

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

Материалы VI международной научно-практической конференции

(Минск, 1-2 марта 2018 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2018»

Минск БНТУ 2018

Редакционная коллегия:

Маляревич А.М. (главный редактор),
Здор Г.Н. (зам. гл. редактора), Трофименко Е.Е.,
Околов А.Р. (ответственный секретарь),
Новичихин Р.В, Дербан А.Н.

Составитель:

Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы VI 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

1. РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ РОБОТОВ С ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ	7
<i>Егоров О.Д., Валуев В.С.</i>	
2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВЕ ПЛК SIEMENS LOGO!	9
<i>Коробов А.В., Сиротин Ф.Л.</i>	
3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ БЛОКОВ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ	11
<i>Бурак А.В., Околов А.Р., Гутич И.И., Шабуня С.В.</i>	
4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЕ	14
<i>Нго Фьонг Ле, Гульков Г.И.</i>	
5. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КОМПРЕССОРНО-КОНДЕНСАТОРНОГО АГРЕГАТА	16
<i>Напрасников В.В., Соловьев А.Н., Скалчих А., Красновская С.В.</i>	
6. ИННОВАЦИОННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА СМАЗКИ МАШИН	17
<i>Бобровник А.И., Проволёнок В.Д., Дашук Н.Н., Дубаневич Е.А.</i>	
7. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ ГИБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	19
<i>Юденков В.С.</i>	
8. КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ	21
<i>Сосновский И.А., Белявин К.Е., Белоцерковский М.А., Курилёнок А.А., Кузнецик О.О.</i>	
9. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕТРОГРАДНОГО ДВИЖЕНИЯ КАТОДНОГО ПЯТНА ВАКУУМНОЙ ДУГИ	23
<i>Иванов И.А.</i>	
10. БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК TiN В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЕ TiN/TiSi ₂ /Si	25
<i>Маркевич М.И., Чапланов А.М., Щербакова Е.Н.</i>	
11. ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ СВЧ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ НА ОСНОВЕ КЕВЛАРА И ПОРОШКА ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ	27
<i>Адашкевич С.В., Бакаев А.Г., Маркевич М.И., Стельмах В.Ф., Чапланов А.М., Щербакова Е.Н.</i>	
12. ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВАЛИКОВ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ И ДИСТАНЦИЯХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ	29
<i>Шелег В.К., Девойно О.Г., Луцко Н.И., Лапковский А.С.</i>	
13. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	31
<i>Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Шаталов И.М., Быков К.Ю., Кособуцкий А.А.</i>	
14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ СЕЧЕНИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ	33
<i>Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Шаталов И.М., Быков К.Ю.</i>	
15. НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ СНЯТИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОЛОТНА НА ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	35
<i>Качанов И.В., Рубченя А.А., Шаталов И.М., Быков К.Ю.</i>	
16. ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТ КОРРОЗИИ	37
<i>Качанов И.В., Жук А.Н., Филипчик В.А., Шаталов И.М., Быков К.Ю.</i>	
17. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ РЕВЕРСИВНОЙ СТРУИ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ	39
<i>Качанов И.В., Жук А.Н., Верременюк В.В., Филипчик А.В., Шаталов И.М., Быков К.Ю.</i>	
18. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ПРИ РАБОТЕ ПОВЫСИТЕЛЬНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	41
<i>Садоменко С.Л., Тозик А.С., Лившиц Ю.Е., Гутич И.И.</i>	

19. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПАКЕТА ROBOGUIDE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	43
<i>Чухольский Д.С., Петрова Ю.В., Лившиц Ю.Е.</i>	
20. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦ ПРИУСАДЕБНЫХ УЧАСТКОВ	45
<i>Лившиц Ю.Е., Несмашных А.М.</i>	
21. ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСТРУКТОР ПРОСТРАНСТВЕННО-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	47
<i>Новичихин Р.В., Журавлева Е.Р.</i>	
22. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ	50
<i>Каишальян И.А., Орукари Б., Августовский П.А.</i>	
23. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ	53
<i>Каишальян И.А., Орукари Б., Шут Е.Д.</i>	
24. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА	56
<i>Голубев В.С., Хурс С.П., Лившиц Ю.Е., Здор Г.Н.</i>	
25. КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА	58
<i>Липницкий Л.А., Пильгун Т.В., Мататов В.И.</i>	
26. ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ 3D ПРИНТЕРА ТИПА SCARA	60
<i>Гурский Н.Н., Скачек В.А., Скачек А.В., Безручко А.Н.</i>	
27. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ 5-ТИ ОСЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	62
<i>Тозик В. И., Сиротин Ф. Л., Гутич И.И.</i>	
28. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА	64
<i>Реентович И. А., Околов А.Р., Маленкова Т.А.</i>	
29. КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ СТРУКТУР ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	66
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.</i>	
30. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА НА ФОРМУ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ТУРБИННОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА	71
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.¹, Ковалев В.А.</i>	
31. ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ	74
<i>Здор Г.Н., Новичихин Р.В., Матрунчик Ю.Н.</i>	
32. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ДВУХМАССОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	76
<i>Фираго Б.И.</i>	
33. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СКАЛЯРНЫМ ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ С ПОСТОЯННЫМ СТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТОМ	78
<i>Фираго Б.И., Александровский С.В.</i>	
34. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ВОДНО-СПИРТОВОЙ СМЕСИ	80
<i>Околов А. Р., Дроздовский А. Л., Реентович И. А.,</i>	
35. АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТУДЕНТАМИ	82
<i>Попова Ю.Б., Левинунов С.А.</i>	
36. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИАТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	84
<i>Попова Ю.Б., Голобурда А.А.</i>	
37. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕЙНИТНОГО ЧУГУНА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ	86
<i>А. Nofal, Покровский А.И., Шенец С.Л., Шпарло Д.А.²</i>	
38. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	88
<i>Буштрук Т. Н., Мазанов А. С., Буштрук А. А., Лохин В. В.</i>	

39. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ БЫВШИХ В УПОТРЕБЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	90
<i>Белявин К.Е., Шукин В.Я., Кожевникова Г.В.</i>	
40. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ	92
<i>Шукин В.Я., Кожевникова Г.В., Абрамов А.А., Климов К.А.</i>	
41. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ПРОКАТКИ МАЛОЛИСТОВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ РЕССОР	94
<i>Исаевич Л.А., Сидоренко М.И., Иваницкий М.И., Крицкий А.Д.</i>	
42. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАКИРОВАНИЯ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	96
<i>Исаевич Л.А., Сидоренко М.И., Иваницкий М.И., Крицкий А.Д., Леванцевич М.А.</i>	
43. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАКСИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗДЕЛИЯ И ПРОТИВОЭЛЕКТРОДА НА РАВНОМЕРНОСТЬ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ	98
<i>Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Паришито А.Э., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Сорока Е.В.</i>	
44. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИРОВАНИЯ МАТРИЧНЫХ СТЕНТОВ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ БИПОЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	100
<i>Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паришито А.Э., Будницкий А.С.</i>	
45. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОЛИРОВАНИЯ ТИТАНА И НИОБИЯ	102
<i>Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паришито А.Э., Нисс В.С., Будницкий А.С.</i>	
46. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВОЛОЧЕНИЕМ СТУПЕНЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ-ВОЛНОВОДОВ ТРУБЧАТОГО ТИПА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕПРОХОДИМОСТИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ	104
<i>Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Минченя В.Т., Будницкий А.С.</i>	
47. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК И СОСУДОВ ПО БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ	106
<i>Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю., Капуза М.А.</i>	
48. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТНЫХ ПОЛУШПАЛ	108
<i>Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю., Вилюха П.М., Капуза М.А.</i>	
49. АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ	110
<i>Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Анисимов В.С., Г.И. Гвоздь Г.И.,</i>	
50. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРАМИ ИЗ ЦЕПИ АНОДА ЧЕРЕЗ ИСТОЧНИКИ ТОКА	112
<i>Здор Г.Н., Малявко О.И., Тимошевич В.Б.</i>	
51. ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ (ИНДУСТРИЯ 4.0)	114
<i>Фонов В.В., Кончевская О.Э.</i>	
52. РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА	116
<i>Байрак С. А., Татур М. М., Лукашевич М. М.</i>	
53. РАЗРАБОТКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ	118
<i>Дербан А.Н., Дербан Д.Н.</i>	
54. ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА (BLOCKCHAIN) И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT)	119
<i>Дербан А.Н., Бусько А.М.</i>	
55. МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ РОБОТОВ	120
<i>Олефир Д.Г., Прокопович. Г.А.</i>	

56. НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КОМАНД МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНО ОБОЗРИМОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ	122
<i>Розанов М.С., Прокопович Г.А.</i>	
57. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ	124
<i>Околов А. Р., Лукашик М. С.</i>	
58. УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	126
<i>Васильев С. В.</i>	
59. СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В СОСТАВЕ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ	128
<i>Дубинин С.В.</i>	
60. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	130
<i>Белявин К.Е., Минько Д.В., Пономарев Т.С.</i>	
61. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРУЕМОГО МЕХАТРОНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	132
<i>Метлюк К.Н.</i>	
62. СОЗДАНИЕ РОЕВОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО И БЕЗОПАСНОГО МАРШРУТА, И НАНЕСЕНИЯ ЕГО НА КАРТУ	134
<i>Мионов Д.Н., Сидорук Д.А.</i>	
63. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛИКОНТАКТНЫХ НЕРАВНОЖЕСТКИХ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ	136
<i>Чухланцев Е.С.</i>	

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ РОБОТОВ С ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Егоров О.Д., Валуев В.С.

Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН»

Москва, Российская Федерация

Для осуществления движения рабочего органа исполнительного механизма робота в плоскости достаточно двух транспортирующих звеньев, в пространстве – трех транспортирующих звеньев. Но часто возникают задачи, когда необходимо, чтобы рабочий орган вошел, двигался и выполнял технологическую операцию в узком пространстве, трубе, осуществлял подход к заданной точке со всех сторон, избегал столкновений с препятствиями, выполнял одновременно совместную работу в составе нескольких роботов. В этих случаях указанное число подвижных звеньев недостаточно. Необходимо в состав исполнительного механизма вводить дополнительные звенья, т.е. механизм становится многозвенным с избыточными звеньями. Применение исполнительного механизма с избыточностью необходимо для нейтрализации препятствий, ограничивающих его двигательные возможности. С увеличением числа звеньев увеличивается и число возможных конфигураций исполнительного механизма, что усложняет его проектирование и управление.

Исполнительные механизмы роботов с избыточностью имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными роботами и находят все большее применение в промышленности. Однако их проектирование и применение сопряжено с определенными проблемами, в частности с проблемой решения обратной задачи кинематики.

Целью данной работы было решение обратной задачи кинематики исполнительных механизмов роботов с избыточностью.

Существуют различные методы решения обратной задачи кинематики роботов. Все существующие методы имеют свои достоинства, но также имеются у каждого из них и недостатки. Одним из таких методов является иерархический подход к решению обратной задачи кинематики [1]. В основе этого метода лежат движения или наборы движений исполнительных звеньев робота. В результате последовательного выполнения этих движений для заранее выбранных степеней подвижности с помощью решения прямой задачи кинематики определяют приближается ли рабочий орган к заданной точке. Если нет, то направление движения звена меняют на противоположное. Неиспользуемые обобщенные координаты сохраняют свое значение до конца расчета. Также в ходе расчета отслеживают, чтобы обобщенные координаты изменялись в заранее заданных пределах.

Также существует метод, использующий для решения обратной задачи кинематики псевдообратные матрицы Якоби [2], которые имеют размерность $6 \times n$, где n – на число степеней подвижности. Эта матрица умножается на вектор приращения положения, который должен соответствовать малым перемещения схвата. Для этого метода нужно знать значение приращения для каждого шага и к тому же на каждом шаге заново пересчитывать псевдообратную матрицу, что сильно усложняет и замедляет процесс расчета.

В данной работе рассмотрено решение обратной задачи кинематики многозвенного исполнительного механизма робота с кинематической избыточностью. Предложен метод, основанный на условном «замораживании» некоторых звеньев исполнительного механизма, что позволяет определить пределы изменения обобщенных координат $q_{i_{max}}$ и $q_{i_{min}}$ при движении рабочего по заданной траектории. Пределы изменения каждой из обобщенных координат рассчитывают отдельно для каждой точки траектории. При этом в полученном диапазоне изменения обобщенных координат система управления выбирает рабочие обобщенные координаты q_i с использованием коэффициента конфигурации, что не дает им возможности выходить за предельные значения при выполнении технологической операции.

В результате расчетов получены формулы, по которым можно определить границы диапазонов изменения обобщенных координат $q_{i_{max}}$ и $q_{i_{min}}$, а также их текущие значения q_i для исполнительного механизма робота с избыточностью с любым числом звеньев, позволяющие выбирать наиболее рациональную его конфигурацию при движении рабочего органа по заданной траектории, а также позволяет предотвращать столкновения с препятствиями. Полученные формулы состоят из простых тригонометрических функций, что упрощает и ускоряет расчет.

Каргинов Л. А. Иерархический подход к решению обратной задачи кинематики // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2016. – №03. – С. 37-63.

Попов А. В. Разработка и исследование методов решения обратной задачи кинематики для роботов с избыточностью [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/005696.pdf>. – (Дата обращения: 07.12.2017).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВЕ ПЛК SIEMENS LOGO!

Коробов А.В., Сиротин Ф.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Пневматические роботы являются одними из самых простых роботов как в техническом плане, так и в плане их управления и обслуживания. Само по себе управление пневматическим роботом является простой задачей. Существуют следующие виды систем управления пневматическими роботами:

1) Управление по положению исполнительных органов

В системах управления по положению крайние положения рабочих органов контролируются датчиками положения. Датчики положения подают в систему управления сигналы о положении рабочих органов, на основании которых формируются сигналы управления.[1]

2) Управление по времени

В ряде случаев на исполнительных органах машин нет возможности установить датчики положения, контролирующие выполнение операции. В таких случаях используют системы управления по времени.[1]

Преимущество способа управления по времени заключается в его простоте (нет лишних электрических датчиков). Недостатком является жесткая последовательность команд не зависимо от того, выполнены ли действия предыдущего такта или нет. Отсутствие контроля за выполнением предыдущих тактов может привести к нарушению работы машины. В этом случае требуется заведомо завышать продолжительность некоторых тактов, чтобы наверняка гарантировать срабатывание исполнительных устройств, что приводит к снижению быстродействия машины.[1]

Систему управления пневматическим роботом, которая могла бы осуществлять вышеперечисленные виды управления можно организовать на ПЛК Siemens LOGO!. Данное ПЛК является наиболее бюджетным вариантом для такой системы управления. Даже в базовой комплектации(без расширений) ПЛК имеет в своем распоряжении 8 цифровых входов которые можно использовать как входные сигналы с 8 концевых выключателей. ПЛК Siemens LOGO! имеет 4 релейных выхода с максимальным длительным током через каждый - 10А. Такое высокое значение пропускаемого тока позволяет управлять открытием большинства пневмораспределителей используемых в пневматических роботах. К тому же релейные выходы имеют высокую частоту переключения(10Гц). Данная частота переключения пневмораспределителей с легкостью обеспечит любые режимы работы пневматического робота. Наличие всего 4-х релейных выходов позволяет

управлять только 4-я пневмораспределителями, что может оказаться недостаточным для выполнения некоторых производственных задач. Однако количество релейных выходов можно легко увеличить до 8 используя 1 дискретный модуль расширения LOGO! DM8. Одновременно с 4-я релейными выходами данный модуль также содержит 4 цифровых входа.

Написание управляющих программ осуществляется на языке релейных схем(LAD) либо на языке логических элементов(FBD). Составление новой и редактирование уже существующей программы может производиться прямо на ПЛК или наиболее удобным для пользователя способом – с помощью ПО LOGO! Soft Comfort на персональном компьютере.

Примеры управляющих программ выполненных на ПЛК Siemens LOGO:

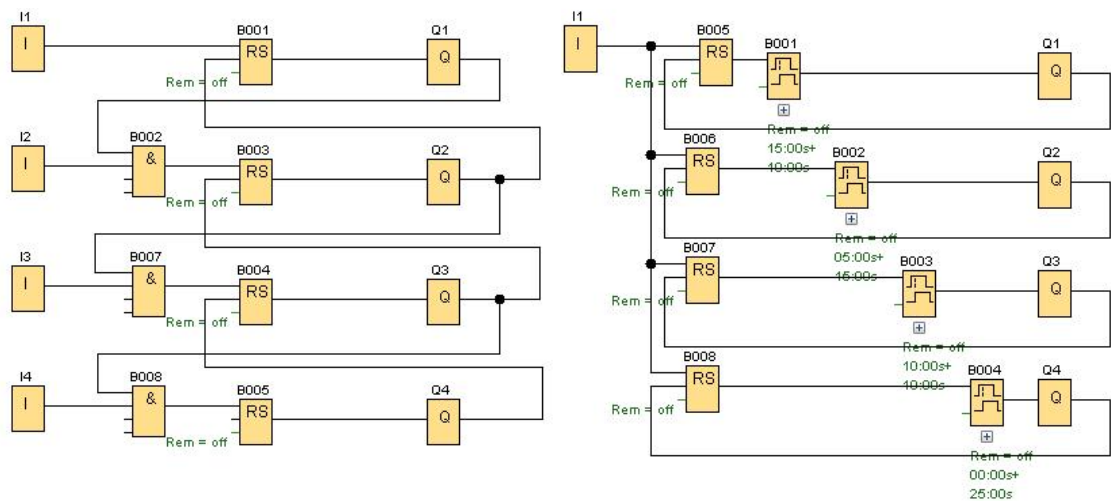


Рис. 1. Управление пневматическим роботом по методу управления по положению исполнительных органов(слева) и по методу управление по времени(справа)

К плюсам управления пневматическим роботом при помощи ПЛК Siemens LOGO относятся:

1. Высокая надежность системы управления.
2. Простота и удобство составления управляющих программ на специальном ПО LOGO! Soft Comfort .
3. Невысокая стоимость системы управления.
4. Возможность усовершенствования системы управления посредством добавления модулей расширения LOGO!.
5. Простота встраивания в более сложные производственные системы.

1. Донской А.С. Основы пневмоавтоматики: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 77 с.
2. Siemens SIMATIC LOGO!: Руководство.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ БЛОКОВ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Бурак А.В.¹, Околов А.Р.¹, Гутич И.И., Шабуня С.В.²

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Филиал “Минские тепловые сети”, МТЭЦ-2

Минск, Республика Беларусь

Окружающая среда – основа жизни человека, а ископаемые ресурсы и вырабатываемая из них энергия является основой современной цивилизации. Однако современная энергетика наносит ощутимый вред окружающей среде, выбрасывая в атмосферу продукты сгорания топлива, тем самым нарушая экологию и ухудшая условия жизни людей. Особенно это актуально для больших городов, таких как Минск, и при расположении ТЭЦ в центре города.

Для решения данной экологической проблемы была спроектирована автоматизированная система контроля (АСК) вредных выбросов блоков парогазовой установки (ПГУ). Она основана на использовании аналитического оборудования, системы передачи данных и программного обеспечения (ПО).

Данная АСК предназначена для непрерывного измерения состава и количества дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу, для обеспечения получения информации о фактических величинах этих выбросов и для последующего архивирования полученных данных.

На рисунке 1. схематически представлена автоматизированная система контроля вредных выбросов блоков ПГУ в атмосферу, разработанная совместно с фирмой Codel.

АСК состоит из следующих основных узлов:

1. беспробоотборный газоанализатор Codel G-CEM 4000 для измерения различных газов (CO , CO_2 , SO_2 , NO_x), воды, давления и температуры;
2. измеритель пыли Codel D-CEM 2000 для измерения концентрации твердых частиц;
3. расходомер Codel V-CEM 5000 для измерения объемного расхода дымовых газов;
4. блок управления рабочей станцией (SCU);
5. цифровая шина данных;
6. компьютер АРМ (автоматизированное рабочее место) эколога с ПО;
7. процессор;
8. регулятор калибровочного газа рабочей станции GCS.

Данные об измерениях хранятся и обрабатываются в промышленном компьютере (ПК) с установленными на нем многоканальным ПО сбора

данных с мультиплексированием. Оно позволяет отслеживать и обрабатывать на ПК информацию об измерениях, статистические данные, а также результаты диагностики приборов.

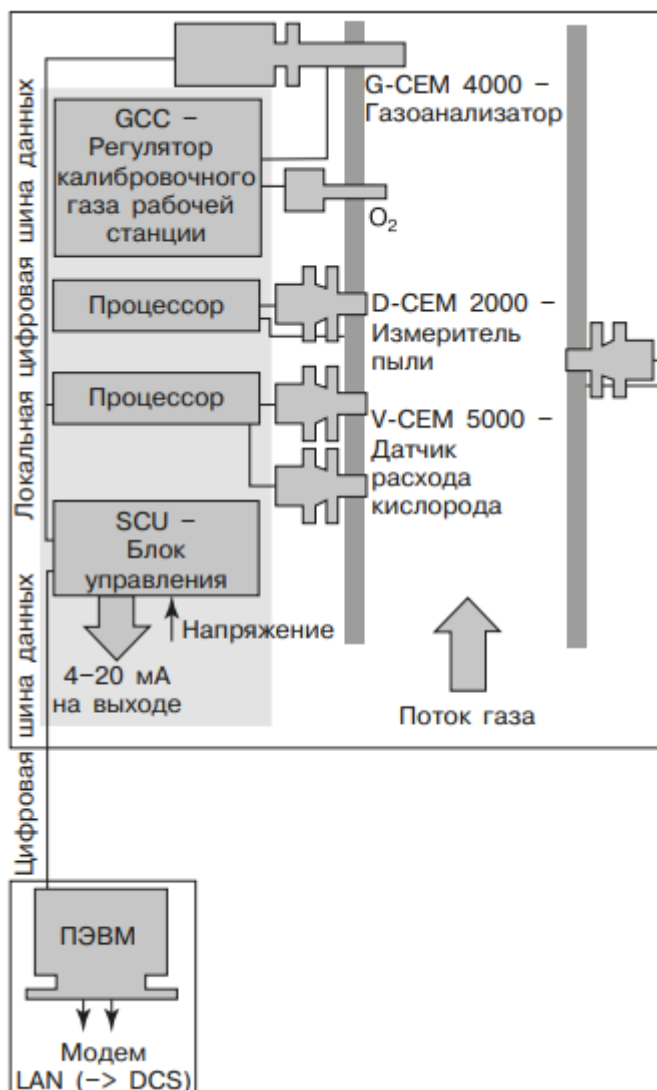


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы контроля вредных выбросов блоков ПГУ

На жестком диске хранятся статистические данные как минимум за 5 лет, которые можно быстро и в полном объеме извлечь при помощи соответствующих команд.

Возможность «распечатки содержимого экрана» также позволяет сохранять любую информацию, выводимую на экран, включая тренды и результаты диагностики приборов. Программное обеспечение отчетности предназначено для сбора периодических отчетов, которые предоставляются в соответствующие органы охраны окружающей среды.

На рисунке 2. изображён экран программы SmartCEMcomm с отображением реальных данных.

Одной из особенностей автоматизированной системы контроля вредных выбросов является то, что работу приборов можно проверить не

только через компьютер АРМ эколога, но также из сервисного центра, воспользовавшись телефонной линией или интернет-соединением. Вдобавок к немаловажным особенностям можно отнести высокую точность измерений и стабильность показаний, возможность доступа к системе с 10-ти пользовательских компьютеров на каждом объекте и, конечно же, оптимальную совместимость всех компонентов системы, поскольку большинство приборов, система передачи данных и ПО изготовлены одним производителем.

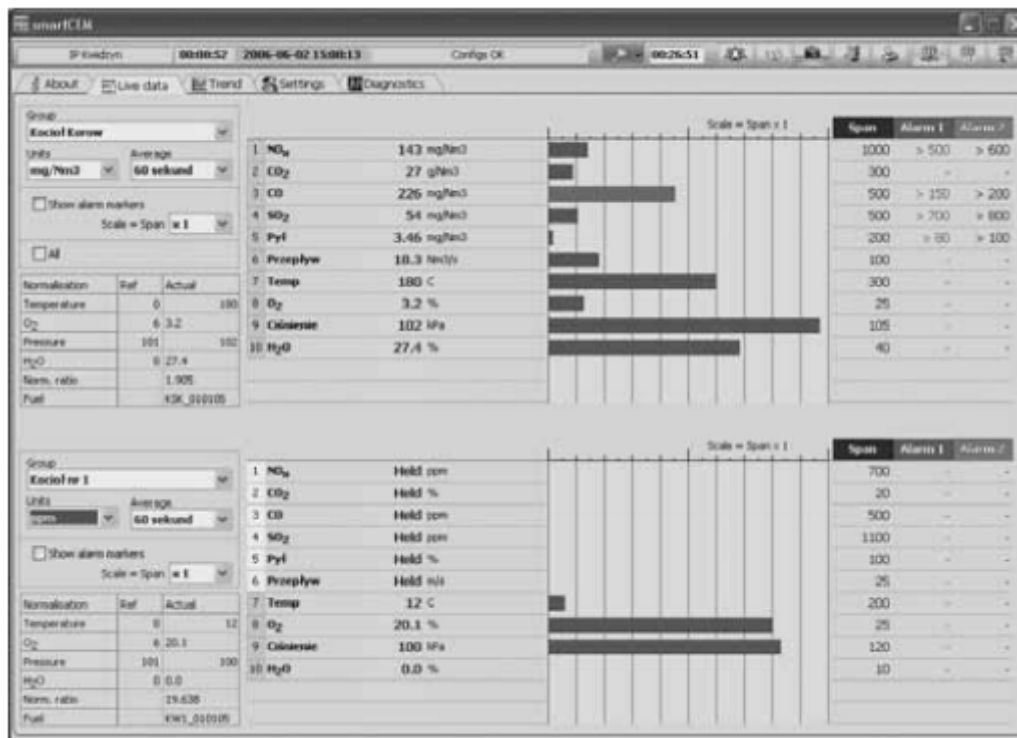


Рисунок 2 – Отображение реальных данных

Таким образом, внедрение автоматизированной системы контроля вредных выбросов в атмосферу позволило:

- учитывать выбросы вредных веществ по фактическим показателям, а не расчётным методом, как это делалось ранее;

- формировать необходимые отчёты по выбросам вредных веществ в атмосферу с нарастающим накоплением данных;

- передавать текущие данные на рабочие места инженера-эколога, начальника смены станции, а также отчёты по выбросам в локальную сеть предприятия;

- формировать коммерческие отчёты по выбросам;

- оперативному персоналу, имеющему от АСК текущую информацию, уменьшать выбросы вредных веществ в атмосферу и соответственно уменьшать плату за выбросы, повышать надёжность и экономичность работы основного оборудования.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЕ

Нго Фьонг Ле, Гульков Г.И.

Белорусский национальный технический университет

Одной из особенностей электромобиля является возможность рекуперативного торможения. На рис. 1а приведена схема электропривода с синхронным двигателем с постоянными магнитами, которая может использоваться для рекуперативного торможения.

При низкой скорости электродвижущая сила (ЭДС) меньше напряжения аккумулятора и аккумулятор не заряжается. В этом случае схема должна работать в качестве повышающего преобразователя путем переключения нижних ключей (Т2, Т4, Т6). Если ключи Т2, Т4, Т6 открыты, электроэнергия накапливается в обмотках. Если ключи Т2, Т4, Т6 закрыты, энергия протекает через диоды D1, D3, D5 и заряжает аккумулятор.

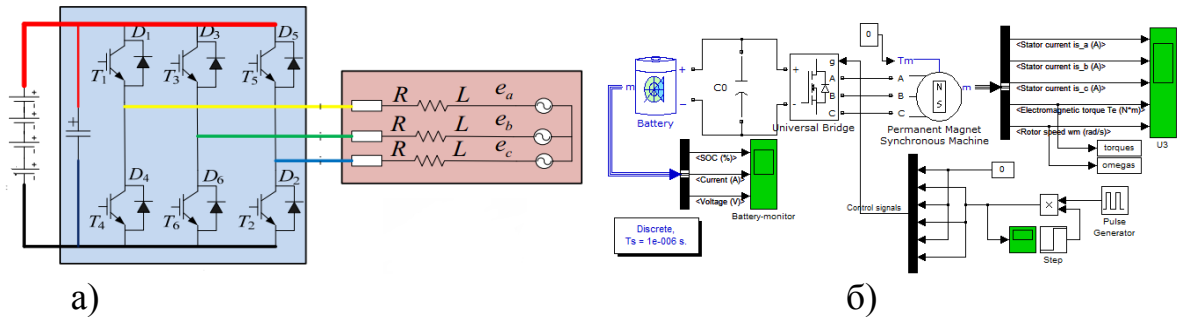


Рис 1. а) Схема электропривода СДПМ б) Схема имитационной модели электропривода СДПМ в режиме рекуперативного торможения

Уравнение электрической цепи и выражение момента СДПМ:

$$\begin{aligned}
 u_d &= Ri_d - \omega L_q i_q \\
 u_q &= Ri_q + \omega L_d i_d + \omega \psi_M \\
 M &= \frac{3}{2} p (\psi_M i_q + (L_d - L_q) i_d i_q)
 \end{aligned} \tag{1}$$

где i_d, i_q – составляющие вектора тока якоря в осях d, q, соответственно; u_d, u_q – составляющие вектора напряжения якоря в осях d, q, соответственно; ψ_M – потокосцепление от постоянных магнитов; R – активное сопротивление обмотки якоря; L_d, L_q – составляющие индуктивности якоря в осях d, q, соответственно; p – число пар полюсов; M – электромагнитный момент; ω – электрическая угловая скорость ротора.

При рекуперативном торможении амплитуда вектора напряжения и отношение между составляющими векторов напряжения и тока:

$$u_d^2 + u_q^2 = \left(\frac{2}{\pi} U_B \right)^2 (1 - \gamma)^2 \quad u_d i_q - u_q i_d = 0 \tag{2}$$

где U_B – напряжение аккумулятора; γ – скважность.

Подставив (2) в (1) и решив систему уравнений, получим выражения составляющих вектора тока СДПМ при рекуперативном торможении, которые зависят от скорости ω и скважности γ :

$$i_d = i_d(\omega, \gamma) = \frac{1}{2} \frac{(L_d - 2L_q)\psi_M}{L_d(L_d - L_q)} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_q^2 \psi_M^2}{L_d^2(L_q - L_d)^2} - \frac{16U_B^2}{\pi^2 L_d(L_q - L_d)} \frac{(1-\gamma)^2}{\omega^2}} \quad (3)$$

$$i_q = i_q(\omega, \gamma) = -\sqrt{-\frac{i_d(\omega, \gamma)}{L_q}(\psi_M + L_d i_d(\omega, \gamma))}$$

Подставив выражения составляющих вектора тока $i_d(\omega, \gamma)$ и $i_q(\omega, \gamma)$ (3) в выражение момента (1), получим механическую характеристику $M(\omega, \gamma)$. На рис. 2а представлена механическая характеристика СДПМ при разных значениях скважности $\gamma=0,1-0,9$.

Осуществлено имитационное моделирование системы электропривода СДПМ в режиме рекуперативного торможения. На рис 2б,в,г представлены результаты имитационного моделирования в сравнении с аналитическим расчетом, отклонение между которыми не превышает 14%.

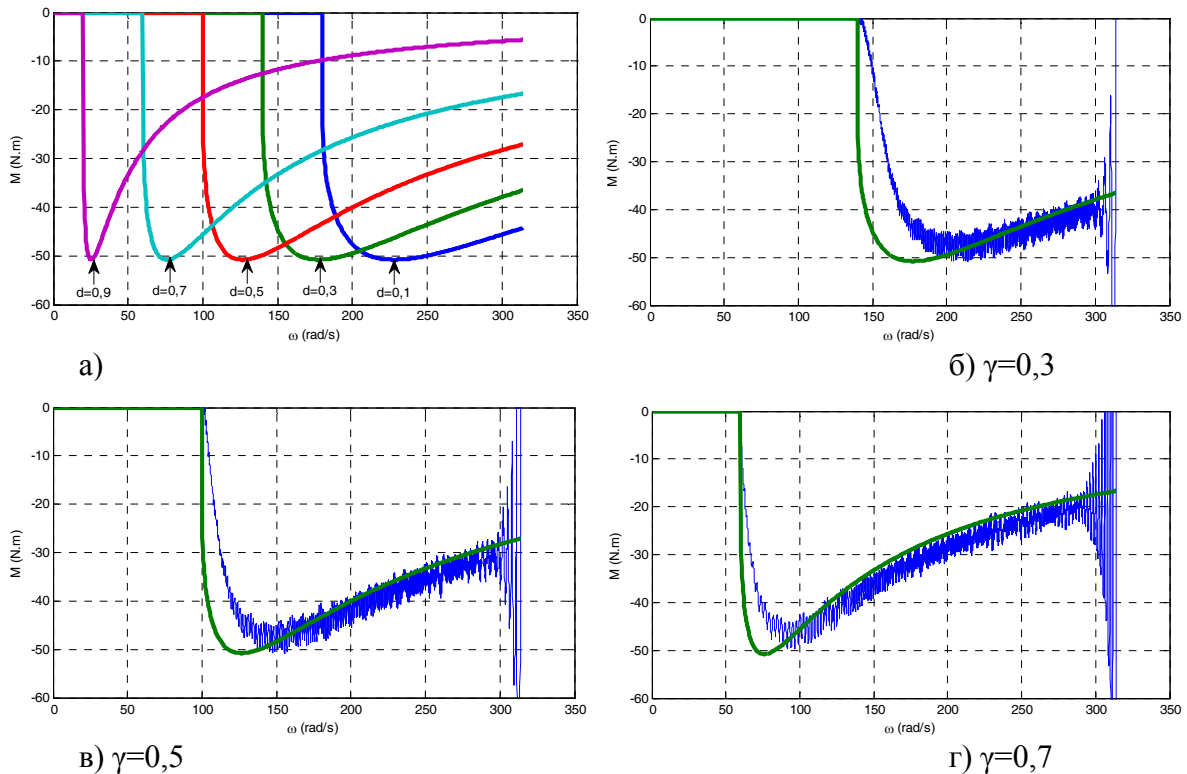


Рис 2. Механические характеристики СДПМ при рекуперативном торможении: а) результаты аналитического расчета при разных значениях скважности $\gamma=0,1-0,9$; б)в)г) сранение между имитационным моделированием и аналитическим расчетом при $\gamma=0,3;0,5;0,7$

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КОМПРЕССОРНО-КОНДЕНСАТОРНОГО АГРЕГАТА

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

1) Минск, Белорусский национальный технический университет

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

3) Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

Целью данной работы было исследование влияния усиливающих компонентов в раме конструкции компрессорно-конденсаторного агрегата на напряженно-деформированное состояние и спектр собственных частот при учете преднапряжения ременной передачи. В работе излагаются особенности построения конечно-элементной модели и обсуждаются результаты моделирования (Рисунок 1).

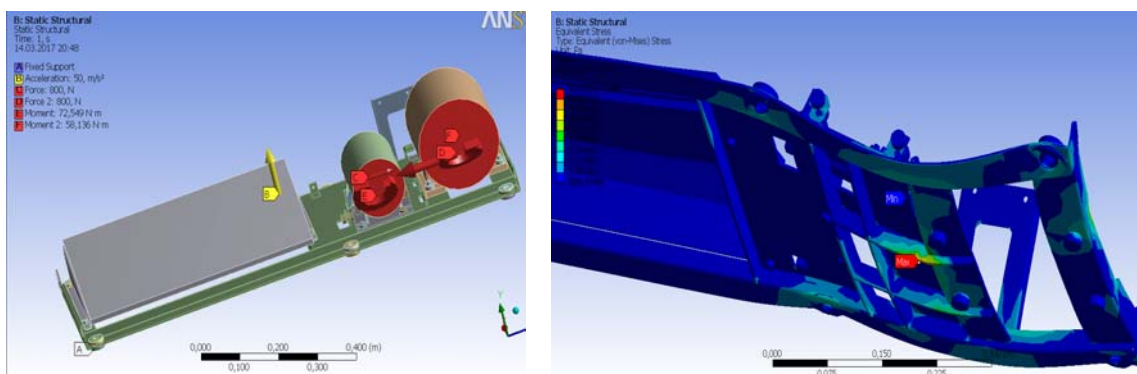


Рисунок 1. Приложенные нагрузки при учете преднапряжения ременной передачи (слева) и напряженно-деформированное состояние конструкции при подавленном изображении мотора и конденсатора отметкой опасного участка (справа)

Результаты анализа показали, что при добавлении ребер жесткости в конструкцию минимальный коэффициент запаса прочности по напряжениям, рассчитанным по теории прочности Мизеса возрос с 2,1 (с учетом нагружения конструкции ускорением величиной 5g и без преднапряжения конструкции от силы натяжения ремня) до 2,6 (с учетом нагружения конструкции ускорением величиной 5g и преднапряжением конструкции от силы натяжения ремня и с уточненными массами частей конструкции).

Собственные частоты усиленной конструкции при добавлении ребер жесткости находятся вне диапазона 0Hz -40Hz вне зависимости от преднапряжения конструкции от силы натяжения ремня.

ИННОВАЦИОННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА СМАЗКИ МАШИН

Бобровник А.И., Проволёнок В.Д., Дашук Н.Н., Дубаневич Е.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Смазочные материалы в машинах применяют с целью уменьшения интенсивности изнашивания, снижения сил трения, отвода от трущихся поверхностей теплоты и продуктов изнашивания, а также для предохранения деталей от коррозии. Снижение сил трения благодаря смазке обеспечивает повышение КПД машин. Кроме того, большая стабильность коэффициента трения и демпфирующие свойства слоя смазочного материала между взаимодействующими поверхностями способствует снижению динамических нагрузок, увеличению плавности и точности работы машин.

В коробках передач смазка служит для уменьшения трения, отвода тепла и уноса частиц износа. Она во многом определяет работоспособность коробок. Смазка подводится к контактирующим поверхностям, которые находятся в относительном движении между собой, т.е. к зубьям шестерен, подшипникам скольжения и качения и другим различным сочленениям.

По месту нахождения масла система смазки бывает двух типов: с мокрым или сухим картером. При мокром картере масло заливается непосредственно в картер коробки, при сухом – в отдельную емкость. Смазка может осуществляться разбрызгиванием, под давлением и быть комбинированной. Смазка разбрызгиванием применяется только с мокрым картером. В этом случае уровень должен иметь определенное значение, и отклоняться от него можно только в ограниченных пределах. Этот способ применяется в основном для простых ступенчатых коробок передач с неплотной компоновкой. При такой смазке требуются повышенные объемы картера для хранения масла и отвода тепла. Качество смазки зависит в большой степени от уровня масла. В зависимости от условий работы узлов назначают виды смазывания (ГОСТ 18273 - 72), которые характеризуют как время, так и способ подвода и нанесения смазочного материала на поверхности трения. Повышение температуры сопряженных поверхностей кинематических пар зубчатых передач в результате работы сил трения вызывает падение защитных свойств масляного слоя. В качестве масляных насосов применяются, как правило, шестеренные насосы с шестернями внешнего и внутреннего зацепления. Они надежны в работе, имеют малые габариты и вес. Однако повышение производительности машин связано с усложнением кинематических цепей приводов машин, увеличением их габаритов и массы, удлинением напорных, управляющих и сливных гидравлических магистралей,

увеличением материалоемкости привода насоса. Нами предложена принципиально новая система смазки с использованием имеющихся на машине узлов привода, встроенная, например в планетарно-цилиндрическую передачу.

На рисунке изображена комбинированная системы смазки с насосом, установленным в редукторе мобильной машины [1]. Бортовой редуктор содержит стенки 1 и 2 корпуса 3 и крышку 4. Высота стенок превышает высоту внутренних зубьев шестерни 5. В стенке 1 в нижней части на уровне диаметра впадин шестерни 5 выполнено отверстие, сообщающееся с внутренним отверстием закрепленного на ней штуцера 6, с помощью которого и уплотнительного конуса 7 крепится трубопровод 8, далее проложенный вдоль внутренней стенки корпуса 3 и соединенный с форсункой смазки 9, расположенной над шестерней 10. К водилу 11 перед каждым сателлитом 12 прикреплена пластина 13, а контрольная пробка уровня масла 14 расположена на линии касания масла зубьями колеса 15.

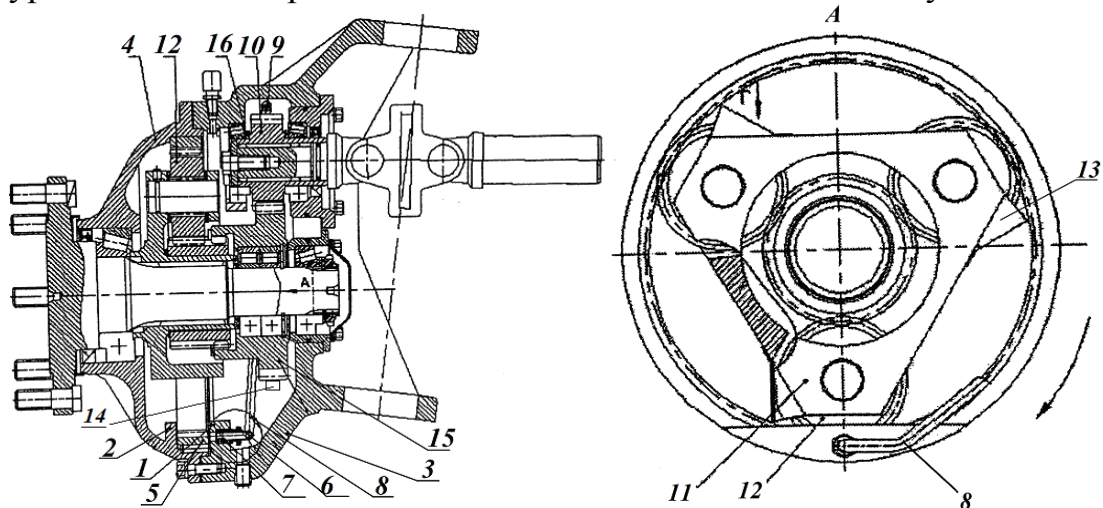


Рис Планетарно-цилиндрический бортовой редуктора мобильной машины с насосом: 1, 2- стенки, 3- корпус редуктора, 4- крышка, 5, 10, 15- шестерни, 6- штуцер. 7-уплотнительный конус, 8-трубопровод, 9-форсунка, 11- водило, 12-сателлит, 13- пластина, 14-контрольная пробка. 16-подшипник

При передаче крутящего момента на водило 11 оно увлекает за собой сателлиты 12, которые обкатываются по шестерне 5. В зоне стенок 1 и 2 корпуса 3 и шестерней 5, пространство между пластиной 13 и вращающимся сателлитом 12 заполняется маслом. Набегающий сателлит 12 выдавливает масло в зацеплении, оно под некоторым избыточным давлением поступает в штуцер и далее по трубопроводу 8 поднимается к форсунке 9 и смазывает шестерню 10 и подшипник 16. Установка такого насоса позволяет использовать комбинированный способ смазки, уменьшить объем заливаемого масла в редуктор, обеспечить надежное смазывание подшипников и зацепления цилиндрической передачи, сохранить свойств масла и уменьшить его расход, повысить долговечность узла.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ ГИБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Юденков В.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одними из главных направлений развития автомобильного транспорта на данный момент являются повышение экономичности и экологической безопасности. Мировой опыт показывает, что наиболее перспективными в этом направлении является использование альтернативных видов топлива и разработка гибридных силовых установок. Такие установки позволяют оптимизировать режим работы ДВС, и аккумулировать излишки кинетической энергии транспортного средства (ТС) при торможении, что оказываются чрезвычайно эффективными в городском цикле движения. Упрощенная схема силовой установки гибридного ТС приведена на рис. 1.

