

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Инновационные технологии, автоматизация и
мехатроника в машино- и приборостроении**

Материалы VIII международной научно-практической конференции

(Минск, 19 марта 2020 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2020»

Минск БНТУ 2020

Редакционная коллегия:

Маляревич А.М. (главный редактор),
Трофименко Е.Е.,
Околов А.Р. (ответственный секретарь),
Новичихин Р.В, Дербан А.Н.

Составитель:
Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении», которые посвящены выработке теоретических решений, а также разработке практических подходов, направленных на создание, реализацию и внедрение инновационных достижений в областях реального сектора экономики: машино- и приборостроение, автоматизация и робототехника, получение и обработка современных материалов, оптимизация потребления и развитие альтернативных источников энергии, применение технологий искусственного интеллекта.

Рекомендован научным работникам, преподавателям, студентам, магистрантам и аспирантам высших учебных заведений технического и технико-технологического профиля.

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЛЕКСНАЯ МУЛЬТИМЕДИЙНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕМ.....	6
<i>Юденков В. С.</i>	<i>6</i>
ОБ ОДНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА	8
<i>Напрасников В.В.¹, Полозков Ю.В.¹, Соловьев А.Н.², Скалиух А.С.³.....</i>	<i>8</i>
СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦАХ.....	10
<i>Липницкий Л.А.¹, Климович С.В.¹, Бутько А.А.², Сияяков А.Л.².....</i>	<i>10</i>
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МНОГОЗВЕННОГО РОБОТА	12
<i>Опейко О.Ф.</i>	<i>12</i>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ.....	14
<i>Матрунчик Ю.Н., Борисевич А.О.</i>	<i>14</i>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ТРИНАДЦАТИЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ.....	15
<i>Матрунчик Ю.Н., Савицкая М.Н.</i>	<i>15</i>
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	18
<i>Околов А.Р., Матрунчик Ю.Н., Халлыев Г.А.</i>	<i>18</i>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧИРИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАВИЛЬОНОВ ТЕПОВЫХ СЕТЕЙ	20
<i>Матрунчик Ю.Н., Абуфанас М.</i>	<i>20</i>
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТА ЛИФТА	23
<i>Лившиц Ю.Е., Беленков М.А., Билица М.В., Борищук В.В., Громыко В.А.</i>	<i>23</i>
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТУРБИННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА В РЕЖИМЕ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ.....	25
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.</i>	<i>25</i>
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УСАДКИ В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОКРЫТИЙ.....	28
<i>Белявин К.Е.¹, Белоцерковский М.А.², Сосновский И.А.², Курилёнок А.А.².....</i>	<i>28</i>
ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА «БЕЛАЗ»	30
<i>Гульков Г.И.¹, Микулёнок А.М.².....</i>	<i>30</i>
ПРОГРАММИРУЕМЫЙ СЕРВОКОНТРОЛЛЕР ЗВЕНА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	32
<i>Лившиц Ю.Е., Песенков П.В.</i>	<i>32</i>
ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ПАРОВЫХ КОТЛОВ.....	34
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.</i>	<i>34</i>
TECHNOLOGY OF EVALUATING THE PROFESSIONAL COMPETENCY OF PROGRAMMER TEAMS.....	37
<i>Prihozhy A.A.</i>	<i>37</i>
ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	40
<i>Матрунчик Ю.Н., Касперович И.В., Мацкевич И.С., Остапец В.А.</i>	<i>40</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ	42
<i>Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С., Париццо А.Э., Сорока Е.В.</i>	<i>42</i>
ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ЛЕГКООКИСЛЯЕМЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	44
<i>Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.</i>	<i>44</i>
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА.....	46
<i>Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Париццо А.Э., Королёв А.Ю., Янович В.А.</i>	<i>46</i>
АУДИТ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	48
<i>Гоцкая Н.А., Лившиц Ю.Е.</i>	<i>48</i>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ СЫВОРОТКИ.....	50
<i>Дулуб Е.Д., Лившиц Ю.Е.</i>	<i>50</i>

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ПРИМЕСЯМИ С ПОМОЩЬЮ ДИФфуЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	53
<i>Анисович А.Г.¹, Асанов Д.Ж.², Бахадырханов М.К., Маркевич М.И.¹, Щербакова Е.Н.³.....</i>	<i>53</i>
РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА.....	55
<i>Нитиевский С.А.</i>	<i>55</i>
ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД.....	57
<i>Васильев С. В.</i>	<i>57</i>
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	60
<i>Кулаков А.Т., Матрунчик Ю.Н., Захаревич А. А.....</i>	<i>60</i>
НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА АК12 В ПРОЦЕССЕ ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ МЕТОДОМ	62
<i>Белоцерковский М.А., Комаров А.И., Курилёнок А.А., Орда Д.В.....</i>	<i>62</i>
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ РАССТОЯНИЙ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ И РАЗМЕРОВ ЗОН ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ РАБОТЕ ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА НА РЕКЕ СОЖ В РАЙОНЕ ГОРОДА СЛАВГОРОДА....	64
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Рабченя В.С.², Пастушек О.А.², Усарев Д.А.².....</i>	<i>64</i>
К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНИЧЕСКОЙ НАСАДКИ В ВОДОМЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДАХ (МБТ).....	66
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Ленкевич С.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Рапинчук Д.В.².....</i>	<i>66</i>
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 3D-МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДОВ (МБТ) В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ	68
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ключников В.А.², Ленкевич С.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Рапинчук Д.В.².....</i>	<i>68</i>
КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ПОВОРОТНОМ УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА	70
<i>Качанов И.В., Кособуцкий А.А., Шаталов И.М., Щербакова М.К., Хвилько К.В.....</i>	<i>70</i>
ГИДРОДИНАМИКА ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ ВНУТРИ СТВОЛА ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ (СПИ).....	72
<i>Дмитриченко А.С.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Капуза М.А.², Рабченя В.С.².....</i>	<i>72</i>
ГИДРОДИНАМИКА ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СТВОЛА ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ (СПИ)	75
<i>Дмитриченко А.С.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Капуза М.А.², Рабченя В.С.².....</i>	<i>75</i>
СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОБАЛЬТ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ ДЛЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	77
<i>Гайдук Ю.С.¹, Усенко А.Е.¹, Паньков В.В.¹, Шевцова К.А.², Коробко Е.В.².....</i>	<i>77</i>
Оптимизация компоновки блока автоматизированного управления.....	79
<i>Лившиц Ю.Е., Савёлов П.И.</i>	<i>79</i>
ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СПОСОБОВ ПУСКА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	81
<i>Поминов А.Д., Лившиц Ю.Е.</i>	<i>81</i>
ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ МАГИСТРАЛЬНОГО ТИПА	84
<i>Кравцов И.П., Гульков Г.И.</i>	<i>84</i>
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАЗНЫХ ДРОБНЫХ ЗУБЦОВЫХ ОБМОТОК ДЛЯ ПРИВОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОДРАВНИВАТЕЛЯ КОРМОВ	86
<i>Полудеткин А.А.</i>	<i>86</i>
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СКЛАДОВ.....	88
<i>Потрясов Д. В.</i>	<i>88</i>
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ	89
МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	89
<i>Попок Н.Н., Гвоздь Г.И.</i>	<i>89</i>
ДИАГНОСТИКА МАСТИТА КОРОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	91
<i>Ракевич Ю.А.</i>	<i>91</i>
ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСКЛЮЧЕВОГО ДОСТУПА ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	93

Воюш Н.В., Русак Е.О.....	93
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ.....	95
Качанов И.В., Ленкевич С.А., Рапинчук Д.В	95
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	97
Качанов И.В., Ленкевич С.А., Кот М.Д.	97
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ 3D МАКЕТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ	99
Н.Н. Попок, С.А. Портянко	99
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	101
Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.	101
РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ.....	103
Белявин К.Е., Шукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А	103
ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ РЕВЕРСИВНОЙ ПОПЕРЕЧН-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ.....	105
Кожевникова Г.В.	105
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА РАБОЧЕЙ ЗОНОЙ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	106
Бурлаков Н.В., Ливищ Ю.Е.....	106
ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ.....	108
Соломахо В.Л. ¹ , Цитович Б.В. ²	108
УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ	110
Попок Н.Н., Анисимов В.С.	110
КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЫ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ.....	112
Реентович И. А., Околов А.Р.,.....	112
ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИНЕЙНОГО УПРЕДИТЕЛЯ СМИТА.....	113
Кулаков Г.Т., Шляхтович Н.А.	113
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ЗДАНИЕМ.....	116
Ливищ Ю.Е., Несмашных А.М.	116
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТЖИГА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН	118
Гурский Н.Н.....	118
ГАРМОНИЗАЦИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ НА ЧУГУНЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ	119
Покровский А.И., Хина Б.Б., Толкачева О.А.....	119
КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АСКУЭ.....	121
Гутич И.И., Ракицкий В.С., Ткачев В.Л.	121
БЕССЕРВЕРНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОДА В РАМКАХ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ.....	123
Дербан А.Н. ¹ , Бусько А.М. ²	123
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЙ И СЕРВИСОВ В РАМКАХ ПОПУЛЯРНЫХ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ	124
Дербан А.Н., Дербан Д.Н.	124
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ МОДУЛИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОДАЧИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СТАНКА С ЧПУ	125
Капталъян И.А., Шпак А.В., Романенко В.И.....	125
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ЧУГУНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ	129
Покровский А.И.....	129
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ САМ-СИСТЕМ	131
Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Жихорев Е.О.....	131

КОМПЛЕКСНАЯ МУЛЬТИМЕДИЙНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕМ

Юденков В. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для получения модели движения машины в Simulink задавалась модель электродвигателя с системой управления. Для решения задачи управляемости и стабилизации движения блок VNPlantBlock из библиотеки VisualNastran[1] передавался в систему Simulink. В его свойствах указывался путь к предварительно созданной в VisualNastran механической модели машины. Для создания комплексной мультимедийной модели системы управления после моделирования механической части и системы управления необходимо их объединить, предварительно проведя подготовку моделей в пакетах VisualNastran и Simulink. В VisualNastran необходимо задать инструменты контроля параметров, которые будут использоваться электромеханической системой для решения задачи управления и стабилизации комплексной модели. Контролируются: момент сопротивления на приводном валу и угловая скорость вращения колес. Следующий шаг — объединение механической модели и модели системы стабилизации скорости. Блок VNPlantBlock (рисунок 1) из библиотеки VisualNastran внедряется в систему управления в Simulink.

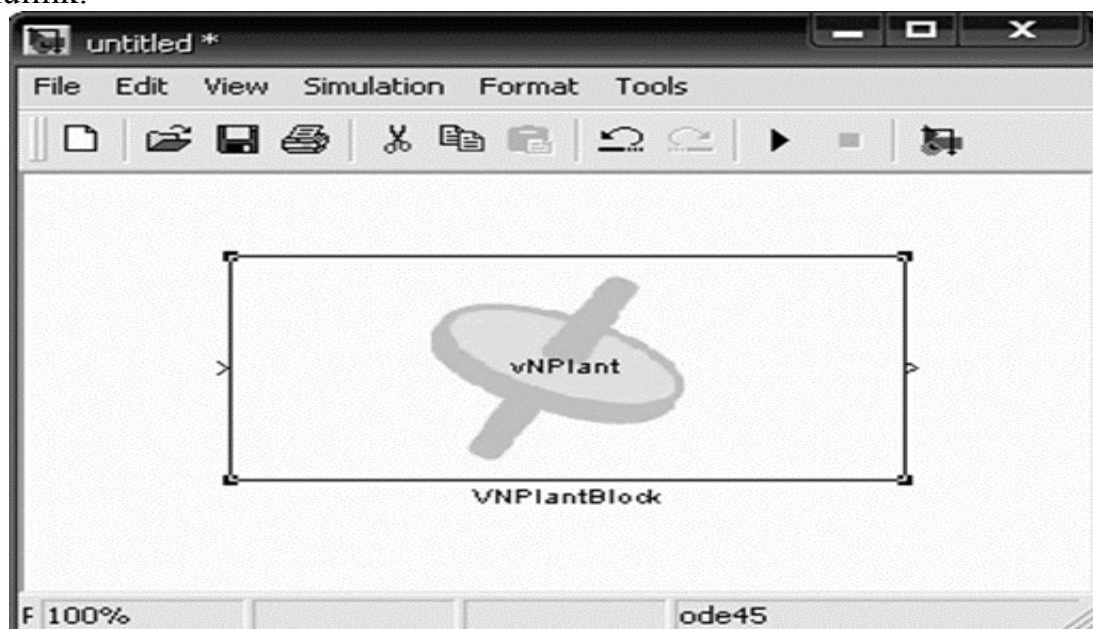


Рис.1. Окно блока VNPlantBlock

При запуске модели в VisualNastran загружается механическая модель, а в Simulink – модель системы управления. Далее программы работают по очереди. Через блок VNPlantBlock считывается величина выходного параметра механической модели (угловая скорость печатного

цилиндра) и передается в Simulink, где на основании математической модели вычисляется значение входного параметра (момент на валу двигателя). Далее блок VNPlantBlock передает значение момента в VisualNastran, где и моделируется механизм с приложенным моментом в течение заданного шага по времени. Такой пошаговый обмен данными продолжается на всем временном отрезке моделирования системы (Рис 2.).

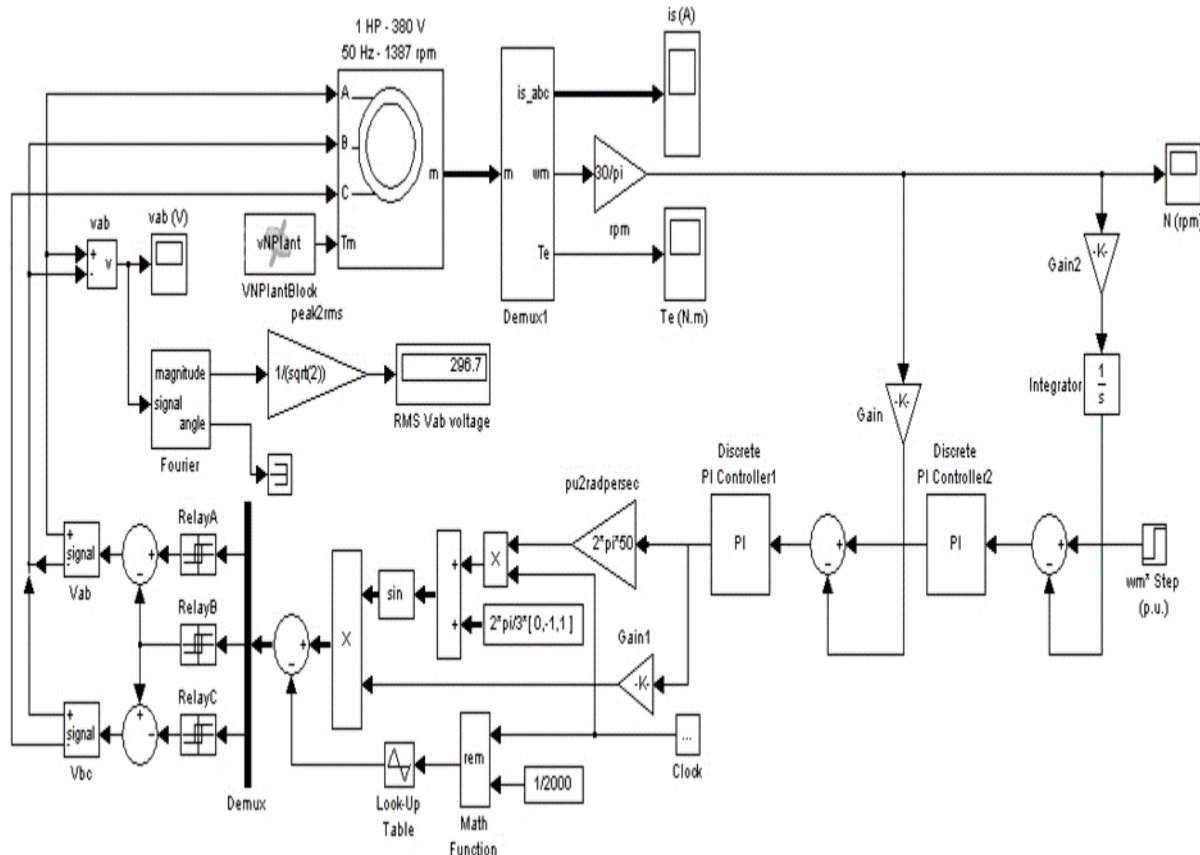


Рис. 2. Система управления с внедренным блоком VNPlant

Для правильной настройки параметров регулятора, с целью получения аperiodического переходного процесса, воспользуемся блоком Signal Constraint, который автоматизирует процесс настройки ПИ-регуляторов.

С помощью пакета SolidWorks[2] была создана геометрия деталей и узлов моделируемой машины, которая экспортировалась в VisualNastran, где задавались связи узлов машины, и проводилась симуляция работы машины. Для решения задачи управляемости и стабилизации скорости вращения приводного вала машины в пакете Simulink была создана электромеханическая модель системы управления.

Список использованных источников

1. Рычков С.П. MSC.visualNASTRAN для Windows. – М.: ИТ Пресс, 2004. – 552 с.
2. Алямовский А.А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с.

ОБ ОДНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА

Напрасников В.В.¹, Полозков Ю.В.¹, Соловьев А.Н.², Скалиух А.С.³

1) Минск, Белорусский национальный технический университет

2) Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет

3) Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

Многофазные течения встречаются во многих отраслях промышленности. Под многофазным обычно подразумевается совместное течение двух и более сред, находящихся в разном агрегатном состоянии. В вычислительной гидродинамике к многофазным также относят течение двух и более несмешивающихся жидкостей.

При создании пористых материалов одной из задач является повышение фильтрующих свойств таких материалов.

Исходя из этого, важной является задача построения моделей, позволяющих на основе виртуальных испытаний оценить эффективность предлагаемой пористой структуры по критерию удержания примесей.

Целью данной работы является создание модели для оценки изменения во времени количества примесей в фильтруемой жидкости.

В работе на примере пузырьковой геометрии пор, представленной на следующем рисунке, рассматривается последовательность этапов формирования модели для визуализации движения примесей при заданных давлениях на входе и выходе такой структуры и обсуждаются результаты моделирования. На рисунке 1 представлен пример граничных условий на поверхности выхода.

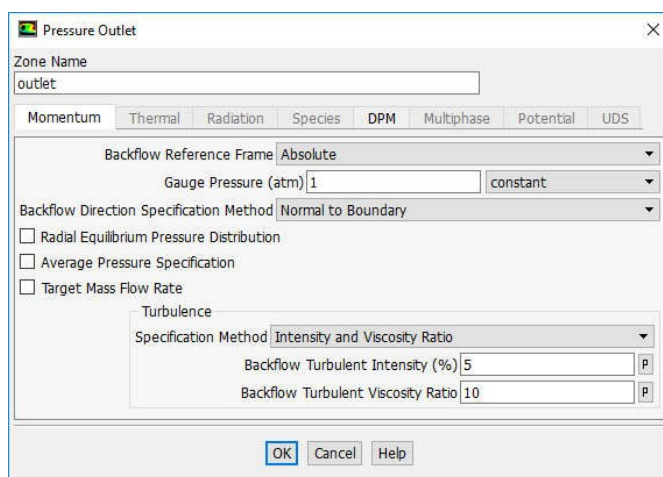


Рисунок 1. Пример настройки граничных условий на поверхности выхода

На следующем рисунке приводится пример результатов моделирования для одного из вариантов пористой структуры и граничных условий (Рисунок 2).

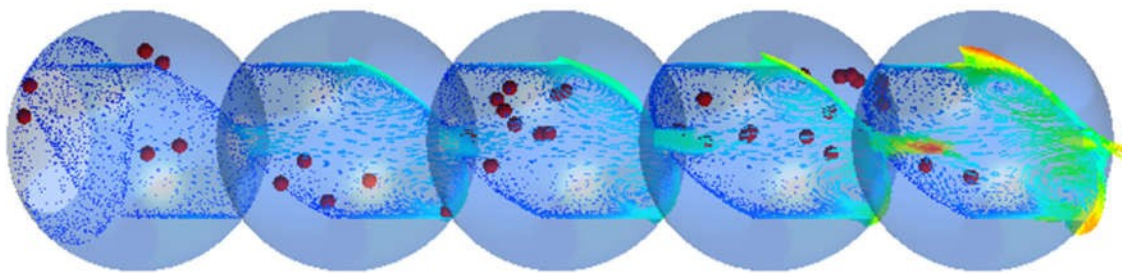


Рисунок 2. Картина распределения примесей в один из моментов моделирования.

Графики сходимости в зависимости от номера итерации по для различных критериев для первых двадцати итераций представлены на рисунке 3.

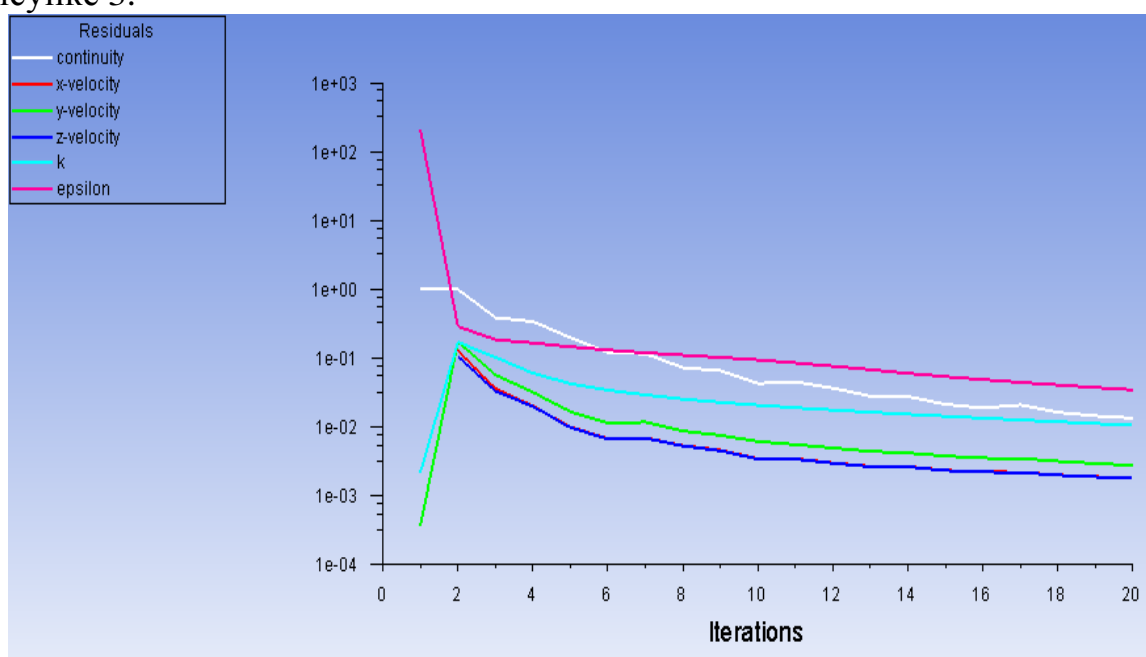


Рисунок 3. Графики сходимости для различных критериев

В ходе проделанной работы:

- построена геометрическая модель одной пузырьковой структуры;
- сформулирована граничная задача для определения скоростей и давлений в жидкости внутри пористой структуры с наличием примесей;
- выполнены варианты расчетов для определения скоростей и давлений в жидкости с наличием примесей внутри пористой структуры, и динамики изменения количества примесей.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦАХ

Липницкий Л.А.¹, Климович С.В.¹, Бутько А.А.², Синяков А.Л.²

1) Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь;

2) Международный государственный экологический институт

имени А.Д. Сахарова БГУ

Минск, Республика Беларусь

3) Белорусская государственная академия связи

Минск, Республика Беларусь;

Тепличное овощеводство является одним из наиболее энергозатратных отраслей производства. Наряду с большими затратами на отопление существенную часть энергозатрат в зимнее время в теплицах составляют расходы на электрическое освещение [1]. Результатом этого являются большая себестоимость выращиваемой продукции в осенне-весенний период.

В современных теплицах для подсветки растений используются газоразрядные светильники. Наиболее распространенными из них являются ртутные газоразрядные лампы типа ДРЛ и натриевые лампы ДНаТ и ДНаЗ [2]. Ртутные газоразрядные лампы имеют широкий спектр освещения, но обладают высокой стоимостью и коротким сроком службы, кроме того есть проблемы с их утилизацией. Натриевые лампы немного экономичнее и долговечнее, однако в их спектре отсутствует синий цвет, что делает их неэффективными в фазе вегетативного роста растений. К тому же все указанные лампы требовательны к напряжению сети и имеют высокую температуру нагрева, что не позволяет их располагать вблизи растений из-за опасности ожогов. Размещение 1500 ламп на гектаре теплиц при мощности одной лампы 600 Вт и работе 18 часов в день приводит к потреблению 495 000 кВт·ч в месяц.

Снижение такого большого расхода электроэнергии возможна двумя путями. Во-первых, использованием более экономичных источников света и, во-вторых, применением автоматического регулирования уровня искусственного освещения в зависимости от уровня естественного освещения в теплицах.

Наиболее экономичными и перспективными на сегодняшний день являются светодиодные источники освещения [3]. Важнейшей особенностью использования данного источника является обеспечение необходимого спектра света для растений. На сегодняшний день светодиодные источники позволяют воспроизводить различные спектры видимого света, а также обеспечивать их комбинирование, что дает возможность в ближайшей перспективе создать источники,

адаптированные под различные типы растений и периоды их роста. Кроме того, при относительной дороговизне технологии светодиодные лампы отличаются долговечностью, механической прочностью, невысокой температурой нагрева, экологичностью.

Второй путь оптимизации освещения связан с автоматизацией процесса освещения. На сегодняшний день управление освещением в теплицах осуществляется, как правило, вручную или в полуавтоматическом режиме путем включения и отключения искусственного освещения по часам суток [4]. Автоматические системы могут быть построены на основе фотометрических датчиков, подающих сигнал на блок обработки и управления освещением в теплице. Применение в теплицах автоматического управления освещением в зависимости от уровня естественного света позволит добиться уменьшения до 15% электроэнергии, что даст существенную экономию даже при использовании существующих светильников. При необходимости можно ступенчато регулировать уровень искусственного освещения, что позволяет еще более оптимизировать указанный процесс. Последнее решение лучшим образом может быть реализовано с помощью светодиодных источников за счет их большей компактности и возможности подбора яркости и равномерности распределения источников по площади теплицы.

Таким образом, применение более современных светодиодных источников освещения с использованием всех их преимуществ и автоматизированной системы управления уровнем искусственного освещения позволит значительно сэкономить затраты электрической энергии в теплицах.

1. Гаприндашвили Н.К., Новые технологии и оборудование для выращивания биологических объектов в искусственных климатических условиях / Н.К. Гаприндашвили, А.Г. Семёнов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – №2 (123). – С.176-180.

2. Асонова М.Д., Энергосберегающие технологии для систем освещения промышленных теплиц. / М.Д. Асонова, А.А. Ольховой, С. В. Ильин // Энергосберегающие технологии для систем освещения промышленных теплиц. Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – №17. – С.456-459.

3. Кунгс Я.А., Перспективы внедрения светодиодного освещения в теплицах / Я.А. Кунгс, И.А. Угренинов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – №3. – С.53-55.

4. Минаев И.Г., Энергосберегающая система управления источниками оптического облучения в теплицах / И.Г. Минаев, А.Г. Молчанов, В.В. Самойленко // Сельскохозяйственный журнал. – 2012. – №1-1. – С.40-43.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МНОГОЗВЕННОГО РОБОТА

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Возможен синтез управления положением и скоростью промышленного робота, как нелинейного объекта, нелинейными методами, решая обратную задачу динамики [1, 2]. Промышленный робот, как объект управления, характеризуется параметрической неопределенностью, в частности, из-за изменения массы манипулируемых предметов. Линеаризованная модель динамических режимов промышленного робота позволяет решать задачу робастного синтеза линейных регуляторов положения и скорости, относя нелинейность к внутренним возмущениям объекта управления.

Манипуляционный робот со степенями подвижности вращения, работающий в сферической системе координат имеет, в соответствии с классификацией [1], кинематическую схему вида $B^1B//B$, нашедшую применение во многих промышленных роботах. Предполагаются известными главные моменты инерции $J_{0xi}, J_{0yi}, J_{0zi}$ и массы звеньев.

Целью работы является определение пределов изменения моментов инерции, приведенных к каждой из трех осей вращения механизма, в процессе относительного движения звеньев робота.

Промышленный робот имеет одну вертикальную ось вращения Z и две параллельные горизонтальные оси (рисунок 1), которые приводятся в движение идентичными электроприводами с векторным частотным

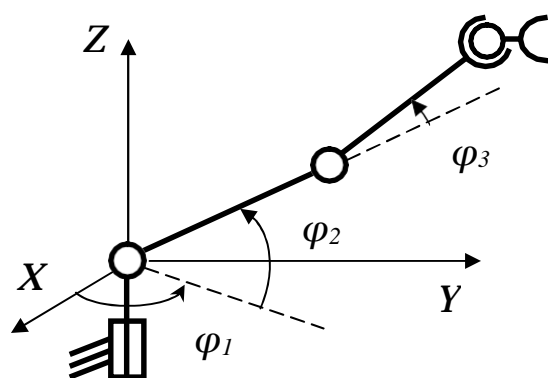


Рисунок 1 – Кинематическая схема промышленного робота

управлением с синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ). Целесообразно единое решение задачи синтеза системы управления для каждого из трех электроприводов звеньев поворота.

Синтез управления для трех объектов, отличающихся приведенными к валу двигателя моментами инерции, изменяющимися в процессе движения в различных пределах, возможен при адаптивном, а также при неадаптивном робастном управлении [2,3]. В обоих случаях необходим интервал

изменений параметра, а именно, момента инерции. Если известны главные моменты инерции i -го звена ($i=1,2,3$), то момент инерции J_{ij} при движении вокруг произвольной j -й оси, параллельной одной из осей звена, определяется выражением $J_{ij} = r_{ij}^2(t)m_i + J_{0i}$. Здесь r_{ij} - расстояние от центра инерции звена до оси вращения,

Первое звено вращается вокруг вертикальной оси и имеет момент инерции J_1 относительно этой оси. Второе и третье звенья участвуют в двух и трех вращательных движениях соответственно. Таким образом, приведенные к каждой из трех осей вращения моменты инерции определяются выражениями:

$$J_{\Sigma 1} = J_{01Z} + J_{02Z} + J_{03Z} + m_2 a_{02}^2 \cos^2 \varphi_2 + m_3 r_{13}^2,$$

$$J_{\Sigma 2} = J_{02X} + J_{03X} + m_2 a_{02}^2 + m_3 r_{23}^2, \quad J_{\Sigma 3} = J_{03X} + m_3 a_{03}^2.$$

Здесь φ_2, φ_3 - углы поворота второго звена относительно горизонтальной плоскости и третьего звена относительно второго соответственно, $\gamma = \arccos(a_2 \cos \varphi_2 + a_{03} \cos(\varphi_2 + \varphi_3)) / r_{23} - \varphi_2$, a_2 - длина второго звена, a_{02}, a_{03} - расстояния от осей вращения до центров масс звеньев. Квадраты расстояний от центров масс до осей вращения равны: $r_{13}^2 = r_{23}^2 \cos^2(\varphi_2 + \gamma)$, $r_{23}^2 = (a_2^2 + a_{03}^2 + 2a_2 a_{03} \cos \varphi)$. Учитывая, что косинус изменяется по модулю от 0 до 1, моменты инерции $J_{\Sigma 1}$, $J_{\Sigma 2}$ изменяются в пределах

$$J_{\Sigma 1} \in [J_{\Sigma 1}, \bar{J}_{\Sigma 1}] = [J_{01Z} + J_{02Z} + J_{03Z}; J_{01Z} + J_{02Z} + J_{03Z} + m_2 a_{02}^2 + m_3 (a_2 + a_{03})^2],$$

$$J_{\Sigma 2} \in [J_{02X} + J_{03X} + m_2 a_{02}^2; J_{02X} + J_{03X} + m_2 a_{02}^2 + m_3 (a_2 + a_{03})^2],$$

а $J_{\Sigma 3} = J_{03X} + m_3 a_{03}^2$ является наименьшим из моментов инерции, и остается постоянным. Единое решение задачи синтеза управления для каждого из трех электроприводов звеньев поворота требует для робастного синтеза формирования общего интервала изменения момента инерции

$$J_{\Sigma} \in [J_{\Sigma 3}; \bar{J}_{\Sigma 1}] = [J_{03X} + m_3 a_{03}^2; J_{01Z} + J_{02Z} + J_{03Z} + m_2 a_{02}^2 + m_3 (a_2 + a_{03})^2].$$

По известному интервалу изменения параметров возможен синтез робастного управления приводами звеньев [3].

1. Механика промышленных роботов: учеб. пособие для вузов: В 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.

2. Галиуллин, А. С. Аналитическая динамика / А. С. Галиуллин // Учеб. Пособие для ун-тов и втузов. – М.: Высш. Шк., 1989. – 264с.

3. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами. Инженерные методы анализа и синтеза. / Б. Н. Петров, Н.И. Соколов, А. В. Липатов и др.. М.: Машиностр., 1986. -256 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Матрунчик Ю.Н., Борисевич А.О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Реальным инструментом для решения задач эффективности производства, качества выпускаемой продукции, а также обеспечения нового качества управляемости является автоматизированная система управления технологическими процессами – АСУ ТП.

Представленная АСУ ТП управляет процессом приготовления горячей воды, насосами горячего водоснабжения, системой отопления. В системе производится сбор информации о технологических параметрах и состоянии оборудования, осуществляется обмен информацией между вычислительными средствами, а также формируется выдача сигналов световой и звуковой сигнализаций.

Установка и монтаж приборов, аппаратуры и щитов должна выполняться в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Приборы и средства автоматизации устанавливаются в специальных помещениях, предназначенных для систем автоматизации, а также в производственных помещениях в местах, предназначенных для монтажа приборов и средств автоматизации.

Проект автоматизации котельной выполняется с учетом комплектной поставки оборудования. Проектом предусматривается установка трех газовых котлов Unical ELLPREX и одного твердотопливного водогрейного котла TIS HARD PELLETT 150.

Управление котлами осуществляется котловыми регуляторами LagoBasic 0201 RV1 установленными на приборной панели котлов и каскадным регулятором E8.5064 установленным на приборной панели ведущего котла. Котловые регуляторы связаны между собой по сети CANBus. Предусмотрена работа котлов в температурном режиме 95/70 °С.

В проекте разрабатывается схема автоматизации на которой будут представлены: технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта; технические средства автоматизации; линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации. Линии связи между приборами и контурами контроля и управления, в том числе линии беспроводной связи изображены условными графическими обозначениями. В проекте предусмотрена передача сигналов об аварии общей и пожаре.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ТРИНАДЦАТИЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Матрунчик Ю.Н., Савицкая М.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одна из главных задач современного строительства — автоматизация зданий и сооружений.

Автоматизация позволяет объединить под централизованным компьютерным управлением все инженерные сети и информационные системы современного здания: отопление, кондиционирование, вентиляцию, тепло- и водоснабжение, систему пожарной безопасности, систему охранной сигнализации, систему оповещения, электроосвещение, бесперебойное электропитание, телекоммуникационную инфраструктуру.

Высокая насыщенность современных зданий инженерным оборудованием, повышение цен на энергоносители, ужесточение требований к качеству возводимых объектов и среде обитания фактически сделали применение автоматизированных систем управления инженерным оборудованием зданий обязательным условием.

Комфорт, энергосбережение и безопасность – основные требования, которые предъявляют к объекту современный потребитель. Возросшие требования к уровню комфорта определили минимальный набор сервисов, без которых уже невозможно представить себе современное здание. Это, прежде всего, отопление, вентиляция и кондиционирование. 85% энергопотребления в зданиях приходится как раз на обогрев и охлаждение.

Все здания отличаются друг от друга, и управление установками отопления, вентиляции и кондиционирования так же отличается: в зависимости от таких факторов, как размер здания, расписание работы и требования к климату в помещениях. Это означает, что при помощи контроллеров вы можете проектировать гибкую, экономически выгодную систему управления установками отопления, вентиляции и кондиционирования.

Автоматизация вентиляции:

- поддержка определенной температуры и влажности воздуха в зависимости от функционала помещения (кабинет, переговорная, лекционный зал, склад, цех), режима работы (день/ночь/выходные);
- автоматическое и ручное включение-выключение приточной и/или вытяжной вентиляции;
- автоматическое изменение производительности и качества воздуха в зависимости от времени суток, количества людей, находящихся в здании

(например, по данным от счетчика посетителей в торговом центре или от системы контроля доступа в здание).

Такая автоматическая подстройка дает очень большую экономию энергоресурсов, т.к. вентиляция потребляет много энергии, поэтому обязательно необходимо применять энергосберегающие технологии.

К продуктам автоматизации систем отопления, вентиляции, кондиционирования относятся специальные аппаратные и программные средства.

Аппаратные средства включают:

- датчики;
- исполнительные механизмы и устройства (управляемые клапаны, приводы, регуляторы, частотные преобразователи, котел и т. д.);
- управляющие контроллеры, осуществляющие функции местного управления;
- коммуникационные контроллеры (маршрутизаторы, шлюзы и т. п.),
- кабели и кабельная арматура, предназначенные для построения сетей требуемой топологии, совместимости и производительности;
- компьютеры для создания систем мониторинга и диспетчеризации систем управления здания.

К программным средствам относятся:

- встроенное программное обеспечение;
- программное обеспечение систем сетевой связи (для конфигурирования, настройки и тестирования сетей);
- программное обеспечение для систем сбора данных и диспетчерского управления;
- специализированное программное обеспечение для реализации заказных алгоритмов управления систем здания.

