достигнуто при применении термической обработки – закалки токами высокой частоты, при этом способе обработке формируется структура мартенсита с вкраплениями остаточного аустенита.

Ключевые слова. Закалка токами высокой частоты, наплавка, сталь, термическая обработка, химико-термическая обработка, цементация.

Поверхностная обработка позволяет достичь материалам заданных свойств, требуемых для эксплуатации машин и механизмов, а также обеспечить надежность процесса их эксплуатации. Основным свойством материала, улучшаемым при поверхностной обработке, является твердость. Существует ряд способов увеличения твердости поверхности, среди них выделяется химико-термическая обработка, термическая обработка и наплавка [1]. Целью работы является проведение сравнительного анализа перечисленных способов обработки поверхностей металлов и сплавов при увеличении твердости поверхности, на примере сталей.

Рассмотрим раздел упрочнения поверхности методом термической обработки на примере закалки стали ТВЧ. Закалка токами высокой частоты (закалка ТВЧ) является технологией поверхностного упрочнения деталей из углеродистых сталей и чугунов и широко применяется в машиностроении. Основные характеристики процесса: Получаемая твердость изделия 58-62 HRC. Температура процесса 800–1100 °С. Частота тока 0,5–100 КГц. Время закалки ТВЧ 10 секунд [2].

Рассмотрим конструкционную низколегированную сталь 27 ГС. Выполним закалку ТВЧ образца из заданной стали. Проведем микроанализ полученного образца и измерим твердость закаленного, незакаленного и переходного слоя, рисунок 1.

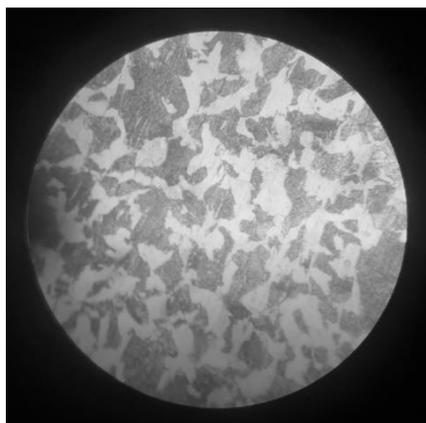


Рис. 1. Структура внутренней части при увеличении x1000

Внутренняя часть не подвергалась закалке ТВЧ. Микроструктура: светлые зерна феррита и темные участки перлита. Структура дисперсная. Промежуточная зона, закаленная частично. Микроструктура: светлые участки аустенита и темные участки мартенсита. Структура дисперсная. Верхняя зона, подвергшаяся закалке ТВЧ. Микроструктура: светлые участки аустенита и темные участки мартенсита. Дисперсность структуры снижается. Толщина обработанного слоя составила 3,75 мм.

Измерим твердость по методу Роквелла. Для необработанного слоя твердость составила 19,5 HRC. Для зоны термического влияния твердость составила 34 HRC. Для закаленного слоя твердость составила 53 HRC. Таким образом, твердость поверхности детали увеличилась в 2,7 раза.

Рассмотрим раздел упрочения поверхности методом химико-термической обработки на примере цементации стали. Основной целью этого цементации является обогащение верхнего слоя деталей и элементов машин необходимым количеством углерода, процентное содержание которого в этом случае может составлять 0,8-1,1%. В целом, науглероживание стали используется для формирования высокого процента твердости поверхности обрабатываемой детали, а также для достижения высокой износостойкости, которая создается за счет использования термической обработки после указанного процесса [3].

Рассмотрим конструкционную углеродистую качественную сталь 20. Изучим микроструктуру и измерим твердость образца из данной стали после проведения операции цементации, рис. 2.

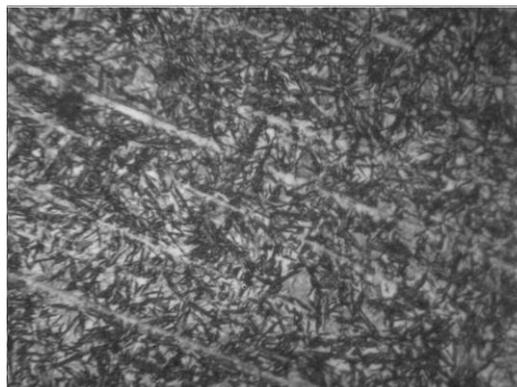


Рис. 2. Структура обработанной части при увеличении x1000

Внутренняя часть не подвергалась цементации. Микроструктура: перлитная, светлых ферритных зерен мало. Структура дисперсная, изделие испытывало высокую скорость охлаждения. Поверхность образца цементирована. Микроструктура: преобладание

игольчатого мартенсита с вкраплениями остаточного аустенита. Структура дисперсная. Толщина обработанного слоя составила 2 мм.

Измерим твердость по методу Роквелла. Для необработанного слоя твердость составила 35 HRC. Для зоны переходного слоя твердость составила 41 HRC. Для цементированного слоя твердость составила 56 HRC. Таким образом, твердость поверхности детали увеличилась в 1,6 раз.

Рассмотрим наплавку как способ упрочнения поверхности. Наплавка – это процесс нанесения металла на детали, которые были изношены или подвержены износу, коррозии или другим повреждениям, чтобы помочь продлить срок службы инструмента. Этот вид сварки выполняется не для создания швов или соединения металла, а для наращивания и укладки защитного слоя или валика поверх уязвимых деталей и деталей, подверженных износу, таких как ковши экскаваторов или наконечники плугов сельскохозяйственной техники. При наплавке металл наносится поверх другой поверхности, чтобы увеличить твердость поверхности и сделать ее устойчивой к истиранию, ударам, эрозии и истиранию [4].

Рассмотрим сталь 3. В качестве наплавляемого сплава на деталь из рассматриваемой стали возьмем быстрорежущую сталь Р6М5. Изучим микроструктуру и измерим твердость образца из данной стали после проведения наплавки, рисунок 3.

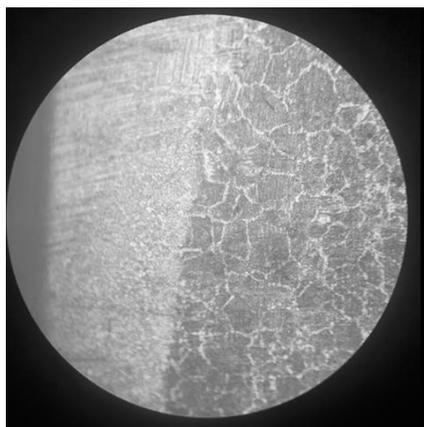


Рис. 3. Структура переходной зоны x125

Внутренняя часть не подвергалась электронно-лучевой наплавке. Микроструктура: темные зерна перлита со светлыми включениями цементита. Промежуточная зона, начинает испытывать термическое влияние, поэтому ближе к границе с наплавленным слоем происходит увеличение размера зерна. Микроструктура: темные зерна перлита со светлыми включениями цементита. Зона наплавки характеризуется мелкими зернами мартенсита со светлыми включениями цементита. Структура основного металла-подложки остается прежней, сохраняется увеличение размера зерен при приближении к границе. Толщина обработанного слоя составила 0,2 см. При этом диаметр детали 1 см.

Измерим твердость по методу Роквелла. Для необработанного слоя твердость составила 21 HRC. Для наплавленного слоя твердость составила 35 HRC. Таким образом, твердость поверхности детали увеличилась в 1,7 раз.

По полученным данным следует отметить, что наибольшее увеличение твердости для рассматриваемых образцов было достигнуто при применении термической обработки – закалки токами высокой частоты.

Библиографический список

1. Surface treatment of metals [Электронный ресурс] / <https://tantec.com/surface-treatment-of-metals/>, доступ свободный – Загл. с экрана. – Дата обращения 7.04.2022 г.

2. Edwards J. Coating and surface treatment systems for metals: a comprehensive guide to selection. – 1997.
3. Гурьев А. М. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / Гурьев А. М., Лыгденов Б. Д., Власова О. А. // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – № 8. – С. 10.
4. Формирование композиционной структуры износостойкого наплавленного металла с боридным упрочнением / Артемьев А. А. [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. – 2011. – № 2. – С. 44–48.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20

Кузьменко Егор Дмитриевич, студент
E-mail: edk10@tpu.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, РФ

Аннотация. В статье рассматривается результат исследования по упрочнению образцов из стали 20. Образцы упрочняются методом холодной пластической деформацией при нагрузках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 тонн. Холодная обработка металлов представляет из себя прокатку, деформирование, изменение формы металла без необходимости применения тепла. Холодная обработка изменяет кристаллическую структуру внутри металла. Металл становится прочнее, потому что кристаллическая структура сопротивляется дальнейшим изменениям, формируется упрочнение металла путем увеличения плотности дислокаций. Однако полученный металл может стать хрупким, который теряет часть своей эластичности и может просто сломаться или треснуть, если процесс холодной обработки применяется неправильно. В результате формируются проведенной нагрузки формируется мелкодисперсная феррито-перлитная структура, происходит увеличение твердости стали и предела прочности. Установлено, что твердость стали увеличивается прямо пропорционально приложенной нагрузке, при этом максимальное упрочнение достигается при нагрузке 5 тонн. Пределы прочности исследуемых образцов возрастают прямо пропорционально приложенной нагрузке. В рамках исследования установлено, что металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования, затем при возрастании деформации механические свойства изменяются незначительно.

Ключевые слова. Механические свойства, пластическая деформация, предел прочности, сталь 20, степень деформации, твердость по Виккерсу.

Для исследования влияния пластической деформации на механические свойства сталей была выбрана Сталь 20. До применения пластической деформации была получена следующая микроструктура металла.

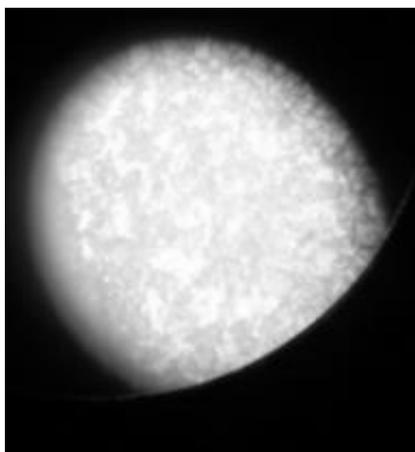


Рис. 1. Микроструктура образца при увеличении 640х

Микроструктура: светлые зерна феррита и темные участки перлита. Структура дисперсная.

Измерим высоту образца до деформации. Она составила 0,85 см. Измерим диаметр образца, он составил 1,19 см.

Измерим твердость образца на приборе Виккерса. Значение твердости составило 133,28 кгс/мм².

В исследовании рассматривались семь образцов, которые деформировались нагрузкой 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 тонн. После снятия нагрузки измерим твердость образца на приборе Виккерса. По полученным данным построим график зависимости твердости от проведенной пластической деформации.

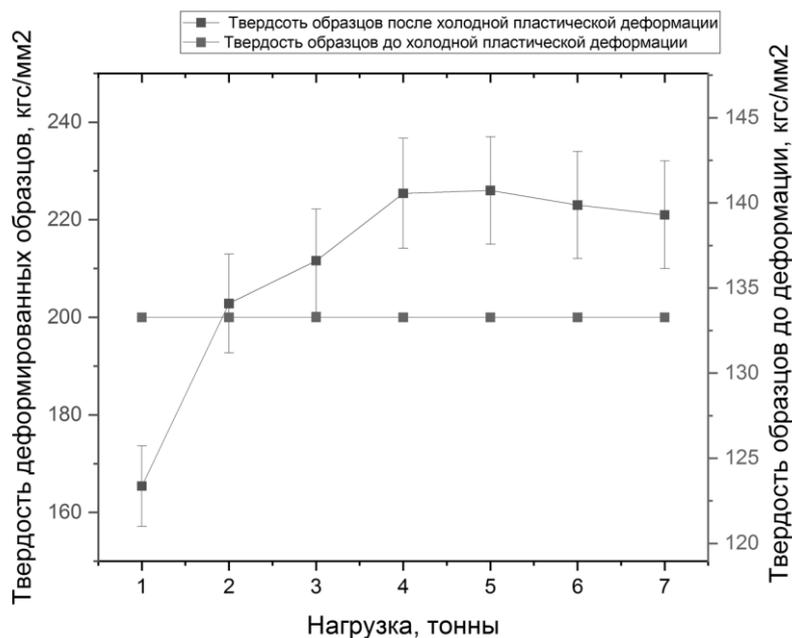


Рис. 2. Зависимость твердости образцов от воздействия нагрузки

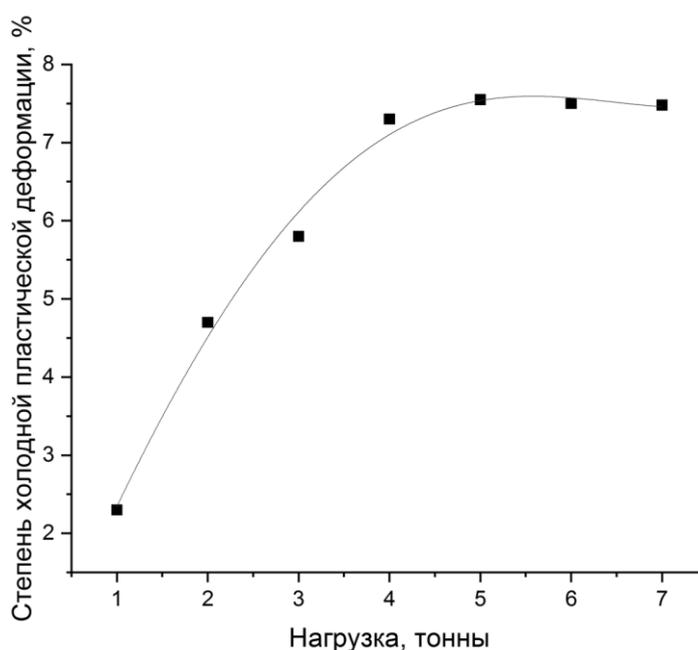


Рис. 3. Зависимость степени деформации от воздействия нагрузки

Определим степень пластической деформации образцов. Для этого штангенциркулем измерим высоту образца после пластической деформации. Она составила 0,81 см.

Степень холодной пластической деформации подсчитывается как соотношение разницы высот образца до и после пластической деформации к первоначально высоте [1].

Рассмотрим степени деформации образцов, нагруженных 1, 3, 4, 5, 6 и 7 тоннами. По полученным данным построим график зависимости степени пластической деформации от приложенной нагрузки.

Рассчитаем пределы прочности деформированных образцов [2]:

Нагрузка 1 тонна: $\sigma_B=53,7$ МПа;

Нагрузка 2 тонны: $\sigma_B=69,5$ МПа;

Нагрузка 3 тонны: $\sigma_B=72,2$ МПа;

Нагрузка 4 тонны: $\sigma_B=77,5$ МПа;

Нагрузка 5 тонн: $\sigma_B=78,6$ МПа;

Нагрузка 6 тонн: $\sigma_B=80,2$ МПа;

Нагрузка 7 тонн: $\sigma_B=76$ МПа;

Таким образом, при проведении холодной пластической деформации твердость стали увеличивается прямо пропорционально приложенной нагрузке, при этом максимальное упрочнение достигается при нагрузке 5 тонн, при дальнейшем увеличении нагрузки твердость не изменяется. Также наблюдается следующая зависимость: металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования, затем при возрастании деформации механические свойства изменяются незначительно. Данная зависимость начинает наблюдаться при нагрузке с 4 тонн. При проведении холодной пластической деформации образцы степень деформации изменяется прямо пропорционально приложенной нагрузке. При этом при нагрузке в 5 тонн она достигает максимальных значений и при дальнейшем увеличении нагрузки не изменяется. По полученным данным были рассчитаны пределы прочности деформированных образцов. Пределы прочности исследуемых образцов возрастают прямо пропорционально приложенной нагрузке.

Библиографический список

1. Кроха В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации / В. А. Кроха. – 1980.
2. Edwards J. Coating and surface treatment systems for metals: a comprehensive guide to selection. – 1997.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Курасов Олег Александрович, аспирант
E-mail: olegakurasov@gmail.com

Томский политехнический университет,
г. Томск, РФ

Аннотация. Обеспечение эксплуатационной эффективности опасных производственных объектов в течение всего их жизненного цикла становится все более сложной задачей организации комплексного мониторинга текущего состояния таких сооружений, оценки их подверженности внешнему воздействию, проведения мер по смягчению и недопущению негативных последствий, которые могут привести к отрицательным последствиям, в том числе человеческим жертвам, травмам и экономическим потерям. Надлежащее внимание должно быть уделено методам статистического и компьютерного моделирования, которые связаны с изучением динамики предельных состояний конструкций при эксплуатации газотранспортных систем в сложных условиях, принимая во внимание первичные и вторичные факторы риска. Эксплуатационная эффективность газопроводов должна быть сосредоточена на диагностике устройств, используя крупнейшие базы данных оценки рисков на промышленных предприятиях. Смоделированные в научных лабораториях данные, отражающие закономерности развития и «поведение» процессов деформирования и разрушения металлов, являются основой для безопасного определения остаточного ресурса и времени на техническое освидетельствование или ликвидацию аварийных последствий чрезвычайных ситуаций. Моделирование задач анализа процессов и оптимизации условий транспортировки газа особенно актуальны в трубопроводном транспорте, и, в частности, в газовой промышленности. Математическое моделирование позволяет рассчитывать технологические параметры газового оборудования без проведения промышленных экспериментов.

Ключевые слова. Газотранспортная система, риск, безопасность, надежность, трубопровод.

Общая постановка задачи исследования сводится к сопротивлению некоторому будущему механизму отказа. Существует большое разнообразие доступных методов смягчения негативных последствий и методов их контроля, которые позволяют прогнозировать технические условия при проектировании, эксплуатации и техническом обслуживании опасных производственных объектов (ОПО).

Компоненты метода оценки риска являются специфическими для всех видов опасностей. В случае, если анализируются промышленные объекты, то, во-первых, необходимо проанализировать вероятности опасных ситуаций, а во-вторых, проанализировать последствия реализации таких опасностей.

Основным показателем является вероятность безотказной работы, которая может быть определена по формуле (1):

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau}, \quad (1)$$

где λ = интенсивность отказов; τ = время.

Основной статистической характеристикой аварийности на газопроводах (ГП) является интенсивность аварий (2):

$$\lambda = \frac{N}{L \cdot \tau}, \quad (2)$$

где L = протяженность ГП; τ = время.

Кроме того, статистика аварий или рассчитанные данные о надежности технологического оборудования, характерной для описанных выше производственных объектов, или данные, полученные по опыту эксплуатации аналогичных действующих объектов, могут использоваться для определения частот возникновения чрезвычайной ситуации (в том числе в результате ошибки персонала).

Риски $R(\tau)$, сформированные на этой стадии жизненного цикла τ , оцениваются в соответствии с вероятностью $P(\tau)$ отказов, аварийных или катастрофических ситуаций и ущербам $U(\tau)$ как (3) [1]:

$$R(\tau) = P(\tau) \cdot U(\tau). \quad (3)$$

Функция риска лучше подходит для оценки безопасности оборудования, поскольку она содержит оценки потенциальных потерь.

Вероятностные характеристики, представленные «деревьями событий» и «деревьями отказов» необходимы для определения надежности $P_{QR}(\tau)$.

Анализ дерева событий представляет собой совокупность количественных или качественных методов, используемых для определения возможных результатов и вероятностей исходного события.

Разработка сценариев чрезвычайных ситуаций позволяет получить исходные данные о потенциальных воздействиях и неблагоприятных факторах, а также служит основой для комплексной оценки поврежденности ОПО. Чтобы определить возможные сценарии возникновения и развития опасных ситуаций для ГП, необходимо учитывать следующие типы аварий: пожар-вспышка, пожар пролива, факел и взрыв [2].

Анализ отказов в основном представляет собой дедуктивный эмпирический подход, направленный на определение причины или сочетания причин событий.

Подходы к управлению рисками обычно количественные. Однако из-за недостатка информации об эксплуатации газотранспортных систем полный количественный анализ не всегда возможен. В то же время оценка управления рисками требует учета наиболее серьезных возможных инцидентов при обслуживании подобных объектов. Поэтому в таком случае может оказаться полезным сравнительное количественное или качественное ранжирование рисков.

Технический риск определяется как (4):

$$R_T(\tau) = 1 - P_{QR}(\tau). \quad (4)$$

Надежность $P_{QR}(\tau)$ может включать в себя долговечность, безотказность, устойчивость, сохраняемость или их различные комбинации, в зависимости от назначения и условий эксплуатации объекта [3].

В настоящий момент параметры ущерба $U(\tau)$, в основном экономические, которые соответствуют рассматриваемым условиям (отказы, аварии и катастрофы), устанавливаются в контексте анализа надежности $P_{QT}(\tau)$ и техногенного риска $R_i(\tau)$.

Выполнение комплекса этих работ позволит не только увеличить сроки эксплуатации существующих объектов, но и проектировать перспективные объекты транспорта природного газа с высоким уровнем надежности и поддерживать его на разных стадиях их жизненного цикла.

Библиографический список

1. Курасов О. А. Обоснование параметров безопасности опасных производственных объектов по критериям риска / О. А. Курасов // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 07–09 декабря 2021 года / Отв. редактор П.В. Евтин. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 39–42. – EDN JEKYNM.

2. Курасов О. А. Мониторинг состояния опасных производственных объектов магистрального трубопроводного транспорта газа и рисков их эксплуатации / О. А. Курасов // Международная научно-практическая конференции им. Д.И. Менделеева, посвященная 90-летию профессора Р.З. Магарилы : Материалы конференции, Тюмень, 25–27 ноября 2021 года / Отв. редактор А.Н. Халин. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 328–329. – EDN GHIKHO.

3. Kurasov, O. A. Development of quality management concepts for complex engineering systems in main gas pipelines / O. A. Kurasov // Метрологическое обеспечение инновационных технологий : IV Международный форум : сборник статей, Санкт-Петербург, 04 марта 2022 года / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – Р. 178. – EDN ZZHIRQ.

УСТАНОВКА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ

Медведева Анна Александровна^{1,2}, инженер-конструктор 3-й категории, студент,
Акулов Алексей Владимирович¹, нач. конструкторского бюро,
Боршова Лариса Васильевна, канд. техн. наук, доц.
E-Mail: anymyasnikova@mail.ru

1 – АО «НПК «Уралвагонзавод»

2 – НТИ (филиал) УрФУ,
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В статье описаны конструкции триангелей, изготавливаемых на АО «НПК «Уралвагонзавод»» в настоящее время, произведено их сравнение. Конфигурации представленных триангелей кардинально отличаются, следовательно, базовые поверхности также являются другими, в связи с чем обработка новой конструкции на старом оборудовании не предоставляется возможным.

В процессе проектирования новой установки для сверления были рассмотрены различные варианты перемещения триангеля в зону обработки, зажима изделия, а также несколько вариантов сверлильных головок, непосредственно осуществляющих обработку. Был выбран вариант с ручной подачей в зону обработки, автоматизированным процессом зажима изделия с помощью пневмоцилиндров и обработкой высокопроизводительными и точными сверлильными головками. Далее в статье описан процесс зажима и обработки триангеля.

Также к установке спроектирована гидростанция, подающая смазочно-охлаждающую жидкость в зону резания для обеспечения оптимальных условий обработки. Данная гидростанция не только производит перекачку жидкости в рабочую зону, а также и производит её очистку благодаря установленному в ней фильтру.

Представленная установка позволяет автоматизировать процесс обработки триангелей новой конструкции, а, следовательно, облегчить и ускорить работу всей линии сборки и сварки.

Ключевые слова. Машиностроение, вагоностроение, производство, триангель, установка для сверления.

Изготовление инновационной железнодорожной техники является одним из основных направлений деятельности АО «НПК «Уралвагонзавод». Современным и качественным подвижным составом обеспечиваются магистрали России, а также страны ближнего и дальнего зарубежья.

В процессе разработки новых моделей вагонов и вагонных тележек появляются и новые конструкции всех составных частей вагонов. Но не всегда имеющиеся оборудование и приспособления позволяют обрабатывать новые изделия в таком же объеме, как и старые. Так, например, в ходе разработки тормозной системы была сконструирована рама триангеля, сверление которой стало невозможным на имеющемся оборудовании ввиду смены базовых поверхностей для закрепления деталей и дальнейшей обработки на специализированном оборудовании.

Авторами была рассмотрена возможность модернизации установки для сверления триангеля.

Триангель – элемент тормозной рычажной передачи или тормозной системы тележки грузового вагона, предназначенный для передачи усилия, развиваемого поршнем тормозного цилиндра или приводом ручного тормоза, на фрикционные элементы (тормозные колодки) для их равномерного прижатия к поверхности катания.

Однако, с развитием технологий и производства, а также в связи с совершенствованием конструкции изделий подвижного состава, модернизируется и конструкция вагонных тележек, в том числе и конструкция триангеля.

В последнее время на заводе обрабатывались триангели нескольких конструкций. Последняя из них представлена на рис. 1.

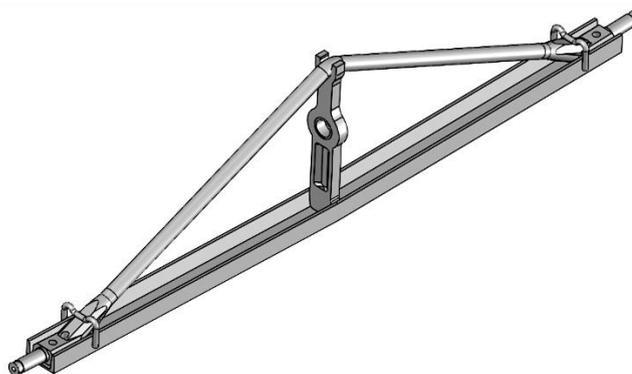


Рис. 1. Старая конструкция триангеля

В данной конструкции отличительной особенностью являются две пары отверстий, расположенных вертикально. Также на данном триангеле приварены две скобы, по которым происходит базирование тормозных башмаков, а также в конструкции струны имеются цилиндрические участки на концах.

Новая конфигурация триангеля полностью переработана и сильно отличается от старой, она приведена на рис. 2.



Рис. 2. Новая конструкция триангеля

В данной же конструкции отсутствуют скобы, которые являлись базами. Также изменена конструкция струны, на ней нет цилиндрических участков на концах, добавлены скобы на одной из сторон триангеля. Главной же отличительной чертой являются две пары отверстий, расположенных горизонтально. Данные изменения в конструкции не позволяют использовать существующую установку для сверления.

Для обработки данного триангеля требуется точное базирование по верхней полке швеллера, из которого изготовлена балка, так как эта поверхность является конструкторской базой, которую необходимо совмещать с технологической для достижения минимальной погрешности обработки. На существующей установке базирование происходит по противоположной поверхности, что не позволяет добиться необходимой точности размеров. Также отверстия предпочтительнее обрабатывать за один установ, при этом будет минимизирована погрешность при обработке.

Предлагается конструкция установки для сверления триангеля в полуавтоматическом режиме (рис. 3).

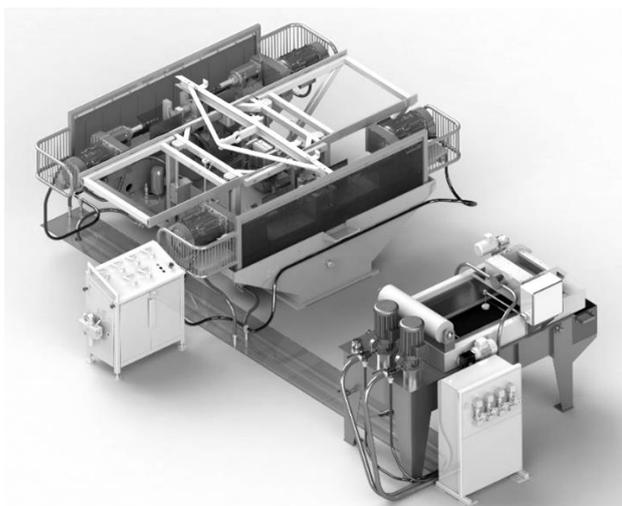


Рис. 3. Новая конструкция установки для сверления триангеля

В процессе проектирования данной установки были рассмотрены различные варианты перемещения триангеля в зону обработки, зажима изделия, а также несколько моделей сверлильных головок. Также стояла задача вписать установку в имеющуюся линию по сборке и сварке триангелей. Проанализировав конструкцию установки, количество обрабатываемых изделий в смену, а также условия обработки (режимы резания и материал заготовки), основным вариантом стала установка с ручной загрузкой триангелей, зажимом с помощью пневмоцилиндров и обработкой высокопроизводительными и точными сверлильными головками.

Преимуществом этой установки является автоматизированный процесс зажима изделия и его дальнейшая обработка, где от рабочего требуется переместить триангель по направляющим до стопорных цилиндров, произвести зажим триангеля пневмоаппаратурой и запустить с пульта управления процесс обработки, а затем передвинуть обработанное изделие дальше по конвейеру.

Сам же процесс зажима и обработки происходит следующим образом. Рамка с лежащим на ней триангелем опускается в нижнее положение, при этом триангель укладывается в ложементы. Производится предварительный зажим, центрирование и окончательное закрепление заготовки клиновыми упорами. Затем начинается процесс сверления с подачей смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через систему полимерных трубок либо через инструмент непосредственно в зону резания. После окончания обработки изделие освобождается от зажимных элементов и поднимается рамкой обратно на направляющие конвейера.

К установке также спроектирована станция СОЖ, которая устанавливается рядом с установкой и обеспечивает очистку и подачу охлаждающей жидкости под давлением к зоне резания. Предусмотрена и защита рабочего от стружки и брызг СОЖ посредством экрана из резины, который не препятствует очистке рабочей зоны от стружки в случае необходимости.

Преимуществами данной установки являются точность обработки, возможность размещения в линии сборки и сварки триангелей, простота работы на установке, возможность использования разного инструмента и производительность.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SOLIDCAM

Минабутдинов¹ Илья Владимирович, студент
Боршова¹ Лариса Васильевна, канд. техн. наук, доц.
Калугин² Алексей Витальевич, нач. технологического отдела
E-mail: minabutdinov2022@vk.com

1 – НТИ (филиал) УрФУ

2 – ООО «ТЕХПРОМ-Нефтегазовые Системы»
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Современное машиностроение невозможно представить без станков с числовым программным управлением. Для предприятий мелкосерийного и единичного производства деталей сложной конфигурации наиболее эффективным решением является использование такого оборудования в совокупности с комплексным программным обеспечением, сочетающим конструкторскую и технологическую подготовку производства. Примером такого программирования станков с числовым программным управлением является использование программного обеспечения SolidCAM. Программа работает в среде CAD-систем SOLIDWORKS, поддерживая интеграцию данных – это означает, что любые изменения геометрических особенностей модели повлекут за собой пересчет траекторий движения режущего инструмента, который произойдет автоматически. Программа поддерживает обработку отверстий, фрезерную обработку, высокоскоростную, токарную и токарно-фрезерную обработку, а также электроэрозионную обработку. В статье рассмотрено использование программного обеспечения SolidCAM для разработки управляющей программы для обработки детали «Оправка». Для этой детали построена 3D-модель, разработана заготовка и создана ее модель, подобраны оборудование и технологическая оснастка в соответствии с маршрутным технологическим процессом, выполнено позиционирование заготовки и разработаны траектории движения инструмента при обработке различных поверхностей. Итогом работы стала разработка и отладка управляющей программы.

Ключевые слова. Станок, числовое программное управление, программирование, траектория, управляющая программа.

Для программирования обработки была предложена деталь «Оправка», 3D-модель которой представлена на рисунке 1.



Рис. 1. 3D-модель детали «Оправка»

В качестве заготовки рационально использовать трубный профиль, т.к. это позволит сократить количество отходов, количество используемого режущего инструмента, а также сократит время изготовления детали.

Заготовка: Труба EN 10305-1 D245x d200 H8 DIN 1629/3-St52.0. Геометрические параметры заготовки: $L = 100 \pm 1$ мм; $D_{\text{внешн.}} = 245$ мм; $D_{\text{внутр.}} = 200$ мм.

Выбор технологического оборудования происходит по следующим параметрам: метод обработки, возможность обеспечения требуемой точности размеров, качество обрабатываемой поверхности, габариты заготовки и ее вес, мощность резания и экономическая целесообразность применения оборудования.

Согласно Маршрутному технологическому процессу, технические условия позволяют выполнить обработку детали на одном обрабатывающем центре. В качестве обрабатывающего центра был выбран станок с револьверной головкой «Mazak QT-COMPACT 300MY». Данный станок оснащен системой управления ЧПУ Mazatrol SmoothC.

Программирование происходит в следующей последовательности.

Первоначально необходимо задать параметры заготовки (рисунок 2) в системе координат, добавив припуск на торцах детали, равный 5 мм. Программа автоматически обозначит границы заготовки.

Затем требуется определить «ноль» детали – точку, лежащую на поверхности, относительно которой заданы ее размеры. Выбрав цилиндрическую поверхность, программа определит местоположение ноля на торце заготовки. Положение точки можно изменить при необходимости.

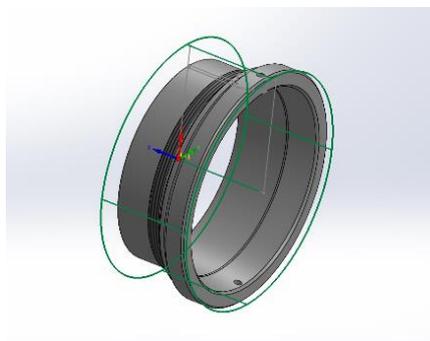


Рис. 2. Границы заготовки детали

Программа позволяет выполнить позиционирование заготовки. Обработка будет происходить в основном шпинделе. На рисунке 3 показано диалоговое окно, в котором происходит позиционирования заготовки в 3-кулачковом патроне Kitagawa N-10.

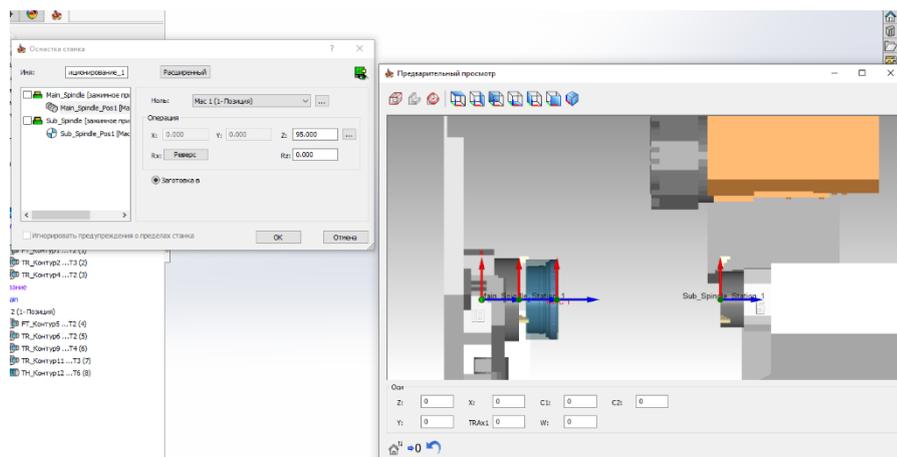


Рис. 3. Позиционирование заготовки

Для начала обработки необходимо обозначить требуемую поверхность на эскизе детали (рис. 4). В данном случае будет выполнена подрезка торца детали. Красной стрелкой указано направление обработки, желтой линией – поверхность обработки.

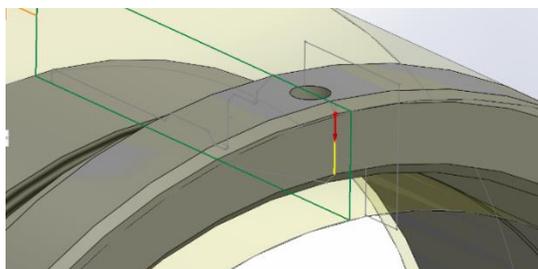


Рис. 4. Выбор поверхности обработки

Программа автоматически составит траекторию движения режущего инструмента, исходя из параметров выбранной плоскости.

Режим «Визуализация» (рис. 5) на CAD-модели позволяет оценить траекторию обработки непосредственно на принятом оборудовании.

В данном процессе доступны все опции динамического просмотра моделей, т.е. можно наблюдать за траекторией движения инструмента с выбранных точек обзора, масштабировать и перемещать отображение.

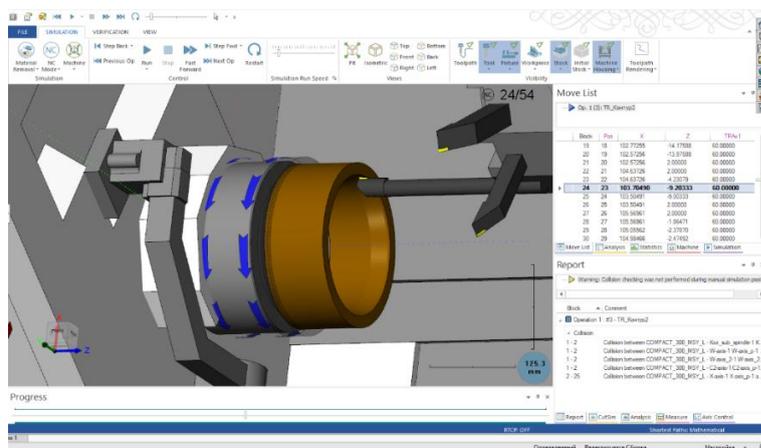


Рис. 5. Визуализация обработки поверхности

После проверки корректности условий обработки заготовки специалистом происходит генерация управляющей программы, которая впоследствии может быть загружена на твердотельный носитель.

В заключении стоит отметить, что еще задолго до изобретения станков с числовым программным управлением человек задумывался о том, как можно избавиться себя от монотонной работы, подчиняя себе механизмы эпоха за эпохой.

Благодаря техническому прогрессу, в современном мире появилась возможность применения вычислительной техники на предприятиях для более эффективного управления производственным оборудованием – это позволило повысить производительность труда и качество изготавливаемой продукции.

Библиографический список

Matt Lombard SolidWorks Surfacing and Complex Shape Modeling Bible / Matt Lombard. – Москва : СИНТЕГ, 2010. – 460 с.
 SolidCAM 2021. Milling Training Course. 2,5D Milling.
 SolidCAM 2021. Turning Training Course. 2,5D Turning.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Немченко Александр Александрович, студент, магистрант
Сторожниченко Александр Анатольевич, доцент
E-mail: nemchenko1997@gmail.com

СевГУ, г. Севастополь, РФ

Аннотация. Рассмотрена классификация приводов выключателей. Разработано автоматизированное устройство, предназначенное для контроля внутреннего диаметра крышки электромагнитного привода вакуумного выключателя.

Ключевые слова. Вакуумный выключатель, электромагнитный привод, контроль, автоматизация, точность измерений.

Быстрое развитие энергетики вызвало необходимость постоянного усовершенствования существующих и разработки новых коммутационных аппаратов высокого напряжения. Включение и отключение указанных аппаратов осуществляется специальным устройством, называемым приводом. Наряду с развитием коммутационных аппаратов совершенствуются и создаются новые конструкции приводов к ним [1].

В зависимости от вида энергии используемой для приведения в действие привода они подразделяются на ручные, электромагнитные, электродвигательные, пневматические, пневмогидравлические, пружинные, грузовые. Относительная простота, компактность конструкций, широкие функциональные возможности электромагнитных устройств обусловили их применение в различных областях науки, техники и производства [1].

К электромагнитным устройствам и их исполнительным механизмам предъявляются все более высокие конструктивно-технологические, экономические и эксплуатационные требования (в части простоты и технологичности конструкций, уменьшения габаритных размеров, массы, потребляемой энергии, простоты обслуживания). Произведен расчет электромагнитного привода вакуумного выключателя. Определены намагничивающая сила, площадь поперечного сечения обмотки, геометрические размеры катушки, дана оценка влияния соотношения конструктивных параметров катушки на расход меди и изменение поверхности охлаждения с целью улучшения процесса теплопередачи. Исходя из этого определены оптимальные геометрические размеры магнитопровода.

Разработана кинематическая схема (рис.1) и конструкция автоматизированного устройства контроля внутреннего диаметра крышки электромагнитного привода вакуумного выключателя мод. ВВ/TEL-10. Прибор для контроля внутреннего диаметра, представленный на рис. 2, предназначен для измерения внутреннего диаметра и отклонения от круглости поперечного сечения крышки. В состав прибора входят: измерительная станция 1, отсчетное устройство 2, пневмоблок 3, станины 4 и 5, и промышленный робот 6. Установка и снятие заготовок на измерительную станцию осуществляется с помощью промышленного робота. Отсчетное устройство предназначено для вывода результатов измерений и управления процессом измерения. На основе проведенного анализа принципов и средств контроля внутреннего линейного размера, определен тип измерительного преобразователя, выполнен расчет и моделирование характеристик индуктивного преобразователя соленоидного типа (см. рис. 3). Проведен анализ составляющих и расчет суммарной погрешности измерения, включающий в себя инструментальную погрешность, состоящую из погрешности базирования, измерительных наконечников, передаточного механизма (в качестве передаточного механизма используется пружинный параллелограмм), измерительного индуктивного преобразователя, силовые погрешности, а также дополнительные составляющие – температурная погрешность, рабочего эталона. Расчетное значение погрешности составляет 12 мкм и не превышает допустимой величины. Использование ав-

томатического контроля является важной предпосылкой повышения качества изделий, снижения потерь от брака и расходов на контроль [2].

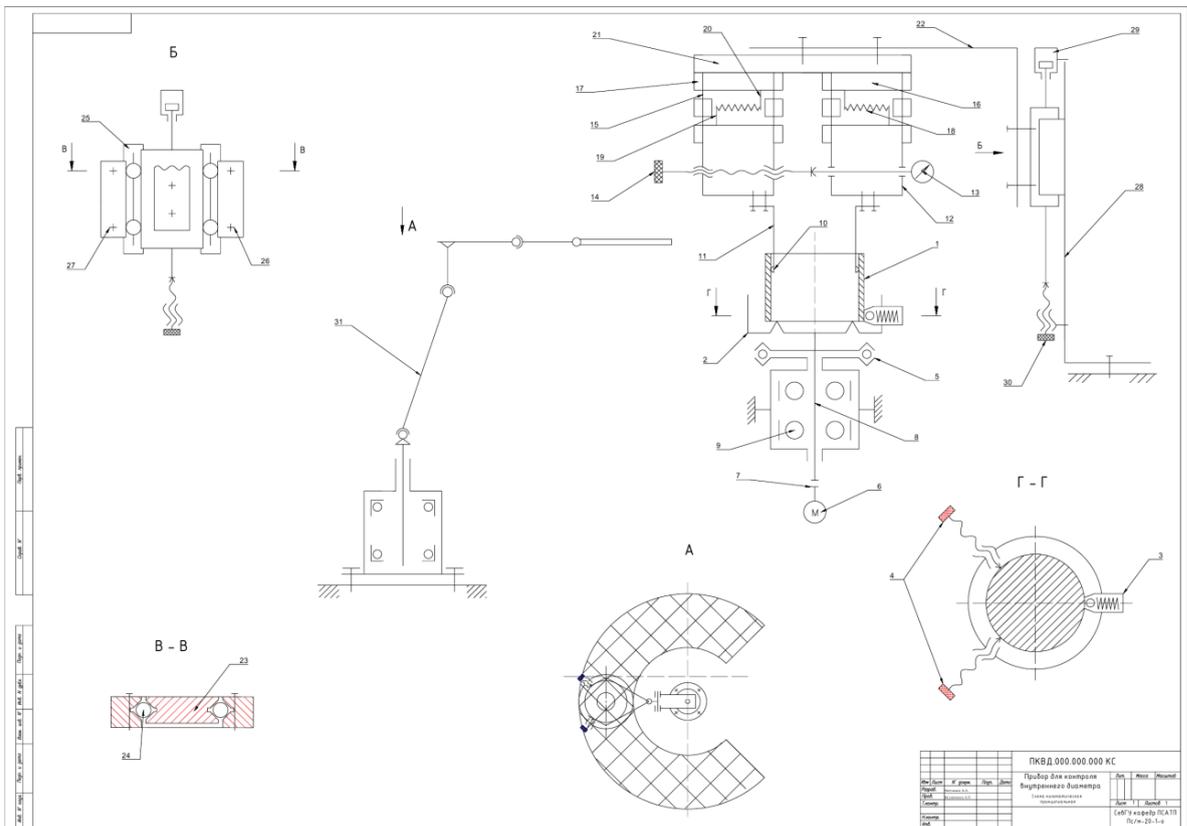


Рис. 1. Кинематическая схема автоматизированного устройства контроля внутреннего диаметра

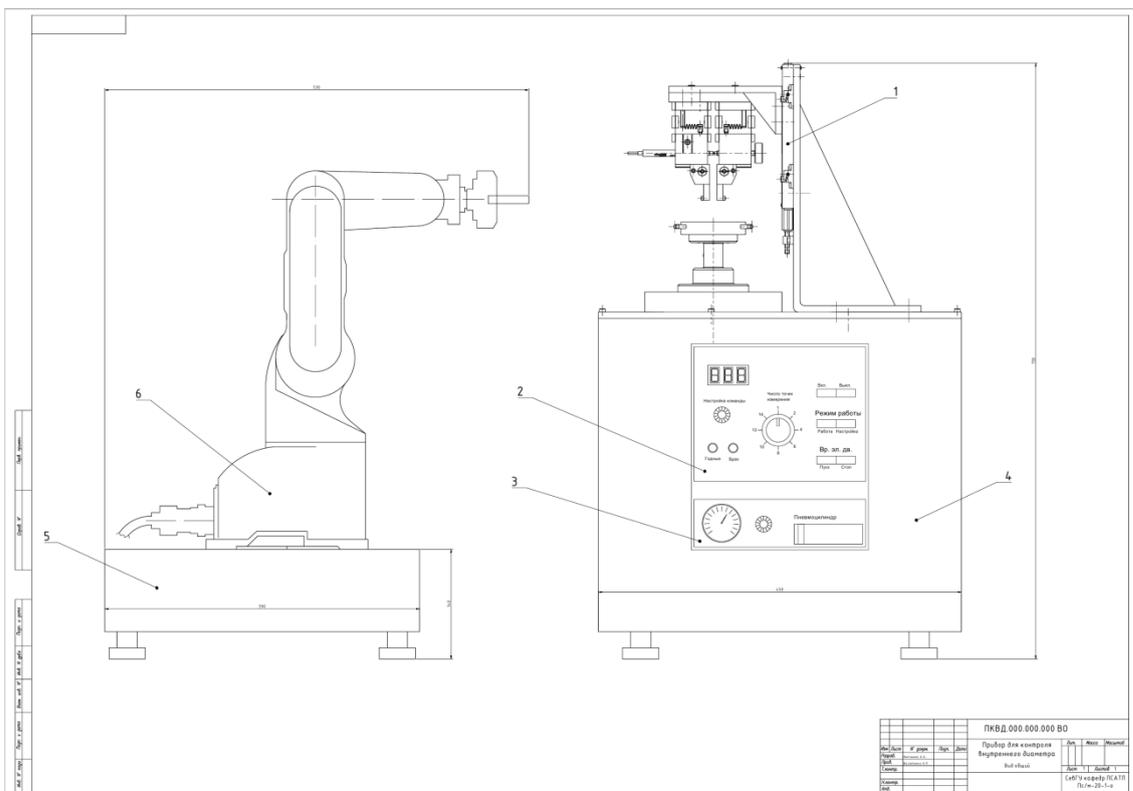


Рис. 2. Автоматизированное устройство контроля внутреннего диаметра.
Общий вид

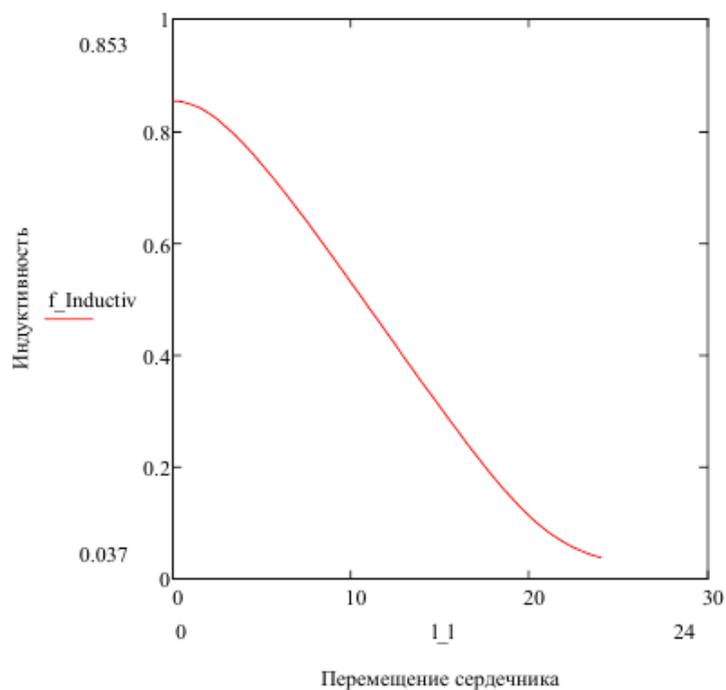


Рис. 3. Статическая характеристика индуктивного преобразователя

Библиографический список

1. Афанасьев В. В. Приводы к выключателям и разъединителям высокого напряжения / В. В. Афанасьев, Э. Н. Якунин. – Ленинград : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1982. – 224 с.
2. Этингов М. И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках / М. И. Этингоф. – Москва : АПР, 2016. – 336 с.

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ ИНДИЙ-РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Новожинов Владимир Антонович, д-р хим. наук, проф.
Стручева Наталья Егоровна, канд. хим. наук, доц.
E-Mail: strucheva@chem.asu.ru

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, РФ

Аннотация. Методами термогравиметрии в неизотермических условиях и рентгенофазового анализа были изучены особенности окисления сплавов индия с редкоземельными металлами (РЗМ) различного состава. Заметное окисление сплавов в бинарных системах с индием начинается при 500-800 К. Установлено, что в результате окисления сплавов, богатых индием, образуются оксиды РЗМ, индия и моноиндаты РЗМInO_3 . Сплавы, богатые РЗМ, окисляются до смеси оксидов. Установлено, что малые добавки РЗМ к индию снижают их стойкость к окислению, так как разница в коэффициентах объемного расширения частиц способствует образованию трещин и тем самым создает дополнительную поверхность для реакции окисления. На основании данных термического анализа были рассчитаны кинетические параметры окисления: энергия активации, константы скорости процессов окисления при различных температурах. Выявлена связь между диаграммами состояния и энергией активации. Изменение значений энергии активации по ряду РЗМ удовлетворительно коррелирует с изменением энтальпий образования и температур плавления интерметаллических соединений, а также изменением относительных электроотрицательностей, атомных радиусов и потенциалов ионизации РЗМ. Показано, что в случае окисления сплавов индия с РЗМ наиболее предпочтительным оказался механизм случайного зародышеобразования.

Ключевые слова. Металлы, сплав, интерметаллическое соединение, кинетика окисления, кристаллическая структура.

Редкоземельные металлы (РЗМ) благодаря своему уникальному электронному строению очень часто используют как для получения сплавов, отличающихся высокой термодинамической устойчивостью [1], так и для упрочнения рабочих поверхностей приборов и механизмов, работающих в агрессивных условиях внешней среды [2].

Целью нашей работы было исследование кинетики окисления сплавов некоторых РЗМ с индием в неизотермических условиях.

Для исследования особенностей поведения сплавов РЗМ-In при нагревании были приготовлены из металлов непосредственным сплавлением в стехиометрических соотношениях в вакуумированных кварцевых ампулах (остаточное давление 10^{-2} Па) в муфельной печи до температуры 800 К. Приведение сплавов в равновесное состояние осуществляли путем гомогенизирующего отжига при температуре 673 К в течение 100 ч.

Исследование кинетики окисления сплавов проводили термогравиметрическим методом в неизотермических условиях в атмосфере воздуха на С-дериватографе системы со скоростью нагрева 10 град/мин до температуры 1373 К. Контейнером служил тонкостенный корундовый тигель. В качестве эталона использовали Al_2O_3 . Полученные термограммы свидетельствуют о сложном характере процесса окисления. Заметное окисление сплавов в бинарных системах с индием начинается при 500–800 К.

Состав продуктов реакции окисления в значительной мере определяет полноту протекания процесса. Фазовый состав продуктов окисления устанавливали методом порошка на дифрактометре XRD-6000 Shimadzu со скоростью сканирования $0,02^\circ$ в интервале углов $30-145^\circ$ с $\text{CuK}\alpha$ -излучением ($\lambda = 1,54718 \text{ \AA}$). В сплавах, богатых индием, установлено образование оксидов РЗМ, индия и моноиндатов, а в сплавах, богатых РЗМ, образуется смесь оксидов.

Чистый индий устойчив на воздухе, поскольку на его поверхности образуется тонкая защитная пленка, препятствующая действию коррозии. При нагревании индия выше температуры плавления, равной 429,5 К на воздухе и в кислороде образуется In_2O_3 . Окисление редкоземельных элементов протекает по-разному, в зависимости от активности металла. Металлы цериевой подгруппы окисляются при более низкой температуре, чем металлы подгруппы иттрия [3].

Для определения кинетических параметров окисления по данным, полученным в неизотермических условиях, мы использовали чисто формальный подход, который предполагает, что скорость реакций термического превращения в твердой фазе может быть удовлетворительно описана с помощью ряда уравнений:

$$da/dt = k \cdot f(\alpha); f(\alpha) = (1 - \alpha)^n \quad (1)$$

где α – степень превращения, k – константа скорости реакции, n – формальный порядок реакции [1, 2]. Это уравнение имеет смысл только при строго определенных значениях n .

По программе "Кинетика" с использованием термогравиметрических данных нами были рассчитаны значения кажущихся энергий активации. Программа рассчитывает энергию активации с применением метода последовательных приближений и прекращает расчет после 20 циклов. Предэкспоненциальный множитель A определяли обратной подстановкой в исходное кинетическое уравнение. Выходные данные программы включают величины энергии активации, стандартного отклонения, области линейности и механизм процесса окисления.

Оценку выбора механизма процесса окисления проводили на основе двух критериев:

- наличие области линейности, в которой зависимость $-\ln q(\alpha)$ от $1/T$ лежит внутри заранее выбранного предела;
- существование величины стандартного отклонения, вычисленного для линейной зоны.

Как показали расчеты, в нашем случае при окислении сплавов наиболее предпочтительным оказался механизм случайного зародышеобразования, который описывается уравнением

$$(1 - \alpha) \cdot [-\ln(1 - \alpha)]^{3/4} \quad (2).$$

Использование неизотермических условий нагревания позволяет применять для расчетов констант скорости реакции уравнение Аррениуса

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

где K – константа скорости реакции, кг/с; A – предэкспоненциальный множитель, с^{-1} ; E_a – кажущаяся энергия активации, кДж/моль; T – температура, К; R – молярная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$.

На рисунке 1 приведены температурные зависимости степени превращения (α) для процесса окисления сплавов. Кривые степени превращения имеют различный вид, что связано с характером процессов окисления.

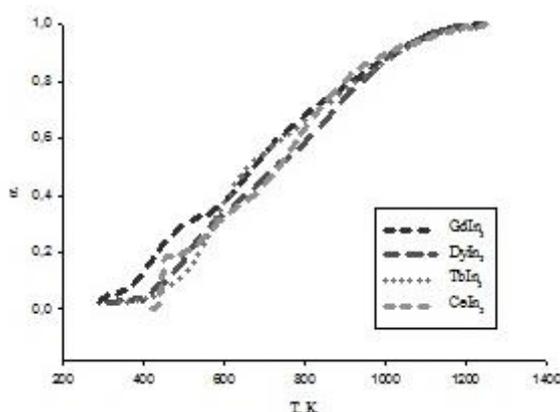


Рис. 1. Зависимость степени превращения для сплавов LnIn_3

Кинетические параметры процессов окисления сплавов представлены в таблице. Анализ кинетических параметров позволил выявить ряд общих закономерностей. Прежде всего, изменение состава сплава сказывается на значениях энергий активации (рисунок 2).

Анализ значений кажущихся энергий активации и температур плавления в ряду металлидов LnIn показывает, в общем, уменьшение термической стабильности сплавов с увеличением порядкового номера РЗМ, которое пропорционально увеличению относительного объемного сжатия, выражающегося в уменьшении параметров кристаллических решеток этих соединений. Более высокие значения энергии активации для металлидов тербия с индием, показывающие большую устойчивость к окислению этих сплавов, видимо, связаны с более легким изменением степени окисления тербия.

Таблица

Кинетические параметры окисления сплавов индий-РЗМ

Состав	E_a , кДж/моль	K_{873K} , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	K_{973K} , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	K_{1073K} , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	K_{1173K} , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$
TbIn ₃	85±2	$3,99 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^{-4}$	$8,12 \cdot 10^{-4}$
TbIn	156±7	$3,29 \cdot 10^{-9}$	$2,99 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-7}$	$7,98 \cdot 10^{-7}$
CeIn	46±8	$8,63 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-2}$	$2,81 \cdot 10^{-2}$	$4,37 \cdot 10^{-2}$
CeIn ₂	30±6	$7,84 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$2,26 \cdot 10^{-3}$
CeIn ₃	105±4	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$4,63 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$
NdIn	71±2	$8,29 \cdot 10^{-3}$	$2,27 \cdot 10^{-2}$	$5,14 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-1}$
NdIn ₂	85±4	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$4,01 \cdot 10^{-3}$	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$2,41 \cdot 10^{-2}$
GdIn	67±2	$3,91 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-1}$	$2,19 \cdot 10^{-1}$	$4,16 \cdot 10^{-1}$
GdIn ₂	73±2	$6,16 \cdot 10^{-3}$	$1,73 \cdot 10^{-2}$	$4,03 \cdot 10^{-2}$	$8,09 \cdot 10^{-2}$

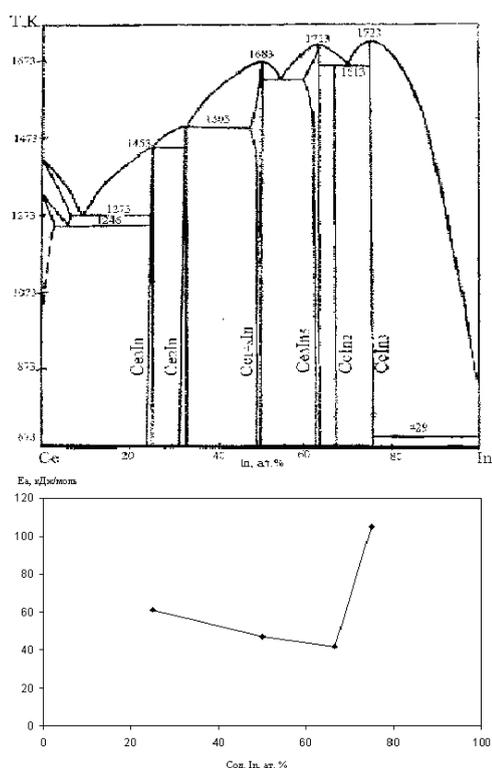


Рис. 2. Зависимость энергии активации окисления от состава для сплавов системы Ce-In

С увеличением температуры константы скорости реакций процессов окисления меняются закономерно. Низкие значения констант говорят о невысоких скоростях протекания процесса окисления при данной температуре.

Библиографический список

1. Полак Л. С. Вычислительные методы в химической кинетике / Полак Л. С., Гольденберг М. Я. – Москва : Наука, 1984. – С. 280.
2. Розовский А. Я. Гетерогенные химические реакции: Кинетика и макрокинетика / А. Я. Розовский. – Москва : Наука, 1980. – С. 323.
3. Стручева Н. Е. Физико-химические свойства сплавов редкоземельных металлов с алюминием и магнием : дис. ... канд. хим. наук 02.00.04 – Физическая химия. – Томск, 2001.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ МНОГОСТРУЙНОГО СОПЛА

Олейник Максим Андреевич, аспирант
E-Mail: oleynik1997@mail.ru
Злобин Евгений Петрович, магистрант
E-Mail: ep.smr@mail.ru

Самарский университет
г. Самара, РФ

Аннотация. В данной работе представлен обзор сопловых головок для установок прямого лазерного выращивания. Разработано экспериментальное сопло для проведения экспериментов по определению оптимальной геометрии сопла в зависимости от расхода транспортного газа, фокального расстояния и угла наклона трубок.

Ключевые слова. Аддитивное производство, прямое лазерное выращивание, сопловая головка, многоструйное сопло, коэффициент захвата порошка.

Согласно ГОСТ Р 57558-2017, аддитивное производство подразделяется на 7 типов [1]. В аддитивном производстве металлических изделий используются два из них: синтез на подложке (powder bed fusion) и прямое подведение энергии и материала (direct energy deposition).

Синтез на подложке позволяет изготавливать металлические детали, разделяя их геометрию на слои и добавляя отдельные частицы порошка вместе с наносимым слоем на платформе с помощью сфокусированного источника тепловой энергии. Синтез на подложке использует источник энергии для соединения посредством сплавления отдельных частиц порошка вместе.

Прямое подведение энергии позволяет изготавливать металлические детали путем подачи порошка или проволоки через сопло на выращиваемую деталь, где она расплавляется с помощью сфокусированного источника тепловой энергии. Процесс позволяет обойтись без использования связующих веществ и отличается от синтеза на подложке тем, что сырье проходит через подающее устройство и плавится во время осаждения вместо того, чтобы оставаться статичным на платформе и наноситься слоями при изготовлении детали.

В отличие от струйной печати связующим веществом и послойного ламинирования, которые имеют ограниченный диапазон коммерческих применений, и синтез на подложке, и прямой подвод энергии и материала имеют широкое применение в изготовлении трехмерных деталей из металла.

Синтез на подложке и прямое подведение энергии и материала используются соответственно в селективном лазерном сплавлении и прямом лазерном выращивании (ПЛВ).

Прямое лазерное выращивание более универсально и перспективно. В этой технологии порошок подается непосредственно в зону сплавления, что позволяет получать заготовки деталей, близких по форме к готовому изделию и значительно снижает расход порошка и, соответственно, стоимость изготовления.