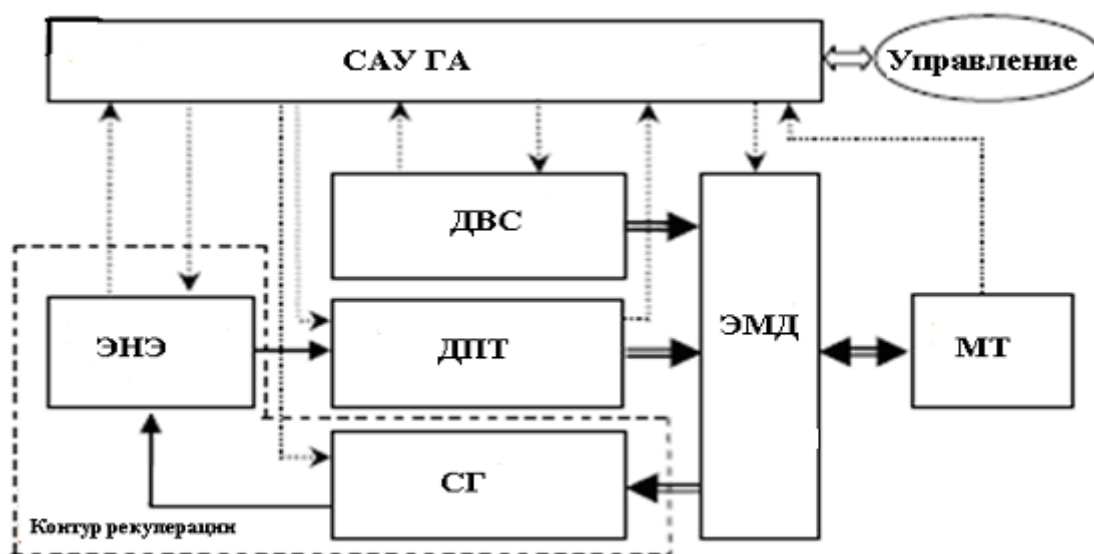


Рис. 1. Функциональная схема силовой установки гибридного ТС

Основным двигателем гибридного ТС является двигатель внутреннего сгорания ДВС. В качестве вспомогательного двигателя используется либо синхронный двигатель переменного тока, либо двигатель постоянного тока ДПТ. Контур рекуперации энергии состоит из синхронного генератора СГ, электрического накопителя энергии ЭНЭ и электромеханического дифференциала ЭМД. Ключевым элементом гибридной силовой установки является распределитель мощности ЭМД, обеспечивающий перераспределение потоков мощности между механической трансмиссией автомобиля МТ, основным двигателем, вспомогательным двигателем ДПТ и контуром рекуперации энергии ЭНЭ. Задача синтеза САУ гибридного ТС может быть сформулирована следующим образом. При всех

допустимых изменениях тягово-скоростного режима обеспечить управление частотой вращения коленчатого вала ДВС, минимизирующее потери мощности в электромеханической системе и накопителе энергии при наличии ограничений на управляющие воздействия. Сложность разработки оптимального управления заключается в нелинейности самого управляемого объекта, а также в комплексности критерия оптимальности. Использование в системах управления цифровых П-, ПИ-, ПИД-регуляторов не даёт существенного улучшения качества процесса при отработке больших рассогласований по скорости или по положению, и не обеспечивает экономию энергетических ресурсов. Для улучшения работы в этих режимах целесообразно применять комбинированную систему (алгоритм) с изменяемой структурой. При малых рассогласованиях работает оптимальная стабилизация (ПИД-регулятор). При больших рассогласованиях происходит переключение структуры и в работу включается цифровой регулятор (алгоритм) для оптимизации системы в «большом». Первоначальным этапом синтеза является определение критерия качества управления, например по минимальному потреблению энергии $W(t)$:

$$I = \lambda_1 W(T) + \lambda_2 T = \int_0^T (\lambda_1 p(t) + \lambda_2) dt = \int_0^T F(t) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где λ_1, λ_2 – множители Лагранжа, $p(t)$ - мгновенная мощность с системе.

Затем используя асимптотическую процедуру оптимизации режима отработки скачка задания скорости получаем уравнения оптимального регулятора для данного критерия качества [1]. Если критерий качества имеет вид:

$$I = \int_0^T (i_1^2 R_1 + \mu_c v + \lambda) dt \rightarrow \min \quad (2)$$

где μ_c, R_1, i_1, v – момент статического сопротивления, сопротивление якоря, ток, скорость двигателя соответственно в относительных единицах, то используя магистральный метод оптимизации, получаем оптимальное управление:

$$i^* = \mu_c \pm \sqrt{\mu_c^2 + \frac{v}{R_1} (\mu_c - \lambda)} \quad (3)$$

Моделирование показало физическую реализуемость данного регулятора, а экономия в электроэнергии за время разгона доказало целесообразность использования регулятора.

1. Панасюк В.И., Ковалевский В.Б., Политыко Э.Д. Оптимальное управление в технических системах. – Мн.: Навука и тэхніка, 1990. – 272 с.

КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Сосновский И.А.¹, Белявин К.Е.², Белоцерковский М.А.¹,
Курилёнок А.А.¹, Кузнечик О.О.³

- 1).Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь;
- 2).Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;
- 3).Институт порошковой металлургии
Минск, Республика Беларусь;

Автоматизация процесса центробежной индукционной наплавки порошковых слоев к внутренней поверхности упрочняемых цилиндрических заготовок [1] предусматривает использование автоматического регулирования и стабилизации режимов нагрева заготовок. Стабилизация режимов нагрева необходима в первую очередь для обеспечения стабильности повторяемости качества каждой из большого числа упрочняемых деталей. Использование автоматического регулирования процесса центробежной индукционной наплавки позволяет, с одной стороны, осуществлять стабилизацию строго заданных режимов нагрева, а с другой, - практически полностью исключить трудозатраты, связанные с необходимостью ручного регулирования этих режимов в течение каждого цикла нанесения покрытия.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы автоматического регулирования режима нагрева заготовок [2].

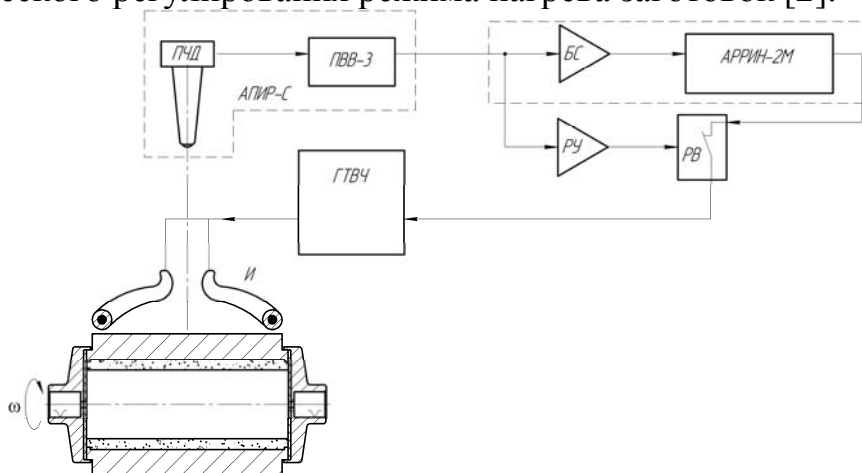


Рисунок 1 - Структурная схема системы автоматического регулирования
режима нагрева заготовок

Структурная схема содержит: ПЧД и ПВВ-3 – соответственно, первичный оптический преобразователь частичного излучения и преобразователь измерительный вторичный, которые образуют комплекс АПИР-С; АРРИН-2М – регулятор мощности генератора ТВЧ; БС - блок

согласования выходного сигнала вторичного преобразователя ПВВ-3 АПИР-С с входным сигналом АРРИН-2М; РУ – реле уровня выходного сигнала вторичного преобразователя АПИР-С; РВ – реле времени; ГТВЧ – генератор токов высокой частоты; И – индуктор.

Работа системы автоматического регулирования заключается в следующем. Нагрев упрочняемой заготовки производится после подачи от регулятора мощности АРРИН-2М на сетки тиратронов ГТВЧ управляющего напряжения, что вызывает протекание через индуктор И токов высокой частоты. Протекание тока в индукторе создает индуцирование его в заготовке и ее разогрев. В результате нагрева происходит изменение спектра волн светового излучения наружной поверхности заготовки, которое улавливается оптическим датчиком частичного излучения ПЧД, преобразующего интегральный световой поток в электрический сигнал. Электрический сигнал, соответствующий температуре нагретой заготовки, усиливается и линеаризуется вторичным измерительным преобразователем ПВВ-3, с выхода которого снимают напряжение от 0 до 10 В, пропорциональное изменению температуры от 600 до 1300°С. Выходное напряжение ПВВ-3 подается на вход АРРИН-2М через блок согласования БС.

Блок согласования БС представляет собой преобразователь выходного напряжения ПВВ-3 в изменяемое по линейному закону электрическое сопротивление, регулирующее входной ток АРРИН-2М пропорционально изменению измеряемой температуры.

Поступающий на вход АРРИН-2М через БС электрический сигнал усиливается и управляет работой выходного тиристорного ключа АРРИН-2М, регулирующего уровень управляющего напряжения тиратронов ГТВЧ.

Принцип регулирования подаваемой на нагреваемую заготовку мощности заключается в том, что при повышении температуры в диапазоне 600...1300°С выходное напряжение регулятора АРРИН-2М, а следовательно, и подводимая к индуктору ГТВЧ мощность снижается.

Продолжительность изотермической выдержки устанавливается с помощью реле времени РВ, управляемого реле уровня РУ выходного сигнала ПВВ-3 АПИР-С.

1 Сосновский, И. А. Технология индукционного нагрева в процессах центробежного нанесения покрытий / И. А. Сосновский, К. Е. Белявин, А. Л. Худoley // Перспективные материалы и технологии / Под редакцией В. В. Клубовича. В 2-х томах. Т.1. – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2015. – Гл. 17. – С. 300 – 313.

2 Устройство для нанесения покрытий из металлических порошков на внутренние поверхности деталей: пат. 8558 Респ. Беларусь, МПК В 22 F 7/04 / И.А. Сосновский [и др.]; заявитель ОИМ НАНБ. - № u 20120198; заявл. 27.02.12; опубл. 30.10.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. - № 5 . – С. 192.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕТРОГРАДНОГО ДВИЖЕНИЯ КАТОДНОГО ПЯТНА ВАКУУМНОЙ ДУГИ

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Согласно существующим физическим представлениям, причиной ретроградного движения катодного пятна во внешнем магнитном поле является «асимметрия магнитного поля» - суммирование внешнего и собственного магнитных полей с одной стороны пятна и их вычитание с другой [1]. Такая асимметрия приводит к движению пятна в направлении максимума индукции магнитного поля. Однако влияние на движение катодного пятна ионизационных процессов в около катодном пространстве, неравномерности прогрева этого пространства и подвижность самой плазменной струи придает случайный характер этому движению по поверхности эрозии. Движение пятна (возникновение нового эмиссионного центра взамен отмирающего) происходит по прямой линии скачкообразно. Расстояние, на которое перемещается катодное пятно и направление движения, являются случайными величинами. Методика расчета траектории движения катодного пятна в отсутствие внешнего магнитного поля приведена в [2].

Цель данной работы – представить разработанный алгоритм и результаты расчета траектории движения единичного катодного пятна вакуумной дуги во внешнем тангенциальном магнитном поле.

Расчет реализован в среде MATLAB с последующей визуализацией результатов расчета. Расчетная схема представлена на рисунке 1. Плоскость рисунка соответствует эродирующей поверхности катода. Вектор силы тока (I) перпендикулярен, а вектор магнитной индукции (B_e) параллелен этой плоскости. Движение пятна идет в направлении перпендикулярном вектору B_e . Новый центр эмиссии наиболее вероятно создаётся на бруствере катодного пятна, однако внешнее тангенциальное магнитное поле препятствует движению пятна в направлении перпендикулярном действующей силы. Угол отклонения от направления движения сильно зависит от величины внешнего магнитного поля:

$$\alpha = \frac{\mu \cdot \pi - \frac{\pi}{2}}{d} = \frac{\pi}{d} \cdot \left(\mu - \frac{1}{2} \right),$$

где d - положительная константа, зависящая от

величины внешнего магнитного поля. За ось отсчета угла берется ось, совпадающая с направлением вектора B_e .

Зная угловую координату при заданном значении внешнего тангенциального магнитного поля можно вычислить угловую координату для нового значения внешнего магнитного тангенциального поля:

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{B_{e2}}{B_{e1}} \right)^b,$$

где b – константа, зависящая от тока разряда.



Рисунок - 1 расчетная схема. Поверхность эрозии лежит в плоскости рисунка

Разработана программа расчета случайного направления движения катодного пятна (угол α) в интервале $\pm 90^\circ$ от направления движения катодного пятна и расчета расстояния, на которое переместится пятно на каждом шаге (dr).

Результат расчета представлен на рисунке 2. По горизонтальной оси – угол α в радианах, по вертикальной оси величина dr в метрах.

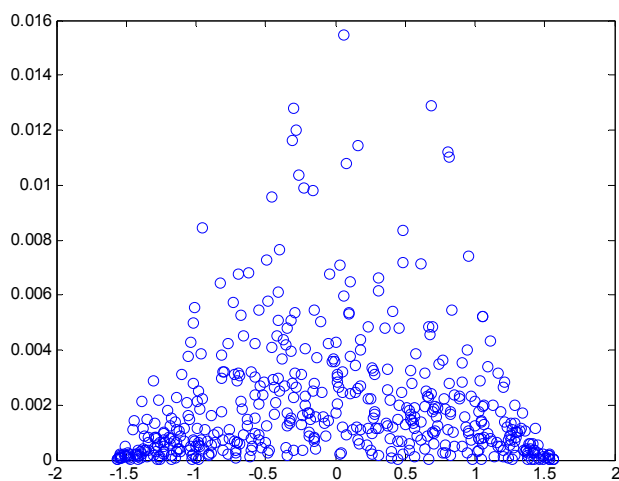


Рисунок – 2 Значение угловой и векторной координаты нового эмиссионного центра.

Выводы. Разработана методика расчета траектории движения катодного пятна электрической дуги во внешнем тангенциальном магнитном поле, что позволяет определять оптимальную конфигурацию внешнего магнитного поля с целью получения требуемой траектории движения и скорости перемещения катодного пятна с целью обеспечить увеличение равномерности испарения поверхности катода-мишени и уменьшения доли капельной фазы в плазменном потоке.

1. Бобров Ю.К., Быстров В.П., Рухадзе А.А. О физической модели обратного движения катодного пятна//Журнал технической физики.- 2006.- том 76.- вып. 5.- С. 35 – 41

2. Иванов И.А. Применение стохастического моделирования к расчету траектории движения катодного пятна электрической дуги// Информационные технологии в образовании, науке и производстве: V Международная научно-техническая интернет-конференция, ноябрь 2017г. [Электронный ресурс]. - <http://www.bntu.by/images/stories/mido/ntik5/ivanov1.pdf>, 2017.

**БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК TIN В
ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЕ TIN/TISI₂/SI**

Маркевич М.И.¹, Чапланов А.М.¹, Щербакова Е.Н.²

¹Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»,
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Наиболее распространенными способами проведения твердофазных реакций формирования силицидов переходных металлов является быстрая термическая обработка (БТО) различными энергетическими источниками. Эти методы отличаются высокой производительностью, технологичностью и воспроизводимостью результатов. Малое время процесса сводит к минимуму влияние окружающей среды на образование силицидов, а так же минимизирует влияние на уже сформированные элементы активной структуры ИМС [1, 2].

Примесь на границе раздела служит барьером для диффузии кремния. Начало образования дисилицидной фазы титана в пленках, осажденных на чистую поверхность кремния в условиях сверхвысокого вакуума, происходит при температурах ниже 500 °С. Присутствие кислорода на границе раздела пленка титана - кремний приводит к увеличению температуры образования дисилицидов. Например, наличие тонкого слоя естественного SiO₂ на подложке увеличивает температуру образования силицидной фазы до 550 °С.

Работа проводилась на тестовых пластинах КДБ-12. Силицид формировался отжигом пленок Ti толщиной 30 нм. Глубина ВЧ-очистки перед напылением Ti проводилась на глубину 10 нм (а), 20 нм (б) и 30 нм (в) по SiO₂. Время обработки составляло 13 с.

Таким образом, из проведенных исследований следует, что глубина очистки увеличивает слой образовавшегося силицида титана.

Необходимо также отметить, что при отжиге пленки титана толщина TiSi_x не достигает расчетной толщины – 75 нм, это связано с присутствием кислорода в атмосферном реакторе БТО. Кислород, растворяясь в пленке титана, препятствует образованию силицида. Влияние кислорода можно исключить, используя защитную пленку TiN сверху пленки Ti.

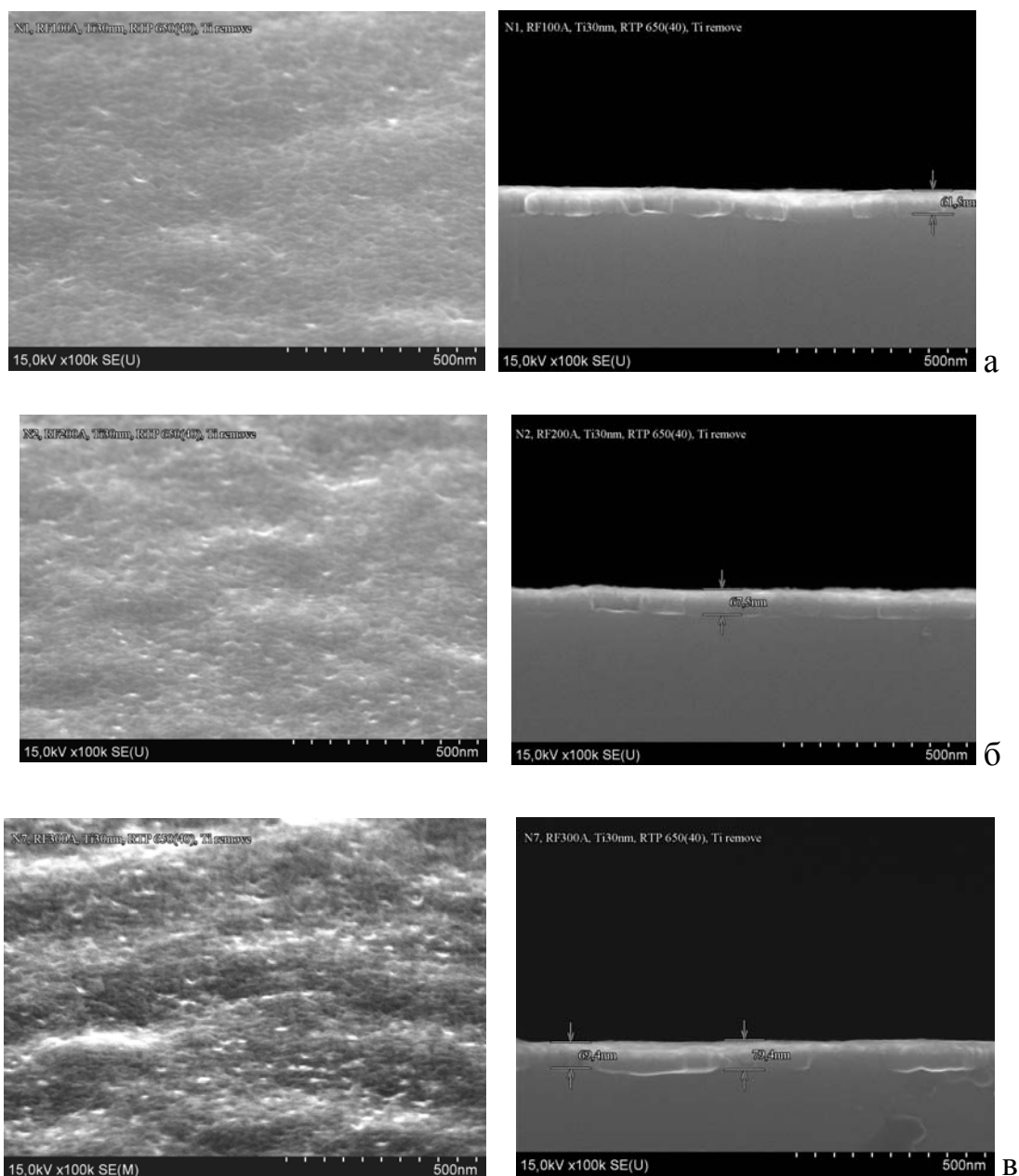


Рисунок 1 - Морфология и толщина пленок $TiSi_x$, полученных после отжига Ti на КДБ при температуре $650^{\circ}C$ с предварительной ВЧ очисткой перед напылением на глубину 10 нм (а), 20 нм (б) и 30 нм (в) по SiO_2

1. Пилипенко, В.А. Быстрые термообработки в технологии СБИС/ В.А.Пилипенко //Мн: Изд. центр БГУ, 2004. - 531 с.
2. Колос, В.В. Контактные системы на основе силицидов/ В.В.Колос, М.И.Маркевич, В.И.Плебанович [и др.] // Электроника-ИНФО - 2009, №.7- С.66-67.

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ СВЧ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ НА ОСНОВЕ КЕВЛАРА И ПОРОШКА ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ

**Адашкевич С.В.², Бакаев А.Г.¹, Маркевич М.И.¹,
Стельмах В.Ф.², Чапланов А.М.¹, Щербакова Е.Н.³**

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь.

2) УО «Белорусский государственный университет»

Минск, Республика Беларусь

3) Белорусский национальный технический университет

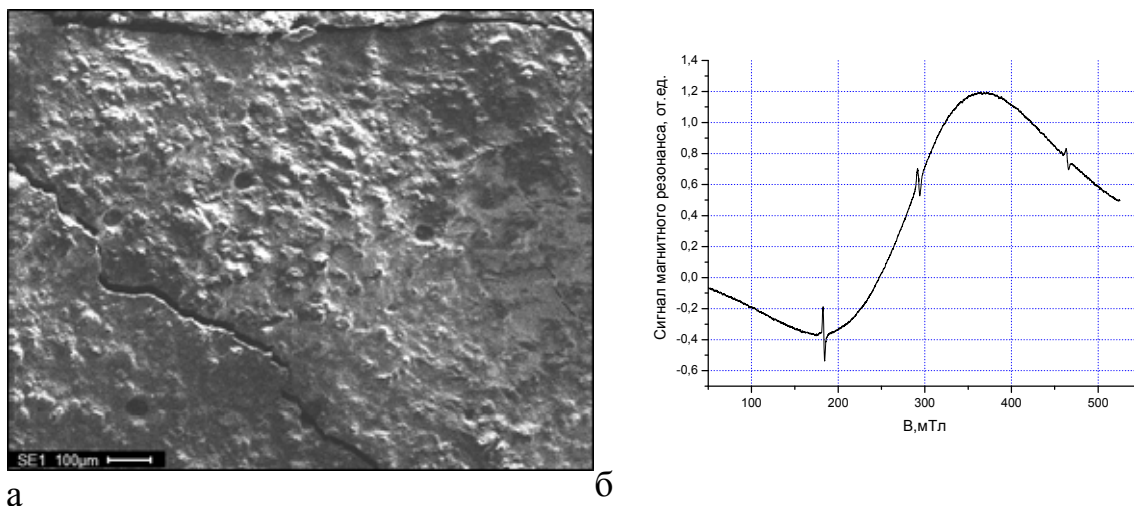
Минск, Республика Беларусь

Разработка экранирования и поглощения электромагнитного излучения в широком радиочастотном диапазоне является актуальной задачей в связи с увеличением мощности устройств СВЧ – радиоэлектроники, что создает помехи спутниковой связи радиоэлектронной аппаратуре. Помимо технических задач в последнее время на первый план выступают экологические аспекты защиты населения от СВЧ излучения, которые в ряде случаев являются первостепенными. Кроме того данные материалы могут использоваться в изделиях бытового назначения.

В данной работе в качестве матрицы используются высокопрочное волокно (кевлар), в качестве радиопоглощающего наполнителя был выбран порошок гексаферрита $\text{SrFe}_6\text{O}_{19}$, а в качестве связующего использовались смола ЭД-20. Исследования состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515. Этот комплекс, в состав которого входят Si(Li) детектор со сверхультратонким окном, охлаждаемый жидким азотом, компьютер и пакет программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF software. Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, равного 30 кВ. Исследования магнитного резонанса проводились на специализированном малогабаритном анализаторе ЭПР «Минск 22» при комнатной температуре. Рабочая длина волны — 3 см. Максимальное значение индукции магнитного поля — 450 мТл. Частота модуляции магнитного поля 30 кГц. Для калибровки интенсивности сигналов объектов исследования использовался образец из монокристалла рубина ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$). Выбор оптимальных параметров регистрации рабочих спектров магнитного резонанса осуществлялся в области значений g-факторов от 1,5–4,0. В процессе измерений дополнительный контроль стабильности

работы спектрометра осуществлялся путем измерения калибровочного материала двухвалентного марганца.

На рисунке 1а представлена морфология образцов со связующим эпоксидная смола. Из рисунка видно, что в композиционном материале, где связующим является эпоксидная смола, имеются достаточно широкие трещины, ширина которых достигает примерно 20 мкм.



а б
Рисунок 1 - Морфология композита на основе кевлара, гексаферрита и эпоксидной смолы (а) и магниторезонансная кривая композиционного материала (б)

На спектрах магнитного резонанса (рисунок 1 б) видна широкая резонансная линия в области эффективного g – фактора $2,6 \pm 0,1$. Ширины линий примерно 175,6 мТл. Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электрической компоненты электромагнитного поля СВЧ в композите со связующим эпоксидная смола значительно. Это связано с «кислородным эффектом», который более существенно проявляется в композитах, где размер сформировавшихся трещин доступных воздействию молекулярного кислорода O_2 на магнитные центры наполнителя более значителен.

Диагностированы композиционные материалы на основе кевлара, гексаферрита и связующего эпоксидной смолы. Методом ЭМР установлено, что спектры композиционных материалов представляют собой неоднородно уширенные широкие линии с эффективным значением g – фактора $2,6 \pm 0,1$ и шириной примерно 175,6 мТл. Показано, что композиционный материал на основе гексаферрита, кевлара и связующего эпоксидной смолы обладает резонансным поглощением энергии СВЧ поля.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВАЛИКОВ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ И ДИСТАНЦИЯХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Шелег В.К., Девойно О.Г., Луцко Н.И., Лапковский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Лазерная наплавка, позволяющая создавать покрытия из различных материалов с использованием в качестве источника энергии лазерного луча, имеет ряд преимуществ перед традиционными методами наплавки. Это и небольшая зона термического воздействия, и минимальные термические напряжения, и неизменные механические характеристики основы. Однако, процесс лазерной наплавки предъявляет более высокие требования к качеству покрытий, характеризующемуся такими показателями как микроструктура, микротвердость, состав покрытия.

Нами сделана попытка исследовать распределение элементов в единичных валиках из самофлюсующегося сплава на основе никеля нанесенных лазерной наплавкой.

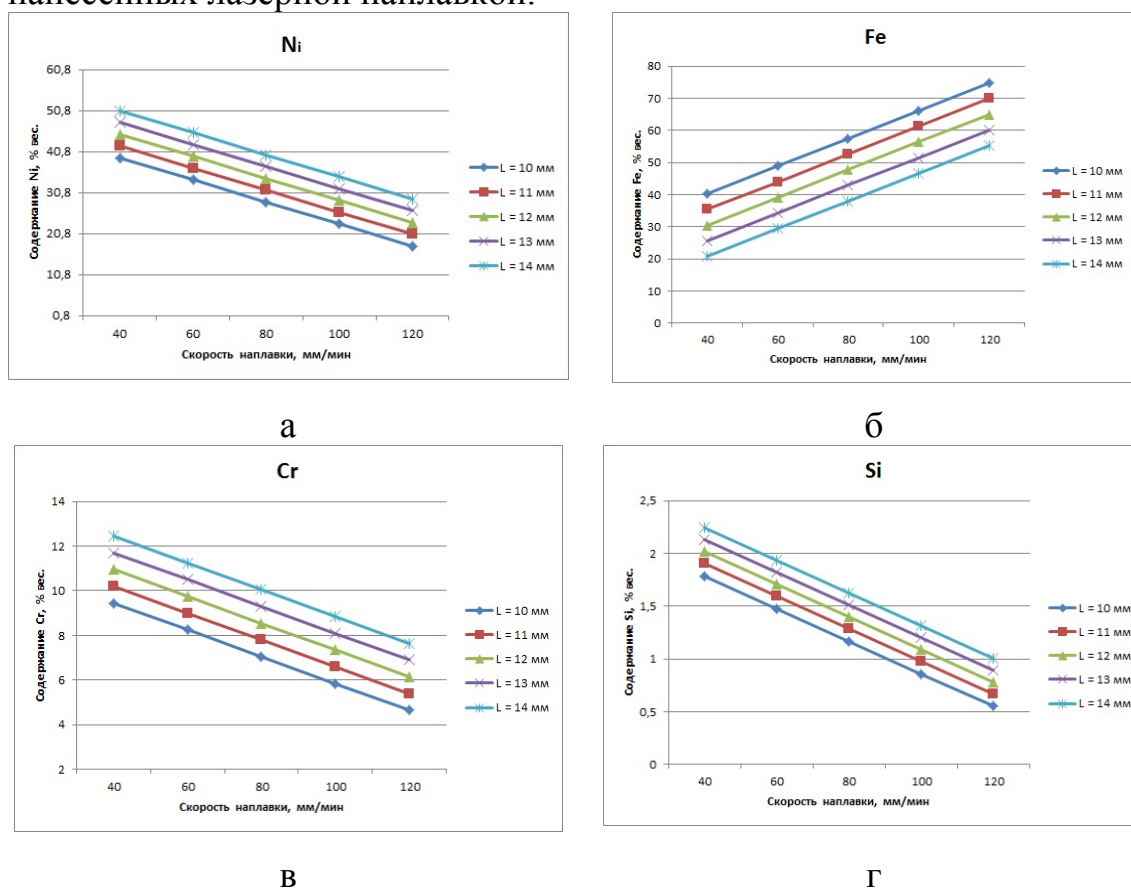


Рисунок 1.- Зависимости содержания Ni (а), Fe (б), Cr (в), Si (г) в %_{вс.} в наплавленном валике из сплава ПГ-12Н-01 от скорости лазерной наплавки

Наплавка образцов из стали 45 производилась на различных режимах на лазерном технологическом комплексе на базе CO₂ –лазера мощностью

1000 Вт и координатной системы с ЧПУ. В качестве наплавочного материала использовался порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля – ПГ-12Н-01.

Распределение элементов определяли на поперечных шлифах валиков с помощью рентгеновской дифракционной системы SmartLab RIGAKU (X-ray diffraction system).

Полученные данные по распределению элементов в различных точках поперечного сечения валиков при разных режимах лазерной наплавки свидетельствовали о том, что зависимости содержания элементов от режимов наплавки в исследованных пределах имеют линейный характер. Поэтому для сокращения количества выполняемых экспериментов и получения наиболее достоверных данных использовалась методика полного факторного эксперимента (ПФЭ). Обработка данных экспериментов производилась при помощи специальной программы. Эксперименты проводились по плану ПФЭ 2^2 , каждый эксперимент повторялся два раза. В качестве факторов влияющих на содержание элементов были выбраны: скорость наплавки v (мм/мин) и дистанция наплавки l (мм).

На основании полученных уравнений регрессии в натуральных переменных были построены графики для содержания Ni, Fe, Cr, Si в валиках в зависимости от режимов лазерной наплавки (рисунок 1).

Как видно из приведенных данных, наибольшее содержание никеля, хрома и кремния в валиках наблюдается при дистанции наплавки $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы) в случае, когда имеет место минимальный переплав основы. Наименьшее содержание никеля, хрома и кремния в валиках имеет место при дистанции наплавки $L = 10$ мм (фокус луча под поверхностью основы), что может свидетельствовать о сильном переплаве поверхности основы, когда часть этих элементов из покрытия переходит в последнюю. С увеличением скорости наплавки наблюдается уменьшение содержания никеля, хрома и кремния в валиках.

В процессе наплавки имеет место ожелезнение материала получаемых валиков. При этом содержание железа в валиках для всех зон валиков минимально при дистанции $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы), что хорошо согласуется с наименьшим переплавом основы в этом случае. Наибольшее же содержание железа в валиках наблюдается при дистанции $L = 10$ мм (фокус под поверхностью основы), т.е. когда происходит наибольший переплав основы и взаимное перемешивание покрытия с основой. При этом степень переплава достаточно высока, т.к. содержание железа в валиках может достигать $70\%_{\text{вес.}}$, в то время как содержание никеля падает до $20\%_{\text{вес.}}$ (в исходном порошке содержание никеля составляет порядка $70\%_{\text{вес.}}$, а содержание железа – $3-4\%_{\text{вес.}}$). С увеличением скорости наплавки содержание железа в валиках увеличивается.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Шаталов И.М.,
Быков К.Ю., Кособуцкий А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для оценки эффективности при формообразовании зубчатого венца конического колеса применялась компьютерная модель двухпереходной штамповки в программе 3D-Deform при углах обкатывания $\gamma=0^\circ$ - служит моделью традиционной штамповки и при $\gamma=1^\circ$ - модель сферодвижной штамповки.

Процесс деформирования на 1 переходе можно разделить на три стадии (рисунок 1):

- вдавливание вершин зубьев матрицы в заготовку (рисунок 1, а);
- формирование предварительного зубчатого венца (рисунок 1, б);
- выдавливание заусенца по внешнему торцу заготовки (рисунок 1, в).

На 2 переходе также три стадии:

- 1) запрессовка по контуру зубчатого венца (рисунок 1, г);
- 2) окончательное формирование зубчатого венца (рисунок 1, д);
- 3) выдавливание заусенца по внешнему торцу заготовки и калибровка зубчатого венца конического колеса (рисунок 1, е).

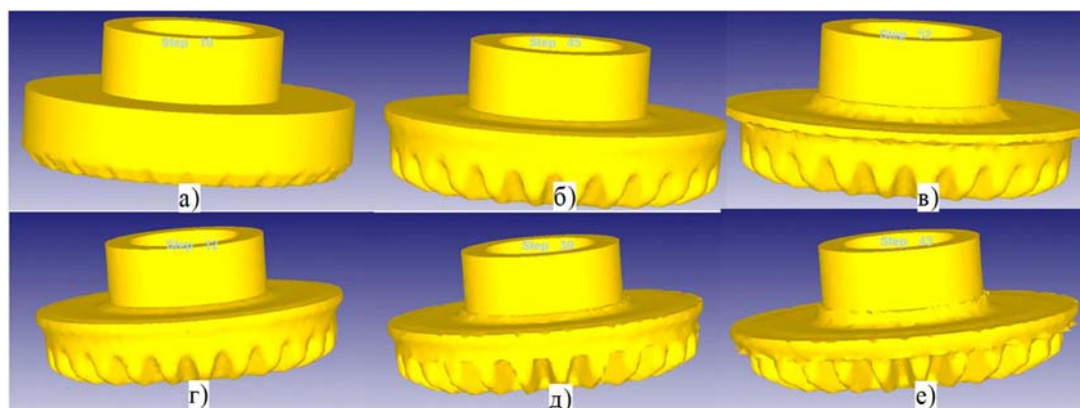


Рисунок 1 – Модель штамповки конического зубчатого колеса по стадиям штамповки: 1 переход (а, б, в); 2 переход (г, д, е)

Так из рисунков 2, а) и 2, б) видно, что усилие и работа деформирования при угле обкатывания $\gamma=1^\circ$ в сравнении с традиционной штамповкой при угле $\gamma=0^\circ$ снижается в четыре раза благодаря локальному очагу деформирования при сферодвижной штамповке. При этом максимальный скачок усилия соответствует третьей стадии деформирования (выдавливание заусенца).

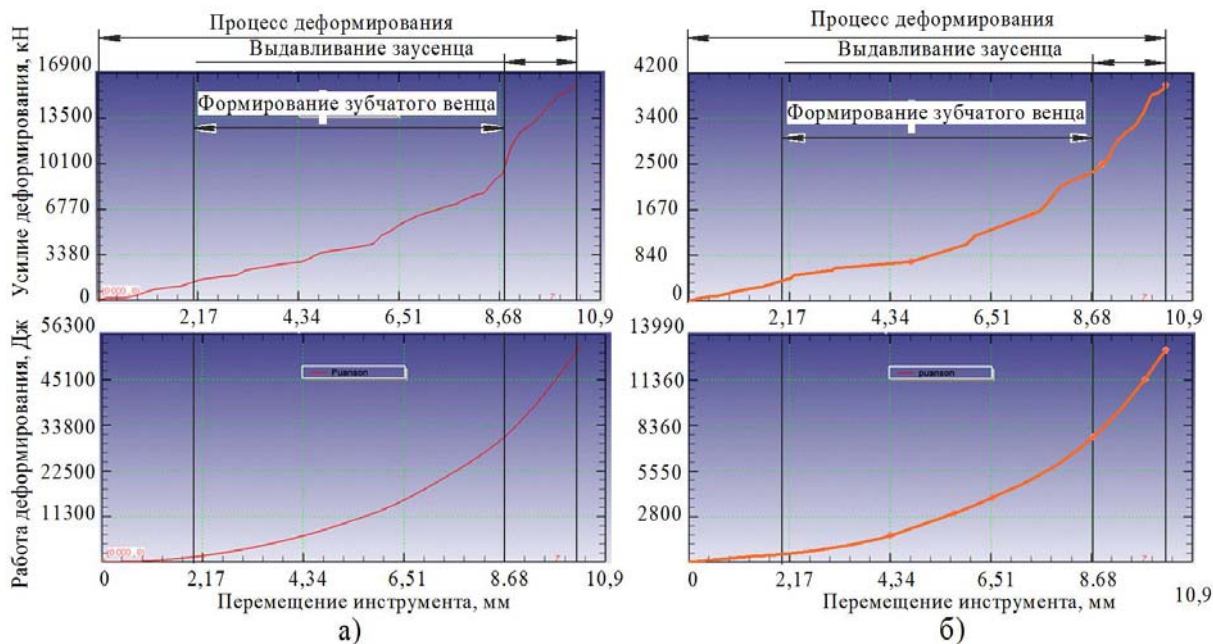


Рисунок 2 - Изменение энергосиловых параметров на 1 переходе: а) при традиционной штамповке ($\gamma=0^\circ$) и б) при сферодвижной штамповке конического зубчатого колеса ($\gamma=1^\circ$)

Аналогично первому переходу из рисунков 3, а) и 3, б) видно, что усилие и работа деформирования при угле обкатывания $\gamma=1^\circ$ в сравнении с традиционной штамповкой при угле $\gamma=0^\circ$ снижается в четыре раза.

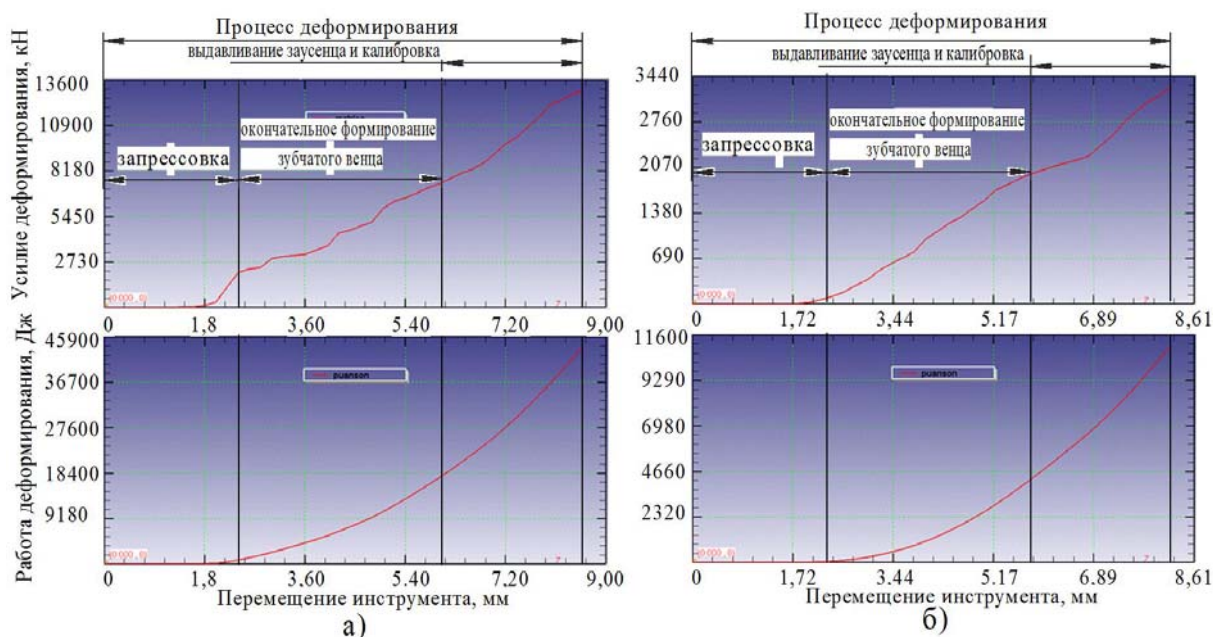


Рисунок 3 - Изменение энергосиловых параметров на 2 переходе: а) при традиционной штамповке ($\gamma=0^\circ$) и б) при сферодвижной штамповке конического зубчатого колеса ($\gamma=1^\circ$)

Проведенный сравнительный анализ компьютерных моделей показал высокую эффективность сферодвижной штамповки в плане снижения усилия деформирования и энергоемкости применяемого оборудования в сравнении с традиционной штамповкой, благодаря локализации очага деформации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ СЕЧЕНИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А.,
Шаталов И.М., Быков К.Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассчитанные в результате компьютерного моделирования значения параметров напряженно-деформированного состояния распределяются, как правило, в узлах (перемещения, скорости перемещения) или элементах (компоненты тензоров деформации, скорости деформации и напряжения) конечно-элементной сетки. При отображении характеристик, распределенных по элементам, предварительно осуществляется их осреднение по узлам сетки. При этом внутри элемента каждая величина представляется линейной функцией.