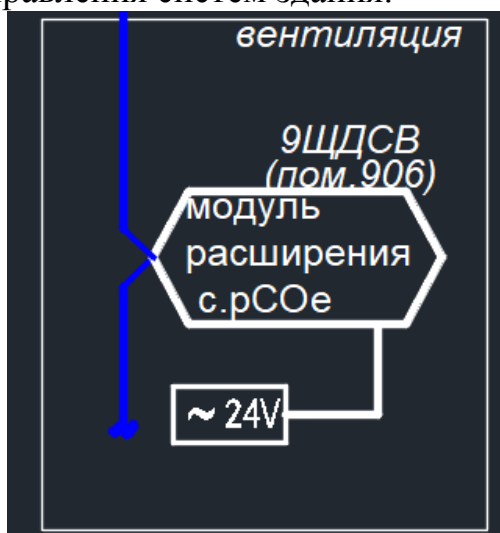


Рис. 1 – Блок общей структурной схемы АСДУ здания

Определяющими факторами успеха в промышленном производстве являются уменьшение времени выхода продукции на рынок, повышение ее качества и снижение стоимости. Практическая реализация этих требований

обуславливает необходимость модернизации проектно-технологических и производственных процессов как в рамках отдельных предприятий, так и в условиях “расширенного предприятия”, объединяющего всех поставщиков, соисполнителей и участников проектирования и производства продукции. В настоящее время наиболее радикальным средством решения задач модернизации является внедрение интегрированных информационных технологий на базе использования современных средств вычислительной техники и сетевых решений. К числу наиболее эффективных технологий, дающих весомый выигрыш в короткие сроки, принадлежат системы автоматизированного проектирования, инженерного анализа и технологической подготовки (CAD/CAM/CAE), а также системы управления производственной информацией (PDM).

Система автоматизированного проектирования САПР – это программа, которая базируется на двух основных подсистемах: проектирование и обслуживание. С помощью первой осуществляется само построение схем, чертежей. Вторая служит для управления первой.

AutoCAD — двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. AutoCAD предлагает возможности для инженеров всех сфер, в ее комплектации есть как широкий спектр инструментов, так и специальные модули для узкой профилизации, чтобы не загромождать интерфейс.

Достоинства САПР:

1. Более быстрое выполнение чертежей.
2. Повышение точности и качества выполнения чертежей.
3. Возможность многократного использования чертежа. Запомненный чертеж может быть использован повторно для проектирования, когда в состав чертежа входит ряд компонентов, имеющих одинаковую форму.
4. САПР обладает чертежными средствами (сплайны, сопряжения, слои).
5. Ускорение расчетов и анализа при проектировании.
6. Понижение затрат на обновление. Средства анализа и имитации в САПР, позволяют резко сократить затраты времени и денег на тестирование и усовершенствование прототипов, которые являются дорогостоящими этапами процесса проектирования.
7. Большой уровень проектирования. Мощные средства, комплексного моделирования. Возможность проектирования нестандартных геометрических форм, которые быстро оптимизируются.
8. Интеграция проектирования с другими видами деятельности.

1. А.П. Пашкевич, О.А. Чумаков: Основы систем автоматизированного проектирования, Минск 2004, с.52;

2. <https://www.zwsoft.ru>

3. <http://dunaenergo.by/automate.html>

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Околов А.Р., Матрунчик Ю.Н., Халлыев Г.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшнем этапе развития современного общества, электроэнергия и централизованное теплоснабжение стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Без них трудно представить жизнь, современных городов и поселков, являющихся крупными потребителями электрической энергии в стране.

От того, насколько рационально спроектирована система электроснабжения города, зависит эффективность функционирования большого числа городских и промышленных объектов, расположенных на его территории.

Потребители электрической энергии, расположенные на селитебной территории города, условно разделяются на две основные группы: жилые дома и общественно-коммунальные учреждения.

Потребление электроэнергии в жилых домах определяется укладом жизни населения города. В современных жилых домах используется большое количество различных электроприемников, которые подразделяются на электроприемники квартир и на электроприемники общедомового назначения.

Под системой электроснабжения города понимается совокупность электрических сетей и трансформаторных подстанций, расположенных на территории города и предназначенных для электроснабжения его потребителей. Основные показатели системы определяются местными условиями: размерами города, наличием источников питания, характеристиками потребителей и т.д.

Питание городских потребителей осуществляется с помощью распределительных сетей напряжением 6-10 кВ и 0,38 кВ, которые опираются на данные источники питания. Трансформаторные подстанции с трансформаторами различной мощности питают распределительную сеть 0,38 кВ, схема построения которой зависит от характера потребителей.

Для питания промышленных предприятий и коммунально-бытовых потребителей могут применяться самостоятельные подстанции (ТП), не связанные с сетью общего пользования.

В зависимости от ответственности потребителей ТП могут быть автоматизированы, т.е. снабжены устройствами для автоматического переключения питания потребителя на резервную линию при внезапном выходе из работы основной линии.

Из рассмотренного следует, что основные показатели системы электроснабжения жилого дома определяются его размерами, параметрами энергосистемы, характеристиками потребителей и другими местными особенностями.

Объектом электроснабжения является типовой многоквартирный жилой дом (26 квартир) с нежилыми помещениями на первом этаже и техническом подвале.

Коллекторы солнечной энергии преобразуют энергию Солнца в электрическую (фотоэлектрические коллекторы) или тепловую, последние служат для нагрева теплоносителя в определенных объемах до определенной температуры. В качестве теплоносителя может быть жидкость (жидкостные коллекторы) или воздух (воздушные коллекторы). Для получения высоких температур теплоносителя служат концентрирующие коллекторы. На рисунке 1 приведена классификация солнечных коллекторов.



Рис. 1 - Классификация солнечных коллекторов

Плоские солнечные коллекторы можно подразделить на открытые и за-крытые, на вакуумные и тепловые трубы. Открытые солнечные коллекторы представляют собой одну лишь поглощающую панель (без корпуса), которая обычно изготавливается из пластика или резины, стойких к ультрафиолетовому излучению, и закрепляется непосредственно к крыше. Эти коллекторы используются в одноконтурных системах для нагрева воды в бассейнах. Применяются, в основном, в странах с теплым климатом и большим количеством ясных солнечных дней.

1. Анцев, И.Б. Основы проектирования внутренних электрических сетей [Текст]: учебное пособие / И.Б. Анцев, В.Н. Силенко. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 272 с.

2. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 460 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧИРИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАВИЛЬОНОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Матрунчик Ю.Н., Абуфанас М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Индивидуальное регулирование теплоотдачи нагревательных приборов, дополняющее центральное и местное регулирование, позволяет учитывать специфические условия различных помещений, дает возможность потребителю самому устанавливать необходимую температуру в помещении в соответствии с индивидуальными запросами.

Под автоматизацией систем теплоснабжения понимается использование комплекса автоматических устройств для управления технологическими процессами в системах теплоснабжения. Автоматизация систем теплоснабжения включает регулирование (в частности, стабилизацию) параметров, управление работой оборудования и агрегатов (дистанционное, местное), защиту и блокировку их, контроль и измерение параметров, учет расхода отпускаемых и потребляемых ресурсов, телемеханизацию управления контроля и измерения. Комплекс средств автоматического регулирования отпуска теплоты в системе теплоснабжения предусматривает ступени: центрального регулирования в источнике теплоты (теплоэлектроцентрали, котельной); группового регулирования в центральных тепловых пунктах, узлах распределения; местного общедомового (на все здание) регулирования или местного пофасадного (позонного) регулирования в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) при наличии пофасадного (позонного) разделения систем отопления здания; индивидуального регулирования у нагревательных приборов в помещениях здания.

Выбор рационального комплекса ступеней регулирования отпуска теплоты производится в зависимости от структуры распределительных тепловых сетей, наличия пофасадного разделения системы отопления здания и средств индивидуального регулирования в помещениях. Указанные структуры сетей отличаются числом трубопроводов и размещением водонагревателей или смесительных устройств горячего водоснабжения. Технические решения по автоматизации регулирования отпуска теплоты в различных ступенях регулирования гидравлических режимов работы, управления оборудованием и защиты тепловых сетей и потребителей связаны с автоматизацией тепловых пунктов, насосных станций и защитой тепловых сетей.

Тепловые сети являются одной из самых проблемных зон энергетической отрасли во многих городах. Сложившаяся ситуация характеризуется:

- неэффективностью, обусловленной коммерческими и техническими потерями при передаче и распределении энергоресурсов;
- не оптимальностью режимов работы тепловых сетей;
- высокой аварийностью, связанной с ветхим состоянием оборудования тепловых сетей;
- большими затратами на эксплуатацию системы из-за высокой доли ручных операций и большого количества эксплуатационного персонала;
- социальной напряжённостью, вызванной плохой организацией и низким качеством предоставления коммунальных услуг.

В условиях недостаточности инвестиций в данную отрасль следует искать наименее затратные, но дающие быстрый эффект методы, позволяющие решить хотя бы часть имеющихся проблем. Один из таких методов – комплексная автоматизация тепловых сетей. При сравнительно небольших затратах относительно замены технологического оборудования трубопроводов автоматизация даёт быстрый экономический эффект.

Сокращение потерь при производстве, передаче и распределении энергоресурсов – одна из основных задач, которую необходимо решать.

Разрабатываемые в данном проекте решения программного обеспечения имеют ряд преимуществ, которые выгодно отличают их от продукции конкурентов:

1. Комплексный подход и построение системы на базе единых, глубоко интегрированных между собой программных и технических средств.

2. Высокая надёжность оборудования в совокупности с возможностью организации различных схем резервирования позволяют строить АСУ ТП на базе “безлюдных технологий”.

3. Организация связи локальных АСУ ТП объектов (ЦТП, насосные, котельные) по медленным и ненадёжным каналам связи (модемные проводные каналы, GSM) с возможностью их резервирования.

4. Возможность постепенного наращивания функционала и масштабирования системы.

5. Реализация всех задач в одном программно-техническом комплексе (учёт, контроль, управление, анализ).

6. Наличие драйверов для многочисленных приборов учёта, применяемых на объектах теплосетей, комплексное решение задач технического и коммерческого учёта воды, газа, электроэнергии и теплоносителя.

7. Типовые технические решения для различных объектов теплосетей.

Системы диспетчеризации тепловых сетей – это, как правило, комплексные проекты, осуществляемые поэтапно по мере выделения финансирования, включающие:

- разработку укрупнённого технического задания;
- предпроектное обследование системы;
- выделение типовых объектов автоматизации и создание типовых проектов;
- проектирование системы с привязкой типовых проектов к реальным объектам автоматизации;
- создание центрального диспетчерского пункта с подключением к нему локальных АСУ ТП объектов 1-й очереди;
- поэтапное подключение к системе объектов 2-й, 3-й и последующих очередей (тиражирование).

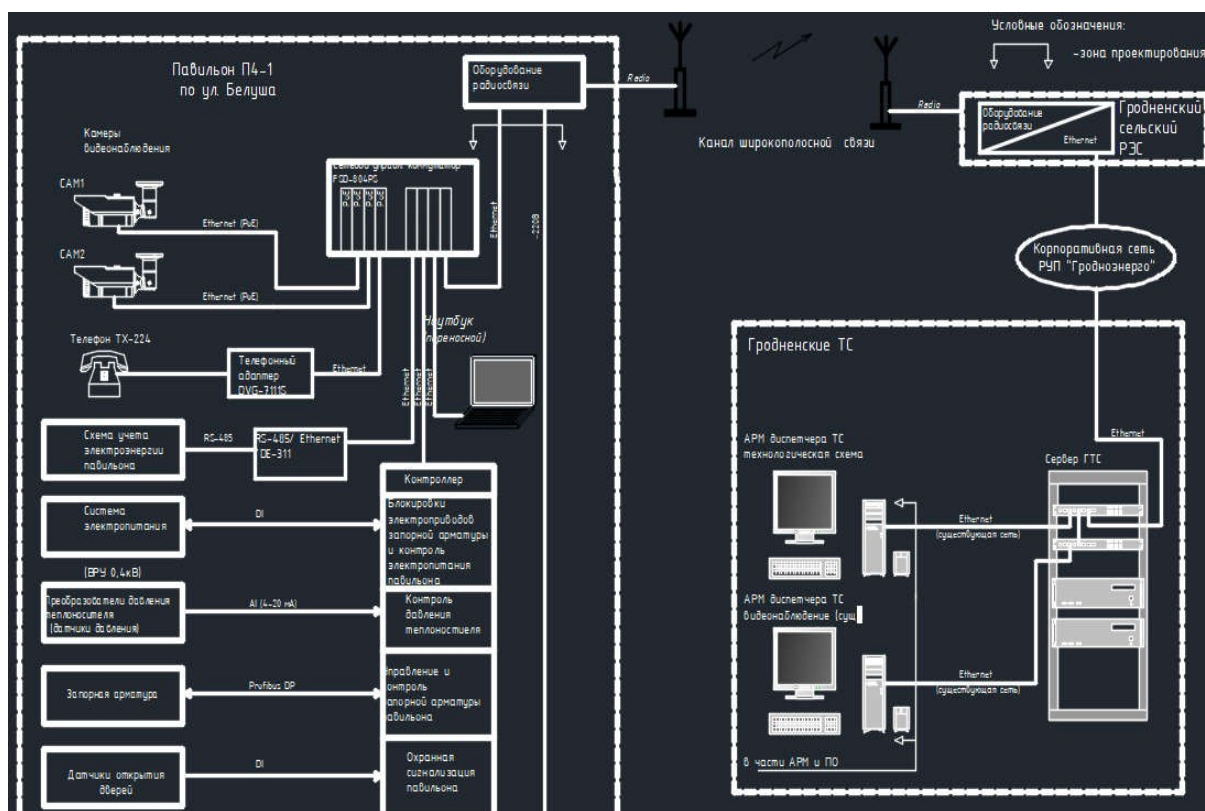


Рис. 1 – Структурная схема системы диспетчеризации

1. Богуславский Л. Д., Ливчак В.И., Титов В.П. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. —М., 2000.
2. Ибрагимов М.Х. и др. Тепловое оборудование и тепловые сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1998.
3. https://studref.com/302683/stroitelstvo/avtomatizatsiya_sistem_teplosnabzheniya

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТА ЛИФТА

**Лившиц Ю.Е., Беленков М.А., Билица М.В., Борищук В.В.,
Громько В.А.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Макет лифта представляет собой лабораторный комплекс, созданный для учебных целей. Он состоит из шахты, с габаритными размерами 560560320 см, кабины, перемещающейся на три этажа внутри шахты, машинного отделения с приводом кабины, установленного на верхней крышке шахты, и системы управления. Система управления (СУ) расположена в отдельном шкафу.

Структурная схема СУ показана на рисунке 1.

СУ состоит из привода кабины лифта на базе трехфазного асинхронного двигателя (ЭД) SEW-USOCOME SF31DT71D-4, управляемого преобразователем частоты (ПЧ) Yaskawa AC Drive L1000V, программируемого логического контроллера (ПЛК) FATEK FBs-40MCRU – AC с аналоговым модулем FBs-4A2D, источником питания на 24 В, внешнего пульта управления (ПУ) с расположенными на нем кнопками управления (первый-третий этаж, движение вверх/вниз, «Аварийная кнопка»), переключателем режимов (Автоматический/Ручной), сигнальные лампы (авария, сеть, нет подключения).

На направляющих шахты установлены герконовые датчики (Д) RE21-SA03 фиксации положения кабины на этажах, датчики предельного перемещения кабины MSW25B-3H. На кабине лифта расположен неодимовый магнит для взаимодействия с датчиками положения.

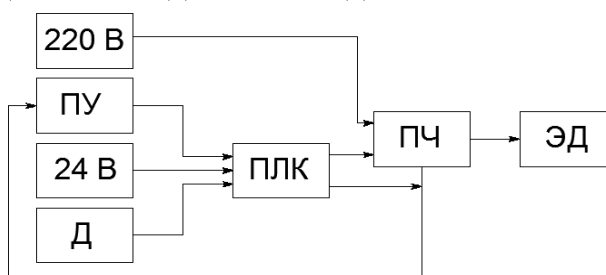


Рис. 1 – Структурная схема системы управления лабораторным комплексом

ПЛК работает по программе, соответствующей алгоритму, приведенному на рисунке 2, в следующей последовательности:

- 1 – «Авария?» - сигнал об аварии зажжет «аварийную» лампу на ПУ;
- 2 – «Есть ошибка на ПЧ?» - ожидает сигнал с преобразователя частоты;
- 3 - «Нажато более одной кнопки?» - ограничивает возможность нажатия одновременно двух кнопок;
- 4 - «Включен ли автоматический режим?» - выбирает режим работы лабораторного комплекса: «Автоматический режим» контролирует

перемещение кабины лифта, ПЛК ожидает сигналы с кнопок (1-3 этаж); «Ручной режим» контролирует перемещение кабины лифта, ожидает сигналы с кнопок (Вверх/вниз).

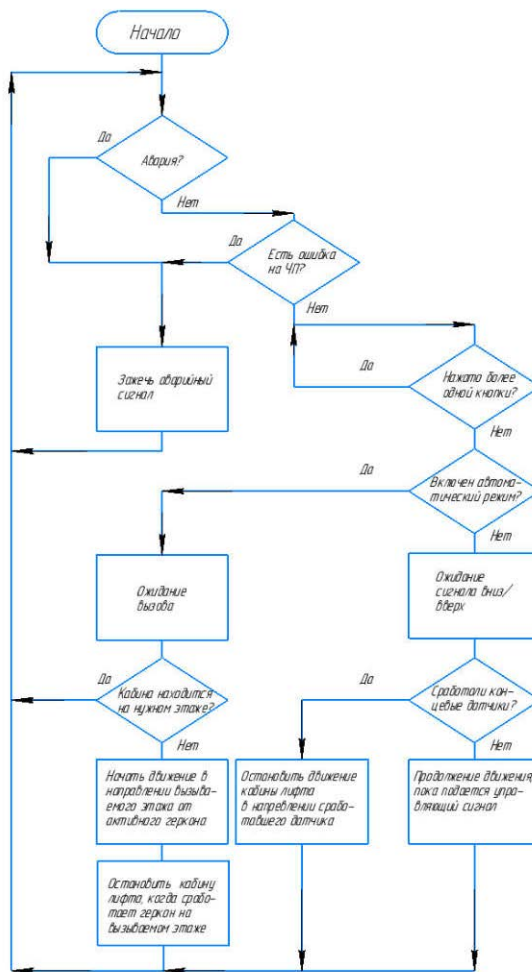


Рис. 2 - Алгоритм работы контроллера

В выбранном режиме работы Автоматический/Ручной после нажатии кнопок на пульте управления, ПЛК по программе анализирует сигналы на входе и выдает управляющие сигналы на электропривод макета лифта. Кабина движется вверх/вниз. По достижению магнитом зоны действия геркона происходит замыкание его контакта. Сигнал о позиционировании кабины поступает на вход ПЛК. Если будут получены аварийные сигналы с кнопки «Авария» на пульте управления, сигнал ошибки с ПЧ или датчиков ограничения перемещения кабины, контроллер выдает управляющие сигналы для остановки кабины и зажжет сигнальную лампу «Авария» на пульте управления.

Программа работы ПЛК реализована в среде разработки WinProLadder на языке программирования Ladder Diagram. В данной среде имеется симулятор для отладки программного обеспечения работы контроллера.

Разработанная СУ предоставляет возможность программирования оптимальных режимов управления перемещением кабины и позволяет моделировать ситуации, возникающие при работе лифта.

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТУРБИНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ЭНЕРГБЛОКА В РЕЖИМЕ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Структурная схема моделирования переходных процессов системы автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ) в режиме постоянного давления пара перед турбиной приведена на рисунке 1:

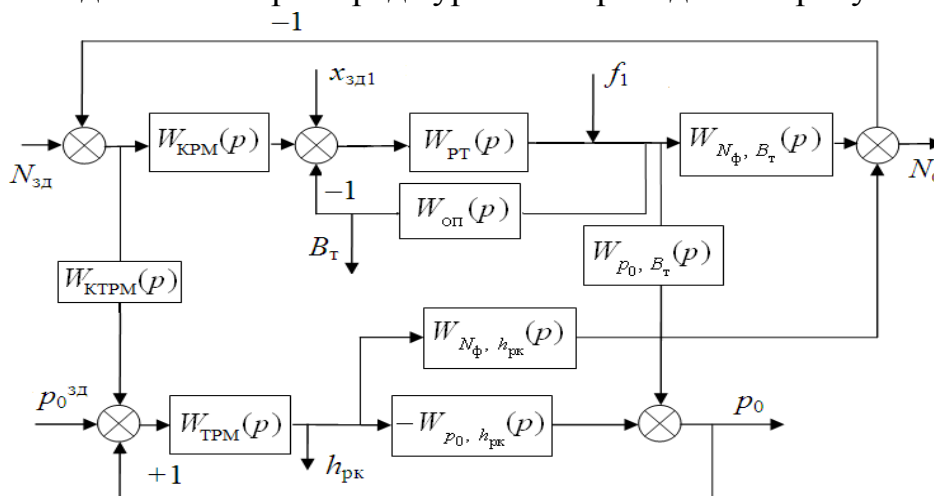


Рисунок 1 – Структурная схема моделирования переходных процессов

На рис.1 использованы следующие обозначения: $W_{N_{\phi}, B_T}(p)$, $W_{N_{\phi}, h_{рк}}(p)$ – передаточная функция по электрической мощности соответственно при скачкообразных изменении задания котельному регулятору нагрузки и перемещении регулирующих клапанов турбины; $W_{p_0, B_T}(p)$, $W_{p_0, h_{рк}}(p)$ – передаточная функция по давлению перегретого пара перед турбиной соответственно при скачкообразных изменении задания котельному регулятору нагрузки и перемещении регулирующих клапанов турбины; $W_{оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка по расходу топлива (газа); $W_{ТРМ}(p)$ – передаточная функция турбинного регулятора мощности; $W_{КТРМ}(p)$ – передаточная функция корректора турбинного регулятора мощности; $W_{КРМ}(p)$ – передаточная функция котельного регулятора мощности; $W_{РТ}(p)$ – передаточная функция регулятора топлива; $p_0^{зд}$, p_0 – соответственно заданное и текущее значение давления перегретого пара перед турбиной; $h_{рк}$ – перемещение регулирующих клапанов турбины; $N_{зд}$ – заданное значение мощности энергоблока; N_{ϕ} – фактическая электрическая мощность энергоблока; f_1 – внутреннее возмущение; $x_{зд1}$ – задание регулятору топлива; B_T – изменение расхода топлива;

В режиме постоянного давления пара перед турбиной турбинный регулятор мощности (ТРМ) настраивают на поддержание давления перегретого пара перед турбиной возле номинального значения.

В качестве первого варианта настройки используем типовой ПИ-регулятор, настроенный в среде Simulink Matlab [1]. Этот регулятор имеет следующие настройки: $K_p = 0,961$ и $T_i = 0,029$ с, т.е. передаточная функция первого варианта настройки ТРМ имеет следующий вид:

$$W_{\text{ТРМ 1}}(p) = \frac{0,961(0,029 p + 1)}{0,029 p}.$$

Структуру второго варианта ТРМ формируем на основе передаточной функции оптимального регулятора с использованием передаточной функции по давлению пара перед турбиной при возмущении перемещением регулирующих клапанов [2]:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = \left[W_{p_0, h_{\text{ПК}}}(p) \right] W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p), \quad (1)$$

где $W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p)$ – передаточная функция разомкнутой системы в виде идеального интегрирующего звена:

$$W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p) = \frac{1}{T_{\text{зд1}} p}. \quad (2)$$

Здесь $T_{\text{зд1}}$ – единственный расчётный параметр динамической настройки ТРМ.

С учётом передаточных функций (1) и (2) передаточная функция второго варианта ТРМ примет вид реального ПИ-регулятора:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = \frac{T_7 p + 1}{K_3 (T_6 p + 1) T_{\text{зд1}} p}. \quad (3)$$

Численное значение $T_{\text{зд1}}$ рассчитывают по формуле с учетом дополнительного ряда чисел правила золотого сечения [3]:

$$T_{\text{зд1}} = 0,56 \cdot T_7. \quad (4)$$

Подставив в передаточную функцию (3) уравнение (4) и все коэффициенты передаточной функции по давлению пара перед турбиной при возмущении перемещением регулирующих клапанов, получим:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = 8,12 \frac{69,4 p + 1}{69,4 p (3,7 p + 1)}.$$

Корректор ТРМ представляет собой пропорциональное звено с коэффициентом усиления, который может принимать следующие значения:

$$W_{\text{КТРМ}} = \alpha = 1; 3; 5; 7.$$

По своей сути коэффициент усиления корректора ТРМ представляет собой ту долю ошибки регулирования по мощности с выхода измерительного блока КРМ, которая попадает на вход турбинного регулятора мощности.

Прямые показатели качества переходных процессов САУМБ с типовым (вариант 1) и предлагаемым ТРМ (вариант 2) с коэффициентом

усиления $\alpha = 1$ при увеличении заданной мощности $N_{зд}$ с 90 % номинальной мощности до 100 % [4] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прямые показатели качества сравниваемых вариантов структур и параметров динамической настройки ТРМ

Вариант	Возмущение	t_p , с	σ_m , %	$B_T^{M^*}$, о.е.	$h_{p_k}^{M^*}$, о.е.	p_0^M , %
1	$N_{зд}$	253	1,74	1,5	1,0	+ 4,78
2	$N_{зд}$	150	0	0,98	1,08	- 1,57

Обозначения: t_p – полное время регулирования; σ_m – максимальное перерегулирование; $B_T^{M^*}$ – относительное изменение расхода топлива (отношение максимального значения к установившемуся); $h_{p_k}^{M^*}$ – относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины; p_0^M – максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной;

При скачке задания у обоих вариантов полное время регулирования меньше требуемых 300 секунд [4], но половина регулировочного диапазона (5 % номинальной мощности) достигается первым вариантом за 36 с, а вторым – за 9 с, т.е. за 15 секунд [4] набрать 5 % номинальной мощности может только предлагаемый реальный ПИ-регулятор. У типового ПИ-регулятора перерегулирование равно 1,74 %, что больше допустимого 1 % [4]. Перерегулирование во втором варианте отсутствует. Также при втором варианте настройки относительный максимальный расход топлива меньше на 34,7 %, чем при первом; максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной, взятое по модулю, меньше в 3,04 раза; однако относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины больше на 8 %.

Очевидно, что в качестве ТРМ в режиме постоянного давления пара перед турбиной необходимо использовать предлагаемый реальный ПИ-регулятор, т.к. типовой ПИ-регулятор не обеспечивает требования стандарта [4] к регулированию мощности.

Список использованной литературы

1. PID Controller Tuning in Simulink // Mathworks Inc. [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/gs/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html>. – Дата доступа : 26.01.2020.
2. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т.Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.
3. Сороко, Э.М. Золотое сечение, процессы самоорганизации и эволюции систем: введение в общую теорию гармонизации систем – М.: Комкнига, 2006. – 264 с.
4. Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности: СТО 59012820.27.100.002-2013. - Введ. 2013.04.25. - М. : ОАО «СО ЕЭС», 2013. - 36 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УСАДКИ В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОКРЫТИЙ

Белявин К.Е.¹, Белоцерковский М.А.², Сосновский И.А.², Курилёнок А.А.²

1) Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь;

2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь;

Одним из наиболее эффективных методов нанесения порошковых покрытий является процесс индукционной центробежной наплавки [1]. Одним из недостатков данного способа является отсутствие автоматизированного контроля над уплотнением порошка в процессе наплавки. Отсутствие контроля усадки может привести к завышению трудоемкости и затрат материалов, вследствие повышенного припуска на механическую обработку. Целью настоящей работы являлось решение данной проблемы.

Для осуществления метода непрерывного контроля усадки в состав технологической системы включен измеритель электрической мощности, связанный с блоком отключения источника нагрева наплавляемой детали.

Реализация метода происходит следующим образом (рисунок 1). В процессе наплавки слоя металлического порошка 1 к внутренней поверхности цилиндрической детали 2 моменты инерции составных частей системы вращения не изменяются, за исключением момента инерции порошкового слоя, который уплотняется под воздействием индукционного нагрева и центробежных сил. С учетом этого момент инерции порошкового слоя определяется выражением:

$$J = \frac{m(r_1^2 + r_2^2)}{2}, \quad (1)$$

где m – масса порошкового слоя; r_1 – внутренний радиус порошкового слоя; r_2 – радиус внутренней поверхности заготовки.

Следовательно, изменение момента инерции порошкового слоя вследствие его усадки:

$$\Delta J = \frac{m(r_{11}^2 + r_{10}^2)}{2}, \quad (2)$$

где r_{10} – начальный радиус внутренней поверхности порошкового слоя; r_{11} – радиус порошкового слоя после усадки.

Из (2) легко получить зависимость текущего радиуса порошкового слоя r_{11} от изменения его момента инерции:

$$r_{11}^2 = r_{10}^2 + \frac{m}{2} \Delta J \quad (3)$$

Увеличение момента инерции порошкового слоя происходит в резуль-

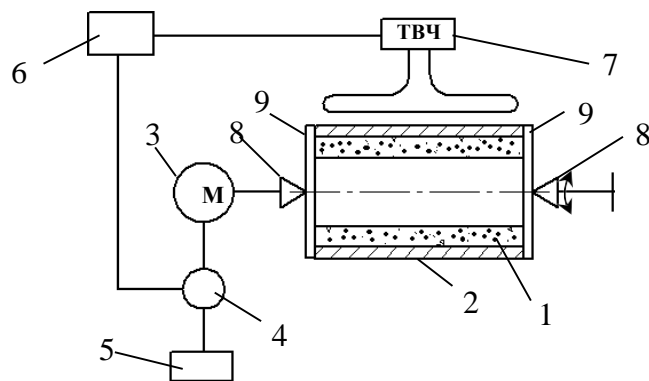


Рис. 1 – Технологическая схема определения усадки порошкового слоя в процессе его центробежной наплавки

тате уплотнения порошка и увеличения внутреннего радиуса порошкового слоя r_1 . Это, в свою очередь, приводит к увеличению нагрузки на привод вращения 3 и потребляемой им электрической мощности, определяемой по формуле:

$$P = IU = \eta \omega M = J \omega^3, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения детали; I – сила тока; U – напряжение; η – к.п.д.; M – крутящий момент.

Процесс уплотнения порошка контролируется путем измерения этой мощности с помощью ваттметра 4, подключенного к источнику питания 5. Используя закон сохранения массы, получим соотношение, связывающее текущую среднюю пористость Π порошкового слоя с его текущим радиусом r_{11} в виде:

$$(1 - \Pi)(r_2^2 - r_{11}^2) = (1 - \Pi_0)(r_2^2 - r_{10}^2) \quad \text{или} \quad \Pi = 1 - (1 - \Pi_0) \frac{r_2^2 - r_{10}^2}{r_2^2 - r_{11}^2} \quad (5)$$

где Π_0 – начальная пористость порошкового слоя.

Зная изменение момента инерции порошкового слоя ΔJ в процессе центробежной индукционной наплавки, можно определить изменение его внутреннего радиуса по формуле (3), а, воспользовавшись после этого формулой (5), можно определить среднюю пористость порошкового слоя. По достижению требуемой плотности порошкового слоя и его толщины, определяемой уровнем срабатывания блока отключения 6 источника нагрева 7, происходит его срабатывание, что соответствует завершению процесса нанесения покрытия. Изготовленную деталь с наплавленным порошковым слоем извлекают из центров 8 зажимного приспособления, снимают крышки 9 и охлаждают.

1. Белявин, К.Е. Инженерные методы расчета температурно-временных параметров в процессах центробежной индукционной наплавки покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.А. Курилёнок / Перспективные материалы и технологии : монография. В 2-х т. Т. 2 / под ред. чл.-корр. В.В. Рубаника. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019. – Гл. 1. – С. 5 – 18.

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА «БЕЛАЗ»

Гульков Г.И.¹, Микулёнок А.М.²

1) Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

2) ОАО "Белорусский автомобильный завод"

Жодино, Республика Беларусь

Для повышения эффективности карьерных самосвалов по транспортировке полезных ископаемых в условиях круглосуточного использования актуальной является задача обеспечения безаварийной работы тягового электропривода.

Решение данной проблемы связано с необходимостью создания и внедрения на автономном электромобиле системы диагностики, позволяющей оценить текущее состояние тягового электропривода, его остаточный ресурс и тем самым обеспечить техническое обслуживание и замену неисправных узлов, соответствующее фактическому состоянию оборудования, а также осуществить прогноз будущего состояния тягового электропривода и связанных с ним механизмов.

В настоящее время для диагностики технического состояния электромеханического оборудования используются следующие основные методы анализа: вибраций, акустических колебаний, магнитного поля в зазоре электрической машины, температуры, состояния изоляции, электрических переменных электрической машины. Применение первых трех требует непосредственного встраивания инструментов диагностики в электрооборудование и обеспечения их функционирования в тяжелых условиях эксплуатации движущегося транспортного средства, что экономически не эффективно и технически сложно. Температурные методы эффективны для диагностики состояния подшипниковых узлов электрических машин и механизмов.

В последнее время для диагностики электромеханического оборудования получают применение методы, основанные на анализе спектра электрических переменных электрической машины [1]. Несомненным достоинством данных методов является возможность использования датчиков тока, напряжения, мощности, установленных в шкафу электрооборудования самосвала и используемых в настоящее время для контроля и сигнализации о наступлении аварийного режима и в необходимых ситуациях для отключения электрооборудования. Помимо этого, для управления тяговым электроприводом используется современная микропроцессорная система, что позволяет без особых затруднений осуществить расширение микропроцессорных средств и исполь-

зовать их для сбора, хранения и обработки оперативных данных о техническом состоянии элементов тягового электропривода.

Тяговый электропривод (ТЭП) содержит следующие основные элементы: синхронный генератор, два тяговых электродвигателя, два неуправляемых выпрямителя, два комплекта тормозных резисторов с вентиляторами, тиристорные регуляторы возбуждения генератора и возбуждения двигателей.

В процессе диагностики необходимо установить исправное и неисправное состояние элементов ТЭП. Вследствие этого одной из важнейших задач создания системы диагностики ТЭП является разработка математических моделей эталонного (исправного) и отличного от него состояния элементов ТЭП. Основой для формирования эталонных математических моделей являются характеристики элементов ТЭП, полученные в ходе приемочных испытаний на предприятии - изготовителе, а также характеристики элементов ТЭП, полученные при пусконаладочных испытаниях самосвала БЕЛАЗ в ходе обкатки.

Используя указанные характеристики и известные математические соотношения для каждого из элементов ТЭП постоянно-переменного тока карьерного самосвала получены эталонные математические модели. Переход элементов ТЭП в отличное от эталонного новое состояние происходит в результате возникающих в них дефектов. Для создания математических моделей, учитывающих возникающие дефекты, требуется сбор и анализ эксплуатационных данных.

1. ГОСТ ISO 20958-2015 Контроль состояния и диагностики машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя. – Москва,: Стандартиформ, 2015. – 22с.

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ СЕРВОКОНТРОЛЛЕР ЗВЕНА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Лившиц Ю.Е., Песенков П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Сервоприводы находят применение в ряде промышленных решений по всему миру. Это могут быть устройства дистанционного управления, рулевые механизмы в автомобилях, системы управления крылом самолета, приводы роботов-манипуляторов. Применение сервоуправления требует наличия обратной связи для предоставления информации о состоянии объекта управления в каждый момент времени.

Задачи, решаемые посредством сервоуправления, в общем случае можно свести в двум классам. Первый класс задач связан с качеством следования фактического движения системы за заданием. При этом параметром задания могут быть положение, скорость, ускорение, крутящий момент. Второй класс задач связан с подавлением помех (возмущений), действующих на систему.

Для обеспечения наилучшей производительности комплексные системы сервоуправления решают задачи обоих типов [1].

Применение сервоконтроллеров в робототехнике обусловлено требованиями к точности позиционирования, поддержанию заданных скоростей и ускорений при движении звеньев робота.

Целью работы является создание аппаратно-программного комплекса управления движением звена промышленного робота-манипулятора.

Одной из важнейших частей сервоконтроллера является непосредственно управляющий контроллер. Он отвечает за генерацию траекторий движения и за реагирование на изменения внешней среды, анализирует сигнал обратной связи и с учетом его корректирует управляющий сигнал.

В качестве устройства управления предлагается использовать микроконтроллеров (МК) компании STMicroelectronics. Применение данных МК обусловлено их широкими функциональными возможностями, необходимыми для решения поставленной задачи: поддержкой аппаратных средств для обработки сигналов энкодера, аппаратной поддержкой CAN.

Для обеспечения связи сервоконтроллера звена промышленного робота с контроллером верхнего уровня предлагается использовать CAN с применением сетевого протокола CANopen [2].

Блок-схема сервоконтроллера приведена на рисунке 1.

Каждый сервоконтроллер звена промышленного робота на шине принимает управляющие команды (задание) от контроллера верхнего

уровня посредством интерфейса CAN, который в свою очередь обеспечивает надёжную доставку данных.

Точная отработка задания обеспечивается благодаря применению обратной связи.

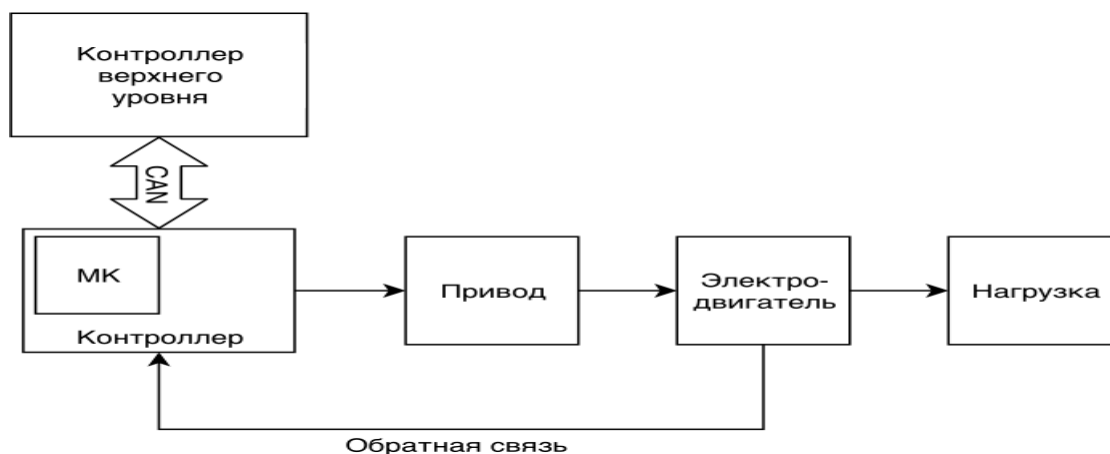


Рисунок 1 – Блок-схема сервоконтроллера

В качестве датчиков обратной связи могут использоваться инкрементальные и абсолютные энкодеры. Применение абсолютного энкодера позволит привязать положение вала электродвигателя к его системе отсчета, что позволит избежать проведения процедуры начальной калибровки при каждом включении питания.

