

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

Материалы XI международной научно-практической конференции

(Минск, 5 апреля 2023 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2023»

Минск БНТУ 2023

Редакционная коллегия:

Околов А.Р. (главный редактор),
Дербан А.Н. (зам. гл. редактора),
Югова М.В. (ответственный секретарь),
Холод П.В., Заярный В.П.

Составитель:
Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы XI 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. SIMULATION OF CALCULATION OF MICRO HPP USING THE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RESERVOIR AND GENERATOR	
<i>Zayarny V.P.¹, Urishev O.M.²</i>	8
2. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ	
<i>Александровский С.В.</i>	10
3. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300 Т ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ	
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.², Ключников В.А.², Власов В.В.², Мезенцев А.М.²</i>	12
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ НА МЕЛКОВОДЬЕ	
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.², Ключников В.А.², Шаталов И.М.², Махнач Н.А.²</i>	14
5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ 3D-МОДЕЛЕЙ СОСТАВОВ СУДОВ С ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНОЙ	
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.², Ключников В.А.², Шаталов И.М.², Охремчик С.И.²</i>	16
6. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ БАРЖЕ-БУКСИРНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ	
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.², Ключников В.А.², Шаталов И.М.², Щербакова М.К.²</i>	18
7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ 3D-МОДЕЛЕЙ СОСТАВОВ СУДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РЕЖИМАХ ТОЛКАНИЯ И БУКСИРОВКИ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ	
<i>Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.², Ключников В.А.², Щербакова М.К.², Колпаков Р.М.²</i>	20
8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ AUTOCAD ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ	
<i>Бадак Б.А., Бобрович А.О.</i>	22
9. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРКОВСКОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ КОМПАС-3D	
<i>Бадак Б.А., Черняк В.И.</i>	24
10. WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ПЕРЕВОДА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ ДЛЯ ИНСТИТУТА КОНФУЦИЯ БНТУ	
<i>Белова С.В., Трубиш Е.А.</i>	26
11. ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ НА ДЕТАЛЯХ ХОДОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПУТЕВЫХ МАШИН ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ	
<i>Белоцерковский М.А., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.</i>	28
12. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ УЧРЕЖДЕНИЕМ ОБРАЗОВАНИЯ: ПРИЛОЖЕНИЕ «ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ»	
<i>Бобровко В.В., Сидорик В.В.</i>	30
13. ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД	
<i>Брель В.В.</i>	32
14. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-3D ПО УСТАНОВЛЕНИЮ НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ	
<i>Быков К. Ю., Качанов И. В., Ленкевич С. А., Шаталов И. М.</i>	33

15. ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА СРОК СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ	
<i>Васильев С. В.</i>	34
16. ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО РОБОТА	
<i>Вириич А. В., Жихович Н.Ф., Заярный В. П.</i>	36
17. ТЕХНОЛОГИЯ LORAWAN В УДАЛЁННОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ	
<i>Воюш Н.В., Чернявский Д.И.</i>	38
18. САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТИ	
<i>Герасимович Г.А., Буцанец С.А., Гутич И.И.</i>	40
19. ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.</i>	41
20. МУЛЬТИКОПТЕР ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ	
<i>Гу Пэнхао, Лобатый А.А.</i>	44
21. ВМ (ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ) - ОДНА ИЗ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Гутич И.И., Трофименко Е.Е.</i>	46
22. ЗАЩИЩЕННЫЙ ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Дербан А.Н., Дербан Д.Н.</i>	47
23. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ROBOT OPERATING SYSTEM 2	
<i>Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²</i>	48
24. ПРОМЫШЛЕННАЯ РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА	
<i>Довнар Л.А., Еска А.А.</i>	49
25. СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ КЛЮЧЕЙ KEYGUARD	
<i>Долматович А.С., Заярный В.П.</i>	51
26. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТОВ НА БАЗЕ ROS	
<i>Дубатовка В.В., Ярошевич Е.В.</i>	53
27. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТЕЙ ДИСЛОКАЦИЙ СПЕКТРАЛЬНЫМ ДИФРАКТОМЕТРОМ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Дубенец С. С.</i>	55
28. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРИТОВ	
<i>Дубинин С.В., Гайшун А.С.</i>	56
29. КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ ПРИ ЗАЩИТНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
<i>Дубинин С.В., Пуцыкович З.А.</i>	58
30. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ С ЧПУ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ВО ВНЕПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ	
<i>Заярный В.П., Семижон Е.Д.</i>	60
31. СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ ТИПА ROV (ТНПА)	
<i>Заярный В.П., Чернявский Ю.М.</i>	62
32. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОДОБЛАСТЕЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ЯЧЕЙСТЫХ СТРУКТУР В МОНОЛИТНЫЕ ДЕТАЛИ	
<i>Ковалева И.Л., Маканов Д.В., Полозков Ю.В.</i>	64

33. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	
<i>Кожевникова Г.В.¹, Щукин В.Я.², Дубенец С.С.¹</i>	66
34. АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА	
<i>Конопацкий Д.А.</i>	68
35. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА СЪЕМ МЕТАЛЛА	
<i>Королёв А.Ю., Нисс В.С., Парицто А.Э., Сорока Е.В.</i>	70
36. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	
<i>Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Иванов А.И.</i>	72
37. ФЕНОМЕН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ КАК ОСНОВА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.</i>	74
38. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ 300 МВТ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС	
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.</i>	79
39. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТИПОВЫХ И МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ВПРЫСКОВ КОТЛА ТГМП-114 ЭНЕРГОБЛОКА №2 ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС	
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воиш Н.В., Артёменко К.И.</i>	84
40. ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ НА СТРОИТЕЛЬНОМ 3D-ПРИНТЕРЕ	
<i>Лапко О.П., Ковалева И.Л.</i>	89
41. МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЛА КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА	
<i>Лившиц Ю.Е., Задорожная В.А.</i>	90
42. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
<i>Лобатый А.А.</i>	92
43. РАБОТА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ СПУФИНГА	
<i>Маркова И.С., Яцына Ю.Ф., Бедрюцкий А.С., Дадыкин Б.А.</i>	94
44. ЗАЩИТА ВЫХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В СХЕМУ УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ	
<i>Марукевич И.А., Околов А.Р.</i>	96
45. РОБОТИЗАЦИЯ СКЛАДСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ НА КОЛЕСАХ MECANUM	
<i>Матрунчик Ю.Н., Гармаза Д.И.</i>	99
46. РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Матрунчик Ю.Н., Пустошило А.В.</i>	101
47. РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА БЫСТРОСМЕННЫХ ЗАХВАТОВ И СБОРОЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ	
<i>Матрунчик Ю.Н., Шлейко Т.А.</i>	103
48. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСТОМ ПРИЕМКИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ	
<i>Матрунчик Ю.Н., Казимирчик В.В.</i>	105
49. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА LED ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	

<i>Мисякова В.А., Азаревич Э.А., Ковалева И.Л.</i>	107
50. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ УСИЛИЙ, ЗОН СКОЛЬЖЕНИЯ И СЦЕПЛЕНИЯ АВТОШИНЫ С ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ САПР ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ	
<i>Можаровский В.В.¹, Кузьменков Д.С.¹, Василевич Ю.В.²</i>	109
51. СЦЕНАРИЙ НА ЯЗЫКЕ IRONPYTHON ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО ТЕЛА	
<i>Напрасников В.В.¹, Полозков Ю.В.¹, Соловьев А.Н.², Скалух А.С.³</i>	111
52. ЗАДАНИЕ СЕЧЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УТОЧНЕННОЙ МОДЕЛИ КАБИНЫ ЛЕСОВОЗА	
<i>Напрасников В.В., Ван Цзы Жуй</i>	113
53. ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ТИТАНА НА СТРУКТУРУ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ	
<i>Нисс В.С., Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Парицито А.Э.</i>	114
54. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ МДО-ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ	
<i>Нисс В.С., Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Сенченко Г.М., Янович В.А.</i>	116
55. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЧАСТОТУ АВТОКОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
<i>Нитиевский С.А.</i>	118
56. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА	
<i>Околов А.Р., Груша Ю.А., Матрунчик Ю.Н.</i>	119
57. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЕРХНИХ УРОВНЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ	
<i>Околов А.Р., Матрунчик Ю.Н., Марченко И.С.</i>	121
58. ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКОМ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	
<i>Опейко О.Ф.</i>	123
59. ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ	
<i>Опейко О.Ф., Несенчук А.А.</i>	125
60. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ, КАК СРЕДСТВО ПЕРЕХОДА НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАСШТАБЫ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Охотенко А.В., Гутич И.И.</i>	127
61. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПСТМ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ	
<i>Парницкий А.М., Сенють В.Т.</i>	128
62. МЕХАНИЗМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ	
<i>Покровский А.И.</i>	130
63. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ПУНКТА РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО МИНСК	
<i>Почебут Д.А.</i>	132
64. МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕРВОПРИВОДА MG996R 8-БИТНЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ATTINY85	
<i>Руселевич Д.Д.¹, Дубатовка В.В.^{1,2}</i>	133
65. ПРИМЕНЕНИЕ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ	
<i>Савёлов П.И., Щавлев А.А.</i>	134
66. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	

<i>Савёлов П.И., Щавлев А.А., Невгень М.П.</i>	136
67. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ УЧРЕЖДЕНИЕМ ОБРАЗОВАНИЯ: ПРИЛОЖЕНИЕ «СТУДЕНЧЕСКОЕ ОБЩЕЖИТИЕ»	
<i>Савчик А.О., Сидорик В.В.</i> ¹	138
68. АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТИРОВАНИЯ БПЛА В ФОРМАТЕ 3D	
<i>Своекошин Д.М., Холод П.В.</i>	140
69. МАГНИТНЫЙ ПОДВОДНЫЙ РОБОТ ДЛЯ РЕМОНТА КОРПУСА КОРАБЛЯ	
<i>Семенчук Е.А., Заярный В.П.</i>	142
70. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА	
<i>Сидорик В.В.</i>	144
71. УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА С НЕСКОЛЬКИМИ ВОДОИСТОЧНИКАМИ	
<i>Синицын А.В., Лившиц Ю.Е.</i>	146
72. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПО СУХОМУ РУСЛУ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ	
<i>Стриганова М.Ю.</i> ¹ , <i>Дмитриченко А.С.</i> ² , <i>Шаталов И.М.</i> ³ , <i>Максимович А.В.</i> ³ , <i>Калиновский И.В.</i> ³	148
73. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВОДООТВЕДЕНИЯ	
<i>Стромский С.А. Лившиц Ю.Е.</i>	150
74. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОБСТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ	
<i>Тимошевич В.Б., Розов Д.В.</i>	152
75. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВОРОТНОГО УЧАСТКА ЗЕМСНАРЯДА	
<i>Хвилько К.В., Качанов И.В., Шаталов И.М., Щербакова М. К., Скачко А.А.</i>	153
76. МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ БПЛА	
<i>Холод П.В.</i>	156
77. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА СЛЕЖЕНИЯ БПЛА	
<i>Холод П.В.</i>	158
78. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВОДНОГО РОБОТА-ПЫЛЕСОСА DOLPHIN 2X2	
<i>Чехомов З.В. , Заярный В.П. , Нитиевский С.А.</i>	160
79. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ	
<i>Югова М.В., Матькова К.Ю.</i>	162
80. ОБЗОР МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	
<i>Ян Шисинь, Павлюковец С.А.</i>	163
81. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕВЕНТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	
<i>Янкевич Н.С.</i>	165

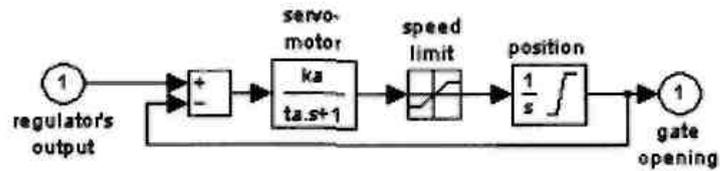


Figure 3. Servodivigatel models.

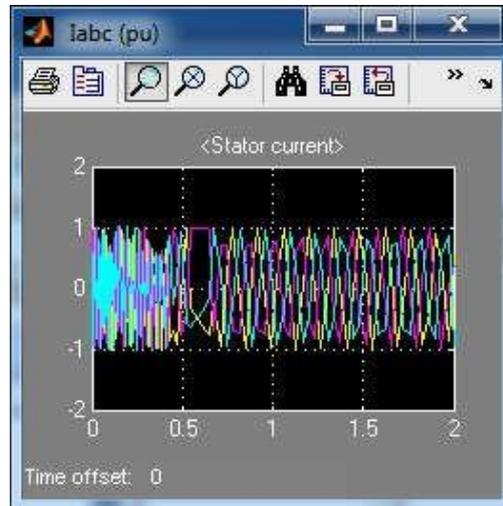


Figure 4. Phase currents of the generator

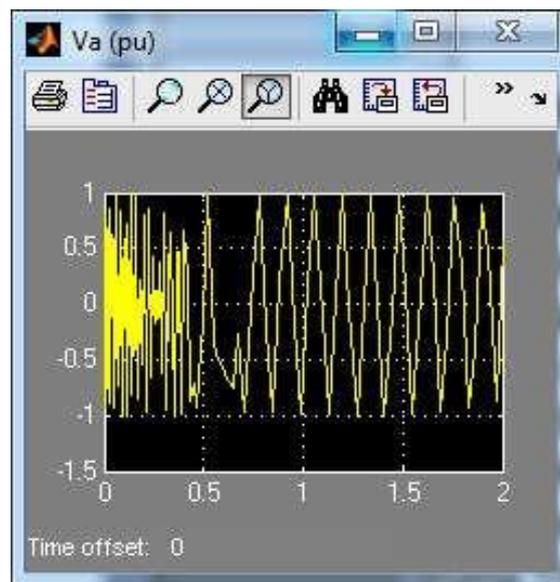


Figure 5 .The output voltage of the generator phase C in relative units.

The following basic energy parameters were obtained based on the results of software development of the calculated model of joint operation of micro-hydroelectric power station and water basin:

- rotor speed;
- generator excitation voltage;
- phase currents of the generator;
- output voltage of the generator phase in relative units.

The simulation results allow us to estimate the efficiency of micro hydroelectric power stations designed using hydropower.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Синхронные двигатели (СД) используются в различных промышленных установках. В большинстве случаев для регулирования скорости СД, где это требуется по технологическим причинам, используется зависимое задание частоты питающего двигателя напряжения – векторное управление (ВУ). В последнее время наметился определенный интерес к использованию частотно-регулируемых синхронных электроприводов (ЭП) с независимым заданием частоты питающего СД напряжения – скалярное частотное управление (СЧУ), т.к. такие ЭП проще по сравнению с ЭП с ВУ. В то же время по сравнению с асинхронными частотно-регулируемыми ЭП синхронные имеют меньшие потери мощности, жесткие механические характеристики без обратной связи по скорости, самый простой закон частотного управления: пропорциональный, который обеспечивает максимальный электромагнитный момент СД неизменным при всех частотах, благодаря постоянному магнитному потоку.

Поэтому представляет интерес сопоставить теоретические исследования [1] с экспериментальными результатами. Для осуществления экспериментальных исследований и анализа динамических режимов работы ЭП с СД при СЧУ необходимо разработать компьютерную имитационную модель. Для этого широко применяется программный пакет *MATLAB*. При создании модели использовались стандартные блоки библиотеки *Simulink* для управляющей части ЭП и блоки библиотеки *SimPowerSystem* для силовой части. Для исследования энергетических показателей модель дополнена блоком расчета потерь мощности в СД в переходных процессах и установившемся режиме работы. Общий вид имитационной модели ЭП с СД при СЧУ представлен на рисунке 1.