Для отображения таких функций используют линии уровня и цветовые карты со шкалой значений, в которых области, отвечающие разным диапазонам значений функции, закрашиваются разными цветами.

На рисунке 1 представлена визуализация распределения напряжений по сечению заготовки в конце деформирования конического зубчатого колеса в процессе холодной сферодвижной штамповки на стадии калибровки.

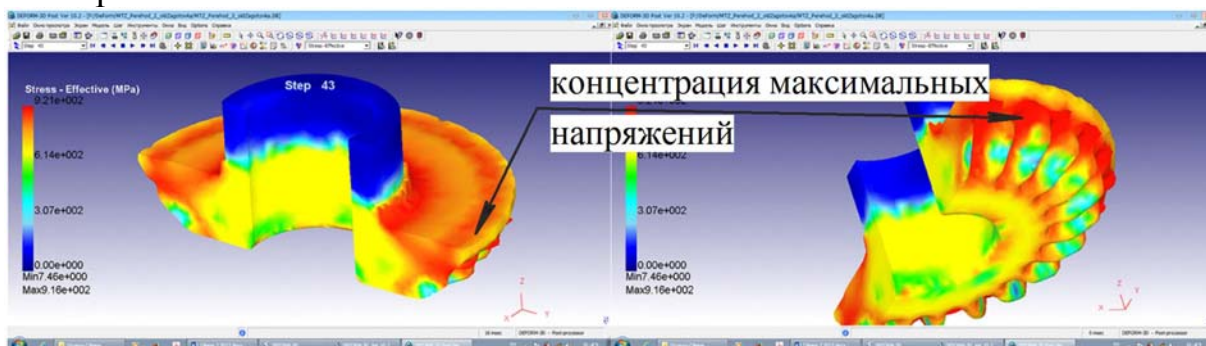


Рисунок 1 – Расположение концентраторов напряжений на стадии калибровки зубчатого венца конического колеса

Анализируя картину распределения напряжений по сечению деформируемой заготовки видно, что концентрация максимальных напряжений формируется на внешнем торце конического колеса и выдавленных зубьях. Однако не всегда наличие максимальных напряжений указывает на опасное сечение (например, при всестороннем неравномерном сжатии). Как правило, опасность разрушения металла наблюдается при значительном превышении растягивающих напряжений над сжимающими и при знакопеременной нагрузке.

Чтобы оценить воздействие сжимающих и растягивающих напряжений исследовалась картина распределения максимальных главных напряжений (рисунок 2). Знаком «-» обозначены сжимающие напряжения, знаком «+» - растягивающие.

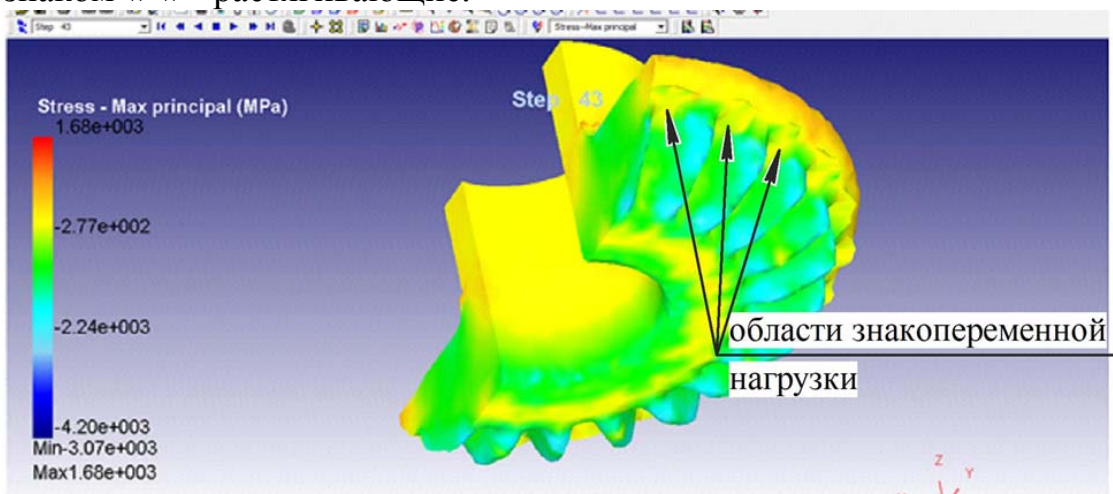


Рисунок 2 - Распределение максимальных главных напряжений

Из рисунка 2 видно, что выдавленные зубья испытывают в основном напряжения сжатия, а вот на внешнем торце колеса при переходе от впадин к вершинам зубьев возникает знакопеременная нагрузка (опасное сечение).

Кроме того, стадия калибровки сопровождается интенсивным наклепом на внешнем торце конического колеса. В результате чего резко падает пластичность металла и заполнение заусенечной канавки не происходит, и данная область не разгружается. Таким образом, максимальные знакопеременные напряжения воздействуют не только на заготовку, но и на основание зубьев матрицы. Знакопеременная нагрузка у основания зубьев матрицы повышает вероятность возникновения и развития трещин и, как следствие, разрушение инструмента, что подтвердили опытно-промышленные испытания.



Рисунок 3 – Вид разрушения формообразующих зубьев матрицы

Очевидно, что технологический процесс сферодвижной штамповки конического зубчатого колеса, взятый для данной компьютерной модели, требует корректировки путем оптимизации геометрии как самой заготовки, так и применяемого инструмента для оптимизации напряженно-деформированного состояния.

УДК 620.4539.37

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ СНЯТИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОЛОТНА НА ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Качанов И.В., Рубченя А.А., Шаталов И.М., Быков К.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Резец для дорожных фрез – это инструмент, используемый в конструкции дорожных фрез, и монтируемый в специальных резцедержателях. От качества и надежности резцов во многом зависит эксплуатационный ресурс фрезы в целом и, что немаловажно, предсказуемость ремонтного процесса. Резцы подвергаются чрезмерным механическим нагрузкам, которые следует рассматривать, как разрушающий фактор. Поэтому выбор резцов должен осуществляться, исходя из степени износостойкости и длительности рабочего ресурса.

Усовершенствованная технология изготовления большинства современных резцов способна в разы повысить производительность фрезы и, при этом, способствовать снижению эксплуатационных затрат. В этой связи применение технологии скоростного горячего выдавливания (СГВ), которая уже зарекомендовала себя в ряде исследований как высокоэффективная технология получения точных заготовок под инструмент с повышенными механическими свойствами, для изготовления дорожных резцов, является весьма перспективным направлением исследований.

В ходе проведенных исследований на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ была разработана экспериментальная, отечественная технология скоростного горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов для снятия асфальтобетонного дорожного полотна [1].

Результатом реализации этой экспериментальной отечественной технологии СГВ стали опытные образцы биметаллических дорожных резцов (рисунок 1) в количестве 13 (тринадцати) штук, которые далее были испытаны на автомобильных дорогах Республики Беларусь (рисунок 2, 3). Общая длина профрезерованных участков дороги с использованием опытных резцов составила 2000 м.



Рисунок 1 – Опытные образцы биметаллических дорожных резцов



Рисунок 2 – Фрагмент барабана дорожной фрезы с резцами фирмы «Wirtgen» и опытными образцами, полученными методом СГВ



Рисунок 3 – Момент работы дорожной фрезы на трассе Р31

Проведенные испытания позволили сделать вывод о пригодности отечественных резцов для использования в дорожном строительстве. При этом, по сравнению со стоимостью одного резца «Wirtgen W6/20» – 4,7 EUR (9,5 BYN по состоянию на 02.05.2017 г.), экономический эффект от использования 13 опытных резцов составил 123,5 BYN. Ожидаемый экономический эффект от использования 300 опытных резцов, изготовленных из материалов 40X+BK8 по новой технологии, составит 2850 BYN.

1. Качанов, И.В. Технология изготовления резцов для дорожных машин / И.В. Качанов, И.М. Шаталов, А.А. Рубченя, К.Ю. Быков // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Proceedings of academic science – 2017, August 30 – September 7, 2017: Sheffield. Science and education LTD. – Volume 4. – № 9. – P. 24–29.

ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТ КОРРОЗИИ

**Качанов И.В., Жук А.Н., Филипчик В.А.,
Шаталов И.М., Быков К.Ю.**

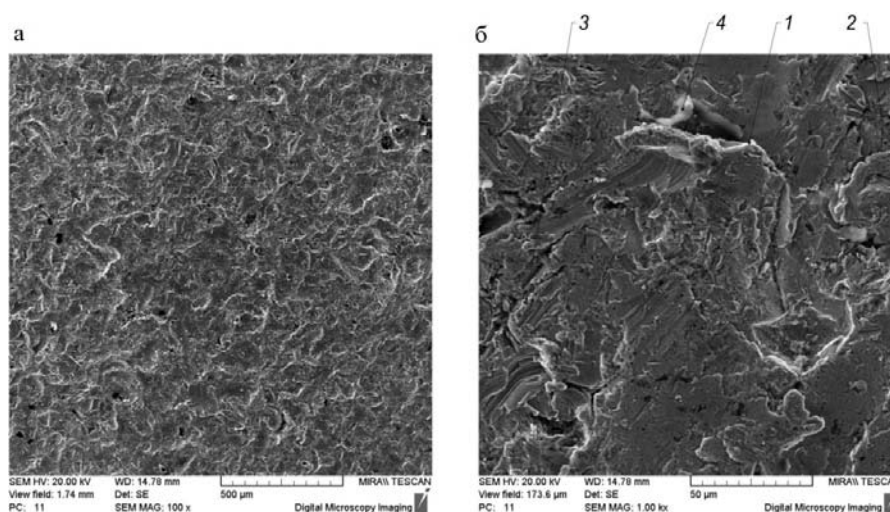
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Качество очистки поверхностей от коррозии влияет на эффективность реализации целого ряда технологических процессов. Реверсивно-струйная очистка с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины обеспечивает формирование антикоррозионного защитного покрытия со светопоглощающими свойствами на очищенной поверхности и предотвращает образование повторной коррозии.

Исследования, проведенные в лаборатории кафедры «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ, показали, что весьма экономично и с гораздо меньшими затратами мощности можно подготовить листовые стальные материалы к последующей лазерной резкой (ЛР), применяя для удаления продуктов коррозии реверсивно-струйную очистку (РСО), основанную на струйном воздействии рабочих жидкостей на обрабатываемую поверхность. При этом в качестве рабочих жидкостей используются водные составы с добавками речного песка – на начальном этапе очистки и бентонитовой глины – на завершающем. При такой последовательности обработки листовых материалов на очищенной поверхности формируется микронеровность порядка 2–4 мкм, покрытая антикоррозионным защитным слоем, который имеет химсостав бентонитовой глины и характеризуется низкой отражательной способностью, что актуально при ЛР. Испытания на лазерных комплексах, относящихся по типу к газовым лазерам, показали повышение скорости ЛР для образцов, обработанных по указанной технологии, на 10–20 % по сравнению, например, с материалами, очищенными традиционными (дробе- и пескоструйными) способами.

Экспериментально установлены оптимальные режимы очистки: расстояние от сопла до очищаемой поверхности: $L = 15–60$ мм; скорость струи $v_{стр} = 150–200$ м/с; давление $p_c = 18–23$ МПа. При обработке с указанными параметрами обеспечивается формирование шероховатости R_a на поверхности образцов из стали Ст3пс в диапазоне значений 2–4 мкм. Установлено, что на всей очищенной поверхности образцов, обработанных после сушки рабочей жидкостью на основе воды с концентрациями бентонитовой глины и кальцинированной соды соответственно $K_{б.с} = 2,0–5,0$ % и $K_{к.с.с} = 0,2–1,0$ %, формируется защитное пленочное покрытие в виде «волнообразных» чешуек (рисунок 1) со средней толщиной 5–7 мкм, которая в 1,5–2 раза превышает среднюю высоту выступов

микронеровности Ra поверхности при очистке ее с использованием оптимальных параметров реверсивно-струйной очистки.



а – x25; б – x250;
1–4 – «волнообразные» чешуйки

Рисунок 1 – Внешний вид покрытия, сформированного на поверхности образцов после реверсивно-струйной очистки

Проведен анализ образовавшегося на поверхности очищенного образца пленочного покрытия с определением его химического состава и толщины. Установлено, что химическую основу пленочного покрытия составляют элементы, входящие в бентонитовую глину, являющуюся основной компонентой рабочей жидкости на третьем этапе реализации технологии реверсивно-струйной очистки.

Проведены производственные испытания очищенных образцов, в результате которых установлена эффективность реверсивно-струйной очистки при подготовке стальных поверхностей под лазерную резку. В частности, для очищенных образцов из стали Ст3пс выявлено повышение скорости лазерной резки на 10–20 %, что было достигнуто за счет устранения эффекта рассеяния лазерного луча от существенно шероховатой поверхности ($Ra = 2\text{--}4$ мкм) при формировании на ней защитного пленочного покрытия толщиной 5–7 мкм, которое исключает отражение лазерного луча от поверхности разрезаемого материала.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ РЕВЕРСИВНОЙ СТРУИ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

**Качанов И.В., Жук А.Н., Вермениук В.В., Филипчик А.В.,
Шаталов И.М., Быков К.Ю.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследования, проведенные на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ показали, что весьма экономично и с малыми затратами мощности можно подготовить листовый материал под лазерную резку (ЛР) применяя реверсивно-струйную очистку (РСО) для обработки поверхностей.

Для реализации этой технологии РСО на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ была разработана конструкция струйного блока (рисунок 1) характеризующаяся патентной новизной [1]. Конструкция включает конусное сопло 1, установленное в корпус 2, который через уплотнение 3 плотно прижимается к очищаемой поверхности 4. Изменение расстояния L между поверхностью и соплом обеспечивается за счет перемещения последнего в радиальных опорах 5.

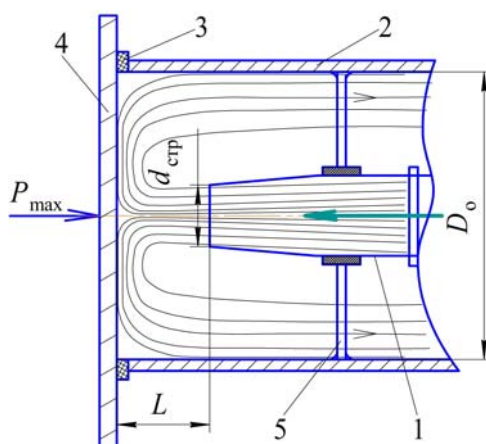


Рисунок 1 - Схема струйного устройства для реализации процесса реверсивно-струйной очистки

При подключении данного струйного блока к насосной установке поток рабочей жидкости после взаимодействия с поверхностью 4 разворачивается на 180° относительно своего первоначального движения. Этот разворот обеспечивает формирование реактивной силы, которая, складываясь с силой от воздействия струи, приводит к увеличению давления p_{max} струйного воздействия в $1,25 \div 1,5$ раза (теоретически – в 2 раза) по сравнению с традиционной схемой очистки, когда струя после

взаимодействия с поверхностью растекается под углом 90° относительно своего первоначального направления течения.

Отмеченный выше параметр силы (давления) струйного воздействия на обрабатываемую поверхность является одним из основных при разработке технологии РСО и выборе насосного оборудования, предназначенного для реализации технологии.

Анализ показал, что значительный объем теоретических исследований по расчету силы (давления) струйного воздействия основан на использовании теоремы об изменении количества движения, что не позволяет авторам установить взаимосвязь между усилием (давлением) обработки и механическими свойствами обрабатываемых материалов, включая технологические параметры процесса РСО [4].

Для получения решения, лишенного указанных недостатков, предлагается использовать теоретический метод, который в механике сплошной среды известен как приближенный энергетический метод (метод верхней оценки).

На основе этого метода разработана математическая модель расчета давления разрушения от воздействия реверсивной струи на обрабатываемую поверхность, состоящую из слоя коррозионных отложений.

В результате решения вариационной задачи получена теоретическая зависимость (1) для расчета минимальной величины давления разрушения p_{\min} в точке соударения реверсивной струи с преградой, учитывающая механические свойства разрушаемого материала (σ_s , ρ), скорость струи $v_{\text{стр}}$ и параметр реверсивного течения – коэффициент обжатия струи λ :

$$p_{\min} = 2,6\sigma_s + 0,25\rho(1 + \lambda)v_{\text{стр}}^2. \quad (1)$$

Сопоставление экспериментальных данных, полученных с помощью двух методик (базируются на основе применения датчика разности давлений ЭДП-30 и пружинного динамометра с пределами измерений 25 и 80 МПа соответственно), с теоретическими (получены на основе расчета по формуле (1)) в диапазоне рабочих скоростей реверсивного струйного воздействия ($v_{\text{стр}} = 140 \div 200$ м/с) и давлений на преграду (14 ÷ 43 МПа) показало расхождение порядка 4 ÷ 15 %. Полученное незначительное расхождение между теорией и экспериментом показывает, что оптимизированная теоретическая зависимость (1) является вполне корректной и может быть использована в инженерной практике как для прогнозирования энергосиловых и кинематических параметров процесса реверсивно-струйной очистки, так и для подбора соответствующего насосного оборудования, предназначенного для реализации этого процесса.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ПРИ РАБОТЕ ПОВЫСИТЕЛЬНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Садоменко С.Л., Тозик А.С., Лившиц Ю.Е., Гутич И.И.
Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На современном этапе развития систем управления повысительными насосными станциями важную роль играет оптимизация энергопотребления с помощью интеллектуальных алгоритмов, задача которых сводится к определению наиболее эффективных режимов работы станции. Важную роль в решении задач оптимизации повысительных насосных станций играет прогнозирование расхода воды. Основываясь на периоде прогноза выделяют краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный прогноз. Краткосрочный прогноз расхода – это прогноз на несколько минут вперед, среднесрочный – от одного часа до трех, долгосрочный прогноз – на один день вперед.

Поскольку расход воды представляет собой прежде всего одномерный временной ряд, могут применяться многие статистические методы прогнозирования временных рядов. Они включают авторегрессию, скользящее среднее, интегрированную модель авторегрессии скользящего среднего и другие. Однако, эти методы хорошо работают только со стационарными временными рядами, что делает их менее эффективными для временных рядов с существенными нелинейными составляющими.

Другой класс методов прогнозирования основан на нейронных сетях. Этот метода стал чрезвычайно популярный в прогнозировании временных рядов за последнее десятилетие. В основном, нейронные сети подражают человеческому мозгу, чтобы автоматически изучать закономерности и шаблоны из прошлого опыта и произвести обобщенные выводы. В отличие от статистических методов прогнозирования, нейронные сети представляют собой набор нелинейных адаптивных методов, которые управляются данными, а это значит, что нет необходимости каких-либо предварительных знаний о взаимосвязи между моделью и данными. Хорошо известно, что нейронные сети способны аппроксимировать любую нелинейную функцию. Нейронные сети обычно достигают хороших результатов, особенно на сложных временных рядах.

Традиционные нейронные сети лишены памяти, что является их основным недостатком. Рекуррентные нейронные сети решают эту проблему. Они содержат в себе обратные связи, позволяющие сохранять информацию. В структурном плане рекуррентные нейронные сети тесно связаны с последовательностями, их архитектура является естественной для работы с таким типом данных. За последние несколько лет рекуррентные нейронные сети с большим успехом были использованы для

решения различных задач, таких как распознавание речи, моделирование языка, перевод, создание описаний к изображениям, прогнозирование [1].

Большая часть успехов была достигнута с помощью особого типа рекуррентных нейронных сетей, называемых lstm-сетью (long short-term memory, долговременно-кратковременная память), которые при решении различных задач значительно превосходят стандартный вариант.

Lstm-сеть – это особый тип рекуррентной нейронной сети, способный обучаться долговременным зависимостям. Lstm-сети были представлены в работе hochreiter and schmidhuber, 1997, а затем оптимизированы и популяризированы во многих последующих работах. Такие сети прекрасно справляются с решением многих задач и находят широкое применение в настоящее время [2].

Lstm-сети разработаны специально для того, чтобы решить проблему долговременных зависимостей. Хранение информации в течение длительных периодов времени – это их поведение по умолчанию. Все рекуррентные нейронные сети имеют форму цепочки повторяющихся модулей. Повторяющийся модуль стандартной рекуррентной нейронной сети имеет очень простую структуру, например, единственный tanh-слой (функция активации – гиперболический тангенс).

Lstm-сеть представляет собой аналогичную цепочку, но повторяющийся модуль имеет другую структуру. Вместо одного слоя он содержит четыре слоя, которые взаимодействуют особым образом.

В результате для прогнозирования расхода воды на повысительных насосных станциях была выбрана именно lstm-сеть, так как расход воды имеет распределенные во времени повторяющиеся тенденции, которые сеть смогла изучить и обобщить [4].

Модель сети реализована на платформе .net с помощью языка программирования c# в виде dll библиотеки и nuget пакета для упрощения использования в сторонних программах [3]. Выбор технологии обусловлен опытом разработки программ и наличием стека компонентов для решения всех поставленных задач, а также реализацией системы оптимизации.

1. Уоссермен ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / пер. С англ. Ю.а.зюева, в.а.точенова — м.: мир, 1992.

2. Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети. (введение в теорию формальных нейронов) — м.: энергия, 1971.

3. Э. Троелсен. Язык программирования c# 2010 и платформа .net 4/ - м.: издательство «вильямс», 2010. -1392 с.

4. Интернет: <http://datareview.info/article/znakomstvo-s-arhitekturoy-lstm-setey>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПАКЕТА ROBOGUIDE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Чухольский Д.С., Петрова Ю.В., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет

Постоянно растущий спрос на промышленные роботы требует от производителей и интеграторов новые подходы в автоматизации производств. Большими темпами нарастает конкуренция между интеграторами, поэтому ошибки или промедление при внедрении комплексов недопустимы.

Компьютерное моделирование позволяет ускорить программирование роботов, предотвратить ошибки при внедрении комплекса, заранее просчитать наиболее эффективную траекторию прохождения рабочих точек инструментом манипулятора.

На рынке уже выделены компании, которые предоставляют промышленные роботы, наиболее подходящие для обработки материалов. Среди таких компаний есть явные лидеры: KUKA, Fanuc, Abb, Motoman и Kawasaki. Помимо оборудования эти компании (за исключением Motoman) предлагают пакеты моделирования на базе их роботов, что значительно облегчает последующее проектирование. Это пакеты KUKA.Sim, Roboguide, RobotStudio, K-Roset.

Знания, умения и навыки в области внедрения промышленных роботов, особенно роботов Fanuc, являются востребованными для специалистов в области промышленной робототехники. Для учебного процесса пакет FANUC Roboguide привлекателен в первую очередь наличием интуитивно-понятного интерфейса (рисунок 1).

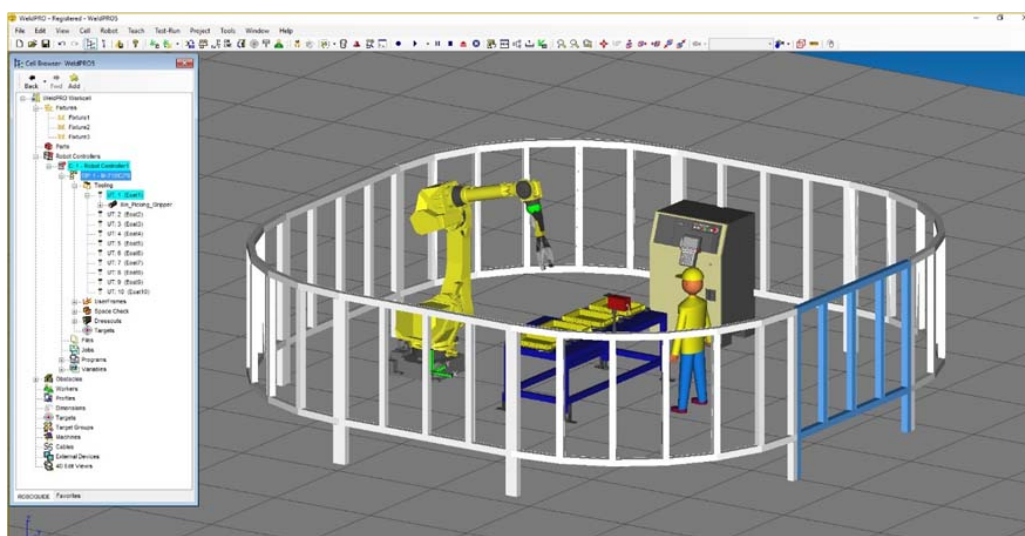


Рисунок 1 - Ячейка в Roboguide

На рисунке 1 изображена ячейка Roboguide с роботом-укладчиком. Основное пространство занимает 3D-модель робототехнического комплекса. Он состоит из манипулятора, контроллера с пультом управления, стола, оператора и защитного ограждения. В левой части экрана находится дерево обозревателя проекта, где можно добавить или убрать все объекты, инструменты, а также изменить их свойства, такие как размер, местонахождение, угол, под которым они находятся по отношению к другим объектам.

Вверху экрана находятся кнопки управления, позволяющие работать с проектами, рабочими точками, осями, скоростями, координатами объектов, рабочей зоной робота, включить/выключить использование пульта управления, а также работы по созданию видеоролика работы комплекса.

Roboguide имеет не только свою библиотеку файлов, таких как схваты, ограждения, операторы, конвейеры, столы, контроллеры и прочие объекты, но и поддерживает загрузку САД-файлов различных форматов, в том числе широко распространенный *.igs, поддерживаемый программой КОМПАС 3D.

Помимо прямого написания программы на языке KAREL существует возможность автоматического программирования, что требует лишь знания предметной области технологии, в рамках которой работает робот.

Созданную программу в перспективе можно перенести в контроллер робота и запустить. Загрузка параметров из модели в систему управления робота проводится следующим образом: в модели выполняется операция сохранения образа системы, который через USB-накопитель может быть помещен в контроллер робота.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем, которыми и являются РТК. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить так называемые вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий, или могут дать непредсказуемый результат.

Что бы научиться пользоваться пакетом Roboguide не нужен огромный опыт программирования и моделирования технологических процессов – студент легко может освоить работу в подобной программе. Ожидается рост популярности метода работы с предварительным моделированием комплексов, а значит подготовка специалистов с необходимыми знаниями имеет первостепенную роль. Преподавание такого раздела актуально в рамках дисциплин специальности “Промышленные роботы и робототехнические комплексы”.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦ ПРИУСАДЕБНЫХ УЧАСТКОВ

Лившиц Ю.Е., Несмашных А.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика 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 домашнее хозяйство. Развитие технологий уже позволило автоматизировать многие повседневные процессы. Стиральные и посудомоечные машины, кофеварки, хлебопечки и другие приборы уже не являются диковинкой. Они помогают экономить время, избегать рутинных и неприятных занятий. Автоматизированные системы можно применить даже на дачном участке. Ведь, например, использование автоматики при поливе позволит сэкономить немало времени и сил, которые можно потратить на более интересные и приятные занятия. К тому же регулярность такого полива обеспечит более стабильный рост и развитие растений и, как следствие, повысит урожайность.

Цель проекта - разработка автоматической системы по созданию и поддержанию необходимых микроклиматических условий в теплице индивидуального хозяйства на летний период. Так как система разрабатывается для использования в небольших дачных теплицах, основные требования, предъявляемые к ней - автономность, простота, надежность и низкая себестоимость.

Система должна выполнять следующие задачи:

- поддерживать в заданных пределах значения влажности почвы;
- предотвращать перегрев воздуха, обеспечивая проветривание помещения;
- поддерживать заданный уровень воды в резервуаре для полива.

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Структурная схема автоматизированной системы

Для наибольшей эффективности и надежности полива, был выбран метод капельного орошения.

Для предотвращения закупоривания капельниц, необходимо использование фильтра.

В системе используются: емкостной датчик температуры и влажности воздуха и резистивные датчики влажности почвы. Для контроля уровня воды и закрытия окна используются датчики релейного типа.

Модели насосов и объем бака подбираются исходя из размеров теплицы

Данные с датчиков обрабатываются контроллером Arduino UNO R3, который с заданной периодичностью проводит опрос датчиков и получает данные влажности почвы, наполненности бака и температуры воздуха в теплице, после чего сравнивает их с заданными диапазонами. Влажность почвы имеет три диапазона значений: «сухая», «достаточно увлажненная», «влажная». Подобные три диапазона имеет уровень воды в баке: «низкий», «достаточный», «бак полон».

Так как проверка показаний датчиков происходит с определенным периодом, необходимо обеспечить постоянное наличие минимального уровня воды в баке, который система не успеет использовать до следующей проверки. К тому же это позволит обеспечить нагрев воды в баке с помощью солнечных лучей или окружающей среды, и избежать переохлаждения растений при поливе.

С целью снижения стоимости системы, пополнение резервуара при необходимости можно осуществлять вручную.

Для температуры имеется 2 диапазона: «нормальная» и «повышенная». Диапазоны климатических условий вариативны и задаются в зависимости от выращиваемых растений, типа грунта и желаний пользователя.

После обработки сигналов, в случае необходимости, контроллер выдает управляющие сигналы либо на реле (в случае с клапаном подачи воды и подкачки), либо непосредственно на исполнительный механизм (электропривод в случае с проветриванием помещения).

При значении влажности почвы «сухая», включается насос подачи воды, который работает пока параметр не изменится на «влажную». Аналогично насос подкачки воды в бак включается при уровне «низкий», и работает до сигнализации «бак полон».

Проветривание тепличного помещения реализовано посредством открытия окна. Открытие производится с помощью рычажного механизма и зубчатой передачи, приводимыми в движение электроприводом. При уровне температуры «повышенная», привод открывает окно, и закрывает его при возвращении к «нормальной».

Разработанная автоматическая система поддержания микроклимата тепличных помещений найдет применение у многих дачников, которые не имеют возможности постоянно находиться на приусадебном участке.

ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСТРУКТОР ПРОСТРАНСТВЕННО-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Новичихин Р.В., Журавлева Е.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Объект исследования – промышленные робототехнические системы (РТС), т.е. собственно промышленные роботы (ПР) и окружающее технологическое оборудование: основное (станки, прессы и пр.) и вспомогательное (транспортёры, позиционеры, накопители, тара и пр.).

Область исследования – концептуальное проектирование РТС.

Суть проблемы заключается в следующем. На начальных стадиях проектирования РТС имеется множество возможных вариантов. Они могут отличаться базовой технологией, схемой материальных потоков, составом и пространственной компоновкой оборудования, кинематикой и размерами компонентов. Проектные варианты следует проверить на достижимость требуемых взаимных положений, траекторий и ориентаций элементов, отсутствие столкновений, исключение пересечения с рабочими зонами персонала. Причем анализ необходимо проводить для трехмерной сцены, для всех этапов процесса и в динамике. Покадровая прорисовка в проекциях чрезвычайно трудоемкая, неточная и сопряжена с ошибками. Специализированные под РТС пакеты графического 3D-моделирования и программирования эти недостатки устраняют, но только для уже существующего и имеющегося в их библиотеке оборудования. Самостоятельный пользовательский ввод собственных или новых 3D-моделей не предусматривается или их разработка трудоемка.

Цель проекта – снижение трудоемкости формирования и анализа проектных вариантов пространственно-кинематической структуры РТС.

Суть предлагаемого решения заключается в следующем. Средствами какой-либо САД-системы универсального назначения создается минимально достаточный набор унифицированных 3D примитивов, из которых можно прямо на экране скомпоновать пространственно-кинематическую структуру любого ПР (рис. 1а) и другого оборудования РТС (рис.2).

Примитивы параметризованные, т.е. их изображение автоматически настраиваются на нужный размер после ввода численного значения. Пользовательское черчение не требуется.

Примитивы твердотельные, т.е. при захвате и протягивании курсором какого-либо звена собранной конструкции остальные звенья автоматически перемещаются или стопорятся в соответствии с заданными кинематическими связями и ограничителями. Отслеживание столкновений

(звуковой сигнал и подсветка места удара) осуществляются штатными средствами используемой САД-системы.

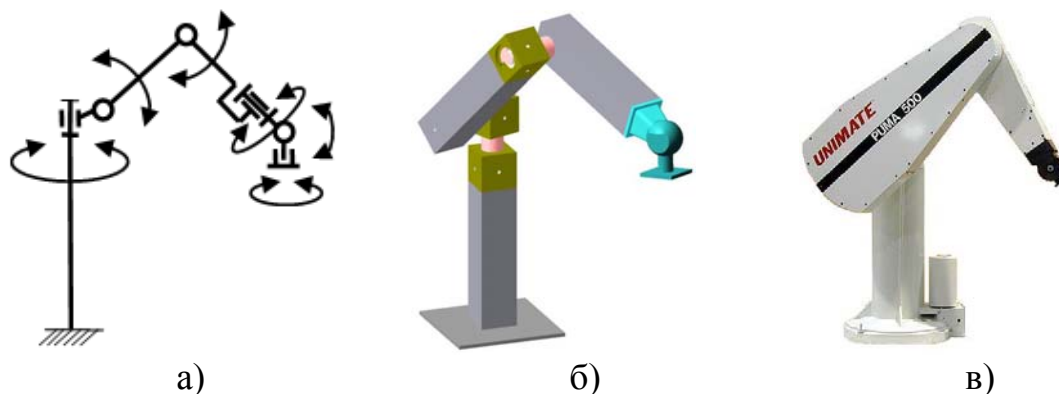


Рис. 1. Пример представления ПР:

а – структурная схема, б – 3D-модель из конструктора, в – оригинал

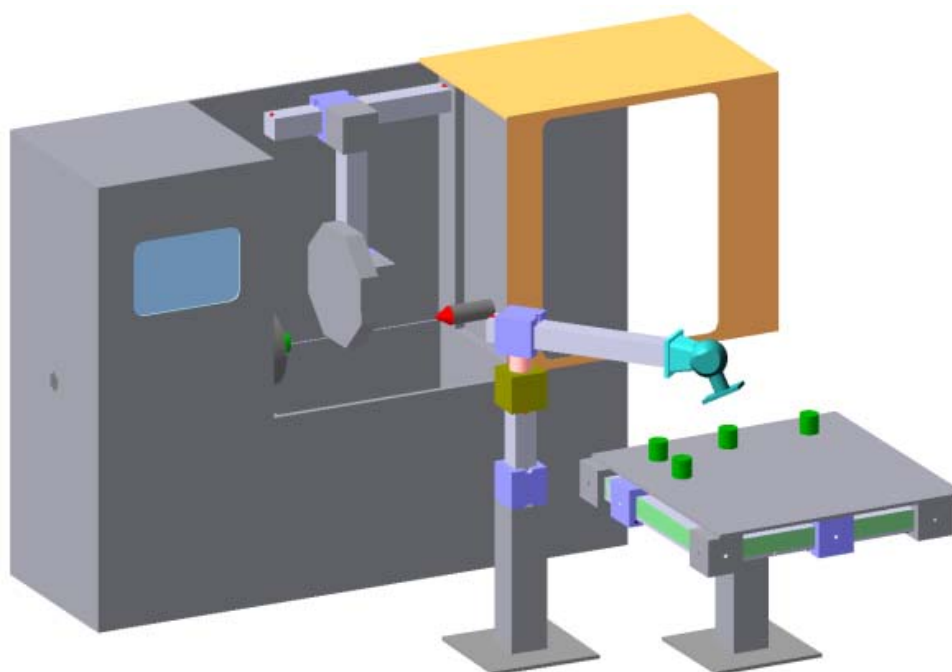


Рис. 2. Пример представления РТС из модулей конструктора.

Примитивы оцифрованы, т.е. снабжены измерительными шкалами, что позволяет точно измерять или задавать их положение относительно друг друга (встроенные виртуальные датчики положения и ориентации). Замеры и совмещения осуществляются штатными средствами используемой САД-системы.

Всего достаточно иметь 7 настраиваемых конструктивных примитивов: стержень, плита, угловое колено, каретка, шток, втулка, палец. На рис.3 представлена реализация из примитивов поступательной и вращательной кинематических пар ПР.

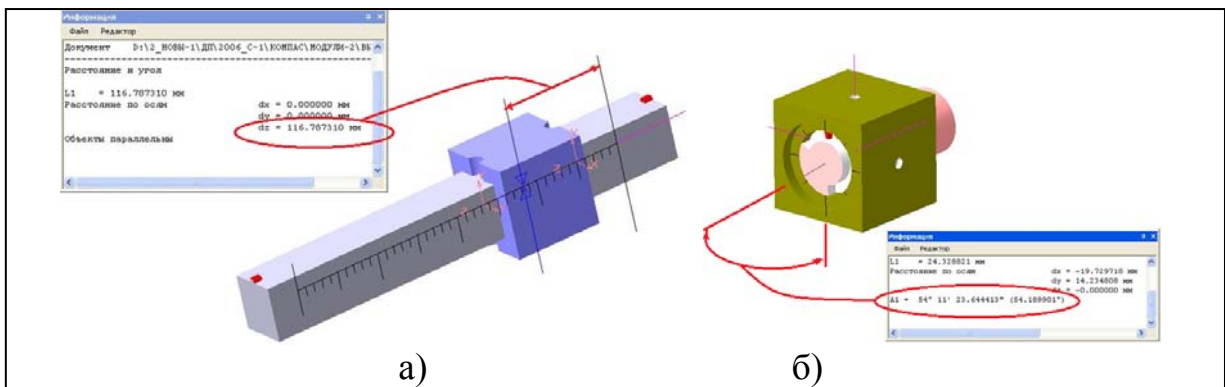


Рис. 3. Кинематические пары из конструктивных примитивов:
 а – поступательная (каретка, шток), б – вращательная (втулка, палец)

Помимо конструктивных примитивов для моделирования собственно РТС в конструктор входят настраиваемые элементы стенда для виртуальных испытаний. Он включает: трехмерную координатно-измерительную среду; измерительные контактные щупы; плиты поверки по эталонным траекториям; копиры для принудительного задания нужных траекторий и пр. Примеры применения стенда: определение абсолютных координат; решение прямой и обратной задачи кинематики без вычислений (прямое снятие показаний с датчиков положения в каждом звене и/или координат конечного звена в оцифрованном пространстве); определение параметров маневренности (угла и коэффициента сервиса); проверка возможности отработки заданной траектории с требуемой ориентацией; определение погрешности позиционирования, связанной с погрешностью изготовления и монтажа, наличием люфтов и упругих деформаций.

Отличительной особенностью предлагаемых решений является максимальное использование средств и возможностей современных САД-систем общего назначения: трехмерность, твердотельность, параметризация, масштабируемость, произвольное сопряжение, встроенная измерительная система, анимация, фотореалистичность и пр. Это позволило значительно сократить трудоемкость разработки конструктора и обеспечить его совместимость с готовыми 3D-моделями сторонних разработчиков. Например, после того, как проектный вариант концептуально определен, можно быстро перейти к окончательному точному анализу. Для этого достаточно просто заменить в компоновке РТС структурные модели (рис. 1б) на более детальные конструкторские модели (рис. 1в). Пользователь может самостоятельно дорабатывать конструктор и пополнять его библиотеку собственными элементами.

Конструктор используется в учебном процессе на кафедре «Робототехнические системы» БНТУ.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Каштальян И.А., Орукари Б., Августовский П.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) требуют эффективной подготовки производства, обеспечивающей высокую их производительность при эксплуатации. В первую очередь это достигается путем проектирования операции с оптимальной структурой, что обеспечивает минимизацию времени цикла изготовления детали.

Структура операции может иметь несколько вариантов (отличаться траекторией обхода элементов контура детали, иметь разные наборы инструментов в наладке и т.д.). Особенно это относится к операциям, выполняемым на двухсуппортных токарных станках, оснащенных микропроцессорными устройствами ЧПУ с функцией независимого управления координатными перемещениями. Основные резервы создания оптимальной операции при этом заключаются в выборе рациональных вариантов совмещения переходов. Автоматизированное решение данной задачи осуществляется поэтапно и заключается в следующем.

На первом этапе синтеза формируется описание информации о детали и информации о технологическом потенциале станка с ЧПУ, на котором данная деталь будет изготовлена. Описание информации о детали представляется в виде массива, который включает следующие поля [1]: код поверхности, вид поверхности, качество, шероховатость, наибольший и наименьший диаметры, длина поверхности, припуск на обработку. Массив сформирован путем анализа исходных данных (информации о детали, описанной на проблемно ориентированном языке). Описание технологического потенциала двухсуппортного токарного станка с ЧПУ представлено в виде треугольной матрицы смежности [2]. В ней обозначены возможные варианты выполнения технологических рабочих ходов: рабочий ход выполняется только с подачей в продольном направлении (точение цилиндрической поверхности); только с поперечной подачей (подрезка торца); при сочетании продольной и поперечной подачи (обработка конической или сферической поверхности). Возможные сочетания технологических рабочих ходов в данной матрице отражаются коэффициентами значимости от 0 до 1. Для технологических рабочих ходов, которые не могут быть совмещены (например, сверление и зенкерование отверстия), коэффициент значимости равен 0. В общем случае один рабочий ход, выполняемый с первого суппорта, может быть совмещен с одним или несколькими рабочими ходами, выполняемыми со второго суппорта. Для проверки возможности такого совмещения

необходимо знать время выполнения каждого рабочего хода. На данном этапе достаточно выполнить предварительную оценку трудоемкости выполнения перехода (основное время обработки поверхности определяется по приближенным формулам).