- 1) Peng Zhang. Advanced Industrial Control Technology. – Elsevier, 2010. - р. 842
- 2) CAN bus (CANopen & CiA) for Motor Control [Электронный ресурс] Режим доступа <http://robotsforroboticists.com/can-bus/> Дата 25.01.2019

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) получили широкое распространение в теплоэнергетике. Характерным примером является САР температуры перегретого пара паровых котлов. Параметры динамической настройки таких систем могут быть рассчитаны любым из известных методов [1 ÷ 5]. В основе этих методов лежит аппроксимация динамических характеристик опережающего и инерционного участков регулирования соответствующими передаточными функциями.

Вместе с тем экспериментальное определение динамических характеристик опережающего и главного участков (последовательное соединение опережающего и инерционного участков) объекта регулирования не вызывает трудностей, когда на вход опережающего участка подается скачок регулирующего воздействия расходом воды на впрыск. При этом на вход инерционного участка поступает не скачок, а переходная характеристика опережающего участка, поэтому невозможно сразу получить переходную характеристику инерционного участка. В этом случае передаточную функцию инерционного участка $W_{ин}(p)$ определяют графическим путем из условия:

$$W_{ин}(p) = \frac{W_{гл}(p)}{W_{оп}(p)},$$

где $W_{гл}(p)$ – передаточная функция главного участка;

$W_{оп}(p)$ – передаточная функция опережающих участков [1,6].

Такой способ определения динамических характеристик инерционного участка трудоемок.

Исходными данными для расчета динамических характеристик САР температуры перегретого пара паровых котлов по методу Сибтехэнерго [6, с. 119-120] являются параметры опережающего ($k_{оп}$, $T_{оп}$, $\tau_{оп}$) и главного ($k_{гл}$, $T_{гл}$, $\tau_{гл}$) участков объекта регулирования. При этом параметры динамической настройки дифференциатора (k_d , T_d) находят по номограмме рис. 3.9 [6] в зависимости от значений $T_{оп}/T_{гл}$ и $\tau_{гл}/T_{гл}$. Параметры настройки регулятора определяют с учетом найденного значения коэффициента передачи дифференциатора k_d по номограмме рис. 1.22 [6] в зависимости от отношения $\tau_{оп}/T_{оп}$. Использование номограмм снижает точность определения динамической настройки САР.

Для устранения этих недостатков предлагается экспериментальные переходные характеристики опережающего участка аппроксимировать передаточной функцией инерционного звена второго порядка с различными постоянными времени ($k_{оп}$, $T_{оп}$, $\sigma_{оп}$), а главного участка в виде инерционного звена второго порядка с условием запаздывания ($k_{гл}$, $T_{гл}$, $\sigma_{гл}$, τ_y) [3].

Структурная схема САР с вводом производной по промежуточной регулируемой величине приведена на рис. 1.

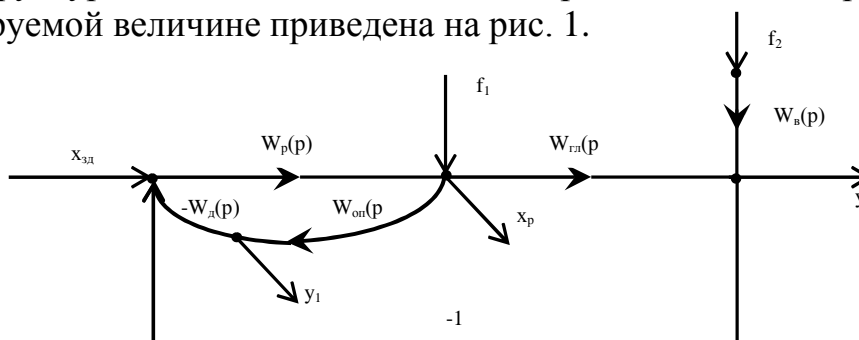


Рис. 1

Здесь передаточные функции: $W_p(p)$ и $W_d(p)$ – регулятора и дифференциатора; $W_{оп}(p)$ и $W_{гл}(p)$ – опережающего и главного участков; $W_v(p)$ – крайнего внешнего возмущения f_2 ; y и y_1 – основная и промежуточная регулируемые величины; $x_{зд}$ – задающее воздействие; f_1 – внутреннее возмущение.

Расчет динамической настройки САР (рис. 1) по методу Сибтехэнерго на основе параметров передаточных функций опережающего участка ($k_{оп}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$; $T_{оп}=42\text{с}$; $\tau_{оп}=4,5\text{с}$) и главного участка ($k_{гл}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$; $T_{гл}=284\text{с}$; $\tau_{гл}=79\text{с}$) приведен в [6]. При этом параметры настройки дифференциатора составляли $k_d=0,39\text{с}$; $T_d=156\text{с}$, а регулятора – $k_p=1^{\text{T}/\text{ч}}/\text{оC}$; $T_n=24,4\text{с}$ [6].

Расчет настройки стабилизирующего устройства (вместо дифференциатора) по предлагаемой методике на основе параметров передаточной функции главного участка ($k_{гл}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$; $T_{гл}=158,5\text{с}$; $\sigma_{гл}=29,5\text{с}$; $\tau_y=49,5\text{с}$) проводим по методу полной компенсации в частном виде [7]:

$$W_{cy}(p) = \frac{k_d T_d p (T_6 p + 1)}{(T_d p + 1)(\tau_y p + 1)} = \frac{0,406 \times 158,5 p (18,9 p + 1)}{(158,5 p + 1)(49,5 p + 1)}$$

где $T_6=0,382\tau_y=18,9\text{с}$; $k_d = \frac{2k_{ин}T_{гл}}{T_{гл}} = 0,406$.

Расчет настройки регулятора производим по методу частичной компенсации на основе параметров передаточной функции опережающего участка ($k_{оп}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$; $T_{оп}=42\text{с}$; $\tau_{оп}=4,5\text{с}$) с учетом коэффициента передачи стабилизирующего участка $k_{cy} = k_d \frac{T_6}{\sigma_{гл}} = 0,406 \frac{18,9}{29,5} = 0,26$ [3].

Графики переходных процессов САР с дифференциатором и САР со стабилизирующим устройством при основных воздействиях приведены на рис. 2.

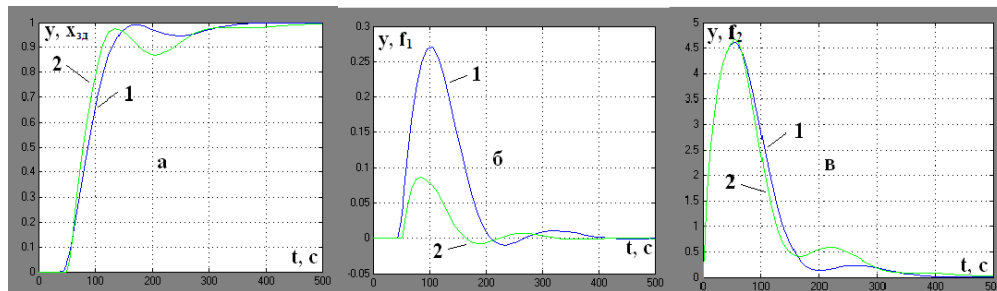


Рис. 2. Переходные процессы сравниваемых САР: а – обработка скачка задания; б – обработка внутреннего возмущения; в – обработка внешнего возмущения; 1 – САР, настроенная по методу Сибтехэнерго; 2 – САР, настроенная по методу БНТУ.

Из анализа графиков переходных процессов следует, что при обработке задания САР со стабилизирующим участком не имеет перерегулирования. При обработке внутреннего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования предлагаемой САР уменьшается почти в 2 раза. При обработке внешнего возмущения полное время регулирования сокращается на 12,5%.

Выводы:

1. Предложенный метод динамической настройки САР с промежуточной регулируемой величиной отличается повышенной точностью идентификации объекта и простотой проведения расчетов.

2. САР со стабилизирующим устройством может быть использована при модернизации регуляторов впрысков паровых котлов.

1. Стефани, Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. – М.: Энергия, 1972. – 376с.
2. Ротач, В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 344с.
3. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: УП “Технопринт”, 2003. – 135с.
4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебник для студентов специальности “Автоматизация технологических процессов и производств АЭС”, “Информационные технологии и управление в технологических системах” / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.
5. Кулаков, Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238с.
6. Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов / А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280с.
7. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192с.

TECHNOLOGY OF EVALUATING THE PROFESSIONAL COMPETENCY OF PROGRAMMER TEAMS

Prihozhy A.A.

Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

Let $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ be a set of topics (Table) Joseph Sijin proposes in work [1] to estimate the competency of tentative participants of an IT project. Let $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ be a set of programmers who have filled in a questionnaire and have indicated his proficiency level on each of the competency topic. Work [1] describes requirements to the programmer competency level on each of the topics. It introduces a metric of four predefined values $L0$, $L1$, $L2$ and $L3$, which we replace with the numerical values 0, 1/3, 2/3 and 1. As a result, a variable $PgrmLevel(p, c)$ describes the proficiency level of programmer p on competency c . Additionally, we introduce a $weight(c)$ of each competency topic $c \in C$ and estimate the weighted competency level of programmer p as:

$$PgrmWLevel(p, c) = weight(c) \times PgrmLevel(p, c) \quad (1)$$

Note that such a proficiency estimation technology extends the model proposed in [2]. We consider a subset $t = \{p_1, \dots, p_k\}$, $t \subseteq P$ of programmers as a team. The number $|t|$ of programmers in team t is the team size. To recognize workable and unworkable teams, we evaluate with (2) the team t average competency $AvrTeamComp(t, c)$ regarding topic c .

Table. Topics of the programmer competency matrix

Computer Science	Software Engineering
data structures	source code version control
algorithms	build automation
systems programming	automated testing
Programming	
problem decomposition	
systems decomposition	Experience
communication	languages with professional experience
code organization within a file	platforms with professional experience
code organization across files	years of professional experience
source tree organization	domain knowledge
code readability	
defensive coding	Knowledge
error handling	tool knowledge
IDE	languages exposed to
API	codebase knowledge
frameworks	knowledge of upcoming technologies
requirements	platform internals
scripting	books
database	blogs

$$AvrTeamComp_p(t, c) = \sum_{p \in t} PgrmLevel(p, c) / |t| \quad (2)$$

We also evaluate with (3) the best-representative team competency $BestTeamComp(t, c)$.

$$BestTeamComp(t, c) = \max_{p \in t} PgrmLevel(p, c) \quad (3)$$

Every IT project formulates requirements to the competency level of a programmer and of a team with respect to each topic of the competency table. We model the requirements with three constraints:

- $TACConstr(c)$ is a threshold value of the average competency level of a team programmer in topic c
- $TBCConstr(c)$ is a threshold value of the team best-representative competency in topic c
- $TIConstr$ is a threshold value of the integrated competency of a team.

We associate these three constraints with three team competency weighted parameters, which take value in interval $[0, 1]$:

- 1) weighted average competency over all team members and topics

$$TeamWAvrComp(t) = \sum_{c \in C} weight(c) \times AvrTeamComp(t, c) / MaxAllWComp \quad (4)$$

where $MaxAllWComp$ is the sum of weights over all competency topics.

- 2) weighted best-representative competency over all topics

$$TeamWBestComp(t) = \sum_{c \in C} weight(c) \times BestTeamComp(t, c) / MaxAllWComp \quad (5)$$

- 3) integrated competency of a team

$$TeamIntCompet(t) = \lambda \times TeamWAvrComp(t) + (1 - \lambda) \times TeamWBestComp(t) \quad (6)$$

where $0 \leq \lambda \leq 1$ describes the importance of average and best-representative team competency.

Each of the three parameters takes value 0, if inequalities as follows hold: $\exists c (AvrTeamComp(t, c) < TACConstr(c))$, $\exists c (BestTeamComp(t, c) < TBCConstr(c))$ and $TeamIntCompet(t) < TIConstr$. Zero value means that team t is unworkable in the project; nonzero value means that the team is workable.

Let us assume that we have a partition of the set P of programmers into a set $T = \{t_1, \dots, t_s\}$ of teams, and the team set cardinality is $|T|$. For each team $t \in T$ we have evaluated the competency $TeamIntCompet(t)$. We consider three ways to evaluate how perfect is the partitioning T , i.e. on the number of workable teams, all teams' competency, and average competency of a workable team in the partitioning. We maximize the value of three functions: the all teams competency

$$OverallCom_p(T) = \sum_{t \in T} TeamComp(t) \quad (7)$$

and the average competency of a team

$$AverageComp(T) = \frac{OverallComp(T)}{|T|} \quad (8)$$

and the number $|T|$ of workable teams.

The maximization of each of the functions is a hard combinatorial problem, for which no algorithm of polynomial computational complexity known. That is why we have developed a genetic algorithm, which is a good heuristic for finding an acceptable suboptimal solution [3]. In this paper, we report results obtained for a set P of 33 programmers, for all of 32 competency topics, and for given constraints on an IT project. The genetic algorithm has generated various partitioning T of set P for various value of the constraints. Figure shows the dependence of $|T|$ and $OverallComp(T)$ on $TConstr$. $OverallComp(T)$ decreases from 6.06 to 0.83, and $|T|$ decreases from 9 to 1 with increasing the value of $TConstr$ from 0.3 to 0.82. The value of $|T|$ is larger than $OverallComp(T)$ in all points, as the team competency is less than 1 for each team.

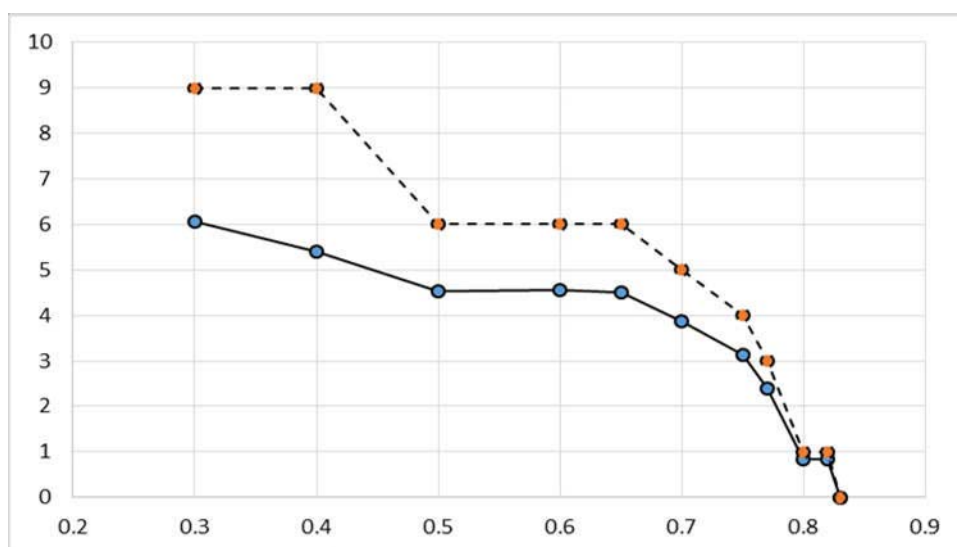


Figure – All teams competency (solid) and teams count (dash) vs. team competency constraint

References

1. Sijin, J. Perspectives on Software, Technology and Business: Programmer Competency Matrix / J. Sijin // [Electronic resource]. –Mode of access: <https://sijinjoseph.com/programmer-competency-matrix/>. – Date of access: 10.01.2020.
2. Прихожий, А.А. Метод оценки квалификации и оптимизация состава профессиональных групп программистов / А.А. Прихожий, А.М. Ждановский // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018, No. 2, с. 4-12.
3. Prihozhy, A. Genetic algorithm of optimizing the size, staff and number of professional teams of programmers / A. Prihozhy, A. Zhdanouski // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems 2019: Proceedings of International Conference. – Minsk, 2019, pp. 305–310.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Матрунчик Ю.Н., Касперович И.В., Мацкевич И.С., Остапец В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Повышающийся спрос на внедрение промышленных и коллаборативных роботов в производство требует от интеграторов разработки новых подходов к автоматизации производств. Одной из популярных задач интеграторов при работе с роботами является задача «pick&place» - поднять случайно расположенный объект на плоскости и разместить в другом месте в определённом порядке.

В рамках разработки системы с такими возможностями можно выделить следующие функциональные подсистемы:

- подсистема управления, которая предназначена для перемещения захватного устройства робота (т.н. гриппера) в пространстве;
- подсистема распознавания, которая предназначена для распознавания детали на плоскости, определения положения детали в пространстве и её классификации (например, по цветам);
- подсистема сортировки, которая предназначена для раскладки деталей (паллетой или по цветам);
- подсистема обработки данных, предназначенная для подсчёта количества и типа деталей, подающей сигнал следующей части системы (например, сигнал конвейеру для последующего перемещения загруженной паллеты или коробки).

Большинство современных промышленных роботов имеет возможность непосредственного управления с помощью API – программного интерфейса, предоставленного разработчиком программного обеспечения робота, написанного на языке программирования (чаще всего – на общем, реже – собственной разработки), поэтому для разработки программно-алгоритмического обеспечения немаловажную роль играет язык программирования – предпочтительно использовать простой, лаконичный и универсальный для всех подсистем язык программирования, в первую очередь устраняющий проблему трансляции кода из одного языка программирования в другой – например, Python.

Значительная часть систем распознавания (таких как нейронные сети) написана именно на Python, кроме этого этот язык программирования имеет возможности разработки человеко-машинного интерфейса, а наличие Python API для управления роботом у некоторых моделей промышленных и коллаборативных роботов не позволяет игнорировать его возможности. Лёгкость управления роботом через Python API позволяет использовать робота даже неквалифицированным специалистам, имеющим лишь навыки программирования в языке Python.

Таким образом, алгоритм работы робототехнической системы можно заключить в выполнении следующих шагов:

1. Задание параметров в человеко-машинном интерфейсе: скорость движения робота, размеры объектов, расстояние между деталями и, на выбор, размеры паллеты и порядок цветов и другие.

2. Перемещение робота в положение, удобном для распознавания деталей (подсистема управления).

3. Включение камеры для захвата изображения (подсистема управления).

4. Получение изображения и передача его в компьютер для последующей обработки (подсистема управления).

5. Обработка изображения для получения контуров деталей (подсистема распознавания).

6. Детектирование объектов на плоскости и получение координат центров деталей (используя библиотеку OpenCV), нахождение угла относительно рабочей области (подсистема распознавания).

7. Перемещение робота в координаты, основанные на координатах центров деталей, удобные для захвата (подсистема управления).

8. Захват деталей роботом-манипулятором (подсистема управления).

9. Перемещение детали роботом-манипулятором в позицию раскладки (подсистема управления).

10. Установка детали на плоскости согласно алгоритму паллетирования (подсистема сортировки).

11. Изменение параметров счётчиков, подсчитывающих общее количество деталей (подсистема обработки данных).

12. Возврат в позицию, удобную для распознавания деталей и последующий повтор пунктов 2-10.

13. Отображение общего количества деталей (подсистема обработки результатов) и передача сигнала следующей части системы.

1. Кинсан Фу, Рафаэль Гонсалес, К.Ли. Робототехника. –М.Мир 1989.

2. Информационные устройства робототехнических систем : учебное пособие под ред. С. Л. Зенкевича, А. С. Ющенко. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана , 2015 . – 384 с.

УДК 621.9.047.7

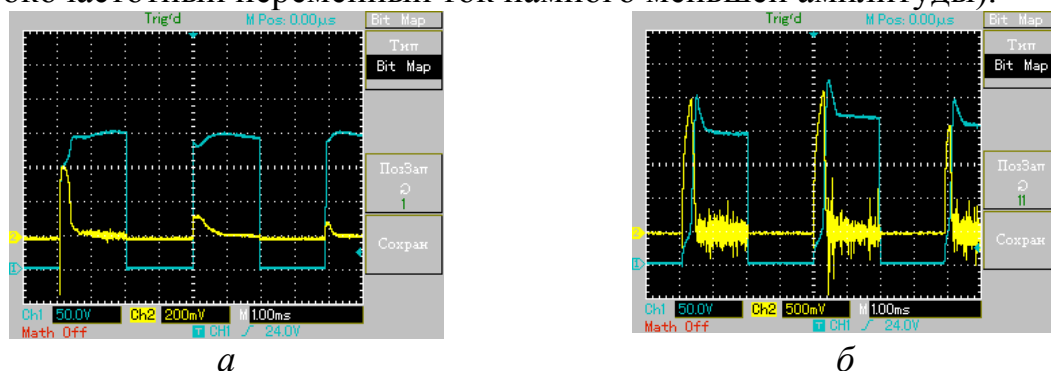
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршута А.Э., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Для снижения энергоёмкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменного полирования металлических материалов при сохранении высокой интенсивности, качества обработки и экологической безопасности разработан принципиально новый импульсный метод, совмещающий преимущества как электрохимической, так и электролитно-плазменной обработки. Метод реализуется за счет совмещения в пределах одного импульса миллисекундной длительности амплитудой более 200 В двух чередующихся стадий: электрохимической и электролитно-плазменной [1].

В работе исследовалось изменение удельного съёма в процессе обработки поверхности и плотности тока. Для обработки образцов использовались электролиты двух составов: 1. раствор сульфата аммония в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40%; 2. раствор сульфата аммония в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40% с добавлением 1% лимонной кислоты.

Импульсный процесс в электролите при достаточно высоком напряжении (рис. 1) имеет две различные стадии: электрохимическую (импульс постоянного тока), и электролитно-плазменную (высокочастотный переменный ток намного меньшей амплитуды).



а – концентрация 2%; б – концентрация 40%

Рис. 1 – Осциллограммы импульсов тока и напряжения при обработке стали AISI 316 в водном растворе сульфата аммония

С повышением концентрации электролита съём увеличивается. Этим обработка с применением управляемых импульсных режимов существенно отличается от традиционной электролитно-плазменной обработки, при которой съём практически не зависит от концентрации электролита. Как видно из зависимостей на рис. 2, съём при электролитно-плазменном полировании в импульсном режиме в три раза больше даже при малой концентрации электролита (4%), когда ещё нет режима полирования. В режиме полирования при концентрации 40% съём больше в шесть раз по сравнению с режимом традиционной электролитно-плазменной обработки.

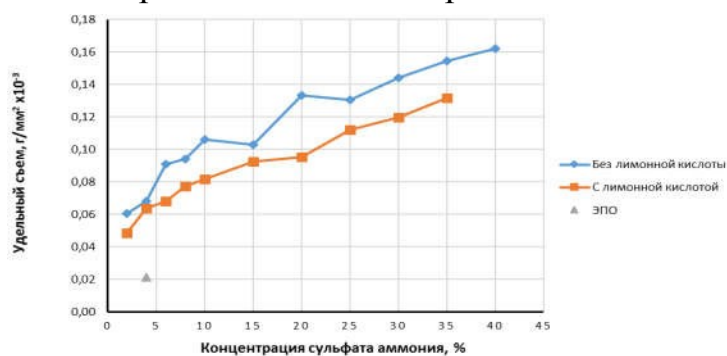


Рис. 2 – Зависимости удельного съёма с поверхности образца из нержавеющей стали AISI 316 при полировании с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

Установлено, что повышение концентрации сульфата аммония с 2 до 40 % приводит к изменению значения плотности тока обработки: для электрохимической стадии от 4–12 А/см² при 2% до 45–64 А/см² при 40 %; для электролитно-плазменной стадии от 1–3 А/см² при 2 % до 13–15 А/см² при 40 %.

Примеры изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки представлены на рис. 3.



Рис. 3 – Образцы изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

1. Технология полирования с применением комплексного электрохимического и электролитно-плазменного воздействия в

управляемых импульсных режимах / А.Ю. Королёв, В.С. Нисс, А.Э. Паршутто // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: мат. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апреля 2019 г. – Могилев: БРУ, 2019. – С. 51–52.

УДК 789.002:23

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ЛЕГКООКИСЛЯЕМЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

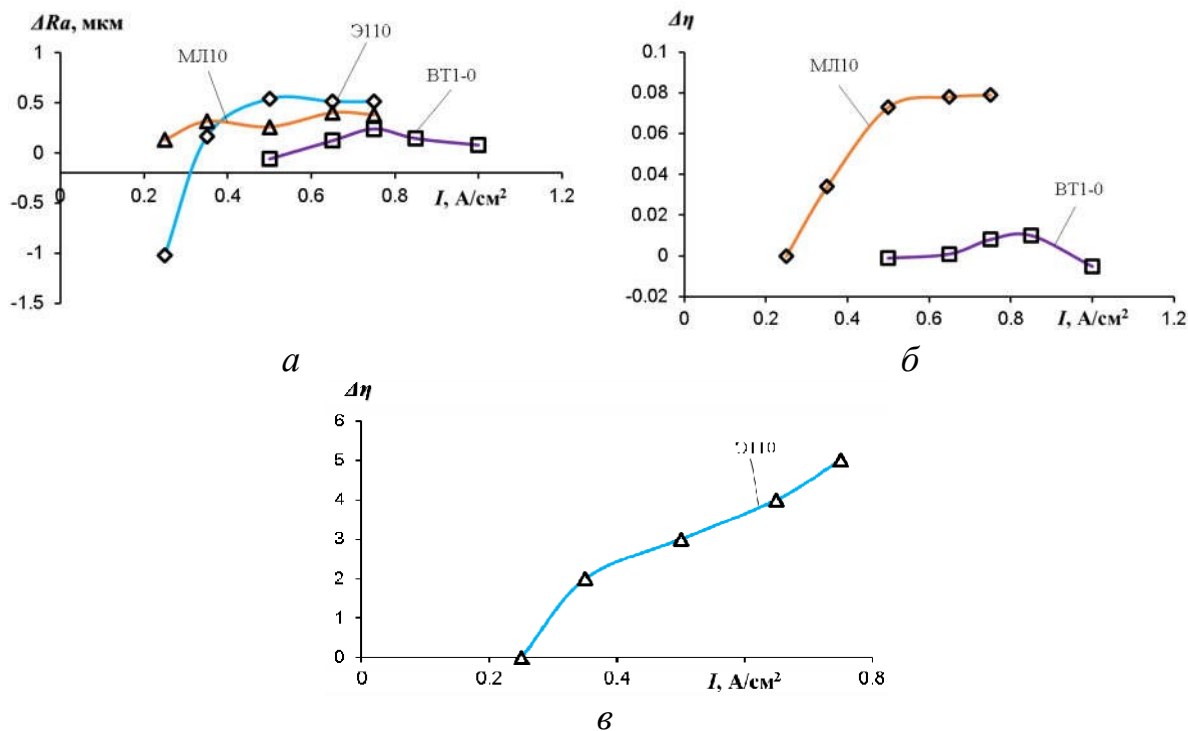
Применение импульсов микросекундной длительности (от 10 до 100 мкс) при электрохимическом полировании легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе параметрах позволило существенно повысить качество обработки поверхностей по сравнению с результатами, полученными на постоянном токе с применением традиционных кислотных электролитов, в том числе токсичных, используемых обычно для труднообрабатываемых материалов. Микросекундные импульсы прямой и обратной полярности позволили создать активные участки растворения за счет релаксации электролита в паузе между рабочими импульсами, а также за счет возможности поддержания на аноде значения положительной составляющей поляризирующего тока, где сохраняется активированное состояние поверхности, при этом не успевают развиваться диффузионные ограничения [1].

В работе приводятся результаты исследований влияния характеристик импульсов на качество поверхности в процессе импульсного электрохимического полирования легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе.

Исследование влияния амплитуды, частоты и длительности импульсов, оказывающих основное влияние на скорость анодного растворения и пассивации поверхности в процессе импульсного электрохимического полирования, проводилось при частичном погружении в электролит плоских образцов из титана ВТ1-0 с размерами 40x10x1 мм, из магниевого сплава МЛ10 с размерами 50x10x3 мм и цилиндрических образцов из циркониевого сплава Э110 с размерами $\varnothing 10 \times 10$. Площадь погружаемой части образцов составляла – 4 см².

На рис. 1 представлены зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения поверхности образцов от амплитуды анодного импульса для трёх исследуемых материалов. Для титана ВТ1-0 существенное повышение качества поверхности достигается при плотности тока 1 А/см². Для магниевого сплава МЛ10 повышение плотности тока от 0,25 до 0,75 А/см² приводит к уменьшению изменения

шероховатости поверхности более чем в два раза, однако при плотности тока $0,5 \text{ A/cm}^2$ отмечается заметное повышение коэффициента отражения поверхности. Для циркониевого сплава Э110 при повышении плотности тока с $0,25$ до $0,75 \text{ A/cm}^2$ заметна положительная тенденция к повышению коэффициента отражения поверхности. При этом максимальное снижение шероховатости обеспечивается при значениях плотности тока от $0,5$ до $0,75 \text{ A/cm}^2$.



а – изменение шероховатости Ra для ВТ1-0 и МЛ10, б – изменение коэффициента отражения для ВТ1-0 и МЛ10, в – изменение коэффициента отражения для Э110

Рис. 1 – Зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения от амплитуды анодного импульса (плотности тока)

Увеличение частоты следования импульсов для титана ВТ1-0 приводит к повышению как изменения шероховатости, так и коэффициента отражения поверхности. Для магниевого сплава МЛ10 существенное повышение изменения шероховатости поверхности отмечается только при увеличении частоты следования импульсов в диапазоне от $0,05$ до $0,5 \text{ кГц}$. При этом также улучшается коэффициент отражения поверхности. Для сплава Э110 также отмечается повышение качества поверхности при увеличении частоты следования импульсов до $0,5 \text{ кГц}$, однако при дальнейшем увеличении частоты изменение шероховатости поверхности уменьшается почти на 50% , а коэффициент отражения поверхности более чем на 70% .

1. Применение биполярных микросекундных импульсов для электрохимического полирования легкоокисляемых металлов и сплавов / А.Э. Паршутто, А.Ю. Королёв, А.С. Будницкий // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: мат. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апреля 2019 г. – Могилев: БРУ, 2019 – С. 59–60.
УДК 621.9.047.7:621.923

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Паршутто А.Э., Королёв А.Ю., Янович В.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Для решения проблемы качественного электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода нами разработан способ, который заключается в применении импульсного технологического тока и использовании в качестве электролитов безводных или маловодных растворов на основе органических растворителей. Электропроводность таких электролитов обычно на 1–2 порядка ниже электропроводности водных растворов [1]. По результатам исследований разработанного способа установлены электролиты и режимы электрохимического полирования сталей машиностроительного назначения с повышенным содержанием углерода таких как 45, 65Г и У10А, обеспечивающие высокие показатели качества поверхности (низкое значение шероховатости обработанной поверхности и высокая отражательная способность).

В работе приводятся результаты моделирования распределения плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным содержанием углерода в электролите на основе органических растворителей.

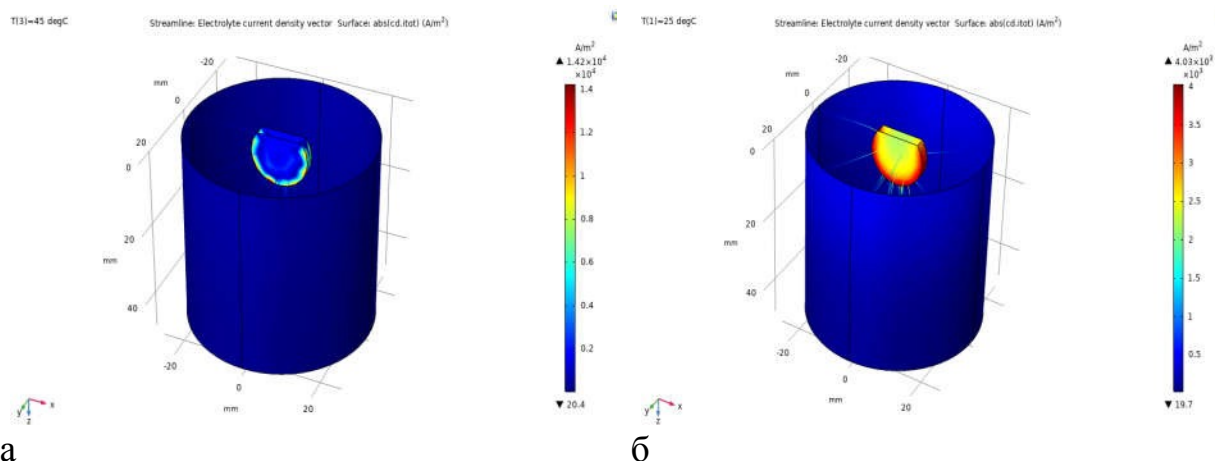
В данном исследовании моделируются первичное и вторичное распределение плотности тока в электрохимической ячейке, разработанной для исследования влияния геометрических особенностей анода и характеристик применяемых электролитов на распределение плотности тока. Для создания модели использована программа Comsol 5.4.

Кинетика анода определяется с помощью экспериментальных данных поляризации, зависящие как от потенциала электрода, так и от температуры. Средняя плотность тока 3000 А/м^2 используется для анода. Предполагается, что кинетика катода (выделение водорода) очень быстрая, так что можно использовать условия первичного тока. Потенциал катода установлен на 0 В.

Задача решается с помощью стационарного исследования с вспомогательной разверткой, используемой для температур 25 °С, 35 °С и

45 °С. Для моделирования принимались образцы из стали У10А в виде дисков диаметром 16 мм и толщиной 3 мм. Образцы погружались в электролит частично. Площадь погружаемой части образцов составляла 5 см². Для поддержания плотности тока 3000 А/м² рабочее напряжение регулировалось в пределах 0–15 В.

На основании определенной конфигурации строится расчетная сетка конечных элементов для всех частей модели. Полученные результаты моделирования для первичного распределения плотности тока представлены на рис. 1.



а – первичное распределение; б – вторичное распределение

Рис. 1 – Результаты моделирования для первичного и вторичного распределения плотности тока

По результатам выполненного моделирования установлено, что при обработке в электролите состоящем из 20 % (масс.) раствора хлорной кислоты в растворителе на основе ледяной уксусной кислоты при температуре 25–45 °С и описанном расположении анода и катода, возникает неравномерное распределение плотности тока в электролите у поверхности анода и существенная ее зависимость от температуры электролита. Разница плотности тока между кромкой образца и его средней частью составляет до 0,2 А/см². При более высокой температуре электролита происходит преимущественное увеличение плотности тока на кромке погруженной части анода до 0,44 А/см² при 45 °С по сравнению с 0,40 А/см² при 25 °С. При 25 °С также наблюдается более равномерное распределение плотности тока по поверхности детали. Сравнение результатов моделирования первичного и вторичного распределения плотности тока показывают, что рассчитанная первичная плотность тока 0,145 А/см² не соответствует экспериментальным данным.

1. Применение электролитов на основе органических растворителей для электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода / В.С. Нисс, Ю.Г. Алексеев, В.А. Янович // Материалы,

оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25-26 апреля 2019 г. / редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: БРУ, 2019. – С. 144–145.

УДК 004.415.2.031.43

АУДИТ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Гоцкая Н.А., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Система водоснабжения населенного пункта должна обеспечивать водозабор, очистку и подачу воды потребителям в необходимых количествах и требуемого качества с соблюдением требований надежности.

Система водоснабжения – это комплекс инженерных сооружений, включающий в себя водозаборы, с помощью которых осуществляют захват воды из природных источников, насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения и потребления, очистные сооружения для улучшения качества воды, водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования воды к местам потребления и ее распределения, башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей.

Состав сооружений и структура каждой конкретной системы водоснабжения зависят от характера водоисточника и качества воды, рельефа местности и удаленности водоисточников от потребителей, их числа, объема водопотребления, размера города и других факторов [1].

Насосные станции (НС) являются ключевым элементом в системе водоснабжения, поэтому очень важно контролировать их работу и грамотно ей управлять, учитывая затраты на электроэнергию и обеспечивая бесперебойную подачу воды потребителям. Следовательно, вопросу энергоэффективности насосного оборудования станций уделяется все большее внимание.

Обычно КПД НС составляет 25-30%, а величина в 50-55% считается приемлемой. Учитывая неизбежные потери потребляемой мощности в 3-8%, связанные с применением систем регулирования (частотно регулируемый привод), а также особенностями конструкции запорно-регулирующей арматуры, можно утверждать, что потенциал энергосбережения зависит от подбора насосного оборудования и выбора алгоритмов управления, учитывающих особенности сети водоснабжения.

Аудит НС предназначен для получения в режиме реального времени данных, поступающих с удаленных датчиков телеметрии оборудования аудита, установленного на станциях, и последующего их анализа для

выявления потенциала энергосбережения как отдельных станций, так и водозабора в целом [2].

Аудит режимов работы НС позволяет:

1. Оценить эффективность работы насосного оборудования, установленного на станции.
2. Определить качество поддержания давления в зоне влияния НС.
3. Выявить потенциал повышения энергоэффективности НС.
4. Подобрать насосные агрегаты для модернизации НС, учитывая текущие режимы работы.

Основной принцип — аудит производится без вмешательства в режимы работы обследуемой НС и её оборудования [3].

Схема аудита показана на рисунке 1 и состоит в следующем: на НС устанавливается измерительное и коммуникационное оборудование, которое производит замер основных технологических параметров (входного и выходного давления на станции, напряжения, частоты, тока, мощности исследуемого насосного агрегата, частоты на выходе преобразователя частоты и пр.) и передает их на облачный сервер. На сервере установлено специальное программное обеспечение, которое осуществляет анализ собранных данных для дальнейшего формирования отчета по аудиту.

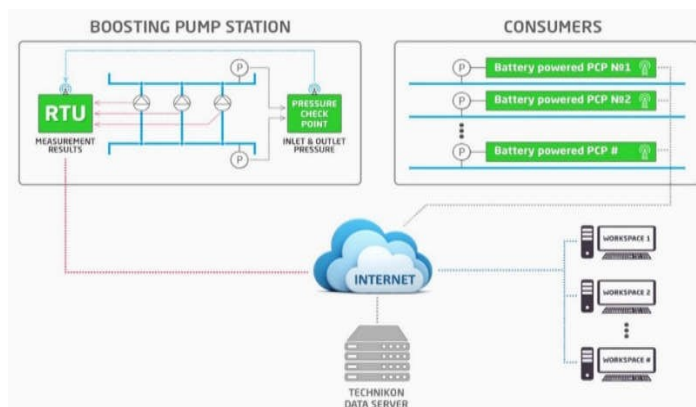


Рисунок 1 - Схема проведения аудита насосной станции

В отчете содержатся результаты анализа эффективности работы НС, а также конкретные рекомендации по улучшению режимов работы станции.