Разработанная модель позволяет получить переходные процессы электромагнитного момента, угловой скорости ротора и потерь мощности в СД при различных законах изменения частоты питающего двигателя напряжения. В результате расчетов получены графики переходных процессов пуска СД при СЧУ с постоянным магнитным потоком и в «асинхронном» режиме, когда цепь питания обмотки возбуждения СД отключена. Графики переходных процессов показаны на рисунке 2.

При некоторой схожести процессов можно отметить, что пуск СД в «асинхронном» режиме приводит к большим потерям мощности даже с учетом отсутствия потерь на возбуждение.

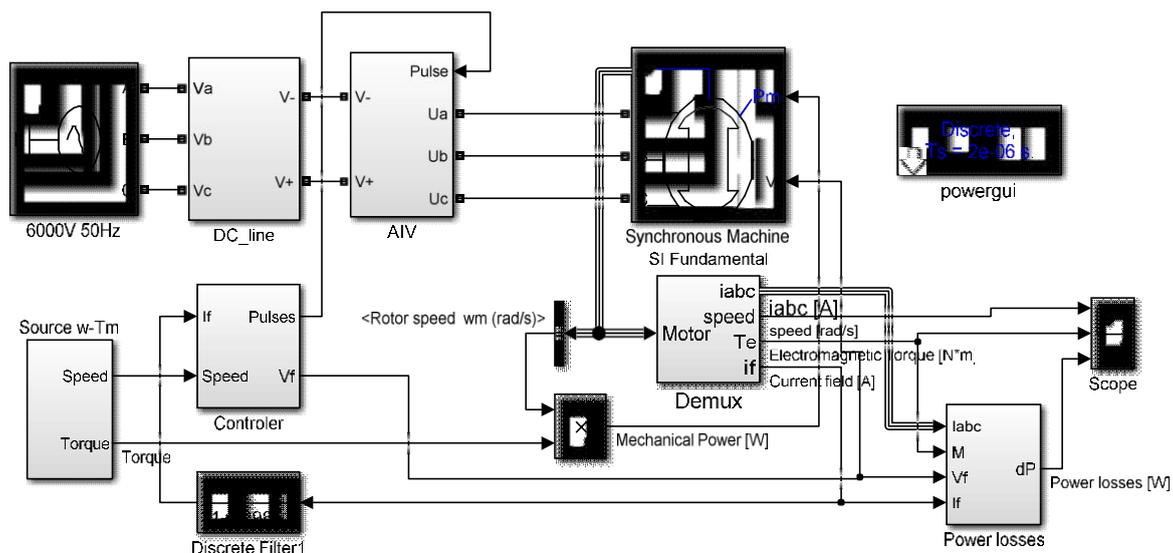


Рис. 1 – Имитационная модель электропривода с СД при СЧУ

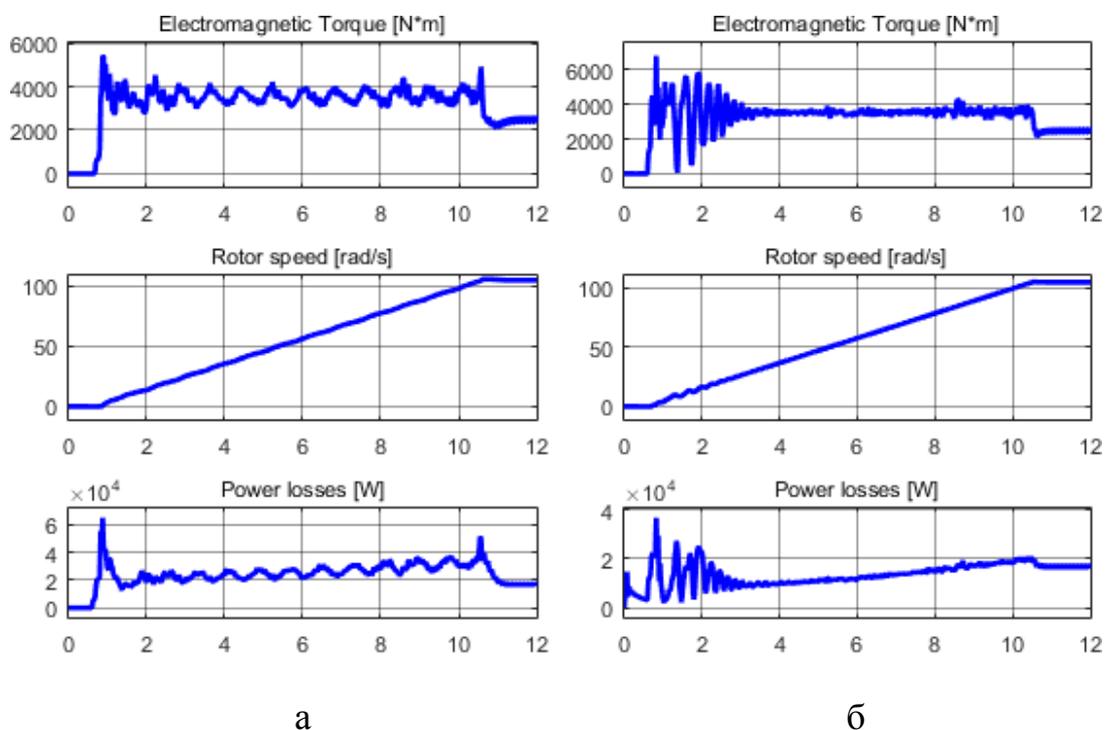


Рис. 2 – Переходные процессы момента, скорости и потерь в СД при СЧУ постоянном магнитном потоке (б), и «асинхронном» режиме (а)

1. Фираго, Б. И. Исследование переходных процессов в частотно-регулируемом синхронном электроприводе / Б. И. Фираго, С. В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2017. Т. 59, № 6. С. 507–518.

2. Фираго, Б. И. Энергетические показатели синхронного частотно-регулируемого электропривода / Б. И. Фираго, С. В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 4. С. 287–298.

**РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300 Т ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЮ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ**

**Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.²,
Ключников В.А.², Власов В.В.², Мезенцев А.М.²**

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

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

Ввиду ограниченной осадки речных судов и их составов внутреннего плавания они имеют относительно «плоские» очертания в сравнении с морскими судами, поэтому наибольшее отклонение основного потока воды на значительной части длины корпуса происходит в его оконечностях. Зато в средней части корпуса волновой профиль преимущественно располагается не по бортам, а по днищу судна, где наблюдается некоторый переход к двумерному обтеканию его поверхности.

Учитывая перечисленные выше факторы, разработка 3D-моделей несамостоятельной баржи грузоподъемностью 2300 т. осуществлялась путем разбивки корпуса баржи на три основных составляющих элемента: базовый носовой элемент, базовый кормовой элемент и цилиндрическую вставку. Соответственно к базовым основным элементам разрабатывались 3D-модели съемных носовых и кормовых частей.

Для определения гидродинамических характеристик были разработаны цифровые модели несамостоятельного судна (НС) исследуемой баржи грузоподъемностью 2300 т, которые в последствии были напечатаны на 3D-принтере. (Заказчик работы – ОАО «Белсудопроект»)

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Принимая во внимание габаритные ограничения лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей, равный 1:150. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе. Также, разработка 3D-моделей производилось с учетом правильной развесовки НС, чтобы обеспечить на спокойной воде посадку судна в грузу (в соответствии с масштабом) прямо и на ровный киль и исключить дифферент на его оконечности.

В результате были разработаны три «плоские» носовые части с различными углами наклона α носовой части к основной плоскости судна, а также одна ложкаобразная носовая часть и три кормовые части с различными углами наклона β кормовой части к основной плоскости судна

На рисунках 1–4 представлены 3D-модели носовых частей. На рисунках 5–7 представлены 3D-модели кормовых частей. На рисунке 8 представлен процесс сборки 3D-модели прототипа баржи

грузоподъемностью 2300 т. На рисунке 9 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовыми частями баржи.

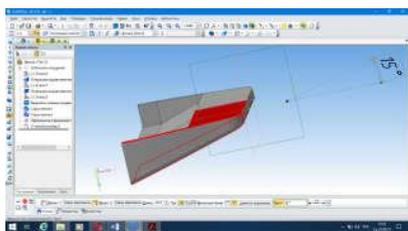


Рисунок 1 – Носовая часть с углом $\alpha = 15^{\circ}$ для модели прототипа №1

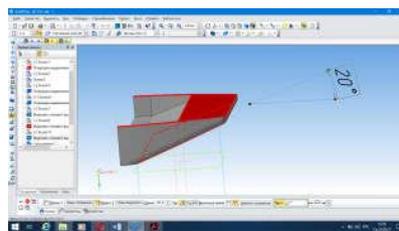


Рисунок 2 – Носовая часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ для модели прототипа №1

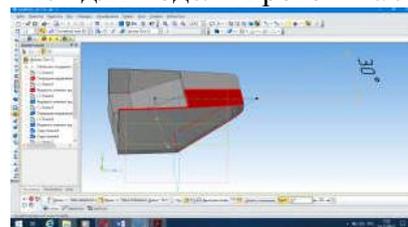


Рисунок 3 – Носовая часть с углом $\alpha = 30^{\circ}$ для модели прототипа №1

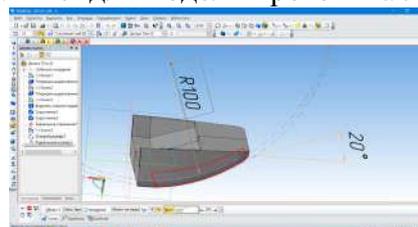


Рисунок 4 – Носовая ложкообразная часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ по хорде и криволинейной образующей $R = 100$ мм для модели НС

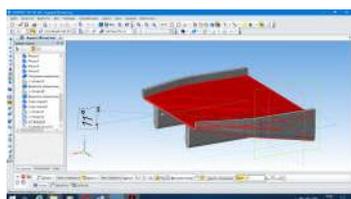


Рисунок 5 – Кормовая часть с углом $\beta = 11^{\circ}$ для модели НС

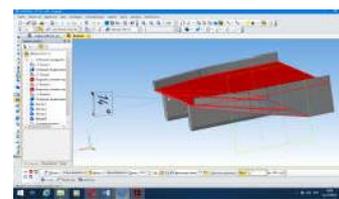


Рисунок 6 – Кормовая часть с углом $\beta = 14^{\circ}$ для модели НС

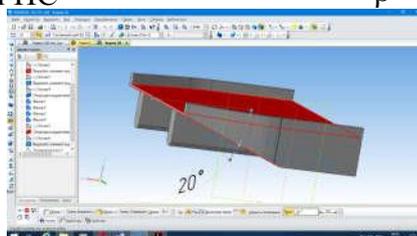


Рисунок 7 – Кормовая часть с углом $\beta = 20^{\circ}$ для модели НС

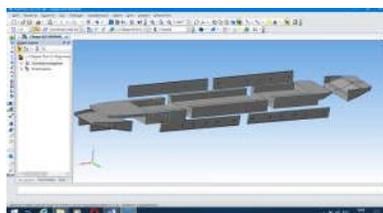


Рисунок 8 – Процесс сборки основных элементов, носовой и кормовой частей 3D-модели НС

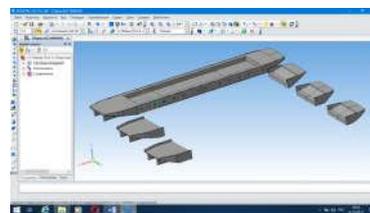


Рисунок 9 – Внешний вид 3D-модели в сборе и сменные части оконечностей (нос и корма)

Далее все изготовленные модели были подвергнуты гидродинамическим испытаниям для установления оптимальных параметров обводов проектируемой баржи.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ НА МЕЛКОВОДЬЕ

**Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.²,
Ключников В.А.², Шаталов И.М.², Махнач Н.А.²**

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

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

Речной транспорт является составной частью транспортной системы Республики Беларусь. Качество его работы оказывает влияние на состояние экономики страны и во многом определяется эффективностью организации перевозок грузов и организации работы флота.

Плавание на мелководье является одним из наиболее сложных условий, в которых оказывается судно или состав судов в процессе эксплуатации. И сложность ситуации заключается не только в том, что малый запас воды под килем в данных условиях представляет собой реальную навигационную опасность, но и в том, что поведение судна (состава) на мелководье существенно отличается от поведения на глубокой воде.

Еще более сложным управление судном или составом судов (барже-буксирного состава) становится при плавании на мелководье с ограниченной акваторией, где на поведение судна или состава судов (барже-буксирных составов) влияют как берега, так и другие суда.

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов и их составов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что в свою очередь тесно связано с оптимизацией конструктивных параметров корпуса морского или речного судна или состава судов.

К основным отличительным особенностям поведения судна (состава) на мелководье можно отнести ухудшение управляемости, увеличение тормозного пути, дополнительное проседание с изменением посадки и падение скорости при тех же энергетических затратах.

Таким образом, исследование возможностей повышения эффективности эксплуатации барже-буксирных составов является актуальной задачей, решение которой ведет к повышению экономических показателей работы флота.

Для определения критериев, влияющих на результаты эксплуатации судов и их составов на мелководье были проанализированы основные информационные источники по эксплуатации судов и их составов в различных условиях, как речных, так и морских. Во время проведения анализа особое внимание было уделено движению самоходных судов и составов несамоходных судов в условиях мелководья речного и морского,

а также влиянию волнения и кривизны русла на основные технико-эксплуатационные характеристики судов и их составов.

В результате выполненной работы были определены основные критерии, влияющие на рациональность эксплуатации барже-буксирных составов на внутренних водных путях.

К основным критериям, влияющим на рациональность эксплуатации барже-буксирных составов следует отнести:

способы транспортировки несамоходных барж (буксировка и толкание);

состав и конструкция буксирных и сцепных устройств;

тип и характеристика двигателей, формы обводов носовой и кормовой оконечностей;

формы корпусов секций состава;

скоростное проседание судна (состава), определяемое допустимой глубиной мелководья и критерием Фруда;

скорость движения судна (состава), определяемое критической скоростью, при превышении которой судно (состав) теряет свою ходкость, а мощность двигателя увеличивается без увеличения скорости движения (т.е. происходит интенсивная потеря мощности двигателя с увеличением расхода топлива);

управляемость и инерционные характеристики судна (состав судов), которые определяются эффективностью пера руля и энергетическими затратами, а также маневренными и тормозными характеристиками судна;

рельеф русла водотока (реки или канала) на поведение судна или состава судов, характеризующее критической глубиной судового хода, позволяющей определить глубину водотока, при которой днище судна притягивается ко дну водотока (реки и канала) и т.д.

Основные критерии, влияющие на рациональность эксплуатации барже-буксирных составов были определены на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ в соответствии с техническим заданием в рамках договора №2402/20с «Анализ и исследование технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирных составов, эксплуатирующихся на внутренних водных путях Республики Беларусь в условиях мелководья и разработка технических предложений для модернизации составов» между ОАО «Белсудопроект» и БНТУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ 3D-МОДЕЛЕЙ СОСТАВОВ СУДОВ С ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНОЙ

**Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.²,
Ключников В.А.², Шаталов И.М.², Охремчик С.И.²**

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

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

Для эффективной работы речного флота необходимо создание речных судов и их составов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что тесно связано с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна.