После представления информации о детали и технологическом потенциале станка выполняется ее анализ: для каждой поверхности определяется необходимость чистовой обработки; устанавливается необходимое число черновых и чистовых рабочих ходов; для каждого рабочего хода выполняется расчет основного времени обработки по приближенным формулам. Если для выполнения рабочего хода требуется перемещение по двум координатам одновременно, то определяется время перемещения по каждой из координат отдельно и из полученных результатов выбирается наибольший. Необходимость чистового рабочего хода определяется в зависимости от точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Требуемое число рабочих ходов рассчитывается как результат деления припуска на максимальную (допустимую) для обработки рассматриваемой поверхности глубину резания. Результатом анализа исходных данных является массив рабочих ходов (МРХ), который включает следующие поля: номер перехода; код поверхности; содержание рабочего хода; время рабочего хода; код рабочего хода. При этом, если для обработки поверхности требуется несколько рабочих ходов, то содержание рабочего хода повторяется в МРХ установленное число раз.

Очередной этап синтеза связан с созданием структурной модели операции (СМО), которая так же, как и описание технологического потенциала станка, представляет собой треугольную матрицу смежности. Исходными данными для составления СМО является разработанный МРХ, который содержит полный перечень рабочих ходов, необходимых для обработки заготовки с указанием времени выполнения рабочего хода и кода поверхности, над которой он выполняется. При составлении СМО коэффициенты значимости выбираются из структурной модели технологического потенциала оборудования для каждого сочетания рабочих ходов, перечисленных в МРХ. Алгоритм заполнения СМО включает следующие этапы: заполнение треугольной матрицы смежности коэффициентами значимости; обнуление главной диагонали матрицы (один и тот же рабочий ход не может быть совмещен сам с собой). Таким образом, СМО представляет собой полный перечень рабочих ходов, необходимых для преобразования данной заготовки в деталь.

На заключительном этапе синтеза создается структурная модель совмещения рабочих ходов, в основу которой структурная модель представления информации о детали и СМО. Алгоритм выбора рационального сочетания переходов для минимизации времени обработки с учетом ограничений, накладываемых техническими возможностями оборудования, включает следующие вычислительные операции.

1. Поиск в СМО оптимального сочетания рабочих ходов (сочетание, которому соответствует максимальное время совмещения обработки при максимальном коэффициенте значимости).

2. Определение перекрываемого времени выполнения i и j переходов, которое равно меньшему из рассматриваемых времен, т.е. $T_{пер} = \min(t_i, t_j)$. Полученное перекрываемое время вычитается из времени выполнения каждого из переходов в массиве рабочих ходов. При этом время рабочего хода, указанное в массиве рабочих ходов (после его заполнения), соответствует неперекрываемому времени обработки для каждого рабочего хода. По мере выбора кодов переходов для их совмещения величина неперекрываемого времени уменьшается.

3. Определение кодов рабочих ходов, трудоемкость которых в МРХ после выполнения п.2 алгоритма стала равна нулю. Для рассматриваемых поверхностей (одной или двух) в модели операции коэффициенты значимости обнуляются, когда рабочий ход больше не может быть совмещен ни с одним из других рабочих ходов.

4. Вывод результатов в виде таблицы совмещения рабочих ходов (осуществляется, если все коэффициенты значимости в СМО равны нулю, в противном случае осуществляется переход к п.2 данного алгоритма).

Таблица совмещений включает следующие поля: номер совмещения; коды рабочих ходов, выбранных для совмещения; коды поверхностей, обрабатываемых при совмещении; время совмещения; коэффициент значимости, соответствующий выбранному совмещению. Указание в таблице времени совмещения и коэффициента значимости позволяет технологу отказаться от вариантов совмещений, применение которых не позволяет должным образом увеличить экономическую эффективность обработки или вовсе не может быть реализовано для изготовления конкретной детали. Распределение технологических переходов по суппортам осуществляется на этапе выбора режущего инструмента. Программа по выбору рациональных вариантов совмещения переходов реализована на языке С#.

1. Каштальян, И.А. Структурная модель представления информации о деталях, обрабатываемых на двухсуппортных токарных станках с ЧПУ / И.А. Каштальян, Б. Орукари, // Технология – оборудование – инструмент - качество: тез. докл. междунар. науч.-практич. конф., Минск, 9 -10 апреля 2014 г. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2014. – С. 56 – 58.

2. Каштальян И.А. Структурная модель технологического потенциала двухсуппортного токарного станка с ЧПУ / И.А. Каштальян, Б. Орукари, А.В. Шпак // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 05 апреля 2017 г. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2017. – С. 127 – 129.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Каштальян И.А., Орукари Б., Шут Е.Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Резервы эффективного использования двухсуппортных токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) находятся в рациональном совмещении обработки поверхностей заготовки при общей частоте вращения шпинделя. Наибольший эффект от совместного точения двумя резцами, установленными на разных суппортах, может быть получен при изготовлении нежестких деталей (кроме увеличения производительности обработки значительно повышается точность формы детали в продольном сечении за счет уравнивания радиальных сил резания). Настройку резцов при этом осуществляют по одной из известных схем: с делением глубины резания; с делением подачи. Указанные схемы настройки имеют общий недостаток, который обусловлен возникновением вибраций вследствие взаимного влияния реализуемых процессов резания друг на друга. Вибрации вызывают ухудшение качества обработанной поверхности, повышают износ режущего инструмента, снижают точность и долговечность станка.

Устойчивость технологической системы к автоколебаниям при доминирующей нежесткости заготовки может быть повышена за счет введения в кинематическую схему обработки нестационарного движения (например, модулированной подачи). Амплитуда изменения силы резания A_p , вызываемая изменением подачи, при этом должна соответствовать условию

$$A_p \geq \frac{a_0(\omega_d^2 - f_m^2)m_d}{1,41},$$

где f_m – частота модулированного изменения подачи, Гц; a_0 – величина установившейся амплитуды колебаний при отсутствии модулированного изменения подачи, м; ω_d – частота автоколебаний, Гц; m_d – масса детали, кг.

Для реализации обозначенного условия гашения автоколебаний при обработке заготовок на двумя резцами одновременно, в технологическое программное обеспечение устройства ЧПУ был включен модуль, позволяющий периодически увеличивать подачу от S_{\min} до S_{\max} , а потом снижать ее до первоначального значения [1]. Изменение подачи между ее пиковыми значениями производится приращениями величиной ΔS по мере обработки участков Δl между приращениями: устройство ЧПУ поочередно реализует зависимость $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$ и зависимость

двигателем привода 10 главного движения, измеряется датчиком 11 мощности и преобразуется им в напряжение U_{N_d} , пропорциональное величине N_d . Функцию автоматической компенсации мощности холостого хода при этом выполняют ключ 12 и компенсатор 13. Режим холостого хода устанавливается с помощью ключа 12 при наличии признака специального кадра УП, в котором задана необходимая частота вращения заготовки. Компенсатор 13 формирует и запоминает напряжение, пропорциональное активной мощности, потребляемой двигателем в режиме холостого хода U_{N_x} . В результате на один из входов сумматора 14 поступает напряжение U_{N_d} , пропорциональное активной мощности N_d , потребляемой двигателем под нагрузкой, а на второй – напряжение U_{N_x} , пропорциональное мощности холостого хода N_x . После операции вычитания $(U_{N_d} - U_{N_x})$ на выходе сумматора получаем напряжение, пропорциональное мощности резания U_{N_p} , которое с помощью аналого-цифрового преобразователя 15 преобразуется в цифровую форму и поступает на один из входов устройства ЧПУ. Если уровень вибраций, а, следовательно, и сигнал с выхода датчика 16 меньше величины зоны нечувствительности усилителя 17, определяемой сигналом с датчика 18, сигнал на выходе усилителя равен нулю. Следовательно, равны нулю значения амплитуды a_0 на выходе аналого-цифрового преобразователя 19 и частоты ω_d на выходе определителя частоты 20. При этом привод подачи 3 с блоком управления приводом подачи 2 и привод подачи 6 с блоком управления приводом подачи 5 обеспечивают заданные в УП значения подачи S_1 и S_2 , соответственно. Когда уровень вибраций возрастет и сигнал с выхода датчика 16 станет больше величины зоны нечувствительности усилителя 17, на выходе последнего появится сигнал, величина которого определяет значения параметров a_0 и ω_d . После преобразования в цифровую форму эти параметры вводятся в память устройства ЧПУ и совместно с данными о массе детали m_d и мощности резания N_p используются для определения частоты f_m и амплитуды A_p изменения силы резания и последующего формирования параметров модулированного изменения подачи $S_{\min}, \Delta S, \Delta l, n_s$ для правого или левого суппорта. Признак суппорта, на который возлагается функция модулированного изменения подачи, задается в УП. Модуль формирования параметров $S_{\min}, \Delta S, \Delta l, n_s$ входит в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ.

1. Каштальян, И.А. Дискретное управление процессами резания на токарных станках с числовым программным управлением / И.А. Каштальян, В.К. Шелег, Б. Орукари // Весці НАН Беларусі, серыя фізіка-тэхн. навук. №4, 2015, с. 115–126.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Голубев В.С., Хурс С.П., Лившиц Ю.Е., Здор Г.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одним из методов нейрореабилитации, реабилитации после травм является электростимуляция мышц (ЭМС). На сегодняшний день электростимуляцию мышц широко используют так же во многих видах спорта: на этапах подготовки спортсменов к силовым нагрузкам с целью повышения выносливости.

Наши мышцы приводятся в движение посредством раздражающих импульсов, поступающих из головного или спинного мозга в зависимости от типа движения. С помощью электростимуляции этот сигнал поступает извне через кожу, что для самой мышцы не имеет определяющего значения.

На основе принципа работы ЭМС создано устройство «Teslasuit». Оно представляет собой обтягивающую одежду – штаны и джемпер, с интегрированной электроникой для управления сигналом на электродах («умная одежда»). Электроды расположены с внутренней стороны «Teslasuit» таким образом, что могут воздействовать на большинство основных групп мышц, отвечающих за движения. Благодаря техническим средствам и программному обеспечению, на каждую пару электродов можно подать различную серию импульсов заданной амплитуды (в пределах от 0 до 108 V, током не более 15мА), частоты (до 5кГц) и ширины импульса (до 110мкс). Параметры задаются в зависимости от типа поражения (неврологические, спортивные травмы и т.д.) и степени осложнения, которые определяет лечащий врач невролог.

Дальнейшее лечение требует постоянного наблюдения, контроля текущего состояния пациента и корректировки параметров ЭМС. Часто для этих целей применяют различные миографы, которые используют принцип электромиографии (ЭМГ).

Электромиографические исследования позволяют не только установить характер заболевания, проводить его топическую диагностику, но и объективно контролировать эффективность лечения, прогнозировать время и этапы восстановления.

Было решено расширить функциональность устройства «Teslasuit» и встроить возможность измерения миограмм, а так же измерения электрического сопротивления кожи (ЭСК), что необходимо для калибровки сигналов ЭМС.

Встроенные 9-осевые датчики положения определяют фактическое движение конечностей в ответ на нервный импульс, что помогает процессу наблюдения и диагностики.

Фундаментальными исследованиями Р.С. Персон установлено, что ЭМГ здоровой мышцы представлена преимущественно низкочастотными колебаниями. При патологическом изменении состояния мышцы изменяется число функционирующих двигательных единиц (ДЕ) и частота их импульсов, что создает характерную для этого состояния электромиограмму и, соответственно, ее спектр.

Типичная ЭМГ больного поясничным остеохондрозом (синдром компрессии S1) с расчетом средней амплитуды и средней частоты показана на рисунке 1.

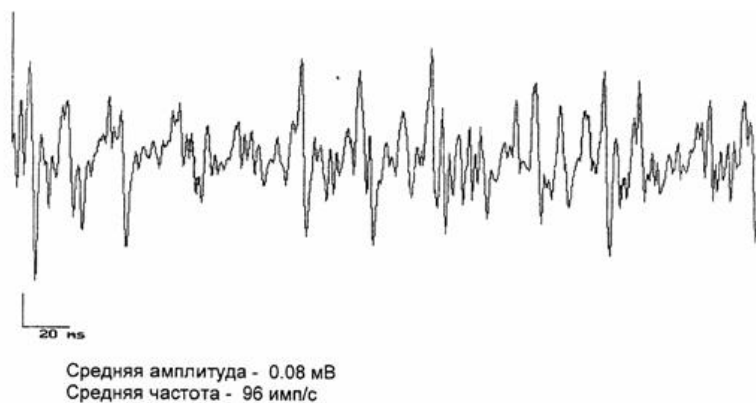


Рисунок 1 – ЭМГ больного поясничным остеохондрозом/

На этом рисунке видны отдельные "высокие" потенциалы действия, средняя частота уменьшена в сравнении со среднестатистической нормой - все это также составляет признаки денервационного процесса, происходящего в сегментарном аппарате пояснично-крестцового отдела позвоночника.

На рисунке 2 показана ЭМГ той же мышцы, но после курса лечения

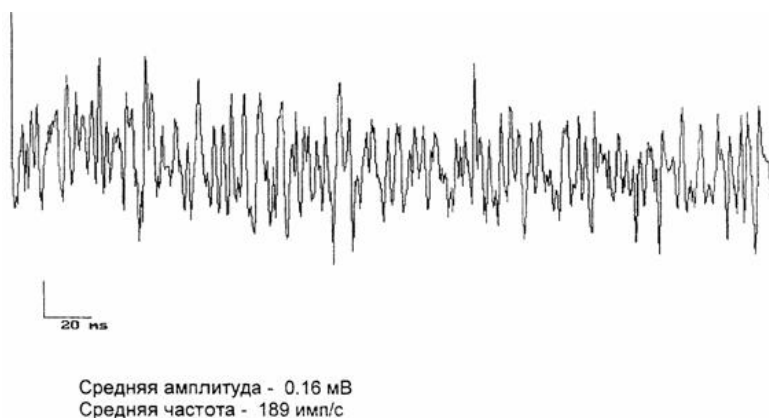


Рисунок 2 – ЭМГ пациента после курса лечения.

Можно сделать вывод, что частотный метод анализа ЭМГ является достаточно показательным и может быть использован в качестве основы при дальнейших исследованиях с помощью устройства «Teslasuit».

На устройство требуется получение сертификатов и соответствующих разрешений для применения в данной области.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВ

Липницкий Л.А.¹, Пильгун Т.В.¹, Мататов В.И.²

- 1). Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;
- 2). Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь

Эффективная организация производственных процессов с учетом динамики рынка по потреблению продукции не возможно без автоматизированного управления и регулирования расходами сырьевых, материальных и энергетических ресурсов.

Основными исходными данными для создания систем автоматизированного управления и регулирования являются технологические регламенты производств, где на технологических схемах указываются направления, массовые расходы и потенциал сырьевых, материальных и энергетических потоков [1, 2]. Указанные схемы рассчитаны на проектную нагрузку производства.

Однако в существующих схемах технологических процессов не использует автоматизированное управление энергетическими потоками, особенно с учетом динамики нагрузки технологических производств организаций. Это делает технологические процессы негибкими и приводит к неэффективному использованию существующих топливно-энергетических ресурсов. Следствием этого является нерациональное использование финансовых средств организации на приобретение энергии.

Для решения указанной проблемы предлагается нанести на технологические схемы производственных процессов схемы энергоснабжения по видам энергетических ресурсов. При этом необходимо рассчитать с учетом динамики нагрузки энергопотребляющего оборудования изменения потребления энергоресурсов с целью определения условно постоянных и условно переменных расходов энергии. Необходимо также определить факторы, влияющие на величины условно постоянных и условно переменных расходов энергии, и определить направления их минимизации.

На путях транспортировки сырьевых, материальных и энергетических ресурсов следует определить точки установки соответствующих контрольно-измерительных приборов и датчиков передачи информации об энергетических потенциалах. Информация от указанных приборов и датчиков должна передаваться на центральный процессор для обработки

сигналов и последующей передачи управляющих сигналов на соответствующие исполнительные механизмы или информационное табло.

Процессор должен сохранять информацию о полученных сигналах и изменениях потоков сырьевых, материальных и энергетических ресурсов в памяти устройства управления. На основании полученных данных от системы управления и регулирования можно выполнять анализ несоответствия создавшейся ситуации техническим регламентам. Система управления и регулирования энергоресурсами позволит загружать технологическое оборудование до значений, близких к номинальным с учетом динамики изменения энергетических потоков и с минимальными дополнительными затратами. Как следствие, потребление энергоресурсов станет более эффективным, снизятся финансовые затраты организации на покупку энергии, уменьшатся удельные нормы расхода топливно-энергетических ресурсов.

Система автоматизированного управления и регулирования энергетическими ресурсами в технологических процессах производств должна стать составной частью автоматизированной системы управления технологическими процессами организаций, а также энергогенерирующих установок.

1. Амбарцумян А.А. Модель технологического регламента в АСУТП / А.А. Амбарцумян, С.А. Браништов // Проблемы управления – 2008. – №3 – С.73-77.

2. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. / Ю.Н. Федоров – Изд. 2-е.– В 2-х т. –Том 1.- М.: Инфра-Инженерия, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь.

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ 3D ПРИНТЕРА ТИПА SCARA

Гурский Н.Н., Скачек В.А., Скачек А.В., Безручко А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В современном производстве все шире используются аддитивные технологии, включающие в качестве составляющей трехмерную информационную модель будущего изделия. Непосредственное производство изделий реализуется программируемыми мехатронными устройствами (3D принтерами), представляющими собой многосвязные манипуляционные механизмы (манипуляторы) с позиционированием звеньев электрическими приводами. Этапу изготовления манипулятора предшествует имитационное моделирование работы манипулятора заданной кинематики и применяемых приводов.

В настоящей работе рассматривается виртуальная модель 3D принтера на основе кинематики двухзвенного механизма, приводов звеньев электрических двигателей и редукторов. Принтеры такого типа находят применение в пищевой и строительной отраслях промышленности.

Виртуальная модель 3D принтера и его программная реализация построена в среде Matlab-Simulink с использованием стандартной библиотеки Simulink и библиотек SimMechanics, Simulink 3D Animation. Такая модель приведена на рисунке 1.

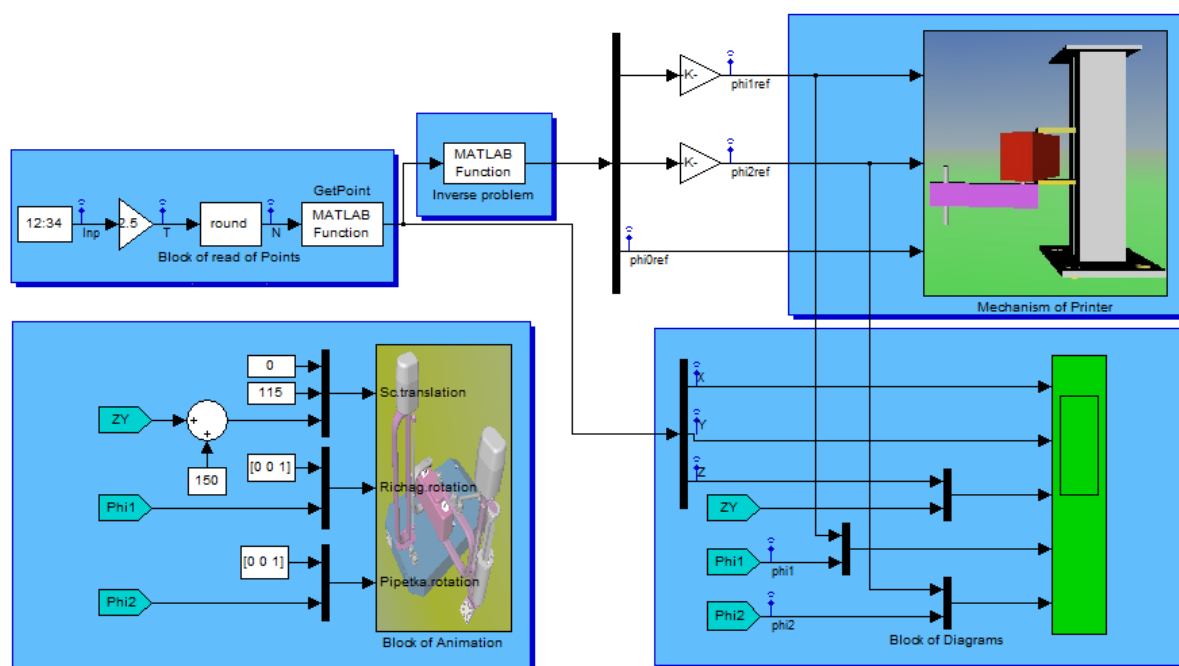


Рисунок 1 - Имитационная модель 3D принтера

Основными блоками модели являются: блок считывания базовых точек цифровой модели изготавливаемой детали, задаваемых в

пользовательской системе координат; блок вычисления угловых положений звеньев механизма SCARA (блок Inverse problem); блок электромеханических приводов узлов звеньев (Mechanism of Printer); блок анимации модели принтера (Block of Animation); блок построения временных диаграмм работы принтера. Simulink-модель основного блока виртуальной модели строительного принтера приведена на рисунке 2.

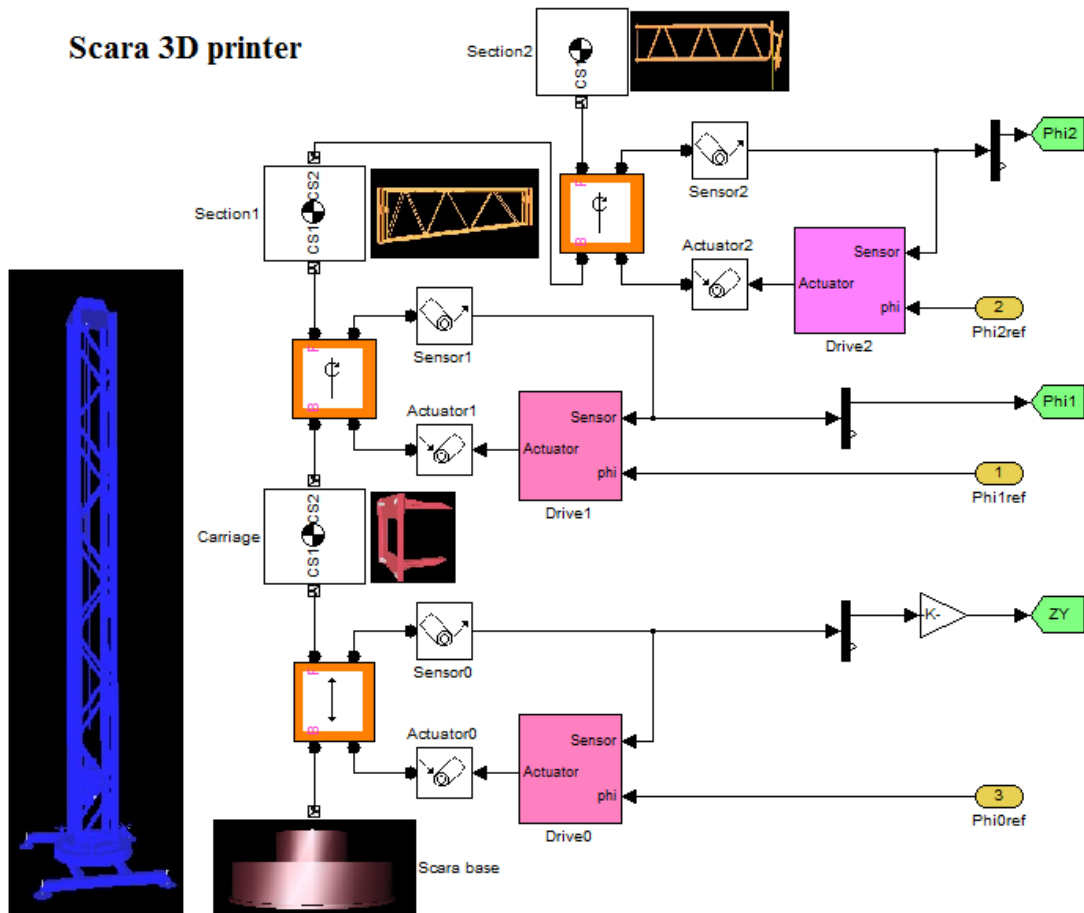


Рисунок 2 - Simulink модель электромеханических узлов 3D принтера

Приведенная в работе модель принтера может быть использована для разработки других конструктивных схем 3D принтеров и их модификаций.

1. Гурский Н.Н., Скачек В.А., Скачек А.В., Скудняков Ю.А. Имитационное моделирование механизма наплавления пластмасс в аддитивных технологиях / Минск: Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №4(12) – с. 25–30.

2. Гурский Н.Н., Нажжарин М. Имитационная модель управления движением большегрузной машины с электроприводом постоянного тока / Минск: Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – №2– с. 27–30.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ 5-ТИ ОСЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Тозик В. И., Сиротин Ф. Л., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Прогресс в области вычислительной техники позволяет применять станки с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства там, где до сих пор применялись только универсальные металлорежущие станки. Высокая надежность современных систем программного управления позволяет гарантировать повторение размеров обрабатываемых деталей с высокой точностью. Станки с ЧПУ позволяют не только повысить точность обрабатываемых деталей, но и многократно повысить производительность, труда. Производительность труда на станках с ЧПУ повышается не только за счет возможности их многостаночного обслуживания, но и за счет того, что на них можно осуществлять такие операции, которые на обычных универсальных станках были бы невыполнимы. Внедрение станков с числовым программным управлением является одним из основных средств повышения производительности труда на предприятиях с мелкосерийным характером производства.

Фрезерные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать детали различной формы с высокой точностью. Наиболее распространены 3-х осевые и 4-х осевые станки с ЧПУ. Однако, обработка деталей сложной формы на таких станках требует частого вмешательства оператора, так как за один установ деталь может быть обработана только с одной стороны, что существенно повышает время, необходимое на обработку одной детали полностью.

Для обработки подобных деталей целесообразно использовать 5-ти осевые фрезерные станки с ЧПУ. Помимо плоскостей обработки X, Y, Z данные станки оснащены поворотным столом, способным вращаться вокруг своей оси на 360 градусом, и способным наклоняться по оси Y на - 5 - +110 градусов (у других моделей характеристики могут отличаться). Данная особенность позволяет обрабатывать деталь практически полностью за 1 установ, что значительно снижает затраты времени на обработку деталей в целом. К тому же, благодаря одновременной работе 5-ти осей, представляется возможным обработка деталей со сложным контуром, таких как винты, лопатки и т.п., что было невозможным на 3-х и 4-х осевых станках.

5-ти осевые станки хорошо подходят для автоматизации, так как требуют минимального вмешательства оператора. Эти станки можно использовать как в составе отдельного РТК, так и в составе ГПС.

5-ти осевой станок с ЧПУ Deckel-Maho DMU50 evo подходит для приборостроения, где детали по большей части не отличаются крупными габаритами. Этот универсальный станок с ЧПУ разработан по

инновационной машиностроительной технологии. К отличительным особенностям относятся цифровые приводы по всем осям, быстрый ход до 30 м/мин и шпиндельный двигатель со скоростью вращения до 18000 об/мин, которые повышают динамические характеристики станка DMU 50. Помимо стандартного жесткого стола дополнительно предлагаются другие варианты исполнения столов, в том числе механический стол, поворотный/вращающийся стол с электроприводом и гидравлической системой зажима инструментов и универсальный стол. Современная конструкция поперечных салазок суппорта с ребристыми литыми элементами создают основу для существенно более высокой точности и жесткости. Самая последняя технология управления с панелью управления DMG ERGOline®, экраном 19" и программным обеспечением 3D гарантирует достижение самой высокой рабочей скорости, точности и надежности. Станок имеет магазин на 32 инструмента.

Для автоматического определения нулей детали, а также для контроля производимых деталей в автоматическом режиме используется Renishaw. Контактные измерения с помощью этого датчика позволяют отказаться от использования дорогостоящих зажимных приспособлений и выставления заготовки вручную с помощью индикаторов с круговой шкалой. Использование измерительных датчиков, установленных в шпиндель обрабатывающего центра или в револьверную головку токарного станка, даёт следующие преимущества: сокращение простоя станка; автоматизация крепления заготовки, её выравнивания и корректировки положения оси вращения; устранение ошибок, возникающих при ручной наладке; снижение количества брака; повышение производительности и гибкость при серийном производстве.

Датчики в шпинделе или в револьверной головке также могут использоваться для измерений в ходе цикла и контроля первой обработанной детали. Ручные измерения требуют мастерства оператора и снятия деталей для их переноса в координатно-измерительную машину, что не всегда удобно на практике. Преимущества контактных измерительных систем: измерение детали в процессе её обработки с автоматическим вводом поправок; повышенная защита от сбоя при автоматической обработке; адаптивная механическая обработка с обратной связью для минимизации разброса; контроль первой обработанной детали с автоматическим обновлением параметров коррекции; уменьшение времени простоя станка, связанного с ожиданием контрольных результатов для первой детали.

Применение данных решений в совокупности позволит полностью автоматизировать технологический процесс механообработки деталей, повысить точность и качество их обработки, а также снизить время обработки. Кроме того, такое решение экономически эффективно.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА

Реентович И. А., Околов А.Р., Маленкова Т.А

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизированные складские системы представляют собой совокупность технического и программного обеспечения, которое направлено на оптимизацию полезных площадей, увеличение производительности и сокращение издержек. Основное разрабатываемое программное обеспечение включает в себя базы данных, в которых содержится наименование изделий, их местоположения и прочее и позволяют оптимально решать логистические и другие задачи, связанные с особенностями хранения и транспортировки того или иного товара. Для оптимального взаимодействия всех частей конкретного автоматизированного склада изначально разрабатывается проект (с предоставлением Заказчику комплекта всей необходимой документации), который выполняется на основании детального исследования технологических процессов, существующего и предполагаемого уровня механизации и автоматизации, ресурсных возможностей, характера и особенностей хранимого товара, соблюдения правил безопасности и санитарных норм. Все разработанные автоматизированные складские системы хранят товар адресно, т.е. обладают системой адресного хранения. У каждой позиции есть свой номер, который хранится в базе данных склада. Все операции изъятия строго контролируются, что сильно затрудняет мелкие кражи. Одним из главных преимуществ автоматизированных складов является экономия места и времени. Грамотно составленный проект позволит использовать всю высоту и площадь склада с максимальной эффективностью, а адресное хранение и автоматическая доставка необходимой позиции к оператору или пункту выдачи сильно сокращают поиски товара на полках.

Существуют следующие основные разновидности автоматизированного склада по цели эксплуатации:

- вертикальные системы лифтового типа, которые являются автоматизированными модульными системами, работающие по принципу лифта. Товарно-материальные ценности (ТМЦ) хранятся в системе на поддонах, размещённых в передней и задней частях системы. Поддоны перемещаются экстрактором, который, в свою очередь, приводится в движение зубчато-ремённой передачей. Следуя запросу оператора, экстрактор подаёт поддон с необходимыми ТМЦ напрямую к эргономично расположенному окну доступа или обратно на пустующее место хранения;

- вертикальные склады карусельного типа оснащены множеством подвижных поддонных полок, которые по вызову быстро и надёжно доставляют нужные товары к ближайшей точке выгрузки. Эти склады

также действуют по чрезвычайно эффективному принципу «Товар – к человеку», что позволяет значительно экономить рабочее время;

- офисные системы, представляют собой автоматизированный склад с электронным управлением, осуществляющий администрирование нескольких тысяч носителей информации – видеозаписей, CD, DVD и т.п. В данную систему склада могут входить до 16 шкафов по четыре выдвижных отделения в каждом. Склад может работать как автономно, так и в онлайн-режиме;

- горизонтальные системы карусельного типа. Это автоматизированный горизонтальный склад карусельного типа. Многие потребители используют склады этой модели высотой до 4,10 метра с полезной нагрузкой до 60 тонн, т.к. быстрая окупаемость таких систем достигается благодаря оптимизации времени транспортировки и хранения, а также организации процессов комплектации с использованием компьютерного управления.

Существуют и другие системы автоматизированного рабочего склада, связанные с хранением длинномерного материала, листового металла и т.п., но, к сожалению, из-за достаточно высокой стоимости в РФ они не находят применения.

Основные компоненты автоматизированного склада:

- WMS – система управления складом. Она позволяет комплексно автоматизировать и оптимизировать все выполняемые операции, сделав их более управляемыми и понятными. Использование автоматических складов позволяет усовершенствовать такие функции, как приемка и размещение, комплектация и пополнение, инвентаризация, погрузка и отправка. Управление персоналом осуществляется в рамках настроенных правил, описанных бизнес-процессов, приоритетов и ограничений.

- автоматическое технологическое оборудование. Для хранения продукции в автоматических складах используются мобильные основания, многомодульные и карусельные системы, оборудование лифтового типа, а также специальные системы высокой производительности. Для выполнения погрузочных работ на автоматическом складе применяются уравнивательные платформы, механические мосты, мобильные рампы, подъемные столы и другая техника. К сожалению, транспортные и промышленные роботы пока не находят широкого применения для решения складских задач из-за высокой стоимости.

- программное и информационное обеспечение. Созданное ПО на основе разработанных под конкретный объект алгоритмов и индивидуальных настроек осуществляет самостоятельное управление складом, в автоматическом режиме раздает задания пользователям, указывает места размещения товара, последовательность комплектации, отгрузки и т. д. Все выполняемые операции фиксируются в режиме реального времени.

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ СТРУКТУР ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одним из общих принципов, на которых базируются основные теоретические положения методов и алгоритмы расчета параметров в задачах синтеза оптимальных систем автоматического управления (САУ), является принцип динамической компенсации, в соответствии с которым в результате решения задачи синтеза системы определяют как структуру регулятора, так и параметры динамической настройки [1]. В этом случае задачи синтеза разделяют на два этапа: нахождение эталонной динамической характеристики системы при отработке скачка задания (например, в виде соответствующей передаточной функции) и синтез регулятора, обеспечивающий приближение реальной динамической характеристики к эталонной, т.е. нахождение оператора и параметров оптимального регулятора. Основной особенностью принципа динамической компенсации является возможность не учитывать динамику объекта по каналу регулирующего воздействия при синтезе регулятора, что достигается наличием в операторе регулятора сомножителей в виде передаточной функции объекта:

$$A_p = A_0^{-1} (1 - A^{\vartheta})^{-1} A^{\vartheta}, \quad (1)$$

где A_0 - оператор объекта управления, A^{ϑ} - оператор эталонной замкнутой системы.

Авторы [1] утверждают, что зависимость (1) определяющая оператор A_p , дает точное решение задачи синтеза регулятора оптимального при отработке задания, однако в большинстве случаев физически элемент с оператором A_p реализовать не удастся. Далее указано, что метод динамической компенсации применим лишь в том случае, если объект не содержит правых нулей и (или) полюсов, но область применимости этого метода можно расширить с помощью внедрения обратных связей, позволяющих провести стабилизацию объекта управления [2].

Замена оператора эталонной замкнутой системы A^{ϑ} на заданную, выполняющую функцию критерия качества при отработке задания, с использованием экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации САУ и принципов двухканальности измеренного воздействия на управляемую величину позволяют аналитически формировать структуру системы на оптимальную отработку основных воздействий и определять параметры динамических настроек регуляторов и устройств компенсации изменяемых возмущений (рис. 1).

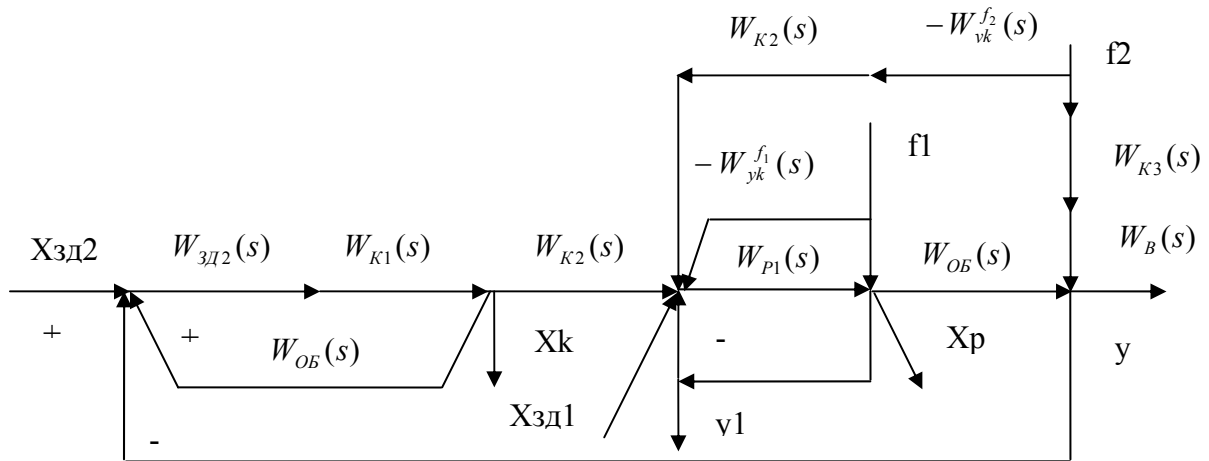


Рисунок 1. Блок-схема комбинированной САУ с использованием принципов динамической компенсации

Здесь приняты следующие обозначения передаточных функций: $W_{об}(s) = W_{об}^o(s)e^{-\tau_y s}$ - главного участка объекта; $W_{он}(s)$ - опережающего участка объекта; $W_{г}(s)$ - крайнего внешнего возмущения f_2 ; $W_{п1}(s)$ - стабилизирующего регулятора (СР), настроенного на оптимальную обработку задания $X_{зд1}$ и внутреннего возмущения f_1 ; $W_{п2}(s)$ - корректирующего регулятора (КР); $W_{зд2}(s)$ - критерия качества обработки задания $X_{зд2}$ КР; $W_{к1}(p) = [W_{об}(s)]^{-1}$ - компенсатора главного участка объекта по каналу регулирующего воздействия; $W_{к2}(s)$ - компенсатора регулирующего воздействия внутреннего контура САУ стабилизирующего регулятора при изменении корректирующего воздействия с выхода КР или выхода устройства компенсации внешнего возмущения с передаточной функцией $W_{кк}^{f_2}(s)$; $W_{к3}(s)$ - компенсатора запаздывания по каналу регулирующего воздействия; $y; y_1$ - основная и вспомогательная регулируемые величины соответственно; x_k, x_p - корректирующее и регулирующее воздействия соответственно; τ_y - запаздывание по каналу регулирующего воздействия.

Структурная схема моделирования переходных процессов САУ, позволяющая оптимально обработать задающие воздействия, внутренние и внешние возмущения, приведена на рис. 2.

Комбинированная САУ обеспечивает полную инвариантность системы при обработке измеряемого наиболее опасного внутреннего возмущения при выполнении следующего условия:

$$W_{кк}^{f_2}(s) = [W_{п1}(s)]^{-1}, \quad (2)$$

где передаточная функция стабилизирующего регулятора имеет следующий вид [3]:

$$W_{п1}(s) = [W_{оп}(s)]^{-1} W_{зд1}^{PC(n=1)}. \quad (3)$$

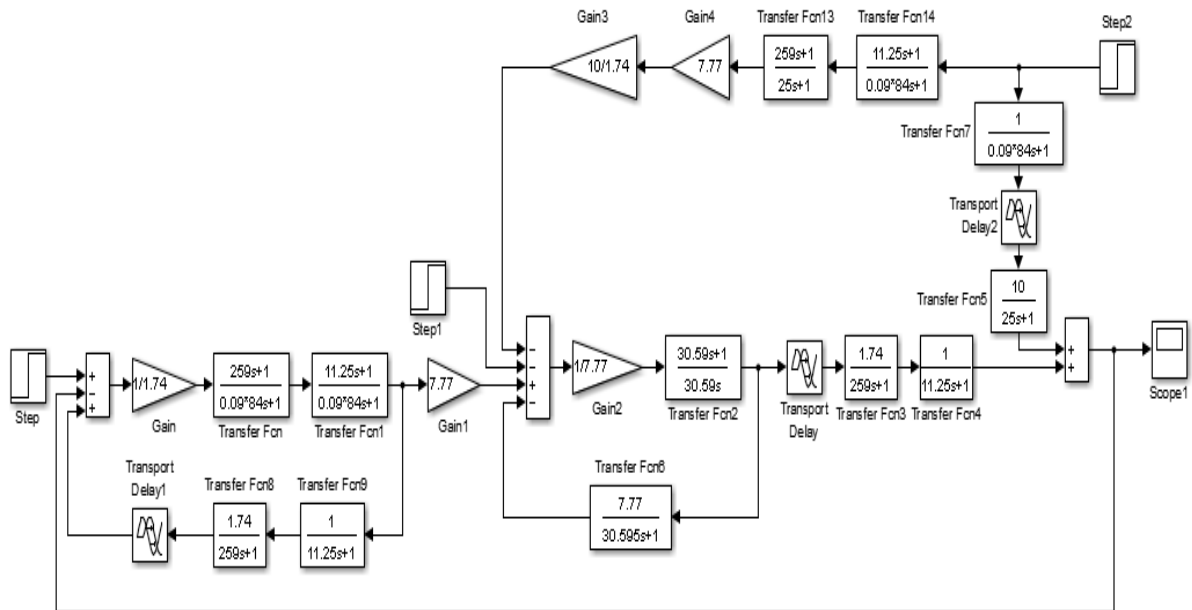


Рисунок 2. Структурная схема моделирования переходных процессов комбинированной САУ при $\tau_y = 84c$

При описании динамики опережающего участка объекта инерционным звеном:

$$W_{оп}(s) = \frac{K_{ин}}{T_{оп}s + 1} \quad (4)$$

передаточная функция разомкнутой системы принимает вид:

$$W_{зД1}^{PC(n=1)} = \frac{1}{T_{зД}s}, \quad (5)$$

где $T_{зД}$ - параметр динамической настройки СР.