Более того ПЛВ позволяет получать изделия с функционально-градиентными свойствами. Примером может служить выращенное биметаллическое ракетное сопло, внутренняя часть которого представляет собой медный или бронзовый сплав, а наружная жаропрочный сплав. При этом в процессе печати есть возможность получать внутренние каналы для охлаждения, что позволяет избежать трудоемких сборочных операций.

Прямое лазерное сплавление делится по типу подачи порошка в зону сплавления на коаксиальную, внеосевую и многоструйную [2, 3].

Коаксиальные сопловые головки (рис. 1а) позволяют обеспечить максимальную точность по сравнению с другими типами сопел. Благодаря своей конструкции, газопо-

рошковая смесь в зоне сплавления хорошо экранирована защитным газом от атмосферного воздуха, а также существует возможность получать валики шириной 0,2-0,3 мм. Среди недостатков коаксиальных сопел можно выделить повышенную чувствительность к однородности фракционного состава порошка, а также к ориентации головки относительно вертикального положения.

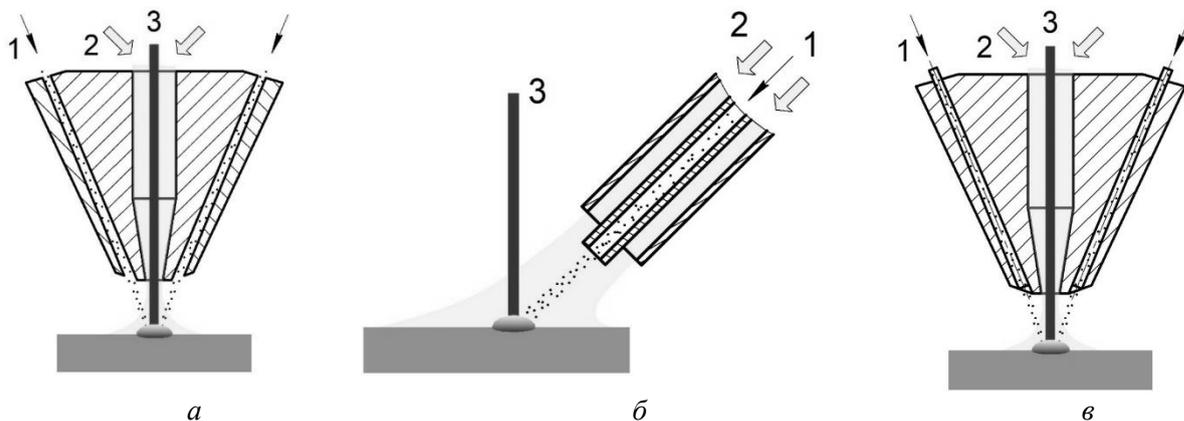


Рис. 1. Схемы сопловых головок:

1 – направление движения газопорошковой струи, 2 – направление движения защитного газа, 3 – лазерное излучение

Внеосевое сопло (рис. 1б) нечувствительно к ориентации в пространстве и к качеству порошка. Этот тип сопла позволяет достичь наибольшей производительности, однако выращенные изделия имеют низкую точность.

Многоструйная головка является компромиссом между коаксиальным и внеосевым соплами. Головки такого типа могут иметь трех-, четырех- и шестиструйное исполнение. Увеличение количества каналов позволяет расширить технологические возможности процесса ПЛВ и дает возможность получения биметаллических композитных материалов с градиентной структурой путем распределения между каналами разных порошков с изменяемым расходом. Схема многоструйного сопла показана на рис. 1в.

На качество и себестоимость выращенных методом прямого лазерного выращивания изделий влияют правильно подобранные режимы выращивания. В реальном процессе наблюдается расхождение между геометрией, заложенной в управляющей программе (УП) и действительной геометрией наплавляемого валика. Данный феномен приводит к тому, что с увеличением наплавленных слоев, происходит накопление различий между высотой выращиваемого слоя и величиной вертикального шага, задаваемой в УП, что ведет к расфокусированию пятна лазерного пучка и изменению режимов сплавления материала. В свою очередь, неверный режим приводит к появлению в наплавленном металле таких металлургических дефектов, как поры, трещины и несплавления.

Одной из причин отличия реального валика от теоретического является потеря массы порошка, которое не ассимилируется ванной расплава, отчего изменяется производительность процесса в виде наплавленного объема в единицу времени. Это происходит из-за того, что диаметр газопорошкового потока больше диаметра ванны расплава.

Одним из решений, повышающим, так называемый, коэффициент захвата порошка (КЗП) является определение оптимального угла распыла порошка. Для этого было сконструирована и изготовлена экспериментальная установка, представляющая собой двухосевое сопло с изменяемым углом каналов для подачи газопорошкового потока в зону сплавления и камеры, в которую попадает истекаемый порошок. Схема установки показана на рис. 2. Сопло представляет собой корпус 1, на котором устанавливается направляющая 2 в виде сегмента окружности, центр которой совпадает с зоной сплавления, на которой выполнены пазы для регулировки углового положения трубок 3. В эти трубки монтируются капиллярные трубки 4. Диапазон регулировки угла распыла составляет 30-70°.

Порошок попадает в камеру, где в дальнейшем определяется масса порошка, прошедшее через отверстие в камере.

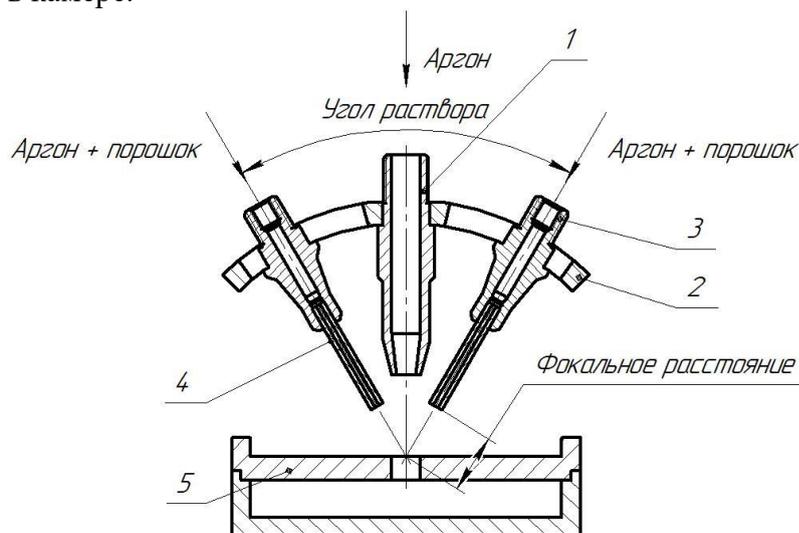


Рис. 2. Эскиз экспериментального сопла

Эксперимент проводился с варьированием 3 факторов: расход газа через капиллярные трубки (6, 8, 10 л/мин), фокальное расстояние – расстояние между торцом капиллярной трубки и ванной расплава (8, 12, 16 мм) и угол наклона трубок (угол раствора между трубками) (30, 50, 70 град). Критерием, определяющим оптимальность режима, является количество порошка, попавшее в камеру через отверстие Ø2,65 мм, соответствующее диаметру пятна лазера. Оценка оптимальной комбинации значений факторов осуществлялась при помощи определения КЗП:

$$\text{КЗП} = \frac{m_k}{m_\phi} \cdot 100\%,$$

где m_k – масса порошка, поступившее в камеру, г, m_ϕ – фактическая масса порошка, поступившее из сопла, г.

Порошок представляет собой хромоникелевый сплав ЭП648 с фракцией 40-150 мкм. Все опыты проводились при следующих неизменных параметрах: расход защитного газа через центральное сопло 16 л/мин, массовый расход порошка – 19,7 г/мин.

В результате проведения эксперимента было установлено, что наибольший КЗП (79%) был достигнут при угле между трубками 50°, расходом транспортирующего газа 6 л/мин и фокальным расстоянием 8 мм. Однако, в реальном процессе эти значения при выращивании методом ПЛВ следует применять с осторожностью: низкий расход транспортирующего газа, которым является инертный газ аргон, может привести к окислению и загрязнению сплавляемого материала атмосферными примесями, а близкое расположение каналов к зоне плавления может привести к перегреву сопла и его засорению вследствие налипания частиц порошка к соплу.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы [Текст]. – Введ. 2017-12-01. – Москва : Стандартинформ, 2018.
2. Негодяев В. О. Конструкция коаксиальных сопловых головок / В. О. Негодяев, Д. Л. Роганов, А. В. Балякин // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 69-2. – С. 64–70. – DOI 10.18411/lj-01-2021-61.
3. Шпилев А. И. Исследование и оптимизация газопорошковых потоков в головках для лазерной порошковой наплавки : дис. ... канд. техн. наук: 01.02.05. / Шпилев Алексей Иванович. – Казань, 2018. – 179 с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА

Панкова¹ Мария Сергеевна, студент
Пегашкин¹ Владимир Федорович, д-р. техн. наук, проф.
Смирнов² Алексей Сергеевич, заместитель главного конструктора КБ МАП
Стяжкин² Максим Геннадьевич, начальник бюро грузозахватных
приспособлений и тары КБ МАП
Лежнев² Дмитрий Андреевич, инженер-конструктор КБ МАП
E-mail: maria_lu@mail.ru

1 – НТИ (филиал) УрФУ

2 – АО «НПК «Уралвагонзавод»,

Конструкторское бюро механизации и автоматизации производства
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Спроектирована конструкция крана-манипулятора, разработана пневматическая схема. Конструкция манипулятора обладает необходимой прочностью и соответствует требованиям производства. Применение манипулятора позволит достичь высокого технического эффекта: возможность использования манипулятора на позициях, требующих повышенный уровень плавности и точности позиционирования; возможность транспортирования грузов разной конфигурации и на разных позициях за счет использования сменных схватов; возможность использования в цехах и на участках с повышенными требованиями безопасности, а также социального эффекта: повышение безопасности, скорости и удобства труда работников, благодаря чему возрастает производительность труда, а, следовательно, и общая эффективность.

Ключевые слова. Кран-манипулятор, грузоподъемный механизм.

Подъемно-транспортные работы играют важную роль в современном производстве. От того насколько быстро и качественно налажен производственный цикл подъемных и транспортных работ зависит общая эффективность технологического процесса изготовления.

На данный момент на АО «НПК «Уралвагонзавод» используются различные механизмы подъема и транспортирования груза, самыми распространенными из которых являются: мостовые краны, кран-балки, а также консольные краны различных исполнений. Механизмы данных технических устройств не в полной мере обеспечивают плавность хода и желаемую дискретность позиционирования транспортируемого изделия.

В свою очередь на производстве зачастую появляются задачи, связанные с необходимостью плавности подъема и опускания груза, а также точностью его позиционирования.

Одним из примеров необходимости плавного подъема, перемещения, опускания груза, является транспортировка торсионного вала в условиях нашего предприятия.

После термической обработки торсионный вал в горизонтальном положении необходимо переместить из кантователя в гидравлический комплекс для правки. Данную операцию следует выполнять с особой плавностью и точностью, чтобы исключить повреждение вала во время его снятия с кантователя и установки в пресс. В качестве решения данного вопроса предлагается использовать пневматический манипулятор.

Проанализировав поставленную производством задачу и требования к транспортировке торсионных валов, были сформированы основные технические параметры манипулятора:

- грузоподъемность – 100 кг;
- максимальный вылет (по горизонтали) – 2250 мм;
- максимальная высота подъема – 1800 мм.

На рис. 1 изображен общий вид манипулятора и обозначены элементы его конструкции.

Конструкция крана-манипулятора представляет собой устойчивую вертикальную колонну, к которой крепится стрела. Стрела манипулятора состоит из большой и малой консоли, которые придают наибольшую свободу при горизонтальном перемещении груза. Большая консоль непосредственно связана с главным пневмоцилиндром, предназначенным для изменения угла наклона стрелы, и соответственно, изменения высоты ее подъема за счет хода штока цилиндра. Таким образом, большая консоль имеет возможность вращения вокруг колонны и перемещения по вертикальной оси. Малая консоль крепится к большой за счет адаптера и имеет возможность вращения относительно его оси.

Для удобства работы в заданном высотном диапазоне в конструкции манипулятора предусмотрен элемент, ограничивающий вертикальное перемещение стрелы. Данный элемент изображен на рис. 2. Гайки А и Б задают крайние верхнее и нижнее положения стрелы. При необходимости этот диапазон можно регулировать, перемещая гайки по штоку В.

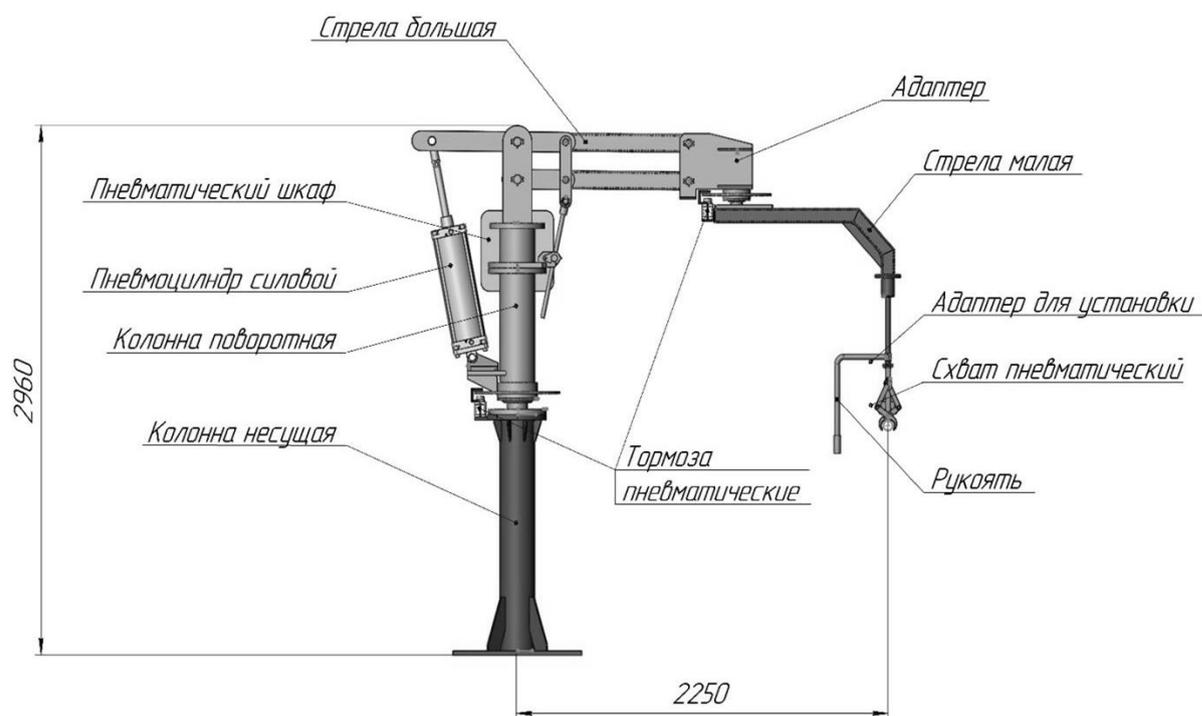


Рис. 1. Конструкция манипулятора

Кроме того, ограничен угол поворота большой и малой консоли во избежание перегиба трубок пневматической системы, проходящих внутри конструкции. Для этого на дисках большой и малой консоли в определенные отверстия установлены болты, которые служат ограничителем поворота. Помимо прочего это ограничивает зону обслуживания краном-манипулятором.

Принцип работы манипулятора основан на уравнивании поднимаемого груза подъемной силой главного пневмоцилиндра. Перемещение груза осуществляется за счет мускульной силы человека. После подачи сжатого воздуха в цилиндр, оператор, воздействуя на рукоять, контролирует процесс подъема/опускания груза и может перемещать его на необходимые высоту и радиус.

Манипулятор оснащен универсальным адаптером, изображенным на рис. 3, который дает возможность установки на него как специально разработанных схватов для деталей различной конфигурации, так и стандартного грузозахватного органа в виде крюка.

В данном случае для перемещения торсионного вала был спроектирован клещевой пневматический хват. Данный орган снабжен двумя парами клещей для захвата груза, которые приводятся в движение благодаря работе пневматического цилиндра.

В целях безопасности каждая подвижная консоль оснащена пневматическим тормозом, благодаря которым оператор имеет возможность фиксировать каждую консоль в необходимом для него положении. В пневмосистему внедрены блокирующие клапаны, которые препятствуют падению груза в результате непреднамеренного прекращения подачи воздуха. Кроме того, при возникновении внештатных ситуаций оператор, нажатием аварийной кнопки, может одновременно остановить движение всех рабочих органов за счет блокирования пневматической системы.

Управление рабочими органами производится через ручные пневматические распределители, расположенные на рукояти управления, каждый из которых отвечает за свой функционал: подъем и опускание консоли, фиксация каждой из консолей, смыкание и размыкание клещей схвата, а также кнопка аварийной остановки.

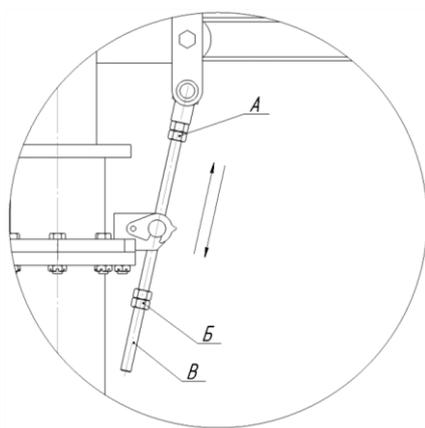


Рис. 2. Ограничитель высоты подъема

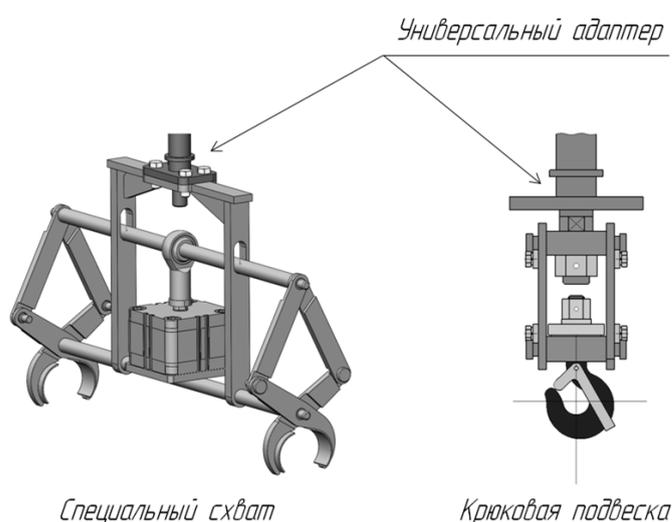


Рис. 3. Грузозахватный орган

Органы управления находятся в непосредственной близости от перемещаемого изделия – на рукояти, что обеспечивает визуальный контроль перемещения и позволяет позиционировать перемещаемую деталь с очень высокой точностью. Благодаря тому, что движение всех рабочих органов и управление ими осуществляются исключительно за счет сжатого воздуха, это позволяет использовать данное подъемно-транспортное оборудование в цехах и на участках с требованиями к взрывопожаробезопасности.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ

Полуянова Алена Евгеньевна, студент магистратуры
Пегашкин Владимир Федорович, д-р. техн. наук, проф.
E-mail: v.f.pegashkin@urfu.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Поперечное сечение тел вращения всегда имеет отклонение от теоретической формы. Проведено исследование погрешности формы детали типа «вал» в поперечном сечении с применением спектрального (гармонического) анализа профилограмм деталей после обработки. Изложена методика спектрального анализа погрешности формы разложением профилиграммы в гармонический ряд Фурье. Показано, что для исследуемого класса деталей доминирующей гармонической составляющей является вторая гармоника. Это соответствует погрешности формы поперечного сечения в виде эллипсообразности. Гармонический анализ траекторий движения осей детали у переднего и заднего центров показывает, что и в случае холостого хода, и при резании доминирующей является вторая гармоническая составляющая. То есть, траектория движения шпинделя и заднего центра приближается к эллипсу. Сделан вывод, что на вид погрешности обработанной детали оказывает влияние траектория движения шпинделя.

Ключевые слова. Спектральный анализ, погрешности формы.

Поперечное сечение тел вращения всегда имеет отклонение от теоретической формы. Для определения закономерностей формирования погрешности целесообразно применить методику спектрального анализа разложением профилиграммы поперечного сечения детали в гармонический ряд Фурье. Применим в качестве центра реального профиля один из центров окружностей определенным образом расположенных относительно исследуемого профиля [1].

Для исключения влияния эксцентриситета исследуемого сечения относительно оси вращения при измерении на точность определения характеристик профиля, производился пересчет координат точек профиля по следующим зависимостям (рис. 2).

Координаты средней окружности:

$$\bar{x} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \bar{y} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

где \bar{x}, \bar{y} – координаты средней окружности; x_i, y_i – координаты точки профиля в первоначально избранной системе координат; n – количество точек.

Перенесем начало координат в центр средней окружности, тогда координаты точек профиля в новой системе

$$\begin{cases} x_i' = x_i - \bar{x} \\ y_i' = y_i - \bar{y} \end{cases}$$

Радиус-вектор в новой системе:

$$R_i = \sqrt{(x_i')^2 + (y_i')^2}.$$

Радиус средней окружности:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}.$$

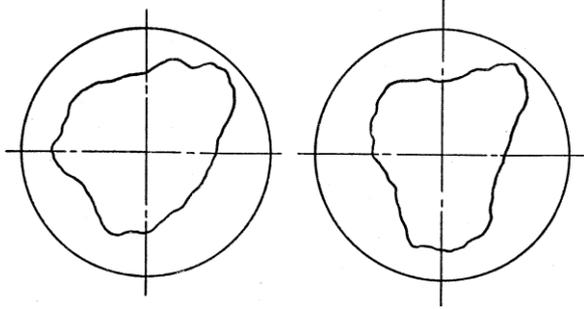


Рис. 1. Примеры профилограмм поперечных сечений деталей

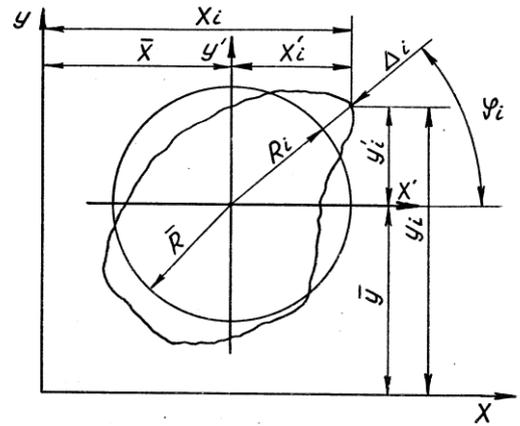


Рис. 2. Расчет координат центра и радиуса средней окружности

Погрешность профиля можно определить как разность:

$$\Delta_i = R_i - \bar{R}.$$

Рассматривая отклонение Δ_i как функцию угла φ можно представить отклонение контура поперечного сечения детали в виде ряда Фурье [2]:

$$\Delta(\varphi) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_k \cos k \varphi + b_k \sin k \varphi),$$

где a_0, a_k, b_k – коэффициенты ряда,

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}; \quad a_k = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i \cos k \varphi_i}{n}; \quad b_k = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i \sin k \varphi_i}{n}.$$

Амплитуда отдельной гармонической составляющей находится по следующей зависимости:

$$A_i = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}.$$

Согласно [3, 4] для аппроксимации формы поверхности вала, обработанного на токарном станке, достаточно первых шести гармонических составляющих. На рис. 3 представлены спектры профилей по рис. 2.

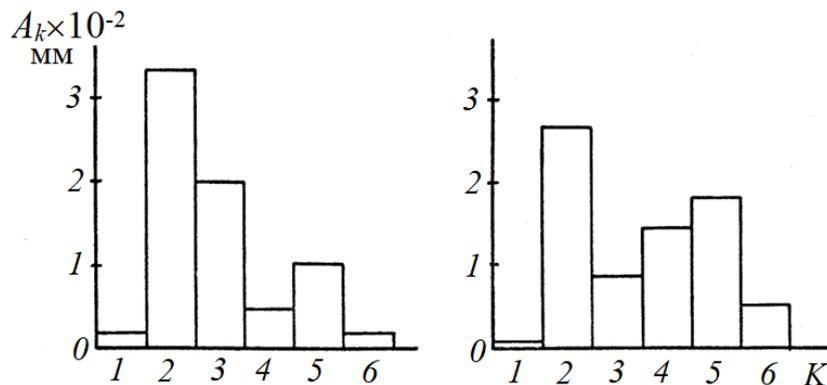


Рис. 3. Спектры профилограмм по рис. 1

Согласно теории гармонического анализа [5] первая составляющая соответствует эксцентриситету профиля, вторая – эллипсообразности, третья – трехгранной огранке, четвертая – четырехгранной и т. д. Из рис. 3 видно, что наибольшую амплитуду для всех представленных профилей имеет вторая гармоническая составляющая.

Аналогичные исследования, проведенные для партии деталей, показали, что для исследуемого класса деталей доминирующей погрешностью формы поперечного сечения является эллипсообразность. Возникает вопрос: является ли выявленная закономерность характерной только для данного класса деталей.

В работе [6] приводятся результаты гармонического анализа профиля валов, обработанных на токарном станке. Как видно из результатов анализа, доминирующей является вторая гармоника. Следовательно, эллипсообразность поперечного сечения после токарной обработки не является спецификой исследуемого класса деталей.

Для проверки достоверности этого положения применительно к токарному полуавтоматическому оборудованию токарной группы (имеющим широкое применение при обработке деталей исследуемых классов) были проведены исследования формы валов после обработки на токарных гидрокопировальных автоматах.

В качестве заготовок деталей исследуемых классов, как правило, применяют круглый прокат или трубу, которые имеют погрешность формы поперечного сечения в виде ярко выраженного эллипса.

Отсюда можно предположить, что погрешность поперечного сечения готовой детали является следствием аналогичной погрешности заготовки. С целью определения степени наследования готовой детали погрешности исходной заготовки за несколько проходов обрабатывались прутки четырех- и шестигранного профиля с различными размерами сечений. В результате проведения гармонического анализа профилей прутков после каждого прохода была получена таблица изменения амплитуд первых шести гармонических составляющих профиля поперечного сечения по проходам.

Объяснение этого явления можно найти в работе В. Н. Холопова [7]. Гармонический анализ траекторий движения осей детали у переднего и заднего центров показывает, что и в случае холостого хода, и при резании доминирующей является вторая гармоническая составляющая. То есть, траектория движения шпинделя и заднего центра приближается к эллипсу. Отсюда можно сделать вывод, что на вид погрешности обработанной детали оказывает влияние траектория движения шпинделя.

Библиографический список

1. Марков, Н. Н. Влияние отклонений от круглости поверхностей цилиндрических изделий на точность их центрирования / Н. Н. Марков // Вестник машиностроения, 1979. – № 5. С. 51–52.
2. Верхотуров, Б. Я. О методе гармонического анализа погрешностей технологических процессов, оборудования приборов / Б. Я. Верхотуров, В. И. Кузьминых // Вестник машиностроения, 1979. – № 5. – С. 32–33.
3. Статическая оценка точности опорных валков листовых станков холодной прокатки на основе гармонического анализа / М. Ф. Сухов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1973. – № 7. – С. 48–49.
4. Точность производства в машиностроении и приборостроении / под ред. А. М. Гаврилова. – Москва : Машиностроение, 1973. – 123 с.
5. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев. – Москва : Машиностроение, 1979. – 196 с.
6. Сухов, М. Ф. Экспериментальное исследование влияния базирования на точность формы поверхностей / М. Ф. Сухов, А. А. Зюзин, Б. М. Багров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1987. – № 5. – С. 41–43.
7. Холопов, В. Н. Исследование физических основ образования погрешностей деталей типа тел вращения при токарной центровкой обработке / В. Н. Холопов // Дисс... канд. техн. наук. – Москва, 1972. – 206 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ВАЛ»

Савин¹ Евгений Романович, студент
Боршова¹ Лариса Васильевна, канд. техн. наук, доц.
Ахременко² Вячеслав Анатольевич, инженер по режущему инструменту
E-mail: e17072000@gmail.com

1 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ
2 – ООО «Инструментально-механический завод»,
г. Невьянск, РФ

Аннотация. Базовый маршрутный технологический процесс обработки детали «Вал» предусматривает обработку за несколько операций с переустановкой детали, что существенно снижает производительность и влияет на точность изготовления. Использование современных токарных обрабатывающих центров позволяет повысить эффективность производства деталей. В данной статье рассмотрена возможность обработки вала с двух сторон на одной операции с использованием токарного двухшпиндельного обрабатывающего центра TRENS SBL 300 CNC, так же рассмотрена конструкция контршпинделя, принцип действия и взаимодействия с основным шпинделем, некоторые технические параметры, преимущества, его особенности и возможности. Представлены иллюстрационные материалы, а именно: чертеж обрабатываемой детали «Вал»; эскиз обработки детали «Вал» с правой стороны, с использованием основного шпинделя, на эскизе изображены размеры, условные знаки базирования, траектория режущего инструмента, режущий инструмент и деталь в готовом состоянии на данном установе; эскиз обработки детали «Вал» с левой стороны с использованием контршпинделя, на данном эскизе, также изображены размеры, условные знаки базирования, траектория режущего инструмента, режущий инструмент и деталь в готовом состоянии на соответствующем установе.

Ключевые слова. Операция, токарный обрабатывающий центр, контршпиндель, основной шпиндель, трудоемкость.

В настоящее время развитие различного оборудования и, в частности, станков с ЧПУ, происходит гигантскими шагами, соответственно появляются и более обширные возможности обработки различных деталей.

В данной статье рассмотрена возможность обработки наружного контура детали «Вал» на одной операции с помощью контршпинделя. На рисунке 1 изображена обрабатываемая деталь.

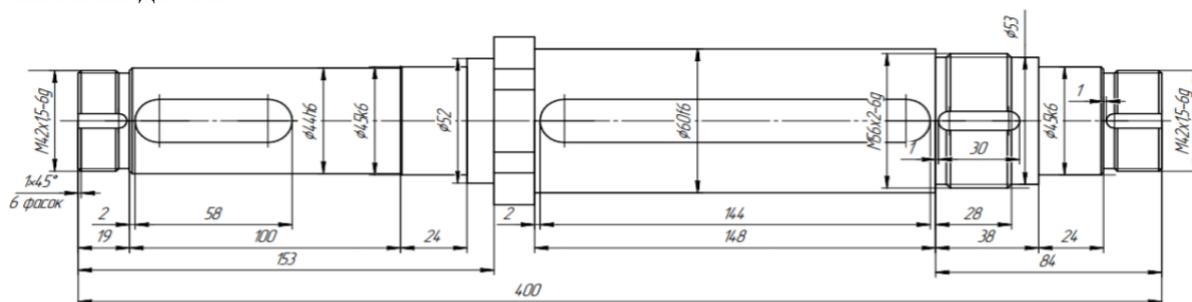


Рис. 1. Деталь «Вал»

Базовый техпроцесс обработки характеризуется выполнением обработки как с помощью современных токарных станков с ЧПУ, так и с помощью универсальных фрезерных станков. Причем каждая стадия обработки наружного контура выполняется за две операции – отдельно левого и правого конца, что в совокупности сопровождается большим количеством переходов.

Предлагается выполнять обработку детали с использованием токарного обрабатывающего центра. В качестве примера, взят токарный обрабатывающий центр TRENS SBL 300 CNC, который обладает двумя шпинделями (основной и контршпиндель) с радиально-упорными подшипниками с предварительной нагрузкой. Данный узел имеет хорошую жесткость для высоких скоростей резания. Так же данный станок имеет возможность использования приводного инструмента, что свою очередь делает его многоцелевой машиной и позволяет совместить токарную и фрезерную обработку.

Для того чтобы понять, возможна ли обработка наружного контура детали «Вал» за одну операцию, с использованием контршпинделя, необходимо рассмотреть саму конструкцию контршпинделя, а также его принцип работы и принцип взаимодействия с основным шпинделем.

Рассмотрим принцип действия контршпинделя. После обработки правого конца детали в основном шпинделе, происходит перехват контршпинделем, перехват осуществляется несколькими способами:

- вращение основного шпинделя прекращается, контршпиндель линейно перемещается на заданные координаты, захватывает деталь, при этом с задержкой в несколько секунд основной шпиндель разжимает деталь, после контршпиндель уходит в нулевую точку по координате Z2, рабочий ход суппорта протившпинделя 530 мм.

- возможен перехват детали в движении, важными условиями для этого является вращение основного и контршпинделя в одном направлении, а также одинаковая скорость вращения.

Чтобы избежать ситуацию, при которой захват детали производится вместе со стружкой, на основном шпинделе монтируют устройство для подачи сжатого воздуха, которое в свою очередь, очищает поверхности детали от стружки.

Станок TRENS SBL 300 CNC с контршпинделем имеет в своей конструкции надежную станину, оснащен гидравлическим трехкулачковым патроном диаметром 170 мм, с проходным отверстием 57 мм, также имеется возможность установки крышки на задний торец патрона для создания упора для обрабатываемой детали, как для контршпинделя, так и для основного шпинделя.

На рисунке 2 изображена обработка в основном шпинделе.

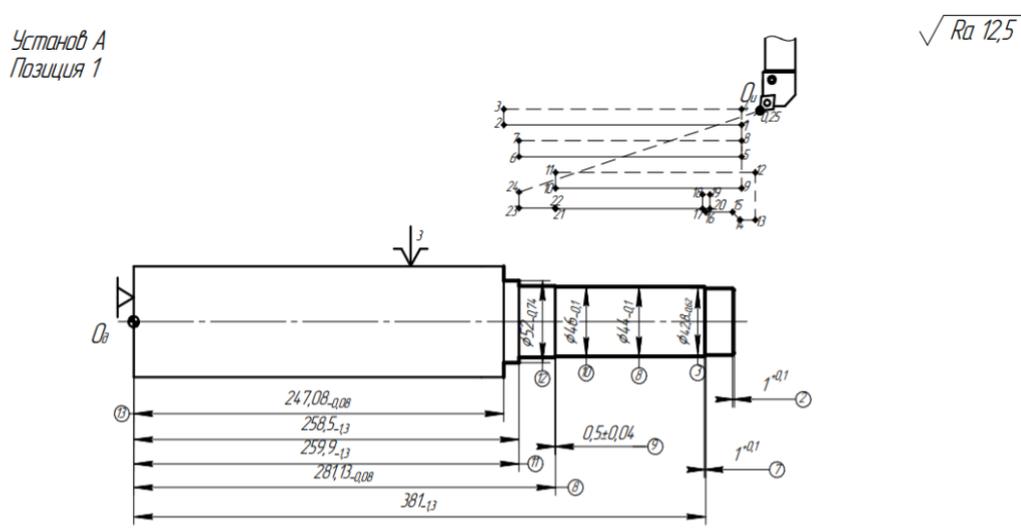


Рис. 2. Обработка детали в основном шпинделе

Сравнивая полученные после обработки размеры детали и размеры контршпинделя станка TRENS SBL 300 CNC видим, что обработанный конец может быть пропущен через проходное отверстие, значит есть возможность закрепить деталь в контршпинделе. Остается еще вопрос возможно ли выполнить обработку оставшейся части детали, не поддерживая ее задним центром. Опыт применения токарного обрабатывающего центра TRENS

SBL 300 CNC на ООО “ИМЗ” показывает, что при получаемом отношении длины к диаметру обеспечивается требуемая точность размеров. Исходя из всего сказанного можно сделать вывод о возможности обработки наружного контура рассматриваемой детали на одной операции. На рисунке 3 изображена обработка в контршпинделе.

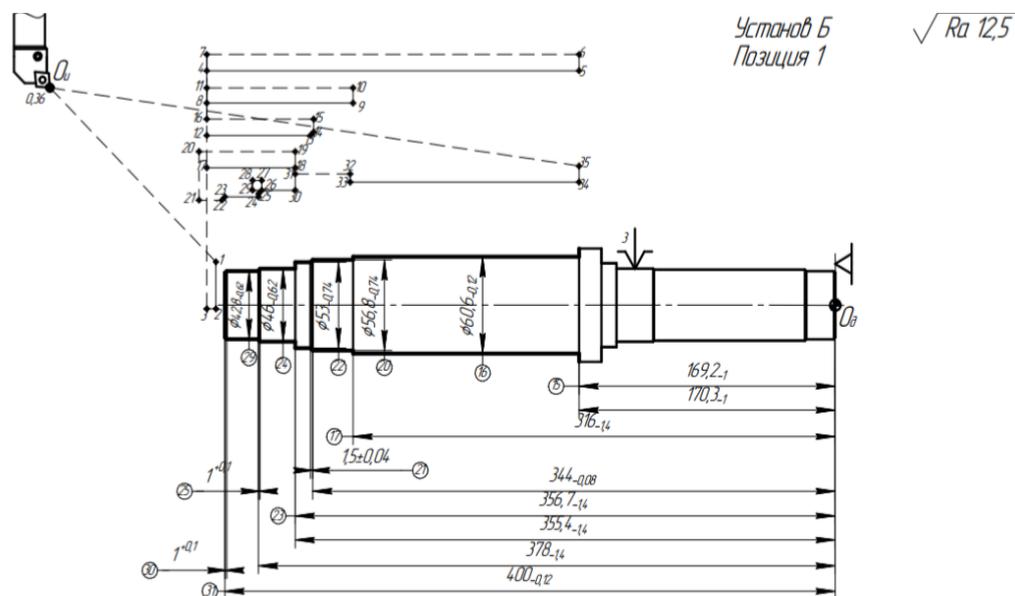


Рис. 3. Обработка детали в контршпинделе

В разработанном техпроцессе предлагается выполнять обработку детали с использованием токарного обрабатывающего центра, что позволяет совместить на одной операции токарную и фрезерную обработку, а применение контршпинделя дало возможность выполнить на одной операции обработку левого и правого конца детали.

Наличие контршпинделя на токарном обрабатывающем центре с ЧПУ значительно увеличивает технологические возможности оборудования, к тому же уходит проблема определения положения детали в пространстве, а это в свою очередь, позволяет сократить вспомогательное время. В случае перехвата обрабатываемой детали контршпинделем, сильно снижается количество операций, время обработки и соответственно, трудоемкость, которая как раз характеризуется количеством времени на изготовление единицы готовой продукции, так же уменьшается время простоя оборудования и увеличивается эффективное время работы станка, и исходя из этого снижается себестоимость изготовления деталей.

Библиографический список

1. Токарный обрабатывающие центры SBL 300.
2. Sandvik Coromant – manufacturing tools & machining solutions.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Садриева Аделина Айратовна, курсант учебной группы
Панчина Арина Дмитриевна, курсант учебной группы
Татаров Григорий Львович, канд. техн. наук.
E-Mail: adelina.sadrieva@mail.ru

Ульяновский институт гражданской авиации
им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева,
г. Ульяновск, РФ

Аннотация. В настоящее время авиационный керосин является очень востребованным в мире. Он представляет собой продукт глубокой переработки нефти. Эта углеводородная смесь используется в летательных агрегатах с турбореактивными и турбовинтовыми двигателями не только в качестве топлива, но и хладагента. Оно должно иметь противоизносные и низкотемпературные свойства, высокую химическую стабильность и высокую удельную теплоту сгорания.

В Российской Федерации в настоящее время особенно распространенным авиатопливом является авиакеросин марки ТС-1, который изготавливается для воздушных судов дозвуковой авиации и его европейский аналог Jet A-1 [3].

В данной работе покажем резервуарное оборудование для авиатоплива, в частности приемно-раздаточное устройство. Он является абсолютно безвредным в использовании, сохраняет качества продукта, а также имеет наиболее длительный срок работы.

Приемо-раздаточное устройство – оборудование, которое предназначено для закачки и слива нефти и нефтепродуктов в резервуары. Главной задачей устройства является повысить полезный объем промышленной емкости за счет снижения минимального уровня взлива. Данное оборудование при использовании приводит к дополнительной очистке поступающих жидкостей от коррозионно-активных осадков, а также уменьшению парафинистых отложений углеводородов.

Приемо-раздаточное устройство различают двух видов:

- С защитной стенкой;
- Состоящего из трубопровода, проходящего концентрично внутри сильфонного компенсатора, в котором один конец сильфона присоединен к трубопроводу, а другой открыт с торцевой поверхности. Установка относится к нефтяной промышленности и может быть применима на предприятиях, имеющих вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, преимущественно, резервуары с понтонами и плавающими крышами [2].

Ключевые слова. Приемно-раздаточное устройство, резервуар, авиакеросин, оборудование резервуара, сильфон, шаговый двигатель.

При создании и проектировании установки могут возникнуть всевозможные недостатки, которые в дальнейшем будут сказываться на работе, производстве или усложнять процесс выполнения операций.

Приемо-раздаточное устройство (ПРУ) имеет некоторое количество недостатков, которые влияют на закачку и слив нефти и нефтепродуктов в резервуары, также замедляет процесс.

Первым недостатком ПРУ является установка сильфона большего диаметра. Вследствие чего при минимальном значении зазора трубопровод упирается в нижнюю кромку патрубка в защитной стенке, надавливает на предохранительную стенку и изменяется, при перекачке вплоть до разрушения.

Данную проблему можно исправить за счет эксцентриситета. Его величина зависит от радиального перемещения стенки рабочего резервуара.

Вторым недостатком можно выделить зазор, находящийся между зонтом и рассекателем, который регулируется с помощью опорно-регулирующих винтов. Недостаток состоит в том, что данная регулировка должна производиться вручную, что затрачивает достаточно большое время на процесс.

Была поставлена задача – устранить выявленный недостаток приемо-раздаточного устройства и предлагаем установить вместо ручного привода - шаговый двигатель, на валу которого, на винтах установлены звездочки, позволяющие удаленно регулировать зазор. Предложенный двигатель не только сократит время процесса, а также обеспечит повышение надежности ПРУ при эксплуатации. Количество оборотов ротора двигателя, скорость вращения и ее направление можно задавать, если поменять форму сигнала и количество импульсов, их длительность, а также фазовый сдвиг [1].

Для решения задач разной сложности судят об актуальности использования оборудования. Перед применением изучают его достоинства и недостатки. Достоинствами шагового двигателя можно выделить:

- Точность. Ротор поворачивается на определенный угол максимально точно при поступлении напряжения на обмотки;

- Достаточно долгий срок службы. Шаговый двигатель, как и станок может прослужить долгое время, если следить за ним, проводить восстановительные ремонты и периодически проверять его эксплуатационные свойства;

- Стабильность. Шаговый двигатель не зависит от колебаний параметра нагрузки, работает при различных его значениях;

- Прост в использовании.

Также шаговый двигатель имеет ряд недостатков, такие как:

- Низкий момент. При повышенной скорости вращения двигатель обладает не высоким моментом. Это можно исправить, только если с помощью ШИМ-драйверов улучшить динамические параметры;

- Вибрация. Она образуется в результате дискретности шага, вследствие чего уменьшается момент вращения, и возникают резонансы в системе;

- Длительный период для набора максимальной скорости.

Рассмотрим предлагаемый ПРУ, зонт с регулирующими винтами которого устанавливает требуемый зазор (рис. 1).

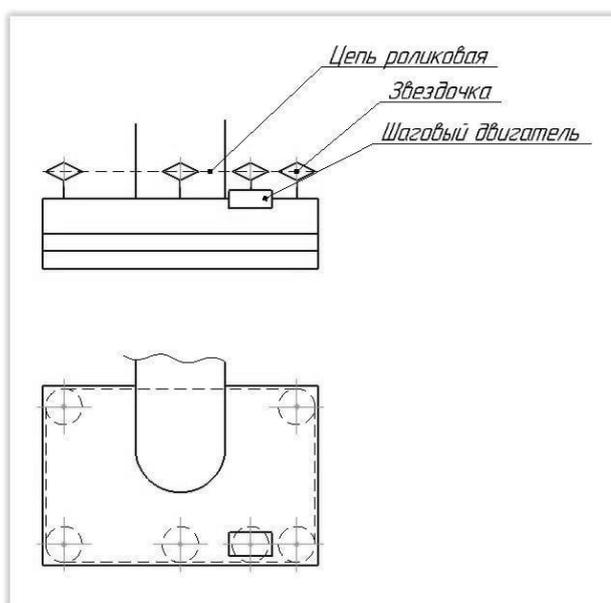


Рис. 1. Чертеж приемо-раздаточного устройства с шаговым двигателем

В зоне настройки на оси регулировочного винта смонтированы звездочки, которые обхвачены роликовой цепью. Цепь приводится в действие шаговым двигателем, на валу которого установлена звездочка меньшего диаметра. Шаговый двигатель крепится на кранштейн. После следует проверить на холостом ходу работу нашего устройства.

Предлагаемая конструкция позволит сократить время, затрачиваемое на процесс регулирования.

Чтобы предотвратить преждевременную поломку нашего устройства, следует работать в пониженном режиме шагового двигателя. Для исключения поломки в конечных точках регулируемого винта устанавливаются электрические датчики, необходимые для отслеживания регулируемого зазора, которые могут выйти за пределы допустимой зоны.

Также данное приспособление увеличивает производительность приемораздаточного устройства.

Библиографический список

1. Емельянов А. В. Шаговые двигатели : учеб. пособие / А. В. Емельянов, А. Н. Шипин. – Волгоград, 2005.
2. Пат. на изобретение RU 2370427 С2. 20.10.2009. Заявка № 2007146868/12 от 17.12.2007.
3. Чертков Я. Б. Применение реактивных топлив в авиации / Чертков Я. Б., Спиркин В. Г. – Москва, 1974.

АНАЛИЗ ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Татаров Григорий Львович, канд. техн. наук
Качкаев Григорий Евгеньевич, курсант
Дорофеев Егор Сергеевич, курсант
E-mail: cadetofuica@yandex.ru

Ульяновский институт гражданской авиации
им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева
г. Ульяновск, РФ

Аннотация. В статье описана актуальность вопросов развития отрасли ядерной энергетики. Описаны планы ГК «Росатом» в рамках бизнес-стратегии развития ядерной энергетики в России до 2030 года. В данной работе рассматриваются особенности водо-водяных энергетических реакторов со спектральным регулированием ВВЭР-С, способных решить вопрос сокращения расхода природного урана. Реакторы данного типа могут быть снабжены MOX и REMIX топливом. Иными словами, топливом, содержащим несколько видов оксидов делящихся материалов. В тексте работы раскрыта суть спектрального регулирования доступными словами. Приведены основные технологические способы реализации спектрального регулирования запаса реактивности в реакторах на тепловых нейтронах. Сформулированы достоинства реакторов типа ВВЭР-С, среди которых не только технологические достоинства, но и положительные стороны, способствующие сокращению времени выдержки отработанного ядерного топлива и сокращению объемов бассейнов хранилищ отработанного ядерного топлива. Обозначен достаточно значимый недостаток ядерных реакторов со спектральным регулированием, а именно низкая энергонапряженность активной зоны. Для реакторов такого типа потребуются большие объемы корпуса реактора для производства таких же мощностей что и реакторы типа ВВЭР. Предложен способ решения данного недостатка, и как следствие сокращения объемов корпуса реактора.

Ключевые слова. Ядерная энергетика, реактор, спектральное регулирование, водо-водяной энергетический реактор, ядерное топливо.

Сегодня атомные электростанции производят около 30% от общего количества низкоуглеродной энергии в мире. При этом выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду – минимальны. На заре развития зеленой энергетики и сокращения эмиссии парниковых газов в атмосферу, вопрос использования ядерной энергетики становится как никогда актуальным [1].

Ядерная энергетика постоянно развивается, самые распространенные на мировой арене водо-водяные энергетические реакторы ВВЭР стоят во главе развития данной отрасли до 2030 года. Модернизация реакторов типа ВВЭР требует некоторых усилий, определенных бизнес-стратегией ГК «Росатом». Это необходимо как для достижения определенных экономических целей, так и для развития технологий в области замкнутых топливных циклов, которые будут использовать ранее закрытый потенциал тория-232 и урана-238 на максимальном уровне, на базе модернизированных реакторов. Указанной ранее стратегией определены показатели роста конкурентоспособности и решение основной проблемы атомной энергетики – накопления отработанного ядерного топлива [2].

Водо-водяной энергетический реактор – серия конструкций водяных реакторов, разработанных в СССР. Идея создания такого типа реакторов была предложена в Курчатовском институте Савелием Моисеевичем Файнбергом [3].

Отличия реакторов типа ВВЭР от похожих иностранных реакторов типа PWR состоят в том, что в отечественных реакторах используются горизонтальные парогенераторы

ры, гексагональные тепловыделяющие сборки (ТВС), а в сосуде высокого давления отсутствуют донные отверстия [4].

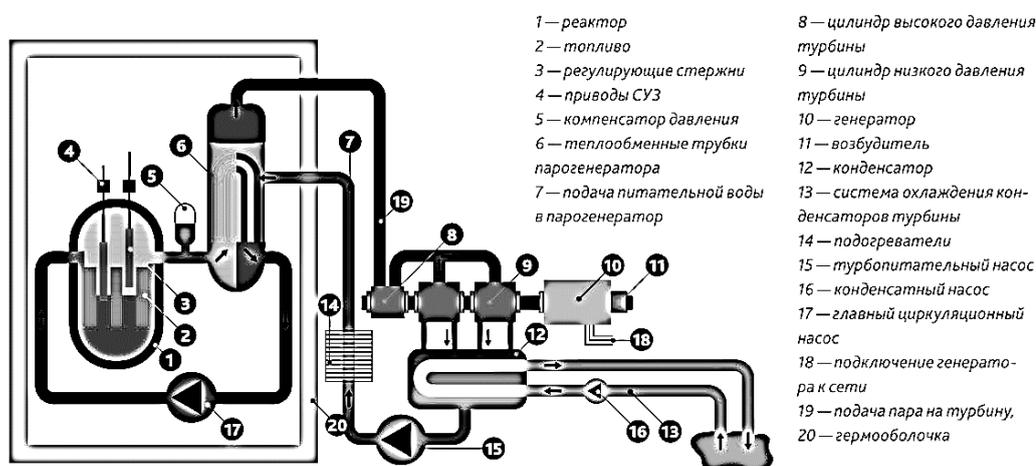


Рис. 1. Принципиальная схема реакторов ВВЭР

Водо-водяные реакторы со спектральным регулированием ВВЭР-С, возможно полностью заполнять МОКС топливом (топливом, в котором содержится несколько видов оксидов активно делящихся материалов, зачастую состоящее из оксидов природного урана и плутония). При этом вырабатывая ту же мощность на реакторах данного типа получится на треть сократить расход природного урана, а это и есть решение ключевой проблемы ядерной энергетики – сокращение расхода природного урана. Реакторы со спектральным регулированием будут созданы на основе классических Водо-водяных энергетических реакторов [5].

Простыми словами, спектральное регулирование – это процесс управления характеристиками ядерного реактора путем изменения отношения теплоносителя и ядерного топлива в активной зоне используя технологические способы реализации спектрального регулирования запаса реактивности, например, введением в реактор вытеснителей, в присутствии которых нейтроны двигаются с большей скоростью, что позволяет нарабатывать новое топливо.

Основные технологические способы реализации спектрального регулирования запаса реактивности в реакторах на тепловых нейтронах:

- использование вытеснителей, введение которых уменьшает объем замедлителя нейтронов;
- использование в качестве теплоносителя смеси тяжелой и легкой воды, при этом возможно изменение доли тяжелой составляющей;
- изменение плотности теплоносителя или паросодержания в теплоносителях по высоте ТВС [6].

Достоинства спектрального регулирования:

1. Использование MOX, REMIX – топлива.
2. Сохранятся достигнутые эксплуатационные показатели проектов реакторов ВВЭР.
3. В открытом топливном цикле сократится расход природного урана.
4. Сокращение объема бассейна выдержки отработанного ядерного топлива, ввиду сокращения времени его хранения, посредством внедрения внешнего топливного цикла.
5. Сокращение вредного поглощения нейтронов в теплоносители активной зоны посредством отказа от использования борной кислоты в теплоносителе для компенсации выгорания топлива при работе на мощности.

Недостаток спектрального регулирования посредством применения вытеснителей:

Уменьшая количество воды в активной зоне, уменьшается возможность теплоотвода для отвода энергии от реактора и как следствие уменьшается энергонапряженность в активной зоне, то есть при том же объеме она может выдавать меньше тепла, меньше энергии, если в классическом ВВЭР плотность мощности активной зоны составляет около 110 кВт/л, то для ВВЭР-С она составляет 80 кВт/л. Поэтому, например, для реактора ВВЭР-С мощностью 600 МВт может потребоваться такой же по размеру корпус реактора, как для реактора ВВЭР 1200 МВт.

Очевидно, что проблема заключается в размерах реактора нового типа. Для решения данной проблемы можно использовать комбинированный подход к выбору технологии спектрального регулирования. А именно использования не только вытеснителей, но и смеси тяжелой и легкой воды в качестве теплоносителя. Это позволит сократить размеры реактора и получить более высокую плотность мощности активной зоны на выходе.

Еще одна глобальная проблема атомной энергетики в России заключается в низкой культуре безопасности населения, а именно, люди, пережившие крупнейшую техногенную аварию на Чернобыльской АЭС, не могут счесть безопасным использование ядерной энергии. Для решения данной проблемы следует раскрывать информацию о мерах безопасности и безопасности технологических процессов, протекающих на атомных электростанциях.

В заключение хотелось бы отметить, что ядерная энергетика – постоянно развивающаяся отрасль, требующая новых исследований и проектов в данной области. Ввиду низких выбросов вредных веществ в окружающую среду при производстве энергии, атомные электростанции продолжают набирать популярность особенно в странах запада. АЭС – стабильный и мощный источник энергии. Производство атомной энергии можно считать одним из средств борьбы с глобальным потеплением.

Библиографический список

1. Environment and energy statistics . – Текст : электронный // Eurostat : [сайт]. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home> (дата обращения: 05.05.2022).
2. Асадский Э. С. Предварительные конструкторские проработки реактора со спектральным регулированием (ВВЭР-с) / Э. С. Асадский. — Текст : электронный // ОКБ Гидропресс РОСАТОМ : [сайт]. – URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2014/documents/kms2014-016.pdf> (дата обращения: 05.05.2022).
3. Левин Н. Е. Ядерная физика и ядерные реакторы / Н. Е. Левин. – 4-е изд. – Москва : Атомиздат, 1979.
4. Реакторные установки типа ВВЭР. – Текст : электронный // ОКБ Гидропресс РОСАТОМ : [сайт]. – URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/en/projects/wwer.php> (дата обращения: 05.05.2022).
5. U.S. MOX program wanted relaxed security at the weapon-grade plutonium facility. – Текст : электронный // Fisilematerials : [сайт]. – URL: https://fissilematerials.org/blog/2011/04/us_mox_program_wanted_rel.html (дата обращения: 05.05.2022).
6. Вин, Ту. Сравнительный анализ использования различных схем спектрального регулирования запаса реактивности в реакторах на тепловых нейтронах : специальность 05.14.03 «ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вин Ту ; Национальный исследовательский ядерный университет "Московский инженерно-физический институт". – Москва, 2013. – 92 с. – Текст : непосредственный.

СВЕРЛЕНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Тычкин Николай Владимирович, студент
Боршова Лариса Васильевна, канд. техн. наук, доц.
E-mail: tychkinnv@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ
г. Нижний Тагил

Аннотация. Современные конструкции деталей имеют большое количество отверстий, которые различаются между собой параметрами, назначением и способом обработки. В производстве трудоемких корпусных деталей встречаются перекрестные отверстия, обработка которых затруднена. Проблема связана с тем, что при входе сверла в ранее просверленное отверстие начинается процесс прерывистого резания, который негативно влияет на стойкость сверла. Чтобы избежать поломки инструмента, приходится снижать режимы резания, что приводит к снижению производительности. Ситуация еще больше усугубляется если оси пересекающихся отверстий не перпендикулярны.

В статье рассмотрен вопрос определения оптимальной последовательности обработки таких отверстий на примере детали «Крышка верхняя», имеющей четыре попарно пересекающихся наклонных отверстия. В статье перечислены негативные явления, сопровождающие процесс сверления в зоне прерывистого резания, способные привести к поломке инструмента. Также выделены наиболее благоприятные условия обработки в зоне прерывистого резания. Был проведен анализ различных вариантов последовательности обработки указанных отверстий и выработаны рекомендации по формированию технологических операций. Кроме того, приведены советы по выбору оборудования и режущего инструмента для обработки рассматриваемых отверстий.

Ключевые слова. Сверление, перекрестные отверстия, наклонные отверстия, прерывистое резание, увод сверла.

Корпусные детали гидро- и пневмооборудования часто имеют пересекающиеся отверстия, обработка которых затруднена по причине появления зоны прерывистого резания. Рассмотрим обработку таких отверстий на примере детали «Крышка верхняя», представленной на рис. 1, которая относится к корпусным деталям типа крышек и имеет поверхности цилиндрических, сферических и плоских форм, сквозные и глухие отверстия. На поперечном сечении изображены четыре попарно пересекающиеся отверстия, предназначенные для беспрепятственного перемещения технологической жидкости в сборочном узле. Для обеспечения герметичности сборки, отверстия 1, 2, 3 имеют резьбовые поверхности и цековки.

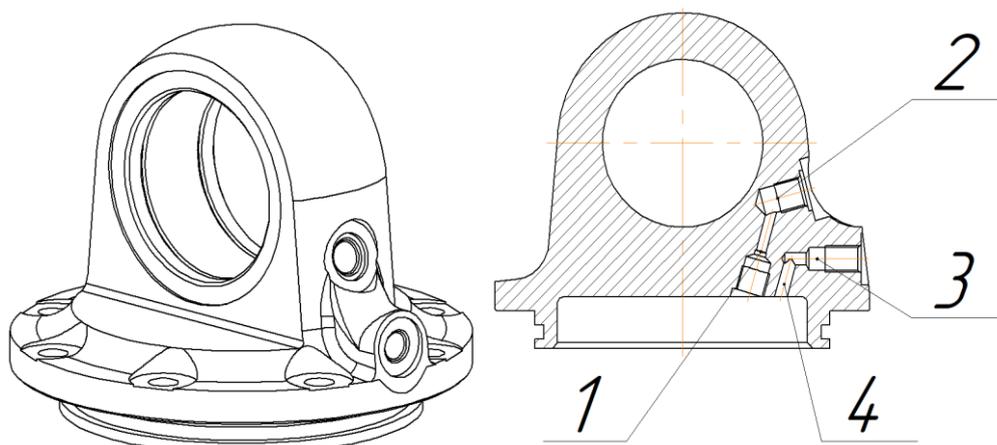


Рис. 1. Деталь «Крышка верхняя»

На стадии разработки технологического процесса, необходимо определить последовательность сверления пересекающихся отверстий в более благоприятных условиях. Для этого рассмотрены заданные требования к поверхностям и выявлены особенности в процессе прерывистого резания.

В условиях среднесерийного производства с применением современных станков с ЧПУ, выбор оборудования сделан в пользу токарно-фрезерного центра с позиционированием фрезерной головки по оси В и пятикоординатного фрезерного обрабатывающего центра. Применение многоосевого оборудования обусловлено тем, что оно обеспечивает обработку и вывод инструмента, в ситуациях, когда оси пересекающихся отверстий расположены под углом относительно осей базовых поверхностей.

В обстоятельствах, затрудняющих процесс резания, важным параметром является выбор подходящего инструмента. Чтобы обеспечить стабильные условия обработки в зоне пересечения отверстий, используются спиральные сверла, которые имеют две режущие кромки и две направляющие ленточки. При врезании сверла в наклонную поверхность заготовки возникает его увод, что приведет к возникновению вибраций, искажению профиля и большому износу инструмента. Для обработки пересекающихся отверстий детали 1–4 (рис. 1), перед сверлением необходимо отфрезеровать плоскость перпендикулярную оси сверла.

При рассмотрении теоретических аспектов в зоне прерывистого резания, были выделены следующие негативные последствия:

- потеря равновесия и прямолинейность движения подачи сверла в осевом направлении, за счет того, что стенки просверливаемого отверстия частично отсутствуют и не играют роли направляющих;

- накопление и затруднительная эвакуация металлической стружки. Стружка может набиться между стороной отверстия и режущей кромкой сверла, портя при этом поверхность самого отверстия и лезвия сверла, что приведет к мгновенной поломке инструмента;

- при сверлении отверстия глубиной более 5 диаметров, возникают вибрации, связанные с потерей жесткости сверла. Вызванные вибрации приведут к отклонению сверла, возникновению неровностей и засечек на поверхности отверстия.

Проанализировав особенности сверления перекрестных отверстий, можно выделить наиболее благоприятные условия в зоне прерывистого резания:

1. Зона пересечения отверстий 1, 2 (рис. 1). При выборе последовательности сверления отверстий $\varnothing 5,5$ и $\varnothing 14$ мм пересекающихся между собой, возникают следующие особенности:

- в том случае, если вначале обработано отверстие 2, то при сверлении отверстия 1 диаметром 5,5 мм и глубиной 44 мм, при пересечении с просверленным ранее отверстием $\varnothing 14$ мм инструмент будет находиться в более жестких условиях, чем в случае, когда первым обрабатывается отверстие 1. Это объясняется тем, что процесс прерывистого резания начнется на глубине более чем 5 диаметров сверла, что приведет к возникновению вибрации, связанной с низкой жесткостью инструмента.

- На рис. 2 видно, что в процессе прерывистого резания сверла $\varnothing 5,5$ мм в отверстии $\varnothing 14$ мм, вершина сверла и одна главная кромка не участвуют в резании, тем самым в процессе резания принимает участие только одна режущая кромка. В такой ситуации гарантирован увод сверла от оси сверления, приводящий к негативным последствиям.