Проведение аудитов насосных станций позволяет получить реальную картину режимов работы НС, сравнить их с номинальными значениями и выработать стратегию управления НС для достижения максимально возможного эффекта энергосбережения. Это может быть, как внесение изменений в график включения насосных агрегатов, так и полная их замена с применением автоматизированных систем управления НС.

Литература

1. Эгильский И.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды – Л.: Стройиздат, 1988 – 216с.

2. ГОСТ 33969-2016 Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем. – Москва: Стандартинформ, 2017 – 45с.

3. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов – М.: Энергия, 1972 – 240с.
УДК 621.9.048.7

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ СЫВОРОТКИ

Дулуб Е.Д., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь.

В настоящее время огромное внимание уделяется более эффективному и рациональному использованию продуктов переработки молока. Одним из таких продуктов является сыворотка. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, производство молока в Беларуси в январе-июле 2019 года составило 4 млн 326,9 тыс. тонн, 94,7 % процента которого было отправлено на переработку [1]. Поэтому в молочной промышленности Беларуси наиболее важно использование и внедрение передовых технологий переработки продукции и оптимизация уже существующих технических решений.

Усовершенствование технологий переработки обеспечивает снижение себестоимости продукции, уменьшение потерь, повышение производительности труда, улучшение условий труда, повышение качества целевых продуктов.

Однако многие предприятия, производящие молочную продукцию, зная о положительных сторонах переработки сыворотки, не могут перерабатывать этот продукт у себя на предприятии. Этому могут послужить следующие причины: малое количество творожной сыворотки, что делает экономически нецелесообразным установку линии по её переработке, отсутствие специализированного технологического оборудования и недостаток площадей для его размещения на предприятии.

Используя технические разработки и технологические решения, предложенные в данной автоматизированной системе, предприятие сможет расширить линейку ассортимента творожной продукции с минимальными затратами и с максимальным использованием уже существующего технологического оборудования.

Стоит понимать, какой бы современной ни была технология производства творога, в сыворотку всегда переходит определённое количество мелких частиц творога, которые называются «казеиновой пылью». И чем больше казеиновой пыли содержится в сыворотке, тем больше предприятие теряет готового продукта на выходе.

Автоматизируемая система мембранной очистки сыворотки позволяет максимально извлечь казеиновую пыль из творожной сыворотки, что даёт возможность производить новые виды творожных продуктов не только на основе идеально очищенной сыворотки, но и на основе извлечённой из неё казеиновой пыли.

Структурная технологическая схема системы переработки представлена на рисунке 1.

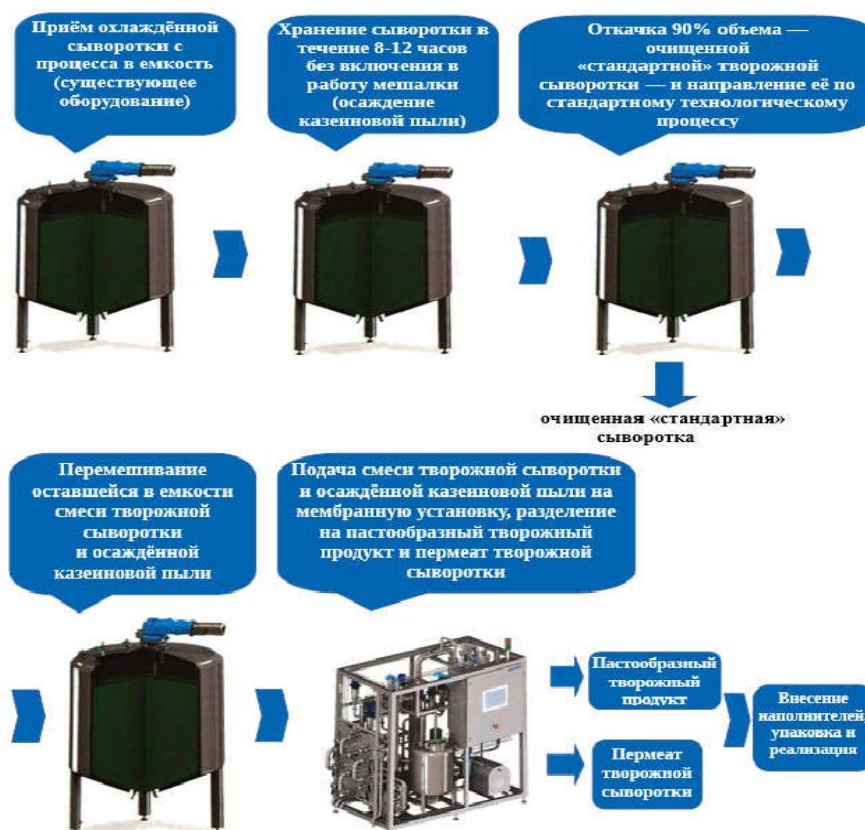


Рисунок 1 – Структурная технологическая схема системы переработки

После изучения технологических особенностей и требований системы разработан алгоритм управления работой оборудования. Алгоритм соответствует ряду общих требований, таких как дискретность, детерминированность, понятность.

Создание точного, простого и рационального алгоритма работы обеспечивает высокую производительность системы и уменьшает вероятность аварий на производстве.

Разработанный алгоритм позволяет оптимизировать и объединить работу уже существующего оборудования на предприятии с работой внедряемой установки повторной переработки сыворотки. Он также даёт возможность задания оператором концентрации сухих веществ прямо во время работы установки в зависимости от нужд производства.

Установка мембранной очистки сыворотки содержит панель оператора, для которой разработан - человеко-машинный интерфейс – важный компонент любой системы автоматизации.

На сегодняшний день на создание человеко-машинного интерфейса оказывают влияние следующие тенденции:

1. укрупнение производственных систем;
2. увеличение объёмов обрабатываемой информации;
3. повышение уровня автоматизации;
4. квалификация операторов.

Системы управления с каждым днём могут контролировать все большее количество оборудования, которое тоже постоянно растёт. В связи с чем и растут требования к промышленным системам. Однако численность обслуживающего персонала снижается, что увеличивает зону ответственности и нагрузку на операторов, в то же время снижая эффективность их работы. Чтобы снизить вероятность человеческих ошибок все больше производственных функций автоматизируется с помощью систем управления и стандартизации производства. Однако и это влечет за собой нежелательные последствия. Операторы становятся чрезмерно зависимы от системы и способны лишь устранять неполадки, а не предотвращать их. С учетом этого необходимо создать человеко-машинный интерфейс таким образом, чтобы оператор мог эффективно управлять системой, изучая как можно меньше информационных элементов.

Наилучший вариант – представление системы в виде четырёхуровневой иерархической модели. Окна в этой структуре эффективно ориентируют пользователя в отношении восприятия, действий или детальной информации – в зависимости от уровня наблюдаемого окна [2].

Благодаря тенденциям ситуационного восприятия операторы становятся уже не просто рабочими – они становятся специалистами по обработке информации, которые оперативно принимают важные для всего производства решения.

Разработанный алгоритм, учитывающий особенности и требования производственного процесса, а также внедрение человеко-машинного интерфейса для панели оператора, отвечающего современным тенденциям развития ситуационного восприятия, обеспечивают создание эффективной автоматизированной системы с возможностью дальнейшей её оптимизации.

Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/> – Дата доступа: 03.11.2019
2. Ситуационное восприятие, [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.wonderware.ru/pdf/Wonderware_WhitePaper_TheNextLeapInHMI_SituationalAwareness_ru_0314.pdf - Дата доступа: 01.11.2019

3. Мембранная установка для извлечения белка из творожной сыворотки, [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.dalmio.by - Дата доступа: 05.10.2019

4. Переработка сыворотки, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki/> – Дата доступа: 15.10.2019
УДК 669.295

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ПРИМЕСЯМИ С ПОМОЩЬЮ ДИФФУЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Анисович А.Г.¹, Асанов Д.Ж.², Бахадырханов М.К., Маркевич М.И.¹, Щербакова Е.Н.³

1) ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»,
Минск, Республика Беларусь;

2) Нукусский государственный педагогический институт,
Нукус, Республика Узбекистан;

3) Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Как следствие эффективной работы ученых в космической отрасли в нашу жизнь пришли новые технологии, которые ранее были только космическими. В настоящее время делается попытка перевести на солнечную тягу транспорт [1]. В качестве рабочего элемента батарей используется, как правило, кремний, легированный определенными добавками.

Цель работы - исследование морфологии поверхности и элементного состава кремния, легированного примесями с помощью диффузионной технологии.

Процесс изготовления образцов заключался в нанесении серы и тонкого слоя чистого никеля толщиной 1 мкм на поверхность кремния. Все образцы подвергались диффузионному термическому отжигу при температуре 1200°C и времени 1 час. Глубина р-п перехода составляет $L=30\pm 3$ мкм [2].

Исследование морфологии поверхности производилось с использованием растрового электронного микроскопа MIRA3. Также изображения микроструктуры образцов были получены на металлографическом комплексе на базе оптического инвертированного микроскопа МИ-1 при 200х.

В состав комплекса входят: персональный компьютер, металлографический микроскоп; видеокамера с адаптером; программа обработки изображений, которая предназначена для фиксирования, редактирования и анализа обработанных изображений [3].

Исследования элементного состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа (Oxford Ultim 65, 100

Azte Advance), установленной на сканирующем электронном микроскопе MIRA - 3. Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от 6,4 кВ до 30 кВ.

Из рисунка 1 следует, что поверхность образца существенно неоднородна. Хорошо видны зоны плавления различного размера от долей микрона до десятков микрон.

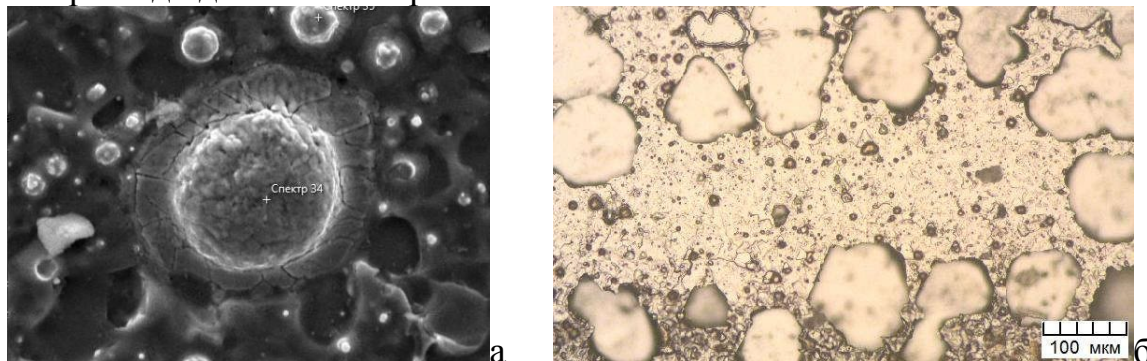


Рисунок 1 - Морфология поверхности образца с использованием растровой (а) и оптической (б) микроскопии.

Элементный анализ проводился с различных участков образца (рисунок 2). На всех участках поверхности образца отсутствует сера (спектры №34, №35, №36, №37).

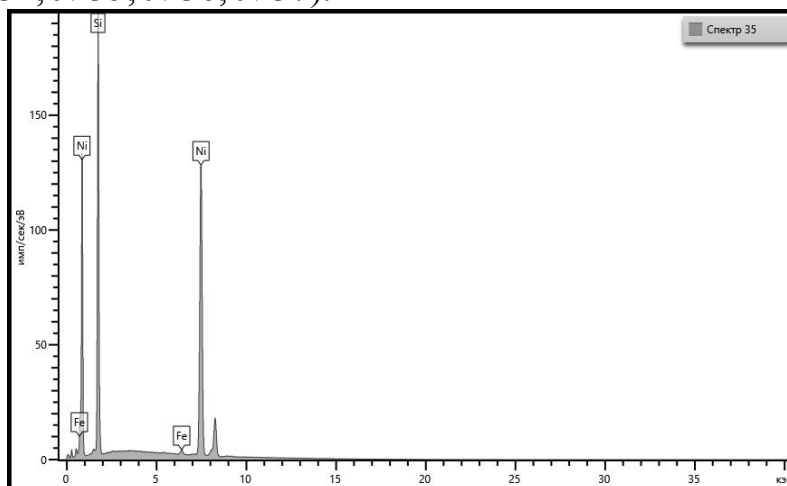


Рис. 2 - Элементный анализ (спектр № 35)

Скорее всего, высокая температура отжига стала основной причиной отсутствия серы в образце. Содержание никеля на различных участках поверхности образца также неоднородно. Так в спектре № 36 содержание никеля 0,21 ат.%, а в спектре № 34 никеля примерно 49%. Существенная неоднородность по содержанию никеля фиксируется и в остальных частях поверхности образца.

Таким образом, комплексное исследование морфологии поверхности и элементного состава образца выявило неоднородность элементного состава и существование зон плавления.

1.Бокач П.В. Космические технологии в быту//Электроника инфо – 2016. – №12. – С.20-23.

2.Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Кенжаев З.Т., Ковешников С.В. Изучение влияния легирования никелем кремниевых солнечных элементов с глубоким р-п переходом // Письма в ЖТФ –2019. –Т.45. –Вып.19. – С.3-6.

3.Анисович А.Г., Румянцева И.Н. Практика металлографического исследования материалов. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 221 с.
УДК 62.33

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Нитиевский С.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время наблюдается активное развитие технологий рельсового транспорта, что обусловлено преимуществами, которыми обладает рельсовый транспорт по сравнению с другими видами транспорта. В этой связи наблюдается потребность в модернизации существующего рельсового транспорта и проектировании нового, отвечающего современным требованиям, в частности, в аспектах автоматизированности транспортных процессов. При этом, для того, чтобы сделать вывод о целесообразности автоматизации процесса транспортного движения, а также для правильного построения системы управления тяговым электроприводом, необходимо проанализировать основные режимы работы систем тягового электропривода на рельсовом транспорте.

Наиболее часто применяемым, и в то же время наименее автоматизированным режимом работы тягового привода является режим регулирования силы тяги. При работе в данном режиме машинист (оператор) непосредственно задает величину силы тяги, что для тягового электропривода означает режим прямого управления моментом. Данный режим наиболее подходит для транспортных средств, работающих преимущественно в пуско-тормозных режимах, например, поезда метрополитена и трамваи. Именно задание непосредственно тяговых и тормозных усилий позволяет обеспечить наиболее качественный процесс разгона и торможения по условиям сцепления колес с рельсами, и позволяет избежать неконтрольного увеличения частоты вращения колес (буксование) либо их заклинивания при торможении (юз). Необходимо также отметить, что именно управление силой тяги позволяет достаточно полно использовать возможности по рекуперации энергии при торможении и осуществлять остановку транспортного средства с минимальным использованием механического тормоза. Однако следует учитывать, что при задании силы тяги скорость движения и линейное ускорение будут определяться величиной динамической силы $F_{дин}$, которая непостоянна по причине того, что величины сил сопротивления движению

изменяются с изменением скорости [1]. По этим причинам данный режим работы наиболее тяжело поддается автоматизации.

Для транспортных средств с циклом работы, включающим участки длительного движения с относительно постоянной скоростью, помимо режима управления силой тяги также используется режим задания скорости движения. Например, для поездов метрополитена и трамваев характерен цикл движения «разгон - тяга - свободный выбег – торможение», при котором время движения с постоянной скоростью достаточно мало и отсутствует необходимость стабилизации скорости на каком-то определенном уровне. Однако, если рассматривать локомотивную тягу с составом пассажирских или грузовых вагонов, то для такого транспорта режим работы с постоянной скоростью является достаточно распространенным ввиду зачастую больших расстояний между остановочными пунктами. При этом, из-за того, что такие составы имеют достаточно большую массу, и, как следствие, инерционность, режим управления скоростью может использоваться также и при пуске и торможении, формируя динамические показатели с использованием задатчиков интенсивности [2]. Однако в большинстве случаев включение режима управления скоростью целесообразно в момент, когда скорость достигает значений скорости длительного режима, т.е. разгон осуществляется в режиме задания силы тяги, а при достижении определенной скорости включается режим стабилизации скорости.

Несомненным достоинством этого режима является возможность работы в составе системы автоматизированного управления движением. Система, имея информацию о местонахождении состава и скоростных ограничениях, действующих на определенных участках пути, исходя из пропускной способности дороги и расписания движения может автоматически выбирать требуемую скорость движения состава и управлять его движением без участия машиниста. К недостаткам можно отнести сложность формирования процессов разгона и торможения.

Сравнительно редко применяется, однако имеет место режим позиционирования транспортного средства. Данный режим может использоваться в беспилотных транспортных системах. В качестве примера можно привести поезда метрополитена, курсирующие на линиях со станциями, имеющими защитные экраны. В этом случае предъявляются повышенные требования к точности остановки транспортного средства.

Данный режим является достаточно сложным для реализации, поскольку требует достаточно точной информации о параметрах пути и габаритных размерах самого состава, а также усложняет формирование требуемых динамических показателей.

Таким образом, тщательный анализ особенностей управления тяговыми электроприводами в различных режимах работы является важным шагом на пути к построению автоматизированных систем управления транспортным движением.

1. Тулупов, В. Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. - Москва : Транспорт, 1976. - 368 с.

2. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов. Ю.А. Бахвалов, Г.А. Бузало, А.А. Зарифьян, П.Ю. Петров и др ; под ред. А.А. Зарифьяна. - М.: Маршрут, 2006. - 374 с
УДК 621.314

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для электроприводов в составе опасных производственных объектов целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства «живучести». Аварийный выход из строя таких электроприводов может привести к нарушению безопасной эксплуатации оборудования с риском для персонала с большими экономическими потерями.

Свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов определяется термином «живучесть». Для вышеперечисленных областей применения асинхронного двигателя (АД) задача обеспечения отказоустойчивости со свойством живучести становится определяющей [1].

В промышленности нашли широкое применение электроприводы с преобразователями (ПЧ) и асинхронными двигателями (АД). Однако в некоторых аварийных ситуациях при срыве работы ПЧ требуется немедленное отключение его от питающей сети. Это снижает технологическую надежность электропривода и делает невозможным его применение в тех механизмах и установках, которые не допускают останова во время технологического процесса. В качестве примера можно привести электроприводы в металлургической промышленности, применяемые при разливке стали и т.д.

Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол θ . Каждая обмотка питается от своего ПЧ, причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол γ . При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД.

В кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью отсутствуют пятая и седьмая гармоники, что является одним из важных

преимуществ перед обычной трехфазной обмоткой. Устранение наиболее вредных для электрических машин пятой и седьмой гармоник уменьшает дополнительные потери, шум и вибрацию, устраняет провалы в кривой электромагнитного момента, увеличивает пусковой момент АД.

Для обеспечения отказоустойчивости электропривода возможно применение АД с двумя трехфазными статорными обмотками без смещения в расточке статора относительно друг друга.

Целью следующего изобретения является упрощение устройства и повышение технологической надежности электропривода путем обеспечения возможности работы двигателя на двух статорных обмотках с аварийным отключением одной выходной фазы преобразователя. Цель достигается тем, что данное устройство защиты электропривода переменного тока снабжено электродвигателем переменного тока с m -фазной обмоткой статора, двумя преобразователями частоты, и содержит датчики тока и компараторы по числу выходных фаз преобразователей, блок задания тока уставки, шесть элементов 2И и шесть элементов ЗАПРЕТ[2]. Из технической литературы известно, что в случае применения в электроприводе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре возможна длительная работа двигателя с одной отключенной фазой, то есть в отличие от обычных двигателей обрыв фазы статора не требует немедленного отключения для двигателя с двумя самостоятельными обмотками [3].

Целью другого изобретения является упрощение устройства и повышение технологической надежности электропривода путем обеспечения возможности работы двигателя на одной трехфазной статорной обмотке при аварийном отключении одного из преобразователей частоты, питающего другую трехфазную статорную обмотку. Цель достигается тем, что данное устройство защиты электропривода переменного тока снабжено электродвигателем переменного тока с m -фазной обмоткой статора, двумя преобразователями частоты, и содержит датчики тока и компараторы по числу выходных фаз преобразователей, блок задания тока уставки, шесть элементов 2И, два элемента ЗИЛИ-НЕ[4]. Как следует из экспериментальных данных, двигатель может длительно развивать на валу нагрузку $M_c=0,45$ Мн при работе на одной обмотке. При работе двигателя на одной трехфазной обмотке двигатель может в течение 39с нести номинальную нагрузку на валу и ток статора при этом составляет 2,2 номинального тока одной параллельной ветви [3].

1. Однокопылов Г.И. Отказоустойчивый многофазный электропривод с несинусоидальными токами. - Известия Томского политехнического университета, 2013, т.322, №4.

2. Васильев С.В. Устройство защиты электропривода переменного тока. Описание изобретения к патенту РФ № 2012972.

3. Церазов А.Л., Кузьмичев А.И. Исследование режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре. – В сб. «Электроснабжение и автоматизация промышленных предприятий. – Чебоксары, 1978, вып. 7»

4. Васильев С.В. Устройство защиты электропривода переменного тока. Описание изобретения к патенту РФ № 2012973.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Кулаков А.Т., Матрунчик Ю.Н., Захаревич А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для решения задач прогнозирования электропотребления в электроэнергетике широко применяются различные программные комплексы, основанные на статистических и нейросетевых методах прогнозирования временных рядов. Существует большое количество программных комплексов, позволяющих составлять прогнозные модели на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). Одним из таких программных продуктов является MATLAB. В состав MATLAB входит модуль Neural Network Toolbox для создания и обучения ИНС.

Для составления модели прогнозирования на базе ИНС был выбран программный продукт MATLAB. Выбор обусловлен наличием опыта работы в MATLAB и его доступностью.

Необходимым условием адекватной работы ИНС является наличие как можно более глубокой ретроспективной базы данных о почасовом электропотреблении. Минимальным требованием к размерам ретроспективной базы является наличие данных об электропотреблении за 3 года.

Особенностью работы ИНС, созданных в среде MATLAB, является то, что матрица входных значений для обучения сети должна иметь не менее 100 значений в одной строке. В связи с этим была проведена адаптация обучающих данных к требованиям программы. Задача создания ИНС для краткосрочного прогнозирования могла быть решена только при условии разбиения часовых значений электропотребления на получасовые, т.к. при использовании часовых значений, прогноз мог быть составлен минимум для четырех суток, что не всегда является удобным и необходимым. Поэтому была использована база данных автоматизированной информационно измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ), которая содержала все необходимые данные за период в 4 года в формате, необходимом для решения поставленной задачи.

Пробные испытания ИНС с различной архитектурой и информацией, полученной из руководства пользователя MATLAB Neural Network Toolbox, выяснилось, что для наиболее точной работы нейронной сети необходимо все имеющиеся данные о получасовом электропотреблении привести к виду : $P=[0;1]$, где P – значения получасового электропотребления.

Для обучения ИНС были выбран алгоритм, который наиболее часто используется при прогнозировании временных рядов [4].

Алгоритм основанный на регуляризации Байеса. Суть данного алгоритма заключается в том, что изменение весов синаптических функций прекращается при достижении наименьшей среднеквадратической ошибки. Обучение по данному алгоритму занимает больше времени по сравнению с алгоритмом Левенберга-Марквардта, но при этом достигается минимальная среднеквадратическая ошибка (порядка $2,02E-05$). Также при прогнозировании временных рядов, ошибка на тестовой выборке становится меньше, чем на обучающей.

Для прогнозирования была выбрана нейронная сеть NARX. Ее общий вид представлен на рис. 1. При такой архитектуре сети необходимо задавать как входные значения функции, так и целевые. Данные на входе, проходя через сеть, обрабатываются в соответствии с весовыми коэффициентами, а затем снова попадают на вход сети, тем самым заменяя собой обратное распространение ошибки. Это дает возможность применения полученных после первичного обучения весовых коэффициентов при повторном обучении сети, что в свою очередь повышает точность ее работы. Также при такой архитектуре ошибка в тестовой выборке ниже, чем в обучающей, что говорит о правильном обучении сети.

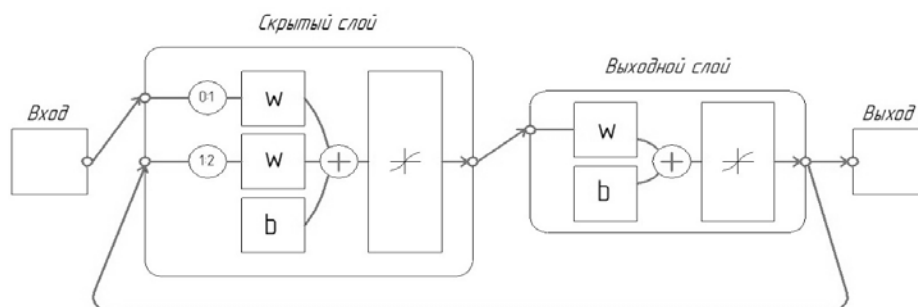


Рис. 1. – Схема ИНС нелинейной авторегрессии с внешними входами (NARX)

1.Галушка В.В., Фатхи В.А. Формирование обучающей выборки при использовании искусственных нейронных сетей в задачах поиска ошибок баз данных // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1597/.

2.Карпова Т. Базы данных: модели, разработка, реализация. СПб.: Питер, 2001. С. 286-289.

3.Hudson Beale M., Hagan M., Demuth H. Neural Network Toolbox User's Guide. Natick: MathWorks, 2014. p. 22.

4.Боровиков В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. 2 изд. М.: Горячая линия - Телеком, 2008. С. 114.

5.Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2 изд. М.: Вильямс, 2006. С. 89-102.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА АК12 В ПРОЦЕССЕ ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ МЕТОДОМ

Белоцерковский М.А., Комаров А.И., Курилёнок А.А., Орда Д.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты исследования структуры и триботехнических характеристик покрытия из силумина АК12, полученного центробежной индукционной наплавкой на стальную основу с формированием подслоя, обеспечивающего высокий уровень адгезионных свойств покрытия и основы. В качестве материала наплавки был выбран алюминий-кремниевый сплав АК12 (ГОСТ 1583-93), который имеет повышенный уровень литейных и механических свойств, а также обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью при температурах до 200 °С. Высокое содержание кремния (10–13 мас.%) в сплаве обеспечивает хорошую жидкотекучесть и литейные свойства (дает малую усадку и практически не образует трещин), позволяя понижать температуру литья, а также обеспечивая повышенные теплостойкость и износостойкость [1]. Для обеспечения адгезии покрытия со стальной основой в состав шихты вводился оловяно-свинцовистый сплав, обеспечивающий формирование переходного слоя. Количество материала выбиралось из расчета получения переходного слоя толщиной 0,5–1 мм, а покрытия из силумина 5–6 мм.

В качестве материала переходного слоя использовались два сплава Sn-Pb системы с различной долей компонентов: Sn61Pb39 и Pb55Sn45. Выбор материала подслоя был обусловлен более низкой температурой плавления и более высокой плотностью чем у сплава АК12, что позволяет получить заготовку за один технологический прием [2]. При этом свинец и олово при включении в структуру сплава способствуют повышению триботехнических свойств.

Для получения антифрикционного покрытия на внутренней поверхности стальной цилиндрической заготовки использовали метод центробежной индукционной наплавки.

При использовании в качестве материала подслоя сплав Sn61Pb39 структура наплавляемого сплава АК12 имеет эвтектическое строение с включениями железосодержащих соединений. Согласно результатам металлографического анализа, объемная доля включений системы Fe-Si-Al в структуре возрастает в 2 раза, что обусловлено растворением поверхности втулки в процессе наплавки. При этом частицы имеют вытянутую форму длиной до 200 мкм и шириной до 50 мкм (рисунок 1а).

Использование в качестве материала подслоя сплава с большим содержанием свинца – Pb55Sn45, не приводит к изменению структуры сплава АК12, которая представляет сочетание эвтектики с игольчатыми частицами кремния и железосодержащих частиц (рисунок 1б). Следует отме-

туть, что по мере приближения к стальной основе, доля железосодержащих включений возрастает. Согласно данным рентгеноспектрального анализа, стальной основы железосодержащие включения окружены игольчатыми железосодержащими включениями, между которыми находятся частицы свинцово-оловянистого сплава (рисунок 1в).

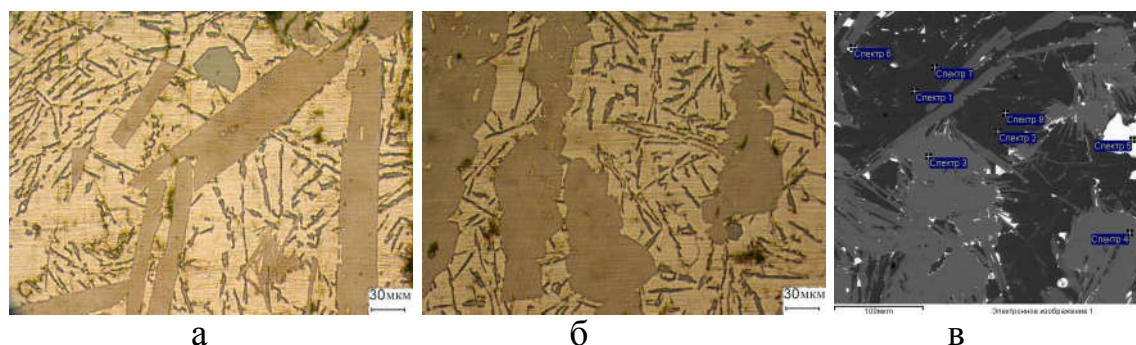


Рисунок 1 – Структура наплавленного покрытия из сплава АК12 в середине слоя (а – подслой Sn61Pb39, б – подслой Pb55Sn45) и у границы со стальной втулкой (в – подслой Sn61Pb39)

Таблица 1 – Химический состав структурных фаз покрытия АК12 на границе со стальной основой

№ спектра	C	Al	Si	Fe	Sn	Pb
Спектр 1-2, 6, 8	7,80-13,00	80,67-90,94	1,26-6,82			
Спектр 3-4	7,71-10,18	49,98-51,52	8,92-9,34	30,93-31,43		
Спектр 5	8,65	1,86			17,26	72,22
Спектр 7	8,36	53,48	38,16			

Согласно результатам исследований, использование оловянно-свинцовых сплавов, в качестве материала переходного слоя, обеспечивает адгезию покрытия из силумина АК12 со стальной основой. При этом, следует отметить тенденцию насыщения расплава железом, что приводит к формированию большого количества включений системы Fe-Si-Al в структуре покрытия. Коэффициент трения полученных покрытий в диапазоне давлений 10-20 МПа составляет 0,031–0,037. Тогда как, при увеличении давления до 30 МПа, коэффициент трения составляет 0,010–0,013.

1. Белоцерковский М.А., Комаров А.И., Сосновский И.А., Орда Д.В., Куриленок А.А., Искандарова Д.О. Технологические особенности получения биметаллических втулок с антифрикционным покрытием из сплава АК12 – Актуальные вопросы машиноведения. Сборник научных трудов, выпуск 8, 2019. - с.320-324.
2. Способ нанесения двухслойного покрытия на внутреннюю поверхность детали: заявка № а 20190358 / Белоцерковский М.А., Комаров А.И. Сосновский И.А., Курилёнок А.А., Искандарова Д.О. – Оpubл. 12.12 2019.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ РАССТОЯНИЙ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ И РАЗМЕРОВ ЗОН ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ РАБОТЕ ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА НА РЕКЕ СОЖ В РАЙОНЕ ГОРОДА СЛАВГОРОДА

Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.²,
Рабченя В.С.², Пастушек О.А.², Усарев Д.А.²

1) ОАО «Белсудопроект», 246050, г. Гомель, Республика Беларусь.

2) Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь.

В Республике Беларусь на больших и средних водотоках (реках и каналах) постоянно проводятся дноуглубительные работы с целью организации бесперебойного движения водного транспорта и работы по добыче сыпучих строительных материалов (песка, гравия и т.д.). Вышеуказанные работы связаны с постоянной эксплуатацией землесосных снарядов (земснарядов). При их работе происходит интенсивное взвешивание частиц грунта, слагающих русло водотока, которые переносятся потоком воды и оказывают вредное воздействие на объекты животного мира и (или) среду их обитания.

Размер компенсационных выплат зависит (в том числе) от размеров зон вредного воздействия землесосного снаряда, для определения которых необходимо в первую очередь рассчитать расстояния, на которых будут выпадать на дно взвешенные частицы от места расположения земснаряда.

С этой целью на кафедре ГЭСВТГ БНТУ была разработана методика расчета расстояний выпадения на дно взвешенных частиц на основании графоаналитического решения уравнений турбулентного массопереноса и диффузии [1] при работе землесосного снаряда на реке Сож в районе г. Славгорода Республики Беларусь (см. рис. 1).



Рис. 1. Расстояния оседания взвешенных частиц при $h = 1,5$ м, $n = 0,05$
и

$v = 0,3$ м/с на р. Сож в районе г. Славгорода

Размеры зон вредного воздействия при работе землесосного снаряда были рассчитаны и построены в ОАО «Белсудопроект» в соответствии с методикой определения зон вредного воздействия, представленной в

«Положении о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении» (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 7.02.2008 г. №168).

На рисунках 2-3 приведены схемы зон вредного воздействия на р. Сож в районе г. Славгорода (перекаты Никольский и Скиток).

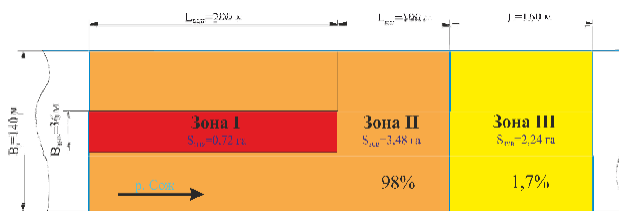


Рис. 2. Зоны вредного воздействия на перекате «Никольский – 3» прорезь № 1

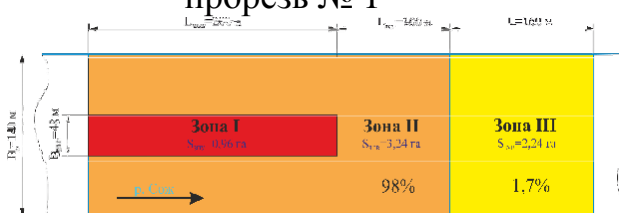


Рис. 3. Зоны вредного воздействия на перекате «Скиток – 1» прорезь № 1

Сравнительный анализ полученных данных, проведенный в процессе создания методики расчета и определения зон вредного воздействия при работе земснаряда, показал, что

- расстояние выпадения частиц на дно водотока и размеры зон вредного воздействия в первую очередь зависят от размеров частиц (их гидравлической крупности) и гидродинамических параметров водотока;
- основная масса частиц взвесенесущего потока, оказывающая вредное воздействие на объекты животного мира и среду их обитания, выпадает на дно водотока в непосредственной близости от земснаряда (не далее 500 м).

Результаты выполненных расчетов были внедрены в учебном процессе БНТУ, а также на предприятиях водного транспорта Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь: ОАО «Белсудопроект» и ПО «Белводпуть», а также на участках рек Березина, Сож, Днепр и Неман.

1. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учеб. пособие / А.Д. Гиргидов – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2007. – 545 с.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНИЧЕСКОЙ НАСАДКИ В ВОДОМЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДАХ (МБТ)

Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Ленкевич С.А.²,
Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Рапинчук Д.В.²

1) ОАО «Белсудопроект», г. Гомель, Республика Беларусь;

2) Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

При эксплуатации мелкосидящих судов, например, буксирных теплоходов проекта 570 и 730, на реках и каналах Республики Беларусь возникают затруднительные ситуации при прохождении этими судами мелководных и извилистых участков рек. В этом случае возможно появление двух основных отрицательных эффектов при эксплуатации судна:

- посадка судна на дно реки на участке мелководья;
- достаточно резкое падение скорости движения на извилистых участках рек из-за отсутствия надлежащей тяги водометного двигателя.

В первом случае для устранения отрицательного эффекта можно использовать днищевую воздушную каверну. Во втором случае, для увеличения тяги водометного двигателя, предлагается использовать конически сходящуюся насадку (конфузор) 2, которую необходимо установить между водометной трубой с гребным винтом 1 и рулевым устройством 3 МБТ (рис. 1).

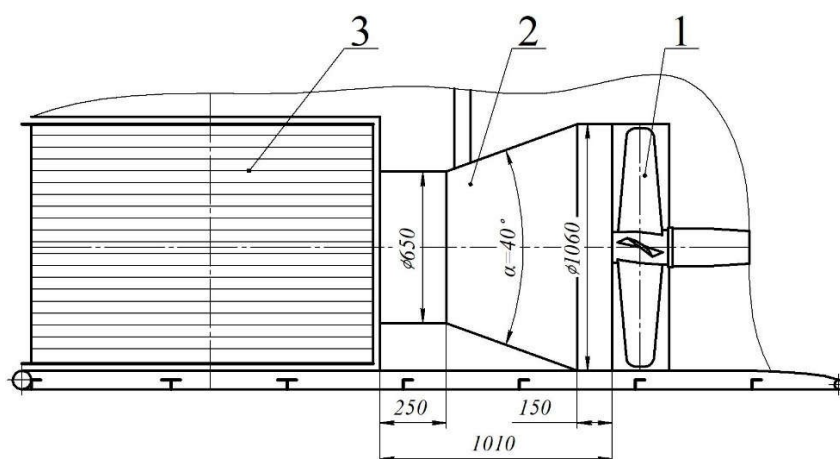


Рис. 1 – Струеформирующий насадок между водометной трубой и рулем МБТ

При движении судна вода попадает на рабочее колесо (гребной винт), где ускоряется лопастями рабочего колеса.

Далее поток воды поступает в спрямляющий аппарат, где изменяет направление так, чтобы уменьшить потери энергии, вызванные закруткой

потока на гребном винте. Затем поток воды поступает в сужающийся сопло конически сходящийся насадок, который позволяет в 1,1–1,2 раза увеличить тягу водометного движителя.

Сужающееся сопло конфузора для увеличения тяги, может быть выполнено (на основании теоретических и гидравлических исследований, проведенных на кафедре ГЭСВТГ БНТУ), с углом конусности в пределах 39–43° (среднее значение 40–41°) [1].