С учетом (4) и (5) передаточная функция стабилизирующего регулятора будет соответствовать ПИ-регулятору с одним параметром динамической настройки $T_{зД1}$:

$$W_P(s) = \frac{T_{оп}s + 1}{K_{оп}T_{зД1}s}. \quad (6)$$

Отработка задания $x_{зД2}$ по основной регулируемой величине y зависит от численного значения параметра динамической настройки КР с передаточной функцией вида:

$$W_{P2}(s) = \frac{W_{зД2}(s)W_{К1}(s)}{1 - W_{зД2}(s)W_{К1}(s)W_{об}(s)}, \quad (7)$$

где $W_{зД2}(s) = W_{зД2}^0(s)e^{-\tau_y s}$,

(8)

$$W_{об}(s) = W_{об}^0(s)e^{-\tau_y s}, \quad (9)$$

$$W_{К1}(s) = [W_{об}(s)]^{-1}. \quad (10)$$

Подставив передаточные функции (8), (9) и (10) в передаточную функцию КР (7), получаем

$$W_{P2}(s) = \{W_{об}(s)\}^{-1} [1 - W_{3Д2}^0(s) e^{-\tau_y s}]^{-1} W_{3Д2}(s), \quad (11)$$

т.е. оптимальный регулятор (1), но с заменой оператора эталонной замкнутой системы $A^э$ на заданную передаточную функцию, выполняющую роль критерия качества при отработке задания.

При этом структура передаточной функции критерия качества должна полностью соответствовать структуре передаточной функции объекта по каналу регулирующего воздействия [3]:

$$W_{3Д2}(s) = \frac{e^{-\tau_y s}}{(T_{3Д2}s + 1)^{n-m}}, \quad (12)$$

где n , m – соответственно порядок знаменателя и числителя передаточной функции объекта; $T_{3Д2}$ – параметр динамической настройки КР, численное значение которого определяет прямые показатели качества системы при отработке скачка задания.

Добавление в систему компенсатора регулирующего воздействия с передаточной функцией $W_{K2}(s)$ позволяют сформировать структуру КР по передаточной функции главного участка объекта, а с учетом компенсатора запаздывания $W_{K3}(s)$ реализовать инвариантность y по отношению к крайнему внешнему возмущению с точностью до ε при выполнении следующего условия инвариантности по двум каналам воздействия измеряемого возмущения на выходную переменную:

$$W_B(s)W_{K1}(s)W_{об}(s) = W_{K3}(s)W_B(s), \quad (13)$$

где передаточная функция устройства компенсации $W_{VK}^f(s) = W_B(s)W_{K1}(s)$.

Графики переходных процессов в системе при отработке скачка задания и крайнего внешнего возмущения приведены соответственно на рис. 3 и 4.

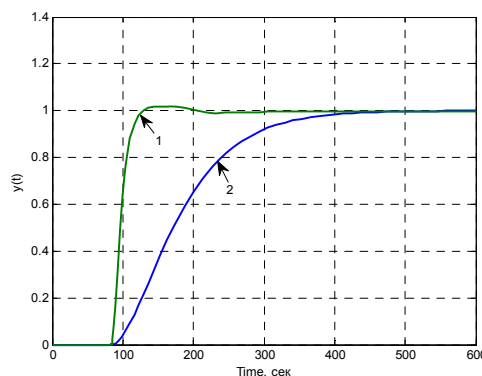


Рисунок 3. Графики переходных процессов САУ при отработке задания и различных значениях параметра динамической настройки оптимального корректирующего регулятора: 1 - $T_{3Д2} = 0.09 * 84c$; 2 -

$$T_{3Д2} = 0.618 * 84c$$

Видно, что при обработке задания с уменьшением численного значения параметра динамической настройки КР $T_{зд2}$ время регулирования уменьшается, приближаясь к величине запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

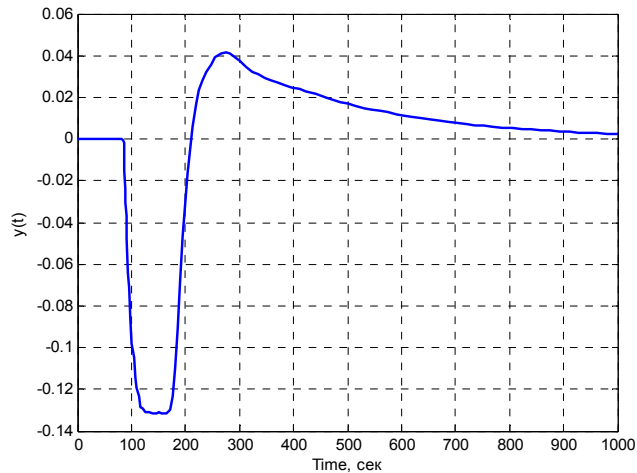


Рисунок 4. График переходного процесса комбинированной САУ при обработке крайнего внешнего возмущения

Максимальная динамическая ошибка регулирования при плановом изменении нагрузки составляет 13.5% от величины коэффициента усиления передаточной функции крайнего внешнего возмущения, т.е. достигнута инвариантность с точностью до ε .

При этом достигается полная инвариантность по отношению к изменяемому внутреннему возмущению f_1 .

Таким образом сконструирована комбинированная САУ высокой динамической точности по отношению к основным воздействиям.

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления/ под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2000. – 736с.; ил.

2. Первозванский, А.А. Курс теории автоматического управления/ А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1986. – 616с.

3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами/ Учебное пособие под ред. Г.Т. Кулакова и [др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА НА ФОРМУ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ТУРБИННОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ЭНЕРГООБЛОКА

Кулаков Г.Т.¹, Кулаков А.Т.¹, Артёменко К.И.¹, Ковалев В.А.²

1). Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;

2). Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Энергетический блок представляет собой сложный объект управления, основными регулируемыми параметрами которого являются активная электрическая мощность N_Φ и давление перегретого пара перед турбиной p_0 [1].

Структурная схема типовой системы автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ) приведена на рисунке 1.

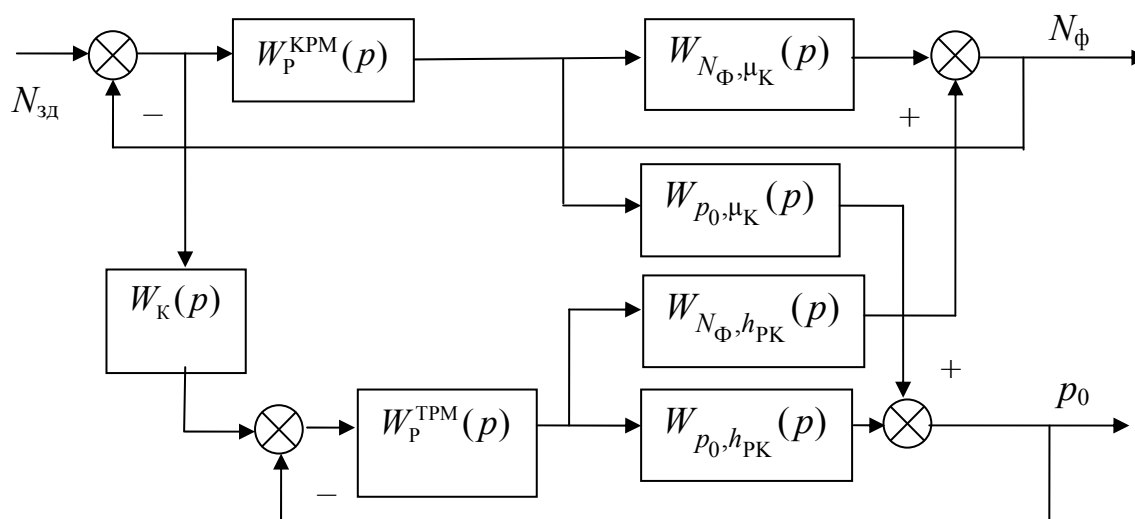


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема типовой системы автоматического управления мощностью энергоблока

В соответствии с принятыми стандартами к САУМБ предъявляются жесткие требования по длительности переходных процессов по мощности при отработке задающих воздействий [2]. Объект управления САУМБ является многосвязным с перекрестными связями [3].

Существенную роль в обеспечении требуемой приемистости энергоблока играет динамический корректор задания турбинному регулятору мощности (ТРМ) с передаточной функцией $W_K(p)$, представленный усилительным звеном с коэффициентом передачи α . Представляет интерес исследование влияния значения параметра α на

качество переходных процессов в САУМБ, поскольку отсутствуют рекомендации по настройке динамического корректора [4].

Канал турбинного регулятора мощности может быть представлен двумя последовательно включенными компонентами с передаточными функциями $W_1^{\text{TPM}}(p)$ и $W_2^{\text{TPM}}(p)$:

$$W_{\text{КАН}}^{\text{TPM}}(p) = W_1^{\text{TPM}}(p) \cdot W_2^{\text{TPM}}(p). \quad (1)$$

$$\text{Здесь } W_1^{\text{TPM}}(p) = W_P^{\text{KPM}}(p) \cdot W_{p_0, \mu_K}(p) + W_K(p), \quad (2)$$

$$W_2^{\text{TPM}}(p) = \frac{W_P^{\text{TPM}}(p) \cdot W_{N_{\Phi}, h_{\text{PK}}}(p)}{1 + W_P^{\text{TPM}}(p) \cdot W_{p_0, h_{\text{PK}}}(p)}, \quad (3)$$

где $W_1^{\text{TPM}}(p)$ и $W_2^{\text{TPM}}(p)$ – соответственно передаточные функции первого и второго компонентов канала ТРМ.

Передаточная функция (2) первого компонента может быть аппроксимирована передаточной функцией вида:

$$W_1^{\text{TPM}}(p) = \frac{e^{-\tau p}}{T_1^{\text{TPM}} p} + \alpha. \quad (4)$$

Интегральная составляющая передаточной функции (4) компенсирует дифференциальную составляющую передаточной функции по мощности при возмущении регулирующими клапанами турбины h_{PK}

$W_{N_{\Phi}, h_{\text{PK}}}(p) = \frac{T_0 p (T_3 p + 1)}{(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)}$ второго компонента канала турбинного регулятора мощности (3). В результате упрощенная передаточная функция канала ТРМ (1) принимает вид инерционно-дифференцирующего звена:

$$W_{\text{КАН}}^{\text{TPM}}(p) = K_{\text{КАН}}^{\text{TPM}} \frac{T_1^{\text{TPM}} p + 1}{T_2^{\text{TPM}} p + 1}. \quad (5)$$

Передаточная функция (5) при выполнении условия $T_1^{\text{TPM}} / T_2^{\text{TPM}} < 1$ представляет собой звено медленного реагирования, а во втором диапазоне ($T_1^{\text{TPM}} / T_2^{\text{TPM}} > 1$) – звено быстрого реагирования.

Переходные характеристики канала турбинного регулятора мощности при различных значениях параметра α приведены на рисунке 2.

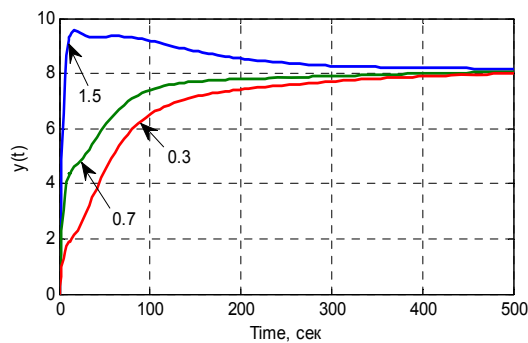


Рисунок 2 – Переходные характеристики канала турбинного регулятора мощности при различных значениях параметра α ($\alpha = 0,3$; $\alpha = 0,7$; $\alpha = 1,5$)

Переходные процессы в замкнутой САУМБ при отработке скачкообразного задающего воздействия и различных значениях параметра α приведены на рисунке 3.

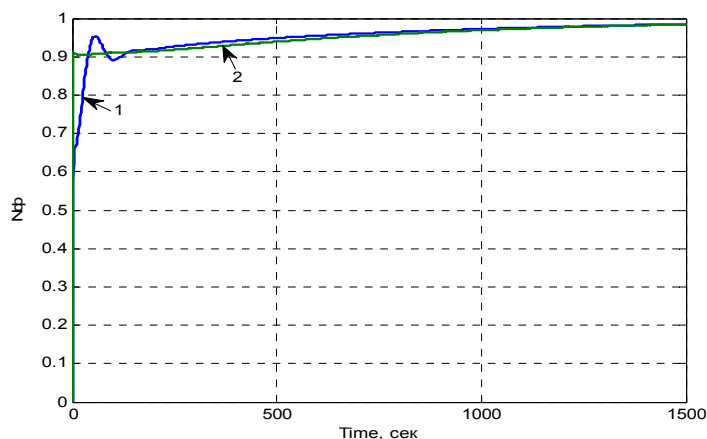


Рисунок 3 – Переходные процессы в замкнутой САУМБ при отработке скачка задающего воздействия (1 – $\alpha = 0,3$; 2 – $\alpha = 1,5$)

Таким образом, увеличение значения параметра α приводит к более быстрому нарастанию графика мощности на начальном этапе переходного процесса в САУМБ, однако время регулирования при любом значении этого параметра в типовой САУМБ будет чрезмерно затянутым. Кроме этого представление канала турбинного регулятора мощности в виде инерционно-дифференцирующего звена позволяет исследовать предельные возможности типовой САУМБ.

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т.Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.

2. Кулаков, Г.Т. Системный анализ научно-технической информации по системам автоматического управления мощностью энергоблоков / Г. Т. Кулаков, К. И. Артёменко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ, 2017. – Т. 60, № 5. –С. 446–458.

3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.

4. Давыдов, Н.И. Результаты испытаний и модельных исследований системы автоматического управления мощностью газомазутного энергоблока / Н.И. Давыдов, Д.Г. Бояршинов, Н.В. Зорченко // Теплоэнергетика, 2005. – №10. – С. 36–41.

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Здор Г.Н., Новичихин Р.В., Матрунчик Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Сдерживающим фактором широкого применения промышленных роботов (ПР) наряду с их высокой стоимостью, недостаточными функциональными возможностями и трудоемкостью подготовки к применению является потенциальная опасность для персонала.

По сравнению с другим стационарным оборудованием ПР является источником повышенной опасности:

- принципиально работает вне зоны своих установочных размеров;
- не имеет постоянной конфигурации и предсказуемых траекторий перемещения;
- переносимые детали могут выпасть из схвата;
- манипулируемые инструменты сами по себе часто опасны (сварочные, окрасочные, сверлильные и пр.);
- манипулятор может иметь большую массу, скорость и ускорение;
- возможны несанкционированные движения, вызванные ошибками или сбоями управляющей программы;
- наладчик практически всегда работает в зоне досягаемости включенного манипулятора.

В докладе рассматриваются методические, организационные, технические, технологические, эргономические и медицинские аспекты обеспечения безопасности персонала, работающего с ПР. В частности анализируются материалы международных стандартов, разработанных для ПР и систем на их основе: ISO 10218-1: 2011; ISO 10218-2: 2011; ISO/TS 15066:2016. Последний стандарт разработан специально для нового класса роботов, так называемых, коллаборативных роботов (коботов). Они предназначены для совместной работы с человеком в одном рабочем пространстве и одновременно. Отличительной особенностью коботов от традиционных роботов является то, что они не требуют ограждений и дистанцирования от человека. Возможна совместная работа человека и кобота с одним предметом труда. Если того требует технологический процесс, то допускается и их физическое взаимодействие (соприкосновение, принуждение). В случае же несанкционированного контакта автоматически происходит практически мгновенная остановка манипулятора.

По современным представлениям говорить о «безопасном» ПР некорректно.

Во-первых, речь может идти только о большем или меньшем уровне риска. Риски должны оцениваться заранее. Если они превосходят допустимый уровень, то регламентированы мероприятия по их снижению. Причем устранение (уменьшение уровня) одних рисков, как правило, ведет к возникновению (повышению) других. Фактически разработчик системы и организатор производства «выбирает» риски, проявления которых, как им представляется, менее вероятны. При этом имеется в виду и снижение меры ответственности лиц, принимающих решения, в случае происшествия.

Во-вторых, риски должны оцениваться не применительно к собственно ПР, а к приложению (технологическому процессу) в целом. Понятно, что говорить о «малоопасной» конструкции ПР не приходится, если он упаковывает ножи или взрывчатые вещества.

Оценка рисков предусматривает рассмотрение нескольких проявлений: серьезность (потенциальные последствия); вероятность избегания (уклонения); частота появления. Рассматриваемые стандарты регламентируют методику оценки рисков и приводят решения по их уменьшению для различных типов совместной работы. Типы классифицированы: контролируемая остановка; ручное принуждение; контроль скорости и дистанции; ограничение мощности и силы.

В докладе приводятся результаты анализа коллаборативного робота UR3 на соответствие требованиям упомянутых стандартов (рис. 1).

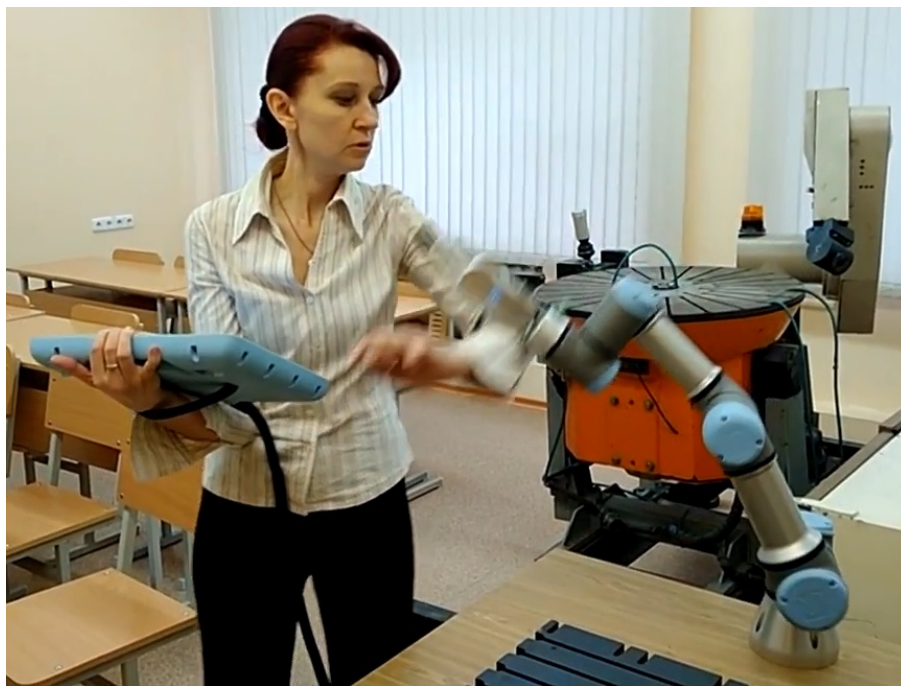


Рис. 1. Экспериментирование с коллаборативным роботом UR3 на кафедре «Робототехнические системы» БНТУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ДВУХМАССОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с увеличением длины канатов шахтных подъемных установок приходится учитывать не только их жесткость, но и скорость распространения упругой деформации вдоль каната, которая оказывает влияние на частоту собственных колебаний. Возникающие колебания увеличивают динамические нагрузки в кинематической цепи электропривода. Для определения динамических нагрузок надо знать доминирующие резонансные частоты упругих элементов, т.е. канатов, чтобы затем их исключить в управляющем воздействии регулируемого электропривода. Исходя из теории упругости для каната длиной l с поперечным сечением S при модуле упругости на растяжение E жесткость каната C_m можно вычислить по выражению

$$\tilde{N}_M \frac{E \cdot S}{l}, \quad (1)$$

а скорость распространения упругой деформации вдоль каната v в этом случае выразить таким образом

$$v = \sqrt{\frac{E \cdot S}{\gamma}}, \quad (2)$$

где γ - есть линейная плотность материала каната.

Исходя из этих соотношений, можно найти зависимость между скоростью распространения упругой деформации v и частотой собственных колебаний Ω_0 в виде

$$v = \Omega_0 l, \quad (3)$$

$$\text{где } \Omega_0 = \sqrt{\frac{C_M}{m_k}}, \quad (4)$$

$m_k = \gamma l$ – масса каната длины l .

Принимая во внимание такое понятие как жесткость каната на единицу длины $C_{(l)}$, можно получить зависимость

$$v = \sqrt{\frac{C_{(l)}}{\gamma}}, \quad (5)$$

которую затем использовать для определения частоты собственных колебаний каната длиной l :

$$\Omega_0 = \frac{v}{l}. \quad (6)$$

Заметим, что скорость v для данного каната есть постоянная величина. Резонансная частота Ω_p отличается от частоты собственных колебаний Ω_0 наличием относительной величины ε коэффициента затухания

$$\Omega_p = \Omega_0 \sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad (7)$$

Система электропривода шахтной подъемной установки имеет сложную кинематическую схему, которую нередко приводят к двухмассовой модели, где выделяют одну массу с постоянным моментом инерции J_1 и вторую с моментом инерции J_2 , включающим слагаемое J_0 неизменной величины и слагаемое $J(l)$, изменяющееся с изменением длины каната. Аналогично жесткость C двухмассовой модели представляют в виде суммы постоянной составляющей C_0 и переменной $C(l)$.

При таком подходе резонансные частоты колебаний двухмассовой модели можно представить в виде функции длины l каната

$$\Omega_p = \sqrt{1 - \varepsilon^2} \cdot \sqrt{\frac{al + b}{l(k_3 + k_4l)}}, \quad (8)$$

где $a = C_0(J_1 + J_0) + k_1k_2$; $b = k_1(J_1 + J_0)$;

$k_1 = \gamma\rho^2$; $k_2 = C_{(l)}\rho^2$; $k_3 = J_1J_0$; $k_4 = k_1J_1$

ρ – радиус приведения поступательного движения к вращательному движению вала электродвигателя.

1. Чермалых В.М., Родькин Д.И., Каневский В.В. Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок.- М.: Недра, 1976.-318 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.В. Справочник по физике (для инженеров и студентов вузов). – М.: Наука, 1979. – 944 с.
3. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода. – 2-е изд.- Минск: Техноперспектива, 2007.- 585 с.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СКАЛЯРНЫМ ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ С ПОСТОЯННЫМ СТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТОМ

Фираго Б.И., Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Практически все разнообразие существующих электроприводов может применяться для привода механизмов, работающих с постоянным статическим моментом. Как известно, этот класс электроприводов, в отличие от электроприводов для турбомеханизмов, должен иметь высокую перегрузочную способность по моменту и поддержание постоянства максимального момента двигателя в широком диапазоне регулирования скорости. Для большинства регулируемых электроприводов это условие достигается за счет поддержания магнитного потока (потокосцепления) на номинальном уровне с помощью различных систем управления.

К современным системам регулируемого электропривода, работающего с постоянным магнитным потоком и обеспечивающим заданное значение максимального момента, относятся асинхронные частотно-регулируемые короткозамкнутые двигатели с векторным управлением [1], электроприводы с вентильными двигателями постоянного и переменного тока (т.е. с электронной коммутацией тока в силовой обмотке), частотно-регулируемые синхронные двигатели с электромагнитным возбуждением или возбуждением от постоянных магнитов и скалярным частотным управлением.

К сожалению, современные преобразователи частоты, выпускаемые всеми фирмами для частотного регулирования скорости асинхронных короткозамкнутых двигателей, не имеют полноценного скалярного управления, которое обеспечивало бы поддержание постоянного потокосцепления асинхронного двигателя в широком диапазоне изменения частот и нагрузок двигателя [2]. Имеется только один вариант скалярного частотного управления $U/f = \text{const}$ с возможностью задания начального напряжения при $f = 0$ на уровне от 0 до 30% от номинального. Но такое скалярное частотное управление может применяться только для турбомеханизмов, а не для электроприводов механизмов, работающих при постоянном статическом моменте.

Другими словами, мы не имеем промышленных асинхронных частотно-регулируемых электроприводов со скалярным частотным управлением. И там, где это необходимо, применяют векторные системы управления, которые более дорогие, чем скалярные, и труднее в наладке и эксплуатации.

Какая же альтернатива может быть для многих электроприводов, работающих при постоянном статическом моменте, например, для

грузоподъемных механизмов и машин, где требуемый диапазон регулирования скорости не превышает 20:1 и достаточно точности, которую дает работа электропривода в разомкнутой системе при качественном скалярном управлении.

В настоящее время такой альтернативой является применение синхронных электродвигателей с электромагнитным возбуждением или возбуждением от постоянных магнитов со скалярным частотным управлением. В этом случае применение самого простого закона частотного управления, т.е. $U/f = \text{const}$, который заложен во всех современных преобразователях частоты, позволяет поддерживать постоянный магнитный поток и необходимую величину максимального момента на всем диапазоне изменения частот (скоростей) и моментов сопротивления. При этом механические характеристики синхронного двигателя являются астатическими без регуляторов скорости.

Предпосылками для дальнейшего исследования и развития синхронного частотного электропривода со скалярным управлением является возрастающий выпуск синхронных двигателей с постоянными магнитами. Уже имеются СДПМ на мощности от 750Вт до 400кВт [3].

Конечно, для обеспечения требуемых динамических показателей такого электропривода необходимо иметь на роторе короткозамкнутую демпферную обмотку. При частотном управлении СД она может быть создана только для стабилизации работы (с минимумом колебаний) электропривода без возложения на нее обязанностей асинхронного пуска. Это удешевляет демпферную обмотку.

Необходимо отметить, что электроприводы постоянного тока, как обладающие самой высокой управляемостью, продолжают применяться как в приводах малой мощности (приводы подачи металлорежущих станков и других механизмов), так и электроприводах большой мощности (механизмы подъема и передвижения мостовых металлургических кранов, прокатные станы, ножницы для резки металлов, производство бумаги и др.). Хотя регулируемые электроприводы постоянного тока с коллекторными двигателями и потеряли ведущие позиции, но не сошли со сцены. Они непрерывно совершенствуются, и еще долго будут применяться с учетом технико-экономических показателей, надежности и высокого качества регулирования скорости и момента.

1. Фираго Б. И. Векторные системы управления электроприводами / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 159с.

2. Фираго Б. И. Теория электропривода / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585с.

3. Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами в алюминевом корпусе LSRPM. Технический каталог. 2008г.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ВОДНО-СПИРТОВОЙ СМЕСИ

Околов А. Р., Дроздовский А. Л., Реентович И. А.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В производстве ликёроводочной продукции важнейшей операцией является подготовка смеси воды и спирта, непосредственно влияющая на качество готового напитка. Даже незначительное отклонение от установленных норм может негативно сказаться на органолептические показатели продукта, увеличивается время прохождения процесса, снижается эффективность производства. Во избежание подобных ситуаций, данный технологический процесс был полностью автоматизирован.

С этой целью была разработана автоматизированная модульная технологическая линия. С ее помощью обеспечивается непрерывное приготовление водки, включающая смешение в определенном соотношении спирта с умягченной водой, фильтрацию на батареях, очистку активным углём и дозировку ингредиентов. Необходимая крепость достигается применением проточным смесителем и напорных чанов. В процессе термостатирования выравнивается температура воды и спирта, что связано с выделением тепла в результате реакции гидратации, возникающей при взаимодействии воды со сложными органическими веществами, каким является спирт. В это время дополнительно вводятся необходимые вкусовые ингредиенты и пищевые добавки, а выделяемая в процессе реакции гидратации теплота, способствует их лучшему смешиванию, и крепость напитка доводится до нормы.

Установка для непрерывного приготовления водно-спиртовой смеси упрощенно показана на рис.1.

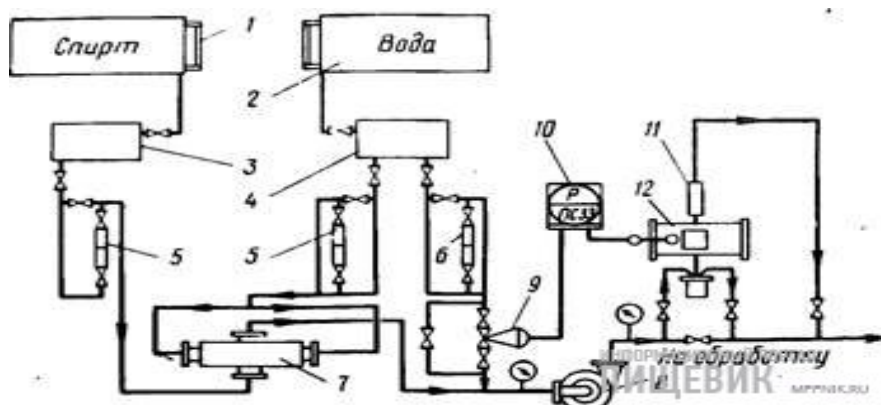


Рисунок 1. Схема установки для непрерывного приготовления водно-спиртовой смеси

Приготовление водно-спиртовой смеси на этой установке производится непрерывно в полностью герметизированных емкостях, что имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами приготовления смеси: снижаются потери спирта, достигается высокая производительность при высокой степени однородности смеси. Из емкостей 1 к 2 спирт и умягченная вода поступают в снабженные поплавковыми регуляторами уровня напорные баки 3 к 4. Во время работы установки количество спирта и воды, поступающих в узлы смешивания 7 и 8 (проточный смеситель и центробежный насос), контролируют ротаметрами 5. Крепость водно-спиртовой смеси, проходящей через узел смешивания, устанавливают на 0,5-1,5% об. выше заданной с последующим понижением крепости до заданной путем подачи воды через исполнительный механизм 9 и контролируют ротаметром 6.

Таким образом, крепость смеси поддерживают на заданном уровне путем регулирования незначительной части потока одного из компонентов, т.е. воды. Водно-спиртовая смесь оптимальной крепости подается центробежным насосом 8 на дальнейшую обработку.

Регулирование крепости водно-спиртовой смеси, выход которой из установки контролируется ротаметром 11, осуществляется автоматически с использованием исполнительного механизма 9 и датчика плотности 12. Сигнал с датчика подается на исполнительный механизм, обеспечивающий добавление нужного количества воды, и обрабатывается регулятором 10.

Разработанная автоматизированная система управления (АСУ) осуществляет управление всеми процессами в ручном и автоматическом режимах, реализует операторский интерфейс, а так же взаимодействие с заводскими системами оперативно-производственного уровня. Основные составляющие АСУ: шкаф управления с вычислительным устройством, шкаф силовой (для всех опций повышенной мощности), автоматизированное рабочее место оператора.

1. Марголин Ш. М., Гуров А. С. Функциональные узлы схем автоматического управления. М.: Энергоатомиздат, 1983.

2. Информационный портал о пищевой и перерабатывающей промышленности [Электронный ресурс]. – Проект mppnik – Режим доступа : <http://mppnik.ru/>

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТУДЕНТАМИ

Попова Ю.Б., Левшунов С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

По мере того, как компьютерные технологии становятся неотъемлемой частью повседневной жизни, люди все ближе подходят к осознанию их новых возможностей, одной из которых является электронное обучение (англ., e-learning). В этой области создаются все более динамичные электронные системы обучения, которые приходят на смену традиционным «пассивным».

Традиционные платформы электронного обучения (или системы управления обучением, англ., LMS), представляют собой среды для предоставления учебных материалов и управления ими [1]. Однако большинство таких систем не предоставляет преподавателям возможность контроля процесса изучения материалов студентами. А физически преподаватель не всегда может проверить добросовестность процесса обучения. Это снижает мотивацию студентов к изучению учебного материала, в результате чего появляются пробелы в знаниях обучающихся. Поэтому обязательной частью современной системы обучения должна стать функциональность, позволяющая преподавателю контролировать процесс изучения учебных материалов и собирать статистику об их просмотрах.

Для решения данной задачи авторами реализован программный модуль с использованием технологий ASP.NET MVC, AngularJS, MS SQL Server. Модуль интегрирован в систему управления учебным процессом, разработанную на кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Предлагаемый программный продукт позволяет в автоматическом режиме мониторить процесс изучения учебного материала студентами за счет сравнения отведенного на просмотр времени с реально потраченным. При открытии учебного материала на стороне клиента (JavaScript-приложение) запускается таймер, который через определенный промежуток времени (раз в 10 секунд) отправляет запрос на сервер о том, что конкретный студент просматривает конкретный материал. При закрытии учебного материала таймер останавливается. При закрытии вкладки/браузера таймер также останавливается.

При таком подходе могут возникнуть следующие вопросы:

1) какова будет реакция приложения, если студент откроет учебный материал, а затем свернет веб-браузер и запустит компьютерную игру либо откроет в другой вкладке социальную сеть? Как отследить такие действия?

2) как отследить неактивность студента, который открыл учебный материал и ушел, например, обедать в столовую? При этом браузер открыт, вкладка активна, таймер работает.

Для ответа на первый вопрос заметим, что в большинстве браузеров JavaScript не останавливает свое выполнение при переходе вкладки в фоновый режим. Следовательно, при переходе вкладки в фоновое состояние либо при сворачивании браузера необходимо останавливать таймер и возобновлять его при разворачивании браузера либо при переходе вкладки в активное состояние. Это можно реализовать с помощью событий *focus/blur*. Событие *focus* вызывается тогда, когда пользователь фокусируется на элементе, а *blur* – когда фокус исчезает, например посетитель кликает на другое место на экране. Элементом в нашем случае является объект *window*.

Одним из вариантов ответа на второй вопрос может быть отслеживание движения мыши. При срабатывании события *onmousemove* можно запускать таймер, который по истечении определенного количества времени (например, 30 секунд) будет останавливать таймер, отвечающий за отправку данных о прочтении учебного материала студентом. Каждое движение мыши будет возобновлять таймер отправки данных.

Всю информацию о просмотрах учебных материалов каждым отдельным студентом преподаватель может увидеть в пункте меню «Мониторинг» программного модуля «Электронный учебно-методический комплекс». Также существует возможность отфильтровать просмотры информации по предмету, номеру группы и подгруппы (рисунок 1). Оценить время просмотров отдельных разделов ЭУМК студентами всей группы можно прямо из этих разделов.

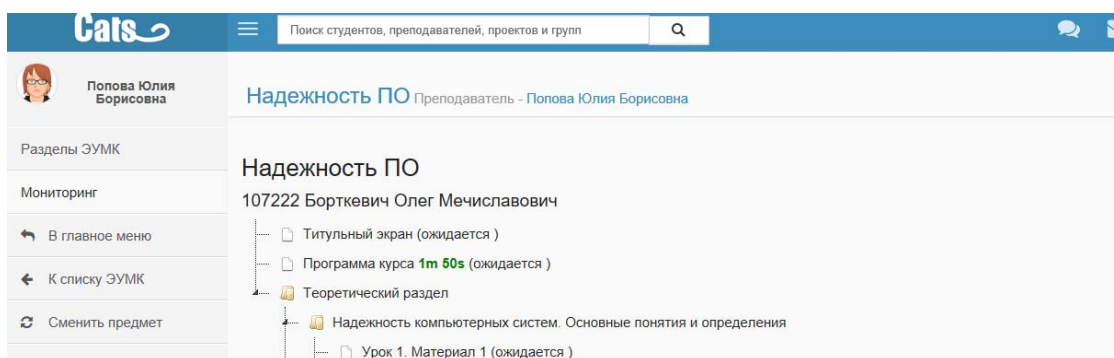


Рисунок 1 – Страница с информацией о просмотрах студентом учебных материалов

1. Попова, Ю.Б. Классификация автоматизированных систем управления обучением / Попова, Ю.Б. // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №2. – С. 51–58.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИАТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Попова Ю.Б., Голобурда А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последнее время в учебном процессе наблюдается бурный рост использования заимствованной информации, которую можно отнести к разряду плагиата. Согласно определения, приведенного в [1], плагиат — это умышленное присвоение авторства чужого произведения науки или искусства, чужих идей или изобретений. Поэтому задача обнаружения недобросовестного использования чужих работ (фактов плагиата) в учебных заведениях приобретает высокую актуальность.

Для проверки документов на плагиат в сети Интернет существует несколько программных продуктов, рассмотренных в [2]. Однако не все обучающиеся размещают свои работы во всемирной сети и часто передают их младшим курсам. Поэтому в учебных заведениях существует проблема плагиата работ с прежних лет. Одним из решений указанной проблемы является использование автоматизированных систем управления обучением (англ., Learning Management System, LMS) [3]. Обучающиеся закладывают свои лабораторные, контрольные и курсовые работы в такие системы, образуя архивы прошлых лет, и преподавателю не составляет труда проверить работы на плагиат. Ключевым моментом здесь является возможность LMS делать такие проверки. Поэтому авторами предлагается веб-сервис, который может быть интегрирован в любую LMS, для поиска заимствованных работ и составления отчетов с указанием процентов схожести с аналогами.

Разработанный веб-сервис реализует модифицированный алгоритм векторной модели текстового документа. Предлагаемая модификация заключается в формировании отдельного N -списка для каждого анализируемого документа. Вследствие чего будет происходить попарное сравнение документов и формирование образа одного документа относительно N -списка другого. Таким образом, в i -й строку матрицы схожести будут записываться коэффициенты схожести всех рассматриваемых документов относительно i -го документа. Предлагаемая модификация позволяет ускорять процесс вычислений, поскольку нет необходимости искать общие термины для всех документов.

Следует отметить, что в ходе учебного процесса преподаватель сталкивается с большим количеством работ студентов, которые необходимо проверять одновременно, например, контрольные или курсовые работы целого потока обучающихся. Поэтому проверять на плагиат каждую работу отдельно — это очень затратный процесс как по времени выполнения, так и по вычислительным ресурсам. Для решения

данной проблемы авторы предлагают использовать кластерный анализ текстовой информации, основная цель которого — разбить множество объектов на группы таким образом, чтобы объекты внутри одной группы были максимально похожи друг на друга, но в то же время максимально отличались от объектов другой группы. Алгоритм кластерного анализа текстовой информации реализован на языке программирования Java, интегрирован в систему управления учебным процессом, разработанную и используемую на кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ, и находится на стадии апробации.

Для проведения вычислительных экспериментов было подготовлено два тестовых набора документов объемом 1500-2000 слов. Первый набор состоял из 50 документов, а второй – из 100. Результаты вычислений показали, что время проверки одного документа на плагиат из набора пятидесяти документов составляет 88 секунд. Такое же количество времени требуется для проверки на плагиат всех пятидесяти документов, применяя кластерный анализ. С увеличением количества проверяемых документов в два раза время вычислений увеличивается приблизительно в такое же количество раз. Таким образом, проведенные эксперименты показали преимущество использования кластерного анализа при определении плагиата: данный подход позволяет за один раз найти сразу все варианты схожих работ, что существенно экономит время поиска.

В ходе экспериментов было также замечено, что при повторных проверках документов время вычислений может быть существенно сокращено за счет первоначального сохранения результатов морфологического разбора. Поскольку сравнение каждого нового документа происходит с ранее проверенными документами, то для них нет необходимости делать морфологический разбор каждый раз, когда формируется матрица схожести, а можно брать сохраненные варианты предыдущих разборов.

1. Бобкова, О. В. Плагиат как гражданское правонарушение / Бобкова О. В., Давыдов С. А., Ковалева И. А. // Патенты и лицензии. – 2016. – № 7. – С. 31–41.
2. Голобурда, А. В. Проверка плагиата в веб-приложениях / А. В. Голобурда, Ю. Б. Попова // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: IV Международная научно-техническая интернет-конференция, 18-19 ноября 2016 г. Секция Информационные технологии в производстве и научных исследованиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/27126> – Дата доступа: 25.11.2017.
3. Попова, Ю.Б. Классификация автоматизированных систем управления обучением / Попова Ю.Б. // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №2. – С. 51–58.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕЙНИТНОГО ЧУГУНА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А.Nofal¹, Покровский А.И.,² Шенец С.Л.,² Шпарло Д.А.²

1). Central Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI),
Cairo, Egypt;

2). ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Высокопрочные чугуны хорошо известны своими технологическими и эксплуатационными свойствами и традиционно используется только как литейный материал.

Между тем, многие исследователи придерживаются точки зрения, что любое воздействие на сплавы и, в частности, деформационное, может привести к значительным изменениям, как в структурных составляющих, так и изменить характер и кинетику прохождения фазовых превращений, а соответственно отразится на механических и эксплуатационных характеристиках.

Целью исследования являлось определение возможности управления структурой и характеристиками высокопрочного бейнитного чугуна, производство которого освоено в CMRDI (Cairo, Egypt), за счет предварительной горячей пластической деформации. Высокопрочный бейнитный чугун был выплавлен в лаборатории CMRDI, которой руководит профессор А.Nofal. Эксперименты по горячему выдавливанию проводились в ФТИ НАН Беларуси.

Показано, что пластическая деформация чугуна 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 существенным фактором, обеспечивающим пластическое течение чугуна, является использование схем деформирования близких к всестороннему сжатию. Показано, что на практике данная схема наиболее эффективно реализуется в технологических процессах выдавливания и штамповки, причем с использованием определенного противодавления. Это позволяет достигать относительные степени деформации порядка 80% и обеспечить получение изделий достаточно сложной формы, причем, с малыми припусками.

Показано, что цилиндрические образцы высокопрочного чугуна в определенной, но достаточно узкой области температур (в районе 900°С) показывают хорошую пластичность, что позволяет подвергать их пластической деформации, без малейших признаков нарушения сплошности, причем при значительных степенях до 80%.



Рис. 1. Литая цилиндрическая заготовка (слева) и выдавленный из нее чугунный пруток (справа).

С использованием металлографии и растровой электронной микроскопии подтверждено, что хрупкие фазы в структуре чугуна при горячем выдавливании пластически деформируются. В частности, экспериментально доказан факт пластической деформации хрупкого графитного включения, расположенного в металлической матрице (аустените). Изучены микроструктуры чугуна при различных степенях деформации и установлены определенные закономерности трансформации каждой из структурных составляющих. При этом установлено, что тип кристаллографической решетки, ее период, как у графита, так и у металлической матрицы чугуна после деформации не изменяется.