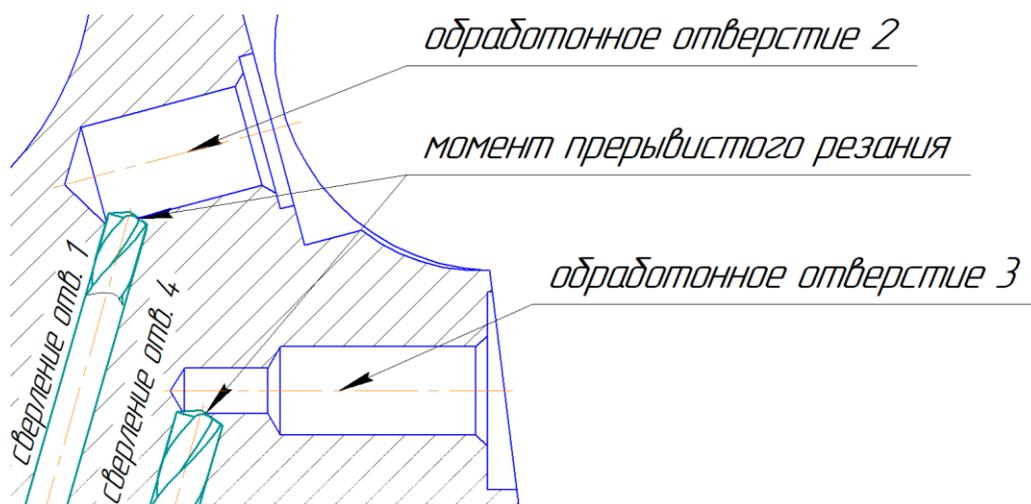


Рис. 2. Момент прерывистого резания в неиспользуемом случае

В данном случае очевиден выбор в сторону варианта обработки сначала отверстия 1 (рис. 1), а затем отверстия 2 (рис. 1) на последующей операции.

2. Зона пересечения отверстий 3, 4 (рис. 1).

Последовательность обработки отверстий рассматривается по тому же признаку, из которого наиболее жестким сверло будет оставаться в отверстии 4 (рис. 1), так как меньше глубина сверления до зоны прерывистого резания. Вариант сверления вначале отверстия 3, а затем отверстия 4 является более благоприятным, для повышения стойкости сверла и получения требуемых размеров.

Еще одним критерием выбора оптимальной последовательности обработки является производительность. В данном случае более производительным вариантом является совмещение сверления отверстий 1, 4 (рис. 1) на одной операции. Сравнивая соотношения длин и диаметров всех четырех отверстий, можно сделать вывод, что наиболее жесткими будут условия обработки отверстия 1, поэтому следует формировать технологию обработки детали так, чтобы обеспечить наилучшие условия для обработки именно этого отверстия. На основании вышесказанного сделан выбор в пользу обработки отверстий 1 и 4 на первой операции, а отверстий 2 и 3 на следующей.

С учетом возникновения негативных эффектов, в ходе определения последовательности обработки, так же обращено внимание на рекомендации для поддержания условий в зоне пересечения. В подавляющем числе применяется метод замедления процесса перекрестного сверления, в котором рекомендовано снижать значение подачи. Зная длину участка пересечения отверстий, возможно запрограммировать переменную величину рабочей подачи, которая прямо пропорциональна величине силы резания.

Обработка пересекающихся отверстий является трудоемким процессом, а обоснованные технологические рекомендации по повышению производительности в этих условиях отсутствуют. Рассматриваемые вопросы по сверлению перекрестных отверстий детали «Крышка верхняя» являются актуальными, что представляет интерес исследовать процесс и разработать его математическую модель.

Библиографический список

1. <http://www.met-instrument.ru/stati/178-sverlenie-perekrestnyh-otverstii/>
2. <https://tigroteh.ru/blog/osobennosti-sverleniya-perekryestnykh-otverstiy/>
3. Главный механик № 4 2022, № 4, 2022 / Технологическое обеспечение условий обработки пересекающихся отверстий/

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТОВ ДАЙМОНД 40/42

Шутько Софья Петровна
Татаров Григорий Львович, доцент
E-mail: spsh1609@yandex.ru

Ульяновский институт гражданской авиации
им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева
г. Ульяновск, РФ

Аннотация. Цель работы – рассмотреть классификацию топливных систем и топливных насосов, установленных на самолетах авиации общего назначения, проанализировать принципы функционирования и кардинальные различия в зависимости от классификации с указанием современных воздушных судов, на которых данные системы применяются. Изучить особенности работы топливной системы и в частности топливных насосов самолетов первоначального обучения Diamond 40 и Diamond 42, выявить недостатки и предложить способы возможной модернизации, заключающейся в замене рабочих узлов. Научная новизна работы заключается в подходе к изучению устройства агрегатов воздушного судна для дальнейшей практической эксплуатации пилотами и курсантами для повышения безопасности полетов. В результате проведенного исследования, предложена модернизация системы подачи топлива к дизельному двигателю в аккумуляторной топливной системе с насосами высокого и низкого давления. Улучшение заключается в изменении принципа в работы насосов низкого давления и заключается в повышении степени резервирования путем увеличения мощности основного агрегата, при котором второй насос будет выполнять функции резервного. Данное изменение облегчит эксплуатацию в полете и позволит снизить нагрузку на пилота, путем изменения порядка использования.

Ключевые слова. Топливные насосы, топливная система, модернизация, малая авиация, DA-40/42.

Цель работы – рассмотреть классификацию топливных систем и топливных насосов, установленных на самолетах авиации общего назначения, проанализировать принципы функционирования и кардинальные различия в зависимости от классификации с указанием современных воздушных судов, на которых данные системы применяются. Изучить особенности работы топливной системы и в частности топливных насосов самолетов первоначального обучения Diamond 40 и Diamond 42, выявить недостатки и предложить способы возможной модернизации, заключающейся в замене рабочих узлов. Научная новизна работы заключается в подходе к изучению устройства агрегатов воздушного судна для дальнейшей практической эксплуатации пилотами и курсантами для повышения безопасности полетов. В результате проведенного исследования, предложена модернизация системы подачи топлива к дизельному двигателю в аккумуляторной топливной системе с насосами высокого и низкого давления. Улучшение заключается в изменении принципа в работы насосов низкого давления и заключается в повышении степени резервирования путем увеличения мощности основного агрегата, при котором второй насос будет выполнять функции резервного. Данное изменение облегчит эксплуатацию в полете и позволит снизить нагрузку на пилота, путем изменения порядка использования.

Важнейшей системой воздушного судна является двигатель. Двигатель не будет работать без топлива. Топливо поступает в двигатель благодаря топливным насосам, что делает данный агрегат несоизмеримо важным в работе топливной системы и всего самолета в целом. В данной работе будут рассмотрены виды насосов, их принцип работы, преимущества и недостатки.

В зависимости от вида привода насосы для подачи горючего делятся на две основные группы: электрические и механические. Первые применяются и для бензиновых, и для дизельных моторов. Вторые используются исключительно в карбюраторных двигателях, а также в качестве подкачивающих насосов в дизельных двигателях.

Кроме того, топливные виды применяемых насосов разделяются в зависимости от класса топливной системы. Существует следующее разделение:



Рис. 1. Классификация питания двигателей внутреннего сгорания

В воздушных судах, эксплуатирующихся в авиации общего назначения, наиболее распространена аккумуляторная и карбюраторная схема. К первой схеме относятся самолеты первоначального обучения DA-40/42NG, ко второй – легенда советской и российской малой авиации – Ан-2.

Познакомимся подробнее с топливными насосами самолетов семейства Diamond.

В топливной системе данных типов ВС задействованы 2 вида насосов: высокого и низкого давления. ТНВД в топливной системе аккумулирует (“заряжает”) топливную рампу топливом под необходимым давлением.

Насос низкого давления доставляет необходимое топливо к насосу высокого давления. На классических модификациях TDI устанавливался один ТННД механического типа с приводом от коленвала двигателя. Всасывание и нагнетание топлива происходит за счет вращения шестерни-ротора. Она расположена эксцентрично по отношению к шестерне-статору. Зубья шестерен образуют своего рода камеры, через которые движется топливо. В ходе вращения объемы камер постоянно изменяются, что обеспечивает нужное давление.

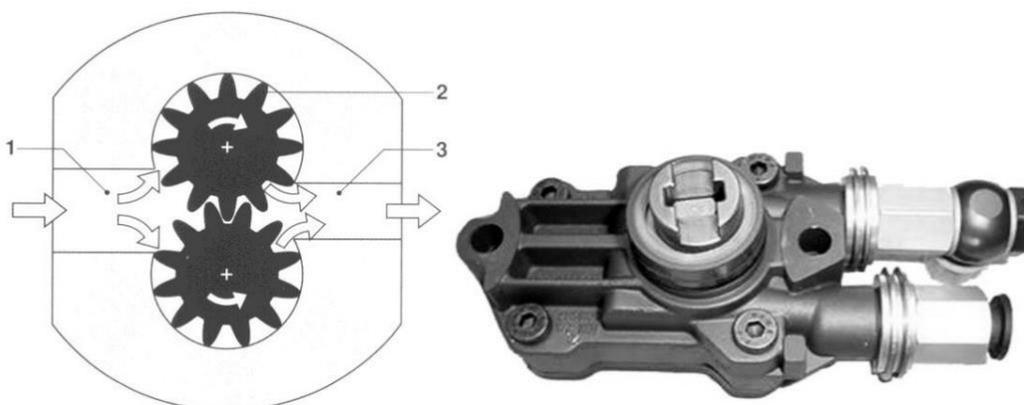


Рис. 2. Схема механического насоса низкого давления самолетов DA -40/42

На модификациях NG стали использовать два электрических насоса с питанием от электросистемы самолета через автомат защиты сетей номиналом 7,5 А. Насос имеет идентичный принцип функционирования, однако вращение шестерен обеспечивается электродвигателем. Данный агрегат обладает небольшой мощностью, в связи с чем, при взлете и посадке специальным переключателем включается дополнительный насос для обеспечения большей подачи топлива в случае необходимости использования двигателя на форсированном режиме (по крайней мере один насос работает на всех этапах полета).

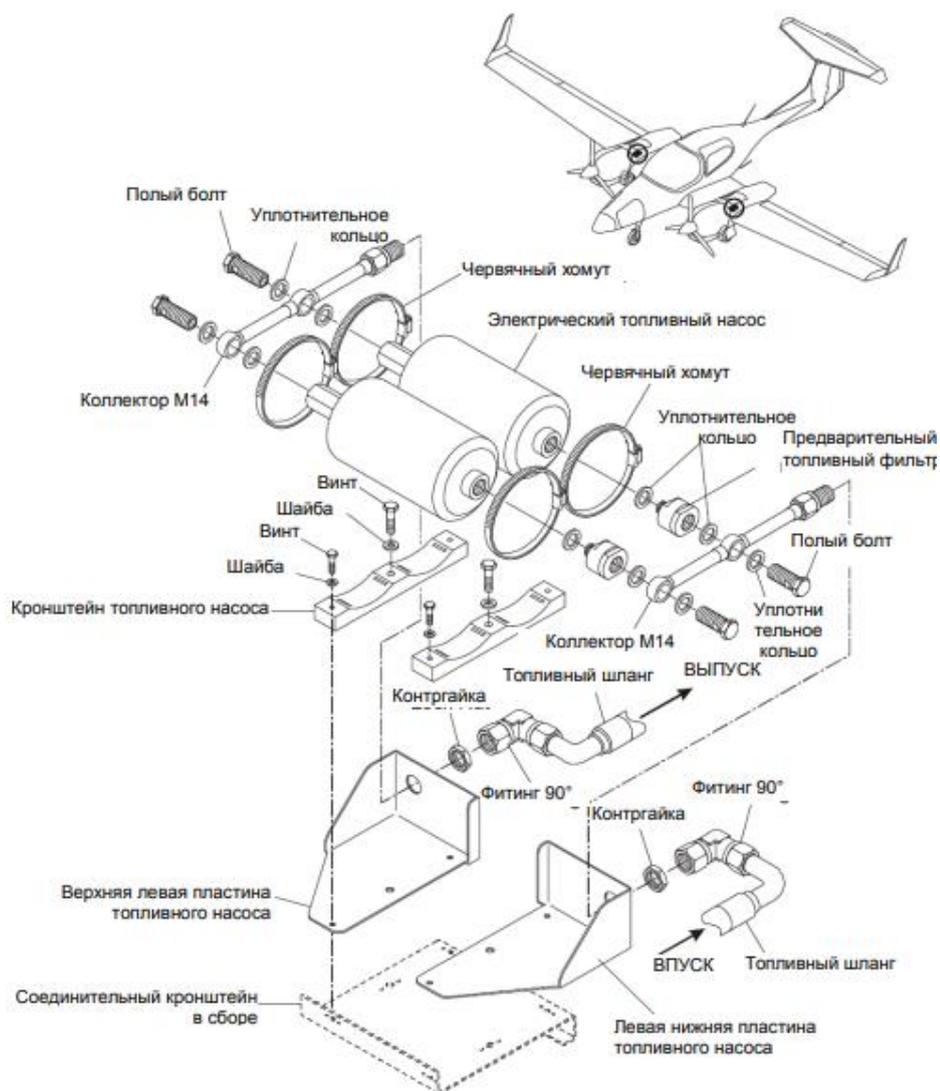


Рис. 3. Блок топливных насосов самолетов DA-40/42NG

Данную систему можно усовершенствовать, путем установки более мощного электрического ТННД. При данной модификации пропадает необходимость во включении «вспомогательного» второго насоса на взлете и посадке. Функцией второго насоса будет возможность резервирования при отказе основного. Эргономически в управлении по сути изменений не будет, тумблер переключения останется, но будет выполнять несколько иную функцию и использоваться только в нештатных ситуациях.

Библиографический список

1. Конструкция и летная эксплуатация авиадвигателя АЕ-300 самолета DA 40NG : учебное пособие / сост. Степанов С. М., Лебедев А. М., Князева Л. И. – Ульяновск : УВАУ ГА(И), 2015. – 78 с.

2. Озапускеру [Электронный ресурс]. URL: <https://ozapuske.ru/toplivnaya-sistema/klassifikaciya-toplivnyx-sistem-dizelnyx.html> (дата обращения 14.05.2022).
3. Diamond DA 40NG : Airplane Flight Manual. 70105e-Rev5-complete = Самолет Diamond DA 40NG : руководство по летной эксплуатации. – Diamond Aircraft Industries GMBH, 2010.
4. Diamond DA 40 Series : Airplane Maintenance Manual. 70201-DA42-AMM-Rev2 = Самолет Diamond DA 40NG : руководство по технической эксплуатации.

СПЕЦИАЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

**РАЗРАБОТКА НАТУРНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ
НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ РАКЕТ С-13Т И С-13Б**

Агаев Тимур Ракифович, студент, E-mail: agaevtimur49@gmail.com

Молоковских Наталья Александровна, студент

Хмельников Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук

Заводова Татьяна Евгеньевна, старший преподаватель

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ СОВРЕМЕННЫХ ОСНОВНЫХ БОЕВЫХ ТАНКОВ

Бадртдинов¹ Мирхат Ахметзияевич, канд. техн. наук, начальник сектора
Юдинцев² Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
Шадрин² Иван Дмитриевич, студент,
E-mail: ivan.shadrin12@gmail.com

1 – АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения»

2 – НТИ (филиал) УрФУ

г. Нижний Тагил, РФ

**К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА РАСЧЕТА
КОЭФФИЦЕНТОВ УНИФИКАЦИИ**

Бадртдинов¹ Мирхат Ахметзияевич, канд. техн. наук, начальник сектора
Яковлева² Людмила Вячеславовна, аспирант
E-mail: foresterab74@gmail.com

1 – АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения»,
2 – НТИ (филиал) УрФУ
г. Нижний Тагил, РФ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОТОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С НАПОЛНЕНИЕМ ИЗ РЕАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Байматов¹ Данил Касымжанович, студент
Бызова¹ Наталья Аркадьевна, студент
Хмельников¹ Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
Смагин¹ Константин Владимирович, ст. преподаватель
Окулов² Сергей Андреевич,
E-mail: okulov_serge98@mail.ru

1 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 525-65-00
2 – Филиал «НТИИМ» ФКП «НИО ГБИП России», 622015, РФ
г. Нижний Тагил, ул. Гагарина 29, тел. (343) 547-52-05

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОПРИВОДА ДЛЯ ЭКСКАВАТОРА

Бражаева Валерия Денисовна, студент
Юдинцев Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: vdkurmacheva@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО МЕТАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ПОРАЖЕНИЕ БОЕПРИПАСОВ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ОСКОЛКОМ**

Бызова Наталья Аркадьевна, студент
Байматов Данил Касымжанович, студент
Хмельников Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
Заводова Татьяна Евгеньевна, ст. преподаватель
E-mail:khmelnikov7@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Волков Вадим Александрович, студент
Юдинцев Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук
E-mail: volkovvadimnt@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО
БОЕПРИПАСА КАЛИБРА 57 ММ**

Горин Александр Григорьевич, студент
Чванов Руслан Станиславович, студент
Сидоркин Всеволод Александрович, студент
Смагин Константин Владимирович, ст. преподаватель
Хмельников Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
E-mail: kerry.nfaf@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ВКЛАДНОГО ВЕДУЩЕГО УСТРОЙСТВА,
ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ПОЛИИМИДА, ДЛЯ СНАРЯДА КАЛИБРОМ 120 ММ
УМЕНЬШЕННОЙ РАДИОЗАМЕТНОСТИ К СИСТЕМЕ 2С9 «НОНА-С»**

Ильин¹ Семен Сергеевич, инженер
Рязанов² Данил Андреевич, студент
Хмельников² Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
Смагин² Константин Владимирович, ст. преподаватель
Заводова² Татьяна Евгеньевна, ст. преподаватель
Семашко³ Марина Юрьевна, канд. техн. наук, доц.
E-mail: daniil1609@yandex.ru

- 1 – ФКП «Нижнетагильский Институт Испытания Металлов», г. Нижний Тагил
2 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ
3 – ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)», г. Челябинск, РФ

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ДЛЯ АРТИЛЛЕРИЙСКО-МИНОМЕТНОЙ УСТАНОВКИ 2С9

Литус¹ Игорь Борисович, ведущий инженер-начальник лаборатории
E-mail: LitusIgor2014@gmail.com

Хмельников² Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук

Дуньков² Алексей Игоревич, студент, E-mail: a.dancc@yandex.ru,

Дубинина³ Софья Федоровна, инженер, E-mail: kitolov18@gmail.com

1 – филиал «НТИИМ» ФКП «НИО «ГБИП России»

2 – НТИ (филиал) УрФУ

3 – АО «Уралкриомаш»

г. Нижний Тагил, РФ

РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЖАРОСТОЙКОСТЬ

Литус¹ Игорь Борисович, ведущий инженер
Хмельников² Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р тех. наук
Сидоркин² Всеволод Александрович, студент
Прокопович² Егор Александрович, студент
Заводова² Татьяна Евгеньевна, ст. преподаватель
E-mail: sevka.moiseev@mail.ru

1 – филиал «НТИИМ» ФКП «НИО «ГБИП России», г. Нижний Тагил, РФ

2 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОЕННЫХ
ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

Лузин Сергей Александрович, студент
Юдинцев Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: sergejluzin4523@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил

**ВЫБОР СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМУФТОЙ И ОБОСНОВАНИЕ
ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ
ВОЕННО ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

Мельников¹ Николай Алексеевич, инженер-конструктор
Юдинцев² Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: yudin_dv@mail.ru

1 – АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения»

2 – НТИ (филиал) УрФУ
г. Нижний Тагил, РФ

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРЕЛЬБОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Молоковских Наталья Алексеевна, студент
Размирица Александр Сергеевич, студент
Хмельников Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
Заводова Татьяна Евгеньевна, старший преподаватель
E-mail: gamargoba2k18@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ТРОТИЛОВОГО ЗАРЯДА
НА БРОНЕВОЕ СТЕКЛО ШЛЮЗОВОЙ КАБИНЫ**

Прокопович Егор Александрович, студент
Хмельников Евгений Александрович, д-р. техн. наук, профессор
Заводова Татьяна Евгеньевна, преподаватель
E-mail: prokorovich_egor@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ СНАРЯДА
ПОВЫШЕННОГО МОГУЩЕСТВА 130-ММ**

Размирица Александр Сергеевич
Хмельников Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук
Смагин Константин Владимирович
Шикин Артем Алексеевич
E-mail: gamargoba2k18@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ СТЕНДА
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ОБКАТКИ ТЯГОВЫХ ЛЕБЕДОК
ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН**

Сорока Никита Владимирович, аспирант
Москвичев Антон Вячеславович
E-mail: sn09@mail.ru

АО «НПК «Уралвагонзавод»,
Конструкторское бюро механизации и автоматизации производства (12),
г. Нижний Тагил, РФ

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ ГУСЕНИЦ

Тельминов Николай Вячеславович, студент
Юдинцев Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: kolx.1999.ru@gmail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМУФТОЙ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТССН

Чапайкин¹ Вячеслав Алексеевич, студент
Юдинцев¹ Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.
Бадртдинов² Мирхат Ахметзияевич, канд. техн. наук
Мельников² Николай Алексеевич, инженер-конструктор 3-й категории
E-mail: yudin_dv@mail.ru

1 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ
2 – АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения», 622007,
РФ, г. Нижний Тагил, Восточное шоссе 38, тел. (343)533-54-74

РЕДУКТОР ХОДА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ МАШИНЫ НА БАЗЕ ЭКСКАВАТОРА

Черных Анастасия Андреевна, студент
E-mail: sov6303@mail.com

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Ходовой редуктор – важнейший элемент системы трансмиссии: конструкции, отвечающей за передачу энергии от двигателя на колеса экскаватора и другой спецтехники. Именно этот узел приводит в действие устройство, которое преобразует мощность в полезную работу, практически не меняя значение первого параметра. Ходовой редуктор снижает необходимые для этого преобразования усилия со стороны других деталей. Это явление и называется редукцией. Поскольку смысл ходового редуктора в том, чтобы обеспечить максимальное значение полезной работы, в общем случае данный элемент повышает крутящий момент и снижает угловую скорость. Однако в отдельных и довольно редких случаях система обеспечивает противоположный результат. Такие устройства называют обратными редукторами или реже – мультипликаторами. Они снижают крутящий момент и повышают угловую скорость. В трансмиссиях экскаваторов и другой спецтехники такие устройства не применяются. В статье рассматривается возможность импортозамещения существующего итальянского редуктора хода RMC1 4500, устанавливаемого в ходовой части большинства современной землеройной и дорожно-строительной техники на гусеничном ходу, в частности, российского экскаватора, изготовленного на АО «НПК «УВЗ». В основе анализа лежит сравнение итальянского редуктора хода RMC1 4500 и российских аналогов Э4.01.17.100сб, ЭО-5225. 01.17.000 по следующим характеристикам: максимальный крутящий момент, статическая и динамическая грузоподъемность, передаточное отношение, вес, цена. В связи с целью импортозамещения предлагаемые варианты без труда можно внедрить в экскаватор производства АО «НПК «УВЗ», т. к. эти редукторы хода изготавливаются на АО «НПК «УВЗ».

Ключевые слова. Редуктор, редуктор хода, бортовой редуктор, ходовая часть, экскаватор.

Редуктор хода – это основной механизм ходовой части землеройных и дорожно-строительных машин. Через него функционирует гидромотор и осуществляется привод экскаваторов. Устройства обеспечивают маневренность экскаваторов, способность проходить сложные участки грунта и приспосабливаться к тяжелым условиям среды: слякоти, морозам, вязкости почвы и другим проблемам. Редуктор хода – это основной узел перемещения в конструкции гусеничных экскаваторов и бульдозеров. Работоспособность редуктора хода влияет на подвижность спецтехники и ее продуктивность. Агрегат приводит в движение гусеничную ленту. Этот механизм устанавливается непосредственно с гидромотором, который и приводит редуктор в движение. Принцип действия редуктора построен на работе шестеренчатой понижающей передачи, способной увеличивать крутящий момент.

Чтобы обеспечить работоспособность редуктора хода необходимо:

- Контролировать исправность всех деталей, гидравлики и сопутствующих узлов.
- Проводить плановое и внеплановое техобслуживание.
- Следить, чтобы не было перегрузок во время эксплуатации.

Несмотря на многообразие конструктивных вариантов редукторов (цилиндрические, червячные, планетарные, волновые и др.) в редукторах хода используют только планетарные (рис. 1). Они обладают оптимальным сочетанием передаваемого момента, легкости управления, компактности, технологичности, ремонтнопригодности.



Рис. 1. Бортовой мотор-редуктор хода

Используемый в настоящее время редуктор РМСІ 4500 – это эффективный, тихий и надежный редуктор механизма хода производства итальянской компании RMP *Industries*. Редуктор обладает высокими техническими характеристиками. Прочная конструкция обеспечивает надежную и долговечную работу при активном использовании даже в тяжелых условиях.

Однако, в настоящее время как никогда актуален вопрос импортозамещения. Российские предприятия также предлагают редуктора хода Э4.01.17.100сб и ЭО-5225.01.17.000. Основные параметры указаны в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение редукторов хода

Характеристики	Редуктор РМСІ 4500	Редуктор Э4.01.17.100сб	Редуктор ЭО-5225.01.17.000
Максимальный крутящий момент, Н·м	45000	48000	50000
Передаточное отношение	135	147,49	157,8
Применимость к машинам, т	26	27	27
Наличие тормоза	Нет	Есть	Есть
Грузоподъемность статическая, кН	1890	2000	2052
Грузоподъемность динамическая, кН	3500	3690	3988
Вес, кг	245	600	580
Производитель	Италия	Россия (УВЗ)	Россия (УВЗ)
Цена	489 193	360 171	370 500

Анализируя таблицу, можно заметить, что отечественные редуктора обладают сопоставимыми с зарубежными характеристиками при значительно большей массе, но меньшей стоимости. Однако импортные товары обладают лучшими потребительскими качествами: меньшей шумностью, высокой надежностью.

Выводы: Зарубежные редукторы достаточно просто можно заменить отечественными редукторами хода. В данной статье рассматриваются два аналога редукторов, которые превосходят по техническим показателям зарубежный. При этом для достижения соответствующего уровня надежности придется пожертвовать массой редуктора. Однако стоимость аналогов меньше, чем у зарубежного.

Библиографический список

1. <https://gefest.pro/articles/tpost/vzl4gixmz1-sdvigaet-mnogotonnie-kopateli-s-mesta-re>.
2. Редукторы зубчатые : методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» / В. Ф. Водейко, Д. Г. Эфрос. – Москва : МАДИ, 2014. – 48 с.

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ТАРИРОВАНИЯ
КРЕШЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УСТАНОВКЕ С ПАДАЮЩИМ ШАРОМ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕСООТВЕТСТВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И
ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ КРИВЫХ ДАВЛЕНИЙ В АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМАХ**

Шикин¹ Артем Алексеевич, студент

Хмельников^{1,2} Евгений Александрович, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук

Козыр² Александр Валерьевич, инженер-конструктор, начальник сектора разработки

Литус² Игорь Борисович, ведущий инженер-начальник лаборатории отдела № 93

E-mail: maustr45@gmail.com, корреспондентский телефон: 89221782770

1 – НТИ (филиал) УрФУ

2 – Нижнетагильский институт испытания металлов

г. Нижний Тагил, РФ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ВЛИЯНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И РАСХОД КОКСА

Антонов Никита Андреевич, студент
Пыхтеева Ксения Борисовна, канд. техн. наук, доц.
E-mail: antonov-nikita-99@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Целью данной работы является определение зависимости производительности доменной печи и расхода кокса от равномерности распределения дутья и природного газа по фурмам и его параметров, в число которых входит теоретическая температура горения и кинетическая энергия комбинированного дутья. В ходе исследования получены результаты учета влияния коэффициентов вариации входящих дутьевых параметров при изменении их на 1 % на производительность и удельный расход кокса, которые могут быть использованы при осуществлении факторного анализа работы доменной печи с различными технологическими параметрами плавки.

Ключевые слова. Доменная печь, коэффициент вариации, неравномерность, распределение дутья и природного газа, теоретическая температура горения, кинетическая энергия, фурма.

Для расчета зависимости между равномерностью распределения дутья и производительностью доменной печи, расходом кокса был выбран метод восстановления одномерных зависимостей (МВОЗ). Суть этого метода является вычисления коэффициентов вариации входных данных (в данном случае параметров дутья) за несколько временных промежутков, сравнения их с выходными данными (производительности и расхода кокса) и составления зависимости между ними. Для сравнения берутся максимальное, минимальное и промежуточные коэффициенты вариации параметра и соответствующие ему производительность и расход кокса. Применение этого метода в металлургии чугуна позволяет на основании данных о среднесуточных значениях входных параметров и выходных показателей доменной плавки, фиксируемых в режиме нормальной эксплуатации, решать следующие задачи:

- изучать фактические зависимости выходных показателей от каждого из входных параметров для конкретной доменной печи;
- оценивать потенциальные резервы конкретной доменной печи по экономическим, энергетическим, ресурсным и экологическим показателям, которые могут быть реализованы за счет оптимизации технологического режима доменной плавки на существующем оборудовании, с использованием существующих систем информационного обеспечения и управления;
- оптимизировать технологический режим доменной плавки и реализовать выявленные при технологическом аудите резервы производства.

С целью определения влияния неравномерности расхода дутья и природного газа, теоретической температуры горения кокса перед фурмой доменной печи, кинетической энергии комбинированного дутья на срезе фурмы на производительность печи и удельный расход кокса был использован названный метод, с помощью которого осуществляется редукция к элементарным свойствам изучаемого процесса путем построения модели $Y = F_i(X_i)$, $i = 1, n$, которая описывает зависимость выходного показателя Y от каждого из n входных параметров X .

На основании данных о расходе дутья (Q_d) и природного газа (Q_p) по фурмам доменной печи были рассчитаны теоретическая температура горения (T_T), и энергетический параметр – кинетическая энергия потока комбинированного дутья ($E_{кд}$). Для количественной

оценки неравномерности распределения вышеперечисленных параметров по окружности горна доменной печи определили коэффициенты вариации (V_{σ}).

В проведенной работе решалась задача определения влияния неравномерности каждого из параметров на суточную производительность доменной печи и удельный расход кокса. В качестве входных показателей были использованы коэффициенты вариации расхода дутья [$V_{\sigma(Qд)}$] и природного газа [$V_{\sigma(Qп)}$] по фурмам, кинетической энергии комбинированного дутья [$V_{\sigma(Еккд)}$] и теоретической температуры горения [$V_{\sigma(Тт)}$]. В качестве выходных показателей приняты суточная производительность (Π) и удельный расход кокса (K). В соответствии с алгоритмом построения математической модели действующего технологического процесса по экспериментальным данным было выполнено деление диапазонов вариации входных параметров на три поддиапазона, с последующей сортировкой исходных данных по возрастанию каждого из входных параметров, определение средних значений входных и выходных параметров в каждом из трех диапазонов ($D_j, j = 1, 2, 3$ табл. 1).

Таблица 1

Расчет исходных данных для построения модели $K=F(x_i)$

Входные данные	Среднее значение входного параметра в поддиапазоне			Среднее значение выходного параметра в поддиапазоне		
	D_1	D_2	D_3	D_1	D_2	D_3
$[V_{\sigma(Qп)}$]	0,7 14	1 ,139	2,28 0	3 34	334 ,9	337, 8
$[V_{\sigma(Qд)}$]	6,4 32	6 ,755	7,09 2	3 32,5	333 ,2	334, 4
$[V_{\sigma(Тт)}$]	2,2 83	2 ,443	2,66 0	3 32,4	333 ,2	332, 8
$[V_{\sigma(Еккд)}$]	16, 61	1 7,775	18,5 46	3 32,4	332 ,8	334, 4

Обращает на себя внимание тот факт, что даже при первичном анализе видно, что минимальный расход кокса соответствует диапазонам с минимальным коэффициентом вариации всех изучаемых показателей.

Все взаимосвязи кроме одной были аппроксимированы линейными уравнениями (1)-(4):

$$K = 2,4504 \cdot V_{\sigma(Qп)} + 332,19k = 0,999; (1)$$

$$K = 3,0342 \cdot V_{\sigma(Qд)} + 312,82k = 0,990; (2)$$

$$K = -18,127 \cdot V_{\sigma(Тт)}^2 + 90,654 \cdot V_{\sigma(Тт)} + 219,92; (3)$$

$$K = 0,980 \cdot V_{\sigma(Еккд)} + 315,92 \quad k = 0,900. (4)$$

Высокие значения коэффициентов корреляции говорят об очень сильной прямо пропорциональной взаимосвязи расхода кокса с неравномерностью параметров дутьевого режима. Благодаря этим данным можно сделать промежуточные выводы:

1) неравномерность расхода природного газа с 0,714 до 2,280 увеличивает расход кокса на 3,8 кг/т чугуна;

2) неравномерность расхода дутья с 6,432 до 7,092 увеличивает расход кокса на 1,9 кг/т чугуна;

3) неравномерность распределения теоретической температуры горения с 2,283 до 2,660 увеличивает расход кокса на 0,4 кг/т чугуна;

4) неравномерность распределения кинетической энергии комбинированного дутья с 16,610 до 18,546 увеличивает расход кокса на 2 кг/т чугуна.

Таблица 2

Расчет исходных данных для построения модели $\Pi = F(x_i)$

Входные данные	Среднее значение входного параметра в поддиапазоне			Среднее значение выходного параметра в поддиапазоне		
	D	D	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
	1	2				
$[V_{\sigma(Q_{\Pi})}]$	0,714	1,139	2,280	73	74	72
$[V_{\sigma(Q_{\text{д}})}]$	6,432	6,755	7,092	74	73	73
$[V_{\sigma(E_{\text{пм кд}})}]$	2,283	2,443	2,660	73	73	72
$[V_{\sigma(E_{\text{пм кд}})}]$	1,661	1,777	18,546	73	72	74

$$K = -113,26 \cdot V_{\sigma(Q_{\Pi})}^2 + 290 \cdot V_{\sigma(Q_{\Pi})} + 7221,6; \quad (5)$$

$$K = -100,85 \cdot V_{\sigma(Q_{\text{д}})} + 8042,7 \quad k = -0,873; \quad (6)$$

$$K = -597,39 \cdot V_{\sigma(T_{\text{т}})}^2 + 2835,8 \cdot V_{\sigma(T_{\text{т}})} + 3977,5; \quad (7)$$

$$K = 94,046 \cdot V_{\sigma(E_{\text{пм кд}})}^2 - 3271,9 \cdot V_{\sigma(E_{\text{пм кд}})} + 35739; \quad (8)$$

Связь равномерности с производительностью в основном не линейна, что говорит о ее сложности и также об умеренной зависимости между входящими и выходящими параметрами. Благодаря этим данным можно сделать промежуточные выводы:

1) неравномерность расхода природного газа с 1,139 до 2,280 уменьшает производительность на 111 т/сутки или же на 1,50 %;

2) неравномерность расхода дутья с 6,432 до 7,092 уменьшает производительность на 67 т/сутки или же на 0,91 %;

3) неравномерность распределения теоретической температуры горения с 2,443 до 2,660 уменьшает производительность на 46 т/сутки или же на 0,63 %;

4) неравномерность распределения кинетической энергии комбинированного дутья с 16,610 до 17,770 уменьшает производительность на 44 т/сутки или же на 0,60 %.

Заключение. Проведенный анализ показал, что наибольшее влияние на производительность доменной печи оказывает, прежде всего, неравномерность распределения теоретической температуры по окружности горна доменной печи, а на расход кокса неравномерность расхода дутья по фурмам. Результаты учета влияния неравномерности входных показателей при их изменении на каждый 1 % на производительность и удельный расход кокса приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние неравномерности технологических факторов на производительность и удельный расход кокса для доменной печи

Уменьшение неравномерности на 1 %	Производительность, %	Удельный расход кокса, кг/т
Q_{Π}	1,32	2,43
$Q_{\text{д}}$	1,38	2,88
$T_{\text{т}}$	2,90	1,06
$E_{\text{кд}}$	0,52	1,03

Несмотря на известный опыт и сложности осуществления автоматического контроля и регулирования расхода дутья по фурмам, реализация системы с контролем температуры дутья на каждой фурме, является весьма перспективной. Это позволит оперативно контролировать изменения перед каждой фурмой и обеспечить постоянство расхода любого ресурса, теоретической температуры, кинетической энергий потока комбинирован-

ного дутья и других параметров по окружности доменной печи, а также оптимизировать газодинамику и тепловой режим доменной плавки и выйти на согласованное управление параметрами загрузки и дутья.

Библиографический список

1. Анализ тепловой работы воздушных фурм доменной печи / В. И. Жук // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2001. – № 12. – С. 12–17.
2. Результаты оценки равномерности распределения дутья по фурмам доменных печей / Ширшов М. Ю., Дружков В. Г., Павлов А. В. [и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – № 2. – С. 27–31.
3. Пути повышения равномерности распределения горячего дутья по фурмам доменных печей / В. Г. Дружков, М. Ю. Ширшов. – Магнитогорск : Изд-во МГТУ, 2016. – С. 198–203.
4. Причины неравномерного распределения дутья по фурмам доменных печей и необходимость оснащения их САРД нового поколения / В. Г. Дружков, М. Ю. Ширшов // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – № 1. – С. 21–23.
5. Дружков В. Г. Технологические аспекты использования САРД нового поколения на современных доменных печах / Дружков В. Г., Ширшов М. Ю. // Творческое наследие В.Е. Грум-Гржимайло : сборник докладов международной научно-практической конференции. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – С. 173–177.
6. Методы определения расхода горячего дутья на отдельно взятую фурму в горне доменной печи / В. Г. Дружков, М. Ю. Ширшов. – Магнитогорск : Изд-во МГТУ, 2015. – С. 21–27.
7. Ширшов М. Ю. Совершенствование систем автоматического распределения дутья по фурмам доменных печей / Ширшов М. Ю., Дружков В. Г. // Сталь. – 2015. – № 1. – С. 9–12.
8. Сажнев Н. Н. Система автоматического распределения дутья по фурмам доменной печи / Н. Н. Сажнев // Бюллетень ЦИИИ. – 1969. – № 13. – С. 37–39.
9. Оценка эффективности распределения дутья и природного газа по фурмам / Андронов В. Н., Белов Ю. А. // Сталь. – № 9. – 2002. – С. 15–17.
10. Новая технология доменной плавки с применением регулирующей клапанов горячего дутья в фурменных приборах. / Nakajima Ryuichi, Kishimoto Sumiyuki, Hotta Hirohisa, Ishii Kunihiko // NKK Techn. Rev. – 1990. – № 59. – С. 1–7.
11. Лукьянец С. Н. Создание и внедрение промышленного способа контроля расхода дутья через фурмы для диагностики состояния оборудования и управления процессом доменной плавки / С. Н. Лукьянец // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук в форме научного доклада. Днепропетровск, 1991. – 23 с.
12. Развитие систем контроля и регулирования расхода горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи / Н. М. Можаренко, А. А. Параносенков, В. И. Негода // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. – Дніпропетровськ : ІСМ НАН України, 2005. – Вип. 10. – С. 71–78.
13. Контроль распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи / Канаев В. В., Кобеза И. И., Бузоверя М. Т. [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1995. – № 2. – С. 69–71.
14. Современные промышленные системы автоматизации доменных печей мира / Изюмский Н. Н., Васильев А. П. // Теория и практика производства чугуна : сборник трудов международной научно-технической конференции. – Кривой Рог, КГГМК «Криво-рождсталь», 2004. – 621 с.

15. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Общая часть. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. заслуж. строителя РФ, лауреата госуд. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова). – Москва : АСВ, 1998. – 576 с.
16. Большаков В. И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / В. И. Большаков. – Киев : Наукова думка, 2007. – 410 с.
17. Лялюк В. П. Современные проблемы технологии доменной плавки : монография / В. П. Лялюк. – Днепропетровск : Пороги, 1999. – 164 с.
18. Лялюк В. П. Выбор режимов доменной плавки на комбинированном дутье с оценкой параметров фурменной зоны / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский // Черные металлы. 2003. – № 11. – С. 13–16.
19. Теоретические и экспериментальные исследования доменной плавки / Лялюк В. П., Кассим Д. А., Онопа В. Н. [и др.]. – Кривой Рог : Дионат, 2016. – 621 с.
20. Влияние распределения дутья по фурмам на газовый поток в доменной печи / Бугаев К. М., Антонов В. М., Варшавский Г. В. [и др.] // Сталь. – 1987. – № 2. – С. 17–22.
21. Пути повышения равномерности распределения горячего дутья по фурмам доменных печей / В. Г. Дружков, М. Ю. Ширшов, И. Е. Прохоров // СТАЛЬ 2018. – № 12. – С. 8–12.

ПЕРЕРАБОТКА ДОМЕННОГО ШЛАКА В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Бизик Даниил Сергеевич, студент, E-mail: danil.bizik.00@gmail.com
Объедкова Светлана Вячеславовна, студент, E-mail: sveta_obedkova25@mail.ru

НТИ (филиала) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Металлургия является основной отраслью по образованию металлургических отходов, таких как пустая порода, отработанная руда и отвалы, которые остаются после переработки руды. На предприятиях используется большое количество руды с включением пустой породы, которая не используется при производстве металла, а складывается на шлакоотвалах. Цель ЕВРАЗа является переработка вторичного сырья для их сокращения. Побочный продукт черной металлургии оказывает нежелательное воздействие на окружающую среду. Основным из видов шлака является доменный, ежегодное его образование на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» около 2 млн т. Предложена схема по извлечению Al_2O_3 путем кальцинирования, с дальнейшим получением α -оксида алюминия и алюмогеля (γ -оксид алюминия и его смесь с η -оксидом алюминия). При переработке шлаковых отвалов важным значением является максимальное извлечение из них металлической составляющей. Благодаря их переработке и извлечению полезных компонентов путем кальцинирования можно получить продукт для производства алюминия. Использование данной технологии позволит перерабатывать более 2 млн т в год доменного шлака и получение 110 000 т Al_2O_3 . При переработке шлаков будет снижена экологическая нагрузка на окружающую среду, а также получим прибыль от продажи оксида алюминия.

Ключевые слова. Переработка, доменный шлак, кальцинирование, оксид алюминия, прибыль.

Деятельность ЕВРАЗа неизбежно предполагает образование металлургических отходов, таких как пустая порода, отработанная руда и отвалы, которые остаются после переработки руды. Конечная цель – сократить объем производимых отходов. Из-за скопления отвальных шлаков существует множество проблем:

- воздействие на окружающую среду;
- потеря ценных металлов и материалов с отходами;
- накоплено значительное количество отвалов;
- ежедневное образование твердых металлургических отходов.

В шламонакопителе АО «ЕВРАЗ ЗСМК» накоплено 97,5 млн т техногенного сырья, 77 % которого представлено отходами углеобогащения, 17 % – отходами от сжигания угля и 5 % – железошламами. Общие запасы железа на территории шламонакопителя составляют свыше 19 млн т. Более 12 млн т железа накоплено в теле шламонакопителя, в том числе 7,5 млн т в составе отходов углеобогащения, 2,4 млн т – в составе золошлаковых отходов и 2,7 млн т – в составе железошламов. В дамбу шламонакопителя с конвертерным шлаком уложено около 7 млн т железа, в том числе более 4 млн т металлического железа и более 2 млн т оксидного в составе FeO .

Количество образующихся отходов металлургического производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК»:

- Доменный шлак 2 млн т/год;
- Конвертерный шлак 1,4 млн т/год;
- Угольные шламы и порода 900 тыс. т/год;
- Бой огнеупоров (ломанный кирпич) 40 тыс. т/год;
- Шламы газоочисток 65 тыс. т/год.

В качестве альтернативы ЕВРАЗ стремится к повторному использованию некоторых видов отходов:

- конверторные шлаки, проходят магнитную сепарацию, очистку и грохочение. В результате получается песок, щебень, металлопродукт и металлический скрап;
- железшламы обогащаются, и используются как железоконцентрат;
- угольные шламы проходят процесс спекания, выщелачивания и фильтрации, где получают оксид кремния, оксид алюминия, железный пигментит.

Рассматривая многообразие технологий по переработке металлургических отходов, можно отметить, что отсутствует технология переработки доменного шлака, в связи с его большим ежегодным образованием.

Таблица 1

Химический состав доменного шлака, %										
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Mo	S	Na ₂ O	FeO
35–45	35–45	≤15	≥8	≤4	≤2	1–1,5	0,95–1,1	≤1	0,5–1	0,2–1

Возможные направления переработки доменного шлака:

- строительные материалы;
- выщелачивание глинозема и получение чистого Al, для дальнейшей продажи;
- извлечение SiO₂ для изготовления солнечных батарей или производства стеклянного волокна;
- извлечение Al₂O₃ (корунд) для продажи или изготовления других оптических устройств;
- экологически вариант: вывоз отходов в заброшенные шахты и карьеры, для их заполнения.

Наиболее выгодный метод переработки является извлечения Al₂O₃:

С помощью физико-химических реакций можно разделить основные компоненты доменного шлака для получения синтетического α-оксида алюминия и алюмогеля (γ-оксид алюминия и его смесь с η-оксидом алюминия). Схема получения Al₂O₃ представлена на рисунке 1.

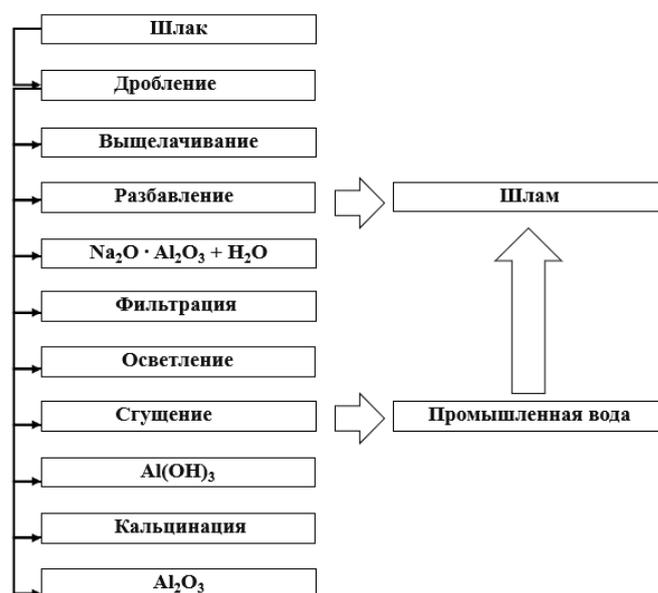
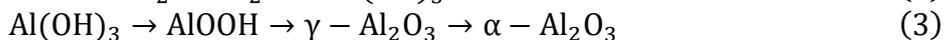
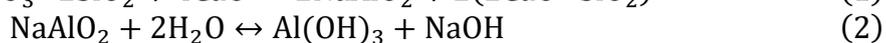


Рис. 1

Извлечения Al_2O_3 путем кальцинирования:



Использование $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ возможно как промежуточный продукт в производстве алюминия (основная область использования); для огнеупорных, химически стойких и абразивных материалов (в виде порошка); изготовления лазеров (в виде кристаллов), а также изготовления опорных камней часовых механизмов.

Использование $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ возможно в качестве: адсорбента для осушки газов (например, H_2 , C_2H_2), адсорбента жидкостей (ароматических углеводородов, керосина и др.); катализатора (например, дегидратации спиртов, изомеризации олефинов, разложения H_2S), а также в хроматографии.

Самое выгодное использование Al_2O_3 будет его продажа сторонним предприятиям, по производству алюминия.

Расчет показал, что при переработке 2 млн т. год доменного шлака, получится около 110 000 т. чистого Al_2O_3 .

При переработке шлаковых отвалов наиболее важным аспектом является максимальное извлечение из них металлической составляющей. Степень извлечения Al_2O_3 зависит от совершенства конструкции перерабатывающего оборудования и технологической схемы переработки.

Приобретение импортных технологий и установок для утилизации шлаков металлургического производства обходится слишком дорого и не решает проблем эффективно использования шлаков как вторичных материальных ресурсов.

Предложенная новая схема переработки доменных шлаков, обеспечивает повышение степени извлечения Al_2O_3 с дальнейшим промышленным производством алюминия.

Библиографический список

1. Смирнов Л. А. Технологические приемы переработки шлаков в жидком состоянии / Л. А. Смирнов, Ю. В. Сорокин, Б. Л. Демин // Бюллетень «Черная металлургия». – 2008. – № 7.
2. Патент RU№ 2018494 Способ переработки шлака и установка для его осуществления / Я. Ш. Школьник, Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин [и др.] // Заявка 5045809/33, 20.04.1992, Публ. 30.08.1994, Бюл. № 16.
3. Патент RU № 2044712 Установка для переработки металлургических шлаков / Я. Ш. Школьник, Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин [и др.] // Заявка 5063407/33, 25.09.1992, Оpubл. 27.09.1995.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВОГО ЖЕЛЕЗА РАСПЛАВОМ ЭВТЕКТИКИ «СВИНЕЦ-ВИСМУТ»

Виниченко Владислав Олегович, студент магистратуры
Соколов Евгений Георгиевич, доцент
E-mail: e_sokolov.07@mail.ru

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, РФ

Аннотация. Эвтектику «свинец-висмут» применяют в качестве транспортного расплава при диффузионной металлизации конструкционных материалов в жидкометаллических растворах. В работе исследовано влияние плотности изделий, спрессованных из порошкового железа, на интенсивность их растворения расплавом эвтектики Pb-Bi. Рассмотрено влияние оксидных пленок, дисперсности порошков и пористости порошковых материалов на их растворение расплавами легкоплавких металлов. Экспериментальные исследования проведены на образцах – втулках с пористостью 10, 15 и 25 %, изготовленных из порошкового железа ПЖВ 2.160.26. Спеченные и неспеченные втулки выдерживали в расплаве эвтектики Pb-Bi при температуре 1100 °С в течение 2 ч. После выдержки втулки извлекали из расплава и очищали их поверхность от остатков эвтектики травлением в растворе уксусной кислоты. Затем измеряли диаметр втулок с помощью микрометра. Результаты исследований показали, что с увеличением пористости железа интенсивность его растворения расплавом увеличивается. Неспеченное порошковое железо подвергается более интенсивному растворению расплавом по сравнению со спеченным. Интенсивному растворению неспеченных образцов способствуют наличие оксидных пленок на поверхности частиц порошка и большая величина свободной энергии неспеченного материала.

Ключевые слова. Порошковое железо, эвтектика «свинец-висмут», расплав, жидкометаллический раствор.

Одним из методов нанесения покрытий на конструкционные материалы является диффузионная металлизация в жидкометаллических растворах. Данный метод состоит в том, что покрываемое изделие погружают в ванну с легкоплавким «транспортным расплавом», в котором растворены элементы покрытия, и дают выдержку, достаточную для формирования на изделии диффузионного слоя [1...3]. При диффузионной металлизации сталей в качестве «транспортных расплавов» используют расплавы свинца и эвтектики Pb-Bi [3].

При выдержке в расплавах легкоплавких металлов поверхность твердых металлов, как правило, подвергается растворению [4]. Например, при выдержке армко-железа в расплаве эвтектики свинец-висмут в интервале температур 1050...1150°С происходит плавное растворение поверхности образцов. На поверхности армко-железа образуется рыхлый слой с пониженной микротвердостью [3]. Глубина этого слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки. Максимально интенсивно процесс растворения протекает в начальный период времени и затем постепенно замедляется вследствие насыщения железом жидкометаллической ванны.

Интенсивное растворение материала в транспортном расплаве может препятствовать формированию на его поверхности диффузионного покрытия.

Материалы, спрессованные из металлических порошков, имеют более развитую и более дефектную поверхность по сравнению с компактными материалами. Поверхность частиц порошка обычно покрывается оксидной пленкой, именно поэтому в неспеченном материале частицы контактируют через прослойку оксидов. При погружении такого материала в расплав, оксидная пленка выступает в роли барьера между металлом изделия и расплавом.

Оксидные пленки, которые находятся на поверхности железа, могут взаимодействовать с расплавами металлов по следующим реакциям:

- 1) реакция восстановления оксидной пленки железа компонентами расплава;
- 2) диссоциация оксидной пленки металла стали, с образованием раствора кислорода с расплавом.

В работе [3] была проведена термодинамическая оценка этих реакций при использовании в качестве насыщающих сред расплавов Pb и Bi. Было установлено, что оксиды железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 неустойчивы в висмуте, так как при их контакте с расплавом Bi возможно образование Bi_2O_3 (и, следовательно, восстановление железа). Оксид FeO не должен восстанавливаться ни свинцом, ни висмутом. Удаление оксида FeO с поверхности железа в расплавах Pb и Bi происходит путем растворения, начинающегося при температуре до $500^\circ C$, и сильно ускоряется выше $530^\circ C$.

По данным работы [5] в расплавах щелочных металлов разрушение окисных пленок и смачивание железа происходит при температуре около $160^\circ C$, при $300^\circ C$ наступает практически мгновенное смачивание. Отсюда следует, что во время нагрева железных прессовок в расплавах легкоплавких металлов наряду с процессами спекания будет происходить разрушение оксидных пленок, которые покрывают частицы и, вследствие этого, "размывание" контактов между частицами в поверхностном слое изделия. Растворение окислов происходит при сравнительно низких температурах и, если этот процесс будет опережающим по отношению к процессу спекания, то может привести к разрушению прессовки.

После того как оксидные пленки растворились, начинается растворение металла основы. Процесс растворения твердого металла в жидком можно представить как два элементарных процесса [5, 6]:

- 1) плавление поверхности твердой фазы;
- 2) диффузия в жидкой фазе (смешивание двух жидкостей).

Протекание процесса плавления твердой фазы обуславливается ее термодинамическим состоянием. Материал, спрессованный из металлического порошка, находится в состоянии, удаленном от термодинамического равновесия. Это связано не только с развитостью свободной поверхности порошкового материала, но и с дефектностью строения самих частиц порошка: наличием в них внутренних микропор, разных типов искажений кристаллической решетки. С изменением линейного размера частиц порошка должны изменяться некоторые их физико-химические характеристики, в частности, температура плавления. Зависимость температуры плавления частицы порошка от ее размера определяется следующей формулой [7]:

$$T_R = T_0 \exp\left(-\frac{2\alpha_{12}\Omega}{RQ}\right) \approx T_0\left(1 - \frac{2\alpha_{12}\Omega}{RQ}\right), \quad (1)$$

где T_0 – температура плавления кристалла, граничащего с расплавом вдоль плоской границы ($R = \infty$);

α_{12} – удельная поверхностная энергия на границе фаз;

Ω – атомный объем;

Q – скрытая теплота плавления.

Из выражения (1) следует, что с уменьшением линейного размера частицы температура ее плавления уменьшается. Соответственно, при нагреве прессовки в расплаве легкоплавкого металла переход атомов твердой фазы в расплав должен облегчаться из-за термодинамически неравновесного состояния порошковой прессовки. Кроме того, по сравнению с компактным материалом порошковый материал, особенно при наличии открытой пористости, имеет большую площадь контакта с расплавом. Все эти особенности должны приводить к более интенсивному растворению порошковых материалов по сравнению компактными материалами.

Проведенные нами экспериментальные исследования подтверждают, что интенсивность растворения порошкового железа в расплаве эвтектики Pb-Bi увеличивается с уменьшением плотности железа (рисунок 1). Процесс растворения порошковых материалов в транспортном расплаве исследовали на втулках с пористостью 10, 15 и 25, изготовленных из порошкового железа ПЖВ 2.160.26. Втулки получали статическим прессованием порошка в стальной пресс-форме. Часть втулок спекали в среде аргона при температуре 1200 °С в течение 2 ч. Спеченные и неспеченные втулки выдерживали в расплаве эвтектики Pb-Bi при температуре 1100 °С в течение 2 ч. После выдержки втулки извлекали из расплава и очищали их поверхность от остатков эвтектики травлением в растворе уксусной кислоты. Затем измеряли диаметр втулок с помощью микрометра.

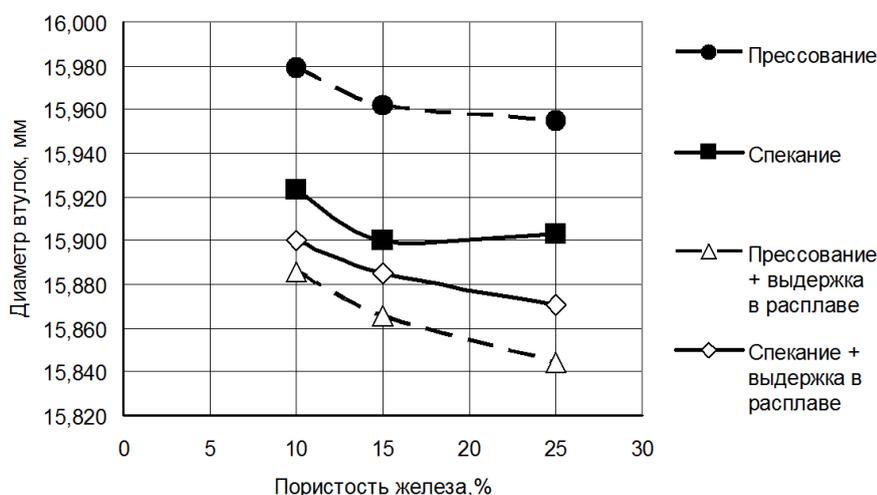


Рис. 1. Изменение размеров спеченных и неспеченных образцов после выдержки в расплаве эвтектики Pb-Bi ($t = 1100^{\circ}\text{C}$, $\tau = 6\text{ ч}$)

С увеличением пористости железа интенсивность его растворения расплавом увеличивается. По рисунку 1 видно, что после выдержки в расплаве диаметр втулок, не подвергнутых спеканию, получился меньше, чем у втулок, прошедших предварительное спекание. Это объясняется тем, что неспеченный материал находится в более неравновесном состоянии, и обладает более высокой свободной энергией по сравнению со спеченным. Поэтому при помещении в расплав неспеченный материал более подвержен растворению.

Библиографический список

1. Соколов А. Г. Повышение эксплуатационных свойств режущего твердосплавного инструмента за счет диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов / Соколов А. Г., Бобылев Э. Э., Тимофеев Б. Т. // Вопросы материаловедения. 2016. № 1 (85). С. 53-59.
2. Пат. на изобретение RU 2174059 С1, 27.09.2001. Способ химико-термической обработки изделий, спрессованных из металлических порошков / Артемьев В. П., Соколов Е. Г., Юрчик С. М. Заявка № 2000100894/02 от 11.01.2000.
3. Артемьев В. П. Разработка научных и технологических основ химико-термической обработки сталей в жидкометаллических расплавах : дис. на соискание учен. степени докт. техн. наук / В. П. Артемьев. – Краснодар : Изд-во КубГТУ, 2001.
4. Sokolov E. G., Ozolin A. V., Svistun L. I. Cobalt mass transfer through the liquid phase in sintering of Sn-Cu-Co and Sn-Cu-Co-W powder materials // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Т. 16. № 2. P. 297–305.

5. Шатинский В. Ф. Получение диффузионных покрытий в среде легкоплавких материалов / Шатинский В. Ф., Забожная О. М., Максимович Г. Г. – Киев : Наукова думка, 1976.
6. Никитин В. И. Физико-химические явления при воздействии жидких металлов на твердые / В. И. Никитин. – Москва : Атомиздат, 1967.
7. Гегузин Я. Е. Физика спекания / Гегузин Я. Е. – Москва : Наука, 1967.

ОПЫТ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КАДРОВ

Еремин¹ Кирилл Олегович, главный специалист по технологии фасонно-литейного цеха,
Шевченко² Олег Игоревич, заведующий кафедрой, д-р техн. наук, доц.,
Рубцов¹ Виталий Юрьевич, главный специалист по производству рельсов,
канд. техн. наук, E-mail: Uriydot@mail.ru

1 – АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

2 – НТИ (филиал) УрФУ

г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В статье кратко отображены проблемы отечественного литейного производства. Особое внимание уделено проблемам дефицита инженерно-технических кадров и уровня подготовки бакалавров в ВУЗах. Для решения проблемы адаптации молодых специалистов к реальным условиям производства в статье предлагается прогрессивный метод создания рабочих групп. В качестве эксперимента был произведен расчёт отливки типового колеса на основе использования программы трехмерного моделирования и аналитически-статистическим методом, на основе накопленных данных. Результатом эксперимента, стало взаимодействие опытного сотрудника и молодого специалиста, позволившее получить наилучший показатель в результате объединения усилий. При использовании комплекса методик удалось снизить массу отливки на 457 кг, по отношению к результатам расчета на основе опытных данных и на 1407 кг, по отношению к методике применения только моделирования без предварительных расчетов и отсутствии опыта.

Ключевые слова. Литейное производство, дефицит кадров, рабочая группа, моделирование литейных процессов, отливка колеса.

На сегодняшний день литейное производство, бесспорно, занимает лидирующую позицию в металлозаготовительном производстве. Специфика литья заключается в возможности получения фасонных заготовок из различных сплавов и металлов практически любой сложности, в том числе с внутренними полостями и максимально приближенным к деталям. Текущее состояние развития литейного производства России вызывает опасения за существование отрасли в целом. Проблемы литейного производства неоднократно обсуждаются на литейных форумах, в средствах печати, в обращении к Правительству РФ [1].

Опасение за перспективы литейной отрасли зачастую вызваны низкой эффективностью и низкой культурой производства, отсутствием инноваций, высоким уровнем ресурсопотребления, низким качеством отливок. Наблюдается значительное технологическое отставание от зарубежных коллег по всем направлениям литейного производства. Отсутствие разработок новых материалов и технологий по причине сокращения и упразднения научно-исследовательских институтов. Отрасль не является привлекательной для инвестирования в связи, с чем модернизация осуществляется катастрофически медленными темпами и носят локальный характер заключающейся в замене, вышедших из строя единиц оборудования. Ежегодно происходит сокращение объемов выпускаемого отечественного литья, при сохранении потребности в объемах, удовлетворяемых импортом. Особо критичен вопрос дефицита и сокращения квалифицированных специалистов литейного производства.

Российской Ассоциации литейщиков подготовлены рекомендации, по стратегии восстановления и развития отрасли, которая должна иметь системный комплексный подход [2-4]. При этом отражается, что данный подход требует времени, финансирования, объединение усилий государства, инвесторов, ученых и специалистов нацеленный на модернизацию производств, повышения качества и конкурентоспособности отечественного литья.