Для проведения гидродинамических исследований в лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ были разработаны и изготовлены компьютерные (цифровые) 3D-модели составов судов (барже-буксирных составов, включающих буксир-толкач проекта 570 и баржи на основе проекта 775) с воздушной каверной в виде пакетной и скеговой подачи воздуха в масштабе 1:100, а также разработан и оборудован измерительный стенд на базе гидродинамического лотка, на котором отработана современная методика проведения экспериментальных исследований по определению сил сопротивления движению и подъемной силы при использовании воздушной каверны и по оптимизации обводов носовой части и отношения L/B корпуса баржи в режимах буксировки и толкания. Измерение силовых параметров (силы сопротивления движению и подъемной силы при обращенном движении, действующих на модели составов) производилось силоизмерительным комплексом (ПАК), который был оборудован тензодатчиками (КТУ-2) и цифровой записью (АЦП). Измерение осредненных скоростей в потоке производилось гидрометрической вертушкой ГМЦМ (погрешность измерения ± 1 %). Подача воздуха в воздушную каверну осуществлялась компрессором марки ЕЛОАЕ-251-3. Регулирование подачи воздуха осуществлялось с помощью ресивера CFL-10 и регулятора давления (редуктора) типа БПО-15-3.

В результате выполненных экспериментальных исследований были определены величины сил сопротивления движению и подъемной силы, действующих на модели барже-буксирных составов с использованием воздушной каверны в режиме буксировки и толкания, а также определены оптимальные формы обводов носовой части корпуса баржи при различных отношениях L/B его основных размерений. По результатам проведенных экспериментов были сделаны следующие выводы:

Анализ результатов экспериментальных исследований состава судов (барже-буксирного состава) показал принципиальную возможность

использования воздушной каверны в днище баржи для снижения сопротивления движению состава в режиме толкания.

В процессе проведения экспериментов было установлено, что в режиме толкания состава судов днищевая воздушная каверна баржи работает стабильно и устойчиво. При скоростях обращенного потока в пределах 0,19–0,3 м/с и давлении подаваемого воздуха 0,2–0,7 атм (0,02–0,07 МПа) снижение сопротивления движению состава достигало 10-15 % и более, а подъемная сила увеличилась на 25-30 %. В режиме же буксировки происходил постоянный срыв воздушной каверны и схлопывание воздушного пузыря из-за неустойчивого курса баржи (баржа рыскала влево– вправо или вперед–назад с деферентом то на нос, то на корму). Неустойчивый курс баржи во время буксировки приводил к довольно значительному кратковременному увеличению (1,3–1,5 раза) силы сопротивления движению. Таким образом, режим буксировки с применением воздушной каверны не эффективен.

Экспериментальные исследования сопротивления движению состава судов (барже-буксирных составов) с различной формой обводов носовой части баржи и различным отношением L/B её основных размерений также проводились в гидродинамическом лотке в режиме толкания и буксировки.

Анализ результатов, проведенных экспериментальных исследований моделей корпусов баржи в составе судов показал, что наиболее оптимальной формой обводов носовой части баржи являются лекальные обводы носовой части с углом подъема батоксов к грузовой ватерлинии 25° , с килеватостью носа 5° , что позволяет снизить силу сопротивления движению состава судов на 10-20 % по сравнению с лекальными обводами судна-прототипа (баржа проекта 775) как в режиме толкания, так и в режиме буксировки.

Экспериментальные исследования по определению оптимального отношения L/B основных размерений баржи в режиме толкания и буксировки показали, что для режима толкания минимальное сопротивление движению состава судов будет при отношении $L/B = 7,3$, а при режиме буксировки – $L/B = 5,43$.

В заключении можно сделать общий вывод, что наиболее оптимальным режимом эксплуатации составов судов (барже-буксирных составов) на водотоках РБ является режим толкания с использованием воздушной каверны в днищевой части баржи, при этом обводы носовой части баржи могут иметь лекальную форму с углом наклона 25° к основной плоскости и малой килеватостью 5° , а отношение L/B должно дополнительно анализироваться, исходя из величины изменения грузоподъемности баржи в зависимости от этого параметра.

**РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ БАРЖЕ-БУКСИРНОГО
СОСТАВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ В
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ**

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

- 1).ОАО «Белсудопроект», Гомель, Республика Беларусь
- 2). Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов и их составов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что в свою очередь тесно связано с оптимизацией конструктивных параметров корпуса морского или речного судна или состава судов.

Для определения гидродинамических характеристик существующих барже-буксирных составов речного флота Республики Беларусь были построены цифровые модели судов исследуемого барже-буксирного состава на основе прототипов буксира-толкача проекта 570 и баржи проекта 775, которые в последствии были напечатаны на 3D-принтере.

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС. Для построения моделей использовались теоретические и конструктивные чертежи, а также плазовые ординаты основных корпусных элементов (носовой и кормовой оконечностей) существующих судов согласно проектной документации указанных корпусных элементов судов, представленной ОАО «Белсудопроект».

Принимая во внимание габаритные ограничения гидродинамического лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей равный 1:100. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе.

Кроме того, рабочий стол 3D-принтера имеет возможность печати с ограничением габаритных размеров до 200 мм, поэтому 3D-модели создавались в виде составных частей с габаритами, не превышающими допустимые.

На рисунке 1 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС носовой части буксира проекта 570. На рисунке 2 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС кормовой части буксира проекта 570.

На рисунке 3 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС носовой части баржи проекта 775.

На рисунке 4 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС цилиндрической вставки баржи проекта 775.

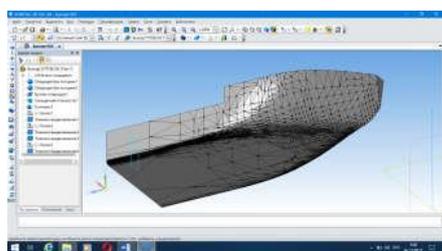


Рисунок 1 – Цифровая модель носовой части буксира проекта 570

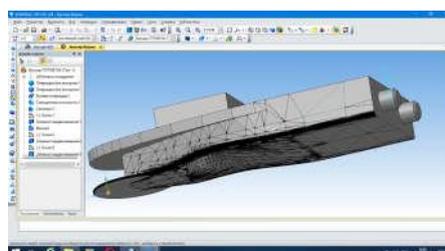


Рисунок 2 – Цифровая модель кормовой части буксира проекта 570

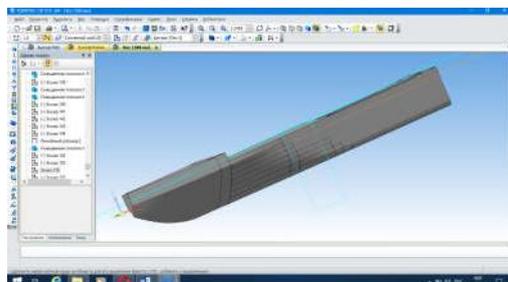


Рисунок 3 – Цифровая модель носовой части баржи проекта 775

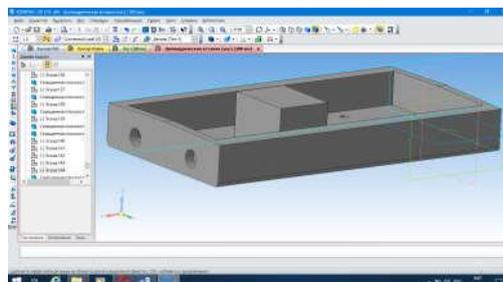


Рисунок 4 – Цифровая модель цилиндрической вставки баржи проекта 775

На рисунке 5 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС кормовой части баржи проекта 775.

На рисунке 6 представлена в сборе 3D-модель баржи проекта 775 с заменяемыми носовыми оконечностями.

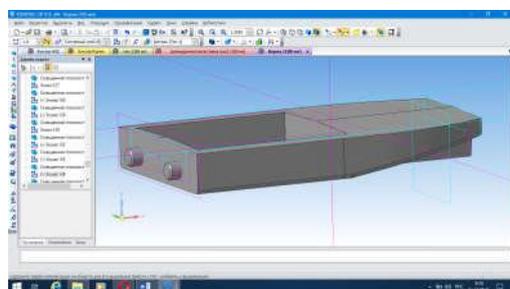


Рисунок 5 – Цифровая модель кормовой части баржи проекта 775

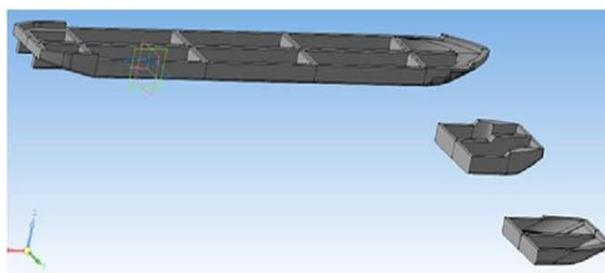


Рисунок 6 – Цифровая модель в сборе баржи проекта 775 с различными вариантами носовой оконечности

Для соединения частей судов на 3D-моделях предусмотрены направляющие штифты и отверстия.

Созданные цифровые модели распечатаны на 3D-принтере марки Premier-3D N1. Скорость печати данного принтера составляет до 70 мм/с при толщине всего 0,1 мм. Такая производительность достигается путем применения специальных алгоритмов печатающей головки.

Далее, полученные цифровые модели барже-буксирного состава, испытывались в гидродинамическом лотке с целью определения оптимальной геометрии обводов судов, входящих в барже-буксирный состав.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ 3D-МОДЕЛЕЙ СОСТАВОВ
СУДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РЕЖИМАХ ТОЛКАНИЯ И
БУКСИРОВКИ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ**

**Афанасьев А.П.¹, Качанов И.В.², Ленкевич С.А.²,
Ключников В.А.², Щербакова М.К.², Колпаков Р.М.²**

- 1). ОАО «Белсудопроект», Гомель, Республика Беларусь
- 2). Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

На водотоках (реках и каналах) и в водоемах (озерах и водохранилищах) Республики Беларусь в настоящее время наблюдается низкий уровень воды и большое количество мелководных участков.

Плавание на мелководье является одним из наиболее сложных условий, в которых оказывается судно в процессе эксплуатации. И сложность ситуации заключается не только в том, что малый запас воды под килем в данных условиях представляет собой реальную навигационную опасность, но и в том, что поведение судна или состава судов (например, барже-буксирного состава) на мелководье существенно отличается от поведения на глубокой воде.

Для разработки рекомендаций по повышению эффективности работы реальных барже-буксирных составов необходимы дополнительные лабораторные исследования по влиянию условий движения (скорость движения, изменения размерений, режим движения состава (буксировка, толкание), изменение граничных условий) на сопротивление движению моделей в гидродинамическом лотке.

Для проведения гидродинамических лабораторных исследований были разработаны и изготовлены цифровые 3D-модели барже-буксирного состава в масштабе М1:100 (рисунок 1–3), а также разработана современная методика проведения исследований и создан экспериментальный стенд для определения сил сопротивления движения и подъемной силы при испытании барже-буксирного состава в режиме обращенного движения при толкании и буксировке. В составе стенда использовался силоизмерительный комплекс с применением тензодатчиков и с цифровой записью подъемных сил и сил сопротивления, действующих на модели составов в гидродинамическом лотке в режиме обращенного движения. Измерение осредненных скоростей в потоке, обтекающем модельные составы, производилось гидродинамической вертушкой ГМЦМ-1 с погрешностью $\pm 1\%$.

В результате выполненной работы были определены величины сил сопротивления движению и подъемной силы 3D-модели барже-буксирного состава в режиме толкания и буксировки. Экспериментальные

исследования проводились в гидродинамическом лотке в режиме обращённого движения.

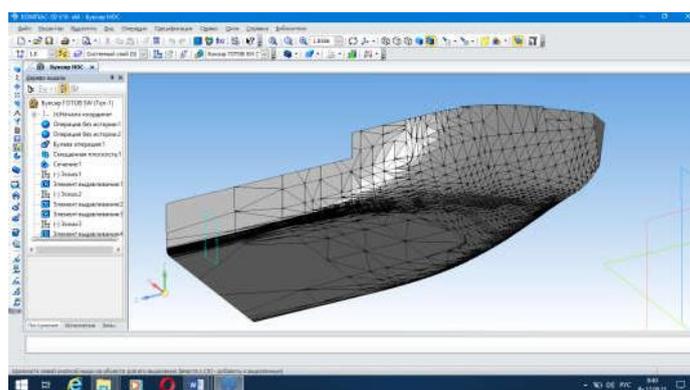


Рисунок 1 – Цифровая модель носовой части буксира проекта 570

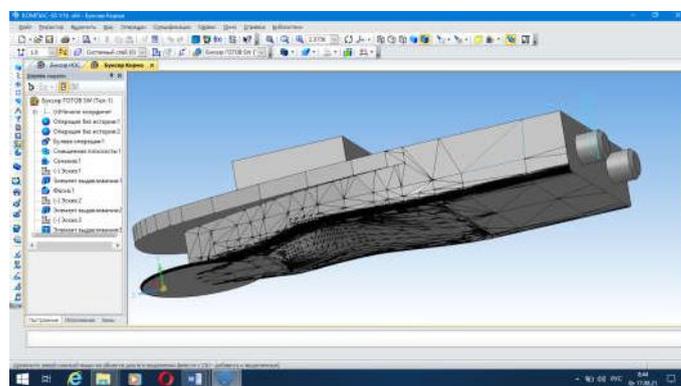


Рисунок 2 – Цифровая модель кормовой части буксира проекта 570

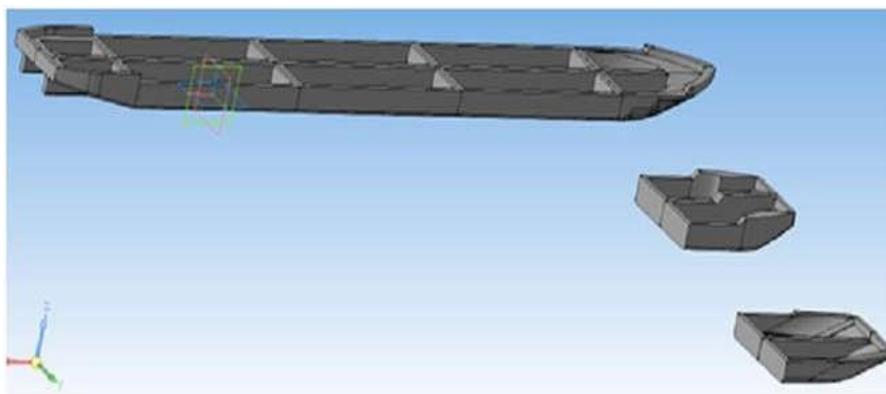


Рисунок 3 – Цифровая модель в сборе баржи проекта 775 с различными вариантами носовой оконечности

В результате проведенных исследований было установлено, что для баржевых составов по параметру силы сопротивления режим толкания является более предпочтительным, чем режим буксировки. Экспериментально установлено, что при скорости потока воды $V = 0,18$ м/с, сила сопротивления движению модели состава в режиме буксировки на 40 % больше, чем при режиме толкания. С ростом скорости эта разница возрастает и при скорости $V = 0,28$ м/с сила сопротивления при буксировке, почти в два раза больше, чем при режиме толкания.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ AUTOCAD ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

Бадак Б.А., Бобрович А.О.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В современном мире существует огромное количество программного обеспечения, призванного решать различные прикладные проблемы. Среди наиболее распространённых систем автоматизированного проектирования (САПР) выделяют следующие типы программ: CAD, CAM, CAD/CAM, CAE. В учебном процессе при изучении математики на машиностроительном факультете БНТУ нами активно используется AutoCAD. Система AutoCAD фирмы Autodesk применяется для выпуска большей части графической документации, формируемой в нашей стране в электронном виде [1, с. 3].