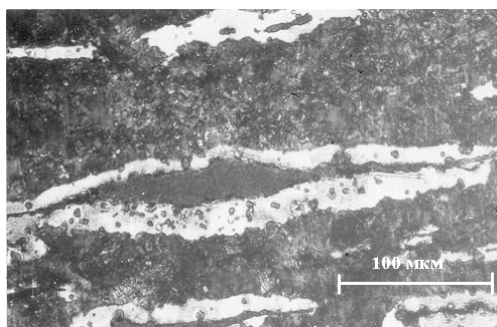


Рис. 2. Пример микроструктуры деформированного высокопрочного чугуна, продольное сечение, $\times 500$. Вытянутое включение графита, окруженное ферритной оторочкой в перлитной матрице

Использование деформации только для придания изделию из чугуна требуемой формы, хотя и является эффективным и весьма неожиданным для литейщиков, не является самоцелью данной работы, более важной причиной использования деформации, является доказанная возможность улучшить комплекс физико-механических характеристик чугуна (предела прочности, текучести, ударной вязкости) до 1,5 раз.

Показано, что бейнитный высокопрочный чугун может в ряде случаев успешно заменять высококачественную легированную сталь для деталей машин (шестерни), почвообрабатывающего инструмента (плуги, сошники).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Буштрук Т. Н.¹, Мазанов А. С.¹, Буштрук А. А.², Лохин В. В.¹

1). Самарский государственный университет путей сообщения

2). Самарский национальный исследовательский университет
Самара, Российская Федерация

Использование нелинейных фильтров обеспечивает улучшение полосовых характеристик системы без увеличения времени переходного процесса. Произведение времени переходного процесса на ширину полосы пропускания в линейной динамической системе есть величина постоянная [1]. В нелинейных системах эту постоянную величину можно уменьшить. Ниже приведена модель структурной схемы нелинейного полосового фильтра (рисунок 1).

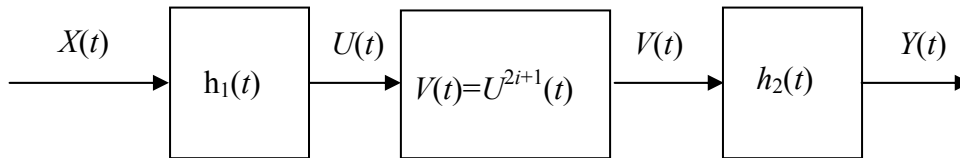


Рисунок 1 Структура модели нелинейного полосового фильтра

В приведенной структуре нелинейного полосового фильтра $h_1(t)$ – импульсная переходная характеристика (ИПХ) линейного полосового фильтра, $h_2(t)$ – ИПХ фазокорректирующего фильтра (эти фильтры описаны в [2]), $V(t)=U^{2i+1}(t)$ – нелинейный элемент с нечетной нелинейностью. Приведены передаточные функции звеньев с ИПХ $h_1(t)$ и $h_2(t)$:

$$W_{n\phi}(s) = \frac{\frac{k}{m} \left(m \frac{S \omega_p}{\theta} + 1 \right)}{S^2 + S \left(\frac{\omega_p \theta}{m} + \frac{(1+k)\omega_p}{\theta} \right) + \omega_p^2},$$

$$W_{\phi\phi}(s) = \frac{S^2 + \frac{\omega_p \theta}{m} S + k\omega_p^2}{S^2 + \left(\frac{\omega_p}{\theta} + \frac{\theta\omega_p}{km} + \frac{\theta\omega_p}{m} + \frac{1}{k} \right) S + \frac{(k+m)}{km} \omega_p^2},$$

где m , k и θ – задаваемые коэффициенты, ω_p – центральная частота настройки линейного полосового фильтра.

Получены соотношения для нелинейных полосовых фильтров, синтезируемых из линейных динамических и статических нелинейных

элементов. В основу метода синтеза нелинейного фильтра положены уравнения, полученные в [3]. Проведен синтез нелинейного полосового фильтра с амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристиками, формируемыми практически независимо друг от друга.

Полученные формулы описывают амплитуды и фазовые характеристики первой гармоники на выходе S_m -системы (параллельной блочно-ориентированной нелинейной модели). Комплексный коэффициент передачи для первой гармоники имеет вид

$$W(j\omega) = a_{2i+1} K_1^{2i+1}(\omega) K_2(\omega) e^{-j\varphi_1(\omega) - j\varphi_2(\omega)},$$

где $K_1(\omega)$, $K_2(\omega)$, $\varphi_1(\omega)$ и $\varphi_2(\omega)$ - модули и фазовые характеристики звеньев в структуре нелинейной модели полосового фильтра. Из формулы видна возможность формирования амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик фильтра практически независимо друг от друга.

Параметры линейного полосового фильтра и параметры линейных фильтров в структуре нелинейного фильтра с учетом того, что величина $2i+1$ изменяется от 3 до 7, выбраны так, чтобы обеспечить изменение добротности линейного и нелинейного полосовых фильтров в заданных пределах. Добротность определяется экспериментально по значениям амплитудно-частотной характеристики на уровне $1/\sqrt{2}$. В результате моделирования получены переходные процессы на выходе линейных и нелинейных полосовых фильтров при входном воздействии – единичный скачок. Коэффициент k обеспечивает масштабирование выходного сигнала нелинейного полосового фильтра.

При моделировании линейных и нелинейных полосовых фильтров использовался пакет программ ИКАР OLD, основой которого является метод Z – преобразования.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что в нелинейных полосовых фильтрах можно разрешать противоречие между точностью и быстродействием, увеличивая точность при малом времени анализа сигналов.

1. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. - М.: Мир, 1983. - Т.2.

2. Bushtruk A.D., Sukhikh T.N. Structural identification of S_m -system. 9th IFAC/IFORS Simph/ on Identification and Systems Parameter Estimation. Budapest, Hungary, 8-12 July, 1991. - P. 628-633.

3. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 7. – С. 147-158.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ БЫВШИХ В УПОТРЕБЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Белявин К.Е.¹, Щукин В.Я.¹, Кожевникова Г.В.²

1) Белорусский национальный технический университет

2) Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Разработана технология получения шаров для помола шаровых мельниц путем рециклинга бывших в употреблении железнодорожных рельсов. Мелющие шары, изготовленные методами прокатки из легированной рельсовой стали, будут обладать повышенным комплексом структурных и физико-механических свойств, предназначенных для работы в сложно-нагруженных условиях при повышенном абразивном износе. Актуальным является повышение поверхностной твердости при увеличении глубины залегания упрочненного слоя.

Производство шаров новым методом (комбинированной технологией продольной и поперечной прокатки) уменьшает их себестоимость. Экономический эффект определяется:

1) получением импортозамещающего продукта – шаров для помола шаровых мельниц. В связи с развитием и реконструкцией цементной промышленности РБ потребность в шарах, закупаемых за рубежом, постоянно возрастает. Причем мелющие шары, изготовленные по новой технологии из легированной рельсовой стали методами прокатки, будут иметь более высокую твердость и износостойкость;

2) возможностью увеличения экспорта цемента за рубеж за счет увеличения объемов его производства;

3) рециклингом отходов из бывших в употреблении железнодорожных рельсов. В настоящее время используется метод переплава бывших в употреблении железнодорожных рельсов и это более дорогая технология, чем комбинированная технология прокатки.

Рассматривается плоско-деформированное состояние при продольной прокатке головы рельса [1, 2]. Материал рельса принимается идеально-пластическим. Используется графический метод построения полей линий скольжения. Контактные напряжения (нормальное и касательное) принимается постоянным вдоль контакта. Нормальное напряжение на контакте определяется методом верхнеграницной оценки. Коэффициент трения по Прандтлю μ_t определяется из условия равенства сил, способствующих и препятствующих прокатке.

Рассмотрен процесс прокатки головы рельса высотой 70 мм в валках диаметром 200 мм в двух режимах прокатки со степенями обжатия $\delta = 1,30$ и $\delta = 1,50$. Графически построены поля линий скольжения. Рассчитаны

компоненты напряженного состояния в очаге деформации при продольной прокатке головы рельса. Результаты расчета приведены в таблице.

Таблица – Значения параметров поля линий скольжения при продольной прокатке в зависимости от степени обжатия

δ	1,30	1,50
$\varphi, ^\circ$	25,1	19,4
$\varphi_0, ^\circ$	11,6	14,2
$\Delta\varphi, ^\circ$	6,0	6,0
P_{μ}/K	3,13	3,07
μ_{τ}	0,64	0,78
σ/K КОНТ	-2,36	-2,44
$\varphi, ^\circ$ α -ЛС ось	37,1	19,4
σ/K ось	-1,12	-1,60
σ_x/K ось	-0,16	-0,97
σ_z/K ось	-2,08	-2,23
τ_{xz}/K ось	0,27	0,78

Выводы

1. Методом графического построения полей линий скольжения решена задача определения напряжений в очаге деформаций при продольной прокатке головы рельса.

2. Среднее напряжение и нормальные напряжения в очаге деформации являются сжимающими, что предотвращает образование трещин в голове рельса при прокатке.

3. Нормальные напряжения в очаге деформации при прокатке головы рельса тем выше, чем больше степень обжатия, и по этой причине для повышения качества металла целесообразно реализовать техпроцесс при максимально возможной степени обжатия и за один проход, что будет способствовать заварке микротрещин рельсов, бывших в употреблении, и увеличению производительности.

4. Максимальное касательное напряжение τ_{xz} реализуется на границе очага деформации в области выхода металла из очага деформации, что, вероятно, свидетельствует о наибольшем разрыве скорости по границе поля линий скольжения.

1. Кожевникова, Г.В. Самоустановление сил трения при поперечной прокатке / Г.В. Кожевникова // Трение и износ. – 2016. – Том 37, № 4. – С. 421–426.

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

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Щукин В.Я.¹, Кожевникова Г.В.², Абрамов А.А.², Климов К.А.²

1) Белорусский национальный технический университет

2) Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Изучение параметров микроструктуры материала при пластических деформациях в процессах обработки металлов давлением (ОМД) являются одним из перспективных направлений в области компьютерного моделирования. Моделирование процессов формообразования в металле, невозможно без перехода на микроуровень, так как именно параметры микроструктуры являются наиболее емкими при определении качественных характеристик изделий [1]. Свойства материала неразрывно связаны с его микроструктурным состоянием, на ход пластических деформация может существенно оказать влияние исходная неравномерность распределения микроструктурных компонентов.

Существуют несколько подходов компьютерного моделирования микроструктуры металла при ОМД. Один из них заключается в том, что вначале проводятся компьютерное моделирование формообразования заготовки на макроуровне, определяются ее характеристики (напряжение, деформация, скорость деформирования, температура и т.д.), а далее используя известные модели поведения металла на микроуровне определяются параметры формирования микроструктуры.

Для совместного решения задач моделирования пластической деформации и эволюции микроструктуры требуются т.н. интегральные математические модели различных взаимосвязанных процессов структурообразования. Одной из таких моделей, которая используется в пакетах инженерного анализа является модель ЖМАК (модель Джонсона-Мейла-Аврами-Колмогорова). В ее основе лежит математическая модель, которая связывает основные структурные характеристики (размер зерна и рекристаллизация) с макроскопическими характеристиками изделия на уровень физико-механических свойств.

Компьютерное моделирование процессов ОМД основано на методе конечных элементов и связано с решением дифференциальных уравнений, используя специальные программные пакеты. Современные системы анализа позволяют точно предсказывать процесс течения металла при формообразовании заготовки, ее напряженно-деформированное состояние, а также оценить микроструктуру заготовки. Однако качество результатов и их адекватность зависит от подходов моделирования, параметров, которые задавались при построении моделей и т.д. Поэтому очень важно правильно подготовить расчетные данные для пакета инженерного анализа.

Для этого была разработана методика построения компьютерных моделей, проведения численного анализа процессов обработки металлов давлением и прогнозирования структуры материала в процессах ОМД.

В качестве базового пакета для проведения компьютерного моделирования был выбран пакет DEFORM 3D. Построена компьютерная модель поперечно-клиновой прокатки вала водяного насоса ОАО «Борисовский завод агрегатов» из стали 40X при температуре 1000 °С с параметрами прокатки: степень обжатия $\delta = 1,71$; углы клинового инструмента $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 9^\circ$; скорость прокатки (подвижного инструмента) 0,3 м/с. Для каждой точки можно вывести следующие результаты: ориентация зерна, плотность дислокаций, границы зерен (рисунок). Можно отобразить гистограммы для размера зерна, дезориентации зерна и др. параметры микроструктуры в виде графиков в любой момент времени. Для оценки и сравнения результатов виртуальных экспериментов с натурными, использованы металлографические исследования исходных и деформированных образцов.

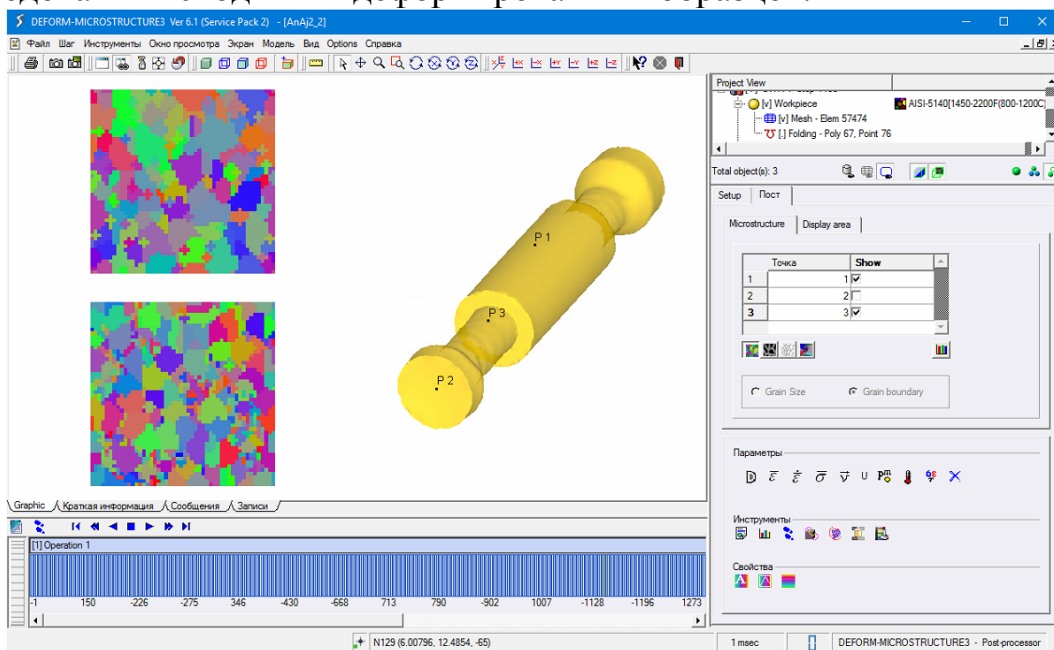


Рисунок – Ориентация зерна для точек 1 и 3

1. Кожевникова, Г.В. Повышение усталостной прочности валов посредством поперечно-клиновой прокатки / Г.В. Кожевникова, А.О. Рудович, В.Я. Щукин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2017. – № 12. – С. 19–31.

2. Абрамов, А.А. Компьютерное моделирование микроструктуры в процессах обработки металлов давлением // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением / редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. – С. 62–68.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ПРОКАТКИ МАЛОЛИСТОВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ РЕССОР

Исаевич Л.А., Сидоренко М.И., Иваницкий М.И., Крицкий А.Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизированная линия для прокатки полос малолистовых параболических рессор представлена на рисунке 1. В состав линии входит [1]: 1 - участок загрузки; 2 - участок нагрева перед пробивкой; 3 - участок пробивки центрального отверстия; 4 - участок поворота заготовки; 5 - участок шлеппера №1; 6 - участок нагрева перед прокаткой; 7 - участок аварийной выгрузки индукционного нагревателя; 8, 9, 10 - входная сторона, линия клетки, выходная сторона участка прокатного оборудования; 11 - участок шлеппера №2; 12 - участок ножниц; 13 - участок шлеппера №3; 14 - участок выгрузки; 15 - главный пост управления; 16 - ТПЧ индукционного нагревателя участка 2; 17 - БС индукционного нагревателя участка 2; 18 - ТПЧ индукционного нагревателя участка 6; 19 - БС индукционного нагревателя участка 6; 20 - гидростанция №1; 21 - гидростанция №2; 22, 23, 24 - гидропанели №1-3; 25 - клеть ДУО; 26 - блок подготовки воздуха; 27 - система циркуляционной смазки редуктора; 28 - система технологической смазки прессы; 29 - система внутреннего охлаждения валков; 30 - шкафы управления; 31 - одно из рабочих мест.

Линия предназначена для получения заготовок путем многопроходной прокатки поочередно обоих концов заготовки с рассогласованием скоростей валков, правки, обрезки проката в заданный размер и пробивки центрального отверстия (в случае необходимости). Получаемые заготовки являются полуфабрикатом для изготовления рессор для автомобилей семейства "МАЗ".

Заготовки поштучно автоматизированным механизмом загрузки подаются на загрузочный шлеппер индукционного нагревателя. В нем происходит нагрев половины заготовки по длине. После нагрева заготовки выгружаются на подающий рольганг, по которому и поступают к прокатной клетке. Заготовки холодным концом вперед наполовину длины проходят между разведенными валками, захватываются тянущим гидроцилиндром и нагретая половина заготовки прокатывается в валках за несколько проходов. После правки и отделки проводится прокатка второго конца рессорной заготовки, его правка и отделка, на прессе пробивается отверстие соответствующего диаметра и рессора поступает на выгрузку.

Управление всеми механизмами линии полностью автоматизировано и осуществляется с общего поста управления, что обеспечивает минимум затрат при смене ассортимента продукции. Автоматизированная система управления линии создана с применением прогрессивных программных решений и аппаратных средств, включая систему высокоточных датчиков

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАКИРОВАНИЯ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Исаевич Л.А., Сидоренко М.И., Иваницкий М.И.,
Крицкий А.Д., Леванцевич М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При разработке технических средств для реализации метода плакирования гибким инструментом был проведен анализ существующих устройств для ПГИ наружных цилиндрических поверхностей, изучены их достоинства и недостатки.

На основе анализа разработана конструкция установки (Рисунок 1) позволяющая расширить технологические возможности устройств для ПГИ за счет обеспечения возможности нанесения покрытий на наружные цилиндрические поверхности изделий. Механизированная установка работает на базе токарно-винторезного станка SN402 [1].

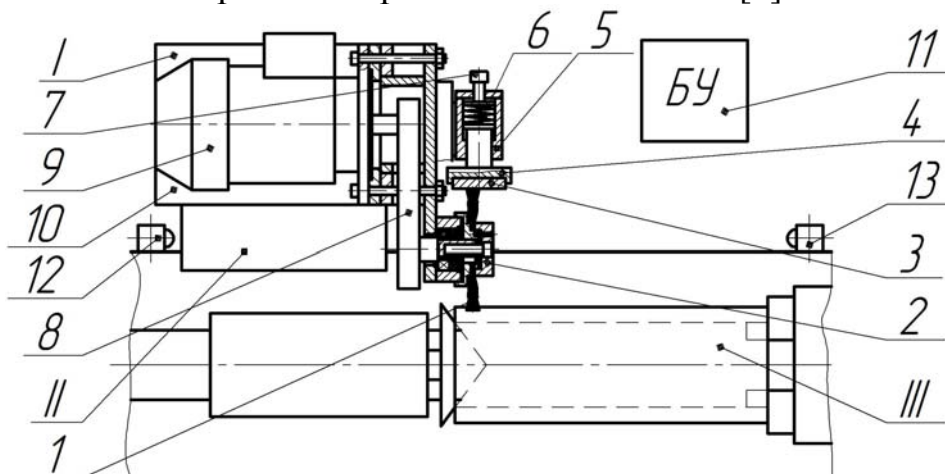


Рисунок 1 - Схема механизированной установки и устройства для ПГИ цилиндрических наружных поверхностей

Установка состоит из устройства для ПГИ I, которое базируется на суппорте токарно-винторезного станка II, а обрабатываемое изделие III (в данном случае это бандаж прокатного вала) зажимается в шпинделе.

Устройство для ПГИ I (Рисунок 1) включает в себя металлическую щетку 1, установленную на ведомом валу 2 и прижатую своей периферией к обрабатываемой поверхности изделия III и к элементу-донору 3 из материала покрытия. Щетка 1 смещена относительно оси контактирующего с ней элемента 3 на 0,2–0,3 своей ширины. Элемент-донор 3 установлен в держателе 4, который закреплен на кронштейне 5. Для установки натяга между элементом-донором 3 и щеткой 1 используется пружина 6, расположенная в держателе 4, сила сжатия которой регулируется с помощью винта 7. Привод щетки 1 осуществляется посредством ременной передачи 8 от электродвигателя 9, установленного

на основании 10. Механизация установки заключается в использовании блока управления 11 с двумя регулируемыми концевыми выключателями 12 и 13, которые обеспечивают возвратно-поступательное перемещение суппорта станка при достижении крайних точек, чем обеспечивается многопроходное нанесение покрытия.

Установка работает следующим образом. Элемент-донор 3 из материала покрытия устанавливается в держателе 4, который закреплен в кронштейне 5. Подкручивая винт 7, сжимают пружину 6 так, чтобы установить необходимую величину натяга между элементом-донором 3 и ворсом щетки 1. Устройство при помощи суппорта станка помещают к наружной поверхности обрабатываемого изделия, включают привод вращения щетки 1 и минимальную продольную подачу суппорта станка. При вращении щетки 1 ее ворс, касаясь элемента-донора 3 из материала покрытия, срезает верхний слой, захватывает его и переносит на вращающуюся обрабатываемую поверхность, формируя покрытие. Проскальзывание ворса относительно элемента-донора 3 вызывает нагрев материала покрытия, что увеличивает его пластичность и приводит к ускорению процесса нанесения слоя и увеличению адгезионной прочности покрытия. При достижении края обрабатываемого изделия срабатывает концевой выключатель, суппорт станка начинает двигаться в противоположном направлении и так необходимое количество проходов.

На рисунке 2 показан внешний вид установки и устройства для ПГИ цилиндрического банджа для прокатных валков.



Рисунок 2 – Внешний вид установки для нанесения покрытий на наружные цилиндрические поверхности методом ПГИ

Технические характеристики устройства для ПГИ: диаметр и ширина щетки – соответственно 250 мм и 80 мм; скорость относительного скольжения – 32...35 м/с; частота вращения – 1200...2700 об/мин.

1. Устройство для нанесения покрытий: пат. №4938 Респ. Беларусь, МПК С23С26/00 / М.А.Леванцевич, Н.Н.Максимченко, Ф.Ф.Давыдовский, В.Н.Калач; заявитель: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси. - №u20080479; заявл. 13.06.08; опубл. 30.12.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 6. – С. 184–185.

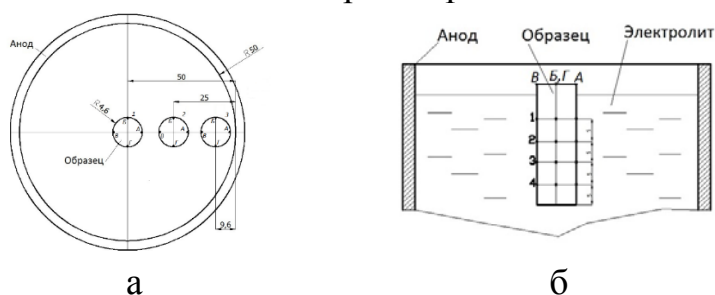
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАКСИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗДЕЛИЯ И ПРОТИВОЭЛЕКТРОДА НА РАВНОМЕРНОСТЬ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

**Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Паршута А.Э., Королёв А.Ю.,
Сенченко Г.М., Сорока Е.В.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Качество и свойства гальванических покрытий определяются равномерностью распределения металла по толщине слоя на поверхности покрываемых изделий. Фактическая плотность тока и толщина покрытия на различных участках катода отличаются. Это отрицательно сказывается на функциональных свойствах покрытия, поскольку на отдельных участках толщина покрытия может быть меньше допустимых значений.

В работе исследовалось влияние коаксиальной системы обрабатываемого изделия и противоэлектрода на равномерность нанесения гальванических покрытий с использованием импульсных электрических режимов. Схема расположения электрода-образца относительно противоэлектрода-анода в ванне обработки представлена на рисунке 1. Первоначально электрод-образец располагался соосно с анодом-противоэлектродом в центре ванны, следующее положение характеризовалось смещением оси электрода-образца на 25 мм относительно центра, в третьем положении расстояние от центра электрода-образца до образующей анода-противоэлектрода составляло 9,6 мм. Для измерения толщины покрытия по высоте электрода-образца выбирались точки с шагом 5 мм от торца образца.

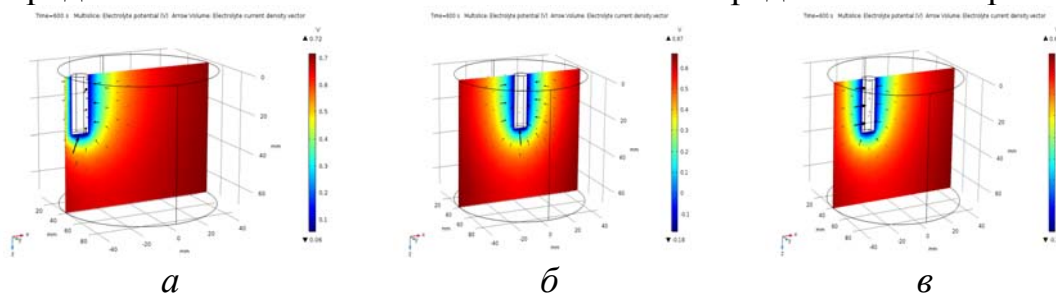


а – вид сверху, б – вид сбоку

**Рисунок 1 – Схема расположения электрода-образца относительно
противоэлектрода-анода в ванне обработки**

При оценке параметров электрохимических процессов формирования покрытий применялись численные методы интегрирования краевой задачи для потенциала электролита в области между электродами и толщины наносимого покрытия на постоянном токе, в частности, программа Comsol.

Графические результаты с расчетом распределения электрического потенциала и толщины покрытия в системе двух круглых коаксиальных электродов с использованием постоянного тока представлены на рис. 2.



a – 0 мм; *б* – 25 мм; *в* – 40,4 мм

Рисунок 2 – Конфигурация электрического потенциала электролита при смещении осей электродов

Исследования проводились при следующих параметрах: материал образцов – сталь Ст3; диаметр электрода-образца – 9,2 мм, диаметр противоиэлектрода – 100 мм; площадь образцов – 0,09 дм²; амплитудная плотность тока – до 8,5 А/дм²; отношение амплитуд отрицательного и положительного импульсов – 100%; период следования импульсов – 2,0 мс; длительность положительных импульсов – 0,2 мс; длительность отрицательных импульсов – 1,2 мс. Обработку выполняли в цинклатном электролите следующего состава: NaOH – 80 г/л; ZnO – 10 г/л [1].

По результатам выполненных исследований установлено, что при импульсном токе обеспечивается существенное снижение влияния расположения образца на толщину покрытия в коаксиальной системе электродов – отличие толщины покрытия в наиболее близкой к аноду точке 1 и наиболее удаленной точке 3 составляют 1% для смещения от оси 0 мм, 7% для смещения от оси 25 мм и – 1% для смещения от оси 40,4 мм. Кроме того, использование импульсного тока позволяет повысить плотность тока покрытия с 1 А/дм² до 8,5 А/дм² и получить увеличение толщины покрытия с 5,8 мкм до 10,2 мкм без образования дендритов. Использование импульсных режимов для коаксиальной системы с диаметром противоиэлектрода 100 мм обеспечивает уменьшение неравномерности толщины покрытия: при смещении образца от оси на 25 мм – с 60 % до 7 %, при смещении образца от оси на 40,4 мм с 92 % до 1 %.

1. Исследование и разработка процессов нанесения гальванических покрытий с использованием миллисекундных импульсных электрических режимов / Ю.Г. Алексеев, В.С. Нисс, А.Ю. Королёв, А.Э. Паршутто // Технология - Оборудование – Инструмент – Качество : тезисы докл. 32-й междуна. научн.-практич. конф. (Минск, 7-8 апреля 2016 г.) / редкол.: В.К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2016, - С. 17 – 18.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПОЛИРОВАНИЯ МАТРИЧНЫХ СТЕНТОВ ИЗ
КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ
БИПОЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Нисс В.С.,
Паршута А.Э., Будницкий А.С.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Стенты используются для увеличения биологического просвета, главным образом пораженных артерий, и для поддержания проходимости кровеносного сосуда после чрескожной транслюминальной коронарной ангиопластики. Одним из материалов для изготовления стентов является имплантантная нержавеющая сталь 316LVM.

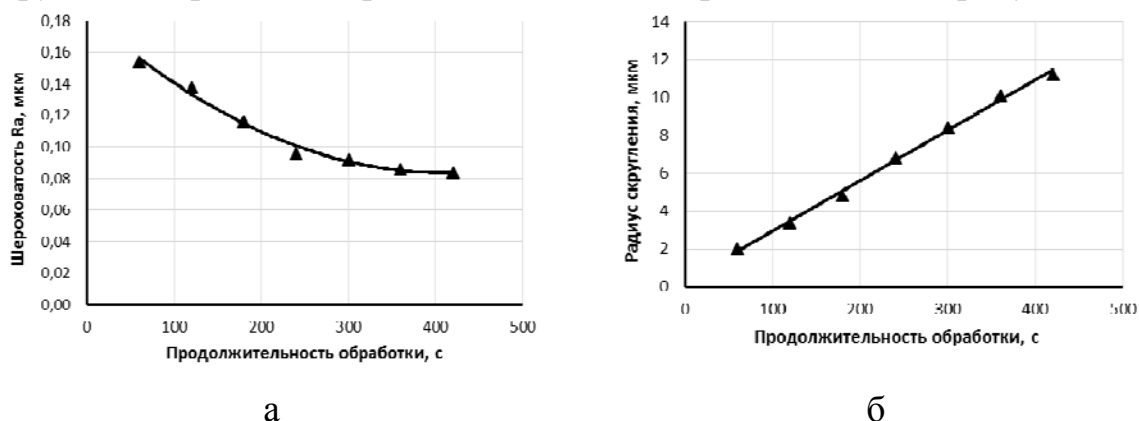
Для исключения тромбоза поверхность стента должна быть гладкой (иметь низкую шероховатость), на поверхности не должны присутствовать инородные частицы, острые кромки должны быть скруглены. Гладкая поверхность может помочь предотвратить активацию и агрегацию тромбоцитов, которая признана одним из компонентов процесса тромбоза. Поэтому полировка поверхности имеет первостепенное значение при производстве и применении стентов.

Для повышения качества поверхности стентов обычно используются методы электрохимического полирования на постоянном токе. Применение постоянного тока не позволяет в полной мере контролировать процесс полирования. Для достижения требуемой шероховатости и скругления острых кромок часто требуется обработка с большой продолжительностью, что приводит к чрезмерному съему материала с поверхности и, соответственно, к потере радиальной жесткости и изменению геометрии. Так, для правильного функционирования стента процесс электрохимического полирования должен обеспечивать финишную обработку со следующими характеристиками обработанной поверхности: шероховатость обработанной поверхности – не более Ra 0,2 мкм; съем металла – не более 30% исходной массы; радиус закругления острых кромок – до 20 мкм. Поэтому для устранения недостатков электрохимического полирования на постоянном токе предложен метод импульсного биполярного электрохимического полирования стентов.

Исследования проводили на образцах коронарных стентов с размерами 1,8x22x0,15 мм. Обработку образцов стентов выполняли при следующих диапазонах изменения действующих факторов: период следования импульсов – 40–320 мс; длительность импульсов 20– 80 мс; отношение амплитуд отрицательного и положительного импульсов – 33%; коэффициент заполнения – 25 %. Обработка выполнялась в электролите следующего состава: H_3PO_4 – 50%, H_2SO_4 – 25%, глицерин $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ – 20%,

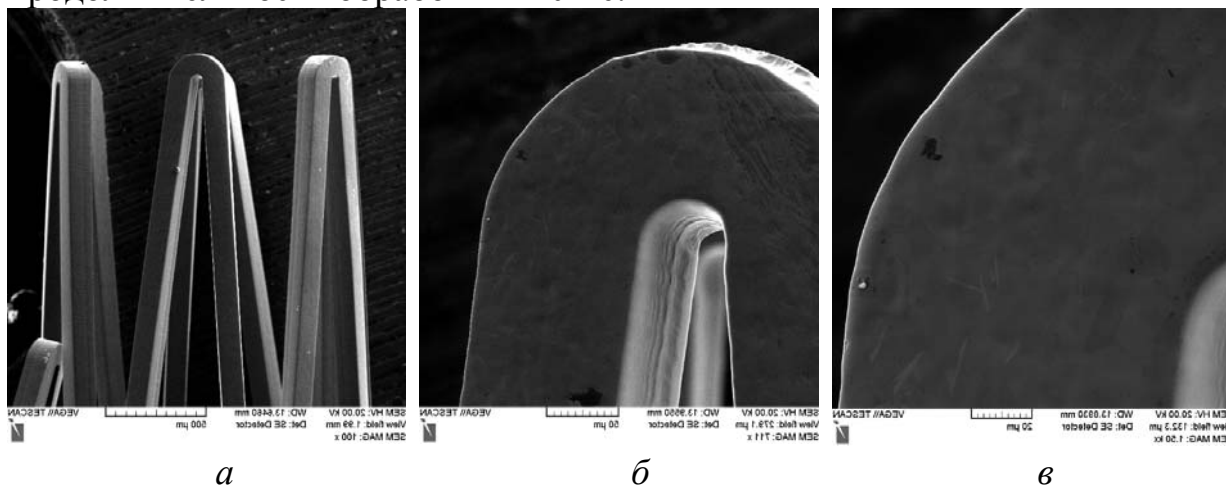
H₂O – 5% (об.). Температура электролита находилась в пределах 25±5°С; Продолжительность обработки всех образцов составляла 60–720 с.

Зависимости шероховатости поверхности стентов и радиуса скругления кромок от продолжительности, представлены на рисунке 1.



а б
Рисунок 1 – Влияние продолжительности обработки на изменение шероховатости поверхности образцов (а) и на изменение радиуса скругления (б)

На рисунке 2 представлены SEM-фотографии поверхности образца стента, полученные при длительности импульсов 40 мс и продолжительности обработки 240 мс.



а б в
а – увеличение x100; б – увеличение x700; в – увеличение x1500
Рисунок 2 – SEM фотографии поверхности стента

По результатам выполненных исследований установлено, что изменение продолжительности обработки образцов коронарных стентов с 60 до 420 с приводит к относительному изменению массы обработанного стента с 2,5 до 20 %, увеличению радиуса скругления с 2 до 11 мкм. Достигаемая после обработки минимальная шероховатость поверхности стента составляет Ra 0,15 мкм при 60 с и Ra 0,08 мкм при 420 с. Оптимальное значение продолжительности обработки составляет 240 с, при этом шероховатость достигает Ra 0,09 мкм, а съем 10 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОЛИРОВАНИЯ ТИТАНА И НИОБИЯ

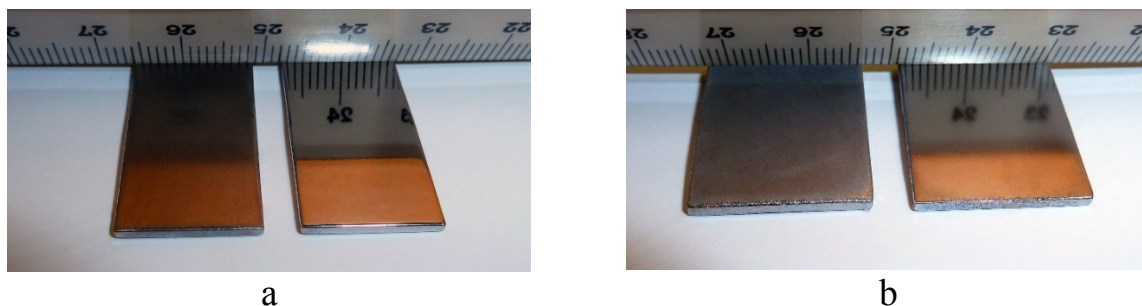
Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э.,
Нисс В.С., Будницкий А.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Традиционно электрохимическое полирование титановых и ниобиевых сплавов осуществляют в кислотных электролитах, состоящих из токсичной плавиковой (20–25 %), серной азотной и хлорной кислот. Недостатком таких растворов является их высокая агрессивность и токсичность. Предлагается использовать принципиально новые разработанные нами режимы электролитно-плазменной обработки с целью полирования изделий из титановых и ниобиевых сплавов с применением электролитов простого состава на основе водного раствора фторида аммония, обеспечивающие существенное повышение качества поверхности с высокой отражательной способностью.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния электрических режимов процесса электролитно-плазменного полирования титана и ниобия на качество поверхности. Исследования проводили на плоских образцах технически чистого титана ВТ1-0 с размерами 30x15x1,5 мм и технически чистого ниобия ВН с размерами 20x30x2 мм. Среднее значение шероховатости поверхности Ra исходных образцов из титана и ниобия составило 0,365 и 0,706 мкм соответственно.

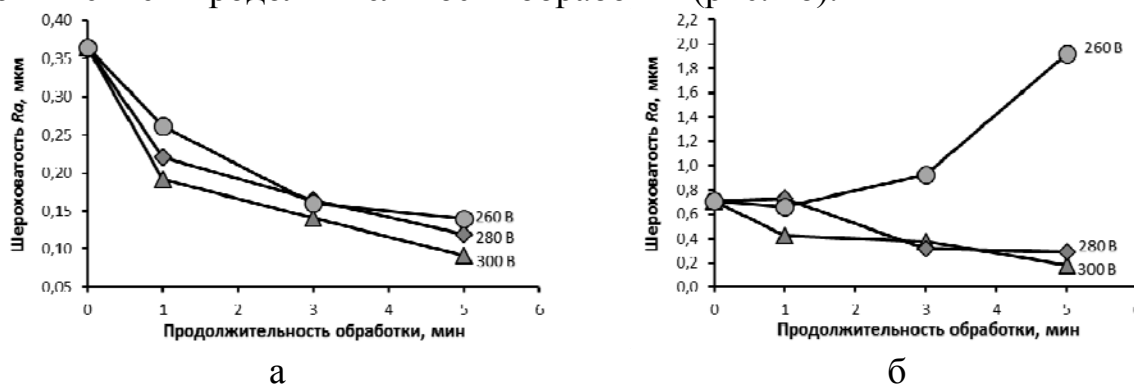
Обработку образцов выполняли в водном растворе фторида аммония (NH_4F) концентрацией 4 %. Значение рабочего напряжения изменялось в диапазоне от 260 до 300 В с шагом 10 В. При исследовании влияния плотности тока на качество поверхности его регулирование осуществлялось путём изменения температуры электролита в диапазоне от 75 до 95 °С. Фотографии образцов титана и ниобия до и после обработки представлены на рис. 1.



а – титан; б – ниобий

Рис. 1. Внешний вид образцов титана и ниобия до и после электролитно-плазменного полирования

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости, характеризующие динамику изменения шероховатости поверхности Ra при обработке образцов из титана и ниобия. Из полученных зависимостей следует, что с увеличением рабочего напряжения в исследуемом диапазоне (от 260 до 300 В) обеспечивается снижение достигаемых значений параметра шероховатости поверхности Ra . При этом в результате обработки ниобия при значении напряжения 260 В вместо полирования происходит растравливание поверхности с увеличением шероховатости, а значение параметра шероховатости Ra интенсивно увеличивается с повышением продолжительности обработки (рис. 2б).



а – титан; б – ниобий

Рис. 2. Влияние продолжительности обработки на шероховатость поверхности образцов при различных значения напряжения

На рис. 3 представлены зависимости изменения шероховатости поверхности образцов титана и ниобия от плотности тока. В исследуемом диапазоне значений плотности тока (для титана – 0,18–0,45 A/cm^2 , для ниобия – 0,19–0,48 A/cm^2) экспериментально установленные значения величины изменения шероховатости поверхности ΔRa имеют существенный разброс как для образцов из титана, так и для образцов из ниобия. При этом наблюдается тенденция к незначительному росту величины изменения шероховатости поверхности с увеличением плотности тока. Значения ΔRa для ниобия существенно выше аналогичных значений для титана.

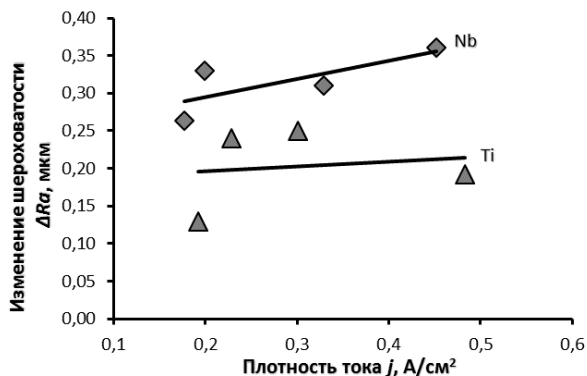


Рис. 3. Влияние плотности тока на изменение шероховатости поверхности титана и ниобия

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ВОЛОЧЕНИЕМ СТУПЕНЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ-ВОЛНОВОДОВ
ТРУБЧАТОГО ТИПА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕПРОХОДИМОСТИ
КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ**

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Минченя В.Т., Будницкий А.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В качестве альтернативы дорогостоящим и травматическим процедурам устранения непроходимости артерий нижних конечностей у больных с диабетом предложен новый метод разрушения внутрисосудистых образований. Метод основан на применении ультразвукового оборудования, основным компонентом которого является ступенчатый концентратор-волновод трубчатого типа, обеспечивающий возможность подачи жидкости в зону обработки через внутреннюю полость.

Диаметры ступеней разработанного трубчатого концентратора-волновода составляют – 1,5 мм, 1,3 мм и 1,0 мм. В качестве исходной заготовки для формообразования ступенчатого трубчатого элемента концентратора-волновода (рисунок 1) целесообразно использовать трубку диаметром 1,5 мм с толщиной стенки 0,25 мм из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. Анализ конструкции трубчатого элемента показывает, что наиболее приемлемым методом формирования требуемого количества ступеней на заготовке в виде трубки малого диаметра с толщиной стенки 0,25 мм является волочение. В случае, когда требуется только уменьшение диаметра трубки без изменения толщины стенки применяется безоправочное волочение. При безоправочном волочении вытяжка за один проход составляет 1,1–1,5 и ограничивается устойчивостью профиля или прочностью выходящей трубы.