Стратегия развития и модернизация будет неразрывно связана с востребованностью в подготовленных кадрах. Учитывая тот фактор, что количество кафедр литейных технологий ежегодно сокращаются, проблема дефицита квалифицированных кадров должна обозначаться как одна из первоочередных и наиболее острых. Отмечается, что современная образовательная система подготовки бакалавров не в полной мере может обеспечить требуемый на производстве уровень подготовки специалистов, таким образом, предприятие имеет ограничения по возможности использования бакалавров в виду их неподготовленности для решения инженерных задач [2]. Одной из немаловажных проблем является утрата практики наставничества и передачи производственного опыта от старшего поколения молодым специалистам. Существующий дефицит кадров в настоящем может послужить сигналом о тенденции снижения или возможного отсутствия достаточного количества инженерно-технологических кадров с требуемым уровнем знаний и подготовки в будущем [5].

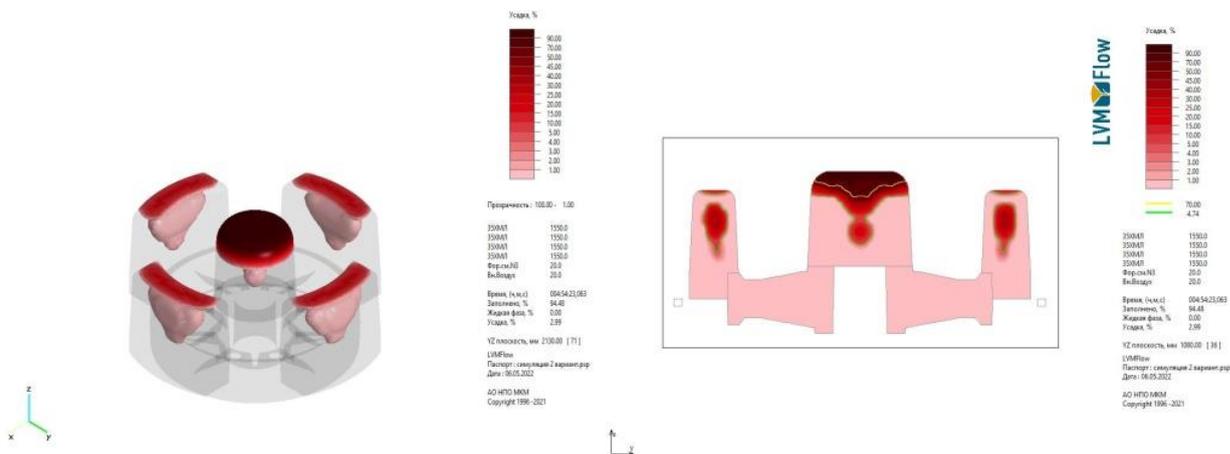
Развитие литейного производства напрямую зависит от наличия высококвалифицированных кадров, имеющих практический опыт. Для решения проблемы подготовки кадров предлагается рассмотреть вариант создания рабочей группы, объединяющей опытных сотрудников, в том числе ранее работавших на предприятии «ветеранов», пенсионеров и молодых специалистов. Организация работы данной группы должна быть устроена на добровольной основе, по типу инженерного клуба. Формат проведения онлайн конференции, при необходимости можно рассмотреть еженедельную очную встречу, например, в городских муниципальных организациях, читальных залах библиотек и пр. Встречи должны проходить в стиле неформального общения по принципу равенства всех членов рабочей группы. Время проведения встреч зависит от количества членов в группе, оговаривается и регламентируется. На встречах молодые специалисты обозначают проблемы, предлагают пути их решения, опытные специалисты выступают в качестве консультантов, указывая на правильность решения, в случае необходимости корректируют действия молодых специалистов, тем самым развивая самостоятельность молодых сотрудников, и одновременно передают часть своего накопленного опыта. Помимо консультаций со стороны опытных специалистов производится рассмотрение и разбор ошибок, обсуждение с молодыми специалистами результатов предыдущего собрания, достигнутых практических результатов, состояния и перспективы литейного производства, передовые достижения в науке и технике. Так же должен происходить обратный процесс передачи знаний от молодых специалистов в части существующих и внедряемых современных цифровых технологий в условиях грядущих цифровых трансформаций.

Идея создания объединенной группы родилась после проведения эксперимента по разработки технологии отливки колеса в условиях ремонтно-литейного производства. Суть эксперимента состояла в сравнении двух вариантов технологических процессов, разработанных специалистами разного уровня. Первый вариант технологического процесса разрабатывался опытным специалистом по методике типовых процессов изготовления колес. Второй вариант разрабатывался молодым специалистом при помощи современной программы 3D моделирования литейных процессов LVMFlow [6-7]. Цель эксперимента заключалась в обосновании возможности приобретения программы, позволяющей снизить затраты времени на разработку технологии, облегчить труд сотрудников, выявлять возможное появление брака на стадии подготовки технологии при моделировании процесса литья и производить быструю корректировку.

Разработка технологического процесса заключалась в определении места подвода металла, конструировании и расчете литниковой системы, определении необходимого количества прибылей, мест установки прибылей и их параметров. Параметры отливки, расположение ее в форме, количество и размеры стержней, габариты опочной оснастки были обговорены и обозначены заранее.

Разработка технологии по первому варианту не вызвала существенных проблем. Преимуществом послужил опыт и высокая квалификация специалиста. По разработанному варианту технологии была изготовлена модель и осуществлена пробная отливка. По результатам пробной отливки была произведена дополнительная корректировка технологии и модели с целью исключения обнаруженных отклонений в последующих отливках.

Разработка технологии по второму варианту вызвала затруднения на всех этапах проектирования, ввиду отсутствия опыта. Технология разрабатывалась зачастую методом проб и ошибок, путем создания 3D моделей куста отливки и последующей индивидуальной проверки каждой модели при помощи программы моделирования. Основные изменения, вносимые молодым специалистом, были направлены на увеличение размеров прибыли с целью полной концентрации в ней усадочной раковины. Разработка и проверка осуществлялась до момента получения отливки без моделируемой в ее теле усадочной раковины рис.1 а, б.



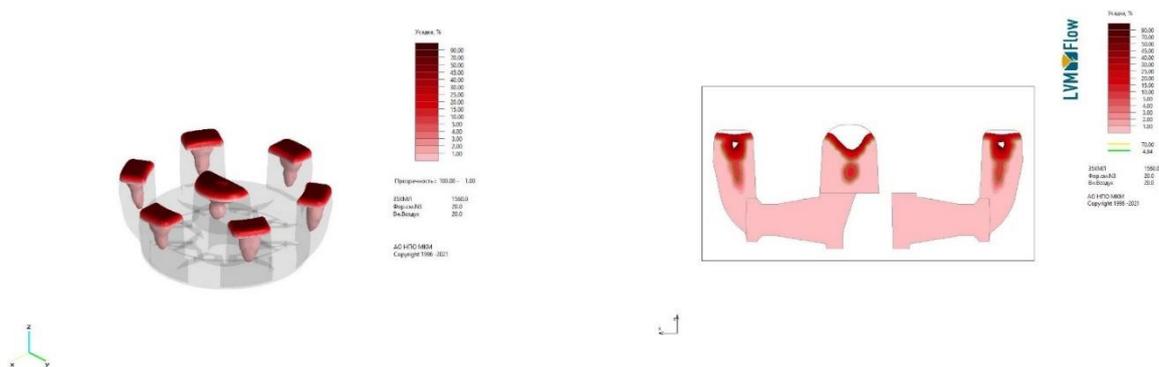
а) 3D-модель отливки колеса

б) Сечение 3D-модели колеса

Рис 1. 3D-модель отливки, разработанной при помощи LVMFlow

Масса отливки в обоих вариантах составляла 1900 кг. Расчетная масса жидкого металла на форму по второму варианту составила 5405 кг против 4455 кг по технологии первого варианта.

На финальном этапе было предложено произвести проверку первого варианта с помощью программы LVMFlow на его рациональность. Анализ моделирования позволил снизить расход жидкого металла на форму за счет изменения конфигурации прибылей рис. 2 а, б. Масса жидкого металла на форму после внесения корректировок в технологию первого варианта, без ухудшения условий получения качественной отливки, составила 3998 кг, что на 457 кг меньше от первоначального варианта. Изменение конфигурации прибылей позволило дополнительно снизилась трудозатраты на операции обрезки прибылей и облегчить труд резчика. Данный третий вариант является наиболее рациональным. При разработке третьего варианта осуществлялось самопроизвольное взаимодействие между опытным сотрудником и молодым с обсуждением всех трех вариантов.



а) 3Dмодель отливки колеса

б) Сечение 3Dмодели колеса

Рис 2. Скорректированная 3Dмодель отливки при помощи *LVMFlow*

Выводы

Таким образом, опыт разработки технологии производства литой заготовки колеса показал эффективность создания рабочих групп на заготовительном производстве предприятия, как путь решения проблемы дефицита квалифицированных инженерных кадров литейного производства.

Расчет отливки типового колеса двумя сотрудниками с различным уровнем компетенций: молодым специалистом, с возможностью использования программного комплекса моделирования и опытным специалистом на основе своего накопленного опыта, показал, что максимально эффективно применение синегерии двух вариантов.

Опыт внедрение программы *LVMFlow* показал неоспоримое преимущество для повышения эффективности в условиях действующего литейного производства.

Библиографический список

1. Евсеев В. И. Реализация комплексных проектов – путь развития машиностроения и литейного производства в России // Литейный консилиум. – URL : [https://litkons.com/info/innovations/realizatsiya-kompleksnykh-proektov] (дата обращения: 09.05.2022).
2. Дибров И. А. Состояние и перспективы развития литейного производства в России / И. А. Дибров // Труды 8-го съезда литейщиков России, г. Ростов-на-Дону, 23–27 апреля 2007 г. – Т. 1. – С. 3–11.
3. Дибров И.А. Перспективные направления развития литейного производства России / И. А. Дибров // Труды 9-го съезда литейщиков России, г. Уфа, 20–24 апреля 2009 г. – С. 3–6.
4. Вольнов И. Н. Литейное производство в шестом технологическом укладе / И. Н. Вольнов // Литейщик России. – 2012. – №10. – С. 46–48.
5. Козлов О. А. Проблемы обучения моделированию с использованием информационных технологий (на примере подготовки специалистов литейного производства) / О. А. Козлов, С. Балабанов // Ученые записки ИИО РАО. – 2005. – № 16. – С. 81–87.
6. Пугачёв И. А. СКМ ЛП *LVMFlow* - опыт использования в образовательном процессе и практика применения в условиях реального производства / И. А. Пугачёв, А. А. Халяпин // Литейные процессы. – 2014. – № 13. – С. 224–231.
7. Сушко Т. И. Моделирование влияний изменений температурно-фазовых полей на образование дефектов стальной отливки посредством *LVMFlow* / Т. И. Сушко, И. И. Чернышев, Р. Ш. Караев [и др.] // Физико-математическое моделирование систем : материалы XVIII Международного семинара. – 2018. – С. 140–144.

УПРАВЛЕНИЕ ТВЕРДОСТЬЮ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ

Казаковцев¹ Михаил Андреевич, гл. специалист по развитию прокатного производства
Лановенко¹ Иван Эдуардович, инженер-технолог технического управления
Шевченко² Олег Игоревич, заведующий кафедрой Metallургических технологий,
д-р техн. наук, доц.

Рубцов¹ Виталий Юрьевич, гл. специалист по производству рельсов, канд. техн. наук
E-mail: Uriydot@mail.ru

1 – АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

2 – НТИ (филиал) УрФУ
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Для марки стали 77ХГФНМ, предложенной для освоения мелющих шаров 5 группы твердости был проведен анализ шаров термообработанных по «мягким» режимам, который применим как для каскадного, так и для водопадного способа измельчения, так и шаров термообработанных по «жестким» режимам, используемых только при каскадном методе измельчения. В условиях АО «ЕВРАЗ-НТМК» возможно получение шаров как по мягким, так и по жестким режимам термообработки. На примере двух шаров условным диаметром 120 мм из данной марки стали проведен анализ распределения твердости по сечению, а также ударной стойкости данных шаров. Изменения в химическом составе стали в допустимом диапазоне, создают незначительный разброс значений как поверхностной, так и объемной твердости, для этого было определено фактическое влияние содержания углерода и легирующих элементов: марганца, кремния и хрома, на поверхностную и объемную твердость мелющих шаров. Исследование показало, что технологически регламентированный допустимый диапазон разброса значений химического состава стали 77ХГФНМ, при различных режимах термообработки, соответствуют требованиям пятой группы твердости по ГОСТ 7524-2015 во всем диапазоне значений химического состава.

Ключевые слова. Мелющий шар, термообработка, объемная твердость, ударная стойкость, химический состав, легирующий элемент.

Введение

Согласно ряду исследований, повышение качества мелющих шаров не может происходить только за счет повышения твердости [1]. В зависимости от дальнейшего назначения шары разделяют на две категории: используемые при водопадном и при каскадном методе измельчения. Для первого наиболее важным параметром является ударная стойкость, т. к. для измельчения руды используется энергия удара шара, падающего с высоты. Для второго метода главным параметром является абразивная стойкость шаров, при непрерывном взаимодействии как с рудой, так и между собой [2]. В условиях АО «ЕВРАЗ-НТМК» была предложена и освоена марка стали 77ХГФНМ [3–4], шары, изготовленные из которой с соблюдением, требуемых технологических режимов имеют 5 группу твердости и обладают, как достаточной ударной стойкостью, так и существенной абразивной стойкостью и могут быть использованы в мельницах любого метода измельчения. Возможно проведение термической обработки с «жесткими» режимами и получение высоких значений объемной твердости, при более низкой ударной стойкости, и как следствие использование таких шаров возможно только при каскадном методе. Проведение термической обработки по «мягким» режимам, с получением более высокой ударной стойкости при незначительной потере в твердости, соответствующей нижнему пределу для 5 группы шаров по ГОСТ 7524–2015 [5], применимо для обоих методов измельчения.

Метод определения твердости и постановка задачи

Объемную твердость шаров определяют в двух взаимно перпендикулярных направлениях на темплетях по сечению от поверхности к центру шара, как показано на рисунке 1а. При этом объемная твердость шаров рассчитывается по формуле (1):

$$OT = 0,289T_{пов} + 0,436T_{0,25} + 0,203T_{0,5} + 0,063T_{0,75} + 0,009T_{ц} \quad (1)$$

где OT – значение показателя объемной твердости, HRC; $T_{пов}$, $T_{0,25}$, $T_{0,5}$, $T_{0,75}$, $T_{ц}$ – значения твердости на поверхности, на расстоянии от поверхности шара в частях радиуса и в центре шара соответственно, HRC.

На рисунке 2 приведены данные твердости по сечению двух шаров условным диаметром 120 мм, изготовленных из марки стали 77ХГФНМ, шар №1 - по «жестким» режимам термообработки, шар №2 – по «мягким» режимам. Оба шара имеют пятую группу твердости, причем объемная твердость данных шаров составляет 52,3 HRC – для шара №1, для шара №2 – 50,0 HRC, соответственно для обоих шаров имеется существенный запас по объемной твердости относительно требований ГОСТ 7524-2015, но при этом у шара №2 запас поверхностной твердости ниже, чем у шара №1. Ударная стойкость существенно выше у шара №2, в связи с чем его возможно использовать в мельницах при водопадном методе измельчения. Для примера на рисунке 1б приведена макроструктура шара, который прошел испытания на установке испытания шаров [6], с суммарной затраченной энергией более 4000 кДж, на темплете которого трещин и напряжений не обнаружено.

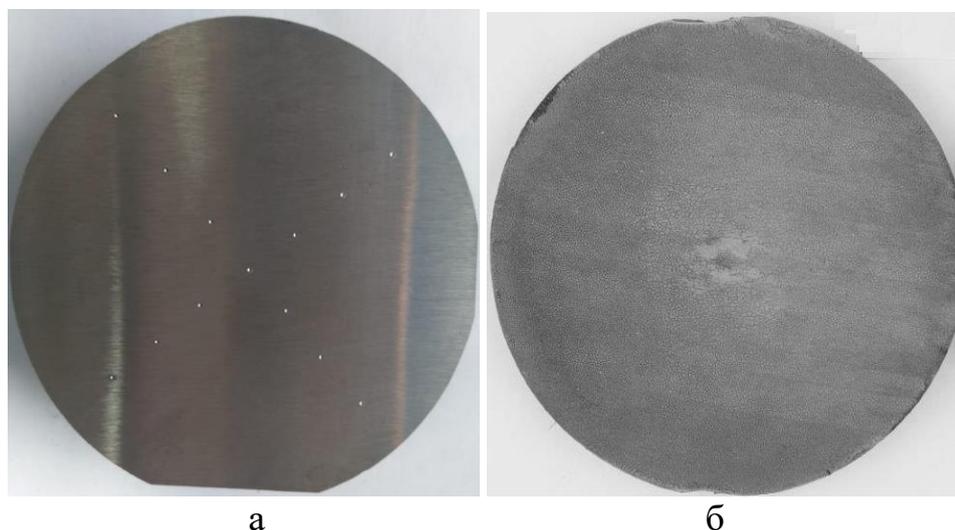


Рис. 1:

а – схема замера объемной твердости шара, б – макроструктура шара

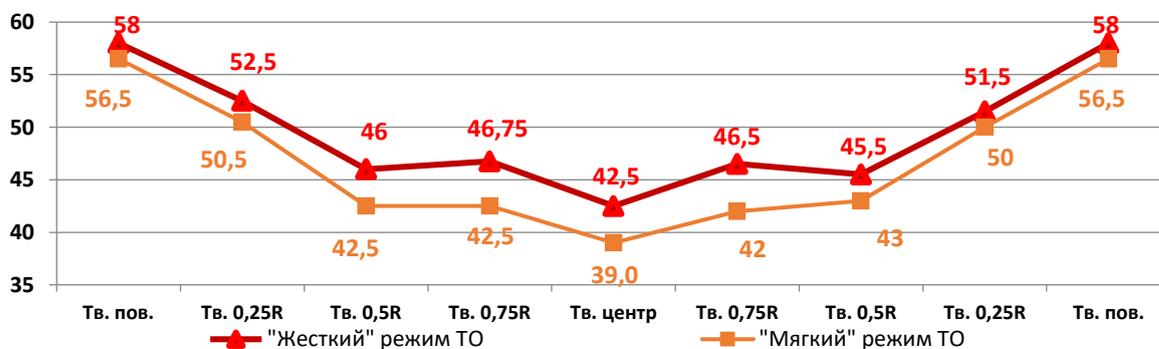


Рис. 2

Несмотря на то, что оборудование участка шаропрокатного стана 60-120 АО «ЕВРАЗ НТМК», способно поддерживать температурные режимы, при термической обработке с отклонениями:

- ± 10 °С для температуры перед закалкой шаров;
- ± 2 °С для температуры воды под закалку;
- ± 20 °С для температуры по зонам отпускной печи.

Изменения в химическом составе стали в допустимом диапазоне, создают незначительный разброс значений как поверхностной, так и объемной твердости. В работе [7] было проведено моделирование прокаливаемости и твердости шаров, с учетом вариативности химического состава стали, однако определение фактического влияния содержания легирующих элементов на поверхностную и объемную твердость мелющих шаров остается актуальным.

Проведение анализа и оценка результатов

Для чистоты эксперимента были произведена оценка 41 партии шаров условным диаметром 120 мм из стали марки 77ХГФМН, которые были произведены по «мягким» режимам термической обработки, включающим прокатку, выравнивание температуры, закалку и последующий отпуск. Для наглядности температурная диаграмма приведена на рис. 3.

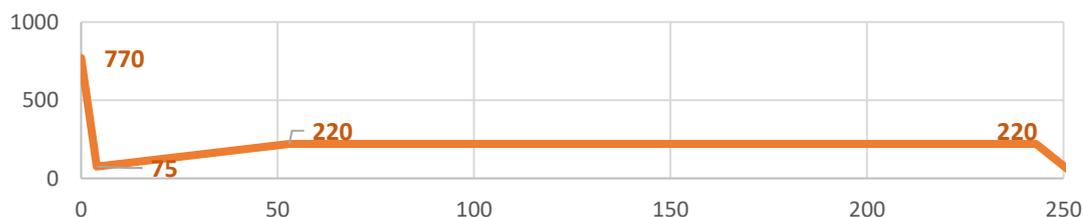


Рис. 3

Была проведена оценка влияния углерода (С) и легирующих элементов, таких как Mn, Si и Cr, т.к. их содержание в наибольшей мере влияют на свойства стали. Остальные элементы представлены в патенте [6].

На рисунке 4 представлено влияние содержания С, Mn, Si и Cr на поверхностную твердость мелющих шаров.

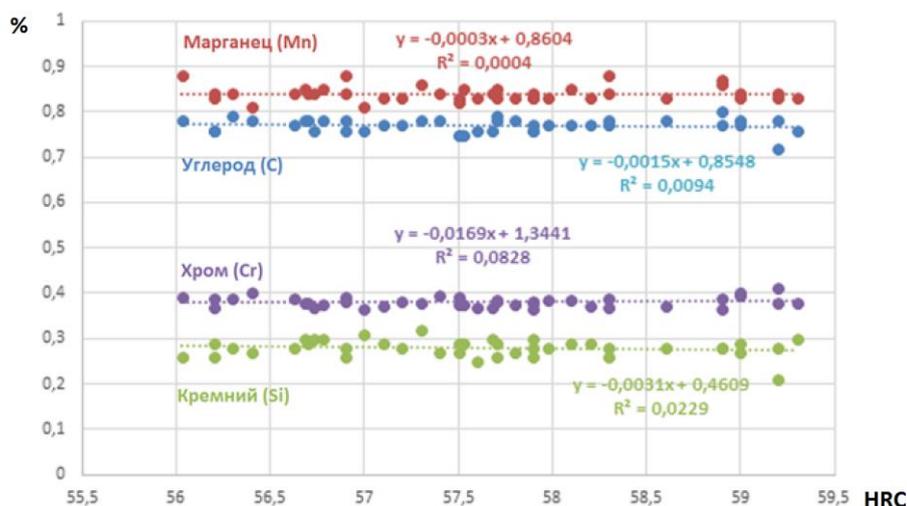


Рис. 4

Согласно полученным данным, коэффициент детерминации углерода и марганца настолько мала, что в данном диапазоне значений их изменение никак не влияет на поверхностную твердость шаров. Наибольшее влияние показало значение содержания хрома, но отклонение при этом мало, а разброс значений не имеет строго выраженной зависимости. В связи с этим можно судить о том, что технологически регламентированный допустимый диапазон разброса значений химического состава стали 77ХГФМН гарантирует устойчивое получение мелющих шаров с необходимой поверхностной твердостью.

На рисунке 5 представлено влияние содержания С, Мп, Si и Cr на объемную твердость мелющих аналогичных плавок.

Как показано на рисунке 5, для объемной твердости наиболее выражено влияние марганца. При этом изменение химического состава в допустимом диапазоне значений гарантирует устойчивое получение мелющих шаров с необходимой объемной твердостью.

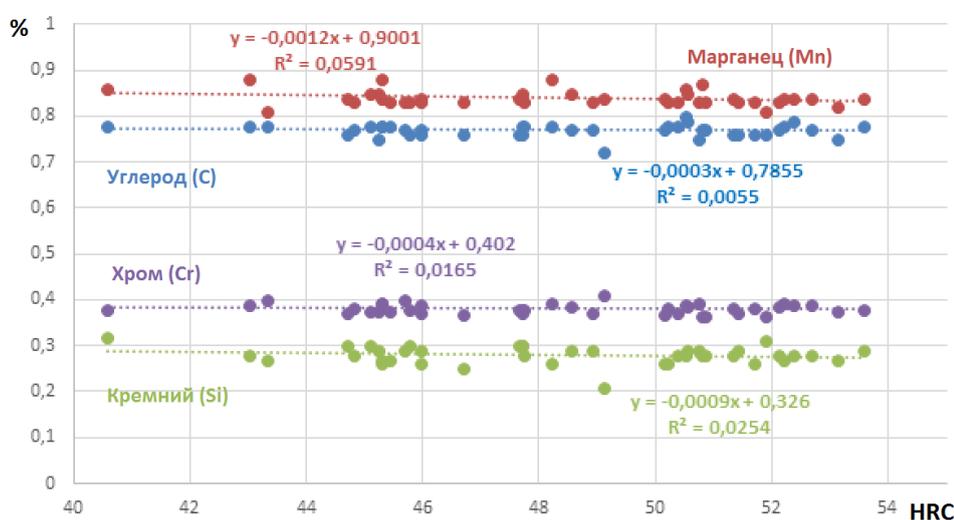


Рис. 5

Выводы

1. Шары из стали марки 77ХГФМН, при различных режимах термообработки, соответствуют требованиям пятой группы твердости по ГОСТ 7524–2015 во всем диапазоне значений химического состава.

2. Для использования в мельницах водопадного метода измельчения рекомендуются мелющие шары из стали марки 77ХГФМН произведенные по «мягким» режимам термической обработки.

Библиографический список

1. Сталинский Д. В. Освоение производства и оценка качества эффективности использования высококачественных мелющих шаров / Д. В. Сталинский, А. С. Рудюк, В. К. Соленый // Сталь. – 2021. – №11. – С. 36–39.

2. Михеев Д. Ю. Шаровые барабанные мельницы / Д. Ю. Михеев, Ю. Г. Шестаков, Д. А. Шапошников // XII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: сборник. – Белгород, 2020. – С. 1356–1361.

3. Способ производства мелющих шаров (варианты) : пат 2756671 Рос. Федерация ; заявитель и патентообладатель АО ЕВРАЗ НТМК № 2020142167 ; заявл. 20.12.2020 ; опубл. 04.10.2021, Бюл. №28. – 12 с.

4. Рубцов В. Ю. Освоение производства мелющих шаров высокой объемной твердости на АО «ЕВРАЗ НТМК» / В. Ю. Рубцов, О. И. Шевченко // Актуальные пробле-

мы физического металловедения сталей и сплавов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – С. 40–44.

5. ГОСТ 7524–2015. Шары мелющие стальные для шаровых мельниц.

6. Способ испытания мелющих шаров на ударную стойкость : пат 2759709 Рос. Федерация ; заявитель и патентообладатель АО ЕВРАЗ НТМК - № 2020142166 ; заявл. 20.12.2020 ; опубл. 17.11.2021, Бюл. №32. – 11 с.

7. Sidorov A.A. Com puter simulation of the thermal processing of grinding balls / A. A. Sidorov, A. A, Semenov, I. E. Lanovenko, I. K. Galim'yanov, R. A. Il'inykh, A. Y. Bespamyatnykh // Metsallurgist. – V.65. – n. 7-8. – p. 722-734 pp.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ИЗНОСА ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНОГО КОВША В УСЛОВИЯХ КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ НТМК»

Котюков^{1,2} Тимофей Дмитриевич, лаборант по физико-механическим испытаниям
Метёлкин² Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доц.
Шешуков³ Олег Юрьевич, д-р техн. наук, проф.
Шевченко² Олег Игоревич, зав. каф., д-р техн. наук

1 – АО «ЕВРАЗ НТМК»

2 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил

3 – Институт металлургии УрО РАН,

УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, РФ

Аннотация. В статье показано какая футеровка сталеразливочных ковшей применяется на АО «ЕВРАЗ НТМК», а также указывается в каких условиях эксплуатации находится футеровка ковшей; рассматриваются технологические параметры, оказывающие влияние на стойкость футеровки сталеразливочных ковшей; проводится анализ степени их влияния на футеровку ковшей.

Ключевые слова. Сталеразливочный ковш, удельный износ футеровки, огнеупорные материалы, стойкость ковша.

В составе кислородно-конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ НТМК» работает 4 конвертера, которые за 2020 год произвели 4,4 млн тонн стали [1]. Продукция конвертерного цеха ЕВРАЗ НТМК представлена широким сортаментом марок стали. Для поддержания такой высокой производительности цеха требуется надежная работа всех металлургических агрегатов, включая агрегаты внепечной обработки. Для обеспечения надежной службы сталеразливочного ковша необходимо провести анализ того, как различные условия эксплуатации ковшей влияют на износ футеровки этих ковшей.

При внепечной обработке жидкой стали условия службы футеровки сталеразливочного ковша ухудшаются в связи с большей температурой металла, значительным увеличением длительности его пребывания в ковше, активным перемешиванием металла и наличием при этом основного шлака; зачастую в металл также вдувают агрессивные по отношению к футеровке добавки. Поэтому при внепечной обработке стали используют основную футеровку ковшей [2].

На сегодняшний момент ЕВРАЗ НТМК использует схему футеровки сталеразливочного ковша со стойкостью 90 плавок. В настоящее время ковш выполнен из 36 рядов огнеупорных изделий. Первые 4 ряда состоят из изделий толщиной 190 мм, следующие 22 ряда – из изделий толщиной 170 мм. А толщина огнеупорных изделий шлакового пояса составляет 177,8 мм.

Для повышения стойкости рабочего слоя стен ковша изготовленного из алюмопериклазоуглеродистых изделий, а также шлакового пояса выполненного из периклазоуглеродистых изделий необходимо оценить влияние технологических параметров на износ данных типов огнеупоров.

Для оценки влияния параметров плавки на износ футеровки сталеразливочного ковша был обработан большой массив данных. Цель работы – проанализировать параметры, влияющие на разрушение огнеупорных материалов сталеразливочного ковша, и на основании проведенного анализа разработать методы повышения стойкости и надежности ковшей. Для этого была сделана выборка 12 сталеразливочных ковшей (4 из которых имели наибольший удельный износ, 4 – наименьший и 4 – промежуточный между ними) за период 2021 г.

В начале был посчитан удельный износ огнеупоров по всей высоте кладки сталеразливочного ковша. Расчет производился исходя из остаточной толщины футеровки после вывода ковша из производства. Замеры остаточной толщины производились с 1 по 36 ряд в двух зонах: зона аргона и шлаковая сторона. Далее, в зависимости от толщины футеровки, рассчитывался удельный износ огнеупоров. Расчет производился по формуле (1):

$$K = \frac{l - l_{ост}}{n}, \quad (1)$$

где l – толщина огнеупорного изделия, мм;

$l_{ост}$ – остаточная толщина футеровки, мм;

n – количество плавков ковша до смены футеровки.

Принимаем $n = 90$ – для стен ковша, $n = 40$ – для шлакового пояса (так как шлаковый пояс полностью меняется после 50 плавков). Удельный износ ковшей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Удельный износ огнеупорных изделий

№ ковша	Удельный износ, мм/пл (зона аргона)			Удельный износ, мм/пл (шлаковая сторона)			Удельный износ шл. пояс, мм/пл (зона аргона)			Удельный износ шл. пояс, мм/пл (шлаковая сторона)		
	min	max	средн.	min	max	средн.	min	max	средн.	min	max	средн.
38	1,0	1,4	1,0	1,3	1,6	1,4	1,9	2,7	2,3	1,9	3,4	2,4
16	1,1	1,3	1,1	1,1	1,8	1,4	2,4	3,4	3,1	2,4	3,7	3,2
18	1,1	1,5	1,4	1,1	1,4	1,4	1,9	3,7	2,9	1,9	3,7	2,9
2	1,1	1,4	1,2	1,2	1,4	1,3	2,4	2,9	2,7	2,4	3,1	2,7
6	1,0	1,2	1,1	1,0	1,2	1,0	2,2	2,7	2,4	2,2	2,8	2,5
29	1,0	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	2,4	3,2	2,7	2,4	3,2	2,7
31	1,0	1,2	1,1	1,1	1,4	1,1	2,2	2,9	2,5	2,2	2,9	2,5
44	0,8	1,2	1,0	0,9	1,2	1,1	2,2	3,4	2,4	2,2	2,9	2,4
9	0,5	1,0	0,6	0,4	1,1	0,6	1,9	2,6	2,3	1,6	1,9	1,7
21	0,8	1,0	0,8	0,8	1,1	0,9	1,9	2,4	2,1	1,9	2,4	2,2
25	0,6	0,9	0,7	0,5	0,8	0,7	1,6	2,3	2,1	1,4	2,1	1,8
45	0,7	1,1	0,8	0,6	1,0	0,8	1,7	2,4	2,0	1,6	2,3	1,9

Был проведен анализ данных удельного износа футеровки сталеразливочного ковша по следующим параметрам: температура слива металла из конвертера в ковш; температура металла в ковше после слива стали из конвертера; время движения до LF; время обработки на LF; время обработки на RH; температура металла в начале обработки на LF; температура металла в конце обработки на LF; время от конца выпуска металла из конвертера до конца разливки на МНЛЗ. Для каждого из ковшей все параметры плавки были разделены на 5 равных интервалов. Каждый из интервалов был взят в процентном соотношении частоты значений относительно других интервалов.

Для оценки параметров плавки влияющих на износ футеровки воспользуемся методом парной корреляции. Степень или теснота корреляционной связи определяется по величине коэффициента корреляции. Теснота связи не зависит от ее направленности и определяется по абсолютному значению коэффициента корреляции. Коэффициент характеризует наличие линейной связи между двумя признаками. Так как число степеней свободы – 12, а уровень значимости – 0,05, то коэффициент корреляции Пирсона равен 0,53 (однако в нашем случае допускается использовать до 0,51). При $r > 0,53$ рассматриваемые параметры оказывают наибольшее влияние на зоны исследований.

Были определены коэффициенты корреляции подтверждающие влияние параметров плавки на износ футеровки сталеразливочного ковша. Таким образом значимыми параметрами являются: температура слива металла из конвертера в ковш; время движения до LF; время обработки на LF; температура металла в начале обработки на LF; температу-

ра металла в конце обработки на LF; время от конца выпуска металла из конвертера до конца разливки на МНЛЗ. Температура металла в ковше после слива стали из конвертера, хоть и имеет коэффициент корреляции 0,64 (то есть влияет на разрушение футеровки), однако это единственное значение на всем температурном промежутке, которое превышает критическое значение корреляции. Поэтому данный параметр не будем учитывать как значимый.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Повышенная температура слива металла из конвертера в ковш, а также в начале и в конце обработки на LF оказывает негативное воздействие на стойкость огнеупорной кладки. Повышенная температура оказывает эффект термоудара при заполнении ковша.

2. Минимальное время движения до агрегата «ковш-печь», а также минимальное время от конца выпуска металла из конвертера до конца разливки на МНЛЗ не оказывает негативного влияния на футеровку. Это объясняется просто: чем меньше раскаленный металл воздействует на огнеупоры, тем меньше они разрушаются.

3. Время обработки металла в агрегате «ковш-печь» от 50 до 59 мин не оказывает отрицательного влияния на футеровку, однако время от конца выпуска металла до конца разливки в диапазоне 162–187 мин увеличивает износ футеровки.

Библиографический список

1. ЕВРАЗ НТМК – ЕВРАЗ [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.evraz.com/ru/company/assets/evraz-ntmk/> (дата обращения: 18.03.2022).

2. Современная сталь: теория и технология : учебное пособие / Шешуков О. Ю., Некрасов И. В., Метелкин А. А. [и др.] ; Мин-во науки и высш. обр. РФ, УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2020. – 400 с.

3. Бигеев А. М. Metallургия стали. Теория и технология плавки стали : учеб. для вузов / Бигеев А. М., Бигеев В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – Магнитогорск : МГТУ, 2000. – 544 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА В ПОТОКЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА

Лоптев Андрей Викторович, доцент кафедры
E-mail: loptevav@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В статье представлена экспериментальная проверка способа восстановления пылевидного железорудного концентрата в потоке восстановительного газа. Приведено описание установки, эксперимента и полученные результаты. Доказана возможность применения пылевидного железорудного сырья для получения стали.

Ключевые слова. Пылевидный концентрат, железорудное сырье, поток восстановительного газа.

Традиционная двухступенчатая схема производства железа (сталей), достигшая высокой степени совершенства благодаря использованию опыта сотен поколений металлургов, является основой сегодняшней черной металлургии – по этой схеме в мире получают около 98% сталей.

Вместе с тем, этот метод содержит противоречия, так как осуществляется по принципу «два шага вперед – один назад»: на первой стадии (в ходе доменной плавки) происходит не только восстановление железа из оксидов, но и его «перевосстановление» – насыщение железа углеродом. Это вынуждает организовывать вторую стадию – удаление избытка углерода и некоторых других элементов путем окисления.

Вторым противоречием доменной плавки является то, что полученные в результате глубокого обогащения железных руд частички концентрата размером меньше 0,05 мм, способные нагреваться и восстанавливаться за доли секунды, по условиям газодинамики доменного процесса должны окусковываться в окатыши размером 10–15 мм. При этом реакционная поверхность рудного материала уменьшается во много раз, и процессы прогрева и восстановления растягиваются на несколько часов.

Следующий недостаток традиционной технологии заключается в том, что первая стадия (доменная плавка) невозможна без использования кокса, а он как известно главный источник серы в чугуне. [2]

Все эти проблемы заставляют ученых и практиков – металлургов разрабатывать новые методы получения железа.

На сегодняшний день разработано множество процессов получения металла внедоменными способами. [1]

С нашей стороны предложен способ восстановления железного концентрата в потоке восстановительного газа. Частицы концентрата крупностью 50–70 мкм движутся в потоке горячего газа, где осуществляются все процессы восстановления.

Предлагается установка представлена на рис. 1.

Газодувная машина вдувает необходимое количество при определенной температуре восстановительного газа в газопровод. Поток искусственно запыляется железорудным концентратом. Двигаясь в газопроводе, железорудный концентрат восстанавливается и попадает в вихревой циклон. Очищенный газ уходит вверх на другие нужды, а восстановленный концентрат удерживается магнитным полем в бункере под циклоном. Восстановленный концентрат может брикетироваться или сразу подаваться в электродуговую печь.

Произведя необходимые расчеты, было доказано, что использование в виде железорудного компонента железорудного концентрата имеет ряд преимуществ:

- снижение времени нагрева;
- снижение количества необходимого тепла для нагрева;

- снижение времени восстановления.
- Использование в виде восстановителя не кокс, а природный газ тоже имеет свои преимущества:

- меньшая сернистость по сравнению с коксом.

Для того чтобы доказать возможность восстановления железорудного концентрата в потоке восстановительного газа в рамках нашего института была разработана экспериментальная печь.

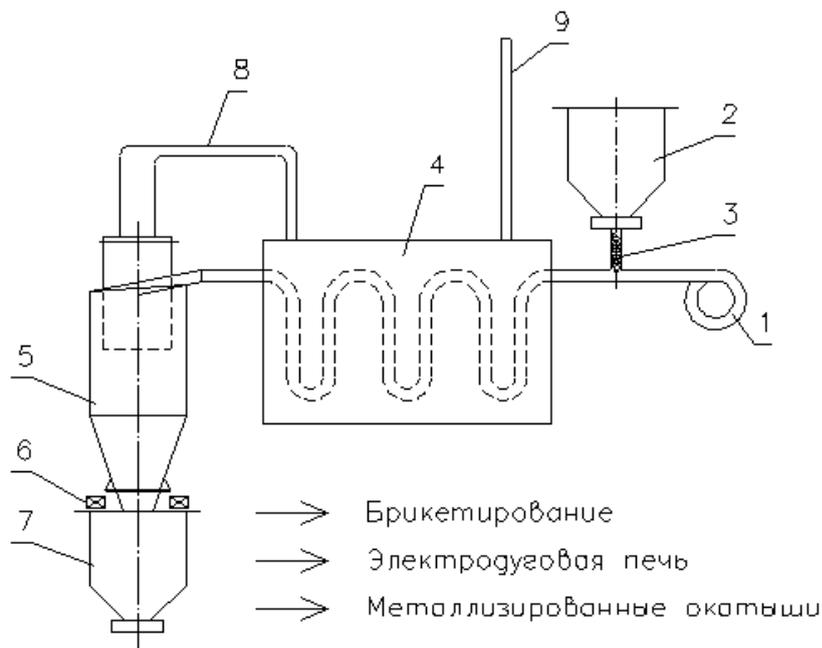


Рис. 1. Установка восстановления железного концентрата в потоке восстановительного газа:

- 1 – машина для вдувания восстановительного газа; 2 – бункер подачи железорудного концентрата;
- 3 – газопровод; 4 – вихревой циклон; 5 – магнит;
- 6 – бункер для восстановленного железорудного концентрата

Описание эксперимента: в печь насыпается древесный уголь 50–100 мм для возникновения тока. Для чистоты эксперимента (отсутствие контакта железорудного концентрата с твердым углеродом) создается разделительный слой песка 50 мм. После засыпается слой железорудного концентрата массой 300 г.

После включения печного трансформатора через нижний слой угля протекает ток короткого замыкания, нагревая угольный и песчаный слой. По истечении некоторого времени, когда температура достигнет около 900 °С, в слой концентрата подается пропанобутановая смесь. Продувку продолжаем в течении 7 мин. Температуру в печи поддерживается на уровне 1000–1100 °С, включением или отключением печного трансформатора.

По истечении 7 мин добавляется еще 300 г железорудного концентрата и вновь осуществляется нагрев и продувка газом. Цикл повторяется 3 раза.

По истечении времени отключается продувка и источник нагрева.

В результате опыта было получена мелкая кусковая сталь (рис. 2).

Спектральный анализ пробы показал следующее содержание элементов в металле (табл. 1).

Таблица 1

Спектральный анализ пробы на установке SPECTROLAB

Элемент	Fe	C	P	S	Si	Al	Mn	Cr
Значение, %	97.220	0.146	0.008	0.026	<0.005	<0.002	<0.020	0.006
Элемент	Mo	V	Ti	Ni	B	Ca	N	Zr
Значение, %	<0.005	<0.002	<0.002	0.018	<0.002	0.002	<0.001	<0.002



Рис. 2. Полученные образцы металла

По результатам химического анализа можно заключить, что теоретически и экспериментально доказана:

- возможность получения стали процессом восстановления железорудного концентрата в потоке восстановительного газа;
- возможность получения стали с низким содержанием серы при использовании железорудного концентрата с низким содержанием серы (Качканарское месторождение);
- возможность получения из восстановленного концентрата металлизированных окатышей;
- возможность получение высоколегированных сталей при переплавке восстановленного концентрата и присадке легирующих элементов в электродуговой печи.

Библиографический список

1. Абраменков Ю. А. Сравнение технико-экономических и технологических характеристик процессов жидкофазного восстановления железа / Абраменков Ю. А., Стригунов Н. А. – Днепропетровск : Новая идеология, 2008. – 17 с.
2. Курунов И. Ф. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа / Курунов И. Ф., Савчук Н. А. – Москва : Черметинформация, 2002. – 198 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМОВАННОГО КОКСА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Мухаматьянова Вероника Ринатовна, студент,
Пыхтеева Ксения Борисовна, канд. техн. наук, доц.
E-mail: Muhanika@mail.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Сырьевая угольная база является важнейшим фактором, определяющим эффективность работы коксохимической промышленности. Постоянное внимание специалистов к проблеме расширения сырьевой базы коксования показывает ее роль и значение, а также насколько результативными могут быть мероприятия, направленные на возможность рационального использования запасов углей.

Совершенствование технологии коксования в большой мере связано с необходимостью расширения сырьевой базы в первую очередь возможна за счет более широкого использования слабоспекающихся углей и их потенциала, ресурсы которых значительно выше. Однако для производства кокса из таких углей усложнено в коксовых батареях периодического действия и рядом неудобств, что вызвало потребность разработки нового принципа коксования, а именно непрерывного процесса коксования, отличающимся другим механизмом превращений.

Самым перспективным видом в получении кокса непрерывным методом коксования стал формованный кокс. Производство такого вида кокса позволит получить сырье из более дешевого источника, расширить сырьевую базу и получить кокс, способный полностью заменить кокс, полученный традиционным коксованием. Стать топливом, не уступающим коксующим маркам угля (Ж, ГЖ и К), а наоборот, в следствии исследований и опытов, стать перспективной технологией.

Ключевые слова. Формованный кокс, непрерывное коксование, слабоспекающиеся угли, кокс, доменное производство.

Формованный кокс получают по ступенчатой схеме. Угольную шихту, состоящую из 60% газового угля и 40% слабоспекающихся углей, подают из бункеров углеподготовительного цеха. Угольная шихта измельчается в молотковой дробилке до крупности <3 мм (90–95 %). Далее уголь поступает в цикл нагрева, где его нагревают газовым теплоносителем в установке скоростного нагрева по сухому материалу до 420 °С. Нагрев осуществляется в трехступенчатом каскаде циклонов.

Стоит отметить, что существуют разные вариации нагрева формованного кокса: во взвешенном слое, в каскаде циклонов, в вихревом потоке и т. д., однако решающим фактором выбора является процесс деструкции угля. Отличительной особенностью использования каскада циклона состоит в особенности механизма деструкции угля при непрерывном методе коксования и заключается в том, что уголь, попадающий в каскад циклонов, где находится в течении 6–8 с, моментально подвергается «температурному шоку». Летучие вещества, не успев выделиться из угля, сжигают газом-теплоносителем, тем самым обеспечивая частичное удаление.

В качестве теплоносителя в системе нагрева угля используют дымовые газы, получаемые в топке при сжигании коксового газа. Горячий теплоноситель, во избежание перегрева угля и потери спекаемости, перед подачей в систему нагрева разбавляют отработанным теплоносителем. Последний содержит смолистые вещества, выделяющиеся из угля в процессе нагрева, тем самым является связующим для пластической массы.

Нагретую шихту до 435–460 °С отделяют от теплоносителя и подают на прессформовочную машину, где происходит брикетирование (формование). Газ-теплоноситель

проходит стадию очистки и охлаждения. Все полученные формованные изделия имеют округлую форму (форму подушечки), а размер их может составлять 60-70 мм в поперечнике. Это имеет немаловажное значение для обеспечения газопроницаемости столба материалов доменной печи.

Далее формовки с температурой 350–400°C пластинчатым конвейером подаются в вертикальные печи непрерывного действия, где нагреваются до 850–900°C со скоростью 1,5 – 3 град/мин, где происходит окончательное выделение летучих. Период всей технологической цепочки формовки и коксования в среднем составляет 3-5 ч.

Несформованный уголь смешивают со смолой и брикетируют под температурой 90°C и коксуют.

В нижней части печи формовки охлаждаются и через шибберные разгрузочные устройства выдаются на сборный конвейер.

Данная технология имеет недостаток в том, что в случае возврата несформованного угля на стадию скоростного нагрева, количество смолистых продуктов в газовом теплоносителе возрастает, возрастает выход несформованного угля соответственно снижается выход целевого продукта–формованного кокса с 4,05 до 3,83 т/ч.

Побочным продуктом технологии является смола, которая требует утилизации. Однако смола формованного кокса может быть использована на углеобогащительной фабрике в качестве собирателя–вспенивателя для флотации угольных шламов.

Еще одной из отличительных особенностей технологии является то, что каждая стадия протекает отдельно друг от друга, что позволяет управлять каждой стадией и получать кокс необходимых требований. Одно из таких следствий является неопределенность конечной температуры кокса. Определение конечной температуры формованного кокса устанавливается экспериментально. Определение происходит в результате эмпирического метода УЭС (удельного электросопротивления) формовок по методу ДМетИ в результате различия по физическим свойствам (мода распределения значений УЭС, насыпной массы).

Таким образом, результаты исследования физических свойств кокса зондовыми методами свидетельствуют о наличии значительных резервов улучшения свойств формованного кокса для доменных печей путем регулирования и оптимизации технологического режима процесса непрерывного коксования.

Касаясь главных отличительных свойств формованного кокса в результате проведенных исследований, можно прийти к сравнительной характеристике:

- все пробы формованного кокса обладают более высокой реакционной способностью, чем слоевой кокс;

- полученные данные пористости и газопроницаемости показывают, что формованный кокс обладает более плотной структурой материала и меньшей пористостью, по сравнению с обычным коксом. Отсюда следует интересный факт об анизотропии формованного кокса, так как не удалось найти прямую зависимость газопроницаемости и пористости из-за различия свойств формовок по этим показателям;

- одна из главных отличительных особенностей качества образцов формованного кокса - при вторичном нагреве до высоких температур (1300 °C) не только понижает свою прочность, а наоборот, при возросшей пористости, увеличивает ее;

- в отличие от слоевого формованный кокс характеризуется однородной текстурой и структурой;

- одинаковая форма и размеры кусков формованного кокса приводит их к более плотной укладке, одновременно предполагает более равномерное распределение потока газов по всему сечению столба материалов, что, в свою очередь, приведет к более лучшему использованию работы газов в доменной печи и увеличением производительности.

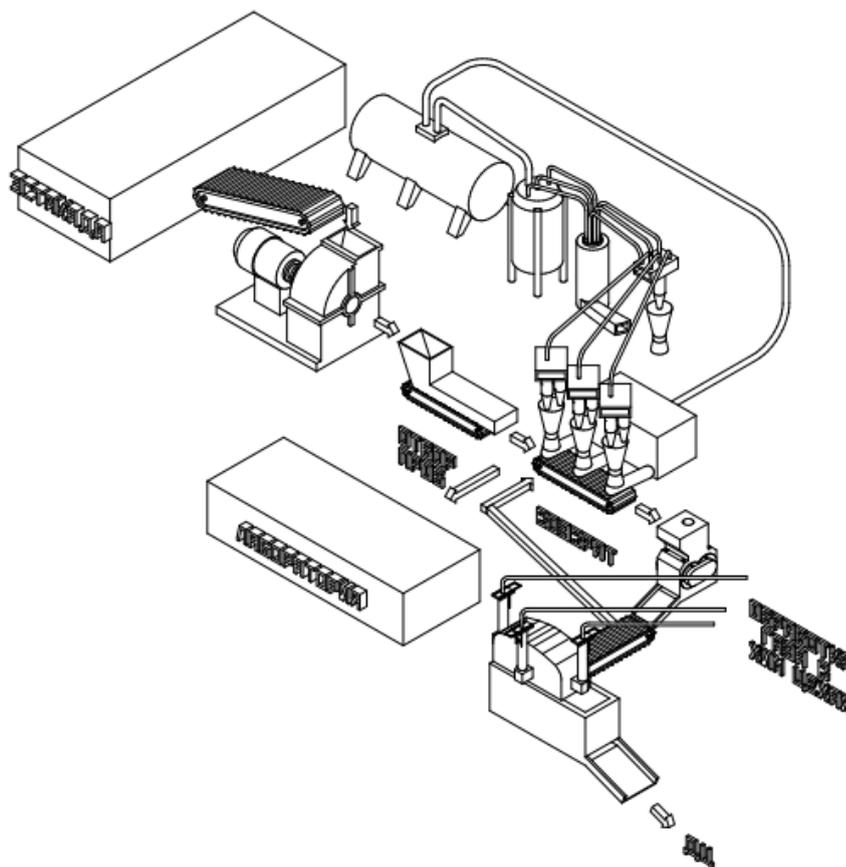


Рис. 1. Схема по производству формованного кокса на установке непрерывного коксования

Библиографический список

1. Способ получения формованного кокса. Авторское свидетельство SU 1169978 А1, 30.07.1985 / Глянченко В. Д., Иконникова Г. Г., Капустина Н. В. [и др.]. Заявка № 3647331 от 28.09.1983.27.
2. Фазовоструктурные особенности формованного кокса и топливноплавильных материалов на его основе / З. И. Некрасов, Н. А. Гладков, В. Ф. Гончаров [и др.] // Исследование шихтовых материалов и процессов доменной плавки : сборник статей. – Москва : Metallurgy, 1971. – Т. 33. – С. 5–12.
3. Гончаров В. Ф. Некоторые свойства формованного кокса / Гончаров В. Ф. // Коксохимическое производство. Вып. 47 (Научные труды ДМети). – Днепропетровск, 1962. – С. 136–151.
4. Свойства формованного кокса / Ю. Б. Тютюнников, Ю. Л. Тихомиров, Л. Г. Синцова [и др.] // Кокс и химия. – 1971. – №1. – С. 18–24.
5. Пинчук С. И. О рациональной форме и размерах формованного кокса / С. И. Пинчук // Кокс и химия. – 1968. – № 2.
6. Брук А. С. Сравнительная оценка свойств насыпных масс различных типов кокса / Брук А. С., Пинчук С. И., Гончаров В. Ф. // Кокс и химия. – 1966. – В. 9. – С. 18–21.
7. Гончаров В. Ф. Исследование металлургических свойств формованного кокса и условий его получения из углей Западного Донбасса : дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1963. – 172 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ ЭКРАНОВ ПРИ ПРОКАТКЕ РЕЛЬСОВ

Новожилов¹ Илья Сергеевич, руководитель отдела инвестиций
Рубцов² Виталий Юрьевич, гл. специалист по производству рельсов, к-т. техн. наук,
Улегин² Кирилл Андреевич, начальник прокатного производства
E-mail: Uriylo@mail.ru

1 – ПМХ «Тагильская сталь»

2 – АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»,
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. При производстве рельсов длиной более 100 м, для минимизации разницы температур, и как следствие механических свойств по длине рельса, необходимо производить снижение охлаждения задней части подката. В качестве прогрессивной технологии была предложена конструкция, рассчитаны параметры и изготовлен опытный образец теплоизолирующего экрана, предназначенного для установки в межклетьевом пространстве, в котором панели выполнены из набора прямоугольных труб. Экран имеет комбинированную функцию: верхняя часть экрана выполнена из теплоизоляционного наполнителя и выполняет функцию теплоаккумулирующего экранирования, а боковые панели используют функцию теплоотражательного экранирования. Для материала теплоаккумулирующих панелей трубы предложен сплав ХН45Ю, а для теплоизоляционного наполнителя муллитокремнеземистая вата. Опытно-аналитическим путем определена оптимальная толщина стенки труб. Расчетным путем определена толщина теплоизоляционного слоя. Использование данного типа экранирования создаст условия для сохранения тепла прокатного нагрева и получения как стабильного процесса прокатки, так и равномерного термоупрочнения рельсов с прокатного нагрева.

Ключевые слова. Теплоизолирующий экран, рельс, тепловой баланс, прокатка, прокатная клеть, экранирующие, теплоаккумулирующие.

В условиях современного развития железнодорожной системы транспорта, а также планируемому увеличению грузоперевозок в том числе в восточных направлениях, а также с учетом необходимости оперативной замены изношенных участков рельсов требуется повышение объемов производимых рельсов. За последние годы была произведена реконструкция рельсового производства на АО «ЕВРАЗ-НКМК» г. Новокузнецк (2013 г.) [1], введен в эксплуатацию новый рельсобалочный цех в ОАО «МЕЧЕЛ» г. Челябинск (2013 г.) [2], построен новый рельсобалочный цех ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» в Республике Казахстан г. Актобе (2015 г.) [3], Планируется техническое перевооружение рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ-НТМК» (ориентировочный запуск в строй 2024 г.) в г. Нижний Тагил [4], а также строительство нового рельсобалочного стана с возможностью производства рельсов максимальной длины 150 м в Балаково «Новосталь-М» (ориентировочный запуск в строй 2025г.) [5]. Для рельсов длиной 150 м одной из проблем производства будет – сохранение температурного баланса при прокатке, для минимизации разницы температур, и как следствие механических свойств по длине раската.

Для реализации данной задачи необходимо производить снижение охлаждения задней части подката во время его нахождения на промежуточно рольганге между клетями [6]. Известные законы лучистого теплообмена свидетельствуют о двух возможных путях решения рассматриваемой проблемы:

- путем снижения степени черноты горячего металла - использование теплоотражательного экранирования;

- путем уменьшения разности температур поверхностей горячего металла – использование теплоаккумулирующего экранирования [7].

Ранее экранирование металлопроката, исследование его влияния и применение в черной металлургии находило своё применение при тонколистовой прокатке, с целью решения проблемы разнотолщинности по ширине и длине проката, причиной которого являлось неравномерное остывание прокатываемого металла [8–10]. При производстве сортовых профилей, в том числе рельсов экранирование было нецелесообразно, в связи с ограничением длины раската до 100 м и применением термической обработки с повторного нагрева. При переходе на длину проката более 100 м, а также при повсеместном использовании технологий термической обработки с использованием тепла прокатного нагрева, остро встает проблема равномерности распределения температуры по длине и сечению профиля. Поэтому актуальным направлением является использование как теплоотражательного, так и теплоаккумулирующего экранирования при решении поставленной задачи.

Для общего решения задачи был разработан и предложен теплоизоляционный экран [11]. Секция экрана изображена на рисунке 1.

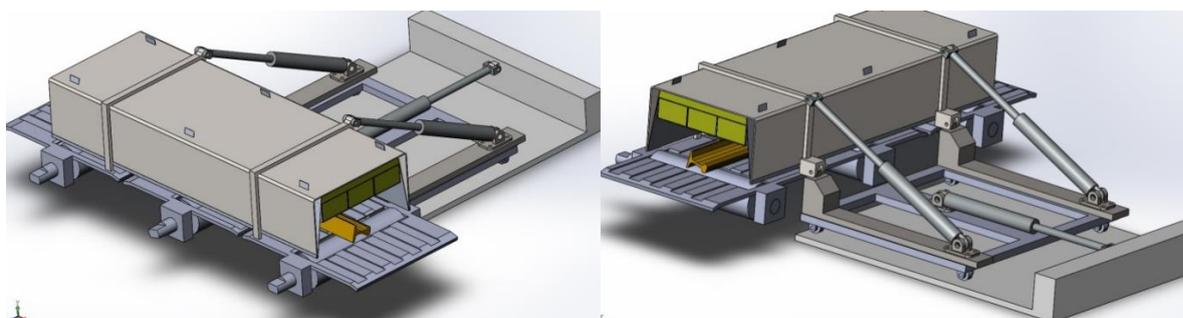


Рис. 1

Экранирующие панели выполнены из набора прямоугольных труб, заполненных теплоизолятором. Снижение температурного клина и перепада температуры по сечению готового проката на последнем проходе обеспечивается за счет того, что ширина панели по меньшей мере равна ширине указанной прямоугольной трубы [12].

Расчет потери тепла производился согласно известной методики, с учетом теплозащитной среды [13] для профиля рельса длиной 150 м. Температуре конца прокатки рельсов составила 1040 °С;

Согласно проведенным расчетам, в качестве основного материала для изготовления несущего корпуса теплоизоляционного экрана для рельсобалочного стана был выбран металлический профиль – «труба стальная прямоугольная»

Для материала теплоаккумулирующих панелей трубы предложен сплав ХН45Ю.

Опытным путем составлен график зависимости температурного клина от толщины стенки трубы представлен на рисунке 2, где 1–6 порядковый номер прокатываемой полосы металла. Оптимальная толщина стенки труб по результатам проведенных исследований составляет 1 мм.

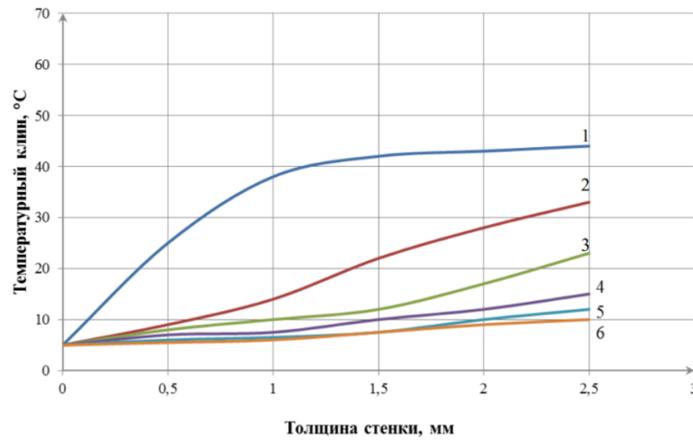


Рис. 2

Длина панелей была определена с учетом габаритов выбранного для установки прокатного стана, а именно межосевым расстоянием роликов рольганга, которое составляет 1350 мм. В качестве теплоизоляционного наполнителя выберем муллитокремнеземистую вату.

При определении толщины теплоизоляционного слоя по нормам плотности теплового потока следует принимать:

- 1) Расчетную температуру окружающего воздуха t_b , для объектов, расположенных в помещении 20 °С;
- 2) Среднегодовую температуру теплоносителя t_w , равную температуре конца прокатки рельсов 1040 °С;
- 3) Теплопроводность изоляционного слоя λ_k , согласно приведенным техническим характеристикам муллитокремнеземистой ваты равна 0,16 Вт/м·К;
- 4) Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух, α_b , согласно справочным данным принят равный 10 Вт/(м²·°С).
- 5) Плотность теплового потока q при расчетах по нормам плотности была рассчитана как отношение теплового потока φ к площади поперечного сечения s потока:

$$q = \frac{d\varphi}{ds} \quad (1)$$

Произведем расчет толщины теплоизоляционного слоя δ_k :

$$\delta_k = \lambda_k \left(\frac{t_w - t_b}{q} - \frac{1}{\alpha_b} \right) \quad (2)$$

Расчетная толщина верхних экранирующих панелей составила 170 мм.

Согласно полученным расчетным данным был сконструирован и изготовлен опытный образец теплоаккумулирующего экрана.



Рис. 3

Выводы

1. Была предложена конструкция, рассчитаны параметры и изготовлен опытный образец теплоизолирующего экрана, в котором панели выполнены из набора прямоугольных труб. Верхняя часть экрана выполнена из теплоизоляционного наполнителя, выполняющая функцию теплоаккумулирующего экранирования, а боковые панели используют функцию теплоотражательного экранирования.

2. Использование данных экранов рационально в межклетьевом пространстве, при производстве рельсов длиной более 100 м, для минимизации разницы температур, и как следствие механических свойств по длине рельса.

Библиографический список

1. Головатенко А. В. Ввод в эксплуатацию универсального рельсобалочного стана и освоение технологии производства рельсов на современном оборудовании в рельсобалочном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК» / А. В. Головатенко, К. В. Волков, И. В. Александров [и др.] // Черная металлургия. – 2014. – №6 (1374). – С. 32–38.

2. Уманский А. А. Развитие теоретических и технологических основ эффективного производства проката из рельсовых сталей на основе комплексного параметра оптимизации.: диссерт. д-ра. тех. наук : 2.6.4 / А. А. Уманский ; ФГАОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». – Новокузнецк, 2021. С. 295.

3. Новости черной металлургии по странам и регионам // Черные металлы. – 2013. – №10 (982). – С. 6–7.

4. Тютерев В. В. Возможность производства шпунтовой сваи корытного типа на рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ-НТМК» / В. В. Тютерев, В. Ю. Рубцов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 1. – С. 183.