Поток воды, проходя через такое сужающее сопло, плавно сжимается, увеличивая свою скорость более чем в 2 раза. При увеличении скорости движения потока воды попутно увеличивается количество движения и возникает импульс реактивной силы, направленный в сторону движения судна, который далее увеличивает тягу водометного двигателя.

При использовании струеформирующего конфузора на гребном винте буксира проекта 570 (или 730), входной диаметр предлагаемого конического насадка (конфузора) выполняется диаметром 1060 мм, выходной диаметр – 650 мм.

Тогда используя уравнение неразрывности и сплошности потока и теорему изменения количества движения (или импульса силы) можно оценить порядок величины реактивной силы и степень увеличения тяги судна.

$$Q_1 = Q_2 = Q = const \text{ или } v_1 S_1 = v_2 S_2 \\ m v_1 - m v_2 = R \Delta t$$

где v_1 и v_2 – средние скорости в начале и в конце конфузора;
 S_1 и S_2 – площади поперечного сечения в начале и в конце конфузора;

Q_1 и Q_2 – объемный расход в конфузоре, равный $Q = const$;
 m – масса воды, проходящей через гребной винт и конфузор;
 $R \Delta t$ – импульс реактивной силы.

Решение этих уравнений показало, что использования конически сужающегося насадка (конфузора), позволяет теоретически увеличить тягу водометного двигателя приблизительно на 60–70 %.

Эксперимент, проведенный в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ, показал, что при использовании сопла с углом конусности $\alpha = 40\text{--}41^\circ$, тяга водометного двигателя примерно увеличивается на 10–20% из-за механических, гидравлических и тепловых потерь при работе водометного двигателя.

1. Качанов, И.В. Расчет оптимального угла конусности, используемого для реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии / Качанов И.В., Шаталов И.М., Жук А.Н., Веремеюк В.В., Филиппчик А.В. // Наука и техника, Т.18, №3. – 2019, С. 216–222.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 3D-МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДОВ (МБТ) В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ключников В.А.², Ленкевич С.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Рапинчук Д.В.²

1) ОАО «Белсудопроект», г. Гомель, Республика Беларусь;

2) Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь.

При эксплуатации речных судов, например, буксирных теплоходов (МБТ) проекта 570 (или 730), на мелководных и извилистых участках рек возникают сложности с прохождением судами этих участков. На этих участках увеличивается сила сопротивления движению МБТ; падает тяга водометного двигателя; происходит присасывание судна к дну водотока.

Одной из составляющих силы сопротивления является сила трения. Уменьшить сопротивление трения можно за счет уменьшения смоченной поверхности корпуса судна, либо понижением вязкости воды, омывающей эту поверхность. Одним из путей уменьшения смоченной поверхности является создание воздушной каверны в днищевой части судна (рис. 1). Снижение вязкости воды в пристеночном слое можно получить за счет создания пузырьковой смазки, путем ввода плотной пелены пузырьков под гладкое днище судна через специальные каналы (рис. 2).



Рис. 1. Конструкция без скега (трубчато-перфорированная подача воздуха)



Рис. 2. Конструкция со скегами (блочно-пакетная подача воздуха)

Для оценки величины силы сопротивления движению и подъемной силы при движении МБТ проекта 570 (или 730) в гидравлической лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ были проведены исследования 3D-модели корпуса МБТ. В процессе проведения исследований выяснялся вопрос влияния параметров подачи воздуха в днищевую каверну на величину силы сопротивления движения судна и величину подъемной силы.

Исследования проводилась при следующих конструктивных особенностях 3D-модели корпуса МБТ: без скега (рис. 1); со скегами переменной высоты: 0,5 см, 1 см (рис. 2).

Установка скег препятствовала перетеканию нагнетаемого воздуха, в днищевую часть 3D-модели через боковые части корпуса. Подача воздуха в днищевую часть модели производилась двумя способами:

- при помощи трубчато-перфорированной конструкции (рис. 1);
- при помощи блочно-пакетной конструкции (рис. 2).

Исследования проводились при скоростях потока $V = 0,26$ м/с и $V = 0,53$ м/с. Основные результаты исследований представлены на рисунках 3–4.

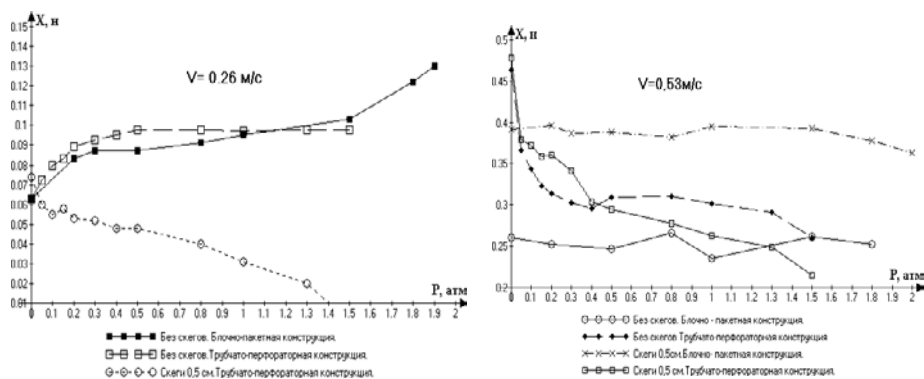


Рис. 3 – Зависимость горизонтальной силы сопротивления X_g от давления воздуха и схемы его подачи

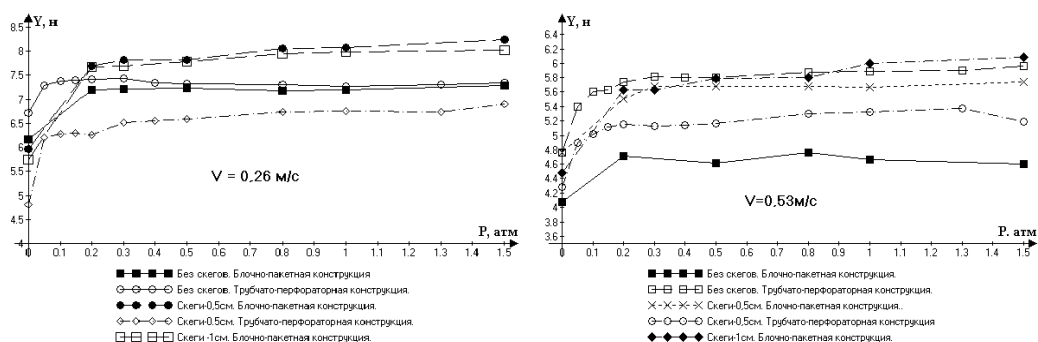


Рис. 4 – Зависимость вертикальной подъемной силы Y_v от давления воздуха и схемы его подачи

На основании анализа полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлен положительный эффект от подачи воздуха в днищевую часть модели. Снижение силы сопротивления доходило до 57 %, а увеличение подъемной силы до 36 %.
2. Наибольший эффект проявляется для конструкции со скегами.
3. Для распределения воздуха в днищевой части 3D-модели судна для создания каверны наиболее эффективна трубчатая конструкция.
4. Увеличение подъемной силы, исключая эффект присоса судна к дну водотока, проявляется при различных конструкциях днища судна (со скегами и без скег) и разных скоростях потока.
5. Оптимальное давление подачи воздуха $p = 0,02–0,04$ МПа. При чем, дальнейшее увеличение давления на рост подъемной силы практически не влияло, а приводило к росту силы сопротивления.

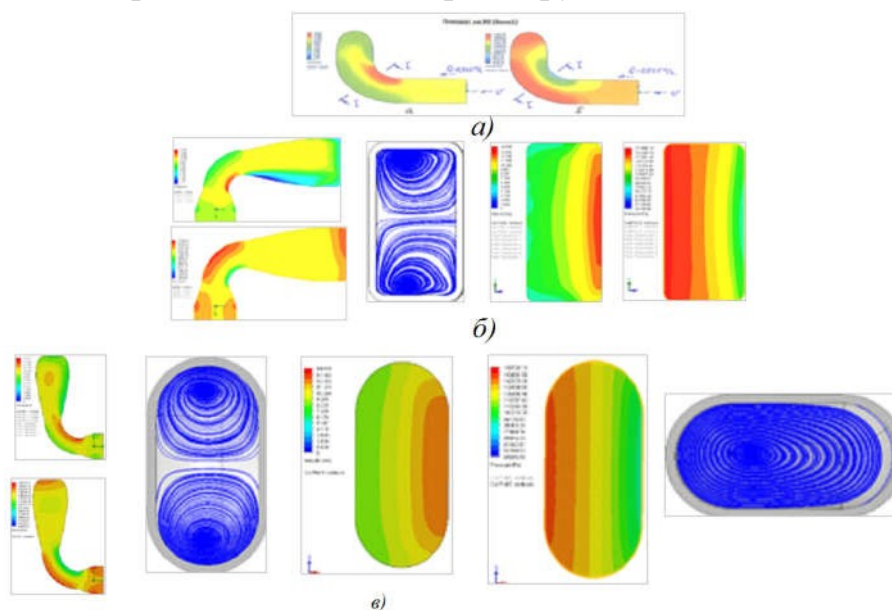
КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ПОВОРОТНОМ УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА

**Качанов И.В., Кособуцкий А.А., Шаталов И.М., Щербакова М.К.,
Хвилько К.В.**

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В системах промышленного и гражданского водоснабжения (общего и специального) используется в основном трубопроводная подача воды. В свою очередь водопроводы систем водоснабжения содержат большое количество поворотов труб (плавные и резкие), которые создают значительные по величине потери напора (энергии) при движении воды.

Физическая сущность этих потерь напора заключается в образовании вихревых областей потока у внутренней и внешней стенок изогнутой трубы и появления так называемого «парного вихря» (рис. 1). Появление этого вихря обуславливается наличием пограничного слоя и соответственно – ядра потока с максимальными скоростями. Эффект «парного вихря» может существенно (в 1,5–2 раза) увеличить гидравлическое сопротивление на повороте трубы.



a – круглая форма поперечного сечения, *б* – прямоугольная форма поперечного сечения, *в* – овальная форма поперечного сечения

Рис. 1 – Диаграммы распределения скоростей и давлений проточной части ДЛС различной формы поперечного сечения

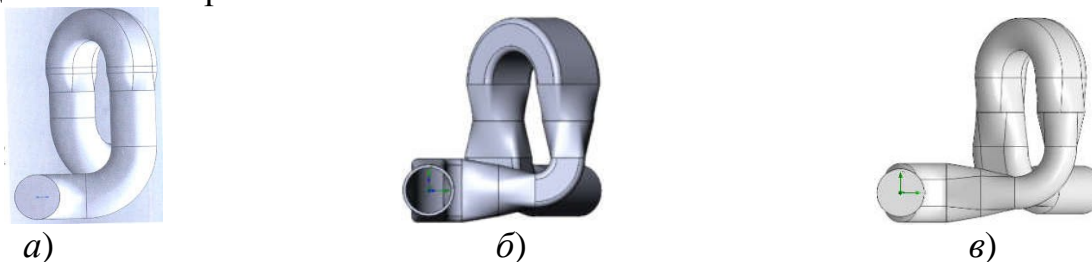
Для проверки и подтверждения выше названных предположений были проведены теоретические и компьютерные исследования в прикладном программном пакете «SolidWorks» движения воды в плавных поворотах на угол 90° дальнобойных лафетных стволов (ДЛС), применяемых в системах специального водоснабжения.

Для определения оптимальных форм и размеров плавных поворотов труб ДЛС компьютерное моделирование проводилось для круглой, прямоугольной и овальной форм поперечного сечения (рис. 2).

Для компьютерного моделирования использовалась обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса [1, 2]

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \cdot \nabla^2 \cdot V_i \quad (1)$$

Некоторые результаты моделирования и гидродинамический расчеты представлены на рис. 2.



а, б, в – круглая, прямоугольная и овальная формы соответственно

Рис. 2 – Компьютерные модели проточной части дальнобойного пожарного ствола с различной формой поперечного сечения

В результате проведенного компьютерного моделирования можно сделать вывод, что структура потока и сопротивление изогнутых трубопроводов определяется тремя явлениями: образованием вихревой области у внутренней стенки поворота, образованием такой же области у внешней стенки и возникновением «парного вихря» в поперечном сечении канала. Основную роль при этом играет вихреобразование у внутренней стенки. Оно в основном определяет сопротивление изогнутой трубы и деформацию скоростного поля на участке за поворотом трубы.

Величина коэффициента сопротивления изогнутых труб и картина потока в них изменяются как под влиянием факторов, определяющих степень турбулентности потока (числа Re , относительной шероховатости $\bar{\Delta}$, условий входа и др.), так и формы трубы (угла поворота δ , относительного радиуса закругления $\frac{r}{d}$, относительной вытянутости поперечного сечения $\frac{h}{d}$ и др.).

Теоретическое и компьютерное моделирование показало, что влияние «парного вихря» на гидравлическое сопротивление на плавных поворотах труб можно свести к минимуму, изменяя форму поперечного сечения трубы. Причем наиболее оптимальной формой является овальная форма поперечного сечения, в которой «парный вихрь» практически исчезает.

1. Альтшуль, А.Д., Гидравлика и аэродинамика / Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. – М.: Стройиздат, 1987. – 414с.

ГИДРОДИНАМИКА ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ ВНУТРИ СТВОЛА ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ (СПИ)

Дмитриченко А.С.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Шаталов И.М.²,
Щербакова М.К.², Капуза М.А.², Рабченя В.С.²

- 1) УО «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
- 2) Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь

В настоящее время в практике пожаротушения промышленных установок большее внимание уделяется повышению эффективности тушения водой за счет уменьшения подаваемого удельного расхода огнетушащей жидкости. Это достигается использованием установок импульсного пожаротушения (УИП) в состав которых входит ствол пожаротушения импульсный (СПИ).

СПИ состоит из газовой (воздушной) и жидкостной (водяной) камеры, соединенных быстродействующим клапаном. При открытии клапана происходит вытеснение рабочим газом огнетушащей жидкости из СПИ в окружающее пространство. Основными характеристиками, влияющими на режим истечения жидкости и процесс формирования распыленной струи являются: давление в газовой камере ствола, скорость подачи распыливающего сжатого газа, количество жидкости в жидкостной камере, диаметр отверстия насадка d_n с распылителем и геометрические размеры самого ствола (т.е. диаметр ствола d_p , длины газовой l_g и жидкостной l_j камер).

Геометрическая модель ствола УИП представлена на рис. 1.

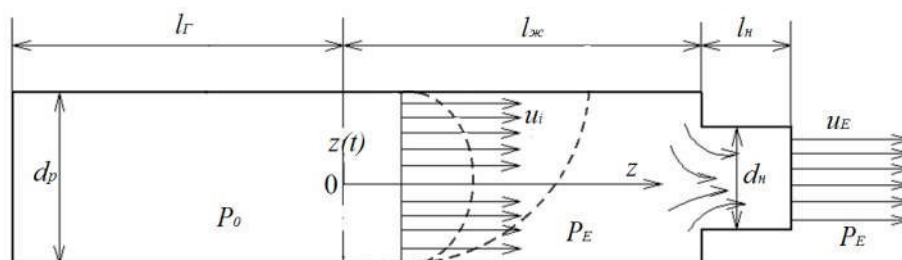


Рис. 1 – Геометрическая модель СПИ

С целью определения оптимальных параметров СПИ были проведены компьютерные исследования движения огнетушащей жидкости внутри СПИ в современном пакете вычислительной гидрогазодинамики ANSYS CFX.

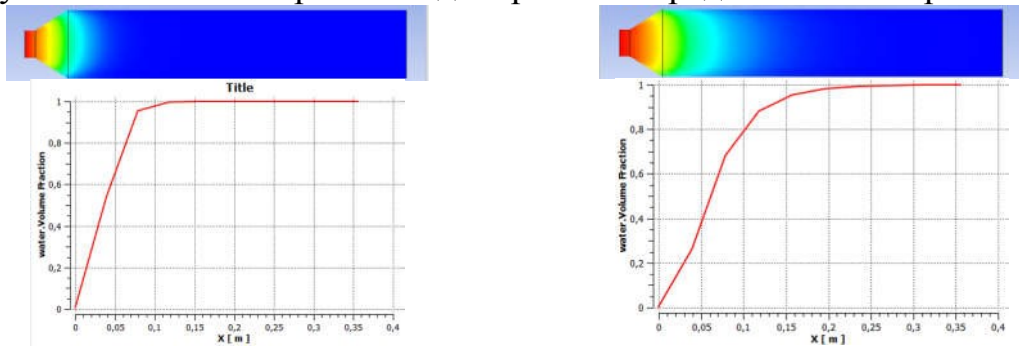
Гидродинамика огнетушащей жидкости внутри СПИ моделировалась с использованием двух уравнений: уравнения импульса и уравнения неразрывности с учетом инерционных потерь давления. Систему этих

уравнений для двухфазного потока жидкости можно записать следующим образом

$$\begin{cases} \frac{\partial(\alpha\rho_\alpha\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\alpha\rho_\alpha\vec{v}\otimes\vec{v}) = -\alpha\nabla p + \alpha\nabla t - R\vec{v} \\ \frac{\partial(\beta\rho_\beta\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\beta\rho_\beta\vec{v}\otimes\vec{v}) = -\beta\nabla p + \beta\nabla t - R\vec{v} \end{cases} \quad (1)$$

Моделирование проводилось с различными соотношениями $\frac{d_H}{d_p}$, применяемых в практике пожаротушения. Скорость подачи распыливающего сжатого газа варьировалась в пределах 5–50 м/с; 50–100 м/с; 100–200 м/с и выше.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис.2–4.



Для $V_B < 50$ м/с, $t = 0,02$ с.

$V_B > 50$ м/с, $t = 0,005$ с.

Рис. 2. – График изменения соотношения воздух-вода в потоке газожидкостном потоке при скоростях подачи распыливающего сжатого газа < 50 м/с и > 50 м/с

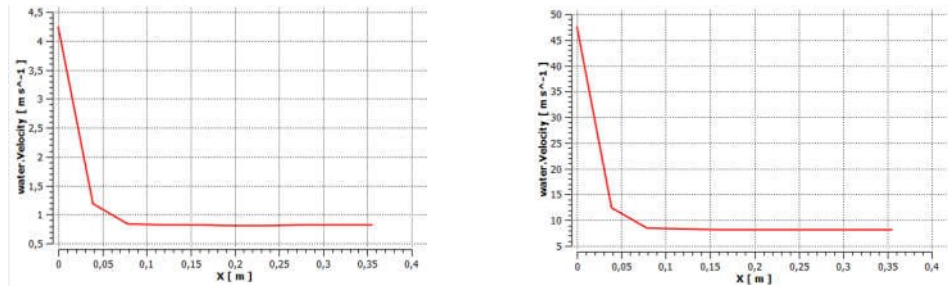


Рис. 3. – График изменения осевой скорости перемещения границы раздела фаз «газ-жидкость» при скоростях подачи распыливающего сжатого газа < 50 м/с и > 50 м/с

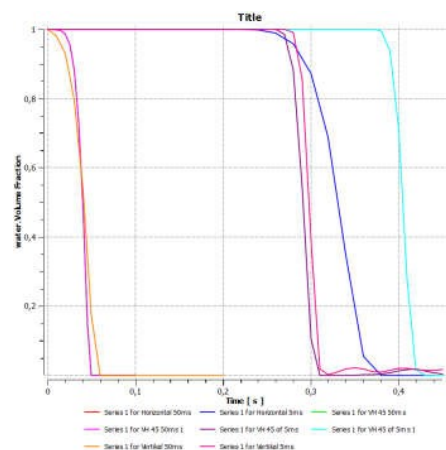


Рис. 4. – График изменения во времени соотношения воздух-вода на выходе из ствола УИП при различных положениях оси ствола УИП в пространстве (+90°, +45°, 0°, -45°) для скорости подачи распыливающего сжатого газа < 5 м/с и > 50 м/с

Проведенное моделирование позволило сделать следующие выводы:

1. В результате проведенного компьютерного моделирования установлено, что при скоростях течения распыливающего сжатого газа до 50 м/с граница раздела фаз (газ-жидкость) имеет форму параболы, а при скоростях – 50–300 м/с – форму овала, вытягивающегося в симметричную параболу и в ярко выраженный клин.

2. Проведенное компьютерное моделирование позволило установить режимы течения и диспергирования огнетушащей жидкости.

При соотношениях $\frac{d_n}{d_p} > 0,80 \div 0,85$ наблюдался импульсный характер

течения огнетушащей жидкости с волнообразным распадом струи

жидкости. При $\frac{d_n}{d_p} \leq 0,85 \div 0,5$ движение огнетушащей жидкости

приобретало элементы квазистационарного течения с турбулентно-

пульсационным распылением. При $\frac{d_n}{d_p} < 0,5$ движение жидкости

становилось кавитационно-инерционным и распыление жидкости происходило в плоскости отверстия.

В заключении следует отметить, что установленные режимы течения огнетушащей жидкости позволили выбрать оптимальные конструктивные и гидродинамические параметры СПИ для тушения пожаров различной сложности.

ГИДРОДИНАМИКА ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СТВОЛА ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ (СПИ)

Дмитриченко А.С.¹, Качанов И.В.², Кособуцкий А.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.², Капуза М.А.², Рабченя В.С.²

- 1) УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь
- 2) Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время отсутствуют научно обоснованные методики определения быстродействия и интенсивной подачи огнетушащих веществ при использовании СПИ УИП в пожаротушении на промышленных объектах. С этой целью было проведено компьютерное моделирование формирования и движения распыленной огнетушащей жидкости на выходе из ствола УИП.

Компьютерное моделирование проводилось в программном комплексе «ANSYS CFX» на модели ствола УИП, геометрические размеры которого соответствовали реальным размерам, используемым при пожаротушении. При численном моделировании этого процесса использовалась математическая модель массопереноса двухфазного потока в виде системы уравнений распыливания жидкости

$$\begin{cases} -grad p + \mu \nabla \omega = \rho \frac{D\omega}{dt}; div \omega = 0; \\ -grad p' = \rho' \frac{D\omega'}{dt}; div \omega' = 0; \\ \left(\frac{\partial \omega'}{\partial x^i} + \frac{\partial \omega'}{\partial x^k} \right)_{гр} = -\rho' (v_i v_k') ; \\ p' - 2\mu' \left(\frac{\partial \omega'}{\partial x^k} \right)_{гр} = p' - \rho' (v_k'') + \sigma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_s} \right); \\ \omega'_{гр} = \omega''_{гр} \end{cases} \quad (1)$$

и уравнения динамики пузырька Релея-Плессета

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{2}{3} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho R} = \frac{P - P_0}{\rho} \quad (2)$$

Режимы распада струи были ограничены критериями Вебера:

$$We' = 16,6 \left(\frac{\mu_{ж}^2}{\rho_{ж} d_0 \sigma_{ж}} \right)^{0,3} \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_r} \right)^{1,05} \quad (3)$$

$$We' = 266 \left(\frac{\mu_{ж}^2}{\rho_{ж} d_0 \sigma_{ж}} \right)^{0,133} \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_r} \right)^{0,8} \quad (4)$$

В процессе моделирования изменялась скорость подачи распыливающего сжатого газа в пределах от 5 до 1000 м/с.

Основные результаты моделирования представлены на рисунках 1–3.

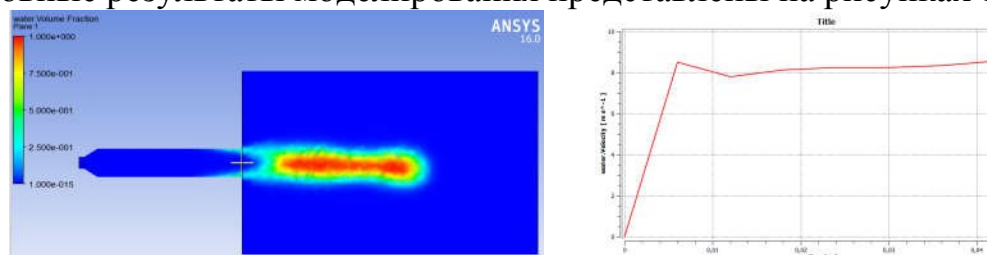


Рис. 1 – Изменение формы и скорости движения огнетушащей струи на выходе из жидкостной камеры СПИ при скорости подачи распыливающего сжатого газа 50 м/с

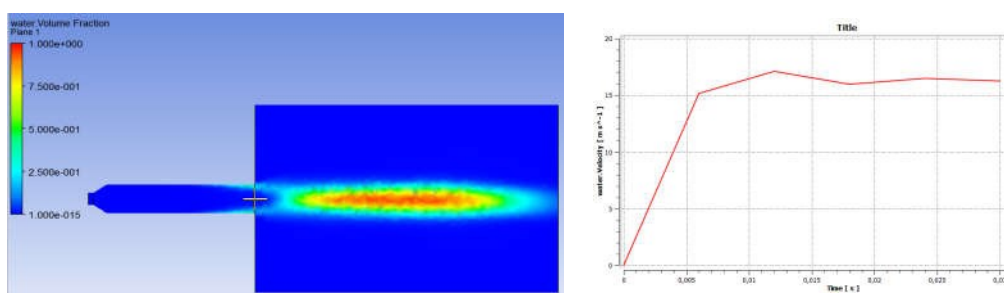


Рис. 2. – Изменение формы и скорости движения огнетушащей струи на выходе из жидкостной камеры СПИ при скорости подачи распыливающего сжатого газа 100 м/с

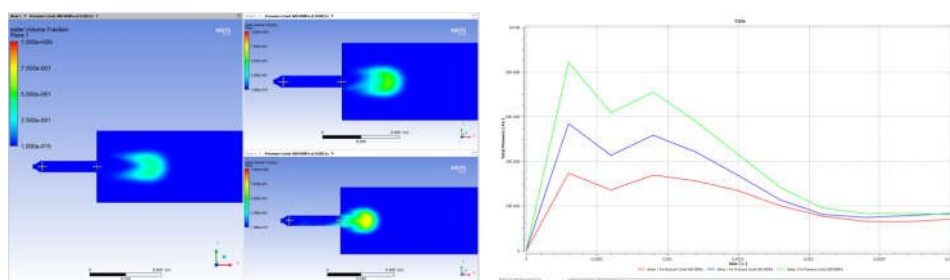


Рис. 3. – Изменение формы и скорости движения огнетушащей жидкости на выходе из СПИ при скорости подачи распыливающего газа > 100 м/с

Компьютерное моделирование позволило распад вытекающей из СПИ струи огнетушащей жидкости условно разделить на три вида: осесимметричный волновой распад струи (рис. 1); турбулентно-пульсационный распад струи (рис. 2); кавитационно-инерционный распад струи (рис. 3).

Анализ полученных результатов после компьютерного моделирования показал, что осесимметричное волновое распыление происходит при скоростях распыливающего сжатого газа порядка до 100 м/с с появлением капель жидкости со средним диаметром 250–750 мкм; турбулентно-пульсационное – 100–200 м/с с появлением капель жидкости со средним диаметром капель от 100 до 500 мкм, а кавитационно-инерционное – свыше 200 м/с, при этом наблюдается тонкодисперсный (10–100 мкм) распад двухфазного потока жидкости в виде облака водяной «пыли» в плоскости отверстия.

Найденные путем компьютерного моделирования гидродинамические характеристики распада и распыления огнетушащей жидкости позволяют найти оптимальные количественные рабочие параметры СПИ УИП для тушения пожаров различной категории сложности.

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОБАЛЬТ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ ДЛЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Гайдук Ю.С.¹, Усенко А.Е.¹, Паньков В.В.¹, Шевцова К.А.², Коробко Е.В.²

1) Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

2) Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова Национальной Академии Наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Методом распылительной сушки с последующей термообработкой (740 °С) синтезированы порошкообразные кобальт-цинковые наноферриты $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ [1]. Методами магнитного анализа, рентгенофазового анализа, просвечивающей (ПЭМ), сканирующей (СЭМ) электронной микроскопии, ИК-спектроскопии исследованы структурные и микроструктурные особенности. Показано, например, что порошкообразный материал состава $\text{Co}_{0,65}\text{Zn}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$ обладает коэрцитивной силой $H_c(10\text{K}) = 10,9 \text{ kOe}$, $H_c(300 \text{ K}) = 0,4 \text{ kOe}$ и приведенной остаточной намагниченностью $M_r/M_s(10\text{K}) = 0,75$, $M_r/M_s(300\text{K}) = 0,24$. Установлено, что предложенная методика синтеза позволяет получать наночастицы ферритов с повышенной степенью кристалличности и размерами $\sim 60 \text{ нм}$.

Согласно данным СЭМ, до отмывки не участвующей в синтезе инертной матрицы NaCl продукт реакции представляет собой сферы (размер 1,5 – 3,5 мкм), иногда неправильной формы, полые внутри и состоящие из твердофазных частиц включающих продукт и NaCl. Сферы являются результатом дегидратации капель, образующихся в результате распыления суспензии прекурсора (для состава $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$) в водном растворе NaCl. Вода при испарении смещает твердую фазу прекурсора на поверхность капель, где и образуется твердая оболочка, с освобождением объема внутри сферы. В некоторых местах сфер появляются отверстия вследствие выхода паров воды. В результате последующего растворения в воде хлорида натрия высушенный порошок $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ уже состоит из неагломерированных наноразмерных частиц. По данным ПЭМ отдельные частицы имеют преимущественный размер $\sim 60 \text{ нм}$ и округлую форму.

Удельная намагниченность исследованных порошков имеет значения, близкие к значениям для кобальт-цинковых ферритов, полученных другими методами, например, методом соосаждения из водных растворов неорганических солей металлов, соосаждения в водноспиртовых растворах из органических солей металлов, золь-гель методом.

Получена зависимость напряжения сдвига магнитно-реологических жидкости, содержащей 20 мас.% порошка $\text{Co}_{0,65}\text{Zn}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$, в отсутствие магнитного поля (рис. 1 а) и в зависимости от индукции магнитного поля (рис. 1б) при скорости сдвига 200 c^{-1} , $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Высокое значение напряжения сдвига (1000 Па) при сравнительно невысоких значениях индукции магнитного поля (от 600 мТл и выше) позволяет считать полученный материал пригодным для практического использования в качестве компонента наполнителя магнитно-реологической жидкости. Известно, что ферромагнитные порошки с большим значением остаточной намагниченности могут демонстрировать существенно меньшее увеличение вязкости в магнитном поле (например, $\text{Mn}_{0,3}\text{Fe}_{2,7}\text{O}_4$, кривые 2 на рис. 1).

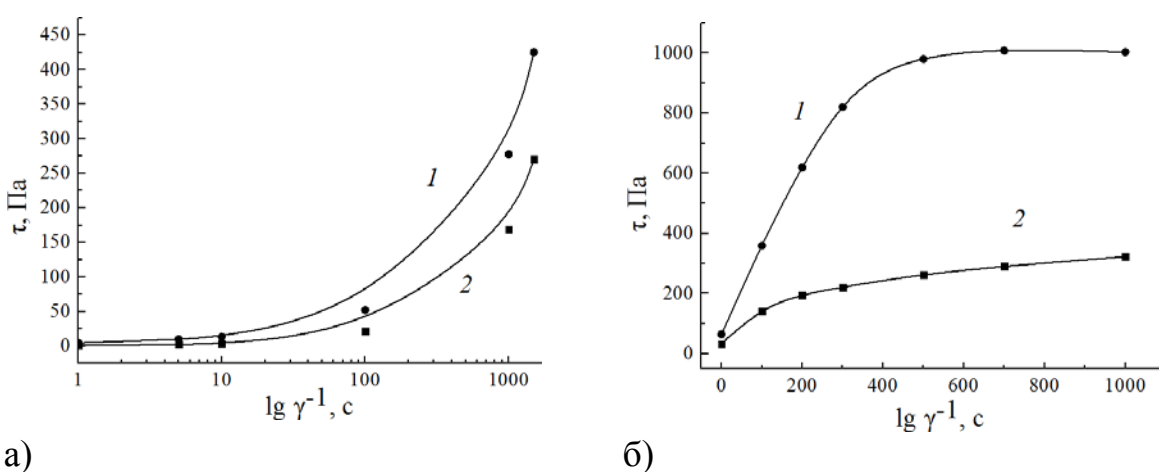


Рис.1. Зависимость напряжения сдвига МРЖ, содержащей 20 мас.% частиц $\text{Co}_{0,65}\text{Zn}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$ в Mobil 22 а) от скорости сдвига при отсутствии магнитного поля б) от индукции магнитного поля, при скорости сдвига $\dot{\gamma} = 200 \text{ c}^{-1}$, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$: 1 – $\text{Co}_{0,65}\text{Zn}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$, 2 – $\text{Mn}_{0,3}\text{Fe}_{2,7}\text{O}_4$.

Из зависимости напряжения сдвига суспензии, приготовленной на основе порошка $\text{Co}_{0,65}\text{Zn}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$ также видно, что напряжение сдвига суспензии возрастает при увеличении индукции магнитного поля и достигает максимального значения 1 кПа уже при 550 мТл, что значительно ниже, чем для большинства других известных материалов на основе легированных магнетитов и ферритов.

- Петрова Е. Г., Шавшукова Я. А., Котиков Д. А., Лазнев К. В., Паньков В. В. // Известия Национальной Академии Наук Беларуси. Серия химических наук, 2018, том 54, № 4, с. 406 – 412.
- Коробко Е. В., Паньков В. В., Котиков Д. А., Новикова З. А., Новик Е. С., Наноструктуры в конденсированных средах: сборник научных статей. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси, 20 – 23 августа 2018 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лившиц Ю.Е., Савёлов П.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Известно, что в системах автоматизированного управления не вся энергия, подводимая от источника электропитания, расходуется на полезную обработку сигналов или выполнения работы. Значительная её часть выделяется в виде тепловой энергии, что требует организации системы отвода тепла. Самыми распространёнными способами является воздушные принудительное и конвективное охлаждение аппаратуры.

Целью работы является оптимизация компоновки блока автоматизированного управления при помощи компьютерного инженерного анализа тепловых потоков при различных типах воздушного охлаждения.

Для решения поставленной задачи при помощи САПР SolidWorks была разработана твердотельная модель блока автоматизированного управления, включающего в себя элементную базу, разработанной системы управления устройством позиционирования солнечной батареи [1]. Исследование тепловых потоков, возникающих при эксплуатации блока производилась при помощи CAE модуля SolidWorks Flow Simulation.

Функционирование блока управления обеспечивается следующими компонентами: программируемый логический контроллер (ПЛК), стабилизатор питания, контроллер солнечной батареи, цифровой драйвер шагового двигателя 3DM860. Наиболее теплонагруженными элементами являются три драйвера шаговых двигателей. Суммарная тепловая мощность при максимальной нагрузке составляет не более 90 Вт.

Для упрощения экспериментов корпус блока выполнен в виде параллелепипеда с вентиляционными отверстиями, расположенными в нижней части корпуса. Исследования тепловых потоков проводились для двух типов охлаждения: принудительного воздушного и конвективного. Конструктивно возможным является расположение теплонагруженных элементов вверху или внизу блока управления. На рисунке 1 представлены результаты компьютерного исследования тепловых потоков при температуре окружающей среды 50 °С (верхнее рабочее значение для климатического исполнения В1 по ГОСТ 15543.1-89).

Установлено, что максимальная температура тепловых потоков составляет не более 60 градусов. Скорость потоков не превышает 8 м/с при использовании осевого вентилятора Sanyo Denki 190R08. Выявлены застойные зоны, которые не влияют на качество охлаждения, но устраняются изменением местоположением компонентов.

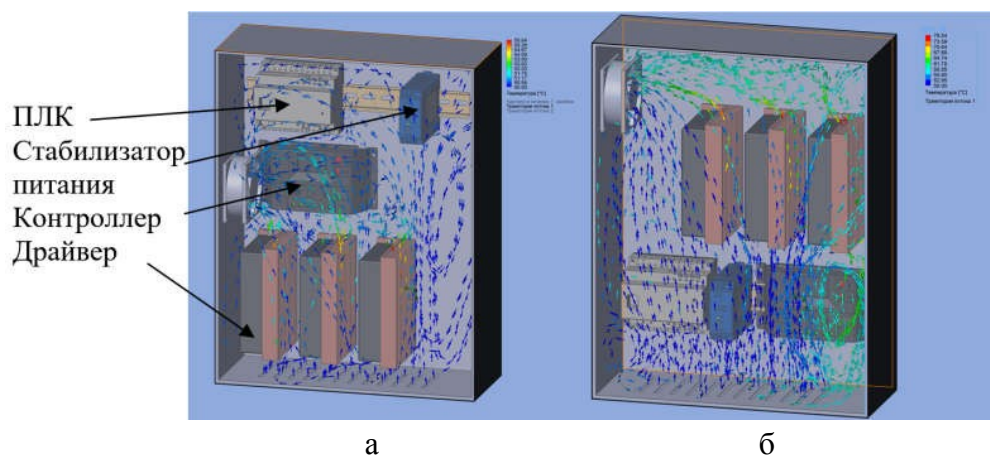


Рис. 1 – Распределение температурных потоков при принудительном воздушном охлаждении а) – нижнее расположение теплонагруженных элементов; б) – верхнее расположение теплонагруженных элементов.

Исследования конвективного воздушного охлаждения представлено на рисунке 2.

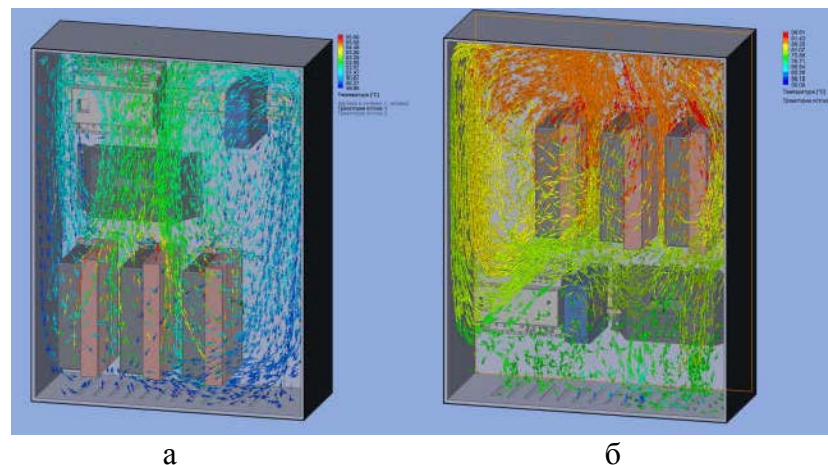


Рис. 2 – Распределение температурных потоков при конвективном воздушном охлаждении а) – нижнее расположение теплонагруженных элементов; б) – верхнее расположение теплонагруженных элементов.