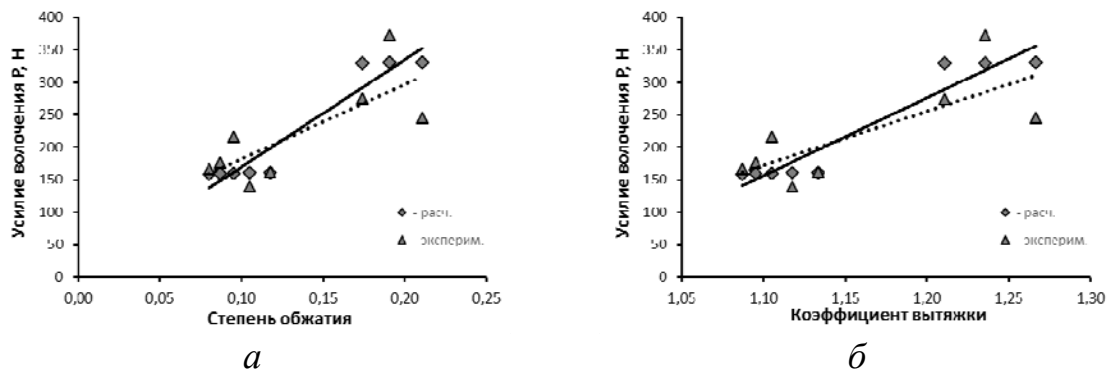
Рисунок 1 – Конструкция ступенчатого трубчатого элемента концентратора-волновода

Целью данной работы являлось исследование процесса формообразования ступенчатых поверхностей концентраторов-волноводов методом волочения.

В результате исследования режимов формообразования ступенчатых поверхностей трубчатого концентратора-волновода устанавливались зависимости режимов волочения образцов на изменение усилия волочения и микротвердость материала. В соответствии с разработанным маршрутом выполнялось волочение пяти экспериментальных образцов. Кроме того,

дополнительно выполнялось волочение образцов с единичными обжатиями, значительно превышающими рекомендованные значения: 1,4–1,2 мм, 1,3–1,1 мм, 1,2–1,0 мм. Каждый образец предварительно отжигался при температуре 1100°C.

Зависимости, характеризующие влияние расчетных и экспериментальных значений усилия волочения от характеристик деформации, представлены на рисунке 2. С повышением степени деформации и коэффициента обжатия происходит постепенное повышение усилия волочения. При увеличении степени обжатия с 0,08 до 0,21 усилие волочения увеличивается в 1,5 раза. Полученные экспериментальные значения усилия волочения хорошо согласуются с расчетными.



а – от степени обжатия; б – от коэффициента вытяжки
 Рисунок 2 – Влияние усилия волочения от степени обжатия и коэффициента вытяжки

Повышение степени обжатия приводит к существенному повышению микротвердости и, соответственно, прочности материала (рисунок 3). При степени деформации 0,08 микротвердость исследуемого материала повышается на 25 % относительно исходного отожженного состояния, а при степени деформации 0,21 – на 44 %. Таким образом, для достижения высоких прочностных характеристик материала целесообразно выполнять обработку с высокой степенью деформации, однако при этом необходимо учитывать, что прикладываемое для волочения усилие не должно вызывать появления напряжений, превышающих предел текучести.

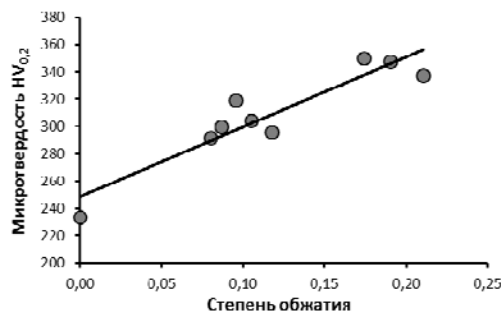


Рисунок 3 – Влияние степени обжатия на микротвердость образцов полученных волочением

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК И СОСУДОВ ПО БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ

Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю. Капуза М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Широко распространенными типовыми элементами теплообменных аппаратов являются оболочки вращения и сосуды. Если толщина стенки в 5-10 раз меньше, чем ширина профиля или отношение толщины стенки к наименьшему диаметру кривизны срединной поверхности меньше $1/20$, то такую оболочку относят к тонкостенной конструкции. Оболочка вращения, на которую действует нагрузка симметричная относительно оси вращения, называется осесимметричной.

Распространенной теорией, на которой основывается методика расчета оболочек, является безмоментная теория, согласно которой считают, что в поперечных сечениях оболочки изгибающие и крутящие моменты, а также поперечные силы равны нулю; нормальные напряжения по толщине стенки распределены равномерно, т. е. изгиб оболочки отсутствует.

Кривизна в любой точке оболочки характеризуется радиусом ρ_m - радиус кривизны меридионального сечения и радиусом ρ_t - радиус кривизны нормального сечения перпендикулярного к меридиану. В следствие тонкостенности конструкции указанные радиусы принимаются относительно внутренней поверхности оболочки и называются главными радиусами поверхности вращения.

Пусть оболочка нагружена внутренним давлением p . Выделим двумя меридиональными и двумя коническими сечениями нормальными к дуге меридиана малый элемент (рисунок 1)

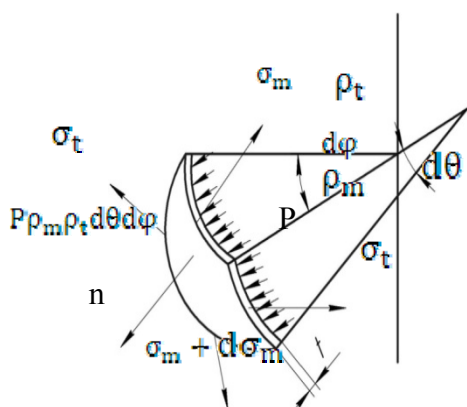


Рисунок 1
Нагрузка, действующая на выделенный элемент оболочки.

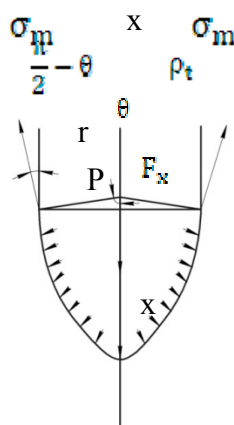


Рисунок 2
Отсеченная часть оболочки и действующая на нее нагрузка.

Из уравнения равновесия, составленного в виде суммы проекций сил на нормаль n к поверхности выделенного элемента

$$P \cdot \rho_m \cdot \rho_t d\theta d\varphi - \sigma_m t \rho_t d\varphi \sin \frac{d\theta}{2} - (\sigma_m + d\sigma_m) t \rho_t d\varphi \sin \frac{d\theta}{2} - 2\sigma_t t \rho_m d\theta \sin \frac{d\varphi}{2} = 0, \quad (1)$$

после простых преобразований получим уравнение Лапласа[1] для определения напряжений σ_m и σ_t

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{P}{t}, \quad (2)$$

Напряжение σ_m определяется из условия равновесия части оболочки, отсеченной коническим нормальным сечением, рисунок 2,

$2\pi r t \sigma_m \sin \theta = F_x$, где F_x - осевая равнодействующая внешних сил, равная произведению внутреннего давления P на площадь круга, расположенного нормально к оси $x-x$.

Из уравнения равновесия имеем

$$\sigma_m = \frac{F_x}{2\pi r t \sin \theta}, \quad (3)$$

В качестве практического применения теории приведем решение конкретной задачи. Расчет корпуса теплообменного аппарата и трубок выполним используя теорию тонкостенных труб.

Пусть внешний корпус теплообменного аппарата представляет замкнутый тонкостенный цилиндр диаметром d , находящийся под внутренним давлением $p=10$ ат, материал 08X18H10T; $[\sigma]=600$ МПа,

$$[\sigma]_T = 250 \text{ МПа.}$$

Выполним расчет, выполняется ли условие прочности для:

1) $d=80$ мм, $t=1$ мм; 2) $d=100$ мм, $t=1,2$ мм; 3) $d=125$ мм, $t=1,5$ мм ?

В данном случае $\rho_m = \infty$; $\rho_t = \frac{d}{2}$.

Из (2) имеем $\sigma_{t1} = p\rho_t/t = 40$ МПа, $\sigma_{t2} = \sigma_{t3} = 41,7$ МПа.

По формуле (3) получим $\sigma_{m1} = \frac{pd}{4t} = 20$ МПа, $\sigma_{m2} = \sigma_{m3} = 20$ МПа.

Рассчитаем эквивалентные напряжения по энергетической теории

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma]_T$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{40^2 + 20^2 - 40 \cdot 20} = 34,6 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{41,7^2 + 20,8^2 - 41,7 \cdot 20,8} = 36,1 \text{ МПа.}$$

Коэффициент безопасности по текучести

$$n_T = \frac{250}{36,1} = 6,9.$$

Таким образом, прочность оболочки обеспечена.

1. Подскребко М.Д. Сопrotивление материалов. – Минск: Выш. шк., 2009. – 688 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТНЫХ ПОЛУШПАЛ

Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю., Вилуха П.М., Капуза М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Термопласткомпозиционные полушпалы были разработаны ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований-Сосны» НАН Беларуси совместно с КУП «Минский метрополитен» в рамках программы ГНТП «Ресурсосбережение-2010». Шпала термопласткомпозиционная изготовлена полностью из отходов термопласта и песка, имеет срок службы более 50 лет, т.е. в 2-3 раза больше, чем деревянная. Термопласткомпозит обладает такими свойствами как водонепроницаемость, кислото-и щелочестойкостью и диэлектричен. При этом сокращается материалоемкость, трудоемкость и стоимость работ по устройству верхнего строения пути без изменения существующей технологии производства работ по его сооружению. Снижаются затраты на текущее содержание пути.

НИР посвящена исследованию виброизолирующих свойств пути на термопласткомпозиционных полушпалах при движении подвижного состава метрополитена и сравнению полученных уровней виброускорения с аналогичными уровнями, полученными при движении метропоездов по типовому пути на деревянных полушпалах.

Исследование уровней вибрации на лотковой плите тоннеля было выполнено на станции Первомайская по второму главному пути второй линии Минского метрополитена при движении подвижного состава в штатном режиме. Особенность исследуемого станционного пути заключалась в том, что в начале станции были уложены термопласткомпозиционные полушпалы. Протяженность этого участка составляет около 1/3 длины станции; далее до ее конца были уложены деревянные полушпалы. При въезде на станцию скорость первого вагона подвижного состава составляла 40 км/ч. С такой же скоростью двигался последний вагон состава при выезде со станции.

С целью измерения уровней вибрации при одной скорости движения первого и последнего вагонов подвижного состава датчики виброускорения были установлены на одинаковом расстоянии от начала и от конца станции. Располагались датчики на бетонной поверхности посередине между полушпалами справа от рельса. Датчики жестко были прикреплены к бетону. Рядом с датчиками на стене под станционной платформой были закреплены регистрирующие вибрацию виброметры, которые автоматически записывали вибросигналы на обоих участках. В каждом измерительном сечении одновременно регистрировались уровни трех взаимно перпендикулярных составляющих виброускорения (в

децибелах): Z (канал 3) – вертикальная составляющая виброускорения; X (канал 1) и Y (канал 2) – горизонтальные составляющие, перпендикулярные Z. Горизонтальная ось X направлена вдоль пути. Виброметры поверены в установленном порядке. Используемая методика измерения уровней вибрации изложена в приложении к руководствам по эксплуатации “Методика выполнения измерений приборами серий ОКТАВА и ЭКОФИЗИКА”. Анализируя полученные экспериментальные данные можно сделать следующие выводы.

1. Полученные уровни виброускорения (дБ) свидетельствует о том, что для определяющей вертикальной составляющей Z виброускорения (дБ) в главных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 Гц и 63 Гц, в которых необходимо в первую очередь гасить передающуюся в грунтовое около тоннельное пространство вибрацию, уровни вибрации одинаковы как на участке с деревянными полушпалами, так и на участке с терпlostкомполитными полушпалами. Отметим, что плотность материала термопласткомполитных полушпал несколько больше плотности дерева. Однако благодаря структуре материала термопласткомполитных полушпал объясняется эффект их виброгашения, который сравним с гашением вибрации деревянными шпалами.

2. В количественном выражении уровни виброускорения на участке верхнего строения пути с деревянными полушпалами и с термопласткомполитными опорами в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц равны соответственно 85 дБ и 93 дБ.

Для более низких октавных частот (меньше среднегеометрической частоты 31,5 Гц) для всех трех составляющих X, Y, Z виброускорения уровни вибрации меньше на участке с термопласткомполитными полушпалами по сравнению с типовым ВСП на деревянных шпалах.

Для составляющих X и Y виброускорения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц уровни вибрации соответственно равны 86 дБ и 83 дБ как для участка с деревянными полушпалами так и с терпlostкомполитными опорами. В октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц преобладающими уровнями виброускорения являются вибрации на участке с терпlostкомполитными полушпалами.

Приборы ЭКОФИЗИКА-110В реализуют прямые методы измерения вибрации с использованием вибропреобразователей различного типа. При использовании пьезоакселерометров виброускорение преобразуется в сигнал электрического напряжения и передается через блок согласования измерительного модуля 110В на аналого-цифровой преобразователь и сигнальный процессор, который осуществляет измерение данного сигнала и определение требуемых уровней вибрации согласно параметров калибровки измерительного канала. Опорный уровень виброускорения равен 10^{-6} м/с^2 . Уровни виброускорения измеряются в дБ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Анисимов В.С., Г.И. Гвоздь Г.И.,
Полоцкий государственный университет
г. Новополоцк, Республика Беларусь

Предложено расширить технологические возможности универсально-заточного станка модели 3М642 путем увеличения скорости вращения шпинделя с 6300 мин⁻¹ до 12000 мин⁻¹ и включения в электрические цепи датчиков обратной связи по скорости, программируемого логического контроллера, коммутационных устройств, датчиков скорости и панели оператора. Для получения скорости шпинделя не менее 12000 мин⁻¹ необходимо увеличить частоту напряжения питания с 50 Гц до частоты, найденной из соотношения $f_{пит} = 12000 / (6300 / 50)$ Гц, где 12000 мин⁻¹ - необходимая скорость вращения шпинделя, 6300 мин⁻¹ - номинальная скорость шпинделя при питании двигателя привода шпинделя напряжением промышленной частоты, 50 - частота напряжения питающей сети. При этом получено $f_{пит} = 95,23$ Гц.

Были выбраны частотные преобразователи фирмы Yaskawa серии V1000, так как у них имеется возможность ввода на аналоговый выход сигнала пропорционального потребляемому асинхронным двигателем, модель VZA21P58AA для управления двигателем шпинделя и модель VZA20P48AA для управления двигателем приспособления наружного круглого шлифования. Выбран программируемый логический контроллер Siemens SIMATIC S7-200 CPU24HP, который удовлетворяет предъявляемым требованиям: напряжение питания 24 В; 14 дискретных входов на 24 В; 10 дискретных выходов на 24 В/0,75 А; 2 аналоговых входа; 1 аналоговый выход; память программ 16 Кбайт; память данных 10 Кбайт; 2 PPI/ MPI/ свободно программируемых порта; подключение до 7 модулей расширения. В качестве устройства человеко-машинного интерфейса используется панель оператора OP27 фирмы Siemens.

На рисунке 1 показан универсально-заточный станок модели 3М642 с экспериментальным стендом. Элементы схемы экспериментального стенда смонтированы на передней панели несущей конструкции, предназначенной для сборки устройств.

С использованием экспериментального стенда были обработаны заготовки из стали 45 комбинированным способом, который основан на реализации трех движений – двух вращательных и одного поступательного [1]. Вращательное движение считается главным и сообщается инструменту, причем на разных этапах обработки возможно сочетание одновременно как трех, так и двух движений, что обеспечивает врезание инструмента в заготовку, выхаживание и выглаживание поверхности

детали при изменениях частоты вращения инструмента от 3000 до 12000 мин⁻¹ и заготовки – от 20 до 200 мин⁻¹.

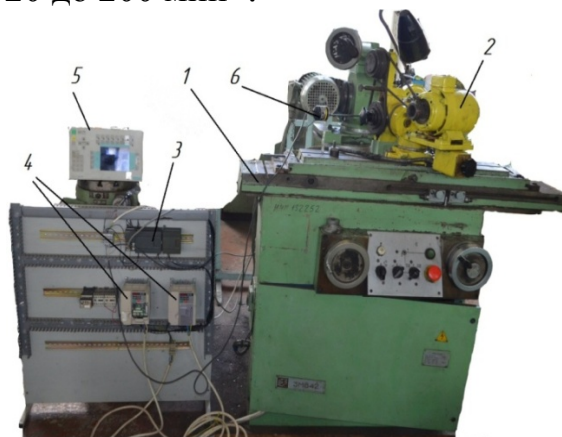


Рисунок 1. – Универсально-заточной станок модели 3М642 с экспериментальным стендом: 1 - станок модели 3М642; 2 - приспособление для наружного круглого шлифования 3Е642Е.П17; 3 – промышленный контроллер; 4 – частотные преобразователи; 5 – операторская панель; 6 – энкодер.

По результатам исследований были построены графики зависимости частоты вращения инструмента и заготовки, мощности резания от времени обработки (рисунок 2).

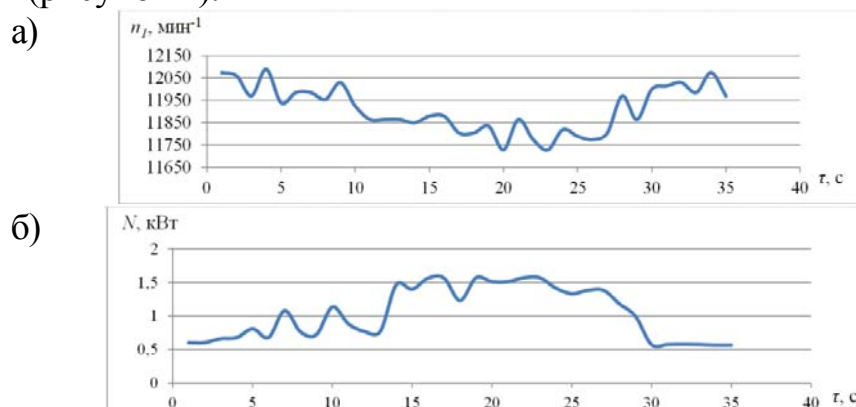


Рисунок 2. – Изменения фактической частоты вращения инструмента (а) и мощности, потребляемой двигателем главного движения (б) при комбинированной скоростной обработке неполной сферической поверхности детали диаметром 35 мм с $n_1=12000 \text{ мин}^{-1}$ $n_2=200 \text{ мин}^{-1}$

На основании полученных результатов исследований, можно сделать следующие выводы:

Проведенная модернизация универсально-заточного станка позволяет без сложных систем ЧПУ управлять в автоматизированном режиме частотой вращения приводов, а также измерять фактические значения скорости и мощности резания.

Скачкообразные изменения мощности в пределах 3–7% на этапах врезания и выхаживания инструмента соответствуют изменениям частот вращения инструмента и заготовки на рабочем ходу и связаны с изменением поперечной подачи инструмента от времени обработки.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРАМИ ИЗ ЦЕПИ АНОДА ЧЕРЕЗ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Здор Г.Н., Малявко О.И., Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Тиристоры как силовые переключатели и регуляторы теряют свою роль по мере совершенствования мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ) или Isolation gate bipolar transistor (IGBT). Но лучшие перегрузочные характеристики тиристоров гарантируют долгое их использование в мощных электроустановках.

Условия отпирания ряда силовых тиристоров жестко не привязаны к их параметрам, они стандартизованы и предполагают подачу между катодом и управляющим электродом (УЭ) напряжения не более 10В при токе менее 1А, что слабо зависит от типа тиристора, его нагрузки и, сильно – от длительности отпирющего импульса. Тиристор открывается и при меньших управляющих сигналах, но это может вызвать локальный перегрев кристалла и его выход из строя из-за неравномерного отпирания тиристора. То есть ток и напряжение спрямления должны иметь значения не менее заданных. Однако мощность управления (~10Вт) дополнительно нагревает кристалл, а расходуется она после отпирания бесполезно.

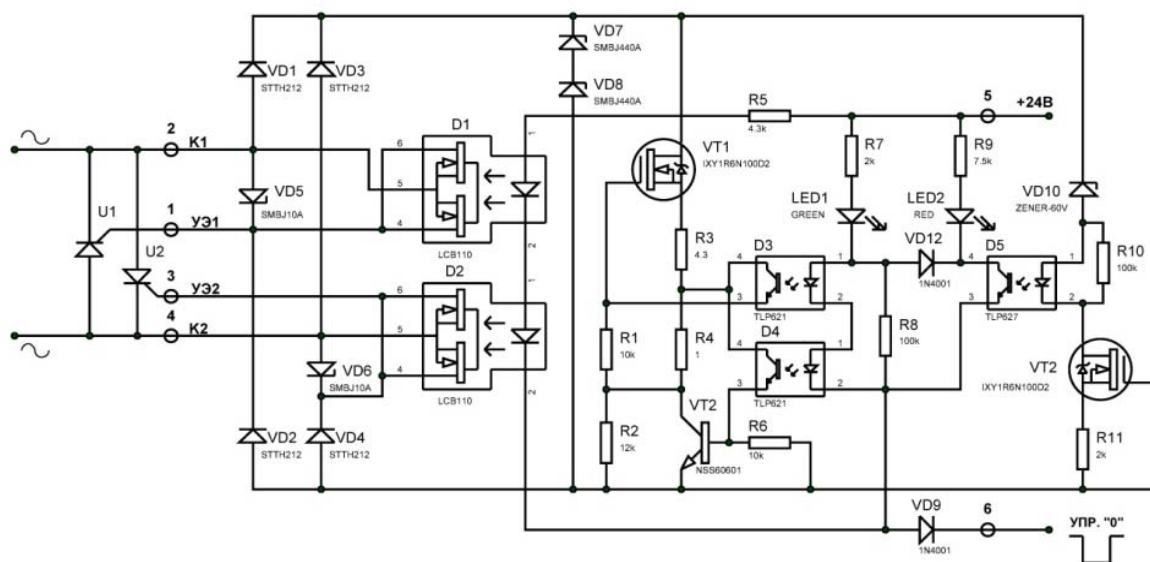


Рисунок 1. Принципиальная схема управления тиристорами

При анодном способе управления для отпирания тиристора устройство управления (УУ) подает часть его анодного напряжения на УЭ. После отпирания тиристора анодное напряжение падает, что прекращает сигнал управления и уменьшает рассеиваемую на управляющей цепи тиристора мощность. Но подача сигнала управления с

анода на УЭ через резистор задачу решает плохо: при малом напряжении анод-катод тиристор может не оторваться малым током управления, при большом – перегревается его управляющая цепь. Решением задачи может быть введение в цепь управления тиристором вместо резистора источника тока, выполненного на мощном полевом транзисторе со встроенным каналом (обедненного типа), рассчитанном на большие напряжения и токи. Это позволяет надежно отпирать мощные тиристоры, не перегружая их управляющие цепи. Кроме того, оптроны с полевыми транзисторами обедненного и обогащенного типа дают возможность реализовать УУ с защитой от случайного включения тиристоров сигналами импульсных наводок и помех путем шунтирования и даже замыкания УЭ и катода.

Схема управления тиристорами показана на рис.1. Она содержит управляемые тиристоры U1 и U2, устройство блокировки управляющих сигналов на оптронных полупроводниковых реле D1 и D2 с нормально-замкнутыми контактами, включенных параллельно защитным TVS-диодам на 10В (VD5 и VD6), выпрямительного моста VD1-VD4 с защитными диодами VD7-VD8 на 440В каждый, регулируемые источники тока: а) управления тиристорами на VT1 и б) блокировки управления на VT2, схему определения моментов отпирания тиристоров на D3 и D4, схему индикации состояния устройства на D5, LED1 и LED2. Устройство работает следующим образом. При отсутствии внешнего сигнала управления D1 и D2 замкнуты и блокируют сигналы управления тиристорами, а также сигналы помех. С приходом управляющего импульса (при закрытых U1 и U2) на их управляющие электроды через диодный мост и VD1 – VD4 поступает управляющий ток, заданный источником тока на VT1 со встроенным каналом, работающим в обедненном режиме. При этом величина тока может задаваться R3 и R4. После отпирания U1 или U2 $U_{вх}$ уменьшается до 2В, что недостаточно для поддержания VT1 в открытом состоянии. Транзисторы оптронов D3 и D4 открыты. Транзистор оптрона D5 закрыт. Зеленый LED1 горит, так как при $U_{вх}$ менее 60В (защита от помех определяемая VD10), источник тока на VT2 также будет закрыт. При $U_{вх}$ более 60В, что свидетельствует (при наличии управляющего сигнала) о неисправности U1, U2 либо схемы управления, VT2 отпирается. Он открывает транзистор оптрона D5 и блокирует работу оптронов D3 и D4, уменьшая ток управления через VT1 в сотни раз. При этом горит красный LED2.

Разработанная схема позволяет осуществлять управление тиристорами из анодной сети заданным током и прекращать подачу сигналов управления после отпирания тиристоров и в аварийной ситуации.

1. Здор Г.Н., Малявко О.И., Тимошевич В.Б. Управление тиристорами из цепи анода через источники тока. // 15-й МНТК «Наука – образованию, производству, экономике»: материалы конференции/ БНТУ – Минск, 2017. – Т.1. – С. 284.

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ (ИНДУСТРИЯ 4.0)

Фонов В.В., Кончевская О.Э.

ООО «СофтЛайнБел»

Минск, Республика Беларусь

Термин «Четвертая промышленная революция», или «Индустрия 4.0» впервые появился в 2011 году в ФРГ, как понятие, обозначающее явление перехода промышленного производства на новый уровень производительности. Это связано с широким внедрением цифровых технологий производства. Вследствие чего стало возможным гораздо более гибкое управление производством и значительное снижение издержек.

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) постепенно завоевывает мир. Так, например, в 2014 году в США создан некоммерческий консорциум Industrial Internet, которым руководят лидеры промышленности вроде GE, AT&T, IBM и Intel. Российская Федерация также движется в данном направлении. Мы наблюдаем появление и работу Агентства стратегических инициатив, Национальной технологической инициативы (НТИ), дорожных карт «Технет», «Автонет», «Аэронет» и др.

В этих условиях промышленным предприятиям Республики Беларусь очень важно стать полноценными участниками Индустрии 4.0. И здесь нет какого-то особого пути. Следует отметить, что многие технические средства для реализации описанных преобразований промышленного производства и социальных технологий уже в наличии.

Так на первом этапе следует внедрить на промышленных предприятиях такие программные комплексы и системы управления, как PLM (система управления жизненным циклом изделия, по сути, набор возможностей, которые позволяют предприятию эффективно обновлять свои продукты и услуги на протяжении полного бизнес-цикла), ERP (информационные управляющие системы, которые интегрируют и объединяют множество бизнес-процессов, связанных с операционными или производственными аспектами предприятия), MES (система, позволяющая контролировать процессы, материалы, трудовые ресурсы в реальном времени, решая задачи синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции).

Кроме того, принципиально важным является переход от «бумажной» технологии работы производства к повсеместному внедрению электронного макета изделия и организации конструкторской и технологической подготовки производства на основе его использования. Как показывает опыт, только это изменение вместе с внедрением PLM-

системы на производстве сокращает сроки разработки изделия и технологической подготовки производства примерно на 40 процентов. Также к преимуществам использования данной технологии следует отнести существенное сокращение сроков от разработки конструкции до выхода на рынок готового изделия, экономию за счет более эффективного управления ресурсами предприятия, экономию за счет повышения эффективности труда конструкторов и технологов, возможность более эффективного послепродажного обслуживания изделия.

Компания Siemens является одним из главных идеологов и проводников идей Четвертой промышленной революции, последовательно внедряя на своих предприятиях цифровые технологии производства и тем самым обеспечивая конкурентные преимущества своей продукции. ООО «СофтЛайнБел» официальный представитель компании Siemens PLM Software в Республике Беларусь ведет работу по продвижению на рынок Республики Беларусь программных средств автоматизации производства разработки Siemens PLM Software. ООО «СофтЛайнБел» может предложить белорусским промышленным предприятиям такие средства автоматизации производства, как NX CAD и SolidEdge (решения для разработки электронного макета изделия), NX CAM (система автоматизированной разработки управляющих программ для станков с ЧПУ), Teamcenter (решение для управления жизненным циклом изделия), Tecnomatix (решение для оптимизации производства), Simcenter (решение для проведения расчетов и инженерного анализа) и другие программные решения.

Результатом внедрения данных программных решений на промышленных предприятиях является:

1. Ускорение процесса проектирования, повышение качества.
2. Повышение производительности и эффективности труда специалистов.
3. Быстрый вывод новых изделий на рынок.
4. Ускорение темпов роста и сокращение затрат на всех этапах жизненного цикла изделий.
5. Быстрая окупаемость за счет снижения общей стоимости владения.
6. Возможность обеспечить лидирующее положение на рынке.

РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

Байрак С. А., Татур М. М., Лукашевич М. М

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

Система технического зрения – это программно-аппаратный комплекс, предназначенный для обработки видеоданных и принятия решений о характеристиках реальных объектов и сцен. В зависимости от области применения системы технического зрения, математическое обеспечение, алгоритмы, программное обеспечение и аппаратура значительно отличаются. В ряде случаев, когда необходимо обрабатывать большие объемы видеоданных в реальном времени универсальная (последовательная) архитектура вычислительного комплекса не в состоянии обеспечить необходимую производительность. В таких случаях прибегают к использованию либо универсальных параллельных вычислительных кластеров, что не всегда приемлемо по конструктивным и экономическим соображениям, либо созданию специализированных вычислительных комплексов с оригинальными параллельными архитектурами. Создание подобной архитектуры процессора и апробация в реальном технологическом процессе (выбранном в ходе работы) вынесено в цель проекта [1-3].

Структурная схема параллельного процессора обработки изображений представлена на рисунке 1.

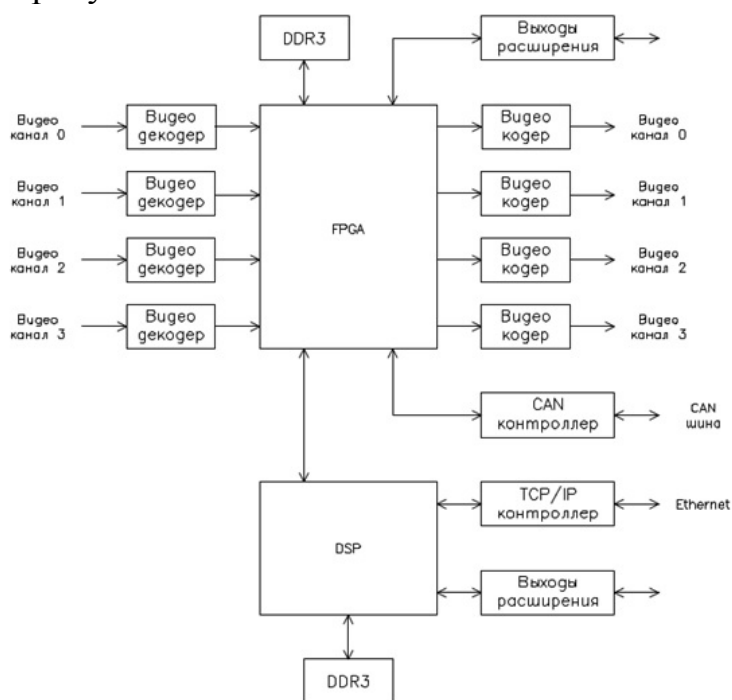


Рисунок 1 – Структурная схема параллельного процессора

Функциональная схема процессора представлена на рисунке 2. В качестве микросхемы FPGA используется микросхема Artix 7 компании Xilinx. А в качестве DSP процессора используется процессор TMS320C6678 компании Texas Instruments. Основная задача при проектировании процессора, включающего два разнотипных вычислительных ядра, является обеспечение их взаимодействия и возможности обмена большими объемами данных между ними. Для этого используются следующие интерфейсы: HyperLink, EMIF16, TSIP, SRIO, SGMII.

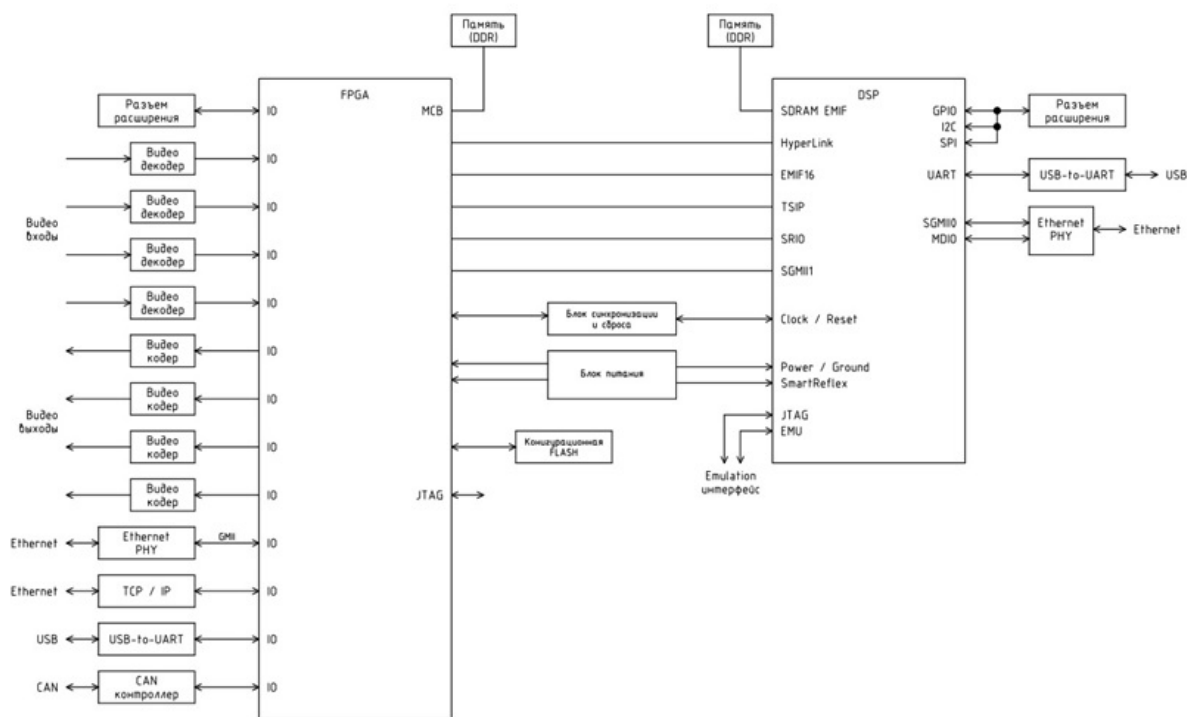


Рисунок 2 – Функциональная схема параллельного процессора

Таким образом, разработана архитектура параллельного процессора обработки изображений на базе двух вычислительных ядер: микросхемы FPGA, предназначенной для реализации параллельных алгоритмов обработки, и DSP процессора, предназначенного для реализации последовательных алгоритмов обработки.

1. Байрак, С.А., Одинец, Д.Н., Татур, М.М. Параллельный процессор идентификации образов. Минск // Технологии безопасности. –2012. – №1 (22). –С. 46–47.

2. Сейткулов, Е.Н., Боранбаев, С.Н., Отелбаев, М., Вереник, Н.Л., Гирель, А.И., Татур, М.М. Модель семантического процессора с параллельной архитектурой // Вестник КазНТУ им.К.И.Сатпаева, Алматы. –2013. –№4 (98). –С. 283-290.

3. Tatur, M. Problem-Oriented Processors for the Solving of Classification Tasks // Journal of Information, Control and Management Systems (Slovakia). – 2013. – Vol. 11. –No. 2. P. 155-164.

РАЗРАБОТКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

Дербан А.Н., Дербан Д.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современные предприятия и организации испытывают потребность в удобных способах разработки, поддержки и использования сложных программных продуктов и платформ в рамках распределенной корпоративной сетевой инфраструктуры. Развитое информационное пространство корпоративной сети обработки и передачи данных, как правило, представляет собой непростой симбиоз, как локальных вычислительных ресурсов, так и распределенных, в том числе облачных источников данных и сервисов. В рамках такой информационной среды крайне трудно обеспечить совместное функционирование и особенно разработку программных продуктов без унификации общих принципов их использования на основе специальных организационно-программных модулей – контейнеров.

Контейнер представляет собой автономный легковесный исполняемый архив с частями необходимого программного обеспечения, включающий в себя: исходные коды, модули и библиотеки, системные утилиты и необходимые настройки. Таким образом упакованное ПО может гарантировано надежно функционировать в рамках специальной оболочки как на платформе Windows так и в Unix (Linux) окружении. Весьма не маловажно, что контейнеры изолируют включенные в них продукты от реальной среды выполнения и как следствие снижают вероятность возникновения конфликтов между программными продуктами, работающими в одном окружении, но с разными задачами.

В отличие от известных средств виртуализации аппаратных средств (виртуальных машин) в задачу контейнеров входит эмуляция уровня операционной системы (ОС) и приложений, а не реального оборудования. Такой подход является более простым, эффективным и портируемым (переносимым). Несколько контейнеров могут функционировать в рамках одной ОС и разделять ресурсы реальных аппаратных средств (хост система) между собой и другими приложениями, запущенными в рамках изолированных процессов в пространстве определенных пользователей. Контейнеры существенно сокращают необходимые ресурсы файловой системы (десятки мегабайт) с точки зрения их автономного функционирования по сравнению с образами виртуальных машин, которым необходимо хранить образы файловых систем (десятки и более гигабайт), в рамках которых размещаются как ОС, так и необходимое ПО сервисы. Одним из ведущих решений в этой области является открытая платформа контейнеризации Docker.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА (BLOCKCHAIN) И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT)

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

1). Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

2). Иностранное производственное унитарное предприятие
«Дана Нетворкс»
Минск, Республика Беларусь

Технология хранения данных на основе распределенного реестра (blockchain) и технологии для реализации Интернет вещей (IoT) являются одними из самых популярных тематик в современном информационном пространстве. Решения на базе blockchain и IoT широко применяются, как в частных (личных), так и в крупных корпоративных сферах. Если IoT – это совокупность доступных программно-аппаратных платформ для автоматизации широко спектра задач, то blockchain – это принципиально новый подход в защищенном хранении и обработки децентрализованных распределенных данных. Обе рассматриваемых технологий используют сеть Интернет, как среду для организации взаимных коммуникаций и обмена данными со сторонними сервисами и приложениями.

Надо учитывать важную особенность функционирования рассматриваемых решений: данные передаются общедоступными сегментами сети, которые администрируются различными организациями-поставщиками коммуникационных услуг. Таким образом, последовательность неизменяемых записей в распределенную базу данных (blockchain), например, об оборудовании IoT, параметрах его функционирования, обработанной на его основе продукции, услугах или товарах, позволяет прозрачно и объективно контролировать как внутренние, так и внешние бизнес-процессы предприятия. Неавторизованный доступ к данным и сетевой инфраструктуре, утечка информации или неверная конфигурация аппаратных средств отслеживаются как записи, нарушающие целостность blockchain и могут автоматически отклоняться участниками системы. Учитывая прозрачность хранимых данных и запросов к blockchain, любой участник информационной среды может отследить всю историю сохраненных в нем событий и доступа к данным, которые не могут быть изменены без нарушения целостности самой технологии. Отдельно необходимо отметить возможность реализации «умных контрактов» (smart contract) на базе blockchain, которые представляют собой программные модули, автоматически обрабатывающие при наступлении определенных внешних и внутренних событий: факт оплаты, отгрузки продукции, отказов оборудования, наступления даты и времени, авторизованного входа и т.д.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ РОБОТОВ

Олефир Д.Г., Прокопович. Г.А.

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, лаборатория «Робототехнические системы», Минск, Беларусь

Введение. Каждый год все больше научных исследований посвящается робототехнике – науке, занимающейся разработкой автоматизированных технических систем. Групповая робототехника, как одно из направлений развития общей робототехники, занимается разработкой групп роботов различных типов, исследует вопросы группового взаимодействия и обеспечения принципов группового поведения. В свою очередь, группа роботов – общность роботов (юнитов), объединенная общей задачей, решение которой для отдельно взятого юнита не представляется возможным.

Это направление долгое время находилось на стадии проведения сугубо теоретических исследований с редкими попытками разработать функционирующий прототип группы. Но электроника и информатика не стоят на месте: рост вычислительных мощностей, уменьшение размеров и энергопотребления встраиваемых вычислительных систем, появление новых высокоуровневых языков и пакетов моделирования, позволяющих работать напрямую с аппаратным обеспечением робота, позволили исследователям начать разработку более совершенных групп для выполнения разных задач: от развлекательных мероприятий – синхронные роботанцы, робохоккей и футбол, до проведения ответственных спасательных и разведывательных операций.

Цель работы. Обзор тенденций развития групповой робототехники, анализ разработок в этой области, формализация знаний о групповых робототехнических комплексах (ГРТК) и разработка архитектуры мультиагентной системы управления (МАСУ) таким комплексом.

Аппаратная конфигурация системы управления. Предложенная в работе аппаратная конфигурация СУ обеспечивает возможность реализации как централизованного, так и децентрализованного подхода решения задачи группового управления.

Программная конфигурация системы управления. Предложенная в работе программная конфигурация СУ представляет собой набор реактивных и когнитивных программ-агентов, каждая из которых отвечает за определенную систему робота.

На рисунке 1 представлена обобщенная программная архитектура МАСУ ГРТК.