5. На МЗ Балаково до 2025 г. построят универсальный рельсобалочный стан [электронный ресурс] / Металлоснабжение и сбыт - режим доступа [<https://www.metallinfo.ru/ru/news/129369>] : 10.02.2022, 21:29.

6. Полухин В. П. К расчету теплообмена в замкнутой системе теплопроводящих тел / В. П. Полухин, В. Н. Хлопонин, В. С. Савченко // Пластическая деформация металлов и сплавов / тр. МИСиС. – Москва : Металлургия, 1974. – Вып.. 76. – С. 222–225.

7. Хлопонин В. Н. Технические аспекты и практика применения теплосохраниющих экранов на промежуточном рольганге ШПС горячей прокатки // Сталь. – № 7. – 2021. – С. 26–28.
8. Хлопонин В. Н. Способы снижения охлаждения раската в технологической линии полосового стана горячей прокатки. // Metallургическая теплотехника: история, современное состояние, будущее. К столетию со дня рождения М.А. Глинкова: Тр. III международного научно.-практ. конф. (1-3 февраля 2006 г. МИСиС). -М.: МИСиС, 2006. – С. 617–624.
9. Хлопонин В. Н. Теплосохраниющие установки – эффективный метод энергосбережения на технологических линиях станов горячей прокатки // Материалы II конгресса печетрубостроения : тепловые режимы, конструкции, автоматизация, экология. – Москва : Стальпроект, 2006. – С. 103–108.
10. Секция теплоизоляционного экрана рольганга полосового стана горячей прокатки. Патент № 2122475 / В. Н. Хлопонин, Заявка № : RU97108894А, от 28.05.1997; опубл. : 27.11.1998. – 7 с.
11. Разработка и изготовление опытного образца теплоизоляционного (теплоаккумулирующего) экрана стана для прокатки широких балок (рельсов) : руковод.: И. С. Новожилов., В. Н. Хлопонин исп. О. Н. Караваева, К. А. Вачиян, ООО «МИСиС-Инжиниринг» Москва, 2019. 92 с. Библиогр.: с. 90. Регистрационный №114111140092. – Инв. №20150331 - контракт №12484р/23908 от 28.02.2014.
12. Теплоизоляционный экран для прокатки широких балок: пат RU 2480298 С1: МПК51 В21 1В 1/26 / В.Н Хлопонин, И.С. Новожилов: заявитель и патентообладатель Хлопонин Виктор Николаевич. – Заявка № : 2011146180/02, от 15.11.2011; опубл. : 27.04.2013, Бюл. №12. – 7 с.
13. Дубинский Ф.С. Методы проектирования температурных режимов горячей сортовой прокатки: учебное пособие / Ф. С. Дубинский, М. А. Соседкова. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 18 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

Объедкова Светлана Вячеславовна, студент, E-mail: sveta_obedkova25@mail.ru
Пыхтеева Ксения Борисовна, канд. техн. наук, доц., E-mail: pyhkb@mail.ru

НТИ (филиала) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В настоящее время в мировой практике производства чугуна широко применяется вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи. Данная практика отработана в промышленном масштабе, но не лишена серьезных недостатков: высокие капиталовложения; очень серьезные требования к качеству шихтовых материалов, кокса и вдуваемых углей. Необходимо разработать технологию по вдуванию горячих восстановительных газов. Задача ГВГ – удешевление процесса и достижения наибольшей экономии твердого топлива. Вдувание колошникового газа обеспечивает резкое снижение выбросов CO_2 и стабильное производство чугуна в течение длительного периода времени с использованием промышленной доменной печи. При использовании коксового газа в доменной плавке по сравнению с природным вносит меньше тепла в печь и содержит меньше углерода, поэтому коэффициент замены кокса коксовым газом по сравнению с природным газом будет ниже. В настоящее время наиболее распространенный путь получения ГВГ – конверсия природного газа. Существует три основных способа получения восстановительного газа путем конверсии – кислородная, паровая и углекислотная. Использование горячих восстановительных газов открывает возможность использования коксового газа в производственных масштабах и составляет новый эффективный этап в последовательном развитии комбинированного дутья, который требует постоянных и глубоких исследований.

Ключевые слова. Колошниковый газ, коксовый газ, паровая конверсия, кокс, плавка.

Расход кокса в доменных печах является одним из важнейших технико-экономических показателей работы металлургического комбината, во многом определяющим удельные затраты топливно-энергетических ресурсов на выпуск конечной металлопродукции, себестоимость и конкурентоспособность последней, а также уровень вредных выбросов предприятия в окружающую среду.

В настоящее время в мировой практике производства чугуна широко применяется вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи, которое позволяет снизить расход кокса на 150–200 кг/т чугуна. Эта технология отработана в промышленном масштабе, но не лишена серьезных недостатков: высокие капиталовложения; очень серьезные требования к качеству шихтовых материалов, кокса и вдуваемых углей.

Для решения данной проблемы необходимо рассмотреть технологию доменной плавки с вдуванием горячих восстановительных газов.

Известны способы получения чугуна при вдувании горячих восстановительных газов (ГВГ) в доменную печь с целью снижения удельных расходов кокса. При этом используется природный газ и другие виды топлив для получения конвертированных восстановительных газов.

Задача вдувания ГВГ – удешевление процесса и достижения наибольшей экономии твердого топлива.

Рассмотрим основные виды горячих восстановителей:

Вдувание колошникового газа

Известен способ производства чугуна с применением колошникового газа с получением из последнего горячих восстановительных газов методом очистки от углекислоты и паров воды. Способ включает вдувание колошникового газа печи через обычную фурму

без его нагревания, при этом дутье обычной фурмы обогащают кислородом, причем обогащение кислородом составляет не менее чем на 10% и не более чем на 40%.

Однако в этом случае требуется применение специальных реагентов для очистки колошниковогаза и трудно достичь достаточно высокой восстановительной способности газов вследствие наличия больших количеств азота. Кроме того, необходимо проводить дорогостоящие операции специальной очистки от углекислоты и паров воды.

При вдувании колошниковогаза через обычную фурму важно поддерживать теоретическую температуру газа, генерированного в результате сгорания в зоне горения перед фурмой (ниже называемую просто «температурой пламени») в надлежащем диапазоне. Из этих соображений предпочтительно не нагревать колошниковый газ и создавать степень обогащения кислородом дутья через обычную фурму на уровне 25%.

Таким образом рециклинг колошниковогаза нецелесообразен, так как необходимо замещать дефицит технических газов природным газом, лимиты на который и так выбираются полностью.

Вдувание коксового газа

Коксовый газ является легко и в больших количествах доступным из окружения доменной установки горючим газом, который по этим соображениям в особенности пригоден в качестве горючего газа согласно специфике технологического оборудования. Кроме того, этот газ содержит большие количества компонентов, которые сами или вследствие своих окислительных компонентов участвуют в реакции газификации альтернативного восстановителя.

Основным преимуществом коксового газа по сравнению с природным является в 1,8–1,9 раза меньше количество углеводородов в нем на единицу восстановительных компонентов, образующихся в печи. Это преимущество может быть реализовано в двух направлениях. При подаче 1,9–2,0 м³ коксового газа взамен 1 м³ природного, когда количество восстановительных компонентов дутьевых добавок сохраняется на одном уровне, сокращается расход кислорода дутья на сжигание углеводородов и возрастает его доля, расходуемая на сжигание кокса. Это способствует повышению скорости опускания кокса в фурменные очаги и соответствующему разрыхлению коксовой насадки в этой области – явление, аналогичное наблюдаемому при повышении концентрации кислорода в дутье. Разрыхление коксовой насадки способствует лучшей работе газового потока и повышению интенсивности плавки.

Таким образом замена части природного газа коксовым, содержащим меньше углеводородов, улучшает условия их окисления и способствует повышению эффективности использования газа; при том увеличивается общий объем дутьевых добавок и скорость их истечения в поток дутья, что улучшает смешивание потоков и соответственно условия окисления углеводородов. С этих позиций коксовый газ целесообразно использовать на большинстве или всех печах цеха в смеси с природным.

Вдувание конверсии природного газа

В настоящее время наиболее распространенный путь получения ГВГ – конверсия природного газа. Существует три основных способа получения восстановительного газа путем конверсии – кислородная, паровая и углекислотная, также могут быть варианты сочетания нескольких видов конверсии. Недостаток существующих способов конверсии заключается в использовании дорогостоящих катализаторов, сложности технологии, содержание значительного количества сажи и окислителей. При выборе способа конверсии природного газа с целью получения ГВГ для вдувания в шахту доменной печи следует предпочесть паровую конверсию кислородной и углекислотной. При современной высокой стоимости природного газа решающим недостатком кислородной конверсии становится относительно низкий выход газов восстановителей – 3 м³ на 1 м³ природного газа. При паровой и углекислотной конверсии выход газовосстановителей 4 м³ /м³ природного газа. При углекислотной конверсии в промышленных условиях в качестве окислителя ис-

пользуют не чистый углекислый газ, а колошниковый газ, содержащий CO_2 . В условиях доменного цеха это становится недостатком углекислотной конверсии

Таким образом при современной высокой стоимости природного газа целесообразнее проводить паровую конверсию, т.к. объем выходящих восстановительных газов будет максимален.

При введении доменной плавки наиболее перспективная технология будет являться по вдуванию коксового газа. Данная технология показала, что при вдувании ГВГ в горн доменной печи, будет снижаться удельный расход кокса за счет его замены на коксовый газ.

Технология доменной плавки с одновременным вдуванием пылеугольного топлива в горн доменной печи и горячих восстановительных газов в нижнюю часть шахты (вдувание ПУТ заменяет часть кокса-источника теплоты, уменьшая недостаток ее в нижней зоне доменной печи, а вдувание коксового газа устраняет недостаток восстановителей в верхней зоне доменной печи), позволяющая приблизить ход процесса и существенно снизить топливно-энергетические затраты на выплавку чугуна.

Использование горячих восстановительных газов открывает возможность использования коксового газа в производственных масштабах и составляет новый эффективный этап в последовательном развитии комбинированного дутья, который требует постоянных и глубоких исследований.

Библиографический список

1. Ярошевский С. Л. Перспективы и эффективность технологии выплавки чугуна в доменных печах / С. Л. Ярошевский, З. К. Афанасьева, А. В. Кузин [и др.] // Новости науки Приднепровья. – 2010. – С. 25–31.
2. Блоштейн Филипп Использование технических газов в доменном производстве / Блоштейн Филипп, Дево Мишель, Грант Майкл // Металлург. – 2011. – № 8. – С. 39–43.
3. Доменная печь ULCOS с рециклингом колошникового газа для минимизации выбросов CO_2 - окончательный результат испытаний / Ян ван дер Стел, Г. Лоуверсе, Д. Серт [и др.] // Steel Times International на русском языке. – 2013. Сентябрь. – С. 36–38.
4. Шевелев Л. Н. Применение технологии «Горячих восстановительных газов» для повышения энергоэффективности производства чугуна / Л. Н. Шевелев [и др.] // Сталь. – 2014. – № 5. – С. 103–107.

ПЕРЕРАБОТКА ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ НТМК»

Объедкова Светлана Вячеславовна, студент, E-mail: sveta_obedkova25@mail.ru
Бизик Даниил Сергеевич, студент, E-mail: danil.bizik.00@gmail.com
Пыхтеева Ксения Борисовна, канд. техн. наук, доц., E-mail: pyhkb@mail.ru

НТИ (филиала) УрФУ
г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Metallургическая отрасль находится на втором месте среди всех других отраслей промышленности по образованию побочных продуктов. Предприятия черной и цветной металлургии при извлечении металлов вынуждены использовать руду с низким содержанием основного элемента. Поэтому, на обогащение поступает огромный объем руды, а это, в свою очередь, порождает большие количества неиспользуемых компонентов. Именно накопление твердых отходов является главной экологической проблемой, возникающих в результате деятельности металлургических гигантов. Отвалы приводят к загрязнению почв, уничтожению растительности и образованию техногенных пустошей вокруг крупных предприятий. Из-за производства металла на АО «ЕВРАЗ НТМК» образуются доменные и сталеплавильные шлаки. Одним из видов шлаков является щебеночно-песчаные смеси. Часть ЩПС, фракции 0–10 мм не используется и накапливается в течении многих лет. Благодаря их переработке и извлечению полезных компонентов путем измельчения в мельницах и магнитного обогащения на аглофабриках можно получить дополнительное сырье для производства чугуна. Снизится экологическая нагрузка и повысится степень сквозного извлечения металла, а следовательно и появится экономический эффект от внедрения металлопродукта в доменную шихту.

Ключевые слова. Экологическая нагрузка, шлак, щебеночно-песчаные смеси, переработка, НТМК, металлопродукт.

Основной задачей, стоящей перед черной металлургией, является снижение потребления минеральных и энергетических ресурсов. Основными путями, направленными на достижения данной цели, является оптимизация технологических процессов производства. Современная схема металлургического производства является многоступенчатой и на каждой стадии производства образуется достаточно большое количество разнообразных отходов. Рециклинг и утилизация их имеет важнейшее экономическое и экологическое значение.

ЕВРАЗ – одна из крупнейших металлургических компаний. На сегодняшний день предприятия ЕВРАЗ Холдинга стремятся к снижению потенциального вреда для окружающей среды от добычи металлов и угля, а также от различных вспомогательных операций. На сегодняшний день компания использует самые передовые управленческие и технологические средства, которые позволяют сдерживать и регулировать нежелательное воздействие на окружающую среду, а также снижать потребление природных ресурсов.

Природоохранная деятельность – один из приоритетных направлений работы ЕВРАЗ НТМК. Большое внимание комбинат уделяет уменьшению техногенной нагрузки от объектов размещения отходов на окружающую среду. Ежегодно производится оценка воздействия отходов и разрабатываются мероприятия по сокращению воздействия объектов размещения отходов ЕВРАЗ НТМК на окружающую среду.

В ходе переработки отвальных шлаков на шлаковом отвале АО «ЕВРАЗ НТМК» занято порядка 30 млн т щебеночно-песчаной смеси (ЩПС) фракцией 0-10 мм (химический состав представлен в табл. 1). ЩПС в настоящее время не используется и ежегодно пополняется в размере 500 тыс. т.

Таблица 1

Химический состав щебеночно-песчаной смеси, %

Продукт	Cr ₂ O	CaO	SiO ₂	Fe _{общ}	Fe ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	S	Zn
ЩПС	30,3	23,2	21,5	16,3	13,9	11,7	8,5	3,2	7,0	3,5	0,62	0,29	0,06

В настоящее время металлургические шлаки используются преимущественно в дорожном хозяйстве в виде фракционированного щебня и отсевов дробления (табл. 2). При этом получаемые отсевы шлаков фракции 0–10 мм остаются без внимания потребителей и накапливаются в отвалах. Кроме того, фракционированные щебеночные материалы металлургических шлаков слабо проявляют гидравлическую активность и способность к самоомоноличиванию.

Таблица 2

Классификация щебеночно-песчаных смесей

Класс	Предельный размер фракции, мм	Применение
C1	120	Посадочные полосы аэродромов
C2	70	Термо- и влагустойчивые дороги
C3	70	Дополнительные слои основания автодорог
C4	40	Укрепление обочин, создания ЖД насыпей
C5	40	Строительство жилых зданий
C6	20	
C7	20	Строительство нижних слоев автодорог
C8	10	

Как видно из табл. 1, в состав ЩПС входит достаточно большое содержание железа. Наиболее оптимальная технология переработки является магнитное обогащение ЩПС, для последующего производства агломерата. Обогащение требуется для выделения полезных минералов (при необходимости и их взаимное разделение) или удаление вредных примесей.

Процесс обогащения проходит в несколько стадий. Для уменьшения размеров частиц твердого тела до требуемых размеров необходимо измельчить материал в шаровой мельнице. Полученные материалы разделить на классы по крупности с помощью спирального классификатора. Полученную смесь возможно обогатить на магнитном сепараторе и отправить на агломерационную машину с целью получения прочного спека. Полученный агломерат с добавлением металлопродукта от обогащения шлака возможно использовать в доменной шихте с целью повышения содержания железа в шихте.

Таким образом, данная переработка ЩПС позволит сократить накопленные объемы шлаковых отвалов, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, а также позволит повысить содержание железа в доменной шихте и степень сквозного извлечения железа, что даст значительный экономический эффект от внедрения обогащенного металлопродукта.

Библиографический список

1. Бега Р. И. Применение промышленных отходов для строительства городских дорог / Р. И. Бега, Л. В. Городецкий, С. Е. Шмелев // Технологии бетонов. – 2005. – № 3. – С. 22–24.
2. Основин В. Н. Строительные материалы и изделия в сельском строительстве и мелиорации. Практикум : учеб. пособие / В. Н. Основин. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – С. 91–106.

3. Технология неорганических порошковых материалов и покрытий функционального назначения / Ю. П. Удалов [и др.]. – Санкт-Петербург : ООО «Янус», 2001. – 428 с.
4. Пат. 2195440 РФ, МПК С 05 D 3/04, С 05 G 3/04. Способ производства удобрений или мелиорантов из металлургических шлаков / Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин, Г. В. Голов [и др.] // Заявл. 08.08. 2001; опубл. 27.12.2002.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПЛАВКИ ВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Половец¹ Михаил Вячеславович, аспирант, E-mail: mvpolovets@urfu.ru
Пыхтеева² Ксения Борисовна, канд. техн. наук, доц., E-mail: pyhkb@mail.ru

1 – УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, РФ
2 – НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В настоящее время в мире в связи с высокими темпами развития металлургии происходит быстрое истощение запасов железорудного сырья, поэтому возникает острая необходимость перехода на использование комплексных руд сложного состава, таким как ванадийсодержащие титаномагнетиты. Одной из ключевых стадий в схеме переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов является доменный передел, шихтой для которого служат агломерат и окатыши. Некачественный агломерат, разрушаясь, ухудшает газодинамику столба шихтовых материалов в доменной печи, приводя к расстройству хода печи, перерасходу кокса и повышенному образованию колошниковой пыли. В условиях выплавки ванадиевого чугуна нарушение работы доменных печей, помимо всего прочего, может привести к потерям ценного ванадия со шлаком и образованию тугоплавки карбидов и карбонитридов титана, осложняющих отработку продуктов плавки. В работе показана зависимость прочности, истираемости агломерата, а также содержание мелочи в готовом агломерате от основности. Определена оптимальная основность для получения наилучших физико-механических свойств агломерата Качканарского горнообогатительного комбината. Оценено влияние изменения основности и прочностных характеристик агломерата на технико-экономические показатели работы доменных печей Нижнетагильского металлургического комбината.

Ключевые слова. Агломерат, основность, прочность, ванадийсодержащие титаномагнетиты, ванадиевый чугун.

В настоящее время в мире в связи с высокими темпами развития металлургии происходит быстрое истощение запасов железорудного сырья, поэтому возникает острая необходимость перехода на использование комплексных руд сложного состава. К таким рудам относятся ванадийсодержащие титаномагнетиты. Эти руды занимают значимое место в металлургической промышленности ряда стран как главный сырьевой источник весьма дефицитного ванадия. Мировой объем производства стали из титаномагнетитового сырья составляет миллионы тонн в год [1].

Одной из ключевых стадий в схеме переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов является доменный передел, шихтой для которого служат агломерат и окатыши. Агломерат представляет собой сложную композицию, состоящую из большого числа компонентов, каждый из которых оказывает влияние на его свойства.

Некачественный агломерат, разрушаясь, ухудшает газодинамику столба шихтовых материалов в доменной печи, приводя к расстройству хода печи, перерасходу кокса и повышенному образованию колошниковой пыли [2]. В условиях выплавки ванадиевого чугуна нарушение работы доменных печей, помимо всего прочего, может привести к потерям ценного ванадия со шлаком и образованию тугоплавки соединений титана, осложняющим отработку продуктов плавки [3]. Поэтому актуальным является подбор параметров агломерационного процесса, позволяющим производить качественный агломерат, удовлетворяющий требованиям доменной плавки.

В работах [2–6] было показано, что прочность агломерата определяется строением его кусков и минералогическим составом. Кусок агломерата не является однородным

и представляет собой систему блоков, образующихся вокруг горящих частиц коксовой мелочи. При перегрузках и транспортировке агломерата в первую очередь разрушаются связи между блоками. Оптимальными, с точки зрения прочности, являются блоки размером 15–20 мм [2].

Кроме текстуры агломерата, на его прочность большое влияние оказывает минералогический состав спека. Вредное воздействие на прочность агломерата оказывает присутствие в его структуре двухкальциевого силиката (Ca_2SiO_4), образующемся при основности агломерата (CaO/SiO_2) 0,4–1,5. Кусок агломерата при охлаждения претерпевает полиморфное превращение, в ходе которого объем этой фазы возрастает на 11–12 %. Это создает огромное внутреннее напряжение в куске агломерата и его прочность резко снижается. Дальнейшее увеличение основности приводит к уменьшению количества хрупкого стекла и образованию прочной связки – ферритов кальция. Это способствует повышению прочности агломерата. Таким образом, высокоосновный агломерат оказывается таким же прочным, как неофлюсованный [3].

Целью данной работы является определение оптимальной основности агломерата в условиях АО «ЕВРАЗ КГОК» для повышения прочности готового агломерата. В проанализированных данных паспортного агломерата АО «ЕВРАЗ КГОК» за 2 года. Прочность агломерата после испытания в барабане (фракция >5 мм) менялась от 70,9 до 77,2 %, истираемость (фракция <0,5 мм) от 4,4 до 5,3, содержание мелочи (фракция <5 мм) от 4,9 до 10,9. Основность (CaO/SiO_2) от 1,8 до 3,0.

При повышении основности (CaO/SiO_2) с 2,0 до 2,5 ед. происходит увеличение прочности агломерата (+5 мм) на 0,4 % (абс.) (с 75,3 до 75,7 %). Однако, при повышении основности выше 2,5 прочность начинает снижаться. Так при увеличении основности с 2,5 до 2,9 прочности снизилась с 75,7 до 75,5 %.

Повышение основности до 2,5 ед. приводит к снижению содержания мелочи в готовом агломерате, а при повышении основности выше 2,5 ед. наблюдается увеличение.

Зависимость прочности агломерата после испытания в барабане (>5 мм) и мелочи в готовом агломерате от основности приведена на рисунке 1.

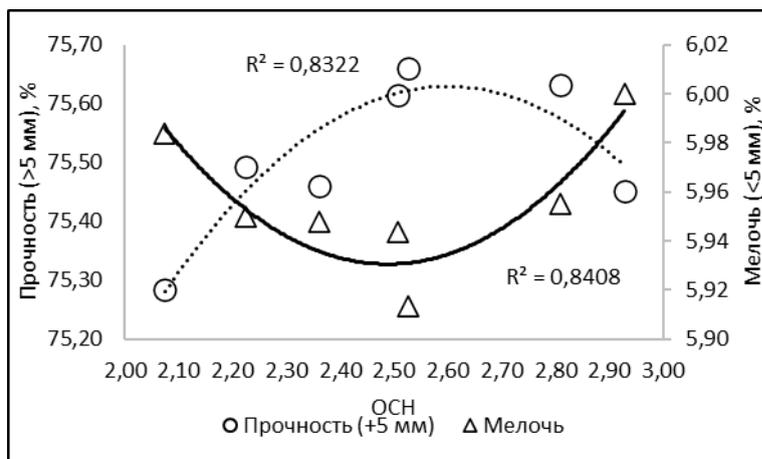


Рис. 1. Зависимость прочности агломерата и содержания мелочи от основности

При повышении основности с 2,0 до 3,0 ед. истираемость линейно снижается, на рисунке 2 приведена зависимость истираемости агломерата от основности.

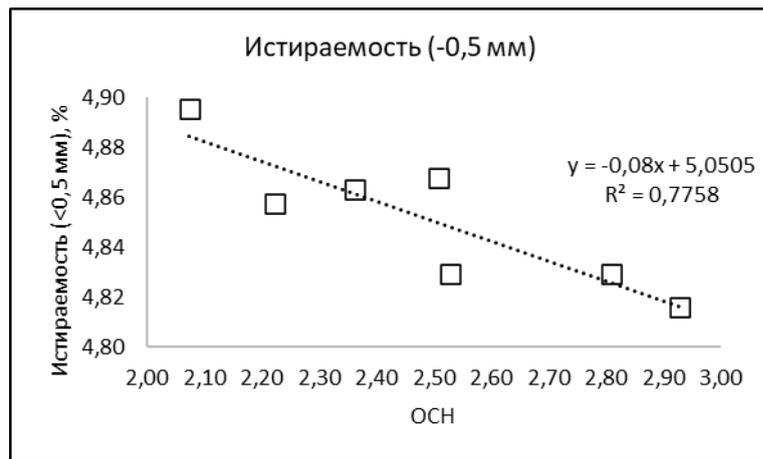


Рис. 2. Зависимость истираемости от основности агломерата

Из рисунков 1 и 2 видно, что при изменении основности от 2,0 до 2,5 прочностные характеристики агломерата возрастают, при основности выше 2,5 качество агломерата становится хуже. Следовательно, можно сделать вывод, что оптимальным соотношением CaO/SiO₂ будет являться 2,5 ед.

Далее сравним влияние повышенной основности агломерата на показатели работы доменной печи.

Согласно технологической инструкции для выплавки чугуна, принятой на АО «ЕВРАЗ НТМК» уменьшение содержания мелкой фракции 0-5 мм в железорудной части шихты на 1% увеличивает производительность доменной печи на 0,25% и снижает удельный расход кокса на 1,73 кг/т чугуна при неизменности других показателей.

Для анализа влияния основности агломерата на доменный процесс в базовом варианте примем основность 2,0 ед., а в опытном 2,5 ед.

При увеличении основности агломерата с 2,0 до 2,5 ед. для сохранения общей основности шихты на одном уровне необходимо заменить часть агломерата на окатыши, тем самым увеличив общее Fe шихты. На рисунках 3 и 4 приведен факторный анализ влияния применения более офлюсованного агломерата на производительность доменных печей и удельный расход кокса при неизменности других факторов, влияющих на ход доменной печи.

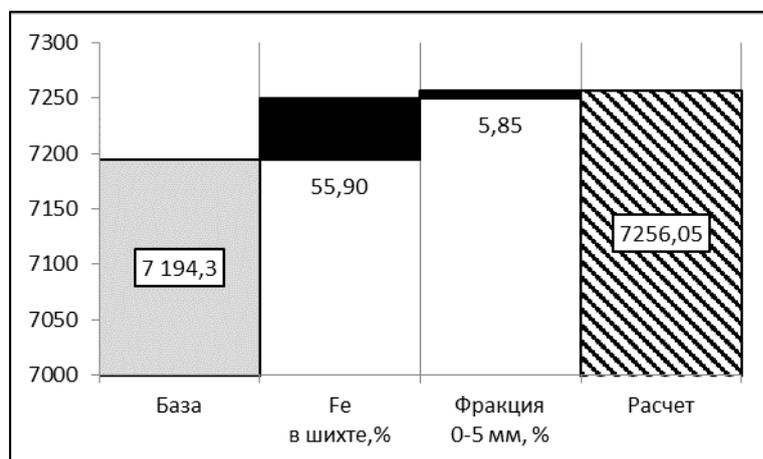


Рис. 3. Влияние более офлюсованного агломерата на производительность доменной печи

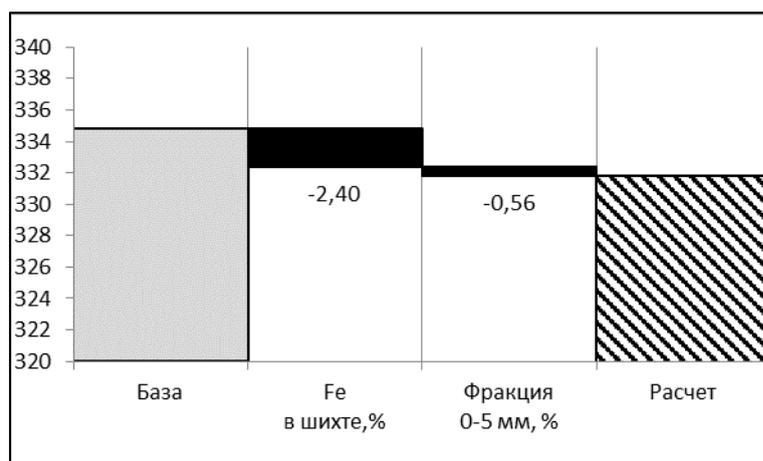


Рис. 4. Влияние более офлюсованного агломерата на удельный расход кокса

Увеличение основности с 2,0 до 2,5 ед. позволит снизить расход агломерата на 10%, заменив на окатыши, в результате чего:

- содержание мелкой фракции в доменной шихте снизится на 0,33 %;
- общее содержание железа шихты увеличится на 0,56 %;
- производительность доменной печи увеличится на 61,7 т/сут;
- удельный расход кокса снизится на 2,96 кг/т.

Выводы

Для эффективной работы доменных печей необходимо сырье высокого качества. Особенно в условиях доменной плавки ванадийсодержащих титаномагнетитов, для которой ухудшение шихтовых условий может привести к расстройству хода печи и потерям ценного ванадия со шлаком.

Одним из показателей качества железорудного сырья является его прочность, существенное влияние на которую оказывает минералогический состав, а, соответственно, и основность. Для получения агломерата с наилучшими показателями прочности в условиях АО «ЕВРАЗ КГОК» необходимо поддерживать основность на уровне 2,5 ед. Это позволит снизить содержание мелкой фракции в готовом агломерате и улучшить технико-экономические показатели работы доменных печей АО «ЕВРАЗ НТМК»

Библиографический список

1. Лякишев Н. П. Ванадий в черной металлургии / Н. П. Лякишев, Н. П. Слотвинский. – Москва : Металлургия, 1983. – 192 с.
2. Доменное производство : справочное издание. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Е. Ф. Вегмана. – Москва : Металлургия, 1989. – 486 с.
3. Гаврилюк Г. Г. Доменная плавка титаномагнетитов / Гаврилюк Г. Г., Леконцев Ю. А., Абрамов С. Д. – Тула : АССОД, 1997. – 216 с.
4. Попель С. И. Теория металлургических процессов / С. И. Попель, А. И. Сотников, В. Н. Бороненков. – Москва : Металлургия, 1956. – 732 с.
5. Ishikawa I.; Case M.; Abe Y.; Ono K.; Sugata M.; Nishi T.: Influence of post on blast furnace operation. Coke reactivity and its effects on blast furnace operation. Society; 1990. p. 37.
6. Sobyagina O. N., Filatov S. V., Zagainov S. A. Analysis of Titanium Reduction in a Blast Furnace // Steel in Translation. 2012. Vol. 42. No 3. Pp. 246–248.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ МАРКИ КС В ШИХТЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ АО «ЕВРАЗ НТМК»

Половец^{1,2} Михаил Вячеславович, вед. инженер-технолог, аспирант
Форшев¹ Андрей Анатольевич, зам. начальника технического управления
E-mail: mvpolovets@urfu.ru

1 – АО «ЕВРАЗ НТМК», г. Нижний Тагил, РФ

2 – УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, РФ

Аннотация. Особенностью доменного производства Нижнетагильского металлургического комбината (ЕВРАЗ НТМК) является выплавка передельного ванадиевого чугуна. С 2012 года технология выплавки ванадиевого чугуна включает в себя производство и вдувание пылеугольного топлива (ПУТ). В период освоения технологии вдувания ПУТ определен оптимальный состав угольной шихты: 70 % Т и 30 % Г (Д). В 2020 г. началось опытное использование угольных концентратов марки КС взамен угольных концентратов марки Т с постепенным увеличением его доли с 35 до 50 %. Целью данной работы являлось определение технологической возможности применения угольных концентратов марки КС в шихте ПУТ и его влияние на технико-экономические показатели доменной плавки ванадийсодержащих титаномагнетитов. По результатам опытного применения углей марки КС установлено влияние увеличения их доли на качественные характеристики ПУТ, такие как содержание золы, летучих, серы и углерода, коэффициент замены кокса. Также установлено влияние применения данной марки на удельные расходы кокса и суммарного топлива на доменную плавку. Определен оптимальный состав шихты при применении угольных концентратов марки КС ОФ «Распадская».

Ключевые слова. Пылеугольное топливо, шихта ПУТ, доменное производство, чугун, расход кокса.

Особенностью доменного производства Нижнетагильского металлургического комбината (ЕВРАЗ НТМК) является выплавка передельного ванадиевого чугуна. С 2012 года технология выплавки ванадиевого чугуна включает в себя производство и вдувание пылеугольного топлива (ПУТ). В период освоения технологии вдувания ПУТ определен оптимальный состав шихты: 70 % Т и 30 % Г (Д) [1-4].

В настоящее время в шихте пылеугольного топлива используются две марки угольных концентратов - марка Т ООО «Краснобродский Южный» и марка Д «р-з Шубарколь». В апреле 2020 г. в шихте ПУТ началось опытное использование угольных концентратов марки КС ОФ «Распадская» взамен угольных концентратов марки Т ООО «Краснобродский Южный» с постепенным увеличением его содержания с 35 до 50 %.

Целью данной работы являлось определение технологической возможности применения угольных концентратов марки КС в шихте ПУТ и его влияние на технико-экономические показатели доменной плавки ванадийсодержащих титаномагнетитов.

Уголь марки КС отличается от углей марки Т более высоким содержанием золы и летучих, но низким содержанием S. Основным преимуществом угольных концентратов марки КС перед Т является их стоимость. Угольки марки Т на 15 % дороже КС.

На рисунке 1 приведено влияние марки КС в шихте ПУТ на содержание золы и летучих в готовом ПУТ.

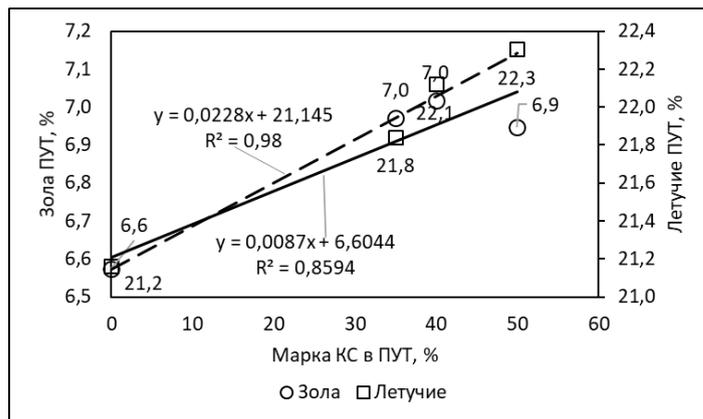


Рис. 1. Влияние углей марки КС на золу и летучие в готовом ПУТ

Из рисунка 1 видно, что при увеличении доли КС в шихте ПУТ на 1 % зола в готовом ПУТ увеличивается на 0,009 % (абс.), а летучие на 0,023 % (абс.). На рисунке 2 приведено влияние марки КС на серу в ПУТ.

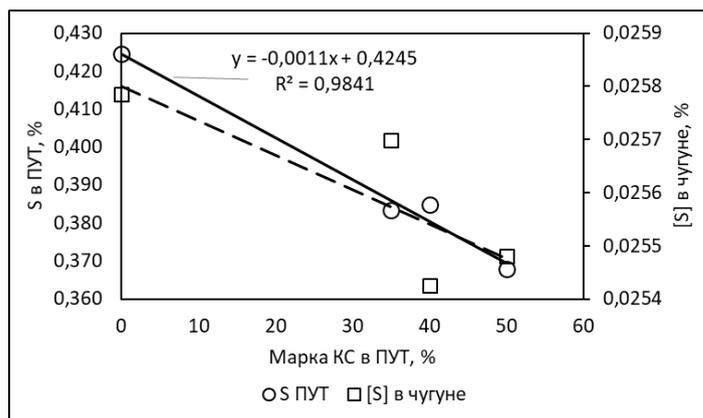


Рис. 2. Влияние углей марки КС на серу в ПУТ и чугуне

Из рисунка 2 видно, что увеличение угольных концентратов марки КС в шихте ПУТ снижает содержание S в готовом ПУТ на 0,001 % (абс.). Вслед за снижением S в готовом ПУТ снижается и S в чугуне.

Температура плавления золы, размолоспособность и другие характеристики ПУТ остались на том же уровне, так же, как и расход угля на приготовление ПУТ.

С увеличением золы и летучих в готовом ПУТ углерод, а, следовательно, коэффициент замены кокса пылеугольным топливом по углероду (КЗК) последовательно снижаются. На рисунке 3 приведено влияние углей марки КС на содержание углерода в ПУТ и коэффициент замены кокса (КЗК).

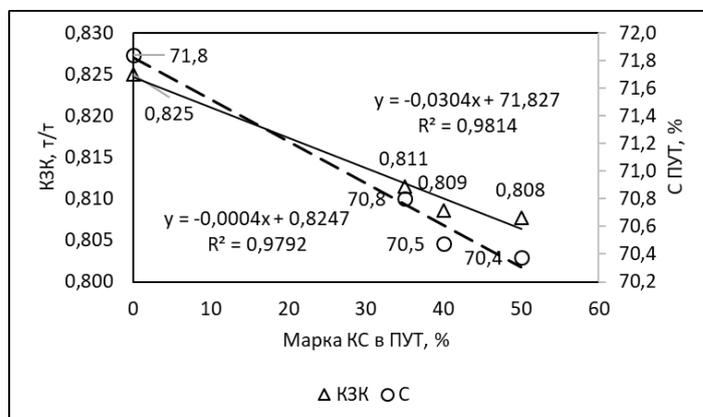


Рис. 3. Влияние углей марки КС на содержание углерода в ПУТ и КЗК

Снижение КЗК совместно со снижением расхода пылеугольного топлива привело к увеличению расхода кокса и суммарного топлива. На рисунке 4 приведено влияние марки КС на удельные расходы кокса и суммарного топлива.

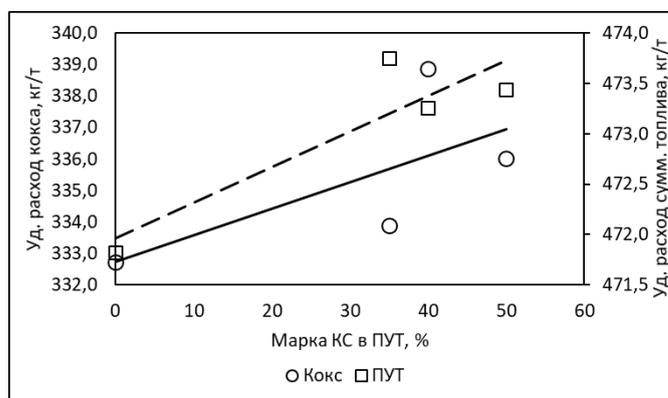


Рис. 4. Влияние марки КС на удельные расходы кокса и суммарного топлива

Применение марки КС в шихте ПУТ не оказало негативных воздействий на ход доменных печей и отработку продуктов плавки.

Оптимальным с точки зрения удельных расходов топливо следует принять следующее соотношение углей для ПУТ – 35 % марки Т, 35 % марки КС и 30 % марки Д. При такой шихте стоимость готового ПУТ снизится на 15 %, что позволит нивелировать перерасход кокса и улучшить экономические показатели доменных печей. Экономический эффект за период опытного применения угольных концентратов марки КС за 10 месяцев составил около 50 млн руб.

Вывод

С вводом угольных концентратов марки КС ОФ «Распадская» в шихту пылеугольного топлива вместо марки Т ООО «Краснобродский Южный» с постепенным увеличением его доли с 35 до 50 % отмечено:

- увеличение содержания золы и летучих в готовом ПУТ;
- снижение содержания серы в готовом ПУТ, следовательно, и в чугуне;
- снижение содержания углерода в ПУТ и коэффициента замены кокса;
- из-за снижения КЗК и удельного расхода ПУТ произошло увеличение расхода кокса и как следствие суммарного топлива;
- применение марки КС в шихте ПУТ не оказывает негативного воздействия на ход доменных печей и отработку продуктов плавки.

С учетом увеличения расхода кокса и снижения стоимости готового ПУТ оптимальным соотношением угольных концентратов в шихте ПУТ следует применять следующее: 35 % марки Т, 35 % марки КС и 30 % марки Д.

Библиографический список

1. Кушнарев А. В. Технология производства и применения пылеугольного топлива в АО «ЕВРАЗ НТМК» / Кушнарев А. В., Колпаков П. Н., Миронов К. В. [и др.] // Черные металлы. – 2020. – № 6. – С. 17–22.
2. Доменное производство: справочное издание. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Е. Ф. Вегмана. – Москва : Metallurgy, 1989. – 486 с.
3. Ishikawa I., Case M., Abe Y. etc. Influence of post on blast furnace operation // Coke reactivity and its effects on blast furnace o Society, 1990. P. 37.
4. Современна технология переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов / Миронов К. В., Форшев А. А., Загайнов С. А. [и др.] // Metallurgy чугуна. Перспективы развития до 2025 года: труды IX Международного конгресса доменщиков. – Москва : Издательский дом «Кодекс», 2018. – С. 91–97.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ДВУТАВРА 100Ш ИЗ ФАСОННОЙ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Полужтков¹ Дмитрий Александрович, инженер-технолог
Рубцов¹ Виталий Юрьевич, гл. специалист по производству рельсов,
канд. техн. наук, e-mail: Uriyot@mail.ru
Шевченко² Олег Игоревич, зав. кафедрой, д-р техн. наук, доц.
Миронова² Мария Владимировна, замдиректора, канд. техн. наук, доц.
Тютюрев¹ Валентин Владимирович, калибровщик цеха прокатки
широкополочных балок

1 – АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»,

2 – НТИ (филиал) УрФУ,

г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. С развитием промышленного и гражданского строительства появилась потребность в производстве крупногабаритных горячекатаных двутаврах, в том числе типа 100Ш. Для расширения сортамента АО «ЕВРАЗ НТМК» запланировано освоение линейки двутавров 80-90-100 из одного типоразмера непрерывно-литой заготовки. Для Проверка работоспособности калибровки и технологии производства двутавра 100Ш была реализована симуляция процесса прокатки в клети 1300 при помощи программы Deform-3D. Такой модели достаточно для принятия решения о возможности производства двутавра 100Ш на УБС, т. к. подкат, аналогичный полученному в процессе моделирования, использовался ранее (в 80-е годы XX века) для производства такой продукции. Результаты моделирования показали, что в условиях действующего производства возможно изготовление двутавра 100Ш из непрерывно-литой заготовки, предназначенной для прокатки двутавров 80-90-100. Однако для исключения дефектов в виде заката на полках балки необходимо произвести дополнительную ее кантовку после 2-ого прохода, которая не была предусмотрена ранее. Также показана необходимость жесткого позиционирования и удержания заготовки направляющими линейками, при ее подаче в чистой калибр, для избежания смещения заготовки.

Ключевые слова. Двутавр 100Ш, горячекатаная заготовка, НЛЗ, обжимная клеть, УБС, Deform 3D.

С учетом развития промышленного и гражданского строительства и созданием конструкций и сооружений, с большей несущей способностью и динамической устойчивостью, к качеству строительных профилей предъявляются все более высокие требования. Горячекатаные двутавры обладают целостной конструкцией и в отличие от сварных не имеют концентраторов напряжений, появляющихся в процессе температурных изменений при сварке. В связи с этим в ГОСТ Р 57837-2017 [1] было внесено изменение, в котором одним из пунктов были введены дополнительные виды горячекатанных двутавров, включающие 80Ш, 90Ш, 100Ш, 85ДБ, 90ДБ, 100ДБ. Настоящие двутавры с учетом их габаритов возможно производить на универсальном балочном стане (УБС), расположенном в цехе прокатки широкополочных балок (ЦПШБ) в АО «ЕВРАЗ НТМК». Стан был построен и запущен в строй в 1976 году с назначением прокатки крупногабаритных двутавров [2-4], однако масштабной потребности в двутаврах такого размера в СССР, а тем более после его распада не было. В настоящее время идея прокатки крупногабаритных горячекатаных двутавров возобновилась, поэтому актуально проведение анализа на возможность изготовления данной продукции. В качестве решения был предложен способ изготовления двутавра [5] из фасонной непрерывно-литой заготовки (НЛЗ), выполненной в форме стойки с параллельными противоположными гранями полков, где при использовании одного

типоразмера фасонной заготовки возможно получение всей линейки двутавров 80-90-100. Для каждого типоразмера была разработана калибровка валков. Далее предложено рассмотреть возможность прокатки двутавра 100Ш, на обжимной клети 1300, для чего по заданной калибровке были построены модели валков и произведено моделирование процесса прокатки данного двутавра 100Ш, при помощи программы моделирования Deform-3D, как наиболее подходящего комплекса моделирования для процессов прокатки [6-8]. Расчетная схема прокатки двутавра 100Ш подразумевает прокатку в двух калибрах обжимной клети, где в первом калибре происходит 6 пропусков, с одной кантовкой (после четвертого прохода), и чистовой проход во втором калибре (рисунок 1).

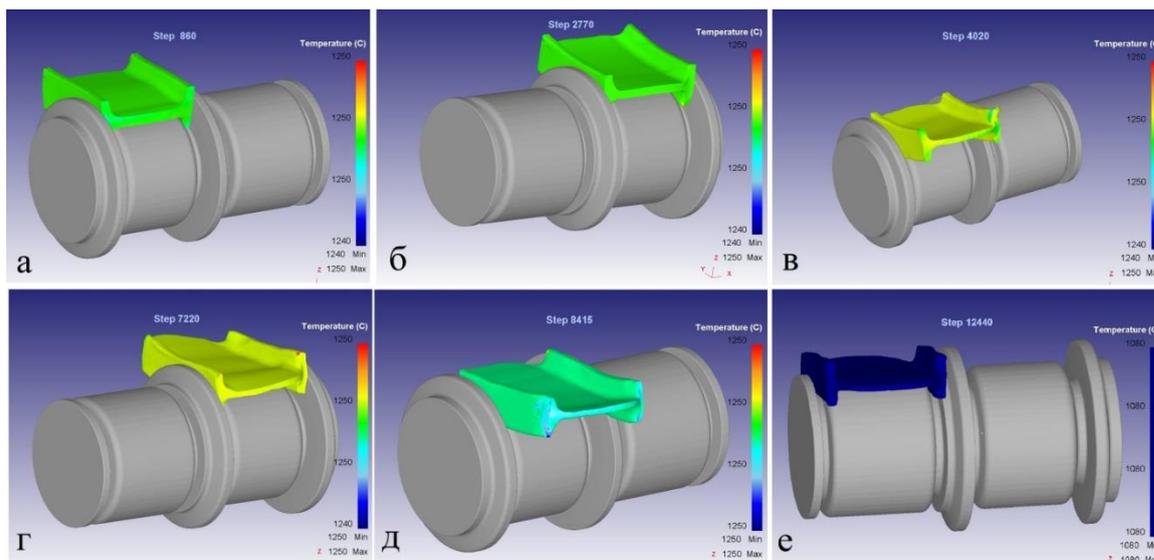


Рис. 1. Прокатка двутавра:

а – второй проход; б – третий проход, в – четвертый проход, г – пятый проход, д – шестой проход, е – седьмой проход (в чистовом калибре)

Анализируя результат моделирования согласно рисунку 1, можно считать, что прокатка двутавра в обжимной клети 1300 ЦПШБ возможна, при этом температура раската имеет перепады температуры как по сечению, так и по длине раската не более 10°C , что указывает на устойчивость полосы к остыванию при прокатке, с учетом ее габаритов и массы. В процессе моделирования было выявлено, что после третьего прохода образуется переполнение калибра по фланцу, что создает дефект «ус», который в последующем может превратиться в закат. Поэтому для исключения данного дефекта потребовалось задать кантовку полосы после второго прохода, чего не было в первоначальной схеме прокатки, по которой первая кантовка подразумевалась только после четвертого прохода. По новой схеме прокатки в первом калибре осуществляется кантовка после второго и после четвертого прохода. В остальном процессе моделирования калибровка валков оправдала ожидания, и после прокатки на 6-ом проходе в чистовом калибре размеры сечения заготовки практически соответствовали заданным расчетным значениям, с отклонением не более 1 мм. Дефекты по длине заготовки в процессе моделирования также отсутствовали, за исключением концевых дефектов, которые в данном случае помогут спрогнозировать длину языка с двух сторон заготовки и необходимую массу концевой обрезки, для получения адекватного расходного коэффициента при выборе длины заготовки.

Также существенным недочетом при проведении моделирования явилось получение процесса смещения и раскатки двутавра между буртами валков в чистовом калибре (рисунок 2а-2в). Это объясняется тем, что, чистовой калибр в отличие от чернового имеет открытый тип (линия разъема валков совпадает с нейтральной линией калибра, и процесс захвата полосы в таком калибре происходит неустойчиво. В закрытых калибрах, которым является первый (черновой) калибр на нижнем валке присутствуют высокие бурты, кото-

рые образуют полную зону перекрытия. При захвате металла в таком калибре металл с учетом длины языка, с двух сторон упирается в бурты нижнего валка (рисунок 1а - 1д). При задаче металла в чистовой калибр язык захватывается в межвалковый зазор по стенке двутавра и затем имеет свободное смещение относительно горизонтальной плоскости, т. к. полки ничем не ограничены, что привело к затягиванию двутавра с разворотом на левую полку (рисунок 2в). Для исключения данных необратимых последствий была опробована повторная задача двутавра при помощи ограничения его смещения боковыми линейками (рисунок 2г). После захвата двутавра с позиционированием по полкам направляющими линейками, получилось успешное моделирование процесса и полученный двутавр не имел видимых дефектов и геометрические размеры, практически совпали с расчетными. Размеры подката, который вышел из калибра составили - по толщине полки 49 мм, что на 1 мм превышает требуемые размеры, а по ширине заготовки – 1131 мм, что на 2 мм шире исходного калибра. По высоте и толщине полок произошло 100 % заполнение металлом.

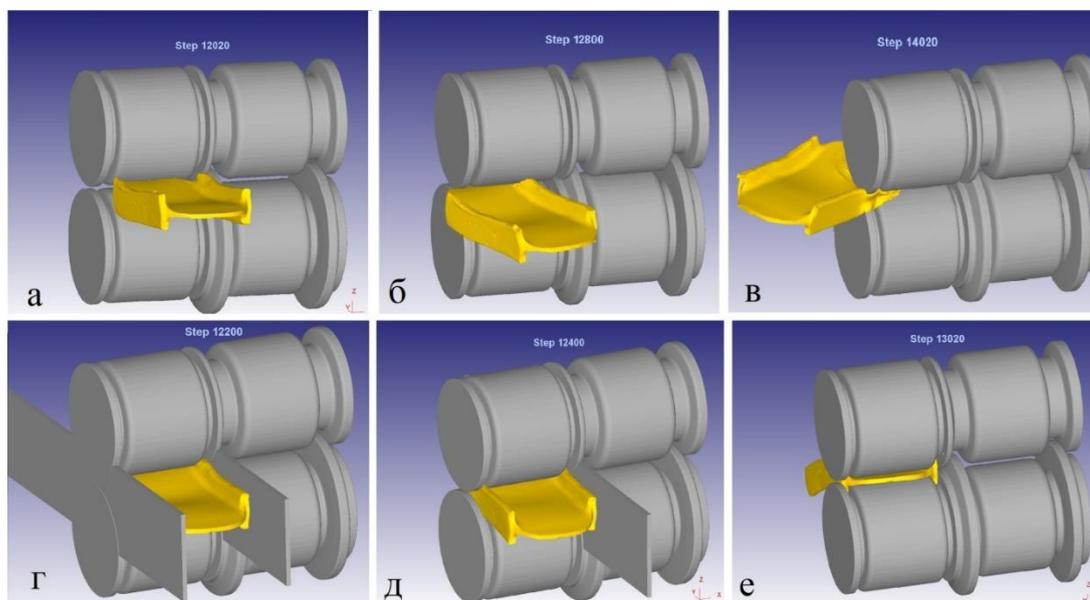


Рис. 2. а, б, в – задача и прокатка полосы в чистовом калибре без направляющих линеек, в, г, д – прокатка в чистовом калибре с использованием направляющих линеек

Дальнейшая проверка возможности производства двутавра 100Ш на УБС не требуется, т. к. данная продукция уже производилась в 80-е годы XX века. Для производства использовалась горячекатанная заготовка, другой конфигурации отличная от НЛЗ, которая после прокатки в клети 1300 превращалась в подкат, аналогичный полученному в результате моделирования.

Выводы

1. Согласно результатам моделирования, в программе Deform-3D в цехе прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ НТМК» возможно изготовление двутавра 100Ш из непрерывно-литой заготовки, предназначенной для прокатки двутавров 80-90-100.

2. В процессе моделирования было выявлено, что для исключения получения заката по полкам двутавра необходимо произвести дополнительную кантовку после 2-го прохода. Также показана необходимость жесткого позиционирования и удержания заготовки направляющими линейками, при ее подаче в чистовой калибр, для избежания смещения и дальнейшей раскатки заготовки.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. Дата введения 2018-05-01.
2. Бородин В. В. Новый сортамент – новые достижения. Балка ОАО «ЕВРАЗ НТМК» на строительстве спортивных объектов / В. В. Бородин, Д. Е. Кавун, К. Н. Шведов [и др.] // Черные металлы. – 2015. – № 5 (1001). – С. 32–34.
3. Киричков А. А. Универсальный балочный стан / А. А. Киричков, К. С. Дроздецкая, В. А. Быков // Сталь. – 1983. – № 2. – С. 45.
4. Кавун Д. Е. Выпуск новых видов проката – ориентация на потребителя / Д. Е. Кавун, В. В. Свириденко, В. Ю. Рубцов // Metallurg. – 2020. – № 6. – С. 27–31.
5. Способ изготовления горячекатаного двутавра из фасонной заготовки: пат 2758605 Рос. Федерация : МПК51 В21В 1/08; В21В 1/088; / П. А. Зажигаев, Д. Е. Кавун, О. В. Килишевский [и др.] ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество Нижнетагильский металлургический комбинат (АО ЕВРАЗ НТМК). – № 2020126090 ; заявл. 05.08.2020 ; опубл. 01.11.2021, Бюл. № 31. – 11 с.
6. Кинзин Д. И. Использование программного комплекса DEFORM-3D при моделировании процессов сортовой прокатки / Кинзин Д. И., Рычков С. С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 2. – С. 45–48.
7. Востров В. Н. Конечно-элементное моделирование процесса раскатки фланца в программном комплексе Deform 3d / В. Н. Востров, П. В. Кононов // Металлы. – 2016. – № 3. – С. 74–81.
8. Сидоров А. А. Моделирование процессов ОМД в программном комплексе Deform / А. А. Сидоров // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития. Статьи и тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 328.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЕРЫ В ОКСИДНОЙ БОРСОДЕРЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

Салина Валентина Алексеевна^{1,2}, ст. науч. сотрудник, канд. техн. наук
Жучков Владимир Иванович¹, гл. науч. сотрудник, д-р техн. наук
E-mail: valentina_salina@mail.ru

¹ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук,
²ФГБОУ ВО Уральский государственный горный университет
г. Екатеринбург, РФ

Аннотация. Приведены результаты термодинамического моделирования процесса распределения серы между металлом и оксидной системой $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ при силикотермическом восстановлении в интервале температур 1500-1750 °С и $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) = 1 - 2,5$. В качестве металлической системы использовали состав стали, %: 0,02 С; 0,34 Si; 1,8 Mn; 16 Cr; 0,03 S; Fe – остальное. Соотношение металл : шлак составило 100 : 10 соответственно. Термодинамическое моделирование проведено с применением программного комплекса HSC Chemistry 6.12 (Outokumpu, Финляндия). В базу данных программного комплекса HSC Chemistry 6.12 введены термодинамические характеристики соединений CrO и CaCr_2O_4 , скорректированы существующие в базе данных термодинамические константы соединений: Fe_3C , Fe_2Si , CrB, CrB_2 , Cr_2B . Определено, что повышение температуры процесса и основности шлака увеличивает коэффициент распределения серы L_s за счет образования сульфида CaS. Наибольшее значение коэффициента распределения серы составило 11,3 при температуре 1750 °С, 6 % V_2O_5 , 6 % Cr_2O_3 и $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) = 2,5$. Результаты моделирования процесса десульфурации металла могут быть использованы при разработке способа выплавки стали с низким содержанием серы.

Ключевые слова. Оксидная и металлическая фазы, термодинамическое моделирование, коэффициент распределения серы, температура, основность шлака, бор.

Сера является поверхностно-активным элементом, вредной примесью, снижающей антикоррозионные и другие свойства стали. Она обладает неограниченной растворимостью в жидком железе и ограниченной – в твердом. При кристаллизации стали по границам зерен выделяются сульфиды железа, которые с железом образуют легкоплавкую эвтектику и, как следствие, «горячие трещины» (красноломкость) [1–3].

Получение стали с низким содержанием серы возможно при повышении температуры процесса и основности шлака, т. е. ионной доли кислорода в шлаке. Основным десульфуратором стали является CaO, взаимодействие которого с FeS способствует образованию более прочного и плохо растворимого сульфида кальция CaS. Авторами работы [4] проведено термодинамическое моделирование процесса десульфурации среднеуглеродистой стали шлаками, содержащими 1–4 % V_2O_5 , и основностью от 2 до 5. Определено, что при основности шлака 3–4 отрицательное влияние V_2O_5 на его рафинирующие свойства снизилось. Так, при 4 % V_2O_5 и основности шлака 3–4 содержание [S] составило 0,003–0,004 %, а при основности шлака 5 концентрация [S] снизилась до 0,001 % при прочих равных условиях. Целесообразно дальше изучение термодинамической возможности протекания процесса десульфурации стали с применением многокомпонентных оксидных систем.

Целью настоящей работы является изучение влияния температуры процесса (1500–1750 °С) и основности шлака (1–2,5) многокомпонентной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ на коэффициент распределения серы (L_s) между оксидной и металлической фазами методом термодинамического моделирования.

В качестве исходных компонентов системы использовали следующие составы, %:
 1) оксидная система: 32,5–59,3 CaO; 18,6–41,5 SiO₂; 0–18 Cr₂O₃; 8 MgO; 6 B₂O₃; 3 Al₂O₃;
 2) металлическая система: 0,02 C; 0,34 Si; 1,8 Mn; 16 Cr; 0,03 S; Fe – остальное. Соотношение металл : шлак составило 100 : 10 соответственно. Расход восстановителя – кремния определен стехиометрически по реакциям (1) и (2) на полное восстановление хрома и бора:



Термодинамическое моделирование проведено с применением программного комплекса HSC Chemistry 6.12, разработанный Outokumpu (Финляндия), который основан на минимизации энергии Гиббса и вариационных принципах термодинамики [5]. Равновесный состав оксидной системы CaO–SiO₂–Cr₂O₃–MgO–Al₂O₃–B₂O₃ определен с применением подпрограммы “Equilibrium Compositions”. Исходные параметры состояния системы для проведения термодинамического моделирования: интервал температур 1500–1750 °C с шагом 50 °C, общее давление - 0,1 МПа, количество N₂ - 2,24 м³. Для вычисления использовали алгоритм программы минимизации потенциала Гиббса “GIBBS”. В базу данных программного комплекса HSC Chemistry 6.12 введены термодинамические характеристики соединений CrO и CaCr₂O₄, скорректированы существующие в базе данных термодинамические константы соединений: Fe₃C, Fe₂Si, CrB, CrB₂, Cr₂B [6].

Результаты термодинамического моделирования процесса десульфурации металлической системы приведены на рисунках 1–3. На рис. 1 показано, что повышение температуры процесса увеличивает коэффициент распределения серы L_S при содержании 6 и 18 % Cr₂O₃, основности шлака (CaO)/(SiO₂) = 2,5. Влияние температуры связано с тепловым эффектом процесса перехода серы из металлической системы в оксидную. Этот процесс является экзотермическим, поэтому при постоянстве других условий, чем выше температура, тем больше L_S (тепловой эффект процесса ~42 кДж/моль) [3].

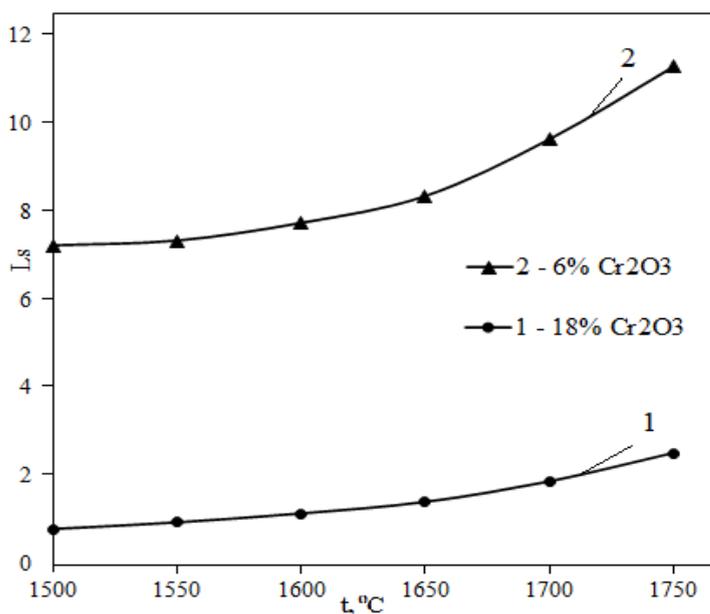


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения серы L_S от температуры металла (t) при 6 и 18 % Cr₂O₃, основности шлака (CaO)/(SiO₂) = 2,5

Основность шлака оказывает значительное положительное влияние на процесс десульфурации металла (рис. 2). Образование сульфида кальция CaS происходит по реакции



Для улучшения процесса десульфурации металла необходимо повышенное содержание свободного CaO в шлаке. Повышение содержания Cr_2O_3 в шлаке неблагоприятно влияет на процесс десульфурации металла (рис. 3).