В статье рассмотрим САД-системы, с помощью которых решаются производственные задачи линейного программирования.

Данная система позволяет строить как двумерные, так и трехмерные чертежи. САД-системы, которые специализируются на машиностроительных задачах, называются МСАД-системы.

Перед инженерами стоит непростая задача по проектированию площадки фильтрации: получить максимальную производительность, но при этом разместить оборудование на отведенной площади, не выйти за запланированный бюджет. Рассмотрим в качестве примера визуализацию решения следующей математической задачи, часто встречающейся в производственном процессе.

Задача: для закупки оборудования по фильтрованию воды экономический отдел завода «БелТИЗ» выделяет 50 ден.ед. Оборудование должно размещаться на площади, не превышающей 60 м². Можно заказать оборудование двух видов: менее мощные генераторы типа Бетта-1 стоимостью 6 ден.ед., требующих производственную площадь 3 м² (с учетом проходов) и имеют производительность в час - 3 т., и более мощные стенды типа Гамма-1 стоимостью 5 ден. ед., общей площадью 7 м³ и обеспечивающие производительность в час 4 т. (рис.1).

Обозначим через x_1 и x_2 количество стендов типа Бетта-1 и Гамма-1, соответственно, через Z -общую производительность, получим:

$$Z = 3x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$$

при условии:

$$\begin{cases} 3x_1 + 7x_2 \leq 60, \\ 6x_1 + 5x_2 \leq 50, \\ x_2 \leq 10, \end{cases}$$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$, где x_1, x_2 – целые числа.

Сведем задачу к каноническому виду, вводя дополнительные переменные x_3, x_4, x_5 . Получим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 3x_1 + 7x_2 + x_3 = 60 \\ 6x_1 + 5x_2 + x_4 = 50 \\ x_2 + x_5 = 10 \\ x_j \geq 0, j = 1, 2 \dots \end{cases}$$

Оптимальный план можно записать так: $x_1 = 0, x_2 = 10$,
 $Z(X) = 3 * 0 + 4 * 10 = 40$, где $Z(X)$ —целевая функция.

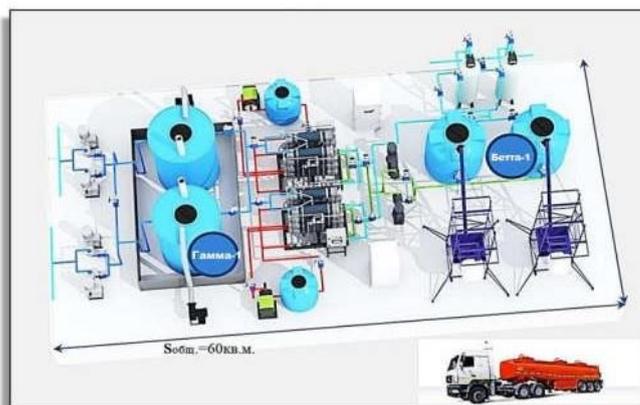


Рисунок 1

Таким образом, в данной работе рассмотрена возможная идея решения производственной задачи с визуализацией через CAD-систему AutoCAD.

Следует отметить, что кроме ручного построения чертежа, в данном ПО имеется возможность автоматизации процесса построения и расчёта чертежа путем написания скриптов на языках Visual Basic и Visual Lisp.

1. Полещук Н.Н. Самоучитель AutoCAD 2013. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 11 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРКОВСКОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ КОМПАС-3D

Бадак Б.А., Черняк В.И.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в современном инженерном деле нельзя обойтись без систем автоматизированного проектирования (САПР). Основными типами таких систем являются CAD, CAM, CAD/CAM, CAE. На рынке программного обеспечения выделяют наиболее популярные программы, такие как Autodesk AutoCAD и Fusion 360, КОМПАС-3D, SolidWorks. Основным преимуществом таких программ является то, что в них уже встроены основные международные стандарты ISO, ГОСТ, поэтому инженеру-исполнителю как правило можно не думать об определенных стандартах.

В данной статье рассмотрено решение прикладной задачи по математике, связанной с теорией массового обслуживания с помощью КОМПАС-3D.

«КОМПАС-3D» — комплексная система автоматизированного проектирования, направленная не только на машиностроение, но и на разработку чертежей, проектирование кабельных систем и создание документов для инженерных проектов [1]. Основным преимуществом данной программы перед AutoCAD является соблюдение стандартов ГОСТ, которые не всегда могут быть совместимы со стандартами ISO, применяемые в Autodesk AutoCAD. Система создаёт проекты для строительной и промышленной направленности любой степени сложности, позволяет создавать изделие от идеи до полного проекта с готовыми документами. Программа имеет свои особенности, которые присущи только ей:

- собственное математическое ядро C3D и использование параметрических технологий, созданных специалистами АСКОН;
- взаимодействие с другими программами по проектированию, созданное в Компасе, перемещается без потери данных;
- поддержка разнообразных форматов передачи файлов, импорт и экспорт осуществляется при помощи основных форматов передачи.

В качестве примера рассмотрим визуализацию задачи в системе КОМПАС-3D по теме «Марковские процессы», в которой с помощью теории массового обслуживания моделируются системы, предназначенного для многоразового использования на транспорте. Основной идеей решения данной задачи является определение оптимального режима работы автотранспортного предприятия, имеющего два условных рабочих места (склад готовой продукции, гараж, ремонтная мастерская), обеспечивающего минимальные потери времени на

удовлетворение потребностей некоторого производственного процесса. Моделируемая производственная процедура рассматривается как система массового обслуживания, описываемая с помощью Марковского процесса. На рисунке 1 приведена действующая 2D-динамическая модель, в которой переходы из состояния в состояния происходят мгновенно: на основании использования блоков Queue, которые моделирует очередь агентов; блоков Delay, которые задерживают агентов на заданный период времени, а также блоков Service, которые захватывают для агента заданное количество ресурсов, задерживают их, а затем освобождают захваченные им ресурсы.

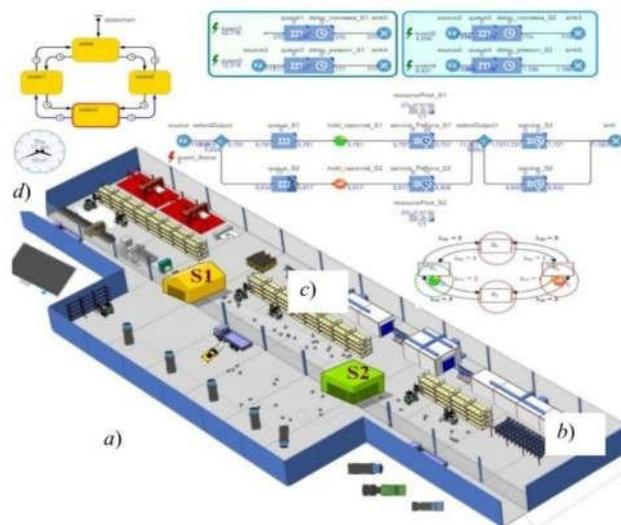


Рисунок 1

- a) производственная площадка;
- b) граф состояний системы;
- c) блок-схема процесса управления системой;
- d) модельное время системы.

Таким образом, в работе рассмотрена задача по теме «Марковские процессы» с дополнительной реализацией в CAD-системе КОМПАС-3D.

1. Программа «Компас 3D»: обзор, модули, функционал и возможности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://junior3d.ru/article/Kompas-3D.html?ysclid=leu5dcan4a382223754>. — Дата обращения: 01.03.2023.

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ПЕРЕВОДА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ ДЛЯ ИНСТИТУТА КОНФУЦИЯ БНТУ

Белова С.В., Трубиш Е.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Web-приложение «Русско-китайско-английский словарь технических терминов» разрабатывается для Института Конфуция по науке и технике БНТУ.

В настоящее время на рынке присутствует широкий спектр систем, ориентированных на выполнение задач перевода. Некоторые из них предлагают возможность перевода с сохранением контекста и даже слэнга. Другие работают в режиме отсутствия интернет соединения, с возможностью загрузки словарей нескольких языков. Есть приложения для перевода текста по фото, знакам и прямой речи.

Однако существует множество узкоспециализированных технических терминов, с которыми популярные переводчики не справляются.

Специфика данного приложения состоит в возможности перевода специальных терминов, применяемых в различных инженерных отраслях, на русский, китайский и английский язык в процессе обучения и научной деятельности. Оно позволяет автоматизировать поиск нужного термина с целью экономии времени и минимизации возможных неточностей в переводе.

Для удобного использования и большей доступности первоначально было принято решение разработать мобильное приложение для перевода. Были реализованы два приложения под операционные системы iOS и Android.

Первое приложение написано на языке программирования Kotlin на платформе Android Studio, преимуществами которой являются кроссплатформенность, высокая производительность, открытый исходный код. [1]

Для реализации пользовательского интерфейса iOS приложения была выбрана платформа UIKit. Приложение написано на языке Swift в интегрированной среде Xcode. В качестве среды для разработки базы данных использовалась СУБД Firebase - облачная NoSQL база данных, работающая в режиме реального времени. Для организации хранения данных на самом устройстве применялся фреймворк от компании Apple – Core Data. [2]

В настоящее время технологии позволяют создавать web- приложения высокой сложности с различным функционалом.

Основные задачи разрабатываемого web-приложения:

–предоставить общую базу данных технических терминов на русском, китайском и английском языках;

- предоставить редакторам возможность удобного ввода и редактирования терминов;
- обеспечить доступ к словарю через сеть;
- сократить временные затраты на поиск перевода узкоспециализированных терминов;
- предоставить простой и удобный интерфейс для взаимодействия с системой;
- возможность одновременного использования приложения большим количеством клиентов.

В целом web-приложения можно поделить на две разновидности: CPU intensive и Data intensive. В нашем случае приложение не нацелено на тяжелые вычисления, поэтому относится ко второму типу. В настоящее время лучшей платформой для написания серверной части подобного типа приложений, является платформа Node.js. Это кроссплатформенная среда выполнения с открытым исходным кодом и библиотека, используемая для запуска веб-приложений вне браузера клиента. В качестве базы данных было принято решение использовать PostgreSQL, мощную объектно-реляционную систему баз данных с открытым исходным кодом, которая активно развивается уже более 35 лет и заслужила репутацию надежной, функциональной и производительной системы. Для написания клиентской части приложения используется React.js.

Web-приложение позволит наиболее эффективно и удобно осуществлять поиск и перевод интересующих пользователя терминов на китайском, русском и английском языках, а также добавлять новые термины и редактировать уже существующие.

Приложение может быть актуально для многих учреждений образования, в которых обучаются китайские студенты и магистранты. Его использование облегчит процесс обучения и научной деятельности и позволит избежать ошибок неточного перевода узкоспециализированных технических терминов.

1.Белова С.В., Терещенко М.А. Мобильное приложение «Русско-китайско-английский словарь технических терминов»/ Сборник материалов 78-й студенческой научно-технической конференции [Электронный ресурс]: апрель - май 2022 г. / Белорусский национальный технический университет, Факультет информационных технологий и робототехники; сост.: А. М. Авсиевич, В. А. Мартинович, С. А. Павлюковец. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 174-175.

2.Белова С.В., Карачинский А.А. Мобильное iOS-приложение «Русско-китайско-английский словарь технических терминов»/ Материалы X Научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» Минск, 21–22.11.2022. - Минск: БНТУ, 2022.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ НА ДЕТАЛЯХ ХОДОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПУТЕВЫХ МАШИН ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

Белоцерковский М.А., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

Задачей исследований, проведенных в данной работе, является повышение работоспособности и срока службы антифрикционных изделий ходовых сопряжений рабочих органов путевых машин, предназначенных для выправки, подбивки, отделки пути и очистки щебня.

Решение этой задачи осуществлялось путем разработки новой высокоэффективной технологии индукционной наплавки антифрикционных покрытий с использованием результатов теоретических исследований процесса проплавления наносимых слоев при индукционном нагреве.

Применение покрытий из композиций на основе алюминиевого сплава для создания антифрикционных деталей позволяет значительно сократить расход цветных сплавов, стоимость материалов и обеспечить повышение качества и надежности машин в целом. Одним из эффективных способов формования покрытий в холодном и горячем состоянии непосредственно во внутренней полости стальной заготовки-матрицы является центробежная индукционная наплавка. Для промышленной реализации этого метода разработаны технологии, оборудование и сопутствующая оснастка.

Известно, что в основе индукционной центробежной наплавки покрытий лежит технологическая схема, позволяющая реализовать следующую последовательность нанесения слоев покрытий. Сначала, с помощью индукционных токов, происходит разогрев вращающейся стальной цилиндрической заготовки до температур возможного фазового перехода из твердого в жидкое состояние материала композиции на основе алюминиевого сплава. Затем, в результате изотермической выдержки и теплообмена между разогретой внутренней поверхностью стальной цилиндрической заготовки и прижимаемого к ней центробежными силами материала композиции происходит послойное его расплавление с образованием после кристаллизации и охлаждения покрытий из алюминиевого сплава с подслоем между стальной основой и алюминиевым покрытием. Такая последовательность процесса нанесения слоев позволяет полагать, что технологические режимы индукционной центробежной наплавки определяются такими технологическими параметрами, как длительность процесса, мощность и частота электромагнитного излучения индуктора, а также линейными размерами стальной цилиндрической

заготовки, мощностью создаваемого на ее поверхности теплового источника, удельным сопротивлением, плотностью и теплопроводностью стали. Эти технологические параметры индукционной центробежной наплавки определяют температурный режим нанесения покрытий.

В результате наших исследований установлено, что распределение температуры в расплавленной зоне будет определяться зависимостью:

$$T_l(r, \tau) = - \frac{b\tau \ln \frac{r}{R} + (T_{nl} + b\tau) \ln \frac{\eta}{R} - T_{nl} \ln \frac{R}{\eta}}{\ln \frac{R}{\eta}} \quad (1)$$

где T_l – температуры жидкой фазы (расплава), К; T_{nl} – температура плавления присадочного материала, К; r – текущая координата, м; R – радиус внутренней поверхности заготовки, м; η – расстояние от оси вращения до границы плавления, м; τ – время, с; b – темп нагрева, К/с.

На основании полученной зависимости (1) и уравнения теплопроводности можно получить дифференциальную зависимость:

$$-\lambda_1 \frac{b\tau}{\eta \ln \frac{R}{\eta}} = \rho\gamma \frac{d\eta}{d\tau} \quad (2)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности жидкой фазы, Вт/м·К; γ – удельная теплота плавления присадочного материала, Дж/кг; ρ – плотность присадочного материала, кг/м³.

Отсюда получим трансцендентное алгебраическое уравнение:

$$\eta^2 \ln \frac{R}{\eta} - \frac{1}{2}(R^2 - \eta^2) = - \frac{\lambda_1 b}{\rho\gamma} \tau^2 \quad (3)$$

которое определяет зависимость между координатой фронта плавления η и временем τ .

Для проплавленного наносимого слоя при $\eta = R_0$ решение (2) примет вид:

$$\tau = \frac{\rho\gamma_2}{b\lambda_1} \left[\frac{1}{2}(R^2 - R_0^2) - R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} \right] \quad (4)$$

где R_0 – наружный диаметр заготовки, м.

Вышеизложенная модель устанавливает связь между технологическими параметрами индукционного нагрева и динамикой перехода из твердого состояния в жидкофазное состояние наносимого слоя на основании модельных допущений Лейбензона и Лыкова.