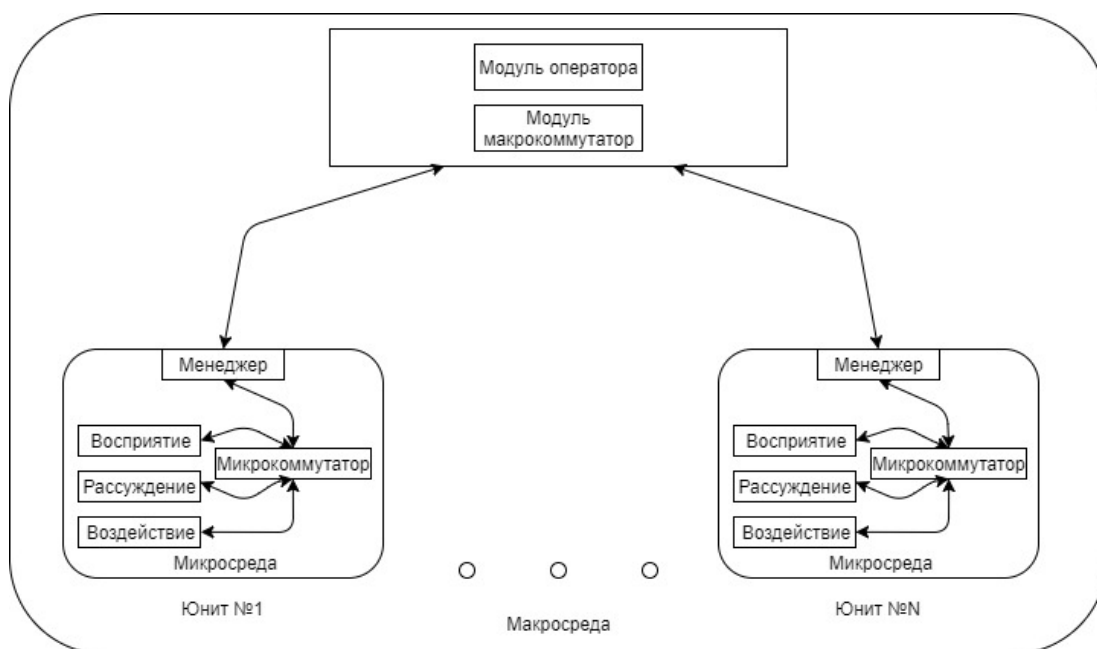


Рисунок 1 – Обобщенная программная архитектура МАСУ ГРТК

1. Адамацкий А.И., Холланд О. Роящийся интеллект: представления и алгоритмы// Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – №1. – С.45-53.

2. Прокопович, Г. А. Особенности масштабирования многоагентных систем на примере централизованного и децентрализованного алгоритмов управления группой малогабаритных мобильных роботов / Г. А. Прокопович // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – Том 14, №11. – С. 41-48.

3. Прокопович, Г.А. Многоагентные системы как парадигма коллективного управления группой роботов / Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв // Материалы Респ. науч.-метод. конф. молодых учёных / Брестский гос. ун-т им. А.С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2010. – С. 136-138.

4. Прокопович, Г.А. Моделирование коллективного поведения роботов для поисково-исследовательских задач / Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв // Экстремальная робототехника: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 18-20 мая 2010 г.. – СПб : Политехника-сервис, 2010. – С. 237-243.

5. Прокопович, Г.А. Исследование модели поведения стайного робота / Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв // Робототехника. Взгляд в будущее: материалы Междунар. семинара, Санкт-Петербург, 10-11 марта 2010 г. – СПб : Политехника-сервис, 2010. – С. 246-248.

6. Стефанюк В.Л. От многоагентных систем к коллективному поведению// Труды Международного семинара «Распределенный искусственный интеллект и многоагентные системы» (DAIMAS'97, Санкт-Петербург, Россия, 15-18 июня 1997). – С.327-338.

**НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ В ПРОЦЕССЕ
ВЫПОЛНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КОМАНД
МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНО
ОБОЗРИМОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧЕНИЯ С
ПОДКРЕПЛЕНИЕМ**

Розанов М.С., Прокопович Г.А.

Объединенный институт проблем информатики Национальной
академии наук Беларуси, лаборатория «Робототехнические системы»,
Минск, Беларусь

Введение. С развитием идеи интеллектуализации робототехнических платформ растет количество прикладных применений методов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ) в области робототехники к таким типовым задачам, как поиск пути на местности, долгосрочное или краткосрочное планирование, выполнение технологических операций и т.д. Среди всех областей ИИ в робототехнике особо выделяется обучение с подкреплением (reinforcement learning) вследствие наличия удобного фреймворка для описания множества “состояние-действия”, которым возможно представить практически любую задачу робототехники из-за высокого уровня дискретизации состояний робота и, соответственно, возможного множества действий, доступных роботу из данного состояния. Обучение с подкреплением позволяет реализовывать сценарии обучения мобильного робота в качестве агента, при этом фактические знания агента о внешней среде отсутствуют и должны приобретаться в процессе обучения посредством метода проб и ошибок (trial-and-error). При этом внешняя среда является частично обозримой, т.е. в каждый момент времени агенту доступно ограниченное количество информации об окружающем мире. Однако при этом агенту доступно некоторое ограниченное множество действий, которые ему позволено использовать в любой последовательности и в любой момент времени для достижения цели. С помощью специального набора правил обучения, агент в итоге строит оптимальную стратегию действий, именуемую также в теории обучения с подкреплением «политикой».

Следует отметить, что важной особенностью обучения агента является способ моделирования среды, с которой взаимодействует агент. Наиболее распространенной практикой является использование т.н. марковского процесса принятия решений (МППР), который, в данном случае, является частично обозримым МППР.

Цель работы: создание программной модели, способной продемонстрировать процесс обучения выполнению простейшей последовательности действий при отсутствии начальных знаний о внешней среде.

Описание программной части. Для моделирования агента используется виртуальная среда OpenAI Gym, предоставляющая достаточный набор инструментов для тестирования алгоритмов обучения с подкреплением, а также программный продукт под названием Gazebo, использующийся в робототехнике для моделирования физических процессов робота в ходе выполнения действий (симуляция работы сенсоров, симуляция движения, моделирование и расчет коллизий и т.д.).

Следует отметить, что, хотя наличие физического робота при тестировании на данном этапе не предусматривается, в Gazebo будет смоделирован мобильный робот, имеющий на борту несколько инфракрасных датчиков SHARP, одноплатный компьютер вместе с камерой для распознавания объектов, также в некоторых тестах используется манипулятор в качестве надстройки к основной базе.

Команды роботу подаются в консольном режиме, после чего идет их формализация и интерпретация относительно имеющегося множества действий робота. Вследствие того, что множество действий робота зачастую достаточно велико, обучение в реальном времени неприемлемо долгое. В связи с этим, определенные периоды обучения моделируются программно и среди всех листовых вершин дерева вероятных исходов для данной политики выбирается одно-два с наибольшими показателями награды.

1. Kober, Jens Reinforcement Learning in Robotics: A Survey / Jens Kober, J. Andrew Bagnell, Jan Peters // The International Journal of Robotics Research. — 2013. — №32. — P. 1-38.

2. Sutton, Richard S. Reinforcement Learning: An Introduction / Richard S. Sutton, Andrew G. Barto; . — London : MIT Press, 2018. — 444 p.

3. Leslie Pack Kaelbling, Michael L. Littman, Andrew W. Moore, Reinforcement Learning: A Survey, JAIR, 1996

4. Прокопович, Г.А. Адаптивная нейросетевая система управления автономным мобильным роботом на основе метода обучения с учителем в online режиме / Г.А. Прокопович // Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2015. -№1. — С. 117-122.

5. Sutton, Richard Between MDPs and Semi-MDPs: A Framework for Temporal Abstraction in Reinforcement Learning / Richard Sutton, Satinder Singh // Artificial Intelligence. — 1999.

6. Peters, Jan Natural Actor-Critic / Jan Peters, Sethu Vijayakumar, Stefan Schaal // ECML. — 2005.

7. Szepesvari, Csaba Algorithms for Reinforcement Learning of Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning series / Csaba Szepesvari: Morgan & Claypool Publishers, 2009. — 78 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ

Околов А. Р., Лукашик М. С.,

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Жители больших городов вынуждены задумываться о чистоте воздуха и создании комфортного климата в своей квартире. Это оправдано и логично, т.к. пассивной вытяжной системы в многоквартирном доме не хватает, чтобы справиться с грязным, городским воздухом. Если вы живете в центре города или рядом с автодорогой, то единственное решение, это установка системы приточно-вытяжной вентиляции или настенные проветриватели. С их помощью вы не только очистите воздух, но и создадите правильный микроклимат в помещении. Но в таком решении есть пару недостатков. Первое - это цена климат контроля. Второй недостаток - это размеры оборудования и шум от работы. Но все эти недостатки можно компенсировать. Комфорт в помещении - это чистый, увлажненный воздух в пределах нормы. Этого можно добиться системой фильтрации, рекуперации, увлажнением, нагревом или охлаждением. Все эти функции можно объединить в одну систему вентиляции или разделить на приточную вентиляцию и бытовые кондиционеры и увлажнители. Простой климат-контроль (поддержка заданной температуры) есть в современных сплит-системах. На пульте климат-системы выставляют температуру и кондиционер будет сам включаться и отключаться для поддержки температуры в заданных пределах. В более дорогих сплит-системах есть система очистки воздуха, увлажнитель воздуха и другие функции, но ценник на такую систему увеличивается в несколько раз.

Если говорить о воздухе, то контроль климата - это совокупность устройств, которые замеряют и поддерживают в установленных пределах параметры воздуха в помещении - это температура, влажность и химический состав. Зимой воздух надо увлажнять, т.к. сухой воздух человек переносит плохо, так же как и сильно увлажненный. Для управления климатом нужно контролировать все три параметра - температура, влажность и химический состав. Не менее важным условием для контроля климата, является движения воздушных масс, воздух должен обновляться. К системе контроля климата, чаще всего подключают еще и теплые полы.

Основные функции системы климат-контроля.

Перечень основных задач, которые способно разрешать данное устройство, будет выглядеть следующим образом:

- охлаждение и подогрев воздуха;
- равномерное распределение воздушных масс;
- осушение и увлажнение воздуха;

- фильтрация воздуха;
- мойка воздуха;
- ионизация.

Более подробно об этих функциях указано в таблице, расположенной ниже.

Функция	Особенности
Охлаждение и подогрев воздуха	Одна из основных функций, выполняемых системой. Устройство способно изменить температурные показатели в диапазоне от 18-ти до 30-ти градусов. Для этого используется дистанционный пульт управления. Температура измеряется на входе внутреннего блока.
Распределение воздушных масс	Воздух при охлаждении поднимается вверх вдоль потолка, заполняя таким образом всё помещение. А тёплые воздушные массы сначала опускаются вниз и потом устремляются к потолку. Регулировать поток воздуха можно при помощи вертикальных или горизонтальных жалюзи.
Осушение и увлажнение воздуха	Теплообменник системы разделён на две части. Верхняя из них отвечает за обогрев, а нижняя — за охлаждение. Устройство может работать в различных режимах.
Фильтрация воздуха	Процесс осуществляется при помощи светодиодного излучателя, который дополнен специальным воздушным фильтром, способным улавливать различные микробы и пыль. Он состоит из антибактериального, дезодорирующего и пылесборного слоёв.
Ионизация воздуха	Устройство оборудовано игольчатым ионизатором. Процесс обнаружения осуществляется при помощи датчиков, реагирующих на повышенное содержание метана.

1. Информационный портал о том, что лучше приобрести для дома, климат-контроль или кондиционер <http://delai-remont.com>
2. Информационный портал о климат-контроле для квартиры <http://ego.ideashunter.ru>

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Асинхронные двигатели (АД) составляют 90% всех электродвигателей и потребляют больше половины всей электроэнергии. Поэтому даже небольшое улучшение характеристик АД может дать значительный экономический эффект.

В ряде случаев выходное напряжение полупроводниковых преобразователей, питающих регулируемые АД, характеризуется наличием высших временных гармонических (ВВГ). Каждая ВВГ создает ряд высших пространственных гармонических (ВПГ). При учете совокупного влияния высших пространственно-временных гармоник (ВПВГ) должна обеспечиваться корректировка механических характеристик АД, уточнение энергетических и тепловых показателей в установившихся режимах работы.

Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол. Каждая обмотка питается от автономного инвертора напряжения (АИН), причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол. При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД [1].

При переходе от трехфазного к многофазным АД будет происходить снижение виброакустических показателей электромагнитной природы, причем разница между этими показателями для шести и двенадцатифазных АД не столь существенна. В многофазных АД наблюдается снижение пульсаций момента и скорости на валу двигателя, повышение надежности при уменьшенных уровнях шума и вибрации.

Потребляемый ток многофазных АД уменьшается пропорционально числу фаз по сравнению с током трехфазного АД. Дробление электрической мощности по фазам делает регулировочные характеристики АД менее критичными к асимметрии по амплитуде и фазе питающего напряжения, что с увеличением числа фаз m , в конечном итоге, упрощает систему управления и повышает надежность. Следует отдать предпочтение шестифазному АД, так как двенадцатифазный значительно дороже, тяжелее и объемней при практически равных энергетических показателях [2].

Шестифазные обмотки трехфазных АД являются объединением на общем магнитоприводе двух обмоток трехфазного питания. Рассмотрим

случай, когда одна из обмоток соединена «звездой», а другая обмотка – «треугольником». Эти обмотки должны быть смещены взаимно на $1/6$ полюсного деления, а питание их должно быть смещено на $1/12$ периода, причем фазные напряжения в обмотке, соединенной «треугольником», должны быть смещены по фазе в ту же сторону, в которую пространственно сдвинута обмотка «треугольника». Шестифазные обмотки имеют на 3,5 % больший обмоточный коэффициент по основной гармонике по сравнению с трёхфазными обмотками и абсолютное отсутствие в кривой МДС пятой и седьмой гармоник. Коэффициент полезного действия увеличивается на 30% [2], что приводит до повышения надежности работы асинхронных двигателей с шестифазными обмотками.

Асинхронные двигатели в составе регулируемых электроприводов работают преимущественно в неустановившихся режимах, связанных с пуском, торможением, переходом с одной скорости на другую, набросом нагрузки, реверсом и т.д. В некоторых случаях необходимо реверсировать двигатели, то есть иметь возможность изменять направление вращения ротора. В трёхфазных АД это достигается изменением чередования фаз статорных обмоток, для чего необходимо поменять местами два провода из трех, которые соединяют обмотку статора с сетью. Относительно АД с шестифазными обмотками вопрос реверсирования следует разглядеть особо, потому что, например, смещение фазных токов обмотки, включенной по схеме «треугольника» по фазе в противоположном направлении, в котором пространственно сдвинута обмотка треугольника, приведет к уменьшению обмоточного коэффициента по основной гармонике на 13,4% и возникновению в кривой МДС пятой и седьмой гармоник [3].

Одним из существенных преимуществ трехфазных АД с шестифазной обмоткой является возможность реверса простым способом: сменой порядка чередования фаз источника питания или изменением подключения двух фаз.

В случае трехфазного АД с шестифазной обмоткой возможность реверса обоснована теоретически и подтверждена практическими исследованиями[3].

Возможность осуществления реверса простым способом позволяет практически заменить все трехфазные обмотки в АД шестифазными.

1. Александров Н.А., Красавцев Ю.В. и др. Частотно-регулируемые электроприводы с многофазными асинхронными двигателями. - М.: Информэлектро, 1981г. – 39 с.

2. Лущик В.Д. Шестифазна обмотка асинхронних двигунів// Електротехніка і електромеханіка. – 2012, №2.

3. Лущик В.Д., Полезін С.Ю. Реверс трифазних асинхронних двигунів з шестифазними обмотками// Електротехніка і електромеханіка. – 2014, №2.

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В СОСТАВЕ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Одним из эффективных способов контроля и измерения токов утечки на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью является способ, основанный на анализе параметров сети в двух различных ее состояниях. В частности, изменение состояния нейтрали сети можно получить при помощи управляемого источника ЭДС подключенного между фазами сети и землей (рис 1).

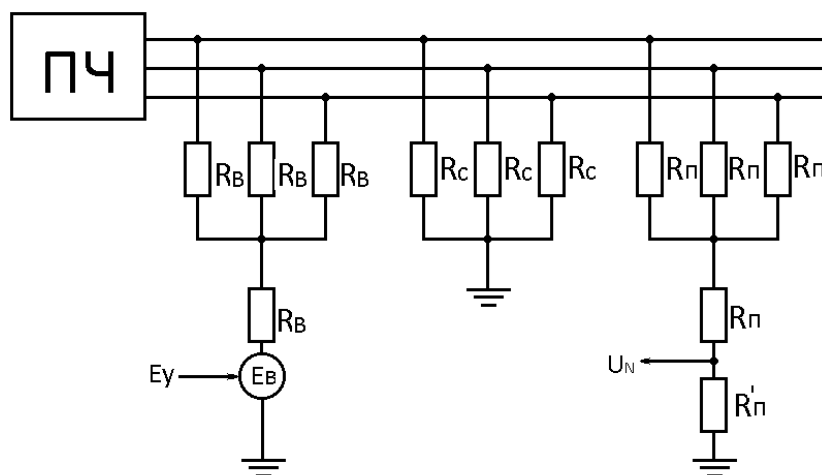


Рисунок 1- Способ изменения состояния нейтрали электрической сети: ПЧ – преобразователь частоты, Ев – ЭДС вспомогательного источника, Еу – сигнал управления источником Ев, R_B – сопротивление вспомогательного источника, R_C – сопротивление изоляции фаз сети относительно земли, R_P – резисторы присоединения, U_N – напряжение смещения нейтрали. При этом, напряжение смещения нейтрали можно выразить формулой:

$$\vec{U}_N = \frac{\vec{E}_B Y_B + \sum_{i=0}^n \vec{U}_i Y_i}{Y_B + Y}, \quad (1)$$

где Y_B – проводимость вспомогательной цепи, U_i – напряжение i -ой фазы относительно нейтрали; Y_i – проводимость i -ой фазы относительно земли; Y – общая проводимость токоведущих частей относительно земли.

Анализируя изменение напряжения смещения нейтрали при изменении величины ЭДС Ев, можно получить однозначную зависимость

$R_C = f(\Delta U_N)$, где ΔU_N – изменение напряжения нейтрали при изменении величины вспомогательного напряжения Ев.

Однако, на результат анализа существенно влияют помехи от рабочего напряжения преобразователя ПЧ. Установлено, что на точность измерения при наличии помех существенно влияет частота изменения вспомогательной ЭДС E_v . При моделировании комбинированной электрической сети в составе с преобразователем напряжения (рис. 2) получена зависимость абсолютной погрешности измерения сопротивления изоляции сети при синхронном изменении частоты E_v при изменении частоты рабочего напряжения ПЧ (рис. 3).

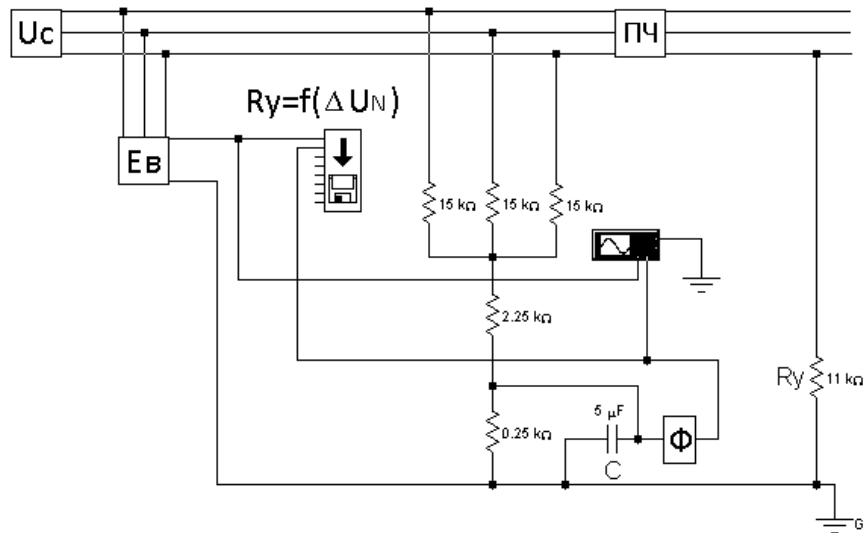


Рисунок 2 – Модель комбинированной сети: U_c – напряжение трехфазной сети 50 Гц, Φ – активный фильтр, R_y – однофазное сопротивление утечки на землю.

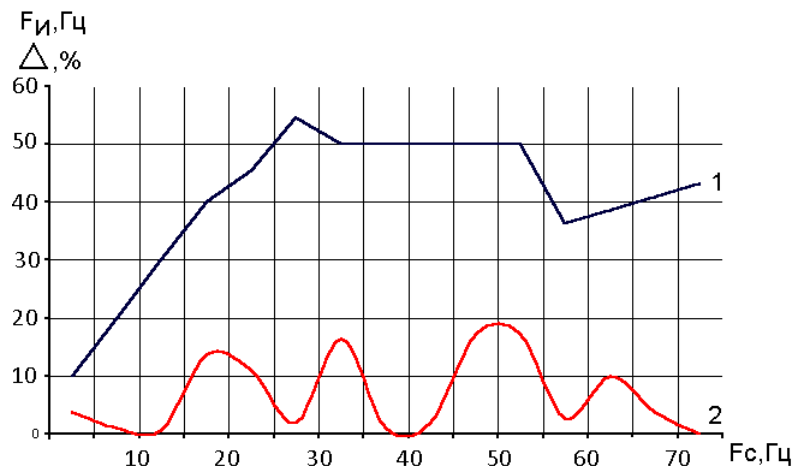


Рисунок 3 – Зависимость абсолютной погрешности измерения сопротивления утечки тока на землю (кривая 2) от частоты рабочего напряжения ПЧ F_c при синхронном изменении частоты источника вспомогательной ЭДС F_i (кривая 1).

Полученные зависимости можно использовать при проектировании систем защиты от токов утечки на землю в комбинированных электрических сетях с преобразователями частоты.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Белявин К.Е., Минько Д.В., Пономарев Т.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Электропластический эффект (ЭПЭ) возникает при обработке металлов давлением, связанной с пластической деформацией в условиях нахождения заготовки под механическими напряжениями выше предела текучести и действия импульсами тока непосредственно на зону деформации [1]. Частота импульсов тока должна составлять, как правило, (10^2-10^3) Гц для того, чтобы все участки быстро движущейся сквозь зону деформации заготовки успевали подвергаться действию тока. Как известно, влияние электрического поля на свойства металлов является поверхностным эффектом. Поэтому максимальное его проявление возможно на образцах с развитой по сравнению с объемом поверхностью, то есть на фольгах, «усах» и т.п. ЭПЭ во время обработки материалов давлением проявляется в снижении сопротивления металла деформированию на 25-30% (что регистрируется, в частности, по снижению потребления электроэнергии приводами станков во время лабораторных испытаний), увеличении его пластичности, включая остаточную, на десятки процентов, в улучшении структуры, текстуры и фазового состава материала [1].

Недостатком существующих технологий обработки металлов давлением являются также большие энергозатраты на осуществление обработки металла давлением в силу высокого сопротивления деформированию и на проведение промежуточных отжигов. Происходит также рост зерна и ухудшение эксплуатационных показателей получаемой продукции после горячей обработки материалов давлением. Указанные недостатки существующих способов обработки материалов давлением приводят к большим энергозатратам при осуществлении обработки, ухудшается качество получаемой продукции, быстрый износ инструмента, неблагоприятные экологические условия в цехах производства. Наконец, происходит удорожание получаемой продукции в силу больших энергозатрат на осуществление деформации и проведение операций промежуточных отжигов, а также преждевременного износа инструмента.

Целью работы является анализ перспектив применения ЭПЭ в процессах обработки металлов давлением.

Показано, что применение ЭПЭ в технологиях, связанных с пластической деформацией металлов, позволит устранить указанные недостатки существующих технологий обработки материалов давлением за счет повышения таких характеристик, как скорость деформации, предел

текучности, относительное удлинение (таблица)[2]. Наиболее просто и эффективно ЭПЭ проявляется при прокатке металла, штамповке, вытяжке тонколистового материала, а также при волочении проволок среднего и тонкого размера.

Таблица - Механические свойства стали 30 после использования ЭПЭ [2]

Материал	Сталь 30					
	0	+600	-600	0	+600	-600
Потенциал на образце U, в						
Скорость деформации $\dot{\varepsilon}$, с ⁻¹	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$
σ_T , МПа	112±6	127±6	132±6	120±7	133±7	152±7
$[\sigma_T^U / \sigma_T^0] \cdot 100\%$	100	113	118	100	111	126
σ_B , МПа	268±6	273±6	281±5	284±7	297±6	304±7
$[\sigma_B^U / \sigma_B^0] \cdot 100\%$	100	102	105	100	105	107
$\sigma_{разр}$, МПа	204±6	207±6	209±6	203±7	209±7	211±7
$[\sigma_p^U / \sigma_p^0] \cdot 100\%$	100	102	103	100	103	104
$\varepsilon_{разр}$, %	35,6±0,7	33,6±0,7	33,1±0,6	38,0±0,7	37,3±0,7	37,4±0,7
$[\varepsilon_p^U / \varepsilon_p^0] \cdot 100\%$	100	95	93	100	98	98

Упрочнение металлов в электростатическом поле связано с изменением свойств тонкого поверхностного слоя толщиной несколько сотен ангстрем.

На сегодняшний день технология электропластической деформации используется только в лабораторных условиях на металлических сплавах, на металлических порошках испытания никто не проводил. Для внедрения технологии электропластической деформации металлов в производство необходимо выполнить теоретический анализ, компьютерное моделирование процесса, лабораторные исследования.

Троицкий О.А., Розно А.Г. Электропластическая деформация металла. –Физика твердого тела, 1970. Том 12, вып. №1. –С.203-210.

Спицын В.И., Троицкий О.А. Электропластический эффект в металлах. –Вестник АН СССР, 1974. -№11. –С.10-14.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРУЕМОГО МЕХАТРОНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

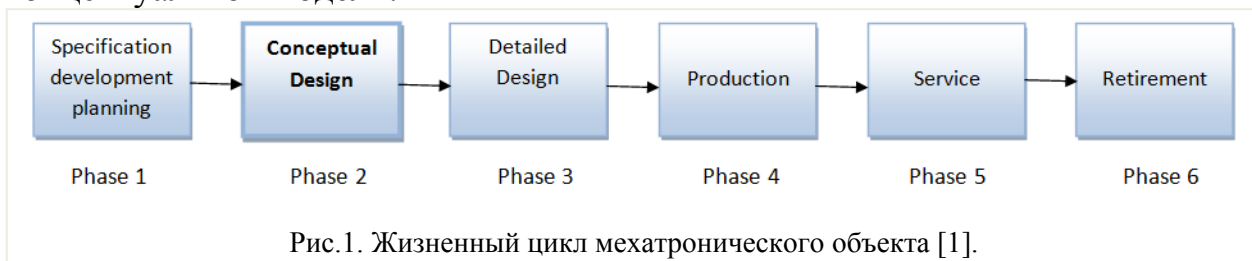
Метлюк К.Н.

Белостокский технический университет, Белосток, Польша

Создание концептуальной модели проектируемого мехатронического объекта является актуальной задачей для систем промышленного производства, которые обычно работают с современными системами САПР. В данной работе концептуальное проектирование понимается как процесс создания системной модели объекта, которая разрабатывается на ранней фазе его жизненного цикла и находится перед фазой детализированного проектирования [1], т. е. фазы создания конкретных математических моделей проектируемого объекта и реализации соответствующих расчётов (рис. 1).

Чтобы определить концептуальную модель мехатронической системы в системном базисе, необходимо описать: структуру системы; динамическое представление системы как единицы в её окружающей среде; окружающую среду, выполняемый ею процесс и взаимодействие между системой и средой; координатор системы и выполняемые им процессы координации (управления и проектирования); процессы, выполняемые подсистемами и общий процесс. Кроме того, концептуальная модель должна учитывать связанные описания подсистем мехатронического объекта разной природы, то есть механических, электромеханических, электронных и информационных подсистем.

Различные модели и методы математики и искусственного интеллекта не позволяют описывать мехатронические подсистемы с их взаимосвязями и характерными особенностями в общем формальном базисе, и в то же время описывать механизм межуровневой динамики подсистем проектируемого мехатронического объекта. Для решения проблемы, технология координации и символическая конструкция иерархических систем (ИС) [2-6] были выбраны в работе как информационный базис для создания концептуальной модели.



Согласно формальной модели ИС, мехатронический объект и его подсистемы описываются в агрегированной динамической форме $\bar{w}^{\ell-1}$ с помощью динамических систем $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ [7], где $\bar{\rho}^{\ell}$ и $\bar{\varphi}^{\ell}$ являются реакциями и функциями перехода состояния уровня λ соответственно. Структурная

модель включает в себя агрегированные динамические реализации элементов нижнего уровня $\bar{\omega}^{\ell-1}$ и их структурные связи ${}_{\sigma}U^{\ell}$: $\sigma^{\ell} = \{S_0^{\ell}, \{\bar{\omega}^{\ell-1}, {}_{\sigma}U^{\ell}\}\} = \{S_0^{\ell}, \tilde{\sigma}^{\ell}\}$.

Как структурные σ^{ℓ} , так и агрегированные динамические представления $\bar{\omega}^{\ell-1}$ связаны координатором S_0^{ℓ} ИС, который реализует межуровневые связи, выполняя задачи проектирования и управления на своих стратах отбора, обучения и самоорганизации. Численные и геометрические характеристики проектируемого объекта также представлены в формальном базисе ИС. Концептуальная модель САПР представлена моделью координатора S_0^{ℓ} [4-6].

По сравнению с традиционными методами математики и искусственного интеллекта, предлагаемая концептуальная модель содержит связанные формальные описания структуры координируемого (проектируемого и управляемого) объекта, его агрегированное динамическое представление как единицы в окружающей среде и модель среды. Все описания связаны координатором, который выполняет задачи проектирования и управления на своих стратах. Кроме того, связанные описания подсистем мехатронического объекта разной природы (механических, электрических и информационных) также представлены в формальном базисе предложенной концептуальной модели. Включение динамических систем в качестве элементов концептуальной модели позволяет легко перейти к следующей стадии детализированного проектирования жизненного цикла мехатронических объектов (рис. 1). Будучи обобщением известных математических моделей, таких как дифференциальные уравнения, автоматы и алгебраические системы [7], динамическая система $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ легко конкретизируется на стадии детализированного проектирования. Примеры конкретизации концептуальной модели для различных случаев проектирования мехатронических объектов представлены в [6]. Переходя к конкретной модели, представленной в виде уравнения в пространстве состояний, функция перехода состояний $\bar{\varphi}$ и реакция $\bar{\rho}$ концептуальной модели $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ преобразуются в уравнения состояния x и выхода y соответственно.

1. Ullman D.G. The mechanical design process, 4th ed., McGraw-Hill, 2010.
2. Mesarovic M.D., Macko D. and Takahara Y. Theory of hierarchical multilevel systems, Academic Press, New York, NY, 1970.
3. Novikava S., Mialtiuk K., Gancharova S., Kaliada W. Aed construction and technology in design, 7th IFAC LSS Symposium, London, 1995, pp. 379-381.
4. Mialtiuk K., Kim Y.H., Kim K., Siemieniako F. Use of hierarchical system technology in mechatronic design, Mechatronics, 20(2), 2010, pp. 335-339.
5. Miatliuk K. Conceptual model in the formal basis of hierarchical systems for mechatronic design, Cybernetics and Systems, Vol. 46(8), 2015, pp.666-680.
6. Miatliuk K. Conceptual design of mechatronic systems, WPB, 2017.
7. Mesarovic M., Takahara Y. Abstract systems theory, Springer, 1990.

СОЗДАНИЕ РОЕВОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО И БЕЗОПАСНОГО МАРШРУТА, И НАНЕСЕНИЯ ЕГО НА КАРТУ

Миронов Д.Н., Сидорук Д.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск

В настоящее время автономные наземные и летательные аппараты (роботы) широко используются для различных задач, которые традиционно решались с помощью человеческих ресурсов: разведки, построения карты местности, патрулирования, видео- и фотосъемки, доставки или переноса грузов, в том числе в сценариях, где работа человека может представлять опасность (шахты, спасательные операции т.д.). Для решения описанных выше задач роботы должны эффективно решать множество более простых подзадач: строить карту и определять собственное положение на территории, собирать и обрабатывать информацию с использованием технического зрения и эхолокации и выбирать маршруты, при движении по которым собирается необходимая в данный момент информация [1]. Ранее разработка этих алгоритмов осуществлялась для одного робота. В настоящее время становится популярным использование коллектива роботов для исследования территории, поскольку использование нескольких роботов позволяет повысить скорость исследования и увеличить территорию исследования [2]. Однако распределенное картирование, организация движения и другие задачи, возникающие при использовании нескольких роботов, исследованы заметно хуже, чем их аналоги для случая одного робота. Также для эффективного коллективного функционирования необходимо использовать алгоритмы, управляющие коллективным движением и регламентирующие обмен и обработку информации коллективом роботов.

Большинство существующих работ рассматривают задачу исследования статической территории – то есть территории, где ориентиры, используемые роботами для локализации, остаются актуальными в течение всего времени исследования [3]. В реальном мире в большинстве сценариев территория является динамической – то есть изменяется так, что за время картирования накапливаются изменения, которые должны учитываться роевой мехатронной системой.

Таким образом, задача построения моделей для исследования меняющейся местности коллективом роботов с

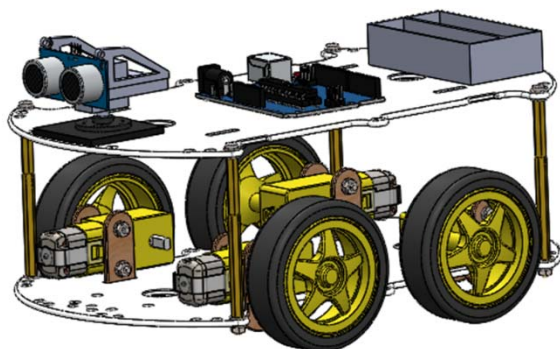


Рисунок 1 – Мехатронная особь

ограниченным объемом памяти является актуальной.

В настоящее время разработана особь роевой мехатронной системы (рис. 1), произведен расчет и определены предельно-допустимые нагрузки и деформации силового набора элементов (рис 2). Разработан алгоритм и код, с помощью которого мехатронная особь перемещаясь по пересеченной местности, поддерживая связь (строй) с другими мехатронными особями роя, обнаруживает препятствия, преодолевает их, наносит на карту местности (рис. 3) и сообщает данную информацию другим членам роя.

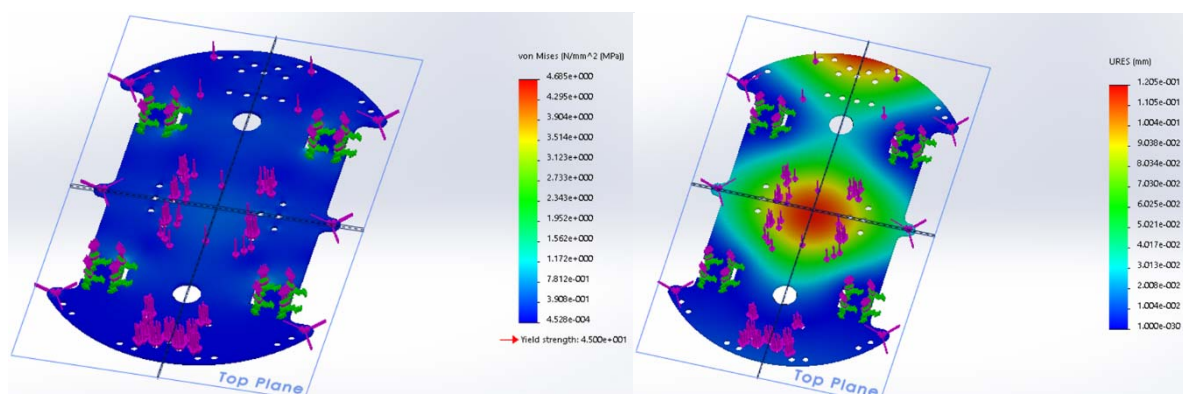
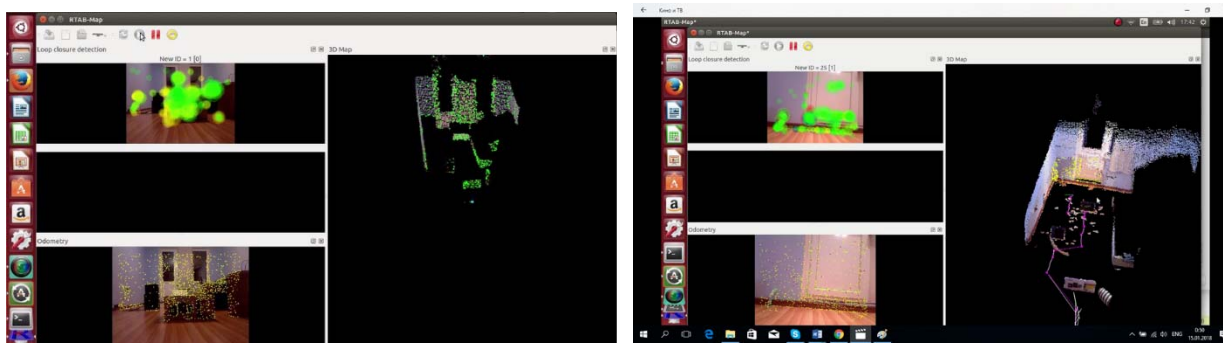


Рисунок 2 – Исследование напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженного элемента



Разработанная роевая мехатронная система позволяет в кратчайшие сроки создавать карты местности и создавать оптимальные маршруты движения. Установка на мехатронные устройства индукционных миноискателей позволит обнаруживать взрывоопасные предметы, наносить их на карту местности и вносить поправки в маршрут движения.

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного поведения в группах роботов. –М.: Физматлит, 2009. -280 с.
2. Rybski, P.E.; Burt, I.; Dahlin, T.; Gini, M.; Hougen, D.F.; Krantz, D.G.; Nageotte, F.; Papanikolopoulos, N.; Stoeter, S.A.; "System architecture for versatile autonomous and teleoperated control of multiple miniature robots" Dept. of Comput. Sci. & Eng., Minnesota Univ., Minneapolis, MN, USA, 2001, 2917 - 2922 vol.3 ISSN: 1050-4729 Print ISBN: 0-7803-6576-3.
3. Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное //Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011) - Орехово-Зуево, 2011.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛИКОНТАКТНЫХ НЕРАВНОЖЕСТКИХ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

Чухланцев Е.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в машиностроении, нефтегазовом машиностроении, пищевой и авиационной промышленности широкое применение получили механизмы перекоса различного принципа действия и их видового исполнения [4].

Особое место занимают устройства перекоса [5], относящиеся к нефтегазовой промышленности, установка которых в низ бурильной колонны обеспечивает направленное отклонение скважины, что в свою очередь предоставляет возможность создания не только наклонно – направленных или вертикальных, но и горизонтальных скважин. Основным отличием горизонтальной скважины от вертикальной или наклонно-направленной является не точечное, а линейное вскрытие залежи, что позволяет существенно увеличить охват залежи, резко повысить поверхность фильтрации, увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН), сократить влияние на окружающую среду, обеспечить значительный рост эффективности капитальных вложений [5].

Основой для создания подобных устройств перекоса могут являться термические неравножесткие поликонтактные соединения (ПКНС) с натягом [1].

В зависимости от требуемой степени точности позиционирования в пространстве ПКНС могут состоять из двух, трех и более контуров (рис. 1).

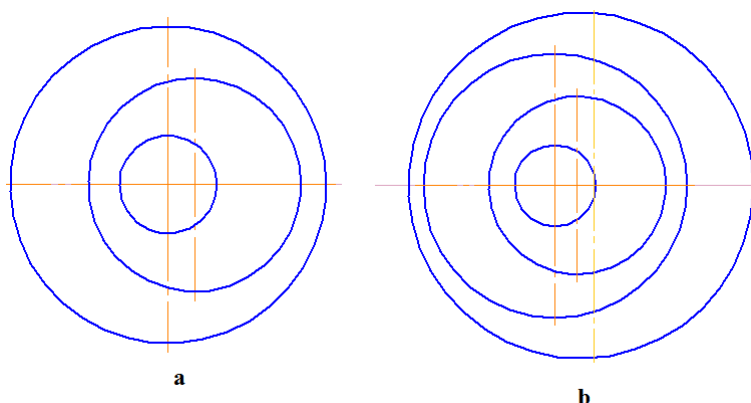


Рис. 1. ПКНС : а – двухконтурные; б – трехконтурные

Так же следует отметить, что термический способ сборки – разборки, позиционирования соединения влечет за собой определенные конструктивные особенности соединения – применение различных по

коэффициенту термического расширения материалов для изготовления составных частей ПКНС.

Проведенные исследования термических ПКНС с натягом доказали высокую эффективность использования подобных соединений в условиях работы, приближенных к критическим.

Однако, дальнейший анализ работы ПКНС показал, что при длительной интенсивной эксплуатации соединения в критических условиях работы может происходить пластическая деформация одной из рабочих контактных поверхностей, что, в свою очередь, сильно снижает нагрузочную способность соединения.

Проведенный анализ изложенной выше проблемы позволил сделать выводы о необходимости разработки новых подходов к восстановлению тепловых поликонтактных неравножестких соединений с натягом.

Перед началом восстановительных работ возникает необходимость в проведении качественного причинно – следственного анализа и выявления поврежденной рабочих поверхностей и самих составных частей ПКНС. Для этого на первом этапе восстановительных работ осуществляется разборка соединения термическим способом. На втором этапе производится оценка нагрузочной способности соединения методом конечных элементов (МКЭ) с учетом требуемых геометрических изменений посадочных поверхностей. В случае, если нагрузочная способность, определенная МКЭ ранее, удовлетворяет заявленным требованиям, происходит замена детали, испорченной пластической деформацией, на новую. Четвертый этап заключается в восстановлении остальных рабочих поверхностей соединения шлифованием. Последний этап заключается в термической сборке соединения с натягом.

Дальнейшие исследования восстановленного ПКНС с натягом позволяют сделать выводы о изменении величины нагрузочной способности соединения по сравнению с предыдущим (ПКНС до восстановления).

Определение нагрузочной способности ПКНС после восстановления производится в соответствии с заданным расчетным алгоритмом [3].

1. Патент № 111878 Управляемый механизм перекоса / Чухланцев Е.С., Щенятский А.В. (РФ) – 2011.
2. Чухланцев Е.С., Щенятский А.В. Анализ конструкций эксцентриковых механизмов и существующих методов расчета их нагрузочной способности. Интеллектуальные системы в производстве. Научно–практический журнал. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011 №2(18). – С. 188-193.
3. Чухланцев Е.С., Щенятский А.В. Исследование нагрузочной способности поликонтактного неравножесткого соединения с натягом численными методами. Интеллектуальные системы в производстве. Научно–практический журнал. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2013 №1(21). – С. 167-170.