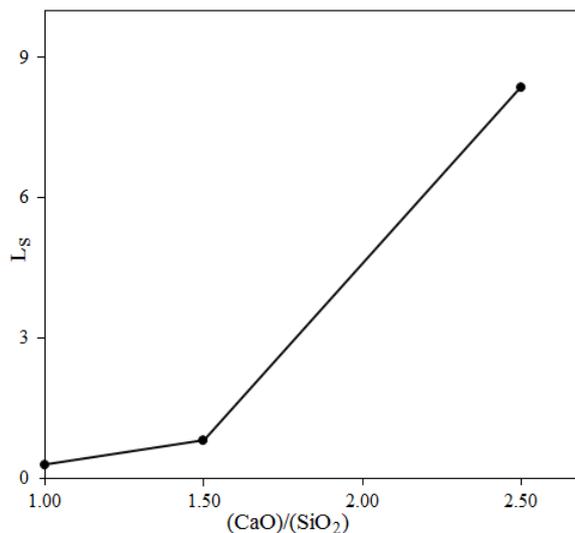


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения серы L_s от основности шлака при 6% Cr_2O_3 и температуре 1650 °C

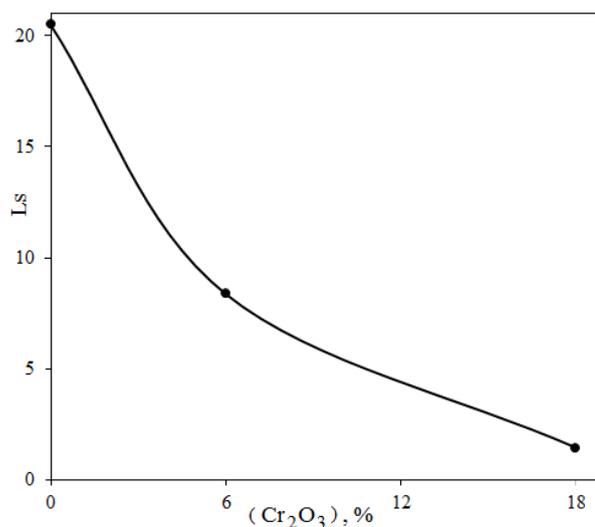


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения серы L_s от содержания (Cr_2O_3) при $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) = 2,5$ и температуре 1650°C

Таким образом, результаты термодинамического моделирования процесса десульфурации металла с участием оксидной системой $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ показало положительное влияние повышения температуры процесса и основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ на коэффициент распределения серы. Полученные графические зависимости могут быть использованы для разработки технологии получения стали с низким содержанием серы при обработке шлаками представленной многокомпонентной системы.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН.

Библиографический список

1. Дудкин, Д. А. Производство стали. Т. 3. Внепечная металлургия стали / Д. А. Дудкин, В. В. Кисиленко. – Москва : Теплотехник, 2010. – 544 с.
2. Смирнов, А. Н. Теория и практика непрерывного литья заготовок : монография / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев, С. В. Момонт, Ю. Н. Белобров. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 536 с.
3. Бигеев, А. М. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали : учеб. для вузов / А. М. Бигеев, В. А. Бигеев. – 3-е изд. перераб. и доп. – Магнитогорск : МТГУ, 2000. – 544 с.
4. Salina, V. A. Thermodynamic simulation of the influence of the temperature and the basicity of a boron-containing slag on steel desulfurization / V. A. Salina, A. V. Sychev, V. I. Zhuchkov, L. I. Leontev, A. A. Babenko // Russian metallurgy (Metally). – 2018. – Vol. 2018. – № 5. – P. 427–431.
5. Roine, A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical reactions and Equilibrium software with extensive thermochemical database / A. Roine. – Pori: Outokumpu research OY, 2002.
6. Глушко, В. П. Термические константы веществ / В. П. Глушко. – Москва : Академия наук СССР, 1979. – Вып. IX. – 574 с.; 1970. – Вып. IV. – Ч. I. – 509 с.

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ

Фирстов Александр Петрович, канд. техн. наук, доц.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. От молекулярной структуры зависят технологические и эксплуатационные свойства материала. Свойства молекулы лигносульфонатов, являющейся коллоидной частицей, определяются наличием и положением функциональных групп, расположенных на поверхности частицы. По литературным источникам имеются разногласия по поводу объяснения сложной структуры лигносульфонатов. Вызывает интерес изучение влияния функциональных групп на молекулярную структуру лигносульфонатов, изменяющих коллоидную молекулу лигносульфонатов при различном основании варочной кислоты.

Ключевые слова. Лигносульфонат, структура, функциональные группы, мицелла.

В структуре лигносульфонатов присутствуют разнообразные функциональные группы. Наиболее часто встречающимся являются следующие группы: гидроксильные (фенольные и спиртовые), карбонильные (при альдегидных, карбоксильных и кетонных), метоксильные и сульфогруппы [1, 4].

В качестве объектов исследования влияния функциональных групп на молекулярную структуру использовались лигносульфонаты Архангельского, Соликамского и Краснокамского ЦБК, составов (табл. 1).

Таблица 1

Составы лигносульфонатов с различным основанием варочной кислоты

Состав	Основание кислоты, Ca/Na, %
Архангельский ЛСТ	100/0
Соликамский ЛСТ	60/40
Краснокамский ЛСТ	50/50

По химической природе функциональные группы можно разделить на: сульфидные, карбонильные и гидроксильные, с их погрупповым определением при дальнейшем их ранжировании.

Подробные методики по определению функциональных групп приведены в следующих источниках:

- серосодержащие вещества, с дальнейшим их разделением по группам [3, 4];
- карбонильные, карбоксильные и альдегидные группы [5];
- метоксильные и гидроксильные группы [6];
- спиртовые группы [2, 7].

На основании полученных данных построена табл. 2.

Таблица 2

Функциональные группы лигносульфонатов с различным основанием варочной кислоты

Функциональные группы	Содержание, % масс.*		
	Архангельский ЛСТ	Соликамский ЛСТ	Краснокамский ЛСТ
Общие гидроксильные:	7,92	9,6	10,85
- фенольный гидроксил	5,03	6,5	6,93
- первичный спиртовый гидроксил	1,54	1,87	2,53
- вторичный спиртовый гидроксил	1,1	1,02	1,21

Общее содержание серы:	10,84	11,22	12,6
- сульфеновая	0,07	0,08	0,07
- сульфиновая	1,0	1,17	1,18
- сульфитная	7,1	7,03	7,4
- гидросульфитная	1,54	1,76	2,66
- сульфозфирная	1,1	1,15	1,18
Общие карбонильные:	4,0	3,82	4,32
- альдегидная	2,42	2,23	2,73
- карбоксильная	0,72	0,73	0,65
- кето-группа	0,83	0,8	0,82
Метоксильная	11,54	11,45	11,72
* - Принято среднее арифметическое результатов трех параллельных определений			

На реакционную способность лигносульфонатов большое влияние оказывают общие гидроксильные, метоксильные, карбонильные и карбоксильные группы.

Полученные данные (табл.1) позволяют судить о структурной природе лигносульфонатов с различным основанием варочной кислоты.

Растворы высокомолекулярных соединений, к которым отнесены растворы лигносульфонатов, имеют коллоидную природу структурных образований [1–3, 8]. В результате внутримолекулярного взаимодействия (Ван-дер-Ваальсовы и водородные силы) полимерные молекулы сворачиваются в клубки.

Изменения в содержании функциональных групп приводят к свертыванию макромолекул в компактные глобулы, и могут рассматриваться одновременно как процессы возникновения новых фаз. При достаточной продолжительной длине цепи они по форме представляют беспорядочно свернутые клубки с прошитыми гибкими цепями, расположенными между глобулами. В качестве ядра мицеллы они имеют отдельно повторяющиеся глобулы, состоящие из 18^{-ти} фенилпропановых единиц [8, 9]. Того же мнения придерживаются Афанасьев [10], Сарканен К. В. и Людвиг К. Х. [11], и Грушников О. П., Елкин В. В. [12]. Сами фенилпропановые кольца расположены перпендикулярно поверхности ассоциирующихся комплексов (рис. 2):

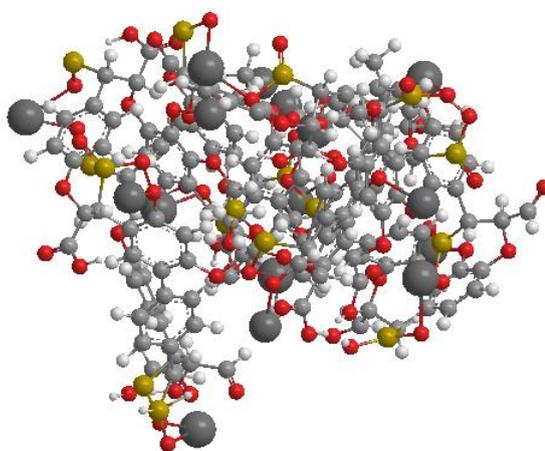


Рис. 2. Схема строения первичной структуры лигносульфоната натрия с 18-ю фенилпропановыми кольцами

Повышение содержания ионов кальция влечет за собой снижение гидроксильных групп в γ -положении алкильной части и в пара-положении арильной части. Эти группы гидроксильных ответственные за образование водородных связей, и если фенольный гидроксил связывает фенольные группы между собой в первичной структуре лигносульфоната, то спиртовые гидроксильные группы связывают между собой сами первичные группы,

образуя более сложную глобулярную структуру. Помогают первичным гидроксильным группам вторичные гидроксильные группы.

Карбонильные группы расположены в алкильной части фенилпропанового кольца, и часть их находится на периферии, другие – внутри макромолекулы.

Внутренние группы связывают не первичные, а более сложные структуры, образуя макроструктурные глобулы, и вытесняют из межмицеллярного пространства дисперсионную воду. Наружные группы реакционны и причастны к внешним воздействиям дисперсионной среды, что создается пониженный электростатический заряд на поверхности мицеллы, и, как следствие, кальциевый лигносульфонат имеет пониженное pH-раствора. Взаимные связи фенольных ядер осуществляются через пропановую часть, обладающие активными группами.

Сульфогруппы, за счет своего расположения в фенилпропановом кольце в основном находятся на поверхности ядра мицеллы и являют собой потенциалопределяющий слой мицеллы, образуя поверхности ассоциирующихся комплексов. Плотная упаковка ассоциирующихся комплексов явно выражена у лигносульфонатов кальция (рис. 3. а). Более рыхлое строение у лигносульфонатов натрия (рис. 3. б).

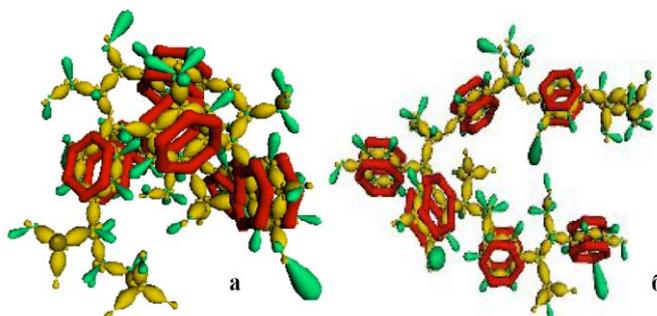


Рис. 3. Фрагмент молекулы лигносульфоната Архангельского ЦБК (а) и Соликамского ЦБК (б), с молекулярными орбиталями [338]

Кальциевые лигносульфонаты имеют большую агрегативную устойчивость, обусловленную сниженной поверхностной энергией системы благодаря наличию на поверхности частиц дисперсной фазы двойного электрического слоя.

Так же, сульфогруппы связывают первичные структуры двухвалентным катионом кальция [13], понижая растворимость и набухание молекулы лигносульфоната (рис. 4). Гидросульфит кальция, имеющий более высокую степень диссоциации по сравнению с сернистой кислотой, снижая кислотность среды, одновременно увеличивает концентрацию ионов гидросульфита [2].

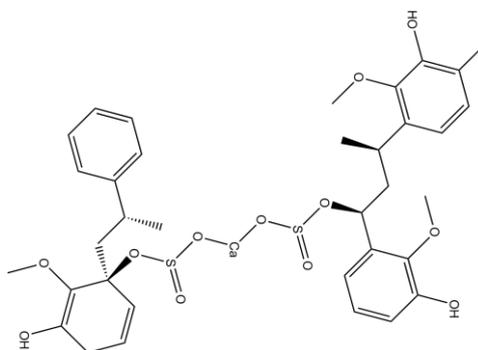


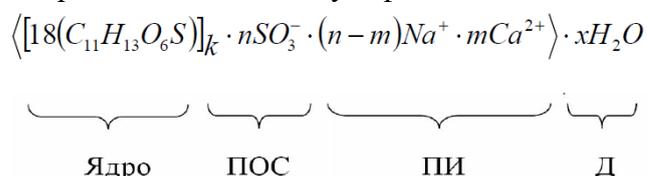
Рис. 4. Связь сульфогрупп с катионом кальция

Метоксильным функциональным группам фенольных ядер присуща малая реакционная способность. Поэтому потеря метоксильных групп не происходит, а содержание серы снижается значительно меньше [14] из-за их близкого расположения к арильной части, где будет присутствовать эффект экранирования. Фенольные и метоксильные группы являются донорами электронов, ориентирующими реакции электрофильного замещения (SN₂) в *орто*- и *пара*положениях.

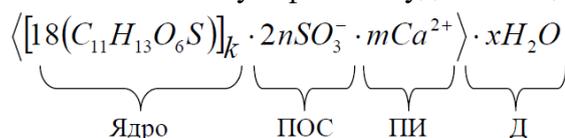
Таким образом, в плотной упаковке глобул, присущих лигносульфонатам с высоким процентным отношением кальция, наблюдается снижение функциональных групп, за исключением карбоксильных групп.

Это можно объяснить связыванием этих групп между собой, как на уровне первичных звеньев, так и на уровне глобулярных структур в молекуле лигносульфонатов. Свободными группами, не потерявшими реакционную способность, будут сульфитные группы, их большинство, которые и будут создавать потенциалопределяющий слой (ПОС) в мицелле. Карбоксильные группы, находящиеся на поверхности глобул, являются сильноокислыми и при наличии катиона натрия будут связаны с ним, образуя слой противоионов (ПИ). Завершать построение мицеллы лигносульфоната будет дисперсионный слой (Д) из молекул воды.

Подводя итоги сказанному формулы соликамского и краснокамского лигносульфонатов можно выразить следующим образом, причем *n* и *m* будут выглядеть с различными значениями, для определенного лигносульфоната:



А молекула архангельского лигносульфоната будет выглядеть немного иначе:



Библиографический список

1. Лигнины (структура, свойства и реакции) / под ред. К. В. Сарканена и К. Х. Людвига. – Москва : Лесная промышленность, 1975. – 629 с
2. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин, А. В. Оболенская, В. П. Щеголев. – Москва : Лесная промышленность, 1978. – 368 с.
3. Современные методы исследования в химии лигнина : По материалам всесоюз. семинара. – Архангельск, 3–7 июля 1968 г. – 163 с.
4. Базарнова Н. Г. Химия древесины и ее основных компонентов / Алтайский университет : методическое пособие / Базарнова Н. Г. – Барнаул, 2002. – 50 с.
5. Фаттахов К. З., Писаренко Е. С., Верхотина Л. Н. Коллоидный журнал, 1956. т. 18, № 1. С. 101–122.
6. Грушников О. П. Достижения и проблемы химии лигнина / Грушников О. П., Елкин В. В. – Москва : Наука, 1973. – 296 с.
7. Алексеева А. П. Исследование функционального состава и молекулярного распределения лигносульфонатов / А. П. Алексеева, И. А. Тихонов, С. А. Лапицкая // Химия и химическая технология. – 1975. – № 8. – С. 163–172.
8. Fogelberg V. S., Forss K., Fugleberg S. Ibid., 49, 725 (1967).

9. Forss K., Fremer K.-E., Stenlund B. Spruce Lignin and Its Reactions in Sulfite Cooking. I // Paperi ja Puu, 1966. Vol. 48, № 9. P. 565–574.
10. Структура и физико-химические свойства лигносульфонатов / Н. И. Афанасьев [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 2005. – 160 с.
11. Сарканен К. В. Лигнины: структура, свойства и реакции : [пер. с англ.] / К. В. Сарканен, К. Х. Людвиг. – Москва : Лесная промышленность, 1981. – 402 с.
12. Грушников О. П. Достижения и проблемы химии лигнина / Грушников О. П., Елкин В. В. – Москва : Наука, 1973. – 296 с.
13. Ахмедов Л. С. Водорастворимые полимеры и их взаимодействие с дисперсными системами / Л. С. Ахмедов, Э. А. Арипов, Г. М. Вирская [и др.]. – Ташкент : «ФАН» Узб. ССР, 1969. – 250 с.
14. Кистер Э. Г. Химическая обработка буровых растворов / Кистер Э. Г. – Москва : Недра, 1972. – 392 с.

**МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА,
ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ,
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРАМВАЙНОГО ПУТИ

Абрамов Роман Шамильевич, студент
E-mail: obramoff-71-605@yandex.ru

НТИ (ф) УрФУ Нижнетагильский машиностроительный техникум
Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Исправный трамвайный путь является залогом безопасности и комфорта пассажирских перевозок. Поддержание пути в исправном состоянии достигается за счет своевременной диагностики, проводимой с помощью ручных и автоматизированных измерительных средств. Ручной способ проведения измерений широко применяется в трамвайных хозяйствах, несмотря на его низкую производительность. На железных дорогах и в метрополитенах используются автоматизированные системы, установленные на вагонах-путеизмерителях. Они позволяют производить оценку состояния пути при взаимодействии с подвижным составом и обладают высокой производительностью. В статье рассмотрены существующие бесконтактные системы для диагностики железнодорожного пути, размещаемые на вагонах-путеизмерителях и диагностических комплексах инфраструктуры. Существует необходимость создания подобных систем для диагностики трамвайного пути с целью своевременного выявления неисправностей и сведения к минимуму использования малоэффективного ручного труда. Предложен вариант использования железнодорожных лазерных триангуляционных сканеров для измерения ширины колеи и камер машинного зрения для выявления дефектов верхнего строения пути. Создана схема оптического сканера-профилометра для определения степени износа головки и губки трамвайного рельса. Рассмотрен вариант размещения измерительного оборудования на высокопольных трамваях.

Ключевые слова. Измерительный комплекс, геометрические параметры пути, безопасность движения, оптическое сканирование, машинное зрение, профилометрия.

Ежегодно сотни трамваев перевозят миллиарды пассажиров во многих городах нашей страны. Выполнение такой объемной транспортной работы невозможно без обеспечения безопасности движения, а своевременная диагностика состояния рельсового пути является ее залогом. Одной из причин сбоев в движении является сход подвижного состава с рельсов. Это приводит к нарушению графика, порче инфраструктуры и подвижного состава.

С целью диагностики состояния пути и дальнейшего предотвращения сходов с рельсов регулярно проводятся профилактические мероприятия, включающие в себя визуальный контроль элементов пути, измерение стыкового зазора, определение положения пути по уровню и ширины колеи ручным шаблоном. Такая диагностика требует привлечения персонала и обладает низкой производительностью ввиду значительной протяженности трамвайных линий.

На железных дорогах СНГ эксплуатируются современные вагоны-путеизмерители (ЦНИИ-4) и диагностические комплексы инфраструктуры («Эра», «Интеграл»),

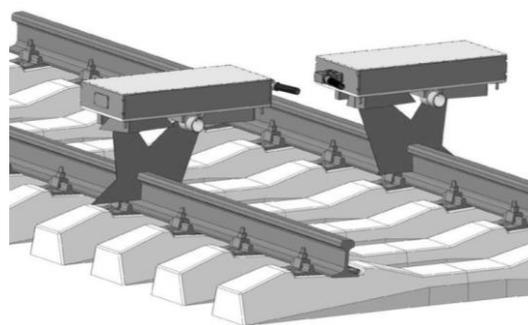


Рис. 1. Схема сканирования рельсов при помощи оптических

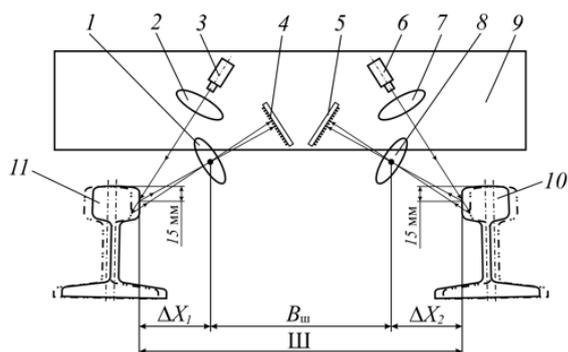


Рис. 2. Схема измерения ширины колеи триангуляционными сканерами:
 1, 2, 7 и 8 – объективы; 3 и 6 – оптические источники лазерного луча; 4 и 5 – линейные матрицы фотоэлементов;
 9 – неподрессоренная балка тележки;
 10 и 11 – рельсовые нити

тания (рис. 2). Приведённая на рисунке схема используется в путеизмерителе ЦНИИ-4 и может быть установлена на трамвай без существенных доработок. Трамвайный путь, в отличие от железнодорожного, имеет кривые малого радиуса, на которых существенен вынос кузова вагона, что вызывает необходимость размещения измерительного оборудования на ходовых тележках трамвая.

Высокопольный четырехосный трамвайный вагон (как пассажирский, так и специальный) наилучшим образом подходит для размещения измерительного оборудования, т. к. имеет свободное пространство рядом с ходовыми тележками и не требует внесения масштабных изменений в конструкцию. Для размещения измерительного оборудования могут быть использованы трамваи, имеющие песочницы только перед передними тележками (Tatra T3, T6B5; 71-402, 71-403, 71-405).

На задней тележке вагона с обеих сторон возможно размещение сканеров 1–4 на кронштейнах 5 (рис. 3), закрепленных к продольным балкам тележки 6. Сканеры 1 и 2 являются триангуляционными и используются для измерения ширины колеи (аналогично схеме на рис. 2).

оснащенные бесконтактными оптическими системами контроля, которые, наряду с измерением геометрических параметров пути, позволяют построить поперечный профиль рельса (рис. 1) и определить износ поверхности катания. Оптическая измерительная система состоит из лазерных триангуляционных сканеров и линейных камер машинного зрения, с помощью которых возможно распознавание дефектов верхнего строения пути. Подобные измерительные системы на трамваях по сей день не применялись. Поскольку линейные камеры и лазерные сканеры обладают компактными размерами и не имеют элементов, контактирующих с рельсами, они могут быть применены и для диагностики трамвайного пути.

Ширина колеи определяется как расстояние меж боковыми гранями головок рельсов на высоте 15 мм от поверхности катания

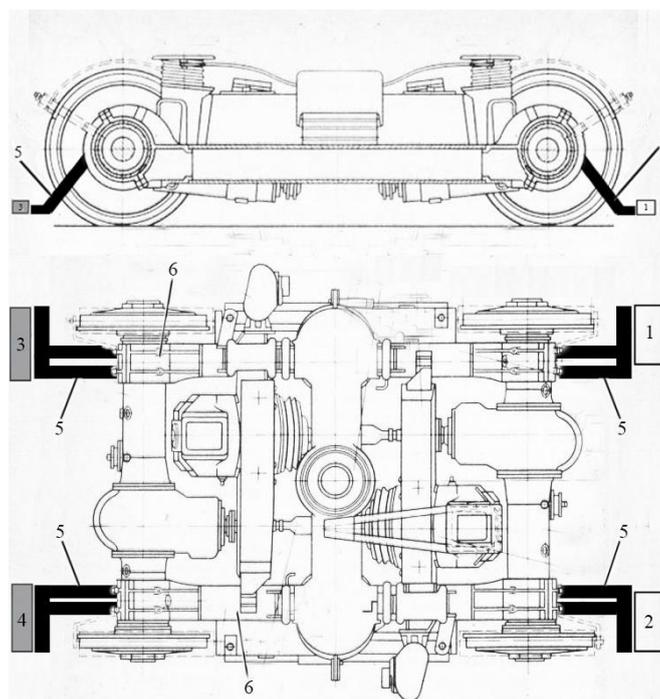


Рис. 3. Размещение лазерных сканеров на тележке: 1,2 – сканеры для измерения ширины колеи; 3,4 – сканеры-профилометры; 5 – кронштейны; 6 – продольные балки тележки. Пунктиром показаны кронштейны надколесных кожухов

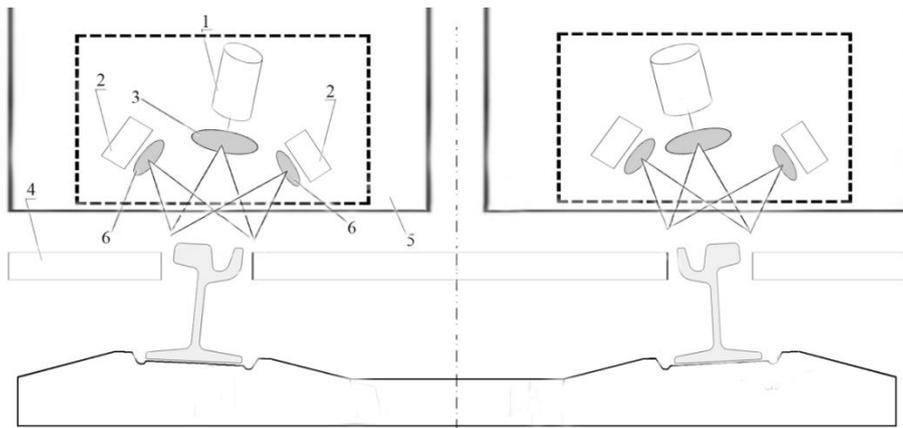


Рис. 4. Оптическая схема сканера-профилометра:
 1 – лазерный излучатель; 2 – матрицы принимающих камер;
 3 – фокусирующие линзы; 4 – дорожное покрытие;
 5 – кронштейн

Трамвайный рельс является сложным объектом для оптического сканирования, так как имеет губку, и использование триангуляционных сканеров возможно только для измерения ширины колеи. В качестве профилометра такой сканер не может быть использован, поскольку пространство желоба рельса останется необследованным, полноценному сканированию воспрепятствует и закрытое верхнее строение трамвайного пути (подошва и шейка рельса скрыты дорожным покрытием).

Для определения износа поверхности катания и губки рельса требуется создание сканеров-профилометров 3 и 4 (рис. 3), размещаемых также на задней тележке. Они могут быть изготовлены на базе оптической схемы (рис. 4), применяемой в 3D-сканерах.

На передней тележке трамвая, у второй по ходу движения колёсной пары, на двух кронштейнах, аналогичных кронштейнам для крепления сканеров (рис. 3), могут быть расположены четыре линейных камеры машинного зрения с подсветкой. Такая система применяется на железнодорожном диагностическом комплексе инфраструктуры «Интеграл» (рис. 5). Она позволяет вести съёмку верхнего строения пути и при помощи специализированного программного обеспечения производить распознавание дефектов. Так как две камеры расположены снаружи рельсовой колеи, потребуется увеличение вырезов в фальшбортах, закрывающих нижнюю часть кузова вагона, для обеспечения беспрепятственного смещения камер при повороте тележки.

Таким образом, с помощью оптических сканеров и профилометров возможно определение следующих параметров пути: ширины колеи, износа головки и губки рельса, величины стыкового зазора (по времени прерывания отражения луча от поверхности катания), величины ступеньки на стыках (смещения одного рельса относительно другого по высоте). С помощью камер машинного зрения возможно обнаружение дефектов поверхности катания и рельсовых стыков (обрыв гибких соединителей, отсутствие или ослабление болтовых соединений).

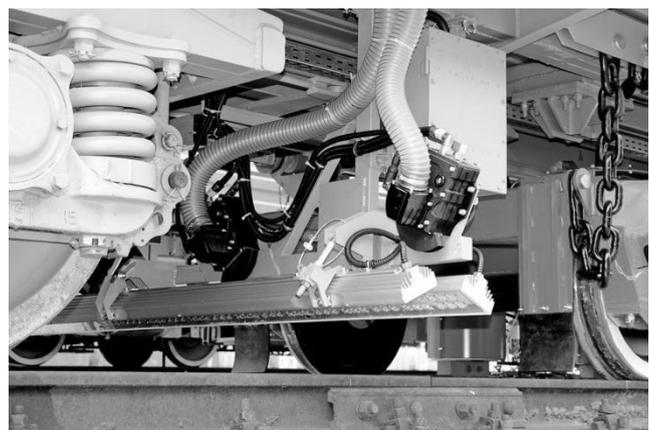


Рис. 5. Расположение камер машинного зрения на диагностическом комплексе «Интеграл»

Применение оптических измерительных средств позволит свести к минимуму использование малопроизводительного ручного труда, а размещение оборудования на пассажирском трамвае обеспечит непрерывность и многократность контроля.

Библиографический список

1. Кулябко, А. М. Век путеизмерения: от Долгова до «ИНТЕГРАЛА» / А. М. Кулябко // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 6.
2. Ларионов, Д. Ю. Разработка инерциально-оптической системы диагностики рельсового пути : Автореф. дис. канд. технич. наук. – Санкт-Петербург, 2016.
3. Системы контроля профиля рельсов <https://www.tvema.ru/639>
4. Информационно-измерительная система «ИНФОТРАНС-ВЕЛАРО Rus» <https://clck.ru/gg4TH>
5. Попов, В. А. Выбор и обоснование параметров автоматизированного диагностического устройства рельсовой дорожной колеи : Автореф. дис. канд. технич. наук. СПбГУПС. – Санкт-Петербург, 1998. – 25 с.
6. Модернизированная лазерная система измерения ширины колеи ЛШК-М <http://www.pik-progress.ru/products.html>

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, СОВМЕЩАЮЩИХ ФУНКЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ

Васильев Александр Сергеевич, магистрант гр. 140411/12
Родионов Владимир Иванович, канд. техн. наук, проф., науч. рук-ль

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
г. Тула, РФ

Аннотация. В состав обзорно-прицельных комплексов, установленных на подвижных объектах, входят системы автоматического управления, совмещающие функции стабилизации (компенсации) качки основания и наведения линии визирования. Они строятся на управляемых гиросtabilизаторах. Достоинством управляемых гиросtabilизаторов является свойство компенсировать качку основания и управлять положением стабилизируемой оси. Однако, это свойство ограничено небольшими скоростями наведения, особенно в высокоточных управляемых гиросtabilизаторах. В настоящее время в следящих электроприводах широко применяются структурные методы повышения качества регулирования, использующие пропорционально-интегральные регуляторы последовательно-параллельные корректирующие фильтры, работающие на принципе регулирования по отклонению Ползунова-Уатта. Такие регуляторы можно использовать и в совмещенных системах как неселективные методы повышения качества стабилизации и наведения. В некоторых системах управления используют методы формирования дополнительных сигналов, основанные на принципе регулирования по воздействиям Понселе-Чиколева. Дополнительные сигналы получают с помощью прямых или косвенных методов измерений управляющий возмущающих воздействий.

В работе предлагается расширение диапазона скоростей наведения управляемых гиросtabilизаторов помощью селективного управления, которое достигается при введении в контуры управляемого оcтабиллизатора ополнительных связей и звеньев. Достоинством селективных методов регулирования является возможность обеспечения избирательности координат системы (различной их реакции) к возмущающим и задающим воздействиям.

Ключевые слова. Стабилизация, наведение, линия визирования, гиросtabilизатор, передаточная функция.

На изображении 1 представлена структурная схема одного канала наведения с передаточными функциями (ПФ) основных элементов $W_K, W_{y1}, W_{дс1}, W', W'_{уп}, W, W_{oc}$ и дополнительных звеньев W_1, W_2, W_3, W_c [1]. Здесь $\omega_{лв}, \omega_{y2}$ – угловые скорости задающей ЛВ и УГС; α – погрешность наведения управляемых гиросtabilизаторах; U_K – напряжение координатора цели; M_1, M_2 – возмущающие моменты на оси наведения и кожухе гироскопа; s – оператор Лапласа.

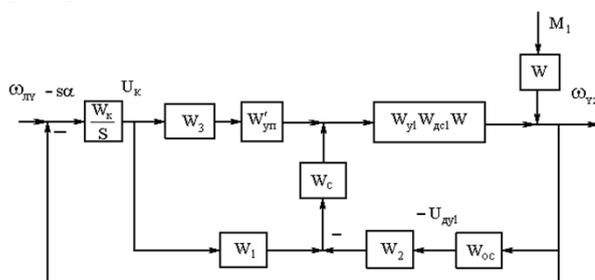


Рис. 1. Структурная схема канала наведения

Из структурной схемы определяем ПФ УГС по угловой скорости ω_{Y2} и ошибке α от возмущения M_1 :

$$W_{M1}^\omega = \frac{\omega_{Y2}}{M_1} = \frac{W}{1 + W_{Y1}W_{DC1}WW_{OC}W_C};$$

$$W_{M1}^\alpha = \frac{W}{(1 + W_{Y1}W_{DC1}WW_{OC})s + 1 + W_{Y1}W_{DC1}WW_{OC}K_H^\sigma}. \quad (1)$$

Анализ ПФ (1) показывает, что в УГС на ДУС ($K_3^\sigma \neq 0$) наведение может осуществляться ускоренно от стабилизирующего двигателя. Для повышения точности УГС обычно в контуре стабилизации используют изодромное звено с ПФ $W_C = (s + K_H^\sigma) / s$.

При этом в режиме стабилизации ГС с изодромным селективным контуром стабилизации компенсирует возмущающий момент M_1 как ГС с замкнутым контуром сопровождения.

Для обеспечения ускоренного наведения ГС от стабилизирующего двигателя необходимо, чтобы передаточная функция W_1 имела следующий вид:

$$W_1 = \frac{W_{DV1}W_{Y1}W_{DC1}H_1 \cos \varphi_{B0}^*}{J_\eta J_{Z3} s^3 + (J_\eta b_3 + J_{Z3} b_1) s^2 + (J_\eta K_3^\sigma + H_1^2 \cos^2 \varphi_{B0}^* + b_1 b_3) s + b_1 K_3^\sigma}.$$

На низких частотах

$$W_1 = K_1 / (T_1 p + 1), \quad (2)$$

где $K_1 = H_1 K_1^\sigma \cos \varphi_{B0}^* / b_1 K_3^\sigma$; $T_1 = J_\eta K_3^\sigma + H_1^2 \cos^2 \varphi_{B0}^* / b_1 K_3^\sigma$.

Исследование чувствительности ГС с селективным контуром стабилизации к изменению параметров звеньев показывает, что наибольшее приращение угловой скорости стабилизации вызывает относительное изменение параметров компенсирующего звена W_1 :

$$\partial \omega_{Y2} = \left(\omega_{Y2} - \frac{W_3 W'_{Y1} W_{Y1} W_{DC1} W U_K}{1 + W_{Y1} W_{DC1} W W_{OC} W_C} \right) \frac{\partial W_1}{W_1} + \frac{\omega_{Y2}}{1 + W_{Y1} W_{DC1} W W_{OC} W_C} \cdot \frac{\partial W}{W}. \quad (3)$$

В режиме ускоренного наведения $W'_{Y1} = W_2 = W_3 = 1$ и ошибка ГС с селективным изодромным контуром стабилизации определяется в преобразованиях Лапласа выражением

$$\alpha(s) = \frac{Ws(M_1 + W'_{Y1} W_{DC1} M_3) - [(1 + W_{Y1} W_{DC1} W W_{OC})s + \dots + W_{Y1} W_{DC1} W W_{OC} K_H^\sigma] \omega_{LV}}{(1 + W_{Y1} W_{DC1} W W_{OC})s^2 + W_{Y1} W_{DC1} W [W_{OC} K_H^\sigma + \dots + W_K (W_1 + 1)]s + W_K W_1 K_H^\sigma W_{Y1} W_{DC1}},$$

которое позволяет оценить его точность при различных формах возмущающих моментов M_1 , M_3 и задающей угловой скорости ω_{LV} .

Для постоянных воздействий ($M_1^* = \text{const}$, $M_3^* = \text{const}$, $\omega_{LV}^* = \text{const}$) в установившемся режиме, применяя теорему о предельном переходе, получим

$$\alpha^* = (b_1 / K_1^\alpha \cos \varphi_{B0}^*) (M_3^* / H_1 - \omega_{LV}^*), \quad (4)$$

где $K_1^\alpha = W_K W_{Y1} W_{DC1}$.

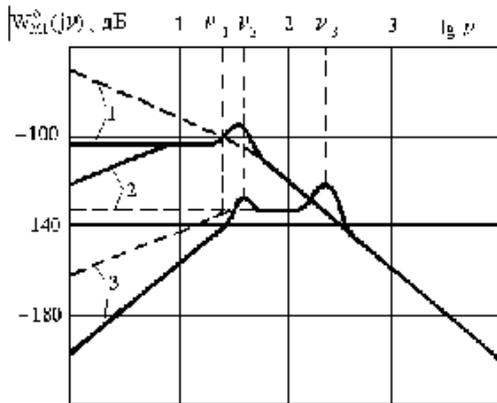
Из формулы (5) следует, что в ГС отсутствует ложный сигнал управления от постоянного возмущения M_1^* и ошибка не увеличивается при слежении с постоянной угловой скоростью $\omega_{ЛВ}^*$. Это позволяет использовать сигнал ошибки ГС для пропорциональной навигации подвижных объектов. Такого результата нельзя было достичь в обычном (неселективном) ГС [2].

Для оценки полосы стабилизации и степени подавления возмущающего воздействия M_1 при селективном контуре стабилизации с неполной компенсацией воспользуемся ПФ вида

$$W_{M1}^\alpha = \frac{s[T_1(1 + \Delta T_1)s + 1](J_{Z3}s^2 + b_3s + K_3^\sigma) \cos \varphi_{B0}^*}{a_6s^6 + a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0}. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) ГС для режима стабилизации ЛВ (кривая 1) и режима управления с обычным (кривая 2) и селективным (кривая 3) контурами стабилизации. Пунктирными линиями изображены также для трех случаев ЛАЧХ ГС, но с пропорциональным законом регулирования в контуре стабилизации ($K_H^\sigma = 0$).

$$\alpha_\omega(t) = \frac{k_\sigma k_\Gamma}{k_\alpha} [1 + A_H e^{-\lambda H t} \sin(\nu_H t + \varepsilon_H)] \omega_{ЛВ}^*; \quad (6)$$



Исследование динамики селективного ГС на ЭВМ показало, что для обеспечения требуемого демпфирования высокочастотной составляющей переходного процесса (колебаний с частотой ν_3) необходимо $\Delta K_1, \Delta T_1$ выбирать в пределах $0,1 \dots 0,2$. В этом случае свободное движение ГС с селективным изодромным контуром стабилизации от начальных условий $\dot{\alpha}(0) = \dot{\alpha}_0$ в режиме управления может быть определено упрощенно по формуле

$$\alpha(t) = [A_C^y e^{-\mu_2 t} \sin(\nu_2 t + \varepsilon_2)] \dot{\alpha}_0, \quad (7)$$

где

$$A_C^y = \frac{J_\eta (J_\eta K_3^\sigma + H_1^2 \cos^2 \varphi_{B0}) (\mu_2^2 + \nu_2^2)^2}{K_1^\alpha K_H^\sigma H_1 K_1^\sigma \cos^2 \varphi_{B0} (1 - \Delta K_1) \nu_2};$$

$$\mu_2 = \frac{a_1}{2a_2}; \quad \varepsilon_2 = -2 \arctg \frac{\nu_2}{\mu_2}, \quad (8)$$

а остальные параметры приведены в [1].

Синхронные динамические ошибки ГС с селективным изодромным контуром стабилизации, вызванные инерционными моментами рамок карданова подвеса для малых частот колебания основания по крену ($\nu_X^2 \ll \nu_3^2$) имеют вид

$$\alpha(t) = - \frac{(J_{Y1} + J_{X2}) \cos \varphi_{A0}^* \sin \varphi_{B0}^* \mathcal{G}_0 \nu_X^4}{K_1^\alpha (1 + \Delta T_1) [(\mu_2^2 + \nu_2^2 - \nu_X^2)^2 - 4\mu_2^2 \nu_X^2]^{\frac{1}{2}}} \cos(\nu_X t + \varepsilon). \quad (9)$$

Анализ последних выражений показывает, что погрешности ГС с селективным контуром стабилизации существенно возрастают при увеличении частоты качки основания и компенсирующая связь может быть использована для повышения точности ССиУ на частотах $\nu_x < \nu_2$.

Библиографический список

1. Родионов, В. И. Гироскопические системы стабилизации и управления / В. И. Родионов. – Тула : ТулГУ, 2000. – 192 с.
2. Родионов, В. И. Система стабилизации и наведения с подчиненным регулированием / В. И. Родионов, М. А. Кожекуров.
3. Родионов, В. И. Декомпозиция и метод исследования гироскопических систем, использующих принцип «наведение-стабилизация»/ В. И. Родионов.

РЕГИСТРАТОР ДАННЫХ НА БАЗЕ NI MYRIO

Васильева¹ Лидия Николаевна, канд. пед. наук, доц.
Тимофеева¹ Наталия Николаевна, канд. физ.-мат. наук, доц.
Морозова² Надежда Ниловна, канд. пед. наук доц.
E-Mail: oln2404@mail.ru

1 – ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»
2 – ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»
Чебоксары, РФ

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки системы регистрации данных, контролирующей сведения, поступающие с датчиков освещенности и температуры. В современном физическом эксперименте при получении сигналов стоит очень важный вопрос об автоматизации эксперимента. Это осуществляется с помощью соединения датчиков с компьютером. Аналогово-цифровой преобразователь отбирает выходные значения данных, которые записываются в режиме реального времени на цифровой носитель. Что дает возможность сохранять экспериментальные данные на компьютере для последующего их анализа и обработки, а также полностью автоматизировать сбор экспериментальных данных. Система регистрации данных разработана на основе применения оборудования myRIO. Структурная схема устройства включает следующие компоненты: оборудование и программное обеспечение платформы myRIO (NI-1900) фирмы National Instruments, датчик освещения, датчик температуры и плату myDAQ Circuits and Electronics. Программирование осуществляется с использованием объектно-ориентированной графической среды LabVIEW. Поступающие с датчиков сигналы регистрируются каждые десять секунд в течение часа с использованием 360 точек отчета. Преобразованные в цифровой вид данные записываются в файл формата MS Excel с целью их последующего анализа и обработки.

Ключевые слова. Платформа myRIO, среда LabVIEW, датчики освещенности и температуры.

Регистратор данных – это электронный инструмент, предназначенный для сбора данных с датчиков. Устройства регистрации и сбора данных используются при испытании различного рода продукции используемых людьми, от автомобилей до медицинского оборудования. Регистрируемые из внешнего мира сигналы преобразуются в цифровые данные для последующего их отображения, хранения и анализа. Процесс преобразования выполняется с помощью датчиков и преобразователей сигналов.

В статье рассмотрен регистратор данных, который контролирует в течение длительного периода времени сигналы с датчиков освещенности и температуры и сохраняет полученные в цифровом виде данные в файл формата MS Excel. Структурная схема устройства регистрации данных приведена на рис. 1. Посредником между датчиками и компьютером является платформа NI myRIO [1]. NI myRIO – это аппаратное и программное обеспечение, разработанное компанией National Instruments. Платформа основана на Xilinx Zynq-7010 с двухъядерным процессором ARM Cortex-A9 и FPGA с 28000 программируемых логических ячеек, а также располагает аналоговыми входами и выходами, линиями цифрового ввода / вывода (DIO), имеет аудио каналы. Программное обеспечение создается на языке C / C ++ или Labview.



Рис. 1. Структурная схема системы

Датчик освещения (ALS) – может использоваться роботами для определения условий освещенности [2]. Плата Digilent PmodALS работает за счет фототранзисторного датчика Vishay Semiconductors TEMT6000X01 и имеет 8-битный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) Texas Instruments ADC081S021, связь с которым осуществляется через последовательный интерфейс SPI.

Связь с датчиком температуры Microchip TCN75A, используемом в плате PmodTMP3, осуществляется через последовательную шину I²C. Индикатор обеспечивает точность измерения окружающей среды в пределах ± 1 °C в интервале от -40 до +125 °C, с разрешением 9–12 бит и скоростью преобразования 30–240 мс.

Для разработки системы сбора данных мы используем объектно-ориентированную графическую среду LabVIEW, предлагаемую компанией National Instruments. Программа представляет собой виртуальный прибор (ВП), состоящий из лицевой панели и блок-диаграммы. С целью визуализации данных в режиме реального времени и во время их сохранения на лицевой панели ВП разработан интерфейс системы регистрации сигналов. Данные с контроллера myRIO передаются отображаются на графике, а также в числовой форме (рис. 2).

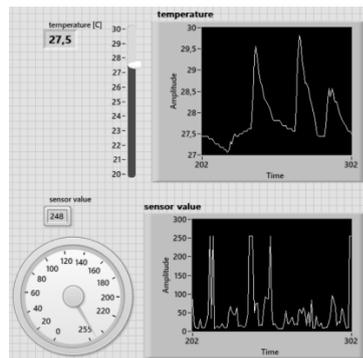


Рис. 2. Лицевая панель во время регистрации сигналов

Для функциональной работы на панели блок-диаграммы описан программный код алгоритм работы ВП (рис. 3).

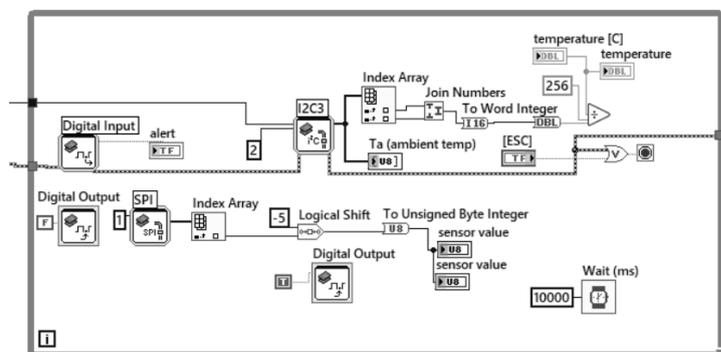


Рис. 3. Блок-диаграмма программы обработки данных

Измерения выполняются с периодом в 10 секунд и отчетом в 360 точек. ВП считывает результаты измерений датчиков без изменения типа данных. С помощью комбинации микроконтроллера myRIO и среды графического программирования LabVIEW осуществляется сбор информации с датчиков и последующее сохранение данных в файл формата MS Excel (рис. 4).

	A	B	C
1	Time	Amplitude - temperature	Amplitude - sensor value
2	203	27,4375	31
3	204	27,4375	11
4	205	27,4375	9
5	206	27,4375	7
6	207	27,375	33
7	208	27,375	10
8	209	27,375	9
9	210	27,3125	11
10	211	27,25	28
11	212	27,25	46
12	213	27,25	255
13	214	27,1875	35
14	215	27,1875	255
15	216	27,1875	7

Рис. 4. Отображение данных на листе MS Excel

Благодаря качественной программной фильтрации, заложенной в LabVIEW и myRIO, в принимаемом сигнале отсутствует «дребезг» от наводимых помех и уровень шума находится на низком уровне.

Разработанная система позволяет в режиме реального времени получать сведения о температуре и освещенности. Система регистрации данных обеспечивает максимальную гибкость и отвечает требованиям мобильности, масштабируемости и модульности. Основная комплектация устройства может быть расширена другими модулями и датчиками, например, дыма, влажности, давления и т.п. Графическая среда разработки LabVIEW предоставляет возможность изменять и модернизировать интерфейс пользователя. Регистратор данных может применяться для контроля и мониторинга окружающей среды в помещениях различного типа, а также как модуль в составе системы «Умный дом» [4].

Библиографический список

1. NI myRIO Project Essentials Guide // ni.com URL: www.download.ni.com/evaluation/academic/myRIO_project_essentials_guide__Feb_09_2016__optimized.pdf (дата обращения: 11.05.2022).
2. Сулова, Н. Н. Разработка и проектирование системы управления работа-автомобиля / Н. Н. Сулова, Л. Н. Васильева // В сборнике : Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы II Международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 261–265.
3. Васильева, Л. Н. Программная среда LABVIEW в профессиональном обучении студентов технических направлений подготовки / Л. Н. Васильева, Л. А. Васильева // В сборнике: Информатика и вычислительная техника. Сборник научных трудов. – Чебоксары, 2018. – С. 58–61.
4. Туливетрова, А. А. Проектирование системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino UNO для регистрации и передачи данных по беспроводной сети Bluetooth / А. А. Туливетрова, Н. В. Савельева, Л. Н. Васильева // В сборнике: Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). Сборник статей XXI Всероссийская научно-практическая конференция. Киров, 2021. – С. 668–672.

СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Гакман¹ Михаил Олегович, учащийся
E-Mail: desertasasin@gmail.com

Олейник² Максим Андреевич, аспирант
E-Mail: oleynik1997@mail.ru

1 – МБОУ СОШ № 163

2 – Самарский университет
г. Самара, РФ

Аннотация. В данной работе рассматриваются аспекты программирования промышленного робота-манипулятора, входящего в состав роботизированной установки прямого лазерного выращивания. Описываются траектории движения рабочего инструмента при отработке управляющей программы выращивания металлических прямоугольных образцов.

Ключевые слова. Прямое лазерное выращивание, управляющая программа, аддитивные технологии, промышленный робот, программирование.

Прямое лазерное выращивание (ПЛВ) – одна из разновидностей технологий аддитивного производства, в котором материал подводится непосредственно в зону сплавления путем фокусировки газопорошковой струи или подачи металлического прутка с последующим плавлением и формированием валика.

Роботизированные установки ПЛВ на сегодняшний день являются относительно новыми. Исторически сложилось так, что промышленные роботы (ПР) использовались для таких простых операций как паллетирование, покраска, точечная сварка и т. п., поэтому контроллеры ПР имеют малый объем оперативной памяти [1, 2]. Выращивание изделий с использованием манипуляторов сильно нагружает устройство числового программного управления (УЧПУ), поскольку управляющие программы (УП) в данном случае имеют большой объем. Современные САМ-системы при генерации УП в случае использования постпроцессоров ПР создают большое количество кадров из-за создания дополнительных промежуточных точек. Поэтому в данной работе ставится цель создания управляющей программы выращивания прямоугольного образца, структура которой будет состоять в основном из циклов, что значительно снизит количество кадров УП. При этом выдвигаются следующие задачи:

- создание цикла внутреннего заполнения слоя;
- создание цикла одного слоя.

Практическая значимость работы заключается в отработке принципов оптимизации управляющих программ для роботизированных установок ПЛВ и создании УП для выращивания металлических образцов для их последующего исследования по нахождению оптимальной области режимов сплавления [3].

Описание роботизированной установки прямого лазерного выращивания. Роботизированная установка ПЛВ представляет собой довольно сложный программно-технический комплекс (рис. 1), однако в рамках данной работы установку прямого лазерного выращивания можно рассматривать укрупненно как наплавочный модуль, установленный на шестиосевом роботе-манипуляторе Eidos A12, и платформы для выращивания заготовок [4].

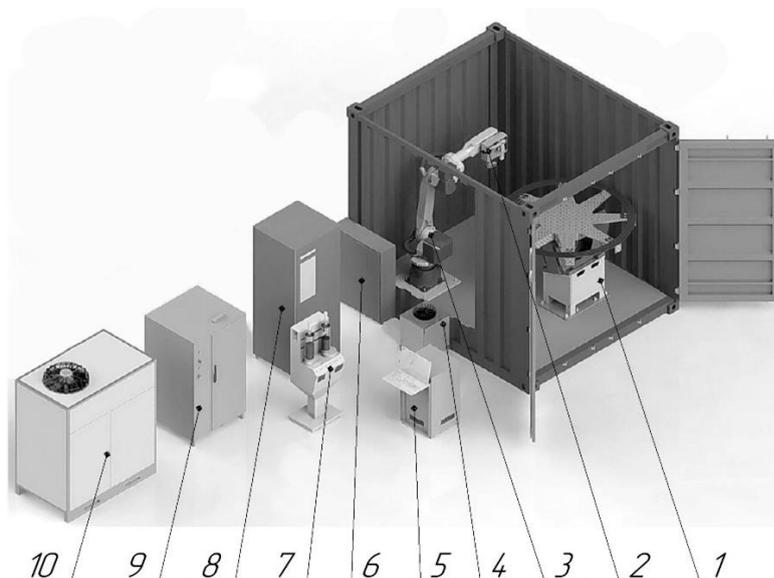


Рис. 1. Компоновка РУППС:

1 – 2-осевой позиционер, 2 – Наплавочная головка, 3 – 6-осевой манипулятор, 4 – Система охлаждения, 5 – Стойка управления, 6 – Система подготовки и подачи газов, 7 – Система подачи порошка, 8 – Устройство осушки и очистки газов, 9 – Лазер, 10 – Чиллер

Создание управляющей программы. При традиционной генерации УП с помощью САМ-систем, которые не предполагают в задачах данного уровня использование циклов и подпрограмм, объем управляющей программы при выращивании заготовки в виде куба со сторонами 20 мм при боковом шаге и высоте слоя 2 мм, будет сгенерировано более 200 кадров. При выращивании сложнопрофильных изделий количество кадров УП может составлять десятки и сотни тысяч. В этом случае УЧПУ робота не способно обработать такой объем программы и, следовательно, вырастить такое изделие не представляется возможным. Поэтому снижение объема УП является актуальной задачей.

Структурно процесс формирования одного слоя при выращивании кубической заготовки выглядит следующим образом: вначале происходит зигзагообразное заполнение слоя, который затем оконтуривается – создается внешний периметр (рис. 2).

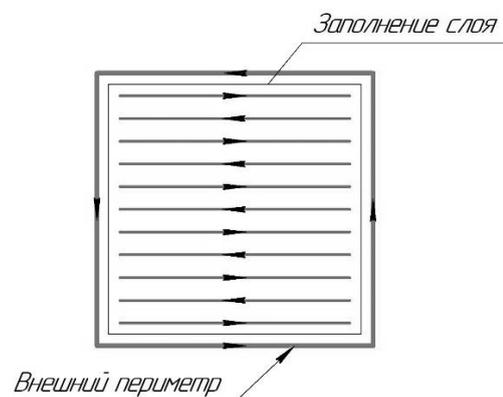


Рис. 2. Схема формирования слоя

Более детальная схема заполнения представляет собой последовательность движений, показанную на рис. 3.



Рис. 3. Детализированная схема заполнения

На траектории 0-1 происходит разгон рабочего инструмента до требуемой скорости. В точке 1 происходит включение лазера и на траектории 1-2 происходит сплавление материала. В точке 2 лазер отключается и на траектории 2-3-4-5 происходит смещение рабочего инструмента на величину одного трека. На рис. 4 показаны траектории основных и вспомогательных движений.

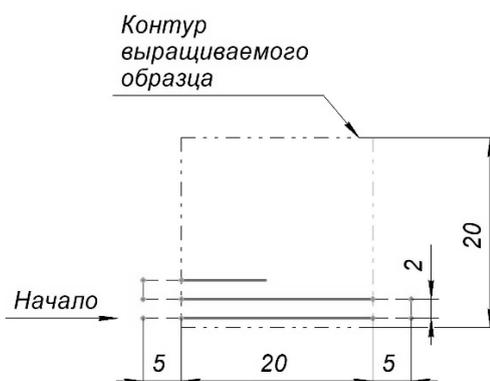


Рис. 4. Структура движений в слое

На рис. 5 показана управляющая программа для выращивания вышеописанной заготовки: сначала инструмент подходит в начальную точку обработки (point_1) и из этой точки происходит подвод в зону сплавления. Далее формируется цикл по высоте, определяющий количество слоев в выращиваемой заготовке и цикл заполнения слоя, состоящий из двух основных ходов рабочего инструмента. После отработки цикла заполнения происходит создание контура заготовки и затем инструмент поднимается на высоту слоя, после которого цикл по высоте повторяется. После выращивания заготовки рабочий инструмент отводится в начальную точку обработки.

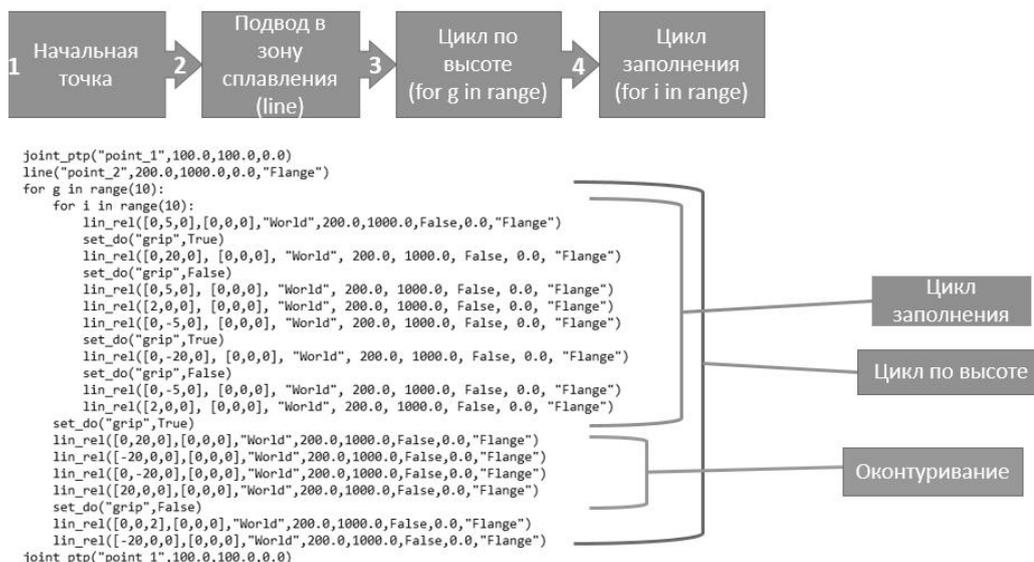


Рис. 5. Структура управляющей программы

В данной работе была написана оптимизированная по объему управляющая программа для выращивания прямоугольного металлического образца методом ПЛВ. Оптимизация заключалась в том, что вместо последовательного программирования точек были использованы циклы, что позволило уменьшить объем УП с 213 кадров до 26, т. е. более, чем в 8 раз.

Библиографический список

1. Oleynik M., Khaimovich A., Balaykin A. Determining the Optimal Mode of the Inconel 718 Alloy Deposition at a Direct Laser Deposition Plant. *Materials Science Forum*, Vol. 1037, pp 3–12.
2. Олейник, М. А. Математическая модель кинематики промышленного робота, оснащенного двухосевым позиционером / М. А. Олейник, А. И. Хаймович и др. // *Вестник УГАТУ*. – 2021. – Т. 25. – № 1 (91). – С. 77–84.
3. Филаретов, В.Ф. Управление манипуляторами при выполнении различных технологических операций / В. Ф. Филаретов, А. В. Зуев, А. С. Губанков. – Москва : Наука, 2018. – 229 с.
4. Руководство RSC 3.0. Инструкция по эксплуатации A12-1450.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ДОМАШНИХ ПИТОМЦЕВ

Евсеева Ангелина Алексеевна, студент группы РЭА-31-19
Васильева Лидия Николаевна, канд. пед. наук, доц.
E-mail: irina1055@bk.ru

Чувашский государственный университет,
г. Чебоксары, РФ

Аннотация. Программно-аппаратный комплекс для кормления домашних питомцев разработан для обеспечения организации правильной работы пищеварительной системы питомца, для нормального усвоения корма и создания условий для оптимального обмена веществ. Корм в данном автоматизированном устройстве подается через определенный интервал времени, заложенный на программном уровне.

Обязательным в автоматизированной кормушке является то, что, пища защищена от влаги и пересыхания, а вода от попадания грязи и пыли.

Отличительной чертой данного автоматизированного комплекса от остальных аналогов на русском и зарубежном рынке является наличие функции дистанционного регулирования режимов кормления, а также объемов порций через «Telegram - бот» и наблюдение за питомцем с помощью камеры машинного зрения. Это делает данную разработку уникальной на рынке подобных автоматизированных устройств.

Потребителями разрабатываемого устройства могут быть владельцы домашних животных, приюты, зоогостиницы и станции передержки животных.

Данный проект планируется предоставить в качестве набора-конструктора для обучения школьников основам электроники, схемотехники и информатики. В состав набора будет включено методическое пособие с подробным описанием сборки и программирования устройства кормушки.

Ключевые слова. Автоматизированный, система, управление, питание, питомец.

Системы автоматизации в настоящее время активно используются в частных домах и квартирах людей. Современный городской житель довольно много времени проводит на работе, ведет активный образ жизни и при этом хочет создать комфорт своему домашнему питомцу. Корректное формирование режима питания необходимо для организации правильной работы пищеварительной системы питомца, для нормального усвоения корма и созданию условий для оптимального обмена веществ. Подача еды домашним животным должна производиться спустя заданный временной интервал. Вода должна быть защищена от загрязнения, а корм от влаги и пересыхания.

Сегодня эту задачу сможет решить специальная автокормушка, позволяющая регулировать количество подачи еды и воды в определенное время.

Таким образом, актуальность проекта заключается в необходимости организации автоматической подачи питания домашним питомцам без участия хозяина. Корм должен быть защищен от влаги и пересыхания, а вода от загрязнения. Пользователь может в удаленном режиме следить за питанием питомца и в случае необходимости дистанционно регулировать режим кормления и объем порций.

Цель данного проекта – разработка программно-аппаратного комплекса для обеспечения оперативного контроля и сбора данных о питании домашних питомцев. В кормушке будет реализована возможность дистанционной регулировки режима кормления и объема порций, так же хозяин сможет наблюдать за своим питомцем с помощью камеры машинного зрения.

- Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:
- Разработать аппаратное и программное решение проекта на основе Arduino Uno.
 - Провести испытание комплекса.
 - Подготовить комплект конструкторской документации.
 - Разработать программу для автоматического управления мобильным роботом.

Потребителями разрабатываемого устройства могут быть владельцы домашних животных, приюты, зоогостиницы и станции передержки животных.

Отличительной чертой данной кормушки от остальных аналогов является то, что хозяин сможет дистанционно регулировать режим кормления и объема порций, и получать данные о питании питомца.

На корпусе будет установлен дисплей, на котором будет выводиться количество оставшегося корма и воды в резервуаре, и хозяин будет получать данные в «Telegram – бот», с помощью которого можно так же дистанционно управлять данной кормушкой.

Многие кормушки рассчитаны только на один или несколько приемов пищи, но всего на один день, а есть модели, которые могут кормить питомца в отсутствие хозяина в течение нескольких дней.