Проведенные исследования легли в основу разработки технологического процесса и оборудования для изготовления антифрикционных изделий с покрытиями (биметаллических втулок подбивочных блоков, гаек подъема электромагнитов путевых машин ВПР и ВПО) центробежным индукционным методом с использованием композиций на основе алюминиевых сплавов, что позволило снизить стоимость получаемых изделий с покрытиями в 2,3-2,7 раза по сравнению с материалами на медной основе, повысить производительность процесса нанесения покрытия в 1,3-1,4 раза и существенно снизить энергозатраты.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ УЧРЕЖДЕНИЕМ ОБРАЗОВАНИЯ: ПРИЛОЖЕНИЕ «ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ»

Бобровко В.В., Сидорик В.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Контроль посещаемости студентами занятий является повседневной и затратной по времени задачей для преподавателя. При учете посещаемости без использования электронных средств преподаватель сталкивается с различными проблемами: ручное заполнение, ограниченность, потеря информации, отсутствие удобства и скорости доступа. Чтобы упростить и оптимизировать работу преподавателей БНТУ [1] и способствовать переходу к электронному документообороту, была осуществлена разработка приложения для ведения и обработки данных об успеваемости студентов в электронном виде с возможностью вывода информации в файл для дальнейшего использования.

Данное приложение было спроектировано на платформе Rational Rose и реализовано с использованием среды разработки IntelliJ IDEA на языке программирования Java. Для создания графического интерфейса использовались библиотеки Swing и AWT. Внешний вид компонентов Swing изменен библиотекой FlatLaf. Для хранения данных используется реляционная база данных MariaDB (создание локального экземпляра производится с использованием библиотеки mariaDB4j).

Использование объектно-ориентированной парадигмы при создании приложения позволяет гарантировать удобство его дальнейшего развития и гибкость в расширении. Функциональные возможности программы позволяют решать следующие задачи: добавление и удаление групп, добавление и удаление студентов, добавление и удаление дат, поиск по указанной дате, сохранение информации в формате .xlsx и др.

Главное окно приложения представлено на рис. 1.

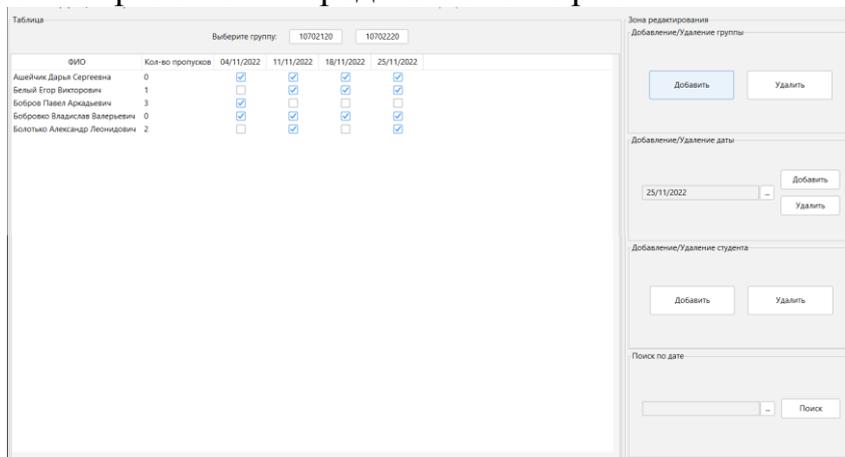


Рис. 1 – Главное окно приложения

Для комфортной работы, оперативного просмотра и детализации информации по каждому студенту создано окно «Карточка студента» (рис. 2).

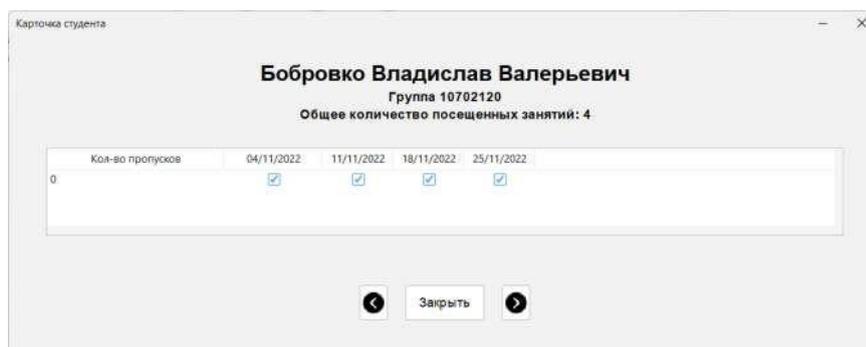


Рис. 2 – Карточка студента

Для организации работы с файлами формата .xlsx использована библиотека Apache POI – проект, который предоставляет библиотеки Java для чтения и записи файлов в форматах Microsoft Office, таких как Word, PowerPoint и Excel.

Пример полученного файла представлен на рис. 3.

№	ФИО	Кол-во пропусков	28/10/2022	04/11/2022	11/11/2022	13/11/2022	18/11/2022	25/11/2022	02/12/2022	09/12/2022	15/12/2022
1	Ашейчик Дарья Сергеевна	4	+		+			+			
2	Белый Егор Викторович	4	+		+			+			
3	Бобров Павел Аркадьевич	6	-	+			+			+	
4	Бобровко Владислав Валерьевич	6	-	+			+			+	
5	Болотьюко Александр Леонидович	4					+	+			
6	Веремейчик Александр Валерьевич	6								+	
7	Горностаев Евгений Сергеевич	5	+	+			+			+	
8	Демянко Кирилл Андреевич	6	+							+	
9	Долгий Владимир Владимирович	9									
10	Дудюк Богдан Сергеевич	9	-								
11	Жержецкая Аделина Сергеевна	9	-								
12	Зяц Никита Александрович	9	-								
13	Кихтенко Ольга Юрьевна	5	+	+				+	+		
14	Кораневский Виктор Геннадьевич	5	+					+	+		
15	Королёв Павел Игоревич	5	+				+			+	
16	Крикунов Павел Игоревич	5	+							+	
17	Кусакова Светлана Сергеевна	3	-	+			+	+		+	
18	Михальченко Илья Юрьевич	5	+	+			+			+	
19	Невский Кирилл Сергеевич	5	+				+			+	
20	Ничипорук Виктор Александрович	6	-	+			+			+	
21	РахманС.М. Дарья Каблур	9					+				
22	Савчик Алина Олеговна	9									

Рис. 3 – Файл формата .xlsx

Приложение обладает визуально понятным интерфейсом, что позволяет людям без опыта работы с данным приложением осуществлять взаимодействие с ним без особых сложностей.

1. Рудковский, Д.В. Функциональный модуль web-приложения для планирования и учета нагрузки преподавателя [Текст] / Д. В. Рудковский, В. В. Сидорик // Информационные технологии и системы: проблемы, методы, решения : материалы Республиканской научно-технической конференции, секция «Автоматизация процессов и производств», Минск, БНТУ, 22-23 ноября 2018 г. : Минск : БНТУ, 2018. – С.54-55.

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Брель В.В.

Гомельский государственный технический университет имени
П.О.Сухого, Гомель, Республика Беларусь

Машины в промышленности, строительстве и сельском хозяйстве требуют возвратно-поступательного перемещения рабочего органа по линейной траектории. Для этого используют линейные двигатели: гидроцилиндры, пневмоцилиндры, электроцилиндры, электромагниты, машины ударного действия, актуаторы и др. [1, 2].

Гидропривод и пневмопривод обладают рядом недостатков: высокой стоимостью, наличием насосов, компрессоров, фильтров, осушителей масла и воздуха, плохой работой при низких температурах, необходимостью частого обслуживания.

Для реализации линейного движения с помощью электродвигателей вращательного движения используются кривошипно-шатунные механизмы, реечные и резьбовые передачи, и т.п. Это увеличивает габариты устройства, стоимость, уменьшает надежность, ограничивает быстродействие, требует смазки и при частом использовании ведет к быстрому износу контактирующих поверхностей механизмов.

Линейные электропривода на базе силовых электромагнитов обеспечивают наилучшие условия совместимости двигателя и рабочего органа машины при реализуемых тяговых характеристиках.

В настоящее время тяговые, энергетические и технологические показатели линейных электродвигателей и линейных электроприводов являются неудовлетворительными по сравнению с гидроприводом и пневмоприводом. Необходимо повысить их энергоэффективность, увеличить тяговое усилие, уменьшить стоимость, расширить сферу применения. Актуальной становится задача создания новых силовых линейных электроприводов (на базе электроцилиндров) в электротехнических системах. Многочисленность предъявляемых требований, их противоречивость, а также различия условий эксплуатации приводят к созданию новых технически совершенных конструкций линейных электроприводов.

1. Ряшенцев, Н. П. Электромагнитный привод линейных машин / Н. П. Ряшенцев, В. Н. Ряшенцев; - Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1985. - 153 с.

2. Мошкин, В. И. Импульсные линейные электромагнитные двигатели: монография / В. И. Мошкин, В. Ю. Нейман, Г. Г. Угаров. - Курган: Курганский гос. ун-т, 2010. - 220 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-3D ПО УСТАНОВЛЕНИЮ НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ

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

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В результате использования возможностей программного комплекса DEFORM-3D была разработана методика имитации биметаллического соединения при выдавливании дорожных резцов, заключающаяся в использовании массива точек, расположенных в одной плоскости деформирования и повторяющих исходную геометрию металлической вставки.

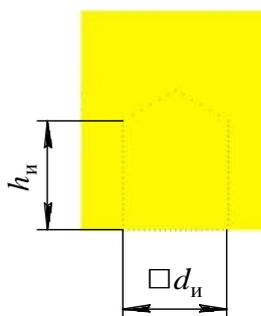


Рисунок 1 – Массив точек имитирующий, исходную геометрию металлической вставки [1]

В результате моделирования было установлено что, наиболее предпочтительные исходные высоты рабочей вставки $h_{и}$ лежат в пределах от 17 до 20 мм, что обусловлено нахождением основания конической вставки, при данных высотах, в наибольшем диаметральном сечении отштампованного резца. Наиболее предпочтительные начальные диаметры рабочей вставки $d_{и}$ лежат в диапазоне от 21 до 23 мм, обеспечивающие отсутствие сужающейся шейки на наконечнике, которая может являться концентратором напряжений, приводящим к преждевременной поломке дорожного резца в ходе его работы [1].

1. Быков, К. Ю. Влияние размеров исходной металлической вставки на геометрические параметры биметаллического соединения при выдавливании дорожных резцов / К. Ю. Быков, И. В. Качанов, С. А. Ленкевич // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Ю. В. Василевич (пред. редкол., гл. ред.). – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 37. – С. 144-152.

ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА СРОК СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Потери мощности, вызванные воздействием высокочастотных гармоник напряжения и тока $\square P_{ГАР.ДВ}$, а также несимметрией напряжений, вносимых преобразователем частоты $\square P_{НЕС.ДВ}$, приводит к повышенному нагреву обмоток асинхронного двигателя (АД). Хорошо известно, что обмотка статора АД очень чувствительна к перегреву, который может вызвать ускоренное старение изоляции. Воздействие преобразователя частоты на приводной АД приводит к перегреву двигателя, величину которого можно выразить следующим образом [1]:

$$\square \tau = \tau_{НОМ} \frac{\square P_{ГАР.ДВ} + \square P_{НЕС.ДВ} + \square P_{ПУЛ}}{\square P_{НОМ}} = \tau_{НОМ} \frac{\square P_{ГАР.ДВ} + \square P_{НЕС.ДВ} + \square P_{ПУЛ}}{\square P_{ПОСТ} + \square P_{ПЕР}},$$

где $\tau_{НОМ}$ - номинальная рабочая температура электродвигателя;

$\square P_{ПУЛ}$ - потери мощности от пульсаций электромагнитного момента.

Коэффициент снижения срока службы АД под воздействием токов высших гармоник и несимметрии напряжения можно представить следующим образом

$$K_{СС} = 0,086 \square \tau + \frac{(0,086 \square \tau)^2}{2}.$$

Снижение срока службы АД можно выразить следующим образом

$$\square t = t_{НОМ} \cdot K_{СС},$$

где $t_{НОМ}$ - нормальный срок службы электродвигателя.

Из приведенных выражений видно, что наличие высокочастотных гармоник тока, протекающих в обмотках статора АД, под действием несинусоидального напряжения на выходе преобразователя частоты, несимметрия напряжения и пульсирующие электромагнитные моменты АД, приводят к сокращению срока службы приводного двигателя.

Механические колебания вращающихся частей двигателя, возникающие из-за наличия колебательных моментов, в силу их малости, в обычных условиях не приводят к проблемам. Исключение составляют случаи, когда необходимо использовать электродвигатель при частотах вращения, составляющих несколько оборотов в минуту и ниже, а также случаи, когда необходимо высокоточное регулирование. В этом случае, если частота вращающего момента становится равной фиксированной частоте крутильных колебаний системы «электродвигатель – рабочий

механизм», то наступает явление резонанса, сопровождающееся сильным шумом и вибрациями, а, иногда, и механическими повреждениями [2]. На резонансной частоте скорость вращательных перемещений в механической системе достигает максимальных значений. Также, угловая скорость и момент совпадают по фазам. Резонансную частоту можно определить следующим образом

$$f_{PEZ} = \frac{1}{4\pi\sqrt{J\lambda\theta}}, \quad (1)$$

где $\lambda\theta$ - податливость упругого элемента.

Возникновение колебательных моментов, обусловленных высшими гармоническими составляющими напряжения, может привести к крутильным колебаниям вращающихся частей электродвигателя с довольно большими скоростями, в том случае, если частоты колебательных моментов совпадут с резонансной частотой механической системы «электродвигатель – рабочий механизм», определяемой выражением (1). Это обстоятельство и объясняет появление негативных последствий для АД [2]. Системы автоматического управления современных преобразователей частоты позволяют осуществлять регулирование частоты вращения ротора АД с пропуском резонансных частот при разгоне и торможении. Как правило, есть возможность задания от 2 до 5 резонансных частот. Также, на некоторых преобразователях частоты, система автоматического управления позволяет задавать ширину резонансной зоны.

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

В кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью отсутствуют пятая и седьмая гармоники, что является одним из важных преимуществ перед обычной трехфазной обмоткой. Устранение наиболее вредных для электрических машин пятой и седьмой гармоник уменьшает дополнительные потери, шум и вибрацию, устраняет провалы в кривой электромагнитного момента и увеличивает срок службы АД.

1. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода. - М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 267с.

2. Вершинин В.И., Загривный Э.А., Козярук А.Е. Электромагнитная и электромеханическая совместимость в электротехнических системах с полупроводниковыми преобразователями. - СПб.: Санкт-Петербургский горный институт. 2000.– 67с.

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО РОБОТА

Виршич А. В., Жихович Н.Ф., Заярный В. П.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Всем озерам и рекам необходимо подводное обследование с целью изучения флоры и фауны или же для обнаружения каких-либо затонувших предметов. С этой задачей отлично справляются подводные роботы, которые могут выполнять поисковые задачи как в автономном, так и в телеуправляемом режиме. В большинстве случаев сканирование дна целесообразно по оптимальной траектории с целью недопущения пропуска исследуемых объектов. Выстраиваемый маршрут тесно связан с описанным в [1] графиком изменения ускорения $a(t)$.