Установлено, что верхнее расположение теплонагруженных элементов не обеспечивает формирование охлаждающих конвекционных потоков. В результате этого температура потоков и драйверов шаговых двигателей достигает 90 °С. При нижнем расположении теплонагруженных элементов формируются восходящие и нисходящие тепловые потоки, которые обеспечивают охлаждение устройства. Максимальная температура потока не превышает 60 °С.

Таким образом, в результате выполненной работы установлена возможность применения компьютерного инженерного анализа для оптимизации компоновки блоков автоматизированного управления.

1. Лившиц, Ю.Е. Универсальная автоматическая система управления устройством позиционирования солнечной батареи / Ю.Е. Лившиц, П.И. Савёлов // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы VII международной научно-практической конференции – Минск, 2019. – С. 64-65.

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СПОСОБОВ ПУСКА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Поминов А.Д., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день асинхронные электродвигатели являются самыми распространёнными потребителями электроэнергии в мире и используются повсеместно, начиная от бытовых устройств и заканчивая крупными промышленными установками. Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, простота ремонта, малое количество конструктивных элементов, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания.

Однако простота конструкции приводит к сложности при пуске двигателя, так как токи в обмотках ротора и статора зависят от скольжения и возрастают при его увеличении, пусковой ток двигателя в 5 - 10 раз больше его номинального тока [1].

Умение правильно выбрать метод пуска асинхронного двигателя входит в набор навыков, которыми должен владеть инженер-электромеханик. Поэтому на кафедре РТС БНТУ разработан обучающий стенд для исследования способов пуска трехфазного асинхронного двигателя. Лабораторный комплекс, позволяет на практике изучить различные способы пуска 3х-фазных асинхронных двигателей, часто применяющихся в технических системах.

В лабораторном стенде использованы три вида пуска асинхронного двигателя для анализа их преимуществ и недостатков: прямой, пуск «звезда-треугольник», плавный пуск. Схема лабораторного комплекса изображена на рисунке 1.

Прямой пуск является наиболее распространенным при мощности двигателя до 1кВт, так как он считается самым дешевым и компактным. Исходное оборудование включает в себя только контактор КМЗ, а также тепловое реле КК1.1. Недостатком этого метода является то, что при нем возникает максимально возможный пусковой ток. Также существует пиковый ток из-за намагниченности, который может быть в 20 раз выше номинального тока, т.к. напряжение на двигателе в момент пуска отсутствует [2]. Несмотря на указанные недостатки, пуск двигателя путем непосредственного подключения обмотки статора к сети широко применяют благодаря простоте и хорошим технико-экономическим свойствам двигателя с короткозамкнутым ротором — низкой стоимости и высоким энергетическим показателям.

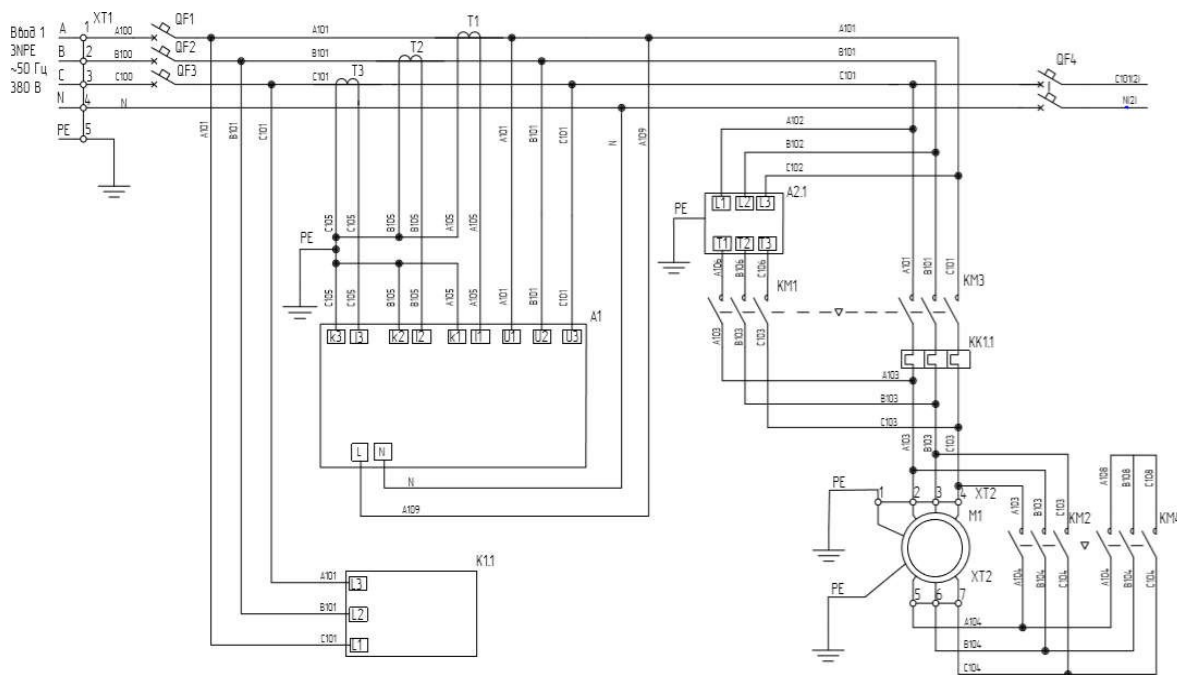


Рисунок 1 — Схема лабораторного комплекса

Пуск «звезда-треугольник» состоит из трех контакторов: основной контактор КМ3, контактор треугольника КМ2, контактор звезды КМ3 и реле перегрузки КК1.1 и реле времени (на схеме не указано). Этот метод пуска можно использовать только с двигателем, который в номинальном режиме работы соединен треугольником. Основная идея использования такого способа пуска состоит в том, что в начальный момент разгона двигателя, его обмотки соединены звездой, что обеспечивает пониженный ток [2]. По ставки реле времени КТ (реле времени) подключение меняется на треугольник, что обеспечит полный ток и крутящий момент. При подключении по схеме «треугольник» напряжение на каждой обмотке двигателя соответствует напряжению в сети.

Преимуществом пуска является то, что некоторые трехфазные двигатели на низкое напряжение с мощностью выше 5 кВт рассчитывают на напряжение 400 В при включении по схеме «треугольник» (Δ) или на 690 В при включении по схеме «звезда» (Y). При пуске двигателя по схеме «звезда – треугольник» удастся уменьшить пусковой ток, до $1/3$ от тока прямого пуска от сети.

Недостатком пуска асинхронного двигателя переключением «звезда – треугольник» является то, что при пуске двигателя переключением «звезда – треугольник» происходит также снижение пускового момента, приблизительно на 33%.

Пуск при пониженном напряжении. Такой пуск применяют для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором большой мощности, а также для двигателей средней мощности при недостаточно мощных электрических сетях. Логичным способом снижения пускового

тока стало снижение напряжения, подаваемого на статор в момент запуска, с его постепенным увеличением при разгоне двигателя. Простейший и наиболее старый способ плавного пуска – реостатный пуск электродвигателя: в цепь статора последовательно включается несколько мощных резисторов, последовательно закорачиваемых контакторами [3].

Подобный способ плавного пуска имеет очевидные недостатки:

Проблематичность автоматизации, работа контакторов не привязывается к реальному значению тока, они переключаются с помощью реле времени автоматически.

Усложнение пуска под нагрузкой, так как крутящий момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения питания, снижение напряжения в момент пуска в два раза приведет к снижению крутящего момента в четыре раза. В лабораторном комплексе плавный пуск подключен к преобразователю частоты А2.1 для экономии энергии и для полного регулирования скоростью.

Преобразователи частоты преобразует постоянную частоту и напряжение входного питания в регулируемую частоту и выходное напряжение для контроля скорости асинхронного двигателя. Частота питающего напряжения, подаваемого на клеммы электродвигателя переменного тока, определяет скорость вращения двигателя.

Среди важнейших преимуществ использования ПЧ стоит отметить: увеличение срока службы двигателя благодаря тому, что вне зависимости от величины нагрузки работа электрического двигателя будет оптимизирована;

устранение проблемы динамических перегрузок при пуске насосного оборудования.

Преобразователи частоты позволяют решить эти проблемы, а также оптимизировать, увеличить эксплуатационный ресурс оборудования в целом и компенсировать энергозатраты. В лабораторном стенде использован частотный преобразователь WEG CFW10 Easydrive для реализации плавного пуска трехфазного асинхронного двигателя.

Литература

1. Справочник по электрическим машинам: В 2т./С74 под общ. Ред. *И.П. Копылова, Б.К. Клокова*. Т. 1.-М. : Энергоатомиздат, 1988.-456 с.
2. Основы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов / *М.Г.Чиликин, М.М.Соколов, В.М.Терехов, А.В.Шинянский* и др., «Энергия», 1974.
3. Плавный пуск, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://wsd.by/> – Дата доступа: 10.09.2019

ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ МАГИСТРАЛЬНОГО ТИПА

Кравцов И.П., Гульков Г.И.

Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

г. Минск, Беларусь

Электромобили (ЭМ) на сегодняшний день представляют собой один из наиболее перспективных путей автотранспорта, энергетической безопасности и сокращению выбросов загрязняющих веществ в городах. В долгосрочной перспективе электромобили важны для стран, стремящихся к уменьшению уровня выбросов углеводородов от наземного транспорта в городах.

Электромобиль относится к тяговому электроприводу и предназначенный для приведения в движение транспортных средств (электровозов, электропоездов, тепловозов и теплоходов с электроприводом, трамваев, троллейбусов, электромобилей и т.п.).

К тяговому электроприводу транспортного средства предъявляются следующие основные требования:

- точная реализация тяговой характеристики электромобиля;
- высокий К.П.Д.;
- минимально возможные масса и габариты;
- приемлемая стоимость.

Классическая схема тягового электропривода содержит электродвигатель (ЭД), механическую коробку передач и механический дифференциал. Коробка передач с числом ступеней Z обеспечивает ступенчатое изменение передаточного отношения между электродвигателем и ведущим валом, что позволяет регулировать вращающий момент на колёсах и их скорость при ограниченной мощности источника электрической энергии.

Данная схема отличается относительно громоздкой механической частью, но при этом требует небольшого диапазона регулирования D_p скорости ЭД с постоянством мощности для обеспечения регулирования скорости транспортного средства в диапазоне D .

Требуемый диапазон регулирования D_p можно определить по известному соотношению:

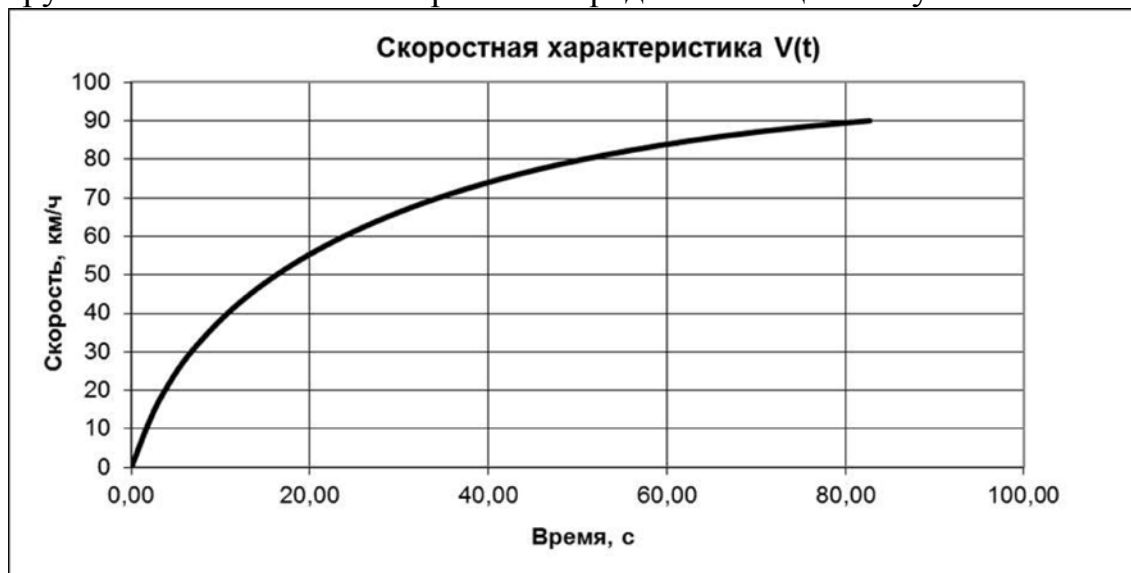
$$\ln D_p = \ln D/Z$$

При $Z = 4$ и $D = 10$ диапазон $D_p = 1,8$.

В настоящее время в тяговом электроприводе преимущественное применение получили асинхронные двигатели (АД) и синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ), имеются отдельные примеры применения вентильно-индукторного двигателя (ВИД).

Сравнительный анализ показывает, что наибольший к.п.д. имеет СДПМ при значительно более высокой стоимости и сложности управления. Так как в последнее время повышению к.п.д. АД уделяется особое внимание за счёт применения новых марок электротехнической стали и медной обмотки ротора, усиливается тенденция к применению в тяговом электроприводе средних и тяжёлых транспортных средств частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя.

Осуществлено эскизное проектирование тягового электропривода грузового автомобиля с коробкой передач имеющей 4 ступени.



На рисунке представлена скоростная характеристика транспортного средства имеющего коробку передач, которая позволяет уменьшить диапазон регулирования электродвигателя. Данная система позволяет уменьшить требования к перегрузкам электрической машины, путём значительного уменьшения пусковых моментов, позволяет обеспечить весь диапазон работы транспортного средства при сравнительно небольшом диапазоне регулирования электропривода.

Таким образом, данную систему необходимо рассматривать с учётом к.п.д. дополнительной механической части системы в сравнении улучшенными характеристиками системы электропривода при заданном цикле работы.

1. Руктешель, О. С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля: учебно-методическое пособие для студентов. / О. С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2015. – 80 с.

2. Ю.М.Фролов. Проектирование электропривода промышленных механизмов/ - Москва, 2014. – 346 с.

3. Руктешель, О. С. Учебное пособие для студентов специальности «Автомобилестроение» по дисциплине "Конструкция автомобилей". / О. С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2000. – 68 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАЗНЫХ ДРОБНЫХ ЗУБЦОВЫХ ОБМОТОК ДЛЯ ПРИВОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОДРАВНИВАТЕЛЯ КОРМОВ

Полудеткин А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Все большее распространение получают системы хранения, автоматического смешивания и раздачи корма в области животноводства. Система раздачи корма подразумевает под собой роботов, которые раздают вдоль стойл корм для животных. В результате скармливания, часть корма остается вне зоны доступа животных, что предполагает использование специального подравнителя, который сдвигает корм в зону стойл, это позволяет повысить показатели сбора молока, сохранять чистоту кормовой аллеи. Дополнительным стимулом частого подравнивания корма является то, что поскольку корм постоянно находится в доступе у животных – примерно на 50 процентов снижаются остатки кормов.

Подравнители кормов представляют собой роботов, которые передвигаются вдоль стойла и вращательным движением части корпуса, так называемой юбкой, пододвигают корм к краю стойла. Ориентируясь на датчики расстояния робот совершает каждый проход сокращая расстояние до стойла. Совершается данная операция на малой линейной скорости 10 – 12 м/мин. При этом сопротивление среды будет постоянно изменяться, так как корм при разбрасывании распространяется неравномерно, следовательно установка будет постоянно стремиться сдвинуться в сторону от стойла, поэтому на систему электропривода ложится задача постоянного мониторинга скорости обоих электродвигателей, чтобы предотвратить или исправить смещение.

Так как роботы передвигаются в помещении, одним из факторов являются его габариты, поэтому актуальным вопросом является улучшение его массо – габаритных показателей. Привод перемещения располагается внутри установки, чтобы не мешать вращению юбки, следствием этого является желание улучшить массо – габаритные показатели привода.

Требования к габаритам и тихоходность привода обуславливают применение синхронных электродвигателей с многофазными дробными зубцовыми обмотками. Ощутимым преимуществом этих обмоток является возможность выполнения их с малым вылетом лобовых частей, как следствие – отсутствует перекрещивания катушек в области лобовых частей, что позволяет изготовить электрическую машину, компактную в осевом направлении [1]. Так как каждая обмотка такой катушки

охватывает один зубец, данные машины обладают рядом технологических преимуществ, таких как упрощение намотки и повышение надежности за счет отсутствия пересечения лобовых частей [2]

Особенностью машин с данными обмотками, является то, что их ротор нельзя выполнить с произвольной полюсностью – она жестко определяется числом пазов на полюс и фазу $q < 1$. Нет возможности выполнить машину с числом полюсов, кратным числу фаз [3].

Таким образом, при проектировании бесконтактного электродвигателя с постоянными магнитами одним из первых пунктов подбирают число пар полюсов, от которого далее по таблицам выбирают число пазов, либо пользуются соотношениями $N_s = 2p \pm 1$ $N_s = 2p \pm 2$, для зубцовых обмоток, из практики, чаще всего применяют соотношение 6/4, 6/8, 12/10, 12/14, 18/16, 18/20, 24/22, 28/26 и т.д. [4].

На практике есть случаи, когда нет возможности следовать стандартным соотношениям, в этих случаях есть резон в построении двойной машины, то есть применить формулу $N_s = (2p \pm 2) \cdot 2$. Таким образом можно получить желаемые характеристики электродвигателя для нестандартных соотношений числа пар полюсов и пазов электродвигателя с инкорпорированными постоянными магнитами.

Из вышенаписанного следует что для подравнителя корма целесообразно применять электродвигатели с дробными зубцовыми обмотками с целью повысить показатели электропривода.

1. Кудряшов С.В. О применении дробных зубцовых обмоток в синхронных машинах с постоянными магнитами / «Электротехника» № 3 г.2015
2. Особенности конструирования и проектирования энергоэффективных магнитоэлектрических электродвигателей общепромышленного назначения / «Электротехника» № 12 г.2014
3. Шевченко А.Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными $q < 1$ зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов / «Электротехника» № 9 г.2007
4. Z.Q.Zhu. Fractional Slot PMSM and drivers for Electric and Hybrid propulsion system.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СКЛАДОВ

Потрясов Д. В.

ООО «Систерон»

г. Минск, Республика Беларусь

На автоматических заводах, в которых принята сквозная система производства от проектирования и заканчивая выпуском готовой продукции на базе интернета-вещей (IoT), используют автоматические роботизированные склады.

В настоящее время для проектирования складов на базе интеллектуального анализа данных (Data Mining) и OLAP систем активно используют нейронные сети, позволяющие оптимизировать стоимость склада, исходя из технологического процесса с учетом: изготовления комплектующих собственными силами, поставок смежников, последовательности операций сборки, времени сборки и т.д.

Однако конъюнктура рынка, когда товар «живет» от 1 до 3 лет, требует гибкости и быстрой переналадки всей линии, что неминуемо вносит корректировку и в автоматический склад. Таким образом задача адаптации конфигурации склада приводит к использованию нейронных сетей в том числе и в системах управления складом.

Входными данными будут: состав комплектующих, масса, количество на сборку, время установки в изделие, а также время обработки данных, производительность роботов-штабелеров, время перемещения до места сборки. Основной параметр оптимизации – время выборки из склада: чем оно меньше, тем быстрее работает технологическая линия. Задача системы управления – перенастроить расположение элементов склада.

Для задачи адаптации склада хорошо подходят нейронные сети на базе самоорганизующихся карт Кохонена, которые позволяют провести кластеризацию (группировку) элементов таким образом, чтобы комплектующие, которые чаще требуют извлечения из склада, находились в оптимальном месте.

Моделирование простейшего двухстороннего склада с одним роботизированным кран-штабелером на 1050 ячеек показала, что оптимизация расположения комплектующих, в случае адаптации под новый технологический процесс, может приводить к уменьшению времени выборки на 11-15%, что в итоге за год позволяет повысить производительность всей линии.

1. В. А. Головкин, под ред. проф. А. И. Галушкина. Нейронные сети: обучение, организация и применение. – Москва: ИПРЖР, 2001

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Попок Н.Н., Гвоздь Г.И.

Полоцкий государственный университет,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

В связи с увеличением номенклатуры выпускаемых изделий все более широкое применение в машиностроении находят многоцелевые станки с ЧПУ. Для обеспечения работы этих станков требуется широкая гамма режущих инструментов и технологической оснастки. Предлагается обобщенный подход к инструментообеспечению многоцелевых станков с ЧПУ на основе автоматизации этапов проектирования и эксплуатации.

Разработана система (гамма) блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) на основе унифицированного блока резцового, включающая резцы токарные расточные, резьбовые, проходные и т. д., фрезы торцовые, дисковые, охватывающие и т. д., головки расточные, зуборезные и т. д. БМРИ предназначены для обработки различных поверхностей корпусных деталей и деталей в виде тел вращения (рисунок 1).

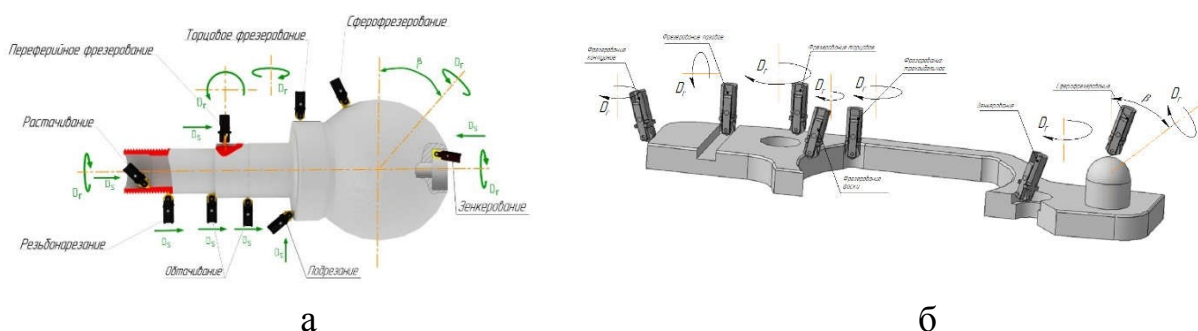


Рисунок 1. – Схема обработки комплексной детали с использованием многофункциональной технологической оснастки: а – на токарном станке с ЧПУ; б – на фрезерном станке с ЧПУ

Автоматизация проектирования комплекта БМРИ включает создание следующих математических моделей [1]: модель формирования исходной информации по обрабатываемым поверхностям и конструктивным элементам; модель обобщенной схемы обработки резанием; модель обобщенной конструктивной схемы БМРИ; модель взаимного расположения блоков и модулей БМРИ; модель оценки вариантов конструкций БМРИ по критериям; модель оценки напряженно-деформированного состояния БМРИ. Взаимосвязь структурных составляющих конструкций комплектов БМРИ представлена на рисунке 2.

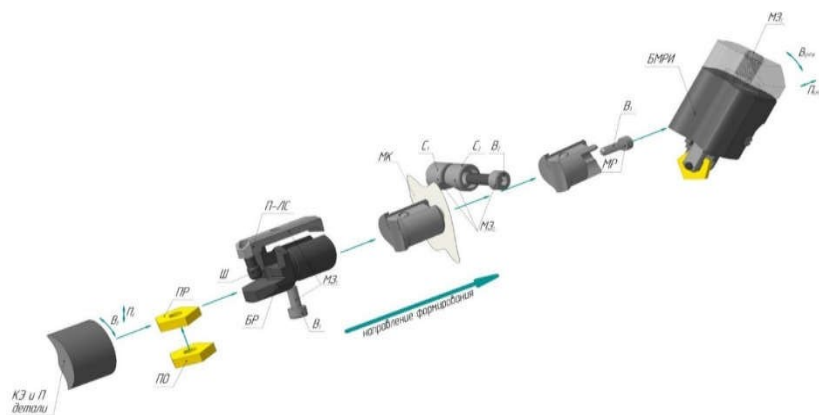


Рисунок 2. – Взаимосвязь структурных составляющих конструкций БМРИ: КЭ – конструктивный элемент, П – поверхность, Пд и Вд – поступательное и вращательное движение детали, ПР – пластина режущая, ПО – пластина опорная, БР – блок резцовый, Ш – штифт, МЗ1 – модуль зажимной БР, П-ЛС – прихват-ломатель стружки, В1 – винт 1, МК – модуль корпусной, МЗ2 – модуль зажимной БР, С1 и С2 – сухари 1 и 2, В2 – винт 2, МР – модуль регулировочный, В3 – винт В3, МЗ3 модуль зажимной БМРИ, ПБМРИ и ВБМРИ – поступательное и вращательное движения БМРИ

Модель проектирования является общей для любого типа БМРИ, характеризуемого конструктивными, технологическими и функциональными признаками, и использование ее позволяет сократить время на конструкторскую и технологическую подготовку производства изделий с использованием многоцелевых станков с ЧПУ.

Использование в различных БМРИ унифицированных блоков резцовых и модулей позволяет автоматизировать процессы замены режущих инструментов на станке и их дефектации вне станка. При этом учитывается время работы инструмента на станке с учетом его стойкостного ресурса, быстрота смены инструмента и затраты времени на дефектацию инструмента и замену изношенных режущих пластин, блоков и модулей. Нормирование эксплуатации стандартных и блочно-модульных режущих инструментов на металлорежущем станке моделей ST45 и Robodrill показывает, что в случае применения БМРИ обеспечивается сокращение времени подготовительно-вспомогательных работ от 1,5 до 2 раз.

Использованные источники информации

1. Модель и алгоритм проектирования блочно-модульных режущих инструментов / Н.Н. Попок, М.В. Черневич, Г.И. Гвоздь // Вестн. Полоц. гос. ун-та: Серия В. Прикладные науки. Промышленность. – 2017. – № 3 – С. 41-48.

ДИАГНОСТИКА МАСТИТА КОРОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ракевич Ю.А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
Минск, Республика Беларусь

Мастит является наиболее распространенным и дорогостоящим инфекционным заболеванием у молочного скота. Раннее выявление мастита очень важно для снижения экономических потерь, молочной промышленности. Автоматические методы раннего и надежного обнаружения мастита в настоящее время находятся на стадии разработки. Температура поверхности кожи является важным показателем для диагностики болезней коровы и для оценки их физиологического статуса. Инфракрасная термография (IRT) представляет собой простой, эффективный, неинвазивный метод, который обнаруживает поверхностное тепло, излучаемое как инфракрасное излучение и генерирует графические изображения, не вызывая радиационного облучения [1].

В сельском хозяйстве IRT можно использовать как диагностический инструмент для оценки нормального и физиологического состояния животного для раннего выявления субклинического мастита, выявления оценки хромоты, оценки эффективности использования кормов, для оценки воздействия доильного оборудования на вымя и соски животного [2-3].

В ветеринарной практике, как золотой стандарт, обычно используется калифорнийский метод определения мастита (СМТ), который косвенно измеряет количество соматических клеток в образцах молока. Основными недостатком является то, что иногда полученные результаты трудно интерпретировать, а метод относительно отличается низкой чувствительностью. На проведение самого исследования требуется до 5 -7 минут на корову [4].

Экспериментально была проведена сравнительная диагностика двух методов определения мастита у коров на молочно – товарной ферме «Дружба – Агро» Слонимского района, Гродненской области, с помощью калифорнийского метода - кенотеста (СМТ) и термографического (IRT) тепловизором марки DT – 9875, на основе оперативного анализа инфракрасных изображений вымени.

Исследования проводились в два этапа. Было обследовано 580 коров дойного стада. Для определения мастита в хозяйстве используют кенотест фирмы Inter Clean (контроль). На первом этапе предварительно ветеринарам животные подвергались комплексному клиническому

обследованию, далее по кенотесту были определены 4 группы по 30 коров с разными уровнями заболевания. На втором этапе проводились измерения температуры вымени с помощью тепловизора. В результате проведенных исследований была получена связь между СМТ и ИРТ (рисунок 1).

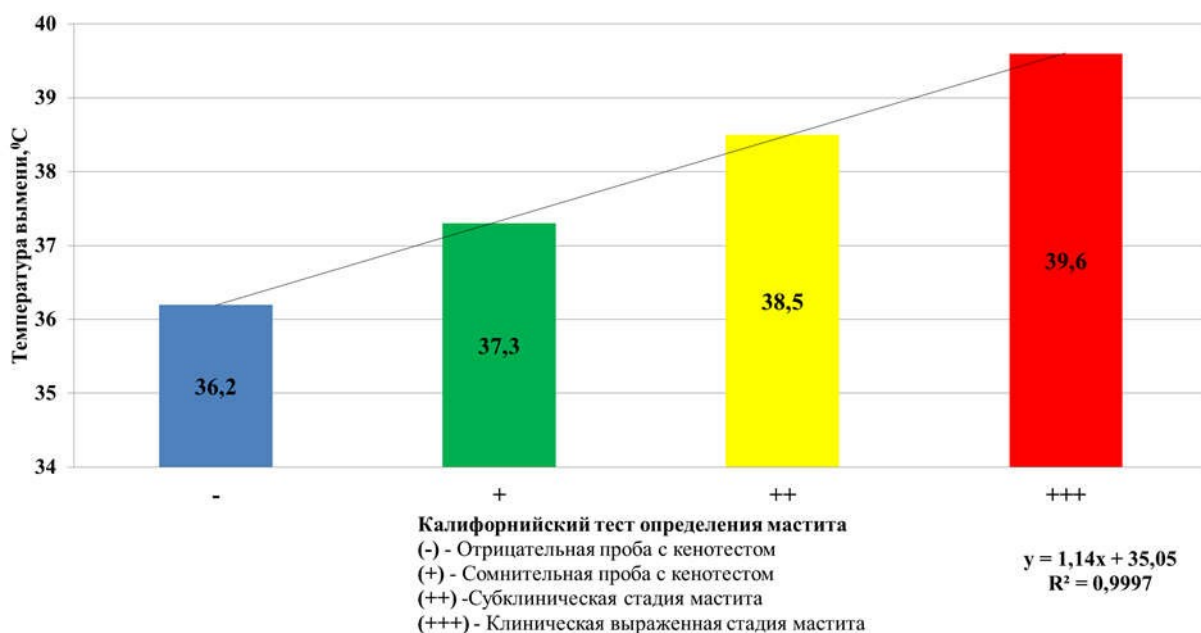


Рисунок 1 – Связь между калифорнийским тестом на мастит и средней максимальной температурой вымени коров определяемой инфракрасной термографией.

Линейное уравнение регрессии: $y = 1,14x + 35,05$; где y – средняя максимальная температура вымени коров; x – оценка состояния здоровья по кенотесту; При этом точность аппроксимации достоверно – $R^2 = 0,999$.

Проведенное экспериментальное исследование показывает, что термографический метод может использоваться как диагностический инструмент для раннего определения мастита у коров, что подтверждается полученными данными при кенотесте.

Список литературы

1. Гируцкий, И.И. Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И.И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю.А. Ракевич // Агропанорама, 2018. - №6 (130). – С. 9 -12.
2. Poikalainen, V., Praks, J., Veermae, I. and Kokin, E. (2012) Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. Agron. Res. Biosyst. Eng., 1: C. 187-194.
3. Alejandro, M., Romero, G., Sabater, J.M. and Diaz, J.R. (2014) Infrared thermography as a tool to determine teat tissue changes caused by machine milking in MurcianoGranadina goats. Livest. Sci., 160: C. 178-185.
4. Schalm O. W., Noorlander D. O. Experiments and observations leading to development of the California mastitis test. Journal of the American Veterinary Medical Association, Vol. 130, 1957, C. 199-204.

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСКЛЮЧЕВОГО ДОСТУПА ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Воюш Н.В., Русак Е.О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

С развитием информационных технологий и робототехники все большее экономическое и социальное значение приобретает автоматизация различных сфер жизни и деятельности человека. Не является исключением и контроль доступа к различным объектам.

Автоматизированный контроль доступа может применяться на различных объектах: от смартфонов до частных домов, от машин до многоэтажных отелей. Такие системы могут сэкономить от нескольких секунд, потраченных на ввод пароля, до нескольких рабочих мест, занимаемых охраной либо вахтером.

Цель проекта – разработка автоматизированной системы, обеспечивающей бесключевой доступ к различным объектам. Эта система разработана на основе искусственной нейронной сети и может использоваться как для построения реальной системы контроля, так и для исследования эффективности системы при различных параметрах настройки либо различных входных данных.

Система должна выполнять следующие задачи:

- обучаться, т.е. запоминать в течении какого-то времени изображение человека, имеющего право доступа;
- снимать изображение для последующего анализа;
- анализировать изображение и делать вывод о праве доступа;
- обеспечивать достаточное быстродействие;

Система контроля доступа разработана на языке Python 3 при помощи таких библиотек, как DLIB и SCIKIT-IMAGE. Выбор среды разработки обусловлен тем, что Python обладает малым порогом входа, т.е. является довольно простым языком, что хорошо при разработке сложных проектов, а кроме того, нейронные сети – это, как правило, программы не очень большие по объему, но которые приходится часто изменять, чтобы подобрать оптимальную архитектуру, предобработку данных и так далее. Поэтому предъявляются требования к быстрой разработке, этому Python удовлетворяет лучше, чем другие языки.

В системе используются: камера, для снятия изображения; программно-аппаратный комплекс, для анализа изображений и функционирования системы; набор инструментов, организующих доступ к объекту.

Таким образом, процесс работы автоматизированной системы состоит из двух этапов: процесс обучения и нормальный режим, который и представляет собой бесключевой доступ.

Процесс обучения заключается в том, что человек получает доступ, проходя некоторую аутентификацию, а система в это время фиксирует изображения человека, получившего доступ. Изображения обрабатываются искусственной нейронной сетью и запоминаются ею же. Процесс запоминания заключается в установлении каждому нейрону индивидуального весового значения и сохранении этих значений в памяти компьютера. Длительность процесса обучения зависит от многих параметров и его необходимо устанавливать экспериментально, чтобы не допустить так называемого «переобучения», которое негативно скажется на разработанной системе.

Нормальный режим – режим, в котором система предоставляет бесключевой доступ. При каждой попытке получения доступа система снимает изображение человека, пытающегося получить доступ и при помощи уже обученной нейронной сети анализирует полученные изображения. Если система посчитает, что на фото тот же человек, который раньше получал доступ при помощи аутентификации, то выдаст доступ тому человеку в автоматизированном режиме, т.е. никакой аутентификации больше не нужно будет проходить.

Когда система выдала доступ в автоматизированном режиме, посылается сигнал на контроллер, который выдает управляющие сигналы на исполнительный механизм, организующий доступ к объекту.

Обработка и анализ изображений проходит в несколько этапов:

- загрузка изображения;
- обработка изображения средствами библиотеки SCIKIT-IMAGE;
- поиск лица на фотографии при помощи библиотеки DLIB;
- извлечение некоторого дескриптора из полученного изображения и сравнение этого дескриптора с эталонным;
- в результате сравнения по некоторому правилу делается вывод о возможности предоставления доступа;
- повторение цикла.

На рисунке 1 представлен результат обработки изображения, нахождения лица и снятия дескрипторов.

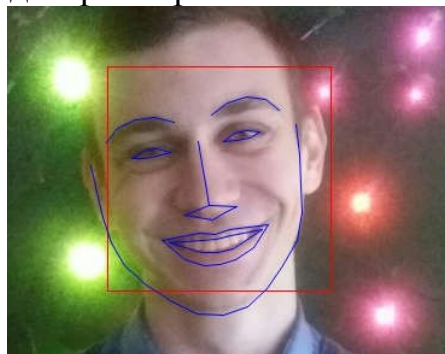


Рисунок 1 – Результат обработки

Разработанная автоматизированная система контроля доступа может найти широкое применение, так как позволяет организовывать бесключевой доступ при полном отсутствии участия человека.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Качанов И.В., Ленкевич С.А., Рапинчук Д.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Цифровые технологии должны занять особое место в отрасли здравоохранения. Потребитель медицинских услуг 21 века уже требует визуализации своего состояния в доступном формате методами визуальной трансформации в условных графических образах результатов многовариантного моделирования медицинской информации.

В медицине уже активно используются все виды современных технологий, в том числе и 3D технологии. Это касается не только 3D печати и 3D сканирования, но и 3D моделирования, которое не требует особых затрат, а лишь владение специализированными программными пакетами.

Широкое распространение САПР нашли в травматологии и ортопедии. При помощи 3D моделирования в этой сфере решается ряд задач:

- моделирование протезов и имплантатов с анатомической точностью;
- увеличение эффективности лечения вследствие более продуманной подборки конструкции;
- при работе с 3D сканами и данными компьютерной томографии планирование операций;
- объемное моделирование работы отдельных систем человека;
- моделирование ортопедической обуви и т.д.

В современном протезировании и при разработке имплантатов без 3D моделирования обойтись очень сложно. 3D моделирование позволяет все работы сделать быстро и максимально индивидуализировать готовое изделие. То есть это значит, что еще на этапе проектирования оно будет максимально учитывать анатомические особенности и потребности пациента.

Стабильная репозиция сломанной кости (например, путем точной адаптации и компрессии) сводит к минимуму нагрузку, которую испытывает имплантат. Стабильность фиксации, таким образом, является решающим моментом и достигается операциями остеосинтеза. Цель остеосинтеза - обеспечить фиксацию сопоставленных обломков, создав условия для их костного сращения, восстановления целостности и функции кости. Использование точных 3D сканов позволяет изготовить изделие, максимально соответствующее реалиям (рисунок 1).



Рисунок 1 – Моделирование фиксации переломов различными способами остеосинтеза

Компьютерная томография позволяет диагностировать заболевания и повреждения опорно - двигательного аппарата, дает представление о количественных изменениях опорных тканей, их анатомотопографических взаимоотношениях, позволяет получать 3D и виртуальные реконструкции [1]. Задачу автоматизированного сопровождения работы хирурга во многих случаях можно рассматривать как техническую задачу и использовать для ее решения эффективные и проверенные методы и технологии компьютерной графики при помощи CAD/CAE/CAM систем. В настоящее время такой подход реализуется с помощью специальных технологий подготовки хирургического вмешательства. Они называются Computer Aided или Assisted Surgery - CAS технологиями. Появление и внедрение данных технологий зарубежом было начато в середине 1990-х годов, и в настоящее время эти методы широко используются в западной медицине [2].