Для составления прототипа 3D-модели корпуса были изучены характеристики существующих типов кормушек [1] (табл. 1).

Таблица 1

Типы и характеристики кормушек	
Тип кормушки	Характеристика
Сегментные	Используют для любого вида корма – сухого, влажного или натурального. Количество кормления без дозаправки ограничено отсеков. Применяются при отсутствии хозяина в течении дня и для кормления животного ночью.
С откидной крышкой	Используют для любого вида корма – сухого, влажного или натурального. Применяется для одного кормления (или два отдельных видов кормушек).
Резервуар с дозатором	Является одной из самых популярных из моделей кормушек. С помощью автоматики сухой корм подается из большого резервуара в миску. При этом точность порций измеряется дозатором. Пополнять кормушку достаточно редко. Используют только для сухого корма и возможны блокировки устройства при слипании корма.

Самой лучшей, на наш взгляд, оказалась кормушка в виде резервуара с дозатором, потому что с помощью автоматики сухой корм и вода подаются из большого резервуара в миску. При этом точность порций измеряется дозатором. Пополнять такую кормушку можно достаточно редко.

Аппаратная часть кормушки построена на базе Arduino Uno [2] (рис. 1).

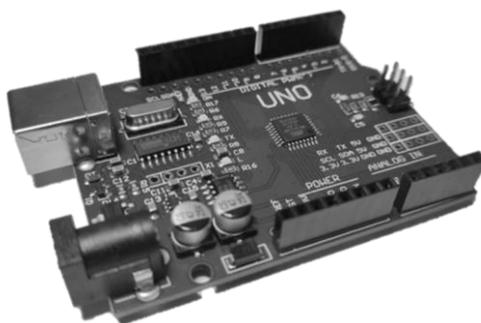


Рис. 2. Микроконтроллер Arduino Uno

Дистанционное управление будет осуществляться с помощью Wi-Fi модуля (рис. 7). Он будет управлять различными датчиками и модулями [3]. Также через него будет передаваться информация об остатках корма в миске и контейнере и время приема пищи.

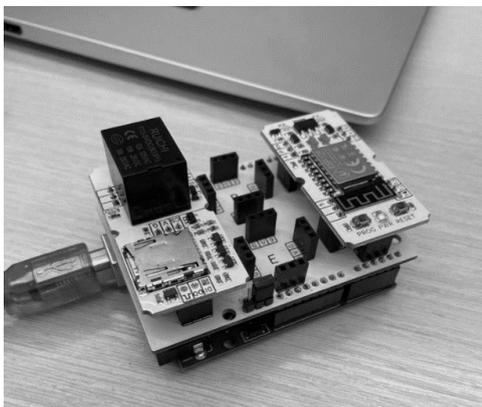


Рис. 3. Wi-Fi модуль

Под металлической крышкой Wi-Fi модуля прячется целый микроконтроллер, который можно программировать через Arduino IDE. Он называется ESP8266. Его мощности хватит для работы с протоколом HTTPS, а это нужно для «Telegram-бота» [4]. С помощью этого бота пользователь может в удаленном режиме следить за питанием питомца и в случае необходимости дистанционно регулировать режим кормления и объем порций. Так же кормушка может быть подключена к умному дому и управляться через него.

Уровень корма и воды будет определяться бесконтактным датчиком уровня жидкости, который позволяет измерять и уровень сухого корма. Для подачи еды будет установлен сервопривод для открытия и закрытия заслонки [5]. Вода подается с помощью погружной помпы с трубкой.

С помощью программируемого таймера, животные будут получать корм строго по расписанию, где бы вы ни находились. Это отличный выход из ситуации, когда нужно уехать в непредвиденную командировку, а кота оставить не с кем.

Питание кормушки будет осуществляться от сети 220 В и от аккумуляторной батареи.

В ходе проектирования был разработан программно-аппаратный комплекс для кормления домашних питомцев, а также реализована возможность управления комплексом в автоматическом режиме.

Рабочий прототип программно-аппаратного комплекса, в котором будет установлено три миски представлен на рис. 3.

Исследуемое в данной статье устройство весьма актуально на сегодняшний день, а его новизна в сравнении с остальными аналогами имеет место быть в ближайшем будущем, когда система «Умный дом» будет у каждого второго.

Между тем следует выделить следующие основные выводы по проделанной работе: наличие протокола HTTPS весьма упрощает использование данного устройства, что необходимо в современном мире не только для случаев, когда необходимо уехать в командировку, но и для удобства использования. Оснащение данного устройства видекамерой является необходимой вещью в рамках унифицированного изделия, так как потребность в отслеживании состояния кормушки вещь первостепенной важности.

Необходимый функционал программного обеспечения исследуемого устройства выполняет роль не только сохранения здорового образа жизни домашнего питомца, но и позволит составить аналитический анализ физического состояния за текущий месяц, год.

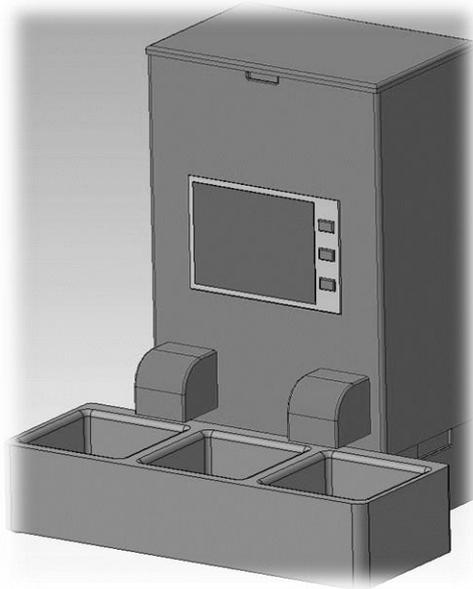


Рис. 4. Рабочий прототип

Последним, что хотелось бы выделить, это то, что себестоимость производства данного устройства ничтожна в сравнении с остальными именитыми брендами, при узком функционале, а это в свою очередь способствует проходу данного устройства на рынок и низкой конкуренции, к тому же в нынешнем положении в мире, данный продукт будет выступать в роли импортозамещения зарубежной продукции.

Библиографический список

1. Рейтинг автоматических кормушек для кошек и собак [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://lapkins.ru/p/rejting-avtomaticheskikh-kormushek-dlya-koshek-i-sobak/>.
2. Туливетрова, А. А. Проектирование системы «Безопасный дом» на базе микроконтроллера Arduino UNO для регистрации и передачи данных по беспроводной сети Bluetooth / А. А. Туливетрова, Н. В. Савельева, Л. Н. Васильева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). Сборник статей XXI Всероссийская научно-практическая конференция – Киров, 2021. – С. 668–672.
3. Павлова, К. В. Создание корпоративной защищенной сети предприятия Павлова К.В., Васильева Л.Н. / К. В. Павлова, Л. Н. Васильева //Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов – Чебоксары, 2019. – С. 76–79.
4. Григорьев, А. Т. Универсальное устройство беспроводного управления бытовыми приборами на платформе Arduino / А. Т. Григорьев, Л. Н. Васильева // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов – Чебоксары, 2020. – С. 28–31.
5. Туливетрова, А. А. Модель руки робота-манипулятора / А. А. Туливетрова, Н. В. Савельева, Л. Н. Васильева // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов – Чебоксары, 2020. – С. 142–147.

ПРИМЕНИМОСТЬ И СРАВНЕНИЕ ФНФ ТИПА АРБИТР И СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Кайкы¹ Михаил Николаевич, студент
E-mail: kaikymykhailo@gmail.com
Иванюк^{1,2} А. А., д-р техн. наук, доц., проф.
E-mail: ivaniuk@bsuir.by

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

2 – Совместная учебная лаборатория
«СК хайникс мемори солюшнс Восточная Европа», заведующий
г. Минск, Беларусь

Аннотация. Данная работа посвящена изучению применимости структур физически неклонировуемых функций типа арбитр и ячеек статической памяти в качестве систем идентификации цифровых устройств. Рассматриваются две различные по своим свойствам и строению структуры физически неклонировуемой функции, их статистические параметры как в момент постоянной работы цифрового устройства, так и в момент после инициализации последнего. Полученные данные и результаты работы в дальнейшем планируется применить для разработки внутрикристальной системы идентификации, обладающей должным соотношением надёжности и аппаратных затрат на её реализацию, а также внедрение данного решения в софт–процессорные ядра.

Ключевые слова. Физически неклонировуемая функция, интегральная схема, кристалл, статическая память, FPGA.

Введение

Согласно отчету Организации экономического сотрудничества и развития, за 2020 год во всем мире было продано контрафактных товаров на сумму около 2 триллионов долларов [1]. Процесс производства современных интегральных схем (ИС) состоит из множества этапов. На первых этапах, разработчик при помощи систем автоматизированного проектирования (САПР) создает HDL–описания цифрового устройства, производит технологический синтез, проектирует топологию ИС. На последующих этапах, компания-производитель осуществляет изготовление полупроводниковых пластин, проводит цикл тестирования ИС, монтаж в корпус, герметизацию [2]. В связи с тем, что компании-разработчики ИС, не имеющие собственных производственных мощностей, заняли большую часть рынка, они столкнулись с нелегальным копированием их систем и подделкой готовых полупроводниковых устройств [3]. Одним из эффективных методов защиты проектных описаний от несанкционированного копирования и клонирования является идентификация аппаратного обеспечения (Hardware Metering), которая позволяет распознать устройство и доказать принадлежность к обладателю прав интеллектуальной собственности. Методы цифровой идентификации рассматриваются в работе [1]. В средствах активной идентификации цифровых устройств (ЦУ), активно применяются два компонента – блокирующая схема и источник энтропии для генерирования секретных криптографических ключей, которые обладают свойствами уникальности, неповторимости.

Физически неклонировуемые функции

Применение физически неклонировуемых функций (ФНФ) позволяет генерировать уникальные, неклонировуемые невозпроизводимые и надежные идентификаторы. ФНФ разделяют на два типа – слабые и сильные [4]. Слабые ФНФ способны сгенерировать свой уникальный ответ лишь при подаче питания на кристалл, затем, при работе их ответ неизменен, но при следующем включении, ответ уже может отличаться от ранее сгенерированного. Сильные ФНФ, в отличие от слабых, наоборот, могут генерировать уникальные

ответы при каждом запросе во время работы ЦУ. В качестве слабой ФНФ в нашей работе мы использовали имитированные на ПЛИС ячейки статической памяти (рис. 1, а), в качестве сильной – структуру ФНФ типа арбитр (рис. 1, б).

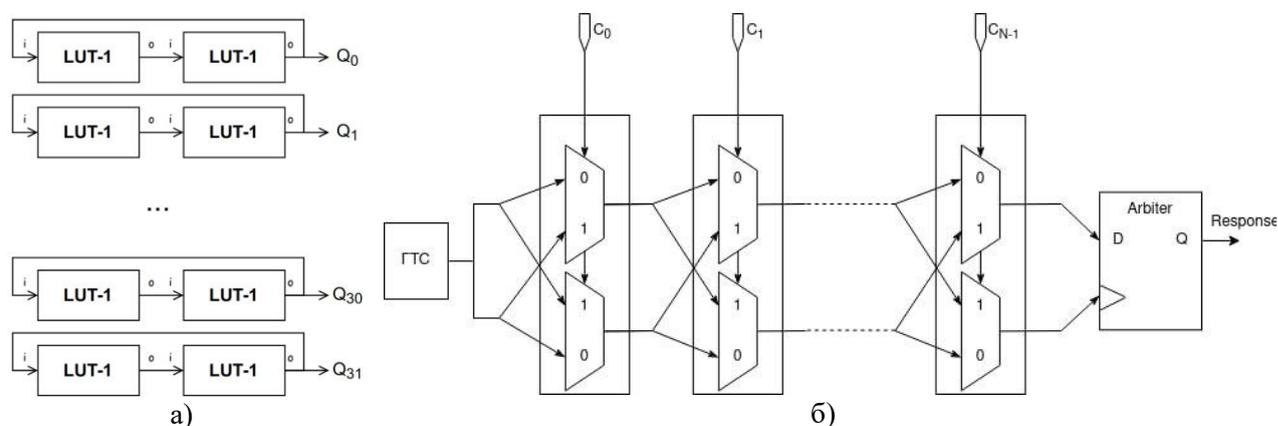


Рис. 1. Структура используемых физически неклонлируемых функций

Проводя экспериментальную часть работы в совместной с БГУИР учебной лаборатории компании SK hynix memory solutions Eastern Europe в качестве стенда, мы использовали плату быстрого прототипирования компании Digilent – Nexys-4 с кристаллом ПЛИС Artix-7 компании Xilinx. Ячейки статической памяти упаковывались в слова по 32 бита, а затем в массив величиной 512 слов, таким образом, для побитного доступа к каждой ячейке необходимо 14 разрядное слово (9 разрядов на позицию слова и 5 разрядов на позицию бита). Разрядность А-ФНФ мы приняли равной 14, чтобы обеспечить соизмеримость двух типов физически неклонлируемых функций.

Анализ основных характеристик, полученных ФНФ

Для вычисления надежности, мы проводили 100 различных запусков на одной и той же отладочной плате, при этом, считали, что надёжными ответами считаются те, которые не меняли свое значение в зависимости от запуска, а ненадежными – изменившие его хотя бы один раз. В результате были построены тепловые карты для статической памяти (рис. 2, а) и А-ФНФ (рис. 2, б), где черными ячейками обозначаются абсолютные нули, белыми – абсолютные единицы, крестиками – ненадежные ячейки. Проведенные исследования показывают, что каждая ячейка статической памяти при инициализации может принимать либо значение логического «0», либо логической «1», однако, как показывает мировая практика [5], часть ячеек не имеет четких значений при инициализации между сбросами и может вести себя нестабильно, в нашем эксперименте нестабильно себя вели 10,1 % ячеек. Структура типа Арбитр ФНФ, наоборот, показала достаточно высокую надёжность между инициализациями – изменения произошли лишь в 0,5 % случаев. Однако, стоит отметить, что несмотря на высокую надёжность А-ФНФ между запусками, она всё же обладает рядом недостатков, неприсущих статической памяти. Так, соотношения нулей к единицам в А-ФНФ составили 30/70, против 41/49 у SRAM. Различие между данными структурами исходя из дистанций Хэмминга, составило 8 %, однако стоит отметить, что в случае А-ФНФ имелось большое количество одинаковых и абсолютно противоположных друг другу ответов, чего не наблюдалось в случае с SRAM. Ещё одним существенным недостатком А-ФНФ по сравнению с SRAM является большая корреляционная зависимость между ответами, что хорошо видно из рис. 2, б. Подобные зависимости на тепловой карте имеют вид горизонтальных полос абсолютных нулей или единиц. Также, А-ФНФ обладает и другим свойством – при подаче одного и того же запроса, А-ФНФ малых разрядностей способна давать ответы, попадающие в регион метастабильности. В ра-

боте [6] приведены сведения о стабильности таких ответов – стабильные ответы генерировались в 67 % случаях.

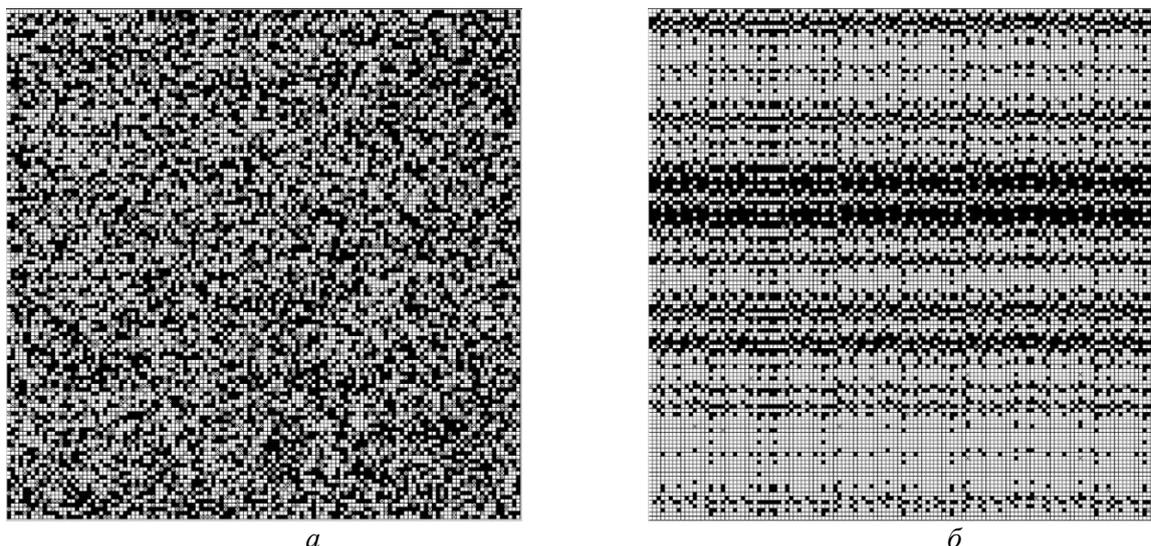


Рис. 2. Тепловые карты полученных данных для используемых структур физически неклонированных функций

Заключение

Подводя итоги, можем сделать выводы о применимости структур физически неклонированных функций типа арбитр и статической памяти в системах идентификации. Исходя из полученных в ходе работы данных о статистических характеристиках каждой из структур, можем утверждать о высокой степени применимости структуры типа Арбитр ФНФ в генераторах истинно случайных чисел, для получения уникальных, неповторимых и невоспроизводимых последовательностей, но при этом использование А-ФНФ в виде аппаратного идентификатора системы крайне проблематично ввиду его нестабильности как во время работы так и неустойчивостью ответов при различных циклах запуска цифрового устройства. Статическая память, несмотря на свои недостатки в виде нестабильной работы между различными циклами запуска, обладает высокой стабильностью во время работы схемы – состояние памяти в момент работы неизменно, что делает такую структуру хорошим источником уникальных идентификаторов для различных кристаллов, однако не позволяет использовать её в виде генераторов случайных чисел.

Библиографический список

1. Counterfeiting and piracy in 2021 – the global impact Danny Grajales Pérez-y-Soto International Chamber of Commerce 11 May 2021
2. Заливако С. С., Обзор методов активной идентификации цифровых устройств / С. С. Заливако, А. А. Иванюк // Информатика. – 2016. – № 3. – С. 38–47.
3. Tehranipoor, M. Counterfeit Integrated Circuits. Detection and Avoidance / M.Tehrainipoor, U. Guin, D. Forte. – Switzerland: Springer International Publishing, 2015. – 269 p.
4. Ярмолик, В. Н. Физически неклонированные функции / В. Н. Ярмолик, Ю. Г. Вашилко // Информатика. – 2011. – № 3. – С. 38–47.
5. Farha, Fadi & Ning, Huansheng & Liu, Hong & Yang, Laurence & Chen, Liming. Physical Unclonable Functions Based Secret Keys Scheme for Securing Big Data Infrastructure Communication. Information Sciences (2019).
6. Заливако, С. С. Физически неклонированные функции / С. С. Заливако, А. А. Иванюк // Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019).

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНОГО ПОДХОДА

Комкина Ульяна Сергеевна, студентка
Филипас Александр Александрович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: usm1@tpu.ru

Томский политехнический университет
г. Томск, РФ

Аннотация. На данный момент актуальной задачей является внедрение информационных технологий в сферы управления и развития отраслей инженерно-энергетического комплекса [1]. Необходимость внедрения информационных технологий в инженерно-энергетические комплексы обусловлено национальной ориентацией на развитие информационного общества [2]. Внедрение интеллектуальных технологий позволяет экономично использовать топливные ресурсы, сократить потери тепловой и электрической энергии, повысить надежность системы теплоснабжения и как следствие оказать положительное влияние на стоимость тарифов.

Под электронной моделью системы теплоснабжения, газоснабжения, водоснабжения и водоотведения понимается математическая модель этих систем, привязанная к топографической основе города с учетом кадастрового деления территории и предназначенная для имитационного моделирования их режимов работы [3].

В статье представлена математическая модели управления распределённой системой теплоснабжения. Разработка модели происходит с использованием программного комплекса Matlab Simulink совместно с системой ZuluGIS. Задача разработки электронной модели сводится к оптимальному распределению тепловых нагрузок Q между i -ми потребителями тепловой котельной станции. За основу модели взята котельная станция, расположенная в селе Чажемто, Колпашевском районе, Томской области.

Цель проекта – создание математической модели, для дальнейшей реализации алгоритмов и структуры управления системой теплоснабжения на основе модельного подхода.

Ключевые слова. Электронная модель, система теплоснабжения, котельная станция, температура, подающий трубопровод, обратный трубопровод.

Описание разрабатываемой модели

Моделирование и расчет котельной станции проводится с применением специализированного программного обеспечения, позволяющего реализовать математический расчет гидродинамических и тепловых процессов в трубопроводах сети и тепловых потребителях. Для решения поставленной задачи, разработки электронной модели котельной станции, используется программный комплекс Matlab Simulink и инструментальная геоинформационная система ZuluGIS.

Для построения модели системы теплоснабжения проведен расчет потребителей тепла и гидравлический расчет трубопроводов системы, рассчитана температура в подающем трубопроводе к каждому потребителю, температура воды в обратном трубопроводе, массовый расход топлива.

В электронную схему системы теплоснабжения входит блок участка трубопровода (рис. 1), блок потребителя тепла (2).

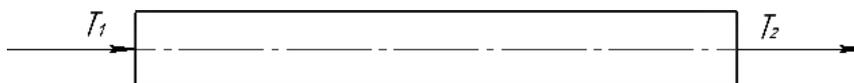


Рис. 1. Часть трубопровода

Для построения блока трубопровода в программе Matlab необходимо найти количество тепловых потерь по длине трубопровода, массовый расход рабочего тела.

Массовый расход и тепловые потери считаются с помощью программы ZuluGIS, потери по длине трубопровода по формуле (1), согласно расчету, представленному в [4].

$$Q_2 = (q \cdot l \cdot \beta) \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

где q – удельные часовые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, ккал/чм; l – длина участка трубопроводов тепловой сети, м; β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1, 2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 – при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования) [4].

Температура воды с учетом тепловых потерь выражается по формуле (2).

$$G = \frac{Q \cdot 1000}{T_1 - T_2}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2)$$

где T_1 – температура на входе в участок трубопровода, T_2 – температура с учетом преодоления длины, Q – выражается как сумма потерь по длине трубопровода и тепловых потерь трубопровода (см. формула 3)

$$G = \frac{(Q + Q_2) \cdot 1000}{T_1 - T_2}, \quad (3)$$

Отсюда выражаем значение температуры на выходе из трубопровода:

$$T_2 = T_1 - \frac{(Q + Q_2) \cdot 1000}{G}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Формулы, описанные выше, сведены в блок представленный на рис. 2, где $temp_in$ – температура наружного воздуха, Q_losses – тепловые потери, взятые из программы ZuluGIS, $temp_out$ – температура на входе в потребитель тепла (здание) с учетом потерь.

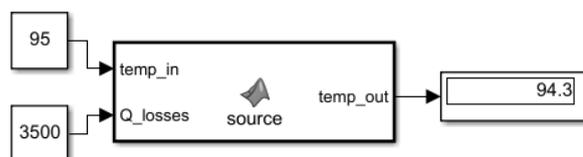


Рис. 2. Блок участка трубопровода

Для построения блока потребителя тепла (здание) рассчитываем в программном продукте ZuluGIS температуру на входе в здание ($temp_in$) и температуру на выходе (T_out), температура на входе в здание равна температуре на выходе из трубопровода, далее в среде Matlab с использованием графического интерфейса Curve Fitted находим полином и его коэффициенты. Блок потребителя тепла в виде здания представлен на рис. 3.

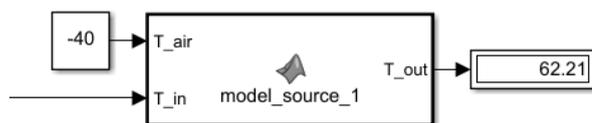


Рис. 3. Блок потребления тепла (здание)

На рисунке 4 представлен пример полинома и коэффициентов для одного из потребителей, найденных с помощью графического интерфейса Curve Fitted.

```
function T_out = model_source_2(T_air, T_in)
    p1 = 0.1993;
    p2 = 49.05;
    model_1 = @(T_air) p1*T_air + p2;
    p00 = 61.97;
    p10 = -3.709;
    p01 = -0.4731;
    p20 = 0.0443;
    p11 = 0.04685;
    model_2 = @(T_air, T_in) p00 + p10*T_air + p01*T_in + p20*T_air^2 + p11*T_air*T_in;
    if(T_air > -10)
        T_out = model_1(T_air);
    else
        T_out = model_2(T_air, T_in);
    end
end
```

Рис. 4. Полиномы и коэффициенты

После построение блоки соединяются в схему теплопотребителей согласно схеме теплового распределения по объектам потребления.

Заключение

Предложена математическая модель для дальнейшей реализации алгоритмов и структуры управления системой теплоснабжения на основе модельного подхода, которая поможет с определением распределения тепла по потребителям станции, прогнозирования необходимой нагрузки на отопление в зависимости от температуры наружного воздуха.

Поскольку одной из основных задач в практике эксплуатации теплоэнергетического оборудования, как в сфере жилищно-коммунального хозяйства, так и в промышленной сфере является рациональное использование ресурсов [5].

Библиографический список

1. Белов И. С. Информационные технологии в теплоснабжении. Опыт Санкт-Петербурга / И. С. Белов, И. П. Белов.
2. Крицкий Г. Г., Игнатчик В. С. Цифровые технологии в инженерной инфраструктуре города / Г. Г. Крицкий, В. С. Игнатчик // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – №. S2. – С. 167- 184.
3. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы».
4. Приказ от 30 декабря 2008 года № 325 об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя (с изменениями на 10 августа 2012 года).
5. Ведрученко В. Р. Актуальные задачи коммунальной теплоэнергетики Омского региона / В. Р. Ведрученко и др // Омский научный вестник. – 2006. – №. 4 (38). – С. 104–108.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТЕ «РОБОТ-МУСОРЩИК»

Королева¹ Валентина Валерьевна,
Сохачевский² Марк Константинович,
Сохачевский² Ярослав Константинович
E-Mail: taisa_67@mail.ru

1 – Казанский государственный аграрный университет,
г. Казань, РФ

2 – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, РФ

Аннотация. В тезисах рассматривается вопрос изучения и применения информационных технологий в процессе выполнения проекта по ряду дисциплин в среднем профессиональном образовательном учреждении (СПО) и в вузе. В нашем случае таким выступает – проект «Робот-мусорщик», выполненный по дисциплинам «Экология», «Информационные технологии» и «Компьютерные технологии» на базе СПО и в рамках дисциплины «Информационные технологии» на базе вуза. В данном проекте кратко проанализирован теоретический материал и специальная литература по истории появления первых роботов мусорщиков в мире, а также и причина их создания. Дана краткая историческая справка создания роботов-мусорщиков ведущими мировыми корпорациями. Представлены их основные характеристики и фотографии. Описаны современные направления разработки роботов-мусорщиков. Приведено задание по дисциплинам «Экология», «Информационные технологии» и «Компьютерные технологии» для СПО и пример визуализации проекта с помощью информационных технологий, выполненный студенткой вуза. Представлены области использования подобных роботов-мусорщиков в окружающем нас мире. Предложены направления использования подобных роботов-мусорщиков в различных областях. Выполнена визуализация робота-мусорщика как сказочного персонажа для его использования в местах отдыха и прогулок людей и родителей с детьми.

Ключевые слова. Информационные технологии, дизайн, робот-мусорщик, обучение, проектирование, компьютерная графика.

На данном этапе развития общества, изучение и применение информационных технологий в процессе обучения в СПО и вузе является естественным и, даже, необходимым. Изучение курсов «Экология», «Информационные технологии» и «Компьютерные технологии» (ИТ и КТ) студентами предполагает включение в активный процесс поиска и применения полученной информации, в разрабатываемых проектах для окружающей среды [2]. Целью изучаемых курсов является закрепление и расширение знаний в области информационных технологий с помощью современных графических пакетов.

Рассмотрим более подробно проект, выполненный студентами СПО отделения «Автоматизация производства (по отраслям)» по теме «Экология», «Информационные технологии» и «Компьютерные технологии». Так как ситуация с экологией является одной из глобальных проблем человечества в целом [8], затрагивает все страны в мире без исключения и была выбрана для выполнения проекта.

Решение проблемы ищут не только передовые умы науки [1, 3, 4], но и жители больших городов и простые школьники [6]. В городах частично эти отходы убираются сотрудниками ЖКХ, а именно дворниками, но этого недостаточно.

Идея работы: Облегчить уборку мусора в городе при помощи новых изобретений и технологий.

Исторически применение роботов началось с развития производства. В период скачка научно-технического прогресса. Самыми первыми были созданы роботы для выполнения отдельных операций.

Работа с аналогами. 1-й вид робота – мусорщика «Сортировщик» (рис. 1). Владелец Google создал роботов-мусорщиков [4, 7].

2-й вид роботов-мусорщиков – Volvo разработала робота-мусорщика, управляемого летающим дроном. Совершенно новое предложение в этой области (рис. 2). Проект DustBot – роботы-мусорщики на улицах Европы (рис. 3).



Рис. 1. Робот-сортировщик



Рис. 2. Вид роботов-мусорщиков – Volvo ROAR



Рис. 3. Проект DustBot

Данный проект под названием DustBot организован для отработки различных технологий робототехнической уборки и вывоза мусора. В нем задействованы многие ученые и специалисты из Италии, Испании, Британии, Швейцарии и Швеции.

Таким образом, вышеописанные роботы-мусорщики дают нам представление о том, какой и с каким функционалом должен быть разрабатываемый объект. Но нам стало интересно, есть ли исследования в области программного обеспечения для данной категории роботов. Интересную идею мы нашли у простого российского школьника С. Фадеева. Он прописал программу с помощью LEGO WEDO (рис. 4). Робот распознает и собирает мусор. Единственное – в нем отсутствуют «функции сортировщика и брикетирования» [5].

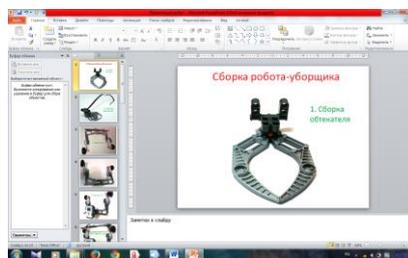


Рис. 4. Фадеев С. Программное обеспечение робота-мусорщика

Используя данный проект, появляется возможность в дальнейшем создать робота-мусорщика с несколькими функциями.

Проект может быть реализован нескольких направлениях: 1) разработка эскиза робота-мусорщика (см. наш проект рис. 5–6); 2) разработка логотипа для робота-мусорщика; 3) разработка робота-мусорщика и производственных технологий [1, 2] с использованием 3D [7] печати.

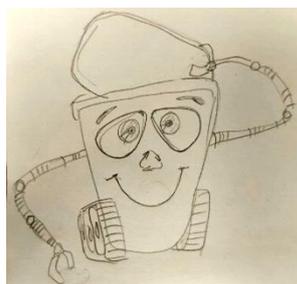


Рис. 5–6. Эскиз (авторы идеи визуализации робота-мусорщика: Сохачевский М. К., Сохачевский Я. К.) и компьютерная графика (исполнитель: Рагозина А. А.)

Работа над проектом робота-мусорщика показала, что на сегодня эта тема является одной из актуальных. Проектирование и разработка подобного рода техники не только возможна, но и реальна. Актуален и робот-мусорщик сказочного вида для мест скопления взрослых и детей - парки, аллеи, пляжи и пр. Такой робот поможет с детства включать людей в процесс формирования культуры человека и бережного отношения к природе. В данном направлении работает много исследователей, студентов и школьников, некоторые исследователи еще подчеркивают, что компьютерные технологии в таких работах должны быть ориентированы на выполнение проектов не только в городской среде, но и в космосе. Уже сейчас с помощью ЛЕГО WEDO можно собрать подобного робота с набором определённых функций. Причем, такой робот будет способен убирать мусор, передвигаться посредством управления оператора. Подобного рода работы продвигают нас в изучении темы создания роботов-мусорщиков не только на нашей планете, но и в космосе.

Библиографический список

1. Антипина, Е. В. Метод формообразования сервисных персональных роботов на основе производственных технологий. Дисс.к.т.н., Ижевск, 2020.
2. Использование инновационных технологий при создании роботов-мусорщиков / В. В. Королева, В. В. Ячменева, М. К. Сохачевский, Я. К. Сохачевский // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : Научные труды Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мудрова П.Г., Казань, 28–29 октября 2021 года. – Казань : Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 440–447. – EDN IRCCNJ.
3. Японские роботы: достижения робототехники страны восходящего солнца. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://robo-sapiens.ru/stati/yaponskie-robotyi/> (дата обращения: 15.10.2021).
4. <http://robotrends.ru/robopedia/1711-uborka-i-sortirovka-musora> Сортировка мусора и отходов – Умный город и роботы. Декабрь, 2018. Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск, Россия 2019.03.21 В Санкт-Петербурге идет разработка робота для сортировки мусора.
5. <https://pandia.ru/text/82/068/1127.php> Исследовательский проект на тему: «Робот-мусоросборщик – «Радуга – 2000»
6. <https://tass.ru/v-strane/6186508> Чистый эксперимент. Как школьники создают роботов, которые освободят города от мусора. (дата обращения 5.10.2021).
7. <https://robot-on.ru/articles/obzornaya-statya-pro-mir-3d-tehnologiy> Обзорная статья про мир современных 3D-технологий (дата обращения 28.10.2021.)
8. <https://tass.ru/opinions/10927333> Мусор: обыденная проблема как глобальная угроза (дата обращения 21.09.2021)

СЕЙФ С ЭЛЕКТРОННЫМ ЗАМКОМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Левитанус Карина Андреевна, студент
Морозова Марина Олеговна, студент
Васильева Лидия Николаевна, канд. пед. наук, доц.
E-Mail: oln2404@mail.ru

ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»
Чебоксары, РФ

Аннотация. Целью проекта является разработка и создание прототипа сейфа с электронным замком на базе аппаратно-программной платформы Arduino Uno. В статье рассмотрена структурная схема устройства, которая состоит из следующих компонентов: микроконтроллер Arduino Uno, жидкокристаллический дисплей с 16 символами на 2 строках, RFID-модуль с платой и пластиковой картой, провода, пьезодинамик, источник питания. С помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) Компас-3D разработан корпус сейфа, детали которого напечатаны на 3D-принтере с использованием PLA пластика. Спроектирована и разработана функциональная схема устройства. На языке C++ в интегрированной среде разработки Arduino написан программный код, под управлением которого сейф открывается и закрывается. Обмен данными между микроконтроллером Arduino Uno и жидкокристаллическим дисплеем осуществляется через последовательный интерфейс I²C. Устройство с электронным замком на базе микроконтроллера Arduino Uno может работать автономно. В статье приведено изображение рабочего прототипа сейфа. В дальнейшем в проекте планируется заменить пластиковый корпус на металлический каркас, создать и подключить к микроконтроллеру камеру и умный датчик, позволяющий оценить обстановку вокруг сейфа.

Ключевые слова. Микроконтроллер Arduino, программный код, сейф.

В статье рассматривается разработка системы «Сейф с электронным замком на базе микроконтроллера Arduino UNO».

Значение «Safe» происходит от таких слов, как «безопасность», «надежность». Появление таких ящиков из металла для хранения ценных вещей началось еще в XIX веке в Англии. Главной причиной стали массовые грабежи, от которых не спасали деревянные сундуки и подвалы. С каждым годом замок становилось все сложнее и сложнее открыть. Сначала были обычные замки, затем появились кодовые, а сейчас набирают большую популярность электронные. Все самое важное должно быть скрыто от посторонних глаз, спрятано за семью замками. Сейфы – отличная защита для ценностей. Открыть современный сейф практически невозможно. В наши дни во многих домах можно найти такой железный ящик.

В ходе нашего исследования мы решили использовать микроконтроллер Arduino UNO. Это небольшое, но достаточно надежное устройство [1], [2]. Открыть наш замок можно только определенными картами, которые занесены в память микроконтроллера.

При проектировании устройства использовались следующие компоненты: микроконтроллер Arduino Uno, жидкокристаллический дисплей с 16 символами на 2 строках с последовательной шиной I²C, RFID-модуль с платой и пластиковой картой, провода, пьезодинамик, источник питания.



Рис. 1. Структурная схема устройства

На первом этапе создаем корпус. Существуют специальные платформы для корпусов, но у них немало минусов. Такие платформы имеют маленькую прочность, и при любом случайном столкновении даже на стадии сборки могут испортиться. Тем более, они очень ненадежны в процессе эксплуатации. Чтобы избежать частых поломок, мы разработали корпус с помощью САПР Компас-3D [3]. Все детали корпуса мы распечатали на 3D принтере с использованием PLA пластика. Это биоразлагаемый материал, основой которого является полимолочная кислота. Сырьем для производства служит сахарный тростник или кукуруза. Такие экологичные материалы не наносят никого вреда окружающей среде. Даже при печати деталей практически не ощущается запах пластика.

Проектируем и разрабатываем функциональную схему устройства. Подключаем сервопривод для того, чтобы наш сейф мог открываться и закрываться. И соединяем его со светодиодом для индикации. Далее необходимо написать программный код, под управлением которого сейф будет открываться и закрываться [4]. Приведем пример самого простого кода для открытия сейфа с картой (рис. 2).

```

#include <Servo.h>
Servo servo;

#include <iarduino_4LED.h>
iarduino_4LED dispLED(A2, 2);

const uint8_t pinKeyPotLeft = A0;
const uint8_t pinKeyPotRight = A3;

const uint8_t pinKeyLedBlue = 10;
const uint8_t pinKeyBlue = 6;
const uint8_t pinServo = 11;

const uint8_t dreb = 10;

int menu;
int Left;
int Right;

String LeftChar;
String RightChar;
String times;

uint8_t codeLeft;
uint8_t codeRight;

int prevLeft;
int prevRight;

int prevLeftDat;
int prevRightDat;

int i, k;
  
```

Рис. 2. Отрывок из программного кода

Если программный код не распознает карту, то пьезодинамик начинает издавать звук, оповещая хозяина о том, что «чужая» карта была приложена к сейфу.

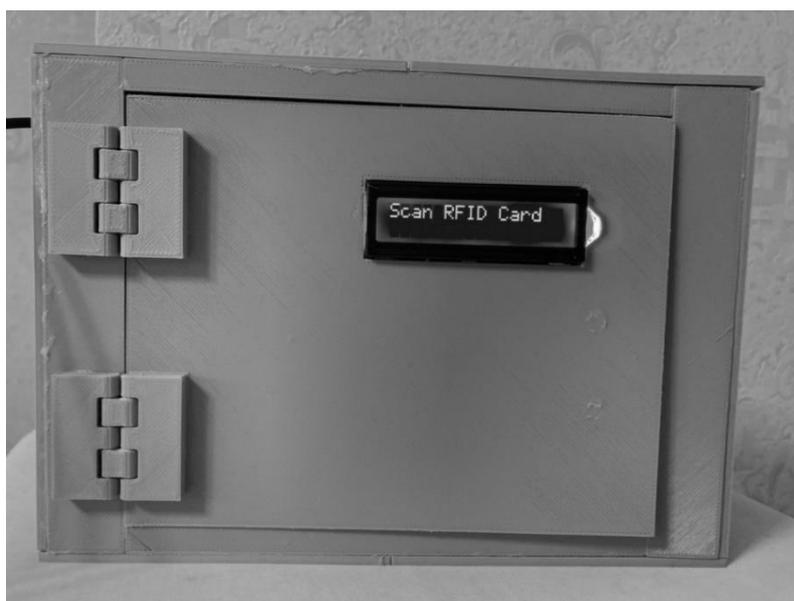


Рис. 3. Прототип сейфа

На рис. 3 представлен прототип сейфа с электронным замком. В дальнейшем нам предстоит закончить разработку корпуса, заменить пластик на металлический каркас, создать и подключить к микроконтроллеру камеру и умный датчик, позволяющий оценить обстановку около сейфа.

Библиографический список

1. Григорьев, А. Т. Универсальное устройство беспроводного управления бытовыми приборами на платформе Arduino / А. Т. Григорьев, Л. Н. Васильева // В сборнике : Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов. Сборник статей. В 2-х частях. Чебоксары, 2020. – С. 28–31.
2. Левитанус, К. А. Робот-уборщик на базе микроконтроллера Arduino UNO / К. А. Левитанус, М. О. Морозова // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2021. – № 1. – С. 224–226.
3. Туливетрова, А. А. Модель руки робота-манипулятора / А. А. Туливетрова, Н. В. Савельева, Л. Н. Васильева // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов. Сборник статей. В 2-х частях. – Чебоксары, 2020. – С. 142–147.
4. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер // Санкт Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

АДАПТАЦИЯ И СОЗДАНИЕ МОДУЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА

Мошкин¹ Глеб Павлович,
Грачев¹ Александр Викторович,
Туманина¹ Полина Дмитриевна – ученики гимназии
Аминев² Тимур Ришатович, аспирант
E-Mail: gleb_moshkin@mail.ru

1 – Академическая гимназия СПбГУ им. Д.К. Фаддеева

2 – Физический факультет СПбГУ кафедра фотоники

Академическая гимназия им. Д.К. Фаддеева при СПбГУ,
г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс разработки и создания модульного 3D принтера, приведены необходимые для этого сведения и справочные материалы. Проведен подробный анализ рынка 3D принтеров со сходными характеристиками. Рассмотрен процесс разработки и развития аддитивных технологий, описаны первые технологии печати. Также в тексте приводятся цели и задачи исследовательской работы, описываются основные конструктивные элементы готового принтера и разработка собственных узлов, представлена уникальная модульная система, описана ее актуальность особенности и перспективы возможного использования в промышленности и в быту. Проведен сравнительный анализ существующих систем ремней, кинематик и технологий 3D печати.

3D печать в наше время является одним из наиболее многообещающих направлений развития науки и техники. Разработанная модульная система позволяет осуществлять 3D печать широким спектром различных материалов. В ее основе лежит возможность смены каретки с экструдерами. Каретка может быть быстро адаптирована под заданный экструдер и изготовлена по FDM (*Fusion Deposition Modeling*) технологии. Таким образом система позволяет осуществить 3D печать с любыми существующими печатающими головками небольших габаритов и весом не более 100 г.

Ключевые слова. 3D принтер, модульная система, разработка 3д принтера, модульный 3д принтер, аддитивные технологии.

Введение. 3D печать в наше время является одним из наиболее многообещающих направлений развития науки и техники. Перспективы развития данной области поистине поражают, так как, используя 3D печать, можно создавать огромное множество разнообразных объектов, начиная с детских игрушек и игровых фигурок, заканчивая домами и живыми тканями.

Аддитивные Технологии, или 3D печать, очень разнообразны (FDM (*Fusion Deposition Modeling*), FFF (*Fused Filament Fabrication*), SLA (*stereolithography apparatus*), SLM (*Selective laser melting*), SLS (*Selective laser sintering*) и т. д.).¹ Посредством 3D печати изготавливают различные элементы механизмов, литьевые формы, протезы, имплантаты, сопла ракетных двигателей и многое другое. Перспективы развития данной отрасли сулят как создание трансплантатных органов, не вызывающих отторжения у пациента², так и простое изготовление бытовых вещей для обывателя.

¹ Роман Стоганов 3D печать. Коротко и максимально ясно 2016 – 24–31 с.

² Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Энрике Канесса, Карло Фонда, Марко Дзеннаро

Цели. Главными целями нашего проекта является разработка 3D принтера с характеристиками, сопоставимыми с заводскими моделями, а также проведение исследования на темы, понимание которых необходимо для изготовления 3D принтера, и разработка уникальной модульной системы, основанной на замене экструдера или портала. Также одной из целей нашей работы можно назвать проведение пробной печати на созданном принтере.

Задачи. Ниже приведен перечень задач, который был сформирован нашей командой:

- изучить теоретическую часть, а именно то, из каких частей состоит 3D принтер, как он устроен и какие технологии нужны, чтобы создать свой принтер;³
- выбрать оптимальный вариант для создания принтера среди изученных нами конструкций;
- проанализировать и выбрать наиболее подходящие программы для использования принтера;
- запрограммировать микроконтроллер, лежащий в основе принтера;
- настроить принтер;
- осуществить печать пробных моделей.

Актуальность. Актуальность нашего проекта в первую очередь заключается в уникальной модульной системе, разработанной нашей командой. Уникальность состоит в том, что данный 3D принтер способен печатать широким спектром материалов, такими как привычный многим пластик, шоколад, гидрогель, глина и прочие вещества, пригодные для FDM печати⁴. Идентичных продуктов с данной системой печати не существует. Ближайшими аналогами можно назвать лишь ЧПУ станки с возможностью устанавливать различные фрезы и сверла, однако это направление далеко от 3D печати. Кроме того, наш принтер значительно дешевле и проще своих аналогов.

Модульная система. Наш принтер, как было упомянуто выше, использует кинематику XYhead Zbed, и поэтому направляющие одной из осей могут быть без труда демонтированы и заменены на другие направляющие, имеющие идентичное крепление и правильно расположенные ролики для крепления ремней. Именно этот принцип и позволяет заменять один экструдер другим, подходящим для печати другим материалом.

Разработка. Первым этапом проектирования было глубокое изучение информации, выбор механики и кинематики принтера. Вторым этапом разработки была проектировка рамы с учётом выбранной нами конструкции. После первичного компьютерного моделирования⁵ был составлен список необходимых для изготовления материалов. Когда был составлен список, те компоненты, которые невозможно изготовить самостоятельно, были закуплены, а наша команда начала работать над созданием всех остальных частей принтера. Когда материалы были доставлены, а модели распечатаны, мы приступили к сборке 3D принтера. Первым этапом была сборка рамы из алюминиевого профиля 40×40 мм. Затем к готовой раме были прикреплены рельсовые направляющие осей X и Z. После этого была проведена точная выверка и корректировка рамы. Впоследствии на полученную раму была установлена вся необходимая фурнитура, шаговые двигатели, датчики и все необходимые электронные компоненты. Следующим шагом была установка блока питания на 12 вольт и платы Arduino Mega, с установленным на нее блоком расширения Ramps 1.5. На этом этапе создание самого принтера было завершено, и следующим этапом был выбор ПО для принтера. Мы решили воспользоваться open-source проектом Marlin. Кроме того, для печати мы использовали программу Repetier-Host, в которой можно как проводить слайсинг и печать, так и отлаживать принтер. Мы выбрали именно эти программы из-за

³ Дмитрий Горьков, Валентин Холмогоров. 3D-печать с нуля 2020, 22–72 с.

⁴ В. С. Ким Теория и практика экструзии полимеров 2005, 30–53 с.

⁵ Клайн Лидия Слоун Fusion 360. 3D-моделирование для мейкеров 2021

их удобного интерфейса, возможности бесплатного использования и лучшей среди аналогов совместимостью с нашими устройствами.

Заключение. В результате проделанной нашей командой работы была разработана уникальная модульная система, был получен полностью функциональный модульный 3D принтер, соответствующий всем заложенным в изначальный план характеристикам. Кроме того, была проведена серьезная работа, связанная с глубоким изучением технологий, применений, перспектив и истории 3D печати, был изучен рынок 3D принтеров и необходимых для его создания компонентов, изучены и освоены программы, необходимые для создания принтера, 3D моделирования и проведения печати. Также в ходе экспериментов было изучено влияние определённых настроек на качество и результат печати.

Перспективы развития. В будущем планируется улучшить внешний вид принтера, в том числе провести кабель менеджмент, собрать и установить защитный кожух для платы принтера. Также мы собираемся изготовить комплект сменных экструдеров на принтер, заменить кабель-канал на открывающийся, чтобы упростить смену экструдера, разработать пользовательский интерфейс для удобства пользования принтером, создать новый принтер с учетом всех недостатков текущей конструкции и с использованием полученного опыта и знаний.

Библиографический список

1. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – Москва : Химия: КолосС, 2005. – 566 с. – ISBN 5-98109-019-7 ISBN 5-9532-0231-8
2. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Энрике Канесса, Карло Фонда, Марко Дзеннаро – МЦТФБ. 2013, – 190 с. – ISBN 92-95003-48-9
3. 3D-печать с нуля / Дмитрий Горьков, Валентин Холмогоров. – ВHV. 2020 – 256 с. – ISBN 978-5-9775-6599-8
4. 3D печать. Коротко и максимально ясно / Роман Стоганов. – LittleTinyH Books, 2016 – 76 с.
5. Fusion 360. 3D-моделирование для мейкеров / Клайн Лидия Слоун. – БХВ-Петербург, 2021. – 288 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА КАМЕР ВЫРАЩИВАНИЯ

Олигер Максим Максимович, студент-магистрант
Габитов Рустем Ильдусович, канд. техн. наук, доц.
E-Mail: oligerno@gmail.com

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева,
г. Казань, РФ

Аннотация. Аграрный сектор – одна из важнейших составляющих экономики любого государства. Помимо весомой роли в образовании ВВП страны (у некоторых стран являющейся основообразующей), сельскохозяйственные производства, в частности отвечающие за выращивание культур, равномерно в течении всего календарного года обеспечивают население необходимыми нормами свежих овощей, фруктов и т.д. Однако, нахождение некоторых стран в умеренной климатической зоне, не позволяет в течении всего года равномерно получать необходимое кол-во культур из открытого грунта [1]. Для этого весь процесс выращивания проводится внутри камер выращивания. Среди технологических процессов, проводимых в камерах выращивания, основную роль играет контроль параметров микроклимата. Основными параметрами микроклимата являются: температура и влажность почвы или субстрата, температура, давление и влажность воздуха, освещенность для растений, уровень углекислого газа и др. Для соблюдения агротехнических требований необходима система для непрерывного автоматического контроля параметров микроклимата в теплице, не говоря о том, что данные системы увеличат производительность не только больших производств, но и маленьких фермерских хозяйств, позволяя наращивать объемы и сокращать трудозатраты человека по поддержке благоприятных условий выращивания, оставляя за ним право производить регулировку основных параметров микроклимата и мониторинг собранных системой данных

Ключевые слова. Микроклимат помещений, встраиваемая система, многомерная база данных, микроконтроллер, проектирование, разработка.

Система представляет из себя трехуровневое приложение. На первом уровне находится микроконтроллер, производящий управление датчиками, элементами управления нагрузкой, сервоприводами и другими составляющими контроля микроклимата. Микроконтроллер, в том числе, производит прием сообщений от сервера приложений, устанавливая задаваемые параметры микроклимата для текущей стадии технологического процесса, а также передачу сообщений обратно на сервер, содержащие информацию о текущем состоянии системы. Сервер приложений, в свою очередь, обрабатывает полученные данные, отображая их клиенту на веб-интерфейсе в понятном для него виде, параллельно с этим передавая данные на следующий уровень, записывая их в базу данных, в том числе многомерную, для последующего анализа и получения статистики с целью продуктивного регулирования параметров системы.

Рассмотрим каждый элемент системы. Начнем с микроконтроллера. Для разработки данного проекта был выбран ESP-8266 с тактовой частотой 80 МГц, флеш-памятью в количестве 4 Мб, что необходимо для кэширования данных параметров системы для возможности их восстановления при внеплановом отключении питания, вкпе с отсутствием подключения к точке доступа [3]. Данный контроллер имеет встроенный Wi-fi модуль, что позволяет не только производить обмен данными по сети интернет через точку доступа, но и организовывать свою внутреннюю локальную сеть из нескольких устройств. Немаловажным фактором выбора данного устройства является возможность подключения огромного количества программных библиотек, что позволяет безболезненно интегрироваться с

практически любой из микросхем, представленных на рынке комплектующих для встраиваемых систем, а также большое активное сообщество разработчиков, что позволяет оперативно получить нужную информацию по вопросам разработки. Перейдем к выбору датчиков: здесь важна их точность и диапазон измерений. Для измерения влажности воздуха был выбран датчик DHT22 с погрешностью измерений в 2 % и диапазоном от 0 до 100 процентов. Температурный режим будет измеряться датчиком DS18B20 с погрешностью не больше 0,5 °С и диапазоном от –55 °С до +125 °С. Самым дорогим и прихотливым устройством измерения в данной системе является датчик измерения уровня углекислого газа MHZ19B, который детектирует уровень CO2 по принципу не дисперсионного инфракрасного излучения с диапазоном измерений от 0 до 5000 ppm (миллионная доля), а также имеет большой срок службы. Дополнительными составляющими аппаратной части системы являются элементы управления нагрузкой: реле, диммеры и транзисторы, которые играют роль ключа для подачи питания на элементы регулирования параметров климата (вентиляторы, кондиционеры, нагреватели, помпы и т. д.) по команде микроконтроллера. Схематично составляющие аппаратной части системы изображены на рис. 1.

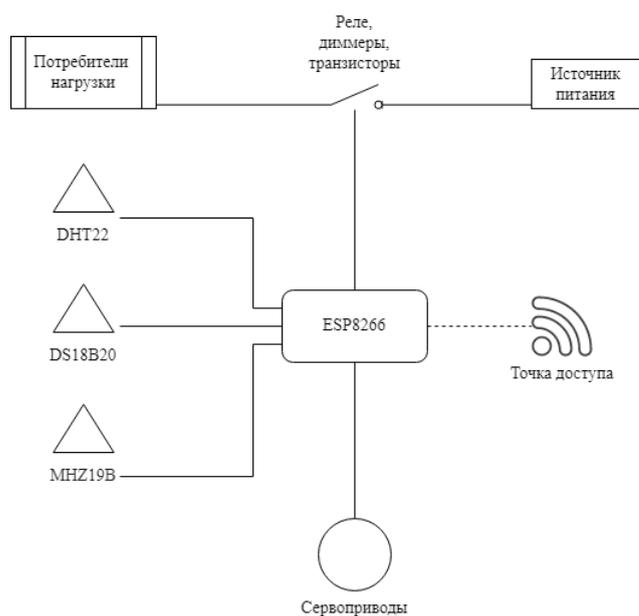


Рис. 1. Структура аппаратной части системы

Сервер приложения находится под управлением операционной системы Ubuntu с установленным на нем сервисом Home assistant - программное обеспечение с открытым исходным кодом для домашней автоматизации, предназначенное для использования в качестве центральной системы управления устройствами «умный дом». Доступ к этому сервису пользователь получает через веб-интерфейс или приложения для смартфонов на базе операционных систем Android или iOS. Данный программный продукт позволяет гибко настраивать отображаемые элементы, создавать события и триггеры, а также настраивать пользовательский интерфейс с практически полной свободой действий. Пример интерфейса, созданного с помощью Home assistant представлен на рис. 2.

Серверу и микроконтроллеру необходима возможность обмена данными. Для этого был использован брокер сообщений Mosquitto, чей сервис был интегрирован с приложением на сервере, а библиотека подключена к микроконтроллеру. Mosquitto работает на базе легковесного протокола обмена сообщениями MQTT (message queuing telemetry transport), работающим на базе шаблона издатель-подписчик. Издатель публикует топики – сообщения с определенным заголовком, а подписчик подписывается на эти топики и отслеживает их появление в очереди сообщений. Принимая сообщения, микроконтроллер устанавливает значения параметров микроклимата, пришедших с сервера, а сервер, в свою

очередь, отображает текущие значения измерений на интерфейсе пользователя и перенаправляет их в базу данных.



Рис. 2. Пример интерфейса Home assistant

База данных приложения работает под управлением СУБД (система управления базами данных) MySQL – всемирно известным продуктом компании MySQL AB. Данная СУБД была выбрана ввиду опыта использования и возможностью создания многомерных баз данных. База данных состоит из следующих частей:

- центральное хранилище данных, в котором хранятся переданные с датчиков измерения, информация о камерах выращивания, урожае и т.д.;
- схема с таблицами фактов и измерений, приведенных к схеме «звезда»;
- сервер OLAP с многомерной базой данных.

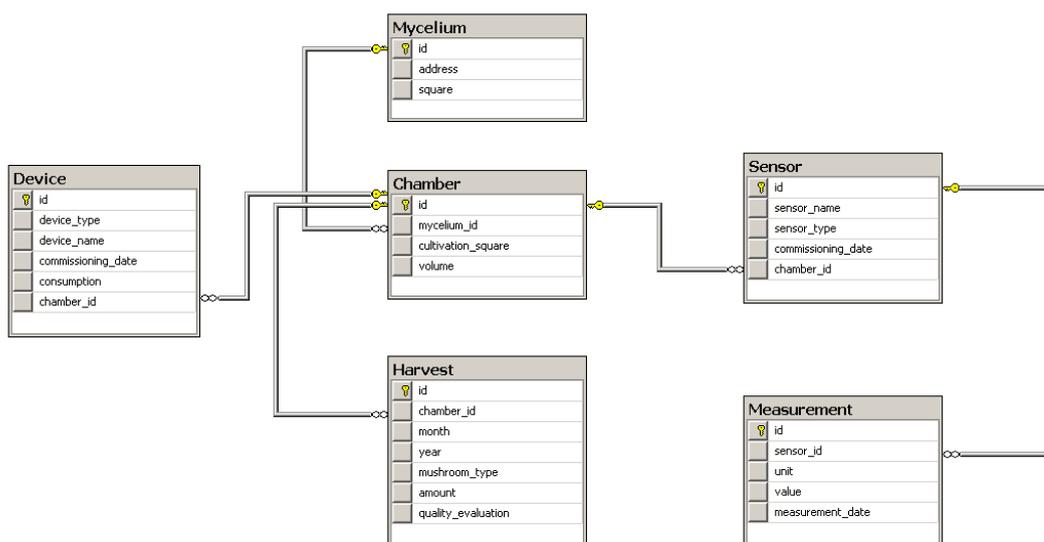


Рис. 3. Схема центрального хранилища данных

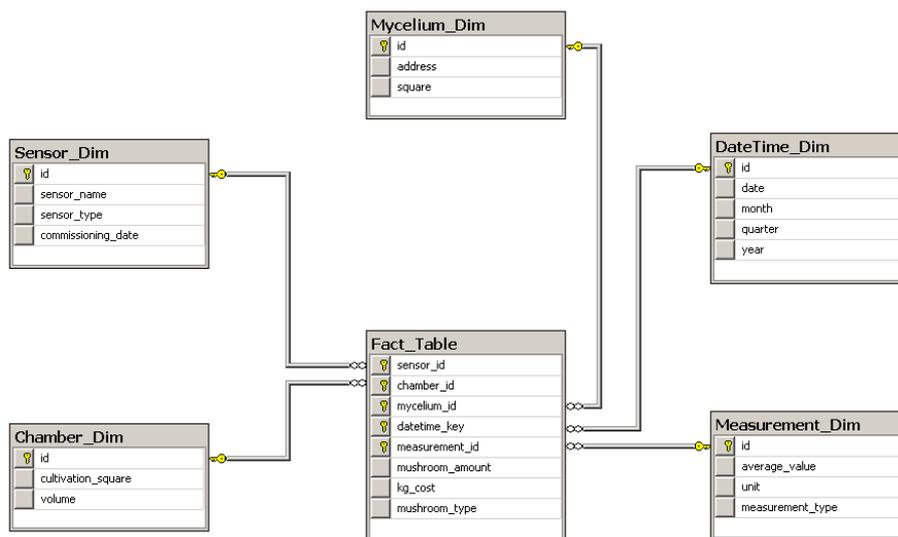


Рис. 4. Схема таблиц измерений и фактов по схеме «звезда»

При помощи приведенных выше таблиц мы можем создать так называемый OLAP-куб для получения аналитических данных. Например, на рис. 5 представлен двумерный срез куба, представляющий кол-во выращенных грибов в зависимости от месяца.

Drop Filter Fields Here			Drop Column Fields Here			
Year	Quarter	Month	Fact Table Count	Kg Cost	Mushroom Amount	
2021	1	1	4	393.9668	400	
		2	4	393.9668	440	
		3	4	393.9668	460	
			Total	12	1181.9004	1300
	2	4	4	393.9668	520	
		5	4	393.9668	520	
		6	4	393.9668	600	
			Total	12	1181.9004	1640
			Total	24	2363.8008	2940
			Grand Total	24	2363.8008	2940

Рис. 5. Срез OLAP-куба

Тем самым, при помощи современных технологий и инструментов разработки был получен прототип системы контроля микроклимата камер выращивания, который может быть улучшен, дополнен и оптимизирован под индивидуальные потребности любого заказчика. Внедрение данных систем во многие частные фермерские хозяйства позволит во много раз улучшить контроль технологического процесса выращивания культур, тем самым повысив количество и качество производимой продукции.

Библиографический список

1. Ухаров, П. Е. Методы управления обогревом теплиц в условиях информационной неопределенности : диссертация кандидата технических наук : 05.13.06. – Москва, 2005. – 165 с.
2. Jack G. Ganssle. The art of designing embedded systems. Butterworth-Heinemann, 2000. – 312 p. – SBN 0-7506-9869-1.
3. Yogendra, S. P. Internet of Things and Nodemcu A review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products / S. P. Yogendra. – Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. – 2019.

ИНСТРУМЕНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Подколзин Георгий Дмитриевич, студент магистратуры
E-Mail: georgiipodkolzin992@gmail

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. В статье рассмотрены пути максимизации технико-экономического эффекта мехатронных систем через применение параллельного проектирования мехатронных модулей. на данный момент существующие методы проектирования мехатронных систем, имеют множество нерешенных проблем. При создании мехатронных систем необходимо правильно учитывать не только состав и функциональные требования мехатронных систем, но и кадровое и научное оснащение, технологические процессы, окоლოსистемную оснастку, проблемы взаимодействия подсистем. Рассматривается необходимость разработки технических требований к мехатронной системе посредством анализа метода их реализации. Необходимость системного исследования взаимодействия мехатронной системы с иным технологическим оборудованием, работающим совместно с основным, и объектами манипулирования. Этим ставится цель выявить возможности облегчения требований к системе, при этом внося достаточно малые изменения, таким действием мы можем получить технико-экономическую выгоду для единой системы синергично работающих машин. В качестве инструмента для оптимизации проектирования, в статье приводится алгоритм создания схемы процесса проектирования. Дана структура проектирования сложных мехатронных систем, выявлены программные, аппаратные, организационные проблемы проектирования мехатронных систем. Приводится принцип распараллеливания, а также условия, при которых достигается максимум технико-экономической пользы, при проектировании мехатронных систем. Рассматриваются недостатки систем, используемых при компьютерном проектировании.