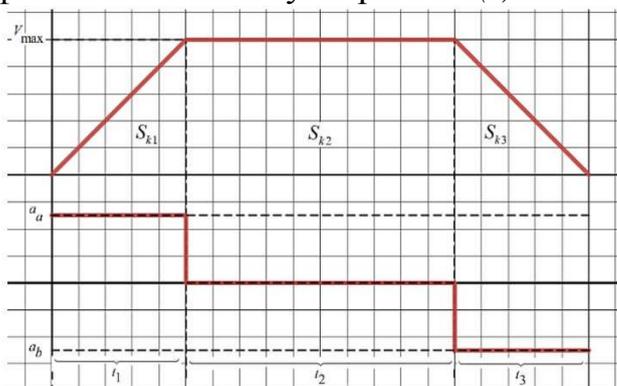


Рис. 1 График изменения скорости и ускорения

Данный вид движения описывается следующим блоком управления в среде Simulink [1].

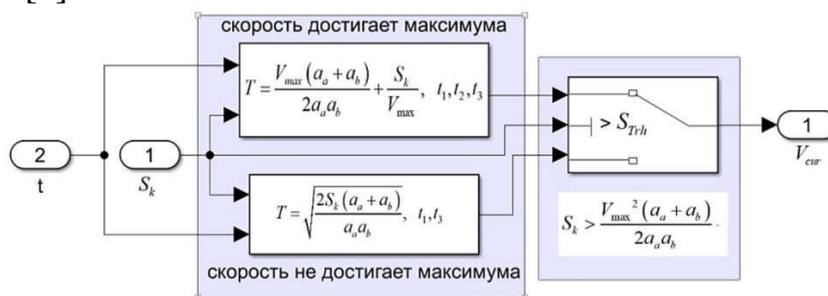


Рис. 2 Блок управления маневрами

Стоит также отметить, что существуют промышленные автопилоты для подводных роботов типа АкваРобот. Стоимость данного автопилота составляет около 350 белорусских рублей, в своем функционале устройство имеет 10 каналов телеуправления. Размеры и вес такого устройства почти соответствуют размеру и весу спичечного коробка, что является важным аспектом при развесовке подводного робота. К автопилоту подключаются: камера, GPS модуль, измеритель глубины, акселерометр, гироскоп, датчик температуры, драйверы двигателей, энкодеры и другое.

ТЕХНОЛОГИЯ LORAWAN В УДАЛЁННОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ

Воюш Н.В., Чернявский Д.И.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

На текущий момент большинство жилых домов в Республике Беларусь оборудованы неавтоматизированными приборами для снятия и учёта расхода энергоресурсов. Как следствие данного факта, потребители испытывают необходимость самим снимать показания счетчиков и рассчитывать будущее потребление. В итоге это ведет к потерям как со стороны государства, так и со стороны клиентов. Данная проблема может решаться как автоматизированными приборами энергоучёта, так и приборами, вносящими счетчики в интернет вещей. Оба подхода освобождают потребителей от нужды самим вести расчёт.

Достигается это путем удалённой автоматической передачи данных с использованием следующих технологий: GSM/GPRS; PLC/RF; Ethernet; LoRaWAN, ZigBee, 6LoWPAN и др. Вышеописанные решения подходят под следующие требования: достаточная надежность и скорость передачи данных, возможность нетрудоёмкого подключения и последующей наладки, широкий выбор приборов учета энергоресурсов.

Технология LoRaWAN – это объединение технологии передачи данных LoRa и протокола, организующего передачу связи и определяющего систему взаимодействия устройств.

Основой физического уровня LoRa является метод, запатентованный американской компанией Semtech, модуляции сигнала. Модуляция основана линейной частотной модуляции с расширением спектра. Кодирование данных широкополосными импульсами с уменьшающейся или увеличивающейся, на заданном временном отрезке, частотой делает передачу данных устойчивой к отклонениям частоты от номинального значения. Данное свойство понижает требования к генератору, позволяя использовать более дешевые кварцевые резонаторы. Расширение спектра же позволяет игнорировать шумы в 20 дБ, а высокая чувствительность приёмников до -148 дБм позволяет организовывать передачу на большие расстояния, потребляя малое количество энергии.

Как протокол LoraWAN ориентирован на создание сети по топологии типа «звезда». В сети LoRaWAN узел связывается не с конкретным шлюзом, а передает данные на несколько шлюзов. Каждый шлюз пересылает полученный пакет от конечного узла через транспорт на облачный сервер [1, 31]. Сервер управляет сетью, отбрасывает избыточные пакеты, выполняет проверки безопасности, планирует оптимальный маршрут передачи подтверждающего сообщения и управляет скоростью передачи данных. Графически архитектура сети изображена на рисунке 1:

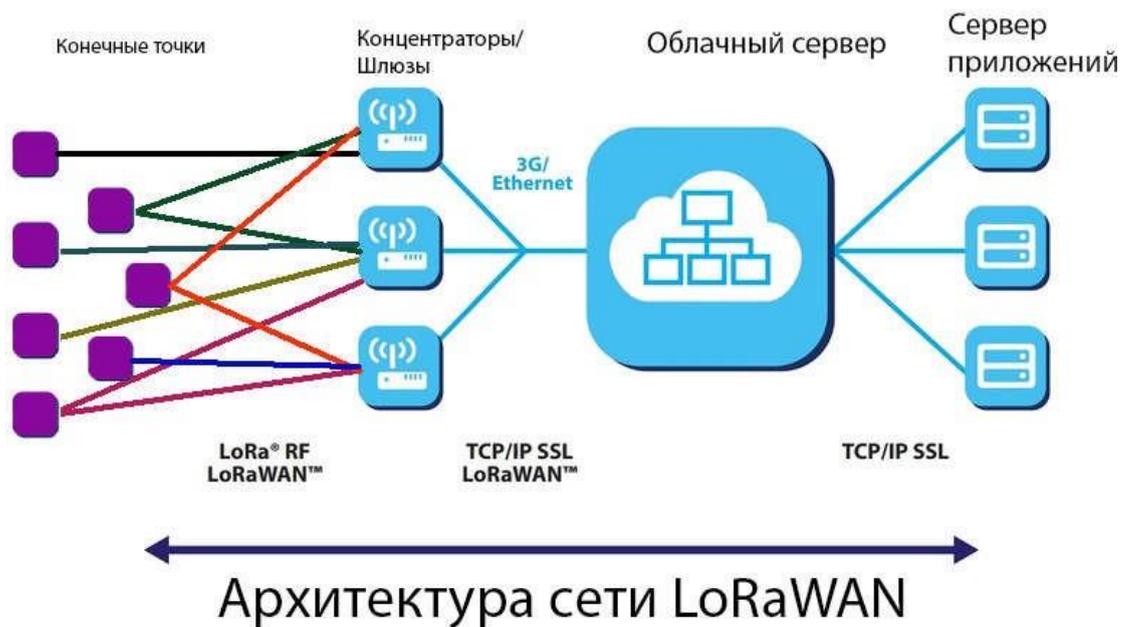


Рис. 1. Архитектура сети LoRaWAN

Центральный сервер выполняет роль менеджера трафика. Управляя временным пространством для передачи и приема данных, он индивидуально назначает каждой конечной точке промежуток для отправки пакетов данных на последующие шлюзы. Адресация происходит по уникальному для каждого узла 32-битному DevAddr адресу. Безопасность передачи данных реализуется двумя уровнями: сетевым уровнем и уровнем приложения. Сетевой уровень основан на SSL протоколе, который основан на шифровании соединения, а уровень приложения построен на отсутствии у оператора доступа к данным.

На основе технологии LoRaWAN планируется создать систему учета потребленных энергетических ресурсов, что является достаточно перспективным в рамках концепции умный город, которая получает все большее распространение в нашей стране. Благодаря автономности и дешевизне, приборы на ее основе можно установить в многоквартирных домах в густонаселенных районах города. Распределённые вычисления позволят справляться с большими объемами данных, которые будут поступать из множества квартир. Данная система сможет собирать данные автономно, лишая жителей нужды самим снимать показания со счетчиков и передавать их поставщикам услуг. Учитывая, что процессом сбора информации руководит облачный сервер, то можно будет к процессу подключить систему, которая будет предоставлять жителю примерное потребление ресурсов на будущий месяц, основываясь на его личных статистических данных.

САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТИ

Герасимович Г.А., Буцанец С.А., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время многие операторы связи начинают работать над новыми видами сетей, такими как VANET (Vehicular Ad hoc Network) для коммуникации транспортных средств, HANET (Home Ad hoc Network), являющаяся домашней сетью - такие сети успешно внедряются в современные проекты.

Самоорганизующаяся сеть (Self-organizing network) – это не имеющая определённой структуры сеть, которая меняет и распределяет функции между собственными узлами при изменении трафика, подключении новых и отключении старых устройств и т.п. Связи между узлами данной сети случайны во времени и образуются лишь для выполнения поставленной задачи.

Главная отличительная особенность самоорганизующихся сетей от всех остальных состоит в возможности обмениваться данными любым узлам сети, которые находятся в зоне радиопокрытия, несмотря на отсутствие единой централизованной инфраструктуры. Каждый из узлов самоорганизующейся сети может быть одновременно и конечной точкой приема данных, и маршрутизатором, отправляющим данные к другим узлам.

Обычно в самоорганизующейся сети работают на беспроводных каналах связи. Это обусловлено тем, что устройства пользователей подключаются к точкам доступа, которые могут перемещаться в пространстве, так как являются такими же устройствами. Из-за этого данная сеть никогда не находится в абсолютной статике. Для построения самоорганизующихся сетей наиболее часто используются такие технологии, как ZigBee, Bluetooth и WiFi.

Из плюсов данных сетей можно отметить хорошую масштабируемость сети, малое время её построения, высокую мобильность абонентов сети и относительную дешевизну. Самоорганизующиеся сети являются перспективным проектом, так как они способны обеспечить мобильную связь в любое время, в любом месте и с абсолютно любого устройства. Улучшение систем самоорганизующихся сетей сейчас вызывает повышенный интерес у специалистов в сфере беспроводных сетей, и этот интерес ещё будет расти в будущем.

1. Чанцис Ф., Стаис И., Кальдерон П., Деирменцоглу Е., Вудс Б. Практический хакинг интернета вещей / пер. с англ. Л. Н. Акулич. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 480 с.: ил.

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.

Белорусский государственный аграрный университет,
Минск, Республика Беларусь

Началом автоматизации технологических процессов с помощью вычислительной техники можно считать появление в 1969 году, по заказу американской фирмы GM, программируемого логического контроллера (ПЛК). Первый ПЛК был разработан на обычных микросхемах транзисторно-транзисторной логики. Но благодаря своей универсальности и возможности изменения алгоритма управления путем перепрограммирования без необходимости перемонтажа стал эффективной альтернативой релейно-контактным схемам. Но только изобретение в 1971 г. микропроцессора, вследствие, прежде всего, своей низкой стоимости, привело к массовому внедрению компьютерной техники во все области человеческой деятельности, включая автоматизацию технологических процессов и производств [1].

Сельское хозяйство, представляющее собой сложный биотехнический объект управления, предъявляет к системам управления ряд высоких требований, таких как надежность, многофункциональность, возможность построения распределенных систем управления, низкая стоимость и другие, которым и соответствуют микропроцессорные программируемые контроллеры.

Первым массовым внедрением ПЛК в сельское хозяйство Беларуси можно считать разработку автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) кормления свиней [2]. В качестве устройства управления был использован микропроцессорный контроллер КМС-1, производства НПО «Гранат». Несмотря на свои скромные, по современным меркам, свои характеристики, такие как 4 КБ для размещения управляющей технологической программы, по 16 дискретных входов и выходов, ПЛК позволил создать высокоэффективную АСУ ТП, внедренную на ряде свинокомплексов РБ. Было обеспечено распределенное дозирование по групповым кормушкам, осуществлен переход от циклического к поточному дозированию и элементы диагностики оборудования, что обеспечило многолетнюю эксплуатацию. А последние поколения АСУ ТП кормления свиней, разработанные на базе компьютеризированных контроллеров и тензочувствительных датчиков, позволили перейти к круглосуточной раздаче кормов, без участия человека, и коренным способом обеспечили снижение металло- и энергоемкости технологического оборудования [3].

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством

является использование опико-электронных методов бесконтактного мониторинга биотехнических объектов сельскохозяйственного производства. Так использование информационных систем на базе геоинформационных технологий позволяют решать следующие задачи [4,5]:

- информационная поддержка принятия решений;
- планирование агротехнических операций;
- мониторинг агротехнических операций и состояния посевов;
- прогнозирование урожайности культур и оценка потерь;
- планирование, мониторинг и анализ использования техники.

Для обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая: цифровую модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции; сведения о дистанционном зондировании; информацию о свойствах и характеристиках почв и т.д.

В животноводстве развиваются системы оптической идентификации коров. Перспективным направлением является получение и анализ термографических снимков животных с целью диагностики их состояния [6].

Данная проблема может включать в себя задачи глубокого обучения для объектной и пиксельной сегментации получаемых изображений животных (термографических, цветовых) и выделения на них требуемых областей (англ. ROI – region of interest); задачи классификации образов, например, при выявлении заболевания субклиническим маститом коров по термографическим изображениям вымени; задачи аппроксимации функций при определении степени упитанности и экспресс-оценки массы животных по изображениям; задачи оптимизации при расчете оптимальных по питательности рационов кормления животных. Инструментом численного решения указанных задач могут быть искусственные нейронные сети (ИНС), широко используемые в настоящее время в многих других областях (безопасность, идентификация пользователей, обработка медицинских изображений, выработка различного рода прогнозов и т.д.). Разработка и подготовка к работе искусственной нейронной сети включает в себя следующие шаги: подготовка и разметка исходных изображений, выбор наиболее подходящей архитектуры ИНС, обучение ИНС, использование ИНС. Среди множества доступных программных инструментов реализации данных шагов можно выделить среду Matlab, позволяющую выполнять все указанные действия и имеющую интуитивно понятный интерфейс и подробную справочную документацию. Так, разметка изображений для последующего обучения ИНС может выполняться, в частности, с использованием программного интерфейса Image Labeller среды Matlab (см. рис.).

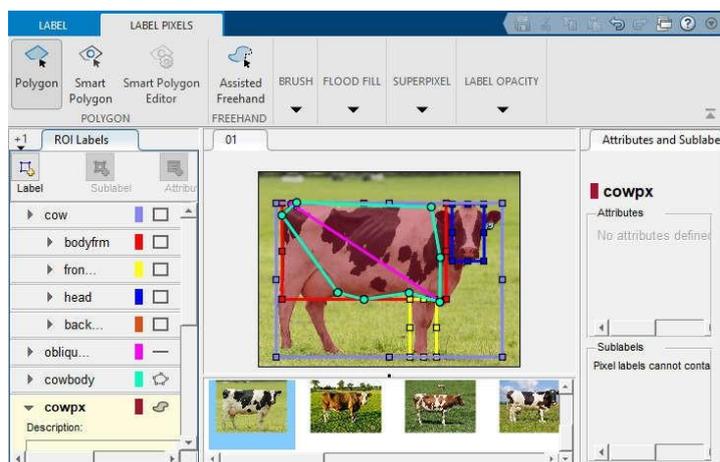


Рисунок – Использование программного модуля Matlab для разметки изображений при обучении искусственной нейронной сети

Для разработки архитектуры (графа слоев) и обучения ИНС предназначен программный интерфейс Matlab Deep Network Designer, позволяющий использовать как готовые, так и оригинальные пользовательские архитектуры ИНС.