Таким образом, внедрение 3D - моделирования и организация коллективной работы в автоматизированной системе - неотъемлемая часть эффективной и разумной организации деятельности крупных клиническо - научных медицинских учреждений в современных условиях.

В результате все это преследует лишь одну важнейшую цель – существенно улучшить качество жизни человека, особенно тех, кто отличается ограниченными возможностями в силу ряда причин.

1. Дьячкова, Г.В. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в оценке качества кости при заболеваниях опорно - двигательной системы. / Г.В. Дьячкова, К.А. Дьячков, Ю.М. Александров, С.А. Кутиков // Материалы III съезда травматологов - ортопедов Уральского федерального округа и научно-практической конференции с международным участием «Чаклинские чтения». Екатеринбург, Изд. Уральский НИИТО им. В.Д. Чаклина. 2012. С. 52.

2. Жук, Д.М. CAS – системы - системы автоматизированного проектирования в хирургии. Д.М. Жук, С.А. Перфильев // Наука и образование: <http://technomag.edu.ru> (2011. 3 марта).

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Качанов И.В., Ленкевич С.А., Кот М.Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аустенитные коррозионностойкие стали находят широкое применение в изделиях медицинского назначения. Наибольшее распространение в Республике Беларусь исторически получили аустенитные хромоникелевые стали типа 18-10, легированные 18% хрома и 8–12% никеля типа 08X18H10T, 08X18H12Б, 12X18H9, 12X18H9T, 12X18H10T.

Достижение максимальной эффективности для улучшения механических свойств проявляется при комплексном подходе управления такими термомеханическими параметрами как степени и скорости деформации, а также скорости охлаждения после деформации, которые определяют кинетику процессов динамической полигонизации, динамической и статической рекристаллизации, растворения и выделения вторых фаз.

Температура рекристаллизации аустенита в сталях типа 18-10 составляет порядка 950°C, а температура полной аустенизации соответствует 1100°C. В процессе горячей деформации сталей этого типа динамически рекристаллизованная структура составляет 50–80% [1]. Понижение температуры в процессе деформации инициирует выделение из твердого раствора аустенита дисперсных карбидов, нитридов, карбонитридов и других фаз по границам зерен, что приводит к формированию неоднородной структуры и снижению технологической пластичности, являющихся причиной образования трещин при проведении операций формоизменения заготовки.

Исследования показали, что при температурах деформации ниже 900°C в приведенных сталях формируется структура вытянутых исходных зерен, а при температурах выше 1100°C формируется полностью динамически рекристаллизованная структура. С повышением скорости деформации снижается температура начала динамической рекристаллизации. Таким образом, регулирование температурно-скоростных параметров горячей деформации позволяет использовать эффект динамической полигонизации и динамической рекристаллизации для формирования мелкозернистой и ультрамелкозернистой структуры в деформированных полуфабрикатах.

При разработке технологических процессов обработки давлением аустенитных сталей необходимо учитывать возможность образования

повышенного количества δ -феррита ($\geq 15\text{--}20\%$) при высокотемпературном нагреве, выделения σ -фазы на границах зерен, превращение аустенита в α -фазу при охлаждении или последующей холодной деформации [2]. Так, например, при нагреве стали X18H9T до 1200°C содержание δ -феррита может достигать $40\text{--}50\%$ и пластичность стали снижается более чем в 3 раза [3].

Поэтому определенный интерес представляет легирование азотом, так как азот стабилизирует аустенит и препятствует образованию δ -феррита при высокотемпературном нагреве, повышает коррозионную стойкость сталей [3]. Однако легирование азотом свыше $0,45\%$ ведет к значительному снижению пластичности, что вызывает трудности при деформировании.

При изготовлении деформированных полуфабрикатов из аустенитных сталей значительное влияние на формирование структуры и свойства оказывает холодная деформация. Регламентированная холодная деформация позволяет сформировать ультрамелкозернистую и даже наноразмерную структуру, повысить прочность, износостойкость и другие эксплуатационные характеристики изделий [4]. Наиболее интенсивное упрочнение достигается в результате холодной деформации в пределах $20\text{--}30\%$. При этом предел прочности стали повышается в $1,5\text{--}2$ раза при сохранении пластичности на достаточном уровне.

Вместе с тем следует учитывать, что при больших степенях холодной деформации в структуре увеличивается количество различных дефектов: увеличение удельной поверхности границ зерен, образование микротрещин, увеличение количества вакансий и плотности дислокаций и т. п. В результате холодной деформации 60% плотность стали снижается на $0,4\text{--}0,6\%$ [5].

1. Викторов, Н.А. Горячая пластичность стали 08X18H10T // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2011. №6. С. 8–9.
2. Литовченко, И.Ю. Эволюция структурно-фазовых состояний при пластических деформациях аустенитной стали 17Cr–14Ni–2Mo / И.Ю. Литовченко, А.Н. Тюменцев, Н.В. Шевченко, А.В. Корзников // *ФММ*. 2011. Т. 112. №4. С. 436–448. 2012. С. 19–35.
3. Науменко, В.В. Азот в аустенитных нержавеющей сталях различных систем легирования. / В.В. Науменко, А.П. Шлямнев, Г.А. Филиппов // *Металлург*. 2011. №6. С. 46–52.
4. Разуваев, Е.И. Формирование ультрамелкозернистой и наноразмерной структуры в металлах и сплавах методом деформации. / Е.И. Разуваев, Д.Ю. Лебедев, М.В. Бубнов. // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. №3. С. 3–8.
5. Рудской, А.И., Колбасников Н.Г. Управление структурой и свойствами стали при горячей деформации. / А.И. Рудской, Н.Г. Колбасников // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2012. №10. С. 22–30.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ 3D МАКЕТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Н.Н. Попок, С.А. Портянко
Полоцкий государственный университет

Подготовка машиностроительного производства, как известно, включает разработку конструкций изделий и технологий их изготовления. Сокращению затрат времени на этом этапе производства способствует автоматизация процедур и отработка предлагаемых конструкций и технологий на макетах, получаемых с использованием послойного синтеза. Разработана методика 3D проектирования и печати на 3D принтерах макетов технологической оснастки, в частности блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) [1]. Методика включает расчет и проектирование 3D конструкций с использованием программных продуктов «Ansys», «Компас-Вертикаль», «Solid Works» и технологий их изготовления механической обработки на токарных и фрезерных трехосевых станках модели «Emko» и «Robodrill», печати на 3D принтере типа «Моjo» и «гибридным» методом, совмещающим традиционные и аддитивные технологии (рисунок 1).



Отличительными особенностями полученных макетов «БМРИ» является «обтекаемость» форм корпусов и рациональные с точки зрения законов гидро- и аэродинамики конструктивных элементов для стружко- и теплоотвода, а также использование специальных балансирующих устройств (элементов).

Проведено математическое и физическое моделирование различных вариантов форм (цилиндрических, сферических, торовых) и расположения

конструктивных элементов (ортогональных и под углом) при обтекании жидкостями и воздушными потоками БМРИ.

Установлены оптимальные варианты конструкций, обеспечивающие минимальные энергозатраты, потери и совпадение стружко- и теплопроводящих потоков из рабочей зоны при статическом и динамическом положениях БМРИ.

Выполнены нормирование работ и оценка затрат при реализации различных технологий производств БМРИ, разработка которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка затрат на изготовление

<i>Метод изготовления блочно-модульного режущего инструмента:</i>		
<i>Традиционный</i>	<i>Аддитивный</i>	<i>Гибридный</i>
<i>≈1000 бел. рублей</i>	<i>≈ 350 бел. рублей</i>	<i>≈ 720 бел. рублей</i>

Как видно из таблицы 1, даже применение «гибридного» метода производства из полимерных материалов макета БМРИ позволяет сэкономить средства по сравнению с отработкой конструкций БМРИ на экспериментальных образцах из металла.

1. 3D макетирование сборных режущих инструментов для высокоскоростной обработки/ Н.Н. Попок, С.А. Портянко. Материалы 34-ой Международной научно-технической конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» - Минск: БНТУ, 2019 г. – с. 97-98.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.
Белорусский аграрный технический университет
Минск, Беларусь

Одним из принципиально важных и перспективных направлений повышения конкурентоспособности и дальнейшего технологического развития сельского хозяйства является комплексная компьютеризация производства. Технологические процессы и установки сельскохозяйственного производства относятся к сложным биотехническим объектам управления. Это, прежде всего, связано, с биологическим разнообразием характеристик животных, растений и почвы. А в соответствие с кибернетическим принципом У. Эшби разнообразие устройства управления должно быть не меньше разнообразия объекта управления. Кроме наличия биологической составляющей к особенностям построения систем управления в сельском хозяйстве относятся пространственная и временная распределенность и нестационарность, при этом многомерные зависимости вход/выход носят нелинейный и статистический характер, а даже кратковременный отказ автоматики может привести к большим потерям, вплоть до летального исхода для животных или растений [1,2].

При этом постоянное снижение стоимости программно-технических средств построения систем управления делает эффективным расширение сфер их применения. Благодаря этому и сельскохозяйственное производство, несмотря на его, относительно низкую удельную стоимость продукции, получает возможность широкомасштабных применений достижений научно-технического прогресса в области компьютеризации производства.

Компьютеризированные системы управления позволяют решать такие принципиально важные задачи как индивидуализация обслуживания животных и растений в длительном процессе их жизненного цикла, сокращение численности и необходимой квалификации персонала. Реализация этих идей позволяет существенно уменьшить удельные затраты кормов и энергии на производство, сократить численность обслуживающего персонала. Однако следует понимать, что положительные результаты не появятся сами по себе, а требуют серьезной подготовки при разработке и эксплуатации компьютеризированных систем управления. К сожалению, имеются примеры из практики эксплуатации современных систем автоматизированного управления микроклиматом помещений в свиноводстве и птицеводстве с серьезными экономическими потерями и гибелью животных.

В качестве примеров эффективной компьютеризации можно отнести автоматизированные доильные залы, обеспечивающие идентификацию животных, их щадящее доение, диагностику состояния животных и оборудования и архивацию данных. Суточный объем собираемой информации на молочно-товарном комплексе превышает 12 Мб. Обработка этих больших объемов данных позволяет получить новые знания. И компьютеризированные доильные залы стали необходимым элементом при модернизации и строительстве новых молочно-товарных комплексов. В то же время эффективность доильных роботов в условиях Беларуси требует аккуратного обоснования в силу высоких капитальных и эксплуатационных затрат.

Возросшие вычислительные возможности современных компьютеризированных контроллеров, позволяют осуществлять управление сложными биотехническими объектами без участия человека и тем самым кардинальным образом изменить подходы к проектированию технологического оборудования. Механизация производства была связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. Внедрение современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, может дать трех- и более кратное снижение металлоемкости оборудования и энергозатрат на выполнение основных технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Сложность сельскохозяйственного производства как объекта компьютеризации, нестабильность сырьевых и энергетических потоков требуют нетривиальных алгоритмов управления, дополнительных функций диагностики биологических объектов и технологического оборудования. Особое внимание необходимо уделять надежности программного обеспечения, предотвращению и корректному выходу из вероятных аварийных ситуаций.

1. Гируцкий, И. И. Компьютеризированные системы управления в сельском хозяйстве / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2014. – 221 с.

2. Луценко, Е.В. Моделирование сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе эмпирических данных большой размерности в системнокогнитивном анализе и интеллектуальной системе “ЭЙДОС-Х++” /Е.В. Луценко.// Научный журнал КубГАУ, № 91(07), 2013.- с.1-25.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ

Белявин К.Е., Шукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Разработана компьютерная программа расчета напряженно-деформированного состояния конструкционной углеродистой качественной стали при пластических деформациях. Разработанная программа включает, как минимум, три основных раздела: 1 – расчет напряженно-деформированного состояния в процессах обработки металлов давлением; 2 – расчет параметров технологии и проверку закономерностей пластического течения металла и феноменологической деформационной теории разрушения; 3 – расчет параметров структуры металла. В итоге компьютерная программа в целом должна содержать полную информацию о пластическом течении металла в ходе деформации. Это информация о тензоре, девиаторе и инвариантах напряжений, деформаций, скоростей деформаций, накопленных деформациях в любой момент времени и в любой точке очага деформации [1]. Так же необходима информация о геометрии очага деформации и контактных поверхностях в любой момент времени, нормальных и касательных напряжениях на контакте. Необходима информация о скоростях движения и траекториях перемещения материальных частиц металла в очаге деформации и жестких областях образца. Так же необходима информация о температурах материальных частиц металла в любой точке образца и в любой момент времени с учетом генерирования тепла при деформации, теплопередачи тепла в инструмент и окружающую среду [2, 3].

Полученная информация анализируется с целью определения областей в очаге деформации, в которых возможно разрушение металлов при полном исчерпании их пластических свойств или расчета в этих проблемных областях ресурса пластичности, в случае, когда пластические свойства металла не исчерпаны полностью. С учетом того, что пластические свойства металлов хорошо описываются вероятностным законом нормального распределения Гаусса, вместе с ресурсом пластичности определяется и вероятность разрушения. Программа также проверяет выполнение всех известных условий пластического течения: это условие пластичности, условие несжимаемости металла, условие упрочнения металла от накопленных деформаций, нелинейность накопления деформаций, условие увеличения предельных деформаций в зависимости от вида деформации, условие суммирования повреждаемости металла, эффект Баушингера при знакопеременном деформировании,

условие равновесия, закономерность подобия и коаксиальности девиаторов напряжения и скоростей пластической деформации.

Известно, что дислокации в металле могут быть двух видов: краевые и винтовые; возможно также их совместное присутствие в металле, и в этом случае их определяют как дислокации смешанного типа. Количественно дислокации, вне зависимости от вида, определяются плотностью дислокаций – суммарной длиной всех дислокаций в кубическом сантиметре материала. В исходном состоянии в металле всегда есть некоторая плотность дислокаций, которая увеличивается при деформации материала с ростом накопленных деформаций. Увеличение плотности дислокаций возможно также в ходе термообработки металла. В процессе же отжига металла при температуре выше 0,5 температуры его плавления и длительной выдержки плотность дислокаций снижается. Отмечено снижение роста плотности дислокаций при знакопеременном деформировании (эффект Баушингера), под действием импульсного тока исключительно в процессе деформации, а также в случае изменения фазового состава материала при деформации.

Разработанная компьютерная программа позволяет определять условную плотность дислокаций $U_{\text{УСЛ}}$, которая соотносится с реальной плотностью дислокаций U посредством нормирующего коэффициента K :

$$K = \Delta U_{\text{УСЛ}} / (3 \cdot U) \text{ } ^\circ \cdot \text{см}^3,$$

где $\Delta U_{\text{УСЛ}}$ – прирост условной плотности дислокаций.

В результате проведенных исследований установлены следующие закономерности: плотность дислокаций может служить мерой ресурса пластичности или повреждаемости металла при его деформировании без нагрева. Для горячих процессов обработки металлов давлением этой мерой может служить прирост плотности дислокаций от накопленных деформаций, то есть без учета роста плотности дислокаций от термического воздействия.

1. Абрамов, А.А. Использование пакета LS-DYNA для компьютерного моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / А.А. Абрамов, Г.В. Кожевникова // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2011. – № 2. – С. 41–50.

2. Kozhevnikova, G. Cross-wedge rolling / G. Kozhevnikova. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 132 с.

3. Абрамов, А.А. Программные средства автоматизации подготовки данных для компьютерного моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки// Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 458–466.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ РЕВЕРСИВНОЙ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ

Кожевникова Г.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Дальнейшее развитие оборудования и технологий поперечно-клиновой прокатки (ПКП) заключается в решении научной проблемы повышения эффективности процесса за счет разработки новых конструкций оборудования, направленных на повышение производительности, и наиболее полного использования пластических свойств обрабатываемых материалов. Принцип реверсивной ПКП (патент РБ 13362, патент РФ 2368448) заключается в том, что при изготовлении изделий типа ступенчатых валов методом ПКП, состоящим из формообразования прутковой заготовки путем перераспределения металла вдоль оси заготовки движущимися поперек оси двумя клиновыми инструментами, к одному клиновому инструменту налагают дополнительное возвратно-поступательное перемещение под углом от 0° до 90° к направлению его рабочего движения с определенной амплитудой и частотой колебаний. Приложение колебательного движения к направлению его рабочего движения на один из клиновых инструментов обеспечивает дискретную деформацию заготовки, состоящую из множества локальных деформаций с незначительными обжатиями, вследствие чего уменьшается контактная поверхность заготовки с инструментом и изменяется напряженно-деформированное состояние в очаге деформации: возрастают накопленные деформации в приконтактном слое и возрастают сжимающие гидростатические давления в очаге деформации.

Известно, что пластичность материала зависит от напряженного состояния, температуры деформации, скорости деформации, вида деформации (однонаправленной монотонной, разнонаправленной монотонной и разнонаправленной немонотонной). В результате компьютерного моделирования реверсивной ПКП установлено, что существуют оптимальные значения амплитуды и частоты колебаний, при которых можно достичь существенного (до 1,7 раза) снижения ресурса пластичности заготовок. Уменьшение востребованности пластичности металла заготовки позволяет уменьшить температуру ее нагрева и, соответственно, приводит к снижению энергопотребления процесса. Кроме того, возрастает чистота поверхности прокатанных валов за счет того, что одни и те же участки многократно локально деформируются.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА РАБОЧЕЙ ЗОНОЙ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Бурлаков Н.В., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь.

На сегодняшний день нельзя представить современное производство без автоматических линий и стальных манипуляторов. На многих предприятиях операторов уже заменили роботами, выполняющими рутинные операции по сборке и упаковке, работы в опасных и грязных условиях, чтобы снизить риск заболеваний и производственного травматизма.

Промышленные роботы запрограммированы на выполнение определенных операций и не способны реагировать на то, что рядом с ними могут работать люди. Поэтому при работе они могут угрожать жизни и здоровью человека. Однако не каждое производство может полностью отказаться от участия человека в производственном процессе [1]. Эти факторы способствовали созданию коллаборативных роботов (коботов) - автоматических устройств, которые могут работать совместно с человеком на производстве, которое нельзя полностью автоматизировать. Рассматриваемая автоматизированная система слежения создана для коллаборативного робота UR3, представленном на рисунке 1.



Рисунок 1 – Коллаборативный робот UR3

Простота программирования, быстрая настройка, гибкость при размещении, позволяющие автоматизировать любой ручной труд и легко интегрировать коллаборативного робота в производственные участки, все эти факторы способствуют широкому применению таких роботов в различных технологических процессах. С экономической точки зрения, использования коллаборативных роботов очень перспективна. По прогнозам компании ABI Research⁷ ожидаемый объем использования

коллаборативных роботов на 2019 год составит 23,8 тыс., на 2020 год — почти вдвое больше, 40 тыс. [2]. Активное развитие роботов дает новые возможности, но при этом влечет за собой и определенные риски. Как обеспечить безопасность совместной работы человека и робота на современном роботизированном производстве?

Разработанная система определяет присутствие рядом человека, что позволяет перейти в безопасный режим работы и замедлить движения робота, включая, в случае необходимости, резкую остановку. После того, как человек покинет зону безопасности, робот сразу возобновит работу. Это позволяет не терять время на перезапуск рабочей программы как в случае с полной остановкой робота.

Система слежения, благодаря видеокамере и нейронным сетям, обнаруживает человека и, в случае опасности, передаёт соответствующую информацию на экран событий [3].

Кроме того, созданная автоматизированная система при помощи машинного обучения и нейронных сетей способна распознавать лица допущенных к работе операторов. Для получения допуска к управлению роботом оператор становится перед камерой, она передаёт поток данных на сервер, где происходит распознавание лица. Это не позволит работникам, не имеющие доступ, изменять программу управления, тем самым снижается риск возникновения ошибок в работе робота.

Для более быстрого, удобного и наглядного управления роботом также разработано приложение с визуальным отображением машинного зрения, представленным в виде человеческих глаз, которое показывает оператору, в какую сторону переместиться коллаборативный робот.

Таким образом, рассматриваемая автоматизированная система слежения обеспечивает оператору безопасное и простое управление коллаборативным роботом.

Литература

1. Как роботы могут работать с человеком вместе, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416193/> - Дата доступа: 27.01.2020
2. Роботы и люди: безопасное сотрудничество, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://controlengrussia.com/innovatsii/robototehnika/lyudi-i-koboty/> - Дата доступа: 27.01.2020
3. Кобот (коллаборативный робот), [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/kobot/> - Дата доступа 26.01.2020

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Соломахо В.Л.¹, Цитович Б.В.²

- 1) Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;
- 2) Белорусский Государственный институт повышения квалификации и
переподготовки кадров по стандартизации, метрологии и
управлению качеством
Минск, Республика Беларусь

Контроль является составной частью любого технологического процесса, а степень его автоматизации неразрывно связана с качеством процесса. Преимуществами измерительного контроля являются его объективность (в отличие от экспертного контроля, имеющего бесспорно субъективный характер) и возможность управления точностью.

Цель измерения параметра при контроле – получение действительного значения измеряемой величины, погрешность которого может считаться практически равной нулю. Для этого необходимо иметь возможность управления погрешностями измерений, которые включают средств измерений, оператора (субъективные погрешности), условий измерений и методические погрешности, связанные с идеализацией объекта и процесса измерений.

Очевидными методами уменьшения погрешности являются применение высокоточных средств измерений и квалифицированных операторов высокой квалификации. Оператор вносит погрешности в процесс измерений из-за неидеального манипулирования средством и объектом измерений и из-за неидеального отсчитывания показаний при измерении. Вторая проблема устраняется автоматизацией процесса преобразования измерительной информации и выдачи результата измерений в цифровом коде. При таком подходе управление погрешностями весьма ограничено.

От составляющей погрешности, обусловленной неидеальным манипулированием средством и объектом измерений, полностью избавиться нельзя, но полная автоматизация измерений позволяет освободиться от субъективной составляющей погрешности, вносимой оператором. При автоматических измерениях оператор не нужен, значит отпадает вопрос о его квалификации.

Автоматизация измерительного контроля не позволяет полностью исключить субъективную составляющую погрешности измерений, поскольку остаются погрешности настройки (наладки) средств измерительного контроля. Эти погрешности могут быть связаны с неточной настройкой средства измерений, а также с неидеальной наладкой

автоматических устройств, осуществляющих «подключение» средства измерений к объекту. Например, при автоматическом измерении геометрических параметров детали, подача детали на контрольную позицию и её ориентирование зависят от точности наладки оборудования, а не от манипуляций оператора, повторяемых при каждом измерении вручную. При автоматическом измерении электрических параметров цепи средство измерительного контроля обеспечивает достаточно единообразное положение щупов и силу контактного взаимодействия, что затруднительно для оператора.

В зависимости от степени автоматизации различают автоматические измерения, автоматизированные измерения и неавтоматизированные измерения. К автоматизированным измерениям относят измерения с любым уровнем автоматизации: от измерения прибором с микропроцессором для автоматической обработки сигнала («электронный штангенциркуль», «электронные весы» и т.п.) до использования полностью автоматического прибора (термометр, манометр и др.).

Различия автоматических и автоматизированных измерений заключаются в том, что при автоматизированных измерениях оператору приходится в ручном режиме манипулировать средством и объектом измерений.

При измерении температуры детали автоматическим термометром прибор вручную устанавливают на деталь и отключают после получения выходного сигнала. При необходимости выполняют также иные операции. Качество работы оператора в неавтоматизированном режиме может существенным образом сказаться на точности измерений, в предельном случае сделав измерения бесполезными. Этим автоматизированные измерения отличаются от автоматических и сближаются с неавтоматизированными измерениями.

В отличие от полностью автоматических измерений, остальные их виды оказываются весьма чувствительны к мастерству оператора и тщательности его работы.

Главное отличие измерений от технологических процессов, связанных с изготовлением деталей, заключается в том, что вспомогательные технологические операции практически не влияют на точность формообразования детали. Тут автоматизированные процессы не слишком отличаются от автоматических и нужный уровень автоматизации процесса определяют из экономических соображений.

Важность полной автоматизации процесса измерений для обеспечения его точности в ряде случаев заставляет разработчика отказаться от стоимостных оценок процесс, удорожая его для достижения высокой технической эффективности, без чего его полезность сомнительна.

УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Попок Н.Н., Анисимов В.С.

Полоцкий государственный университет

Как правило, на токарных станках с ЧПУ стремятся обработать за одну операцию сложную комбинацию поверхностей деталей – цилиндрических, плоских граненых, конических, сферических и т.п., что экономически целесообразно. В этом случае необходимо обеспечить рациональное потребление мощности привода станка с целью экономии электроэнергии.

При проведении теоретических исследований обработки граненных поверхностей деталей концевой фрезой установлено [1], что нормальная сила резания уменьшается при увеличении угла наклона режущей кромки инструмента. Фрагмент зависимости нормальной силы резания от угла наклона режущей кромки инструмента представлен на рисунке 1.

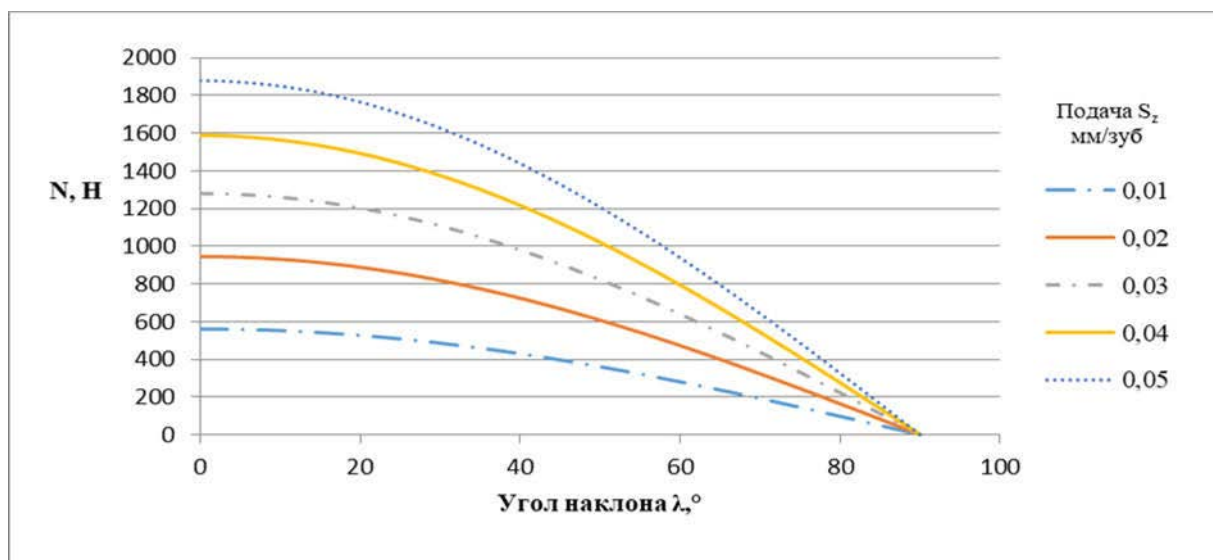


Рисунок 1. – Влияние угла наклона режущей кромки λ на нормальную силу резания

Уменьшение силы резания приводит к снижению потребляемой мощности резания и недогрузки привода станка. Управлению мощностью резания возможно за счет изменения угла наклона режущей кромки инструмента. Угол наклона режущей кромки на фрезе может быть получен как при ее заточке, так и в процессе резания за счет касательного движения режущей кромки по отношению к поверхности резания или обработанной поверхности детали (рисунок 2).

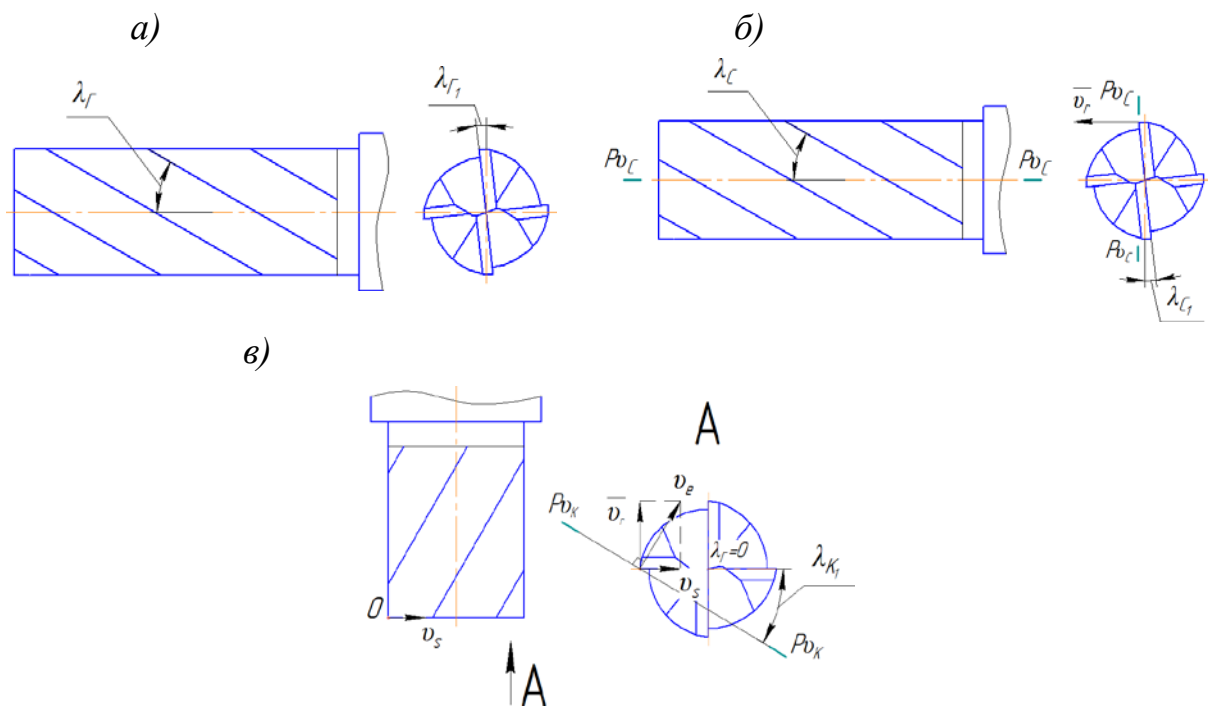


Рисунок 2. – Схема для определения угла наклона режущей кромки инструмента в инструментальной (а), статической (б) и кинематической (в) системах координат

С увеличением угла наклона режущей кромки увеличивается касательная составляющая скорости резания; также будет расти касательная составляющая скорости резания при увеличении линейной скорости вращения фрезы. В свою очередь увеличение результирующей скорости резания приведет к росту мощности резания.

Был проведен расчет мощности резания при значениях геометрического угла наклона режущей кромки инструмента равных 0° , 30° , 45° , 60° и 90° , а также значениях линейной скорости вращения фрезы от 60 до 120 м/мин. Результаты расчета при выбранных условиях обработки показывают, что наиболее целесообразное потребление мощности привода в пределах 80-85% от номинальной наблюдается при значениях угла наклона режущей кромки инструмента $\lambda = 30-60^\circ$ и скорости резания 80-100 м/мин. В итоге имеется возможность увеличение производительности обработки за счет регулирования угла наклона режущей кромки и скорости резания, а также увеличение подачи и глубины резания.

Список литературных источников:

1. Попок, Н.Н. Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки / Н.Н. Попок, В.С. Анисимов // Вестник ПГУ, сер. В., №11, 2019.

КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЫ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Реентович И. А., Околов А.Р.,

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Коллаборативный робот (кобот) – кооперативный робот, автоматическое устройство, предназначенное для совместной работы с человеком для производства или разработки различных продуктов. Коботы применяются на производстве в решении задач, которые нельзя полностью автоматизировать.

Коботы решают задачу, прежде всего, безопасности человека-напарника, т. е. затрагивают аспект физического взаимодействия. Для расширения их функционала выглядит перспективным охватить и информационный аспект. Для этого необходимо снабдить кобот искусственным интеллектом.

Рассмотрим один из вариантов реализации кобота с искусственным интеллектом. Пальцы роботизированной руки оснащены инерционными датчиками движения и силы, которые способны контролировать момент движения и усилие. Сенсоры обеспечивают обратную связь с системами управления рукой, сообщая о совершаемых движениях самой руки и пальцев, а также о контакте с объектом. Кроме того, они передают информацию о том, правильно ли расположен объект в руке для дальнейшей манипуляции. Другими словами, комплекс датчиков наделяет руку контактным восприятием, имитирующим чувство осязания.

Манипулятор оснащен самообучающимся модулем искусственного интеллекта, способным просчитывать оптимальный способ взаимодействия руки с предметами и совершения разных действий в кратчайшие сроки. Манипулятор получает данные не только от встроенных тактильных сенсоров и датчиков давления, но и от 3D-камер с восприятием перспективы, что необходимо для анализа предметов и движений в зоне действия такого робота. Методы машинного обучения сравнимы с человеческими: они требуют обратной связи, будь она позитивная или негативная, следуя этим действиям, чтобы их классифицировать и запоминать.

Кобот использует метод обучения на основе подкрепления приобретенных навыков. Перед началом манипуляции объектом система искусственного интеллекта перебирает все возможные комбинации того, как правильно взять объект, как его повернуть и положить на заданное место. Для этого используется комплексная виртуальная симуляция, в которой методом проб и ошибок подбирается правильный вариант дальнейшего действия. Все это реализуется на основе полученных откликов от встроенных датчиков и системы машинного зрения

ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИНЕЙНОГО УПРЕДИТЕЛЯ СМИТА

Кулаков Г.Т., Шляхтович Н.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) получили широкое распространение в области автоматизации технологических процессов и производств. Это объясняется тем, что в системе имеется регулятор, который получает без запаздывания информацию о действии внутренних возмущений. Если объект регулирования с запаздыванием таков, что невозможно измерить никакой величины, не содержащей запаздывания, то используются специальные регуляторы Смита или Ресвика [1]. Это в наибольшей степени относится к тем объектам, у которых относительная постоянная времени передаточной функции по каналу регулирующего воздействия меньше единицы. В этом случае основной регулятор охвачен отрицательной обратной связью той части передаточной функции объекта, которая не содержит запаздывание, а также положительной обратной связью полной модели объекта с запаздыванием для компенсации сигнала главной обратной связи при отработке скачка задания. Однако при этом плохо отрабатывается внутреннее возмущение, так как сигнал о его появлении появился на входе в основной регулятор через промежуток времени, равный запаздыванию по каналу регулирующего воздействия. Для устранения этого недостатка предложено использовать модифицированный упредитель Смита, у которого выход основного регулятора поступает на вход неполной и полной модели объекта через передаточную функцию опережающего участка объекта [2]. В этом случае информация о появлении внутреннего возмущения поступает на вход основного регулятора без запаздывания через эквивалентную передаточную функцию как последовательное соединение опережающего участка и неполную модель объекта. При этом структуру основного регулятора определяют на основе эквивалентной передаточной функции с использованием передаточной функции регулятора при обработке скачка задания. В результате чего качество регулирования при отработке скачка задания приближается к запаздыванию по каналу регулирующего воздействия, а при обработке внешнего возмущения – к удвоенному значению условного запаздывания. Однако максимальная динамическая ошибка регулирования приближается к коэффициенту передачи передаточной функции крайнего внешнего возмущения. Для устранения этого недостатка предлагается использовать инвариантную САР с выделением эквивалентного внешнего возмущения, структурная схема которого приведена на рис. 1

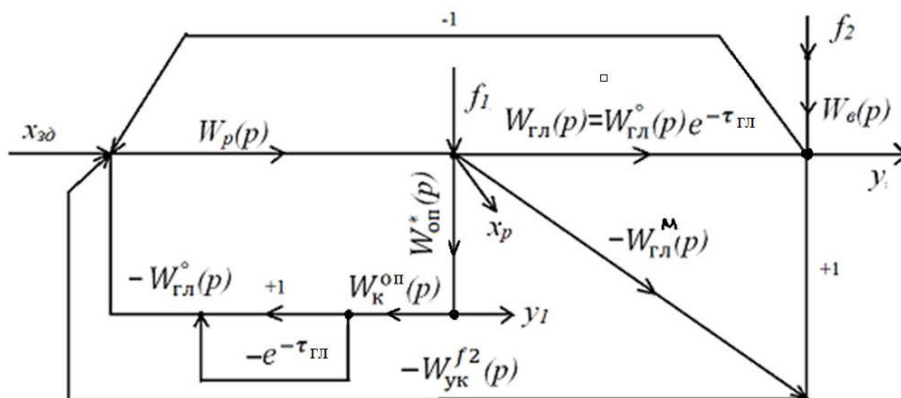


Рис. 1 Структурная схема САР на базе модифицированного линейного упредителя Смита: y , y_1 – соответственно основная и промежуточная регулируемые величины; x_p – регулирующие воздействие; f_1 , f_2 – соответственно внутреннее и крайнее внешнее возмущение; $x_{зд}$ – заданное значение регулируемой величины; передаточные функции: $W_{оп}^*(p)$ – опережающего участка; $W_{к}^{оп}(p)$ – компенсатора динамики опережающего участка; $W_{зл}(p)$ – главного участка; $\tau_{зл}$ – запаздывание по каналу регулирующего воздействия; $W_{гл}^o(p)$ – части передаточной функции главного участка, которая не содержит запаздывания; $W_{гл}^{мод}(p) = W_{зл}(p)$ – модели главного участка; $W_p(p)$ – регулятора; $W_{ук}^{f2}(p)$ – устройства компенсации внешнего возмущения; $W_e(p)$ – крайнего внешнего возмущения.

В отличие от САР, приведенной в [2], структуру основного регулятора и упредителя Смита определяют на основе функции только главного участка объекта регулирования, а не на основе передаточных функций инерционного и опережающего участков объекта. Для этого между выходом опережающего участка и входом в линейный упредитель Смита добавлена передаточная функция компенсатора динамики опережающего участка, а выход основного регулятора подаем не только на вход объекта, а также на вход нашей модели главного участка, выход которого сравниваем с сигналом основных регулируемых величин. Полученная при этом разность подается на вход устройства компенсации эквивалентного внешнего возмущения, выход которого с минусом подключаем к входу основного регулятора. Структуру основного регулятора определим на базе той части передаточной функции главного участка, которая не содержит запаздывания. При этом оптимальный основной регулятор может быть реализован на базе реального ПИД-регулятора с одним расчетным параметром динамической настройки, численное значение которого зависит от доли величины запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Передаточную функцию опережающего участка объекта регулирования представим в виде инерционного звена первого порядка:

$$W_{оп}^*(p) = k_{оп} / T_{оп}^* p + 1 \quad (1)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент передачи; $T_{оп}^*$ – постоянная времени передаточной функции опережающего участка; p – оператор Лапласа.