Ключевые слова. Мехатроника, проектирование, мехатронная система, оптимум распределения функций, окоლოსистемная оснастка.

Задействование классических методов проектирования мехатронных систем создает проблемы, приводящие к потере надежности, ухудшению качества мехатронных систем, это отсутствие системного подхода при проектировании мехатронных систем, слишком усложнившаяся система унификации и стандартизации компонентов, что ведет к разработке различных компонентов мехатронных систем на разных предприятиях часто без учета проблем интеграции компонентов в конкретную мехатронную систему, отсутствие единой системы управления и контроля проектированием компонентов и их интеграции, использование каскадной модели жизненного цикла мехатронных систем, что лишает проектировщиков возможности в постоянном режиме исправлять недостатки и модернизировать уже сданные в производство проекты мехатронных систем [2]. А также оторванность стадии проектирования мехатронных систем от остальных стадий их жизненного цикла, разрозненность структур их управления, отсутствие обратных связей.

При наличии системы управления проектированием всех компонентов и в целом мехатронной системы проектирование производится не оптимально.

Обратим внимание на особенности сложных мехатронных систем как объекта проектирования.

Разрабатывая технические требования к мехатронной системе, анализируя методы их реализации, требуется системно исследовать взаимодействие мехатронной системы с иным технологическим оборудованием, работающим совместно с основным, и объектами манипулирования. Этим ставится цель выявить возможности облегчения требований к системе, при этом внося достаточно малые изменения, таким действием мы можем получить

технико-экономическую выгоду для единой системы синергично работающих машин. Максимум технико-экономической пользы при этом может быть достигнут, при условии, что главная мехатронная система проектируется одновременно со всем оборудованием.

Обычно такой подход имеет место при проектировании сложных промышленных мехатронных систем, проводящих основу технологических операций.

Рассмотрев системные взаимодействия мехатронной системы с внешней средой и оптимизации технических требований к ней перейдем к проектированию производственной мехатронной системы. Принцип, взятый за основу здесь - декомпозиция, то есть разделение единой задачи проектирования на несколько относительно простых задач.

Принято считать, что мехатронная система состоит из двух основных функциональных частей – исполнительных систем и устройства управления ими. Устройства управления при этом делятся на аппаратную и программную части. При этом первым этапом проектирования после составления функциональной схемы мехатронной системы ставится проведение ее разбиения на четыре части – аппаратуру управления, механическую систему и программное обеспечение, околосистемную оснастку.

Принципом, взятым за основу решения этой задачи, является распределение функций мехатронной системы и технических требований к нему между этими взаимосвязанными частями [2].

На основе результатов, полученных из пунктов выше, создается план процесса проектирования, включающий в себя указанные выше параллельные ветви, каждая из которых содержит общие этапы с итерациями в виде обратных связей.

В общем, алгоритм проектирования мехатронной системы применительно к промышленным мехатронным системам будет таким: Первое это формулирование заказчиком исходных данных для разработки мехатронной системы, включающих параметры объекта промышленной обработки, назначение мехатронной системы, технические требования к перемещениям, и пр [1]. Далее разрабатывается техническое задание, после выбираются прототипы. Разрабатываются календарный график работы над проектом и техническое предложение.

Исходя из этих данных, далее должны осуществляться такие действия, как:

- размещение и выбор приводов;
- выбор серийного устройства управления;
- подбор или проектирование рабочих органов;
- создание структурной, кинематической схемы по результатам предыдущих работ;
- расчет схемы;
- расчет погрешностей;
- динамический расчет;
- создание программы управления;
- заключение об итогах выполнения технического задания и сравнение с прототипами.

6. Производство тестового проекта.

7. Создание рабочей и технической систем. С углублением и последовательным уточнением, перечисленные выше пункты повторяются на последних двух этапах, возможно при этом применение математического моделирования. Для производства современных мехатронных систем используются специальные системы компьютерного проектирования.

Для общего проектирования мехатронных систем проектирования сегодня используются CAD/CAM/CAE системы [3]. Однако они не имеют средств общего структурного и функционального моделирования разнородных частей системы. Разработчик вынужден задействовать большое количество разных, плохо конвертируемых друг в друга систем для создания всех этапов проекта мехатронной системы, что приводит к искажениям в процессе проектирования, противоречиям.

Руководствуясь вышеописанным подходом было проведено проектирование мехатронной системы установки для укладки кирпича.

Делая вывод можно отметить, что на данный момент существующие методы проектирования мехатронных систем, имеют множество нерешенных проблем. При создании мехатронных систем необходимо учитывать не только состав и функциональные требования мехатронных систем, но и кадровое и научное оснащение, технологические процессы, околосистемную оснастку, проблемы взаимодействия подсистем. Системы автоматизированного проектирования также имеют недостатки, основные из них - проблемы конвертации файлов и узкая специализация.

Библиографический список

1. Электронный ресурс: <https://www.sekretariat.ru/article/210661-qqq-16-m9-proektnaya-metodologiya-rossiyskie-standarty-po-proektnoy-deyatelnosti>;
2. Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-slozhnyh-promyshlennyh-mehatronnyh-sistem>;
3. Электронный ресурс: <https://stankiexpert.ru/tehnologii/cad-cam-cae-sistemy.html>

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ЭКЗОСКЕЛЕТА, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ

Ромашенко Николай Андреевич, студент,
E-Mail: kolya.romashenko@ya.ru

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова», г. Белгород, РФ

Аннотация. В данной статье проведена классификация, основные достоинства и недостатки существующих типов экзоскелетов. На основе полученной классификации произведен выбор типа, которому должен соответствовать военный экзоскелет.

Ключевые слова. Экзоскелет, экзокостюм, робототехника, перспективные технологии, промышленность, армия.

Экзоскелетные костюмы одна из наиболее перспективных областей разработок. Несмотря на небольшой рынок и ограниченность технологий, экзоскелеты начинают внедряться в нашу повседневную жизнь – их используют крупные компании для помощи сотрудникам на производствах и на складах. Медицинские экзоскелеты активно применяются для реабилитации пациентов. Для применения в военных целях до сих нет полноценных образцов. Рассмотрим классификацию современных экзоскелетов и выберем наиболее оптимальный для применения в военных целях.

На данный момент экзоскелеты классифицируют следующим образом: по источнику энергии, по области использования, по локализации, по типу привода, по типу управления.

По источнику энергии разделяются на активные экзоскелеты и пассивные экзоскелеты.

Активные экзоскелеты для приведения элементов своей конструкции в движение используют внешний источник энергии (аккумулятор, компрессор, баллон сжатого воздуха). Такой источник питания дает значительное увеличение силы оператора, скорости перемещения и амплитуды движений. Недостатки: отсутствие на рынке источников питания, способных привести экзоскелет в движение и при этом обеспечить высокую автономность работы. Сложность и, как следствие, дороговизна конструкции. Необходимость настраивать каждую модель экзоскелета под конкретного оператора.

Пассивные экзоскелеты вместо внешнего источника питания используют систему пружин, демпферов, противовесов и фрычагов для равномерного распределения остаточной кинетической энергии, и нагрузки на тело человека, разгрузки спины и суставов. Преимущества: небольшая стоимость, полная автономность, относительная легкость и простота конструкции. Недостатки: нулевая прибавка к силе оператора, так как пассивные экзоскелеты нацелены, в первую очередь на снижение утомляемости оператора. Уменьшение скорости передвижения и амплитуды движений, так как часть силы, затрачиваемой оператором, уходит на приведение частей экзоскелета в движение.

Используются экзоскелеты в медицине, промышленности, военной области и досуговых развлечениях (пульты управления VR).

Медицинские экзоскелеты могут быть как активного, так и пассивного типа, верхних или нижних конечностей. Они применяются для реабилитации инвалидов или абилитации людей, утративших моторные функции [1]. Для людей, восстанавливающих моторные функции после травмы, подходит использование пассивного экзоскелета, тогда как для пациентов, для которых восстановление моторных функций невозможно, использование активного экзоскелета может быть единственным способом двигаться самостоятельно. Но из-за того, что экзоскелет необходимо подбирать индивидуально в силу анатомиче-

ских особенностей конкретного пациента, это делает его изготовление достаточно дорогим. [2].

Наиболее полное применение экзоскелеты на сегодняшний день нашли в промышленности. На крупных предприятиях и производствах используют пассивные экзоскелеты нижних и верхних конечностей, создающих опору с целью снижения статической нагрузки на работника, увеличения производительности труда и охраны здоровья [3].

Военные экзоскелеты, как и промышленные, ориентированы на повышение характеристик здорового оператора. Они также могут быть активными и пассивными, однако, в отличие от промышленных экзоскелетов, к ним предъявляются более высокие требования, в частности, в плане надежности конструкции и времени автономной работы. Если в промышленности экзоскелеты уже активно используются, пусть и в небольшом количестве, то в военной сфере они пока существуют лишь в виде концептуальных моделей и прототипов.

Досуговые экзоскелеты, в большинстве случаев, используются совместно с технологией виртуальной реальности (VR) для более полного погружения в игровой процесс. Данный тип экзоскелета представляет из себя набор датчиков, крепящихся на тело человека и отслеживающих его движения с высокой точностью, а также систему приводов, обеспечивающих обратную связь [4].

По локализации экзоскелеты бывают верхних, нижних конечностей, и комплексные.

Экзоскелеты нижних конечностей и экзоскелеты-костюмы представлены на рынке в гораздо большем объеме, чем верхних конечностей. Это связано с большей областью их применимости, так как экзоскелеты верхних конечностей применимы только в узких областях промышленности, когда оператору необходимо подолгу находиться в статичной позе с поднятыми руками, а также в медицине для восстановления двигательных функций кисти.

По типу привода (для активных) делятся на электромеханические и пневмоприводные.

Экзоскелет на сервоприводах является часто используемым за счет распространенностью привода высоким КПД, хорошими динамическими показателями и простотой управления. Недостатки заключаются в необходимости использования редукторов и невысокие абсолютные показатели развиваемых мощностей.

В экзоскелете на основе гидроприводов в качестве исполнительных двигателей в основном используют гидравлические цилиндры, реже – поворотные гидродвигатели, что объясняется пониженным КПД последних за счет перетечек рабочей жидкости через торцевые уплотнения. К достоинствам данного типа привода относят высокие абсолютные значения развиваемых мощностей, хорошие динамические показатели и естественное ограничение хода в сочленениях. Недостатки – высокая сложность гидравлической системы, меньшая, по сравнению с экзоскелетами на основе электромеханических приводов, автономность.

Экзоскелеты, использующие пневматические привода, с точки зрения конструкции похожи на экзоскелеты использующие гидравлические привода, однако за счет использования сжатого воздуха и присутствия контуров высокого давления в непосредственной близости от оператора к их недостаткам можно причислить высокие требования к технике безопасности, плохие динамические характеристики и невысокие значения развиваемых усилий. К достоинствам же можно отнести более дешевую компонентную базу.

В отдельную категорию можно выделить экзоскелеты, использующие в качестве привода пневматические мускулы. Достоинства пневмомускулов – линейные силовые характеристики, невысокие габариты. Основной недостаток – ограниченное значение линейного перемещения (не более 25% от номинальной длины) [5].

По типу управления подразделяются с помощью датчика усилий, мышечной активности и нейронной активности.

Экзоскелеты с силовым управлением элементы конструкции приводятся в движение приводом, реагирующим на приложение оператором мышечных усилий.

Управление на основе мышечной активности основывается на применении датчиков, преобразующих биотоки, возникающие при напряжении определенных мышц, в сигналы управления экзоскелетом. Плюс такого типа – достаточно высока точность при условии использования высокоточного датчика. Однако при невысоких значениях биотоков распознать их на фоне шума может быть затруднительно. Также существуют мышцы, считать значения биотоков, которых невозможно.

Нейронная активность на данный момент является одним из наиболее перспективных направлений, однако вопрос пока не исследован в должной мере.

Приведя классификацию и анализ, можно сделать вывод, что экзоскелеты на нынешнем этапе развития далеки от идеала. В каждом классе имеются свои достоинства и недостатки, и для выбора оптимального типа экзоскелета, который будет удобен для применения в военных целях, необходимо четко сознавать задачи, для выполнения которых создается устройство, так как при выборе того или иного типа управления, области локализации, типа привода и т.д. необходимо будет идти на компромисс в пользу тех или иных характеристик.

При применении экзоскелета в боевых действиях необходимы такие характеристики, как время автономной работы, надежность конструкции и удобство использования.

Выбирая область локализации экзоскелета обязательно необходимо делать выбор в пользу комплексного экзоскелета, так как зарубежные разработчики идут именно по этому пути. Для верхних конечностей можно использовать прототип компании ExoRise конструкции типа «Третья рука», выпускающих экзоскелеты для промышленности. Такая конструкция способна разгрузить руки оператора при работе с ручным инструментом с массой до 40 кг (является пассивным экзоскелетом). Данная технология применима в военных целях для снижения нагрузки на руки солдата при выполнении действий или перемещении со стрелковым оружием, оперативного освобождения рук при необходимости.

При выборе между активным и пассивным типом экзоскелета необходимо выбрать промежуточный вариант. Для устройства «Третья рука» необходимо использование стабилизаторов и приводов, удерживающих устройство и оружие в заданном положении, а также приводящих устройство в движение при приложении оператором усилия. Соответственно, устройство «Третья рука» должно быть активного типа и иметь источники питания. Тип привода нижней части экзоскелета должен быть пассивным, так как они активно используются на промышленных предприятиях, позволяя снизить нагрузку на ноги и спину оператора, не прибегая к использованию дополнительных источников энергии [6].

Так как манипулятор «Третья рука» должен быть активным, следовательно, тип привода логически выбрать электромеханический за счет высокого КПД и простоты управления.

Управление будет осуществляться с помощью датчика усилий. Использование датчика нейронной активности недостаточно развита и сложна для калибровки под каждого оператора.

Таким образом, наиболее оптимальным типом экзоскелета для армии был выбран пассивный экзоскелет нижних конечностей, совмещенный с активным манипулятором типа «Третья рука», использующим электромеханические приводы и датчик.

Библиографический список

1. Щербина³, К. К. Исследование направления развития экзоскелетов опорно-двигательного аппарата / К. К. Щербина, М. А. Головин, М. В. Золотухина // Физическая и реабилитационная медицина. – Москва, 2019. – № 4. – С. 5–14.

2. Воробьев, А. А. Терминология и классификация экзоскелетов / А. А. Воробьев, Ф. А. Андриющенко, О. А. Засыпкина, И. О. Соловьева, П. С. Кривоножкина, А. М. Поздняков // Вестник ВолгГМУ. – 2015, – С. 71–78.
3. Верейкин, А. А. Практическое применение экзоскелетов в промышленности и строительстве / А. А. Верейкин // ПоСтройтехника / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.str-t.ru/reports/19/> (дата обращения: 05.09.2021)
4. Для виртуальной реальности разработали подвесной экзоскелет // Интернет-журнал N+1 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://nplus1.ru/news/2020/12/22/holotron/> (дата обращения: 05.09.2021)
5. Ефремова, К. Д. Технические средства пневмоавтоматики: пневмомускул / К. Д. Ефремова, В. Н. Пильгунов // Машиностроение и компьютерные технологии. 2017 – № 10. – С. 36–56.
6. Промышленный экзоскелет X-ARM // Официальный сайт компании ExoRise [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://exorise.com/projects/x-arm.html>

СЛОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ

Ромашенко Николай Андреевич, студент
E-Mail: kolya.romashenko@ya.ru

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова», г. Белгород, РФ

Аннотация. В статье были рассмотрены актуальность беспилотных автомобилей, а также определены необходимые параметры для создания системы обнаружений всевозможных помех и проблема реализации, связанная с необходимостью разработки гибридной системы управления.

Ключевые слова. Беспилотный автомобиль, устройство обнаружения объектов, устройство идентификации, устройство предотвращения столкновения, устройство управления.

В течение последнего десятилетия проводится довольно много исследований на тему автономности автомобилей. Технологии, разработанные в автомобильной промышленности, имеют место в горной промышленности, сельскохозяйственном оборудовании, морских судах и беспилотных летательных аппаратах.

Польза такого вида транспорта высока, поскольку он может применяться в медицине, охране, обучении, армии и т.д. Применение автономных транспортных средств возможно во многих сферах деятельности, однако, есть проблема в реализации, которая заключается в технической сложности и высокой стоимости. Автомобиль должен обнаруживать в режиме реального времени с условиями плохой видимости и неровных дорог людей, светофоры, дорожные знаки, адаптироваться к любым погодным условиям, соблюдать правила дорожного движения и в случае опасности предпринимать меры по защите людей на улице и пассажиров.

Проблема создания современных беспилотных автомобилей (рис. 1) заключается, в первую очередь, в разработке системы управления.



Рис. 1. Беспилотный автомобиль Lexus P4

Цель исследования состоит в том, чтобы определить необходимые параметры для системы управления автомобилем, такие как устройство обнаружения объектов, устройство идентификации, устройство предотвращения столкновения и устройство управления на основе дополнительных датчиков (рис. 2).



Рис. 2. Дополнительные датчики беспилотного Lexus P4

Для анализа опций автоматического управления беспилотных автомобилей требуется устройство обнаружения объектов. Это устройство получает изображение разделительной линии и область спланированного маршрута, и оценивает, находится ли объект в требуемой области. Согласно полученному изображению, устройство обнаружения объектов определяет расстояние между автомобилем и разделительной линией, вдоль которой автомобиль перемещается.

Устройство идентификации обнаруживает другой автомобиль на основе степени сходства между текущей скоростью и скоростью, первоначально назначенной, а также определяет совпадения между размером обнаруженного автомобиля и размером автомобиля согласно его модели.

Устройство предотвращения столкновений получает оптические сигналы излучения от автомобилей, проходящих в потоке и встречных машин, преобразовывает их в электрические сигналы, определяет расстояния до автомобилей, определяет скорости подхода, а также определяет геометрические размеры автомобилей, перемещающегося в том же направлении.

Устройство управления включается, когда необходимо ограничить подъезд автомобиля к препятствию. Камеры передают изображения, и устройство обработки определяет маршрут. Согласно полученным данным, относительно дорожного маршрута и угла автомобиля, вся информация передается контроллеру управления. При отсутствии маршрута в навигаторе, он создается исходя из анализа поворотов дороги, ограничений и т.п.

Радар миллиметрового диапазона или оборудование лазерного локатора используется для обнаружения препятствий слева, справа и позади автомобиля.

Анализ рассмотренных устройств автоматического управления показывает, что необходимо создавать гибридную систему управления для беспилотных автомобилей, так как ни одно из устройств не может независимо решить все задачи, с которыми встречаются беспилотные автомобили.

Библиографический список

1. Клячек П. М. Системы обработки информации и управления на автомобильном транспорте: Учебное пособие / П. М. Клячек, С. И. Корягин – Калининград : Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008.
2. Беспилотный автомобиль [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_автомобиль (дата обращения: 15.04.2022).
3. Козорез Д. А. Состав и структура автономных систем навигации и управления роботизированного прототипа автомобиля / Д. А. Козорез, Д. М. Кружков // Спецтехника и Связь. – 2012. – № 3.

ДРОНЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Сёмина Анастасия Валерьевна, студентка

E-Mail: ekaterinasyomina.98@gmail.com

Шамардина Ирина Александровна, канд. экон. наук., доц.

E-Mail: gorira@yandex.by

Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

г. Минск, Беларусь

Аннотация. Одним из знаковых символов современной «революции роботов» в мире являются беспилотники. Первый образ, вызывающий с ними ассоциацию у обывателей, – дроны. Они могут быть представлены наземными машинами, движущимися без помощи человека и подводными беспилотниками. В данной статье речь пойдет о беспилотных летающих аппаратах и возможностях их использования в охране окружающей среды.

Ключевые слова. Беспилотный летающий аппарат, чрезвычайные ситуации, дроны, природа, защита окружающей среды.

Введение. Охрана природы является одной из важнейших проблем в мире, а по оценкам специалистов, состояние окружающей среды на планете неуклонно ухудшается: изменение климата, сокращение площади лесов, увеличение опустынивания, разрушение озонового слоя, загрязнение атмосферы и мирового океана [5]. С другой стороны, такие процессы необратимы, несут скорее естественный формат ввиду развития технологий, роста населения мира, количества машин и роботов. Последние, будучи созданные человеческими руками, призваны сохранять природу, защищать окружающую среду и следить за поддержанием ее безопасного состояния.

Основная часть. По данным МЧС Республики Беларусь, в стране за 2021 г. произошло 6275 чрезвычайных ситуаций, из них свыше 6268 чрезвычайных ситуаций техногенного характера [3]. Годовой экономический ущерб от чрезвычайных ситуаций составляет 0,54 % ВВП, что в свою очередь значительно тормозит экономический рост.

Наряду с природными чрезвычайными ситуациями, проблемы в плане техносферной безопасности также актуальны для общества и государства. На территории Беларуси ежегодно образуется более 4 млн тонн твердых бытовых отходов. За первый квартал 2021 г. территориальными органами Минприроды выявлено более 3600 фактов размещения отходов в несанкционированных местах.

Вопросы защиты окружающей среды находятся в приоритете государственной политики Беларуси, что указано в Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 г. Цели и задачи Стратегии-2035 могут быть реализованы, в том числе посредством развития науки. Особенная роль в обеспечении экологической безопасности отводится инновациям согласно научно-технического и инновационного развития в области охраны окружающей среды и устойчивого использования природных ресурсов на 2021–2025 гг.

Следовательно, решение всех экологических вызовов возможно, в т. ч. путем использования дронов.

В США единственным признаком беспилотного летающего аппарата считают отсутствие пилота. В ЕАЭС это летательный аппарат без пилота (экипажа), управляемый автоматически либо оператором с пункта управления, либо сочетанием этих способов. В Беларуси – летательный аппарат без пилота и без экипажа.

Первые беспилотники появились еще в середине XIX в. и использовались только в военных целях. В настоящее время помимо военных целей, дроны широко используются и для бытовых нужд. Например, как правило, каждая передача новостей сопровождается

обзорными кадрами, снятых кинокамерой с дрона. Также они используются для быстрой доставки различных грузов от почтовых отправок до заказанных товаров из магазина.

Беларуские беспилотники, такие как «Бусел» и «Буревестник», появились на рынке относительно недавно – с 2013 г., но уже успели положительно себя зарекомендовать. Они вызывают все больший интерес в ЕАЭС, Азии, Латинской Америке. Принята госпрограмма «Многофункциональные беспилотные авиационные комплексы», создан Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов при Физико-техническом институте Национальной академии наук, курирующем дроны гражданского и двойного назначения.

Сравнительная характеристика двух беспилотников (Буревестник и Бусел) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика беспилотников, произведенных в Беларуси

	Буревестник	Бусел
Производитель	Беларусь, РУП «Научно-практический центр многофункциональных беспилотных комплексов»	
Максимальная скорость	до 250 км/ч	90–110 км/ч
Дальность и продолжительность полета	дальность полета до 1000 км., продолжительность – 10 ч.	дальность полета до 40 км., продолжительность – до 14 ч.
Максимальный вес груза	до 60 кг	до 20 кг
Особенности	передача данных на 290 км. без задержки сигнала; фото-, видео- и инфракрасная съемка	фото-, видео-, инфракрасная и мультиспектральная съемка.
Модели	«Буревестник МБ»	«Бусел М», «Бусел М40» и «Бусел М50»

Источник: собственная разработка на основе [1].

Исходя из представленных характеристик, можно предположить, что такие аппараты целесообразно использовать спасателям, военным, пограничникам и аграриям, в т. ч. благодаря их преимуществам:

- увеличенная дальность связи;
- современные целевые нагрузки (ТВ, ИК-камеры с лазерным дальномером, фотокамеры), высокое разрешение съемки;
- автоматическое сопровождение подвижного объекта;
- простота и надежность эксплуатации;
- всепогодность, устойчивость к сильному ветру;
- малая визуальная, тепловая и акустическая заметность;
- устойчивость к помехам, «антиспуфинг», защищенные каналы связи, работа в условиях временного отсутствия GPS.

Беспилотники, используемые в Беларуси в экологических целях, реализуют следующие мероприятия:

1) контроль за незаконным вывозом мусора и организацией стихийных несанкционированных свалок. Дроны не просто фиксируют факт наличия незаконной свалки, но и выполняют необходимые замеры с воздуха. По словам специалистов, раньше на такие мероприятия уходило много времени, ведь для определения размеров и глубины завалов нужно было забираться на вершину кучи и высчитывать все с помощью тахеометра [4]. Специальная программа на дроне за считанные минуты способна рассчитать объемы мусора, рассчитать, сколько техники будет нужно для устранения свалки и какой штраф грозит лицам, складирующим отходы в этом месте.

2) максимально быстро и точно провести полную инвентаризацию лесных массивов. Дроны буквально за несколько часов позволяют осмотреть территорию в 100 квадратных километров. Эксперты в этой области могут легко найти места вырубки, оценить высоту деревьев и проверить запас древесины. Беспилотники также могут быть использованы с целью мониторинга состояния лесопосадок и обнаружения инвазии короеда. Сте-

пень повреждения деревьев можно легко оценить с помощью данных, полученных во время съемки с воздуха. Они позволяют оценить цвет и текстуру кроны деревьев и определить степень повреждения. Съемка в инфракрасном диапазоне позволяет осмотреть лесные массивы, определить состав пород и найти очаги распространения вредителей.

3) обнаружить рыбных браконьеров на больших площадях. Дроны позволяют Государственной инспекции охраны животного и растительного мира осмотреть большую площадь за 30 минут и найти нарушителей. Полученные видео и фотоснимки с беспилотных летающих аппаратов используются в качестве неопровержимых доказательств нарушения закона.

4) более безопасное тушение пожаров, в отличие от обычной авиации. Для самолетов дым ухудшает видимость, а горячий воздух усложняет управление ими. Более того, это может нарушить работу двигателей и привести к катастрофе. Беспилотник «Буревестник» может нести нагрузку до 60 кг. Емкости могут быть сброшены или поочередно, или же одновременно.

Все эти мероприятия значительно облегчают и повышают эффективность природоохранной деятельности, однако, перечень экологических проблем довольно широк. Важное значение имеют оценка и адаптация международного опыта в применении дронов для экологии. Например, такие дроны как DJI Mavic 2 Enterprise Dual и DJI Mavic 2 Enterprise Advanced помогают отслеживать популяцию редких животных. Этот способ дешевле спутников и не создает столько шума по сравнению с вертолетами. Другие помогают оценить загрязнения рек и озер по примеру мониторинга мирового океана с помощью дрона eBee. Беспилотный летательный аппарат фиксирует изображение с геодезической точностью, производит съемку с учетом рельефа и оперативно передает данные операторам. Беспилотник позволяет вести мониторинг даже в сильно заболоченных и заросших растительностью местах, куда другим способом добраться невозможно.

Сегодня с использованием квадрокоптеров в Беларуси связано несколько нерешенных вопросов. Первый – проблема ограничения частотного диапазона, на котором происходит управление беспилотниками и мощности передатчика. В Беларуси, в отличие от стран Европы, России или Казахстана, она ограничена частотой 2,4 мегагерца с мощностью 10 милливатт. Вопрос второй связан со вторжением в частную жизнь. Однако, эта проблема не решена в мире повсеместно. Для ее решения целесообразно внести соответствующие поправки в законодательство в области привлечения нарушителя к административной, а в некоторых случаях и уголовной ответственности, в случае публикации в широком доступе снимок граждан без их ведома и согласия. Наконец, третья проблема – высокая стоимость использования дронов. Для обеспечения финансовой окупаемости дронов в экологических целях целесообразно предложить расширение функций дронов до сочетания применения с коммерческими целями, например, туристскими: аренда дронов для туристов по наблюдению за дикой природой.

Заключение. К 2025 г. объем мировой индустрии беспилотников вырастет до 14 млрд долл. [2]. Многие страны мира ведут борьбу за то, чтобы занять на этом растущем рынке ведущие позиции. И Беларусь в их числе. Экология, производство и инженерия высоко оценивает потенциал беспилотных летательных аппаратов за счет простоты их использования, значительной экономии затрат и точности выполнения работ. Большинство специалистов сходятся во мнении, что в ближайшие годы максимальных результатов в экомониторинге можно достичь при условии многослойного наблюдения, то есть одновременного использования наземного контроля, космических снимков и данных с беспилотных летающих аппаратов.

Библиографический список

1. «Железные птицы». Развитие беспилотников в мире, ЕАЭС и Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eurasia.expert/zheleznye-ptitsy-razvitie-bespilotnikov-v-mire-eaes-i-belarusi/> – Дата доступа: 11.05.2022.
2. Как нашей стране удалось с нуля создать собственное производство беспилотников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/podnyalis-na-povuyu-vysotu342.html> – Дата доступа: 12.05.2022.
3. Сводки МЧС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/operativnaya-informatsiya/sutochnye-svodki-mchs/> – Дата доступа: 12.05.2022.
4. Несанкционированные свалки в стране будут находить с помощью спутников и беспилотников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/vzgljanem-na-zemlyu-svysoka.html> – Дата доступа: 12.05.2022.
5. Экологическая проблема и пути ее решения кратко. Экологические проблемы современности и пути их решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radostvsem.ru/vse-stati/ekologicheskaya-problema-i-puti-ee-resheniya-kratko-ekologicheskie-problemy-sovremennosti-i-puti-ih-resheniya.html> – Дата доступа: 14.05.2022.

ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНОГО ТРАФИКА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ

Толокнов Алексей Юрьевич
E-mail: toloknovalexey@yandex.ru

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары, РФ

Аннотация. В последние несколько лет наблюдается резкий рост трафика сотовой сети [1–5], чему способствуют миллиарды мобильных устройств, являющихся постоянными пользователями Интернета. Вместе с этим меняется и электромагнитная обстановка, создаваемая базовыми станциями, которую необходимо постоянно контролировать путем инструментального контроля. Так как в пике сетевого трафика, нагрузка на базовую станцию максимальна, что может вызвать превышения плотности потока энергии, тем самым негативно повлиять на живые организмы в хроническом многолетнем режиме. В работе рассмотрен анализ мобильного трафика на основе его моделей, также обработаны сложные факторы городской экологии и поведение человека, которые влияют на движение сотового трафика в течении дня. Представлен пример временного и пространственного распределение сотового трафика в различных временных отрезках, на основе полученных данных от местного оператора связи. Проведена оценка электромагнитной обстановки в области расположения базовых станций, посредством измерений уровней электромагнитного поля. Целью работы является анализ существующих моделей мобильного трафика в городской среде, его распространение и влияние на электромагнитную нагрузку, создаваемую базовыми станциями сотовой связи.

Ключевые слова. Мобильный трафик, электромагнитная обстановка, электромагнитное излучение, базовые станции, инструментальный контроль.

Анализ трафика мобильных данных начинается с визуализации пространственного и временного распределение трафика. Для этого необходимо исследовать набор поступающих данных от абонентов, а также провести предварительную обработку. Набор данных представляет собой анонимную трассировку сотовой связи. Каждая запись трассировки включает в себя детальные сведения об применении мобильных данных пользователей, включая ID-код устройства, время начала и завершения соединения для передачи данных, код идентификации базовой станции, адрес базовой станции и объем информации, передаваемой в каждом соединении.

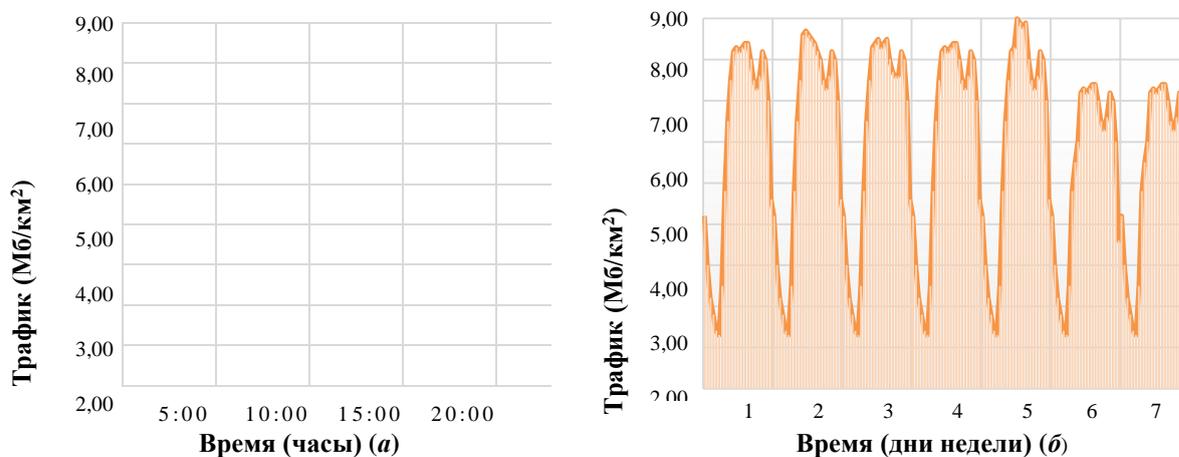


Рис. 1. Временное распределение сотового трафика в различных временных масштабах:
a – ежечасно; *б* – ежедневно

Конечным результатом обработки является вычисление плотности потока трафика (Мб/км²), именно эта величина позволяет понять пространственное распределение сотового трафика. В работе используются данные, предоставленные местным оператором связи и анализируются результаты измерений. Визуализация временного распределения трафика в различных временных масштабах показана на рис. 1.

На рис. 1 (а) показано распределение трафика за день, где наблюдается, что сетевой трафик тесно связан с режимом сна человека. Тем самым потребление трафика в дневные часы значительно больше, чем в ночные. В течение суток трафик имеет два пика: один около 12:00, а другой около 22:00. Подобные закономерности наблюдаются на рис. 1 (б). Два пиковых значения за день информируют о том, что люди интенсивнее потребляют мобильный трафик в обеденное время и перед тем, как ложатся спать. Рис. 1 (б) иллюстрирует распределение трафика за неделю. Трафик демонстрирует периодическую картину в масштабе недели, когда посещаемость в выходные дни меньше, чем в будние дни. Такие колебания движения происходят из-за недельного графика работы людей.

На рис. 2 показана географическая плотность трафика (количество передаваемых Мбайтов в час на км²) в 4:00, 10:00, 16:00 и 22:00. Графики получены по данным операторов связи.

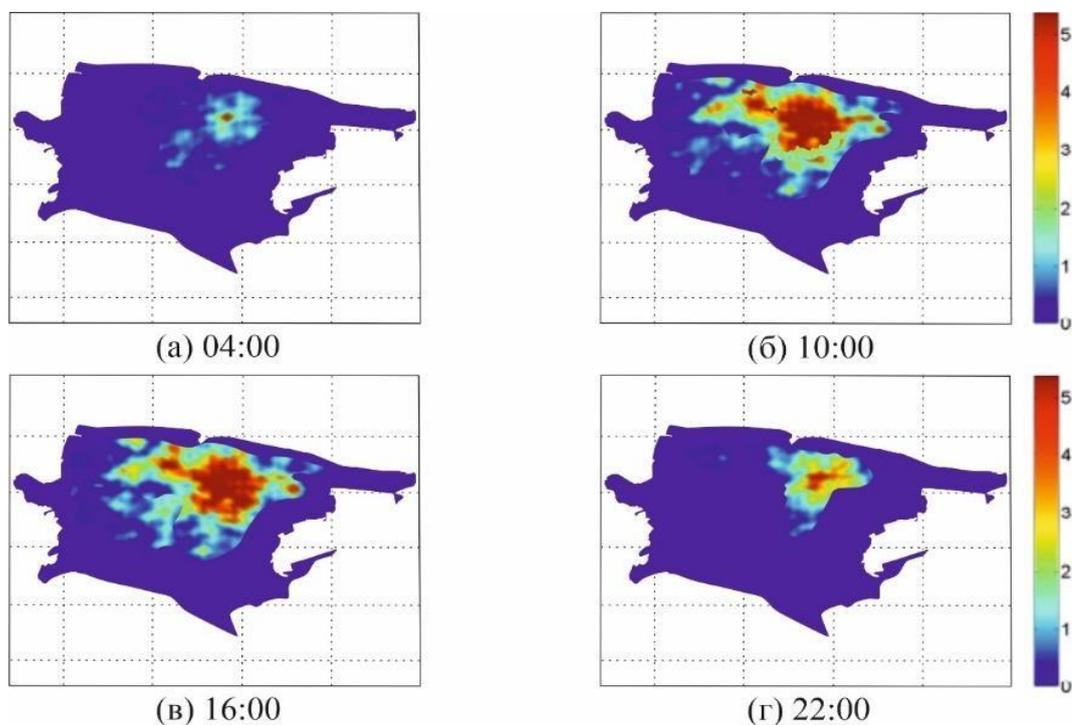


Рис. 2. Пространственное распределение сотового трафика в разное время:
(а) 4:00, (б) 10:00, (в) 16:00, (г) 22:00

Как показано на цветной полосе красный цвет указывает на более высокий трафик, а синий – на более низкий. Прослеживаются следующие выводы. Во-первых, базовые станции, расположенные в центре города, имеют большую загруженность, независимо от времени суток. Во-вторых, ранним утром большая часть города покрывается темно синим цветом, что свидетельствует о том, что потребление трафика низкое из-за человеческого сна. Напротив, днем многие районы города окрашиваются красным цветом, указывает на то, что потребление трафика становится высоким, потому что начинается рабочий день. Исходя из этого, области с большим потреблением трафика соответствуют районам, где присутствует массовое скопление людей. Такими районами являются жилые, центральные или деловые. В-третьих, потребность в трафике в разных регионах существенно различается.

Далее перейдем к анализу электромагнитной обстановки и инструментальному контролю. Инструментальный контроль уровней ЭМП (электромагнитное поле) проводился на одном месте на расстоянии 110 м от антенны базовой станции и на высоте 9 м. Рабочее место расположено в центре города, это является деловой зоной. В рабочие часы данной области загруженность на базовые станции сотовой связи близится к максимуму. Измерения осуществляются с целью определения фактического состояния электромагнитной обстановки в районах размещения излучающих средств и служат средством оценки влияния мобильного трафика на значения ППЭ (плотность потока энергии).

Для измерения уровней ЭМП используется устройство ПЗ-41. Данное прибор предназначен для определения среднего значения ППЭ в диапазоне частот 300 МГц-2400 МГц. Основным фактором, определяющим уровень ППЭ, является мощность. Учитывая изменение мощности в зависимости от загруженности абонентов на БС, целесообразно провести измерения и оценить их изменения в течение суток. Контрольное значение выбирается из трех независимых измерений и соответствует максимальному показанию прибора на момент проведения измерений. На рисунке 3 показана зависимость значений ППЭ от времени суток.

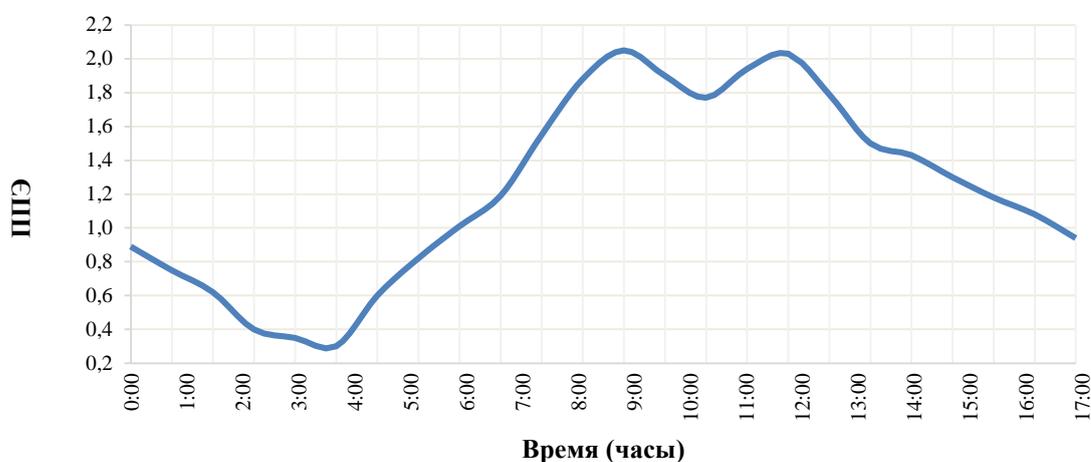


Рис. 3. Инструментальный контроль электромагнитной обстановки за сутки

Таким образом, результаты расчетов и инструментальных измерений совпали и это позволяет сделать следующий вывод: мобильный трафик оказывает прямое влияние на изменение значений ППЭ, соответственно в рамках анализа электромагнитной обстановки необходимо проводить измерения при полных мощностях и в пиковые часы загруженности.

Библиографический список

1. Магнитский, В. А. Реализация технологии ММО в сетях нового поколения 5G / В. А. Магнитский, С. Г. Чумаров // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы II междунар. науч.-техн. конф. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та. – 2018. – С. 226–231.
2. Чумаров, С. Г. Быстрое развертывание сетей связи на основе программно-определяемого радио / С. Г. Чумаров // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 14-й Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – С. 64–66.
3. Чумаров, С. Г. Особенности реализации и применения программно-определяемых радиосистем / С. Г. Чумаров, Ю. С. Милкин // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 442–443.

4. Чумаров, С. Г. Исследование влияния электромагнитных помех на метрологические характеристики радиоэлектронной продукции / С. Г. Чумаров, Р. Н. Савинов // Фундаментально- прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем : мат. IV Межд. науч.-практ. конф. – Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2020. – С. 409–412.

5. Чумаров, С. Г. Влияние шума на оптимальное усиление высокочастотных усилителей / С. Г. Чумаров // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Брянск : БГТУ, 2020. – С. 442–444.

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

ГРП и ГРУ. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ С ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-СБРОСНЫМ КЛАПАНОМ

Омиличук Елизавета Александровна, курсант
Татаров Григорий Львович, канд. техн. наук
E-Mail: e.omilichuk@mail.ru

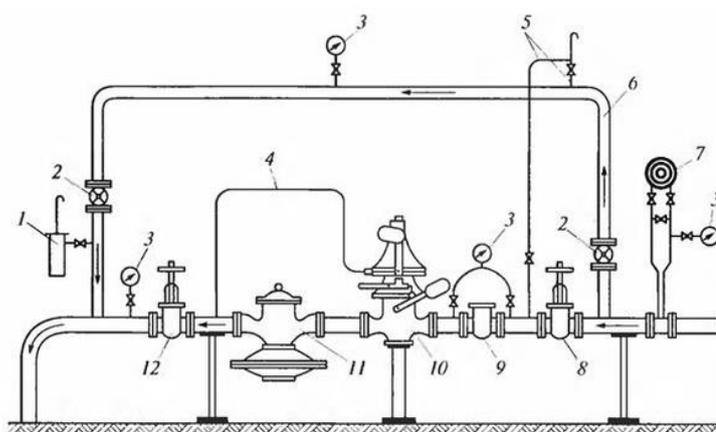
Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева
г. Ульяновск, РФ

Аннотация. В данной статье рассматриваются неисправности газорегуляторного оборудования – проблемы с предохранительно-сбросным клапаном. В тексте работы будет рассмотрен определенный тип проблемы с ПСК, а также будет предложено схематичное размещение патентованных устройств для обогрева газового оборудования. Рассмотренные предложения, как следствие, должны привести к снижению рисков утечек газа и к сокращению числа аварий на производственных объектах, работающих с ГРП и ГРУ.

Ключевые слова. Газорегуляторные пункты, ГРП, газорегуляторные установки, ГРУ, технологическое оборудование, предохранительно-сбросный клапан, ПСК.

Для начала мы рассмотрим принцип действия и устройство ГРП и ГРУ. Газорегуляторное оборудование может быть размещено как в помещении, которое встроено в котельную, где находится газоиспользующее оборудование, так и в смежных помещениях [1], [2].

Газорегуляторные пункты (ГРП) – это комплекс технологического оборудования, который предназначен для автоматического понижения газа; дальнейшего его поддержания и для прекращения подачи газа при скачке давления. Газорегуляторные установки являются одним из типов газорегуляторного пункта. Различие состоит в том, что ГРУ предназначены для газовых котлов и других конструкций, которые расположены в одном помещении, т. е. используются потребителями непосредственно, а ГРП предназначены для городских газораспределительных сетей или объектов коммунально-бытового назначения [3].



Принципиальная схема газорегуляторного пункта:
1 – предохранительно-сбросный клапан (сбросное устройство); 2 – задвижка на байпасной линии; 3 – манометры; 4 – импульсная линия ПЗК; 5 – продувочный газопровод; 6 – байпасная линия; 7 – расходомер; 8 – задвижка на входе; 9 – фильтр; 10 – предохранительно-запорный клапан (ПЗК); 11 – регулятор давления; 12 – задвижка на выходе

Рис. 1. Устройство газорегуляторного пункта

При выборе газорегуляторных установок основными параметрами являются – входное и выходное давление и пропускная способность. В зависимости от поступающего давления газа на входе ГРУ и ГРУ делятся на группы среднего (от 0,05 до 3 кгс/см²) и высокого давления (от 3 до 12 кгс/см²) (рис. 1) [6].

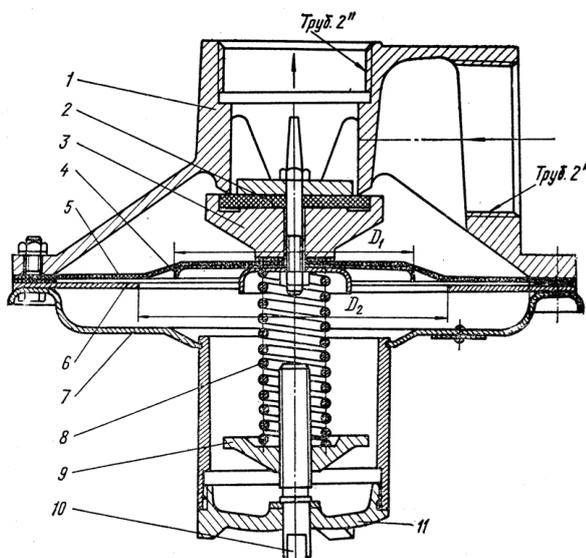


Рис. 6.15. Предохранительный сбросной клапан ПСК-50.
1 – корпус; 2 – уплотнение клапана; 3 – плунжер; 4 – диск; 5 – мембрана; 6 – цо; 7 – крышка; 8 – настроечная пружина; 9 – нажимная гайка; 10 – регулировочный винт; 11 – крышка стакана.

Рис. 2. Устройство предохранительно-сбросного клапана

Из всей установки мы будем рассматривать предохранительно-сбросный клапан, ПЗК (№ 10). Предохранительно-сбросный клапан – это устройство, для сброса избыточного газа, если контрольно-измерительные приборы фиксируют недопустимые значения давления газа.

Из определения следует, что предохранительно-сбросный клапан является неотъемлемой частью конструкции, его работоспособность может предотвратить аварийную ситуацию. Предохранительно-сбросной клапан подбирается по пропускной способности регулятора давления. Пропускная способность ПСК должна составлять не менее 10 % от пропускной способности регулятора давления или не менее пропускной способности наибольшего из клапанов. Очень часто работники сталкиваются с неисправностью именно ПСК. К самым распространенным неисправностям относится замерзание ПСК [5].

Замерзание предохранительно-сбросного клапана проблема сезонная и возникает преимущественно в зимний период. Существует определенный перечень требований к помещению с ГРУ и ПСК. Для ГРУ параграф, касающийся системы отопления, гласит: «Необходимость отопления помещения ГРП следует определять в зависимости от климатических условий». Требование для ПСК гласит: «Каждый предохранительно-сбросный клапан должен быть снабжен устройством контрольной продувки и принудительного открытия, во избежание прикипания, замерзания» [7].

В совокупности факторов необязательного исполнения пункта об отоплении и отсутствии устройства контрольной продувки, вытекает ряд проблем. При работе ГРУ в клапане возникает конденсат, который из-за перепадов температур замерзает, образуется кристаллы льда, которые забивают ПСК, что приводит к засорению клапана и некорректной работе.

Для решения этой проблемы необходимы финансы и изначально правильное проектирование помещения. Но, если рассматривать эту проблем как внезапно возникшую, то наиболее экономически выгодным быстроедейственным способом будет приобретение:

- кабеля для обогрева газовых труб;
- теплоизолирующего материала;
- автоматического датчика температуры.

Последовательно к зоне 19 на рис. 3 производим обмотку обогревающим кабелем средних, либо высоких температур, поверх него накладываем теплоизолирующий материал, подключаем в эту часть датчик и терморегулятор, и подводим напряжение 220 В для автоматизации обогрева [4].



В заключении хотелось бы отметить, что в данной статье мы рассматривали теоретическое решение проблемы ПСК клапана. На практике эта ситуация разрешается не так быстро. Все пути исправления проблемы упираются в финансовую составляющую, из-за чего работникам зачастую приходится пользоваться подручными средствами и изобретать новые методы исправления проблем с оборудованием, а не автоматизировать их.

Библиографический список

1. Промышленное и газовое оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gazovik-gas.ru/>
2. Журнал Элезар [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elezargaz.ru/>
3. Алиев, Р. А. Сооружение и ремонт газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз / Р. А. Алиев, И. В. Березина, Л. Г. Телегин [и др.]. – Москва : Недра, 1987.
4. Алиев, Р. А. Основы газоснабжения / Р. А. Алиев, И. В. Березина, Л. Г. Телегин [и др.]. – Москва : Юрайт, 2013.
5. Федеральный институт промышленной собственности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru/about/vptb-otdelenie-vsrossiyskaya-patentno-tekhnicheskaya-biblioteka/patentnyy-poisk.php>
6. Экс-Форма журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ygrsh.pf/>
7. ГазПром [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/>
8. Колпакова, Н. В. Газоснабжение : учебное пособие / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков. – Екатеринбург : Издательство Урал. ун-та, 2014.
9. ГОСТ 21.110–2013. Система проектной документации для строительства. Спецификация оборудования, изделий и материалов.

ДЕГРАДАЦИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО СЛОЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРЕВЕ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ И ПОД РАСПЛАВАМИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

Трекин Григорий Евгеньевич, лаборант-исследователь, канд. техн. наук
E-mail: trekin1963@yandex.ru

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

Аннотация. Применение электроискровых покрытий в качестве технологических подслоев при сварке и наплавке требует изучения их реакции на высокоскоростной нагрев в сварочных защитных средах. Это позволит установить в каком состоянии легирующие элементы покрытия попадают в сварочную ванну и, следовательно, определить их влияние на свойства наплавленного металла. В данной работе исследовались структура и микротвердость алюминиевых электроискровых слоев, нанесенных на низкоуглеродистую сталь в среде азота после нагрева образцов проходящим током в среде аргона, азота и расплавов флюсов АН - 348А и ФСА ЧТ А - 650 - 20/80. Выявлено, что после электроискрового легирования на поверхности формируется относительно твердый островковый слой нанесенного металла и зона термического влияния, в которой наблюдается обезуглероженный слой. После кратковременного (6,1 с.) нагрева до 1300–1400 °С в среде аргона, азота и расплава флюса АН - 348А обнаружен сплошной светлый слой с твердостью, близкой к основному металлу. Аналогичная картина наблюдается для расплава флюса ФСА ЧТ А - 650 - 20/80, но слой имеет более высокую твердость. Таким образом, установлено, что при высокотемпературном нагреве в газовой атмосфере и расплаве кислого флюса большая часть алюминия окисляется и предположительно малая его часть остается в диффузионном слое. Под расплавом нейтрального флюса окисляется меньше алюминия и диффузионный слой сохраняет достаточно высокую твердость.

Ключевые слова. Электроискровое легирование, высокотемпературный нагрев проходящим током, микроструктура электроискрового слоя, микротвердость электроискрового слоя.

Благодаря развитию робототехники все большее применение получает изготовление деталей послойной (или аддитивной) наплавкой (ИДПН или ИДАН) в зарубежной терминологии проволочно-дуговое аддитивное изготовление (*WAAM – wire arc additive manufacturing*) или сварочное непосредственное нанесение (*WDD – welding direct deposition*). Нанесение технологического электроискрового послоя способно производить микролегирование наплавленного металла при *WAAM*, так и улучшать формирование наплавленного валика, за счет изменения смачиваемости и растекания металла по поверхности покрытой технологическим подслоем. В данной работе исследовалась структура и микротвердость алюминиевого технологического подслоя, нанесенного в среде азота, после высокотемпературного нагрева проходящим током в среде аргона, азота и расплавов сварочных флюсов АН - 348А и ФСА ЧТ А - 650 - 20/80, что имитировало нагрев участка с технологическим подслоем перед его попаданием в сварочную ванну.

Электроискровое легирование (ЭИЛ) производилось стержневым алюминиевым электродом на установке, разработанной на кафедре «Металлургических технологий» НТИ (филиал) УрФУ на типовых режимах (табл. 1). В качестве основного металла использовались пластины из стали 20 (химический состав, масс. %: 0,17–0,24 С; 0,17–0,37 Si; 0,35–0,65 Mn; для следующих элементов, не более: 0,3 Ni; 0,04 S; 0,035 P; 0,25 Cr; 0,3 Cu; 0,08 As. Основа: Fe) толщиной 3 мм, из которых вырезались образцы для нагрева проходящим током (рис. 1). Электротермический нагрев производился на машине контактной стыковой сварки МСР–100 в течении 6,1 с., в среде аргона, азота, флюсов АН -

348А (табл. 2) и ФСА ЧТ А - 650 - 20/80 (табл. 3), оснащенной камерой для подачи газов или засыпки флюса на режиме обеспечивающих расплавление самого тугоплавкого из флюсов ФСА ЧТ А - 650 - 20/80–1300–1400 °С. Исследование структуры выполнялось на микроскопе *Zeiss Observer D1m* с программным комплексом *Thixomet*. Травление осуществлялось реактивом: 6 % раствор HNO_3 , в спирте в течении 20 с при комнатной температуре. Измерение микротвердости производилось на приборе *Future Tech FM-300* пирамидой Виккерса при нагрузке 50 г и выдержке под нагрузкой 5 с, по трассе перпендикулярно толщине образца. Результаты обрабатывались в программах: *Excel* и *MathCAD*.

Исследование микроструктуры показало, что после ЭИЛ образуется измененный слой, состоящий из наплавленного металла электрода и зоны термического влияния, в которой наблюдается светлая прослойка обезуглероживания (рис. 3, а). После электротермического воздействия образуется сплошной светлый слой с изрезанным верхним и нижним контуром, не зависимо от среды нагрева, при этом обезуглероживания не наблюдается (рис. 3, б–д). Наплавленный металл исходного покрытия достаточно твердый на уровне 600 HV. Высокотемпературный нагрев приводит к падению твердости до уровня основного металла примерно 180–220 HV для всех сред, кроме расплава флюса ФСА ЧТ А–650–20/80, где твердость поверхностного слоя составляет около 380 HV (рис. 2).

Таблица 1

Режимы электроискрового легирования

Материал электрода	Среда легирования	Сила тока, А	Напряжение, В	Амплитуда колебаний электрода, мм	Частота колебаний электрода, Гц
Алюминий	Азот	7–10	15–20	5	50

Таблица 2

Химический состав флюса АН - 348А, масс. %

SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	P
				Не более				
40,0–44,0	31,0–38,0	0,5–2,0	3,0–6,0	12,0	7,0	6,0	0,12	0,12

Таблица 3

Химический состав флюса ФСА ЧТ А - 650 - 20/80, масс. %

Сумма оксидов	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂
масс. %	Не менее 40	Не менее 20	Не более 22

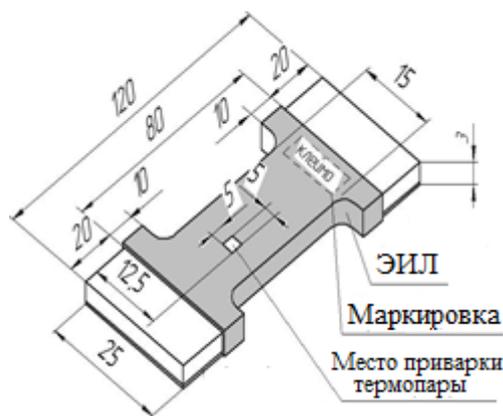


Рис. 1. Образец для проведения электротермического нагрева

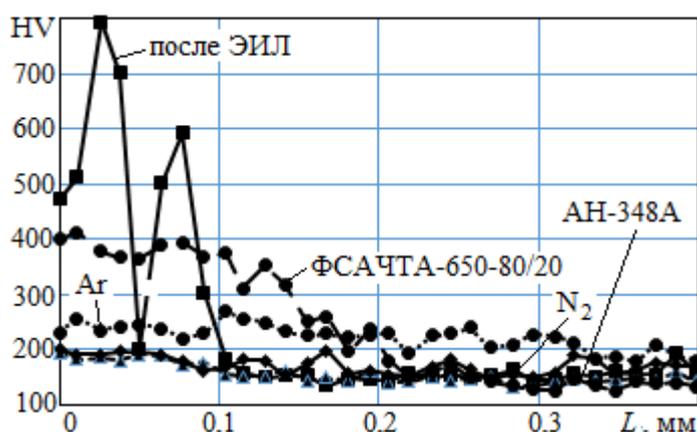


Рис. 2. Распределение микротвердости (HV) по глубине поверхностного слоя (L)

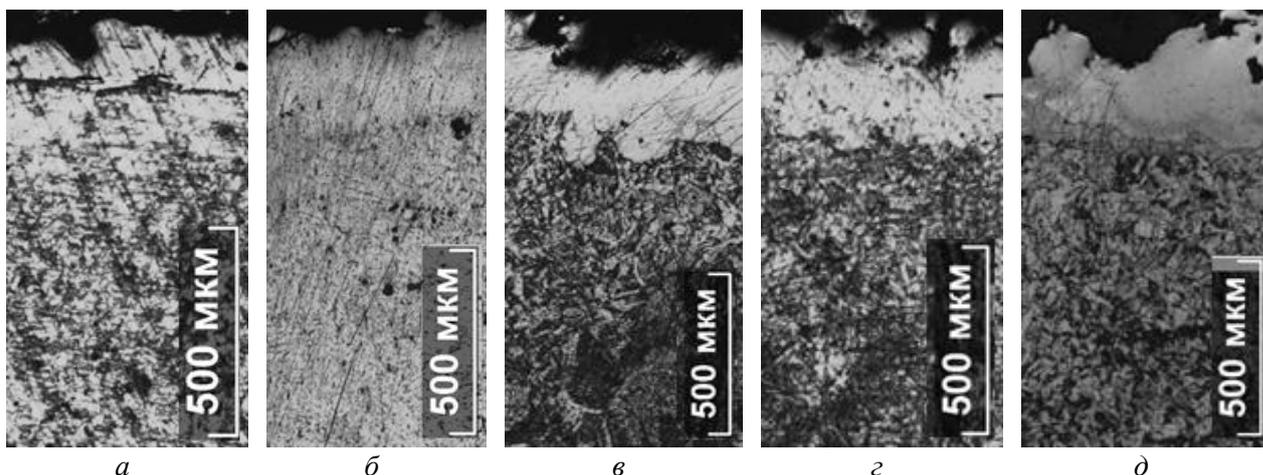


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя после электроискрового легирования алюминиевым электродом:
a – после ЭИЛ; после ЭИЛ и электро-термического воздействия в среде:
б – аргона; *в* – азота; *г* – флюса АН - 348А; *д* – флюса ФСА ЧТ А - 650 - 20/80

Положительное влияние алюминиевого ЭИЛ – покрытия на свойства сварного шва и защиты поверхности от обезуглероживания показано в работах [1, 2]. По данным изложенным выше и статьи [3] можно предложить модель деградации алюминиевого ЭИЛ покрытия. В системе железо–алюминий при малых содержаниях железа есть эвтектика с температурой чуть ниже плавления алюминия [4], поэтому предполагаем, что плавление начинается на линии сплавления и затем расплавляется весь нанесенный алюминий. Затем происходят два процесса: окисление снаружи и диффузионное проникновение расплава вглубь основного металла. В среде аргона, азота и флюса АН - 348А вероятнее всего преобладает процесс окисления алюминия и твердость слоя уменьшается до уровня основного металла. Для флюса ФСА ЧТ А - 650 - 20/80 окисление меньше и часть алюминия остается в поверхностном слое, поэтому твердость его выше.

Таким образом, при нагреве алюминиевого электроискрового слоя в среде аргона, азота и флюса АН - 348А большая часть алюминия окисляется. А при применении флюса ФСА ЧТ А - 650 - 20/80 доля окислившегося алюминия значительно меньше. Это позволяет рекомендовать легирование алюминием через технологический электроискровой подслоу при сварке и наплавке под основным флюсом.

Библиографический список

1. Трекин, Г. Е. Влияние алюминиевого электроискрового технологического подслоу и температуры отпуска на структуру и свойства низкоуглеродистого, низколегированного сварного шва / Г. Е. Трекин, О. И. Шевченко // Вестник ПНИПУ Машиностроение, материаловедение. – Т. 17. – № 1. – 2015. – С. 112–118.
2. Трекин, Г. Е. Влияние электроискрового легирования алюминием на окисление и обезуглероживание при термической обработке. Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXII Уральской школы металловедов-термистов / Г. Е. Трекин, О. И. Шевченко ; отв. ред. В. И. Грызунов. – Орск : Издательство ОГТИ (филиала) ОГУ, 2014. – С. 168–169.
3. Trekin, G. E. Destruction electrospark deposits during Joule heating of base metal / G. E. Trekin, O. I. Shevchenko. – 2020 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. 966 012011.
4. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа : справ. изд. / О. А. Банных , П. Б. Будберг, С. П. Алисова [и др.]. – Москва : Metallurgiya, 1986. – 440 с.

Научное издание

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА

Материалы международной научно-практической конференции
старшеклассников, студентов и аспирантов

В двух томах

Том 1

Допущено к публикации 25.08.2022

Электронный формат – *pdf*

Объем – 21,00 уч.-изд. л.

Ресурсный информационно-образовательный центр
622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59

Опубликовано на информационном сайте НТИ (филиала) УрФУ

<http://nti.urfu.ru>