Темпы перемен зависят от качества подготовки будущих специалистов. В БГАТУ создана программно-техническая база для инновационной подготовки активных специалистов в области построения современных систем управления производством.

1. Гируцкий, И.И. Микропроцессорная техника систем автоматизации/ И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков.// Минск, БГАТУ, 2022.- 222 с.

2. Протокол №36-92 государственных приемочных испытаний опытного образца автоматизированной системы управления технологическим процессом кормления свиней// Белорусская государственная сельскохозяйственная машиноиспытательная станция. 1992.- 33 с.

3. Гируцкий И.И. Точное управление откормом свиней, [электр] /И.И. Гируцкий// Труды 6-ой Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления», ИПУ РАН, Москва, 2007.- с.508-525.

4. <https://integral-russia.ru/2020/07/30/tsifrovaya-platforma-razvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-kontseptsiya-i-osnovnye-tezisy/> Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей.

5. Робот над полем. [Текст] / И. Дашковский, И. Шивков // Агротехника и технологии: ООО "Москоутаймс". - 2017. - N 6. - С. 32-35. : цв. ил.

6. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Хакимов А.Р. Определение методом инфракрасной термографии заболеваний вымени коров маститом и их влияния на продуктивность // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. с. 4-9.

МУЛЬТИКОПТЕР ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Гу Пэнхао, Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Мультикоптер для защиты растений Уси HANHE JINXING-1 представляет собой БЛА для защиты растений, разработанный китайской компанией Уси Hanhe. Он имеет полностью автономную работу, автономное предотвращение препятствий и имитацию полета, точечные и другие функции, оборудованные одновременно с интеллектуальными батареями, что «обеспечивает надежное решение для защиты от полетов»; его можно использовать для съемки и картографирования с разделением времени, а также - выполнять автономное планирование маршрута с помощью геодезистов, мобильных телефонов, самолетов и карт, при долгосрочном использовании. Съемка, картографирование и операции могут выполняться одновременно при трех режимах работы с учетом того, что каждый режим поддерживает радиолокационное слежение за местностью.



Рисунок 1 – Внешний вид мультикоптера

Мультикоптер Уси HANHE JINXING-1 имеет следующие преимущества.

1. Полностью автономный и простой в эксплуатации.

Взлет, посадка и возврат производится одной кнопкой, автономный полет в заданную точку, нерегулярный многосторонний автономный полет, установка радиолокационной высоты, полет на заданной высоте, устойчивость в точке останова, устойчивая работа в ночное время, полет с огибанием неровных участков земной поверхности с точным выдерживанием заданного маршрута.

2. Высокий интеллект и высокая точность.

Предусмотрена функция точного обхода препятствий на маршруте, отмечающая препятствия при съемке и картографировании, автоматически избегающая их во время полета, чтобы обеспечить безопасность полета и уменьшить число авиационных происшествий;

Параметры опрыскивания растений можно установить в любое время, а высокоточная дифференциальная технология GPS гарантирует, что все края участка сельскохозяйственных угодий будут покрыты без необходимости ручного опрыскивания. Предусмотрена регистрация полетных данных в режиме реального времени;

Система внесения пестицидов имеет функции предотвращения излишнего опрыскивания, пропуска опрыскивания и сноса пестицидов;

Реализуются идентифицируемые, обнаруживаемые и отслеживаемые функции оперативного полета.

При выполнении полетного задания предусмотрено наличие холмов, террасных полей, операций с высокими полюсами и другие сценарии.

3. Высокий уровень безопасности.

Система оборудована наземной станцией мониторинга дальнего действия телефона, которая используется для измерения координат рабочих площадок, установки рабочих параметров и мониторинга состояния полета в режиме реального времени.

Беспилотный комплекс оснащен функцией голосового оповещения, которая повышает простоту использования и безопасность операций.

Для информационной защиты предусмотрены различные ключевые средства, такие как лицо, удостоверение личности, пароль, QR-код и т. д., которые можно разблокировать только с помощью аутентификации и хранения данных операции. на высокой скорости в режиме реального времени для обеспечения надежности работы, идентификации, мониторинга и отслеживания.

Представлены функции электронного ограждения, такие как запретные для полетов зоны, зоны с ограниченным полетом и временные зоны. Операционные данные могут быть подключены к облачной системе управления гражданской авиации в режиме реального времени для выполнения требований по надзору за безопасностью.

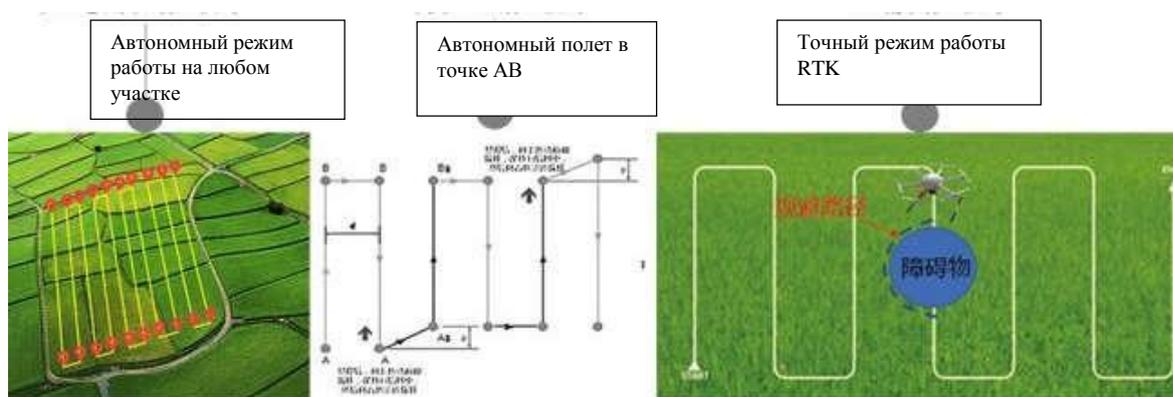


Рисунок 2 – Схема применения мультикоптера

ВІМ (ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ) - ОДНА ИЗ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Гутич И.И., Трофименко Е.Е.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Проектирование и строительство зданий и сооружений было всегда и с развитием автоматизации оно стремительно эволюционировало. Сначала это были чертежи, макеты, на смену им пришло автоматизированное проектирование САД, но восприятие такого проекта было не полным, однобоким, а современная действительность требовала от проекта больше информации. Высокая конкуренция на рынке строительной индустрии, сжатые сроки строительства, повышение качества, требования к максимальной инженерной и экономической эффективности привели к появлению новой технологии проектирования - ВІМ (информационное моделирование). Появление такого вида моделирования связано со стремительным развитием и использованием информационных технологий. Заказчик предпочитает увидеть все сведения о проекте в одном месте - архитектурные, инженерные, экономические, логистические, коммерческие и др. Технологии информационного моделирования являются инструментом для достижения этих целей.

ВІМ технологии – это своего рода управление проектированием, строительством, эксплуатацией, модернизацией и реновацией виртуальной копией объекта. Задача понятная, но очень сложная и дорогая.

ВІМ - это коллективный продукт, это совместная работа профессионалов разных профессий: архитекторов, конструкторов, инженеров, проектировщиков, электриков, монтажников, логистов, менеджеров, экономистов, программистов и т.д. Это экосистема взаимосвязи друг с другом специалистов в предметном поле. Процесс ВІМ моделирования позволяет множеству различных специалистов параллельно работать над одной объемной моделью будущего объекта автоматизации.

Однако одной из трудностей внедрения и повсеместному использованию ВІМ технологии на рынке является отсутствие достаточного количества специалистов, обладающих навыками работы в ВІМ, и в ближайшем будущем потребность такого рода профессионалов однозначно увеличится.

1. Введение ВІМ технологии в строительстве компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://helix.by/uslugi/bim-tehnologii>

ЗАЩИЩЕННЫЙ ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Дербан А.Н., Дербан Д.Н.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Бурное развитие робототехники наряду с повсеместным внедрением технологий Интернета вещей (IoT) невозможно без использования надежных и безопасных стандартов информационного взаимодействия. Одним из наиболее популярных решений, удовлетворяющим современным требованиям к коммуникациям является Data Distribution Service (DDS).

Являясь протоколом промежуточного уровня DDS сочетает в себе Application program interface (API) необходимый для организации связи между узлами (nodes), с учетом высокой ее надежности и при условии масштабирования числа участников сетевого взаимодействия.

Концептуально DDS функционирует на основе так называемого «глобального пространства данных», к которому участники информационного взаимодействия обращаются на основе специализированного API. Пространство данных в свою очередь поддерживает локализацию обмена данными на основе доменов, причем, внутри доменов прием и передача данных основана на обращении по уникальным идентификаторам тем (topics). DDS обеспечивает связь на основе peer-to-peer (p2p) схемы обмена данными, при которой отсутствует необходимость в выделенном сервера для арбитража каналов связи. Поддерживается гибкая схема обеспечения качества обслуживания каналов данных Quality of Service (QoS) с учетом надежности их функционирования, безопасности передачи данных, а также контроля работоспособности отдельно взятых компонент в то числе и для систем, работающих в реальном времени. Присутствует оптимизация объемов передаваемых данных с учетом текущей статистики передачи информации, позволяющей повышать надежность передачи данных там, где это необходимо.

Динамическое обнаружение как публикуемых, так и отслеживаемых в пространстве данных порций информации лежит в основе гибкого расширения возможностей запущенных приложений. Основываясь на модульной архитектуре, DDS чаще всего используется на основе подключения динамической или статической библиотеки, позволяющей приложениям подключаться к глобальному пространству данных без использования специализированных сервисов.

DDS позволяет осуществлять взаимодействие, как поверх стандартных транспортных протоколов (TCP или UDP), так и с использованием пользовательских транспортов, реализующих специфические возможности запущенных приложений.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ROBOT OPERATING SYSTEM 2

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

- 1). Белорусский национальный технический университет,
- 2). Иностранное производственное унитарное предприятие
«Дана Нетворкс»,
Минск, Республика Беларусь

Первая версия Robot operating system (ROS), представленная лабораторией Willow Garage в 2007 году, была нацелена, прежде всего, для ускорения исследовательских процессов в области робототехники. С тех пор ROS заслуженно завоевала свою популярность в робототехническом сообществе во всем мире не только в исследовательских проектах, но и в индустриальной сфере. Однако ROS не ориентирована на широкое ее использование в коммерческих целях, поэтому задачи, связанные с информационной безопасностью, сетевыми технологиями или критической работоспособностью не являются приоритетными.

Вторая версия Robot operating system разрабатывается с учетом многолетнего опыта развития проекта, но с акцентом развития функционала, который должен соответствовать, в том числе промышленным стандартам: безопасность, встраиваемые системы, локальные и распределенные сетевые технологии, а также управление в реальном времени.

Важнейшим компонентом новой платформы является внедренный в нее Data Distribution Service (DDS) – сетевой протокол для всех внутренних коммуникаций между элементами платформы ROS2. DDS хорошо зарекомендовал себя в проектах с критической инфраструктурой, например, аэрокосмические или военно-технические приложения. Этот протокол гарантирует безопасные и надежные сетевые подключения даже при условии нестабильной связи или слабой пропускной способности.

Первое поколение ROS не столь надежна, т.к. предусматривает использование так называемого ROS Master, отвечающего на разрешение имен и регистрацию взаимодействующих узлов, а также является для них посредником при организации каналов связи. В случае выхода из строя или блокировки ROS Master организация каналов связи при добавлении новых узлов станет невозможным, тогда как ROS2, функционирующий на основе DDS позволяет осуществлять взаимодействие узлов по принципу каждый с каждым (peer-to-peer), где взаимодействие между объектами децентрализовано.

Новая версия ROS2 разрабатывается с учетом ее использования не только на платформе Linux. Предусматривается поддержка MacOS и Windows, в рамках которых разворачиваются соответствующие программные модули и библиотеки для робототехнических приложений.

ПРОМЫШЛЕННАЯ РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА

Довнар Л.А., Еска А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В наше время роботы стали обычным явлением в производственном процессе многих промышленных применений и в настоящее время считаются незаменимыми. Первоначально термин “робот” произошел от чешского слова "robota". В современном обиходе этот термин используется для обозначения машинного оборудования, которое обладает определенной степенью автономии и физически функционирует в определенной среде, а также самостоятельно выполняет задачи любой сложности.

Роботизированные системы подходят не только для использования в крупных отраслях промышленности. Для малых и средних предприятий они также предоставляют множество возможностей для улучшения производственного процесса. Интуитивно понятное программирование и выполнение программ с сенсорным контролем позволяют использовать его даже при большом количестве вариантов продукции и небольших объемах. Ожидается, что снижение стоимости компонентов для легких роботов и ускоренное развитие совместной работы человека и робота с простым управлением и управлением приведут к увеличению числа робототехнических и автоматизированных технологий для малых и средних предприятий в ближайшие несколько лет. [1]

Существует семь основных типов промышленных роботов:

1. Шарнирные роботизированные руки
2. Декартовы или прямоугольные роботы
3. СКАР Роботы
4. Полярные или сферические роботы
5. Дельта или параллельные роботы
6. Цилиндрический

Движение шарнирного манипулятора больше всего напоминает человеческую руку. Типичная шарнирная рука имеет шесть осей или суставов. Их может быть меньше или больше, в зависимости от приложения и производителя. Чем больше суставов у робота, тем более плавным и менее «роботизированным» становится его движение. Эта гибкость движения описывается степенями свободы.

Декартовский робот (иногда называемый роботом XYZ) действует в соответствии с координатами декартова пространства. Он может двигаться только линейно в трех направлениях. Декартовы роботы используются для подъема и размещения, обработки материалов, автоматизации упаковки, хранения и извлечения, резки и сверления и множество других приложений.

Они жесткие во всех трех измерениях, что делает их очень точными и воспроизводимыми. Они проще, чем шарнирные роботы-манипуляторы, имеют более простое программное управление и могут быть дешевле в зависимости от области применения.

Роботы SCARA (робот-манипулятор с селективной сборкой) похожи на декартовых роботов в том, что они двигаются по трем шарнирам или осям. Однако, в отличие от декартовых роботов, два сустава роботов SCARA являются вращательными. Поэтому они способны на более сложные движения, чем декартовы роботы. Как правило, они быстрее и обладают большей гибкостью в движении, но менее точны, чем декартовы роботы.

Полярные роботы (иногда называемые сферическими роботами) имеют комбинацию двух вращательных шарниров и одного линейного шарнира. Их конструкция создает рабочее пространство сферической формы. Полярный робот может вращаться вокруг своего основания и плеча и имеет линейное соединение для выдвижения руки. Полярные роботы имеют сферическую рабочую оболочку.

Дельта-роботы (также называемые параллельными роботами) имеют три манипулятора в форме параллелограмма. Обычно дельта-робот располагается над заготовками на подвесной эстакаде. Поскольку все двигатели находятся на базе, суставы и руки робота очень легкие по сравнению с другими роботами. Робот Delta имеет перевернутую куполообразную рабочую оболочку.

Цилиндрические роботы имеют как минимум один вращающийся шарнир в основании и два линейных шарнира. Эта конструкция приводит к рабочему пространству цилиндрической формы.

Цилиндрические роботы обычно используются в ограниченном пространстве и идеально подходят для объектов, которые должны иметь круговую симметрию (например, провода, трубы). При шлифовке, сборке и точечной сварке используются цилиндрические роботы.

Использование роботов на производстве дает ряд преимуществ. Он позволяет выдерживать большие нагрузки и нагрузки. Также могут быть реализованы более высокие скорости. Точность процесса также повышается. Таким образом, ручная работу сводятся к минимуму.