Передаточная функция главного участка имеет вид инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием:

$$W_{\text{гл}}(p) = k_{\text{гл}} \cdot e^{-\tau_{\text{гл}}} / [(T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} + 1)] \quad (2)$$

где $k_{\text{гл}}$ – коэффициент передачи главного участка объекта, $T_{\text{гл}}$, $\sigma_{\text{гл}}$ – большая и меньшая постоянные времени передаточной функции главного участка, $\tau_{\text{гл}}$ – условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия [2].

С учетом передаточной функции (2), передаточная функция неполной модели внутреннего контура системы примет вид:

$$W_{\text{гл}}^{\circ}(p) = k_{\text{гл}} / [(T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} + 1)] \quad (3)$$

В результате заданная передаточная функция внутреннего контура примет вид:

$$W_{\text{зд}}(p) = 1 / [(T_{\text{зд}} \cdot p + 1)^2] \quad (4)$$

где $T_{\text{зд}}$ – заданная постоянная времени критерия оптимальности.

С учетом передаточной функции (3), передаточная функция оптимального регулятора примет вид реального ПИД-регулятора [3]:

$$W_{\text{р}}(p) = (T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} \cdot p + 1) / k_{\text{гл}} \cdot 2 \cdot T_{\text{зд}} \cdot p \left(\frac{T_{\text{зд}}}{z} p + 1 \right) \quad (5)$$

Здесь $T_{\text{зд}}$ – единственный расчетный параметр динамической настройки системы, численно равный доле γ от условного запаздывания по каналу регулирующего воздействия $T_{\text{зд}} = \gamma \cdot \tau_{\text{гл}}$

Предложенная САР не требует знания передаточной функции внешних возмущений и обеспечивает более высокую динамическую точность по сравнению с типовой САР на базе модифицированного линейного упредителя Смита.

1. Гурецкий. Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием: Пер. с польского / Х. Гурецкий. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
2. Теория автоматического управления : учеб.-метод. пособие / Г. Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г. Т. Кулакова. – Минск : БНТУ, 2017. – 133 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами : учеб. пособие / Г. Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г. Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ЗДАНИЕМ

Лившиц Ю.Е., Несмашных А.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Функционирование современных зданий невозможно без надёжной и эффективной системы управления, которая должна обеспечивать комфорт и безопасность людей, работающих или проживающих в здании, надёжную и эффективную его эксплуатацию, а также оптимизировать энергозатраты. Автоматизированная система управления зданием (АСУЗ), гарантирует высокие стандарты его эксплуатации.

Современное здание должно отвечать комплексу требований по безопасности, уровню комфорта и эффективности использования энергоресурсов. Выделяют три основные цели АСУЗ: экономия, комфорт и безопасность. Приоритетная цель определяется назначением здания. Например, в производственном здании основной целью может быть обеспечение стабильности технологического процесса, с максимальной экономией ресурсов. В офисном здании это обеспечение комфорта работников и возможной экономией ресурсов, идущих на содержание здания. В частном домостроении приоритетом может быть комфорт жителей и их безопасность и т.д.

Использование АСУЗ позволяет за счёт комплексной интеграции достигнуть экономии 10-15% по сравнению с отдельными системами. Потребление энергии, воды, газа, тепла сокращается приблизительно на 30% [1]. Соответственно, снижаются выбросы в окружающую среду и затраты на их утилизацию. В свою очередь, применение современных энергосберегающих технологий позволяет снизить подводимые мощности и ресурсы.

Общая интегрированная система автоматизации разделяется на локальные системы, которые управляют процессами в рамках одной подсистемы здания.

В системе управления зданием можно выделить две подсистемы: **систему диспетчеризации** и **программный комплекс**, обеспечивающий интеграцию автономно автоматизированных систем.

Система диспетчеризации предназначена для удалённого сбора и хранения показаний полевых устройств и датчиков, а также для контроля за параметрами управления режимами работы, выявления нештатных ситуаций, ведения отчётности.

Система интеграции обеспечивает обмен данными между системами и учёт данных, получаемых от одной системы в алгоритмах работы другой системы.

Чаще всего системы управления зданием реализуются на нескольких уровнях.

К самому нижнему уровню относят устройства, с помощью которых получают информацию от приборов и инженерных коммуникаций. К этим устройствам относятся исполнительные аппараты, датчики, а также, интерфейсные кабели, которые идут к среднему уровню.

К среднему уровню причисляют всё, что касается автоматического управления. В том числе, сюда относятся контроллеры управления, коммутационная аппаратура, а также, модули для ввода и вывода сигналов.

На верхнем уровне располагается диспетчеризация и администрирование. Сюда можно отнести базы данных, библиотеки запросов к ним, функции, а также интерфейс взаимодействия персонала и машин.

С использованием данных принципов была разработана АСУЗ производственного здания. Её структура представлена на рисунке 1.

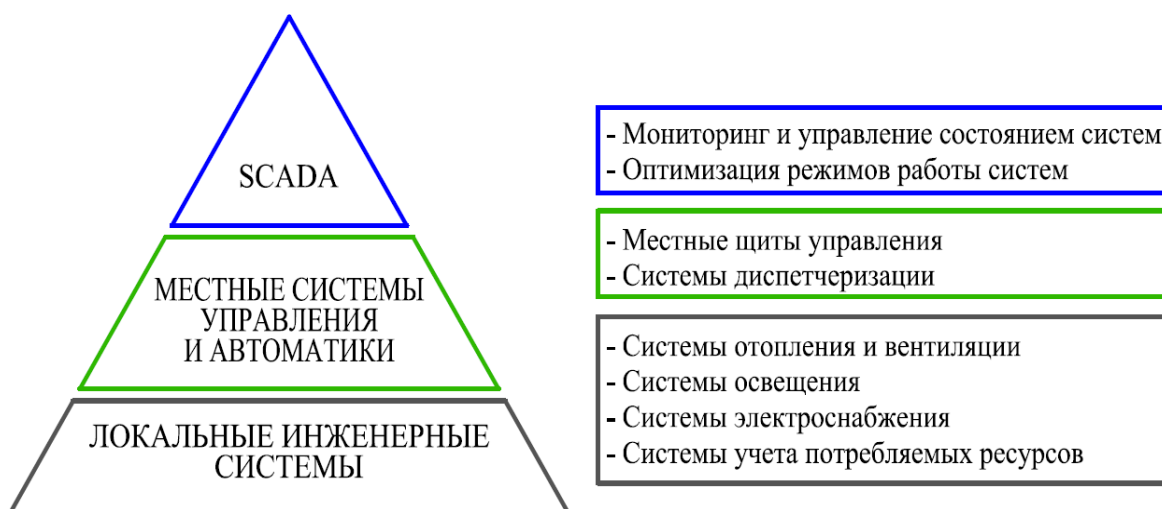


Рисунок 1 – Структура и функции АСУЗ

Проектом предусматривается:

- сбор сведений о состоянии котельных установок;
- мониторинг и управление состоянием систем вентиляции;
- сбор информации о состоянии щитов электропитания;
- дистанционное управление системами внешнего освещения;
- передача данных диспетчеру и интеграция в действующую SCADA-систему квартала.

Пасеков В. Ф. «Умный дом» — технология, «обреченная» на успех!//Стройпрофиль.–2011.–№6-11

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТЖИГА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современный этап развития научно-технического прогресса характеризуется автоматизацией производственных технологических процессов, основу которой составляют управляющие вычислительные комплексы в составе гибких автоматизированных систем, обеспечивающих управление технологическим процессом либо без непосредственного участия человека, либо при принятии им наиболее ответственных решений. Для повышения объемов производства и качества при изготовлении продукции микроэлектроники широко используются роботы-манипуляторы, обеспечивающие транспортировку заготовок кремниевых пластин в заданные точки технологического процесса.

В докладе рассматривается технологическая схема организации процесса транспортировки кремниевых пластин двухзвенным электромеханическим роботом-манипулятором от участка загрузки (подающей кассеты) к пункту геометрической ориентации, далее к реактору, в котором производится непосредственно операция отжига, после этого робот доставляет пластину к месту охлаждения и далее в конечную точку технологического процесса (приемную кассету).

Физически манипулятор построен в виде SCARA-модели, для управления его работой применен микроконтроллер фирмы OMRON, программная поддержка реализована в среде Sysmac Automation Studio.

Общий вид оборудования для технологического процесса отжига кремниевых пластин приведен на рис. 1.



Рис.1 – Устройство автоматизации отжига кремниевых пластин

ГАРМОНИЗАЦИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ НА ЧУГУНЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ

Покровский А.И., Хина Б.Б., Толкачева О.А.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Структура производства металлического литья в Беларуси достаточно специфична (рис. 1). Большинство предприятий продолжает выплавлять низкокачественные марки серых и ковких чугунов. Лишь немногие предприятия освоили и выпускают высокопрочный чугун (например, Гомельский завод литья и нормалей (ГЗЛИН), Столбцовский ф-л Минского моторного завода).



Рис. 1. Структура выпуска металлического литья в Беларуси

Между тем, зарубежный опыт показывает, что перспектива не за обычными высокопрочными чугунами, а за так называемыми бейнитными высокопрочными чугунами. В странах СНГ они обозначаются АБЧ (аустенито-бейнитный чугун) или АБЧШГ (аустенитно-бейнитный чугун с шаровидным графитом), в немецкоязычной литературе - Zwischenstufenvergütung von Gusseisen mit Kugelgraphit (улучшенный в промежуточной области превращений чугун с шаровидным графитом). Наиболее употребительно англоязычное сокращение: ADI (Austempering Ductile Iron) – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, закаленный на бейнитную структуру. Этот тип чугунов отливает пока только ГЗЛИН.

Однако нормативная база на данный тип чугунов в Беларуси отсутствует. Нами проведен выбор наиболее пригодного для гармонизации зарубежного стандарта. Сравнивая ISO-17804-2005, EN 1564:2011 и EN 1564:2012 мы оценивали как год выпуска, так и техническую содержательность текста. В EN 1564:2011 имеется весьма проработанное Приложение F (по степени шаровидности графита). Стоит отметить, что уже имеется официальный перевод EN 1564:2011, но в нем много ошибок.

Таким образом, EN 1564:2011 (+ версия 2012г.) действительно несколько лучше, чем ISO 17804:2005, но она вовсе не более новая. Согласно официальному сайту ISO (см. <https://www.iso.org/standard/33244.html>) ISO 17804:2005 последний раз пересмотрен и подтвержден в 2014г. и является действующим на сегодняшний день. Окончательным аргументом пользу ISO 17804:2005 является то, что он разработан организацией ISO (International Organization

for Standardization), которая считается более солидной, чем European Committee for Standardization – CEN (Европейский Комитет по Стандартизации), который разрабатывает стандарты с маркировкой EN, или Евронормы.

Гармонизация (адаптация, унификация) стандарта – это приведение его содержания в соответствие с действующим и наиболее передовым в мире стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции, взаимного понимания результатов испытаний и информации. В Европе гармонизовано с международными 80% национальных стандартов. В России к настоящему времени принято различными методами до 20% стандартов ISO. Существуют два типа гармонизированных стандартов: 1) Идентичные (гармонизованные стандарты, полностью идентичные по содержанию и по форме). Это точный перевод международного стандарта и новая обложка (т.н. «метод обложки»). 2) Измененные или модифицированные (MOD) – то же, но с дополнительными требованиями, отражающими национальную специфику.

В данной работе изложен опыт гармонизации и показано, как важно сразу же включить работу в «План государственной стандартизации Республики Беларусь» (рис. 2). Это снимет множество последующих юридических проблем.

На сегодняшний день выполнены работы по гармонизации и создан проект (первая редакция) белорусского аналога СТБ международного стандарта ISO 17804:2005 Founding - Ausferritic spheroidal graphite cast irons - Classification (Отливки. Аусферритный чугун с шаровидным графитом. Классификация) (рис. 3).

1	2	3	4	5	6
2.1.3-009.18 77.080.10	Производство литойной аусферритной чугуна с шаровидным графитом Разработка СТБ	Гармонизация с EN 1564:2011	декабрь 2018	декабрь 2018	Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»
2.1.3-010.18 77.080.10	Литье аусферритные отливки из чугуна с шаровидным графитом. Классификация Разработка СТБ	Гармонизация с ISO 17804:2005	декабрь 2018	декабрь 2018	Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»
2.1.3-001.19 77.080.01	Сталь и чугун. Определение содержания никеля, меди и кобальта. Спектрометрический метод атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой. Часть 2. Определение содержания никеля Разработка СТБ Принятие ISO 13898-2:1997	Гармонизация с международными требованиями. Установление спектрометрического метода атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой для определения содержания никеля. Предложение ОАО «БМЗ» (иск. № 4/298 от 03.05.2018)	март 2019	март 2020	УП «Межотраслевая хозрасчетная лаборатория по нормированию и экономии драгоценных металлов и драгоценных камней»
2.1.3-002.19 77.080.01	Сталь и чугун. Определение содержания никеля, меди и кобальта. Спектрометрический метод атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой. Часть 3. Определение содержания меди Разработка СТБ Принятие ISO 13898-3:1997	Гармонизация с международными требованиями. Установление спектрометрического метода атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой для определения содержания меди. Предложение ОАО «БМЗ» (иск. № 4/298 от 03.05.2018)	март 2019	март 2020	УП «Межотраслевая хозрасчетная лаборатория по нормированию и экономии драгоценных металлов и драгоценных камней»
2.1.3-003.19 77.140.05	Производство стальной и кованой проволоки для армирования рукавов Разработка СТБ Принятие ISO 23717:2006	Гармонизация с международными требованиями. Установление состава, размеров и механических свойств стальной проволоки с высокой массовой долей углерода, обычно покрытой латуной, для армирования рукавов высокого давления. Предложение ОАО «БМЗ» (иск. № 4/298 от 03.05.2018)	март 2019	март 2020	УП «Межотраслевая хозрасчетная лаборатория по нормированию и экономии драгоценных металлов и драгоценных камней»



Рис. 2. Фрагмент плана государственной стандартизации Республики Беларусь

Рис. 3 Обложка СТБ международного стандарта ISO 17804 ПР 1

Первая редакция разослана на рецензирование белорусским предприятиям. Ориентировочно новый стандарт будет введен в действие на территории Беларуси в конце 2020г.

Таким образом, будет создана нормативная база для широкого внедрения ADI-чугуна взамен низкокачественных марок.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АСКУЭ

Гутич И.И., Ракицкий В.С., Ткачев В.Л.

Белорусский национальный технический университет, г.Минск

Приложение АСКУЭ “Софит Сбор” является клиент-серверным приложением, в котором клиент взаимодействует с системой при помощи веб-браузера. Данная система предоставляет пользователю следующие возможности: просматривать собранные данные из счетчиков в реальном времени, печатать просматриваемые данные, экспортировать в MS Excel, сохранять данные в файлах различных форматов, строить графики, просматривать события, просматривать статус данных, отслеживать качество получения данных.

Пользователь должен иметь навыки работы с Microsoft Windows XP/7/10, любым веб-браузером, MySQL и SQL.

Клиентская часть представлена в виде одностраничного веб-приложения. Этот подход позволяет имитировать работу настольных программ, при котором не нужно устанавливать дополнительное программное обеспечение. Для одностраничного веб-приложения нужен лишь веб-браузер, который обычно устанавливается вместе с любой современной операционной системой. Одностраничные приложения работают в рамках браузера и не требуют перезагрузки страницы или загрузки дополнительных страниц во время использования.

Преимущества одностраничных веб-приложений:

- приложения характеризуются отличным быстродействием, так как большинство ресурсов, которые они используют (HTML+CSS+Скрипты), загружаются лишь однажды в течение сессии использования приложения. После совершения действий на странице меняются лишь данные.

- разработка веб-приложений обычно быстрее и эффективнее, нет необходимости писать отдельный код для рендера страницы на стороне сервера. Легче запустить процесс разработки подобных приложений, так как писать код можно начинать с файла file://URI, не используя при этом сервер.

- одностраничные веб-приложения более эффективны в кэшировании данных на локальных носителях. Приложение высылает один запрос, собирает все необходимые данные, и с этого момента способно работать даже в режиме офлайн.

Основу платформы, предназначенной для создания веб-приложений, составляет JavaScript, HTML и CSS3. В данной системе в качестве фреймворка для создания быстрого современного веб-приложения выбран Angular. Преимуществами Angular является наличие cli системы, использование typescript, компонентный подход, наличие RxJS,

модульность и Dependency Injection. TypeScript – язык программирования, представленный Microsoft в 2012 году и позиционируемый как средство разработки веб-приложений, расширяющее возможности JavaScript. TypeScript отличается от JavaScript возможностью явного статического назначения типов, поддержкой использования полноценных классов (как в традиционных объектно-ориентированных языках), а также поддержкой подключения модулей, что призвано повысить скорость разработки, облегчить читаемость, рефакторинг и повторное использование кода, осуществлять поиск ошибок на этапе разработки и компиляции, и, как правило, ускорить выполнение программ. TypeScript является обратно совместимым с JavaScript и компилируется в последний.

Серверная часть представлена связкой NodeJS и MySQL. Node.js (или просто Node) — это серверная платформа для работы с JavaScript через движок V8. JavaScript выполняет действие на стороне клиента, а Node — на сервере. С помощью Node можно писать полноценные приложения. Node умеет работать с внешними библиотеками, вызывать команды из кода на JavaScript и выполнять роль веб-сервера. С Node проще масштабироваться. При одновременном подключении к серверу тысяч пользователей, Node работает асинхронно, ставит приоритеты и распределяет ресурсы более рациональнее. Java же выделяет на каждое подключение отдельный поток. Другими преимуществами NodeJS являются богатая стандартная библиотека, огромное наличие внешних библиотек и готовых модулей, быстрый движок V8. Для хранения данных используется реляционная база данных MySQL. Преимуществами MySQL являются разные механизмы хранения данных, наличие возможности резервного копирования данных, наличие транзакции, возможность горизонтального и вертикального масштабирования, возможность создание реплик, развитые команды для работы с JSON. MySQL предоставляет возможность работать с оконными функциями, хранимыми процедурами, динамическим SQL. Эти возможности позволяют разрабатывать сложные системы и приложения.

Литература

1. Бэрон Шварц, Петр Зайцев, Вадим Ткаченко MySQL по максимуму. Оптимизация, репликация, резервное копирование. – Москва: 2018.
2. Фримен Эрик, Робсон Элизабет Изучаем программирование на JavaScript. – Питер: 2015.
3. Холмс С. Стек MEAN. Mongo, Express, Angular, Node. – Питер: 2017.
4. Файн Я., Моисеев А. Angular и TypeScript. Сайтостроение для профессионалов. – Питер: 2018.

БЕССЕРВЕРНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОДА В РАМКАХ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

- 1) Белорусский национальный технический университет;
- 2) Иностранное производственное унитарное предприятие

«Дана Нетворкс»

Минск, Республика Беларусь

Бессерверное (сервернонезависимое) выполнение кода – это способ использования программных продуктов путем запуска специфичных функций по требованию. Главное преимущество такого подхода состоит в возможности запуска приложений в любой произвольный момент времени без необходимости развертывания и поддержки соответствующей программной аппаратно-программной среды, состоящей оборудования, операционной системы и необходимых системных и прикладных модулей. Такой подход в определенных случаях может ощутимо сократить издержки компании, т.к. в этом случае нет необходимости в приобретении и поддержки функционирования серверной инфраструктуры, особенно в условиях ее функционирования в режиме 24/7.

В рамках наиболее популярной облачной платформы Amazon Web Services (AWS) сервернонезависимое выполнение кода реализовано на базе так называемых лямбда функций. Такие функции могут быть неализованы на базе языков программирования: Node.js, Python, Java, C# и Go. Лямбда функции функционируют в условиях совокупности распределенных серверов, но с учетом изолированного их выполнения в рамках специфики конкретных учетных записей облачной платформы. Код лямбда функций может обращаться к постоянным хранилищам данных, а также предусмотрены сеансы запуска в условиях временного 500 Мб пространства по временном каталоге /temp.

Второй по популярности платформой облачных вычислений является Microsoft Azure, которая с 2016 года поддерживает аналогичный лямбда функциям AWS механизм - Azure Cloud Functions, которые поддерживают более широкий, чем AWS список языков программирования: C#, Javascript, F#, Java, Python, PHP, TypeScript, Batch, Bash и PowerShell.

В третьей по широте использования платформе, поддерживающей сервернонезависимое выполнение кода является Google Cloud Platform соответствующий функционал реализован на базе Google Cloud Functions на базе сопоставимого с конкурентами списка языков программирования (Java, Node.js, Python, C#/.NET, Go, Ruby, PHP).

Перечисленные платформы не только отличаются по популярности, но и обладают рядом специфичных для себя механизмов, позволяющими осуществить тонкую настройку приложений в рамках облачных платформ в том числе с учетом особенностей монетизации сервисов.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЙ И СЕРВИСОВ В РАМКАХ ПОПУЛЯРНЫХ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ

Дербан А.Н., Дербан Д.Н.

Белорусский национальный технический университет;
Минск, Республика Беларусь

С каждым годом растет популярность облачных платформ и решений для развертывания инфраструктуры информационных ресурсов крупных и средних организаций. В подавляющем большинстве случаев на предприятиях используется довольно обширный перечень программных продуктов, которые функционируют в облаке в рамках совокупности виртуальных серверов и сервисов, администрируемых на базе множества учетных записей. С течением времени осуществляется обновление и адаптация программного обеспечения под постоянно изменяющиеся условия функционирования современных предприятий. Очевидно, что чем более развита инфраструктура организации, чем дольше она функционирует и чем обширней функционал системного и прикладного программного обеспечения, тем все сложнее осуществить комплексную оценку проблем информационной безопасности.

Одним из современных подходов в области анализа кибербезопасности облачных решений являются так называемые CloudBots - автономные программные модули. В случае наступления определенного события активируется соответствующий CloudBot, который способен протоколировать или даже блокировать выявленную уязвимость. Типичными примерами правил могут выступать ситуации, связанные с активностью приложения на определенном сетевом порту, сбое и ошибки авторизации и т.д.

Реализованные в CloudBots технологии базируются на программных платформах с открытым исходным кодом, что позволяет их использовать в популярных облачных решениях: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform (GCP). Для развертывания в рамках AWS необходимо использовать сервис Amazon Simple Notification Service (SNS), который запускает на выполнение так называемую лямбда функцию, которая в свою очередь инициирует вызов необходимого CloudBot. Возникшие ошибки в процессе функционирования (не выполняется набор правил, связанных с ботом) регистрируются средствами SNS, кроме того протоколируются все необходимые параметры, выявленной ботом проблемы.

Иницируя запуск как стандартных, так и разработанных самостоятельно CloudBots в совокупности с сервисом регистрации и обработки событий, можно существенно повысить уровень безопасности сетевой инфраструктуры организации, функционирующей в облаке.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ МОДУЛИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОДАЧИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СТАНКА С ЧПУ

Каштальян И.А., Шпак А.В., Романенко В.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Известен способ повышения виброустойчивости технологической системы при изготовлении нежестких деталей на токарных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Способ заключается в замене постоянной подачи резца переменной, модулированной подачей, которую между ее пиковыми значениями изменяют приращениями, величиной кратной дискретности задания скорости подачи на станке, причем длину перемещения резца между приращениями подачи выбирают кратной дискретности перемещения резца по управляемой, при обработке с модулированной подачей координате [1].

Недостатком данного способа является постоянная частота изменения подачи между ее пиковыми значениями (постоянная длина пути разгона замедления) при отработке кадра управляющей программы. Этот недостаток при осуществлении на станке вибрационного резания в отдельных случаях приводит к резонансным явлениям. Для уменьшения вероятности проявления резонанса предложен модифицированный алгоритм модулированной подачи. Сущность алгоритма заключается в том, что при обработке с заменой постоянной подачи переменной модулированной подачей, которую между ее пиковыми значениями изменяют приращениями, величиной кратной дискретности задания скорости подачи увеличивают на величину кратную дискретности задания скорости подачи на станке, причем длину перемещения резца между приращениями подачи выбирают кратной дискретности перемещения резца по управляемой при обработке с модулированной подачей координате и после каждого очередного разгона (замедления) длину пути перемещения резца между приращениям подачи увеличивают на величину кратную дискретности перемещения по управляемой при обработке координате (Рис. 1).

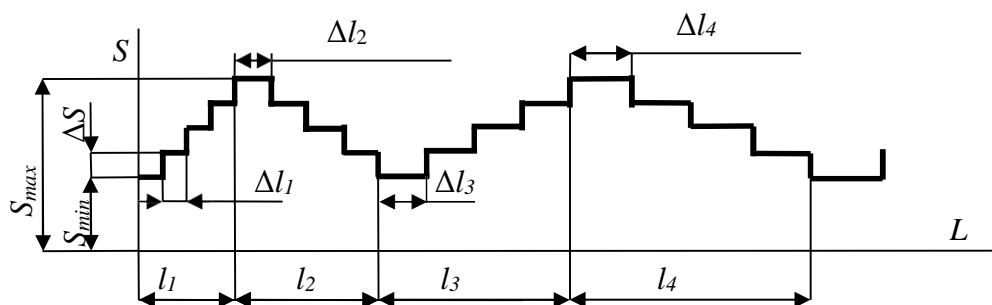


Рис. 1 – Диаграмма модулированного изменения подачи

Модулированное изменение подачи заключается в периодическом ее увеличении от S_{\min} до S_{\max} с последующим снижением до первоначального значения. Подача между ее пиковыми значениями изменяется приращениями на величину ΔS по мере обработки участков между этими приращениями определенной длины. Для этого устройство ЧПУ поочередно реализует зависимости $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$ и $S_{\min} = S_{\max} - n_s \Delta S$, где n_s - число приращений скорости подачи при ее изменении от S_{\min} до S_{\max} . Фактически реализуется циклический процесс изменения подачи между ее пиковыми значениями. В первом цикле изменение подачи (разгон от S_{\min} до S_{\max}) осуществляется приращениями на величину ΔS по мере обработки участков заготовки Δl_1 между этими приращениями. Длина пути разгона при этом определяется из выражения $l_1 = n_s \Delta l_1$. Во втором цикле изменение подачи (замедление от S_{\max} до S_{\min}) длину участка заготовки между приращениями подачи, принятую в первом цикле, увеличивают на величину $\Delta l'$, кратную дискретности перемещения по управляемой при обработке заготовки координате, т.е. $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta l'$. Тогда длина пути замедления в этом цикле увеличится и может быть определена по следующей зависимости $l_2 = n_s \Delta l_2 = n_s (\Delta l_1 + \Delta l')$. Значения Δl_3 и l_3 в третьем цикле изменения подачи (разгон от S_{\min} до S_{\max}) соответственно могут быть определены из выражений: $\Delta l_3 = \Delta l_1 + 2\Delta l'$; $l_3 = n_s (\Delta l_1 + 2\Delta l')$. Такой процесс наращивания в каждом цикле разгона (замедления) длины участка пути перемещения резца между приращениями подачи на величину $\Delta l'$ будет осуществляться до конца отработки кадра управляющей программы.

Значение ΔS выбирается кратным дискретности задания подачи на станке с ЧПУ (максимальному значению скорости подачи, которое может быть задано в управляющей программе и отработано приводом подачи). Значения Δl_1 и $\Delta l'$ принимаются кратными дискретности перемещения (длине перемещения исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импульса). Для современных станков с ЧПУ минимальное значение ΔS равно 0,1 мм/мин, а минимальные значения Δl_1 и $\Delta l'$ могут быть приняты 0,001 мм.

В кадре управляющей программы совместно с другой геометрической и технологической информацией задаются значения $S_{\min}, n_s, \Delta S, \Delta l_1, \Delta l'$. Параметры $(S_{\min}, \Delta S, n_s, \Delta l_1, \Delta l')$, характеризуют режим перемещения режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности заготовки (детали) в процессе ее формообразования (обработки) с модулированной подачей. Фактически эти параметры определяют последовательность действий над обрабатываемой заготовкой. Они

являются управляемыми и характеризуют закон изменения подачи при обработке участка поверхности, длина которого задана в управляющей программе. Этот закон определяется математической моделью и алгоритмом управления.

Отработка кадра управляющей программы, в которой заданы параметры модулированного изменения подачи, начинается с перемещения резца вдоль обрабатываемой заготовки, совершающей главное движение резания (вращение) со скоростью подачи S_{\min} . Когда резец переместится на длину Δl_1 , скорость подачи увеличивается на величину ΔS . Вследствие этого, следующий (второй) участок заготовки длиной Δl_1 будет обрабатываться со скоростью подачи равной $S_{\min} + \Delta S$. После завершения обработки этого (второго) участка поверхности длиной Δl_1 , подача в очередной раз увеличивается на величину ΔS и становится равной $S_{\min} + 2\Delta S$. Очередной участок заготовки длиной Δl_1 , обрабатывается с подачей, равной $S_{\min} + 3\Delta S$. Такое дискретное увеличение скорости подач резца вдоль обрабатываемой поверхности заготовки на величину ΔS по мере обработки участков заготовки длиной Δl_1 осуществляется до тех пор, пока не будет обработан участок поверхности заготовки длиной $l_1 = n_s \Delta l_1$, где n_s - число приращений подачи на участке поверхности длиной Δl_1 . Скорость подачи при этом увеличивается от S_{\min} до S_{\max} (режим разгона). Далее, на участке поверхности заготовки длиной $l_2 = n_s \Delta l_2 = n_s (\Delta l_1 + \Delta l')$ резец относительно заготовки перемещается с замедлением (скорость подачи дискретно уменьшается на величину ΔS по мере обработки участков заготовки длиной $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta l'$ от S_{\max} до S_{\min}). Очередное увеличение скорости перемещения резца относительно заготовки от S_{\min} до S_{\max} также осуществляется приращениями величиной ΔS , но длина участка поверхности заготовки между приращениями Δl_3 по сравнению с Δl_2 на этот раз больше на величину $\Delta l'$, т.е. $\Delta l_3 = \Delta l_1 + 2\Delta l'$. Вследствие этого, длина l_3 перемещения резца относительно заготовки, на котором подача дискретно изменяется от S_{\min} до S_{\max} , увеличиться и будет равна $l_3 = n_s \Delta l_3 = n_s (\Delta l_1 + 2\Delta l')$. Очередной цикл дискретного изменения подач от S_{\max} до S_{\min} будет реализован на участке поверхности заготовки еще большей длины $l_4 = n_s \Delta l_4 = n_s (\Delta l_1 + 3\Delta l')$. Процесс наращивания в каждом цикле разгона (замедления) длины участка поверхности заготовки между приращениями подачи на величину $\Delta l'$ позволяет увеличивать длину поверхности заготовки, на которой скорость подачи изменяется между ее пиковыми значениями (S_{\min} , S_{\max}). В результате, время разгона (замедления) по мере перемещения резца вдоль обрабатываемой поверхности заготовки возрастает, что исключает возможность совпадения

частоты осцилляции подачи (частоты изменения подачи между ее пиковыми значениями) с частотой автоколебаний, возникающих в процессе резания (исключается явление резонанса).

Периодическое изменение скорости подачи резца (осцилляция) вдоль обрабатываемой поверхности заготовки между ее пиковыми значениями (S_{\min} , S_{\max}) с дискретностью ΔS , осуществляется на всей длине поверхности заготовки, обрабатываемой с модулированной подачей (пока резец не выйдет в точку, координаты которой заданы в кадре управляющей программе).

Замена постоянной подачи переменной, модулированной подачей по данному модифицированному алгоритму, позволяет повысить устойчивость технологической системы к автоколебаниям при обработке нежестких заготовок на токарных станках с ЧПУ.

1. Каштальян, И.А. Математические модели и алгоритмы управления нестационарными процессами формообразования на станках с ЧПУ / И.А. Каштальян // Автоматизация и современные технологии. – 2006. - № 6. – С. 18–24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ЧУГУНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Покровский А.И.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Цель работы: изменить представления о чугунах как о низкокачественном материале для малоответственных изделий, исследовать особенности его структурообразования при деформации и термообработке и доказать его конкурентоспособность по сравнению с легированным стальным прокатом, расширить области применения.

Исследован комплекс характеристик серого, ковкого, высокопрочного и половинчатого чугунов в интервале температур 20-1150°C, на стандартных образцах и специальных технологических пробках.

С использованием моделирования и экспериментов показано, что пластическая деформация чугунов с включениями хрупких фаз цементита и графита является примером общего случая деформации гетерогенных материалов, в которых хрупкая фаза расположена внутри пластичной основы. Подтверждено, что наиболее важным фактором является использование схем деформирования близких к всестороннему сжатию, что позволяет пластически деформировать хрупкие фазы в структуре чугуна. Показано, что на практике данная схема наиболее эффективно реализуется в технологических процессах выдавливания и штамповки, которые позволяют достигать степени деформации до 80% и обеспечить получение изделий достаточно сложной формы с малыми припусками. Рекомендованы способы повышения пластичности чугуна за счет специальных методов литья заготовок, особых условий деформации, предварительной термической обработки и оптимизации химического состава.

Доказано, что необходимыми факторами, обеспечивающими, пластическое течение графита без разрушения являются два: 1) Использование схемы неравномерного всестороннего сжатия и наличие «подпора» (противодавления) на выходе деформированного прутка из матрицы. Это позволяет сблизить скорости истечения внутренних слоев прутка с наружными, тормозимыми за счет трения о стенки штамповой матрицы; 2) Наличие окружающей графит гораздо более пластичной оболочки в виде перлитной, а лучше перлитно-ферритной матрицы, причем наиболее благоприятным является случай, когда графит находится в ферритной оторочке.

Показано, что использование деформации для придания изделию требуемой формы не является самоцелью, более важной причиной использования деформации, является возможность существенно улучшить комплекс физико-механических характеристик чугуна.

Определены зависимости между структурой и свойствами чугунов после литья, деформации и термической обработки. Установлено повышение комплекса характеристик чугуна после деформации в 1,5 – 2,0 раза до уровня легированных сталей. Например, для высокопрочного чугуна после деформации и изотермической закалки достигнуты показатели предела прочности 1550 МПа, $\delta=9\%$. Исследованы особенности графитизации и кинетики бейнитного превращения в деформированном чугуне. Предложена концепция получения нового класса высококачественных чугунов, основанная на использовании литых заготовок с повышенной пластичностью, горячей деформации и специальных методов термообработки.

На основе компьютерного моделирования, металлографического и электронно-микроскопического анализа изучены особенности структурообразования на образцах из высокопрочного чугуна, подвергнутых горячему выдавливанию по прямой схеме с различными степенями деформации (ϵ). Численно промоделировано напряженно деформированное состояние структурных составляющих чугуна.

Представлены результаты сравнительных исследований фрактограмм высокопрочного чугуна в литом состоянии и после горячей пластической деформации. Доказано, что графитные включения в чугуне деформируются пластически и не разрушаются даже при больших степенях деформации (до 80-90%). Дробления включений до уровня порошкообразной субстанции не происходит, они остаются монолитными.

Впервые методом сканирующей электронной микроскопии представлена морфология поверхности деформированных графитовых включений. Изучен характер изменения формы и морфологии включений графита по мере увеличения степени деформации. При помощи метода электрохимического вытравливания и специально разработанных устройств, позволяющих избирательно растворять металлическую матрицу с постепенным «обнажением» поверхности включений наглядно продемонстрировано, как в аксонометрии выглядят деформированные включения графита.

Показан характер изменения структуры металлической матрицы по мере увеличения степени деформации от 0 (литое состояние) до 80%. Излом литого чугуна имеет смешанный характер и включает в себя как зоны хрупкого межзеренного излома с преимущественным разрушением по границам зерен (в большинстве случаев), так и с элементами пластической деформации ферритной составляющей. Излом деформированного чугуна также имеет смешанный хрупко-вязкий характер, но более мелкозернистый, в нем возрастает доля перлитной составляющей из-за ускоренного охлаждения на воздухе.

Получены и испытаны опытные образцы изделий из чугуна (шаровой палец, мелющее тело в форме шара, анкерный сошник, втулки (заготовки) для поршневых и уплотнительных колец. Результаты положительные.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ САМ-СИСТЕМ

Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Жихорев Е.О.

Полоцкий государственный университет
г. Новополоцк, Республика Беларусь

В настоящее время на машиностроительных предприятиях все чаще применяются станки с ЧПУ, что в свою очередь приводит к внедрению и освоению систем автоматизированного проектирования управляющих программ с Computer-aided manufacturing (САМ). САМ-системы упрощают этап подготовки управляющих программ (УП) для различных типов станков ЧПУ.

Анализ существующих САМ-систем показывает [1], что они построены на диалоговом режиме, и технолог-программист, исходя из своего опыта, выбирает необходимый цикл и последовательность обработки конструктивных элементов детали. Выбрав необходимые оборудование, режущие инструменты, режимы резания и прочие необходимые объекты и параметры, технолог-программист способен при помощи САМ-системы рассчитать время необходимое для обработки детали. Однако из-за нескольких вариантов технологий и последовательностей обработки конструктивных элементов, технолог часто требуется тратить дополнительное время на составление, нескольких УП для того, чтобы выбрать обработку с наименьшими затратами времени.

Сравнительный анализ последовательности обработки резьбовых отверстий М10 показывает, что при небольших расстояниях между их осями более предпочтительной является последовательная обработка всех позиций сначала одним инструментом, а затем другим. Полная обработка отверстий сразу всеми инструментами эффективна лишь при значительном (более 180 мм) удалении их осей друг от друга. Исходя из этого можно сделать вывод о необходимости разработки и создания специального вычислительного модуля для САМ-систем, позволяющего на этапе подготовки УП оптимизировать выбор технологий и последовательности обработки всех конструктивных элементов детали с точки зрения сокращения времени обработки.

1. Жихорев Е.О. Анализ особенностей и возможностей различных систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении / И.Н. Домкин, Е.О. Жихорев, В.С. Анисимов // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета - 2017 - № 20; "Промышленность", – С. 283-286