Учет нагрузки на предприятии имеет основополагающее значение в наше время. При этом на первом месте стоит облегчение бремени для сотрудников и долгосрочное сохранение рабочей силы. Следует избегать действий, в которых задействованы большие силы и большие нагрузки. Это также должно освободить сотрудника от монотонных, но и опасных обязанностей.

1. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства/Пер. с англ. Евстегнеева М.Ю. — М.: Машиностроение, 1989. — 448 с.

СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ КЛЮЧЕЙ KEYGUARD

Долматович А.С., Заярный В.П.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

KeyGuard является примером СКУД – системы контроля и учёта данных. Основное предназначение СКУД заключается в пропуске внутрь охраняемого объекта или на территорию только сотрудников организации и ограничение доступа для посторонних.

Благодаря СКУД достигается высокий уровень безопасности в офисе, на предприятии и любом другом объекте, где она была установлена. При внедрении системы появляется возможность получать точные сведения о соблюдении распорядка дня персонала, вносить коррективы в режимы доступа, вести учёт рабочего времени или ограничивать доступ определённым лицам.

К основным функциям электронной ключницы KeyGuard относятся:

- безопасное хранение ключей
- выдача и приём ключей, исходя из режимов доступа
- ведение учёта времени (кто, когда и на какое время взял ключ)
- взаимодействие с системой безопасности на объекте

Для выполнения заданных функций система KeyGuard обладает рядом особенностей:

– прочный корпус с возможностью установки хранилищ разного объёма. Возможна поставка системы со сплошной металлической дверцей, прозрачной из поликарбоната, или вообще без дверцы. [1]



Рис. 1. Пульт управления

– пульт управления, который может быть закреплён либо в нижней части корпуса, либо с правой стороны. Здесь можно узнать краткие данные о человеке, взявшем ключ (ФИО, номер телефона) и посмотреть историю

конкретного ключа. Также пульт управления может быть связан с рядом

различных датчиков, среди которых биометрический сканер отпечатка пальца, сканер физической пластиковой карты, функция распознавания лица, термометр, алкотестер. Производитель идёт навстречу клиенту и

предлагает интеграцию в систему практически любого из возможных видов датчиков.



Рис. 2. Программное обеспечение

планы объекта, сетевое подключение и многое другое. Для управления всей системой через программу используется всего один человек, выполняющий роль оператора. [2]

– Электронная ключница KeyGuard разработана с возможностью взаимодействия с системами безопасности, установленными на объекте. Особенно важно, что протокол взаимодействия открыт для партнеров по интеграции, что позволяет реализовывать связь систем на любом уровне. Например, при интеграции с системой охранной сигнализации имеется возможность полностью автоматизировать процесс постановки/снятия помещений с охраны при сдаче/выдаче ключа. Соответствующее подтверждение может быть выведено непосредственно на дисплей системы хранения ключей. [1]

Вывод: использование электронной ключницы KeyGuard позволит исключить вахтера на входе в 11б учебный корпус БНТУ. В данный момент вахтер получает около 600 рублей, соответственно 4 вахтера 2400 рублей в месяц. Итого за год получится почти стоимость электронной ключницы. Таким образом получаем полностью автоматическую и быстрокупаемую систему, которая значительно повысит безопасность в корпусе спортивно-технического факультета БНТУ. Срок службы электронной ключницы 10 лет до ремонта, то есть с ее внедрением у нас в университете мы получим экономическую выгоду порядка 300000 рублей.

1. KeyGuard [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://keyguard.ru/>

2. Буклет Keyguard [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.keyguard.ru/media/A4_keyguard.pdf

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТОВ НА БАЗЕ ROS

Дубатовка В.В., Ярошевич Е.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

ROS (Robot Operating System) – это мета операционная система (ОС) с необходимым набором утилит (команд) для облегчения написания кода в робототехнике [1]. ROS кросс-платформенный и мультиязычный, с открытым исходным кодом. Он предоставляет такие сервисы, как аппаратная абстракция, низкоуровневое управление устройствами, реализация часто используемых операций, передача сообщений между процессами и управление пакетами [2].

ROS спроектирована как слабо связанная система, в которой процесс, называемый узлом (*node*), должен отвечать за одну задачу. Узлы общаются друг с другом, используя сообщения, проходящие через логические каналы, называемые темами (*topics*). Каждый узел может отправлять или получать данные от другого узла, используя шаблон проектирования *издатель-подписчик (publish–subscribe pattern)* [3].

Gazebo – это динамический 3D симулятор с открытым исходным кодом, который развивается Open Source Robotic Foundation и довольно тесно взаимодействует с ROS. *Gazebo* позволяет точно и эффективно моделировать роботов как в сложных условиях помещений, так и снаружи.

Таким образом, **целью** работы является разработка виртуальной робототехнической платформы, настройка среды ROS и симуляции *Gazebo*.

Материалы и методы

Тестирование проводилось на следующих робототехнических платформах: мобильный робот от Studica Robotics и летательный робот от Copter Express (COEX). С помощью средств ROS таких роботов можно быстро и гибко настроить, проводить полноценные физические симуляций в *Gazebo*. В качестве основного вычислителя используется одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 с ОС основанной на Linux. Используется ROS Noetic, который устанавливается в виде пакетов и зависимостей ОС и позволяет в рамках одной среды наладить общение различных систем, таких как датчики расстояния, инерциальная навигационная система, драйвера моторов, интерфейсов передачи данных, являясь системой управления верхнего уровня.

Была настроена система со следующей иерархией для мобильного робота, как показано на рисунке 1. Здесь имплементированы ноды *imu* (инерциальные измерения), *odom* (одометрия), *scan* (LiDAR). Для физической симуляции *Gazebo* был построен мир с помощью внутренних инструментов и редактирования URDF-файла конфигурации.

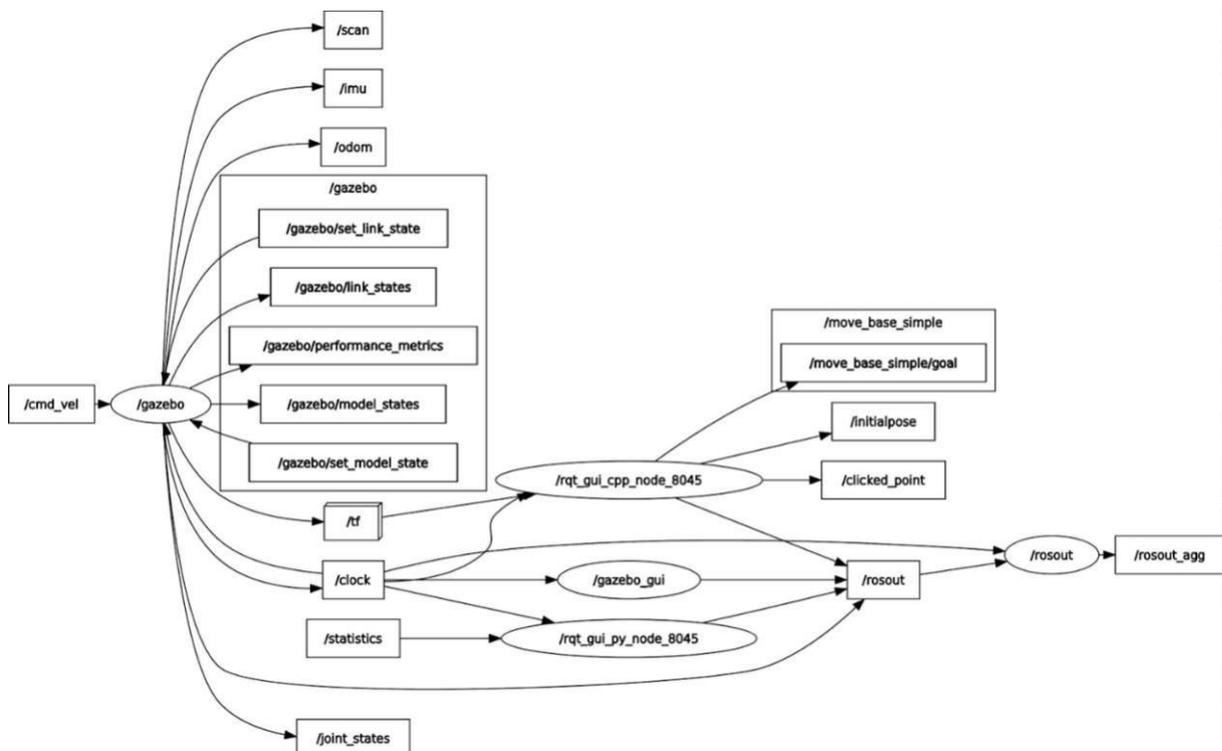


Рисунок 1 – Визуализация взаимодействия модулей ROS:RQT:Node Graph

Результаты и обсуждение

Построенная система имеет практическую ценность ввиду её гибкости и масштабируемости. В перспективе будет произведён переход на ROS2; обновлены модели роботов; написаны программы для решения более комплексных проблем используя современные методы и подходы.

Выводы

Настроена среда программирования и симуляция Gazebo.

Описаны ноды и топики для взаимодействия основных модулей робота.

Было произведено тестирование роботов в реальных условиях.

1. ROS - Robot Operating System [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.ros.org/>.

2. M. Ivanou, S. Mikhel and A. Maloletov, "ROS-like framework using modern development concepts and microservices," 2021 International Conference "Nonlinearity, Information and Robotics" (NIR), Innopolis, Russian Federation, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/NIR52917.2021.9666141.

3. OpenAI Gym+ROS+Gazebo: обучение автономного робота [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/441218/>.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТЕЙ ДИСЛОКАЦИЙ СПЕКТРАЛЬНЫМ ДИФРАКТОМЕТРОМ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Дубенец С. С.

Физико-технический институт НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

Известно[1], что деформации в различных зёрнах металла при пластическом течении имеют разброс значений. Отсюда вытекает требование к экспериментальному определению плотности дислокаций: она должна определяться как среднее значение по множеству зерен.

Перед измерениями, образцы, показанные на рисунке 2, подвергаются механической обработке. Шероховатость обработанной плоскости имеет значение Ra0.4. Образец устанавливается в кювету спектрального дифрактометра (рисунок 3).

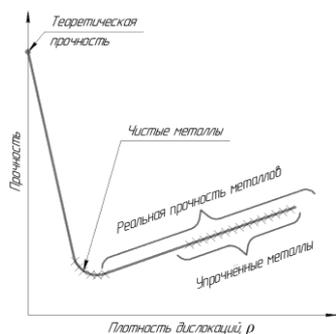


Рисунок 1 –
Зависимость прочности от
плотности дислокаций [2].



Рисунок 2 –
Предварительно
подготовленные образцы



Рисунок 3 –
Спектральный
дифрактометр GNR
Explorer

Принцип действия дифрактометра основан на регистрации рентгеновского излучения. Угловое положение линий дифракционного спектра подчиняется закону Вульфа-Брега и определяется с помощью гониометра. Регистрация дифракционной картины осуществляется при повороте блока детектирования и платформы с образцом вокруг общей оси гониометра с требуемыми угловыми скоростями (способ измерения при разных угловых скоростях образца и счётчика).

1. Кожевникова, Г. В. Пластические свойства металлов и сплавов: феноменологическая деформационная теория разрушения при пластическом течении / Г. В. Кожевникова, В. Я. Щукин. – Минск: Беларус. навука, 2021. – 277 с.

2. Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРИТОВ

Дубинин С.В., Гайшун А.С.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Для решения задачи получения ферритовых порошков методом совместного осаждения из раствора разработана структурная схема автоматизированного управления технологическим процессом (Рис1.).

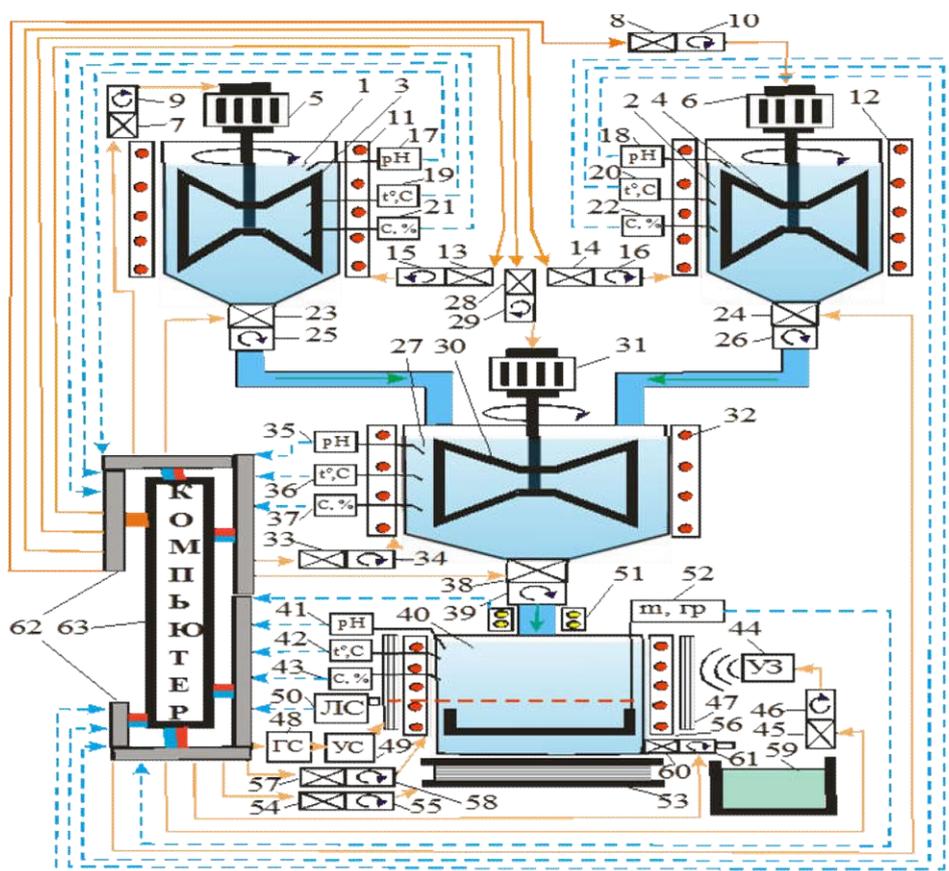


Рисунок 1 – Схема установки для автоматизации процесса получения ферритов – 1,2 - реактор раствора; 3,4,27 - лопасти мешалки; 5,6,31 – электропривод мешалки; 7-10 – коммутационные аппараты и регуляторы скорости мешалки; 12-16 – регулируемые нагреватели; 17-22, 35-37, 41-43 – датчики кислотности, температуры, концентрации; 23-26 – регулятор подачи раствора; 51-61 – электромагнитный и ультразвуковой излучатели; 62-63 – автоматизированная компьютерная система диспетчерского управления.

Исходными реагентами в установке «Магнит» являются два раствора, которые имеют необходимый химический состав, температуру и концентрацию. Далее растворы смешиваются. В процессе химической реакции постепенно образуется твердый осадок. Для влияния на ход химической реакции предусмотрены регулировки подачи исходных растворов, нагреватели в реакторах растворов, регулируемый

ультразвуковой излучатель и электромагнит, на который подается ток разной амплитуды и частоты. Химические процессы контролируются в реакторах датчиками концентрации, уровня кислотности и температуры. На выходе химической реакции образуется твердый осадок порошка феррита. Режимы технологического процесса контролируются управляющим компьютером.

Конфигурация управляющей аппаратной части системы представлена на рис. 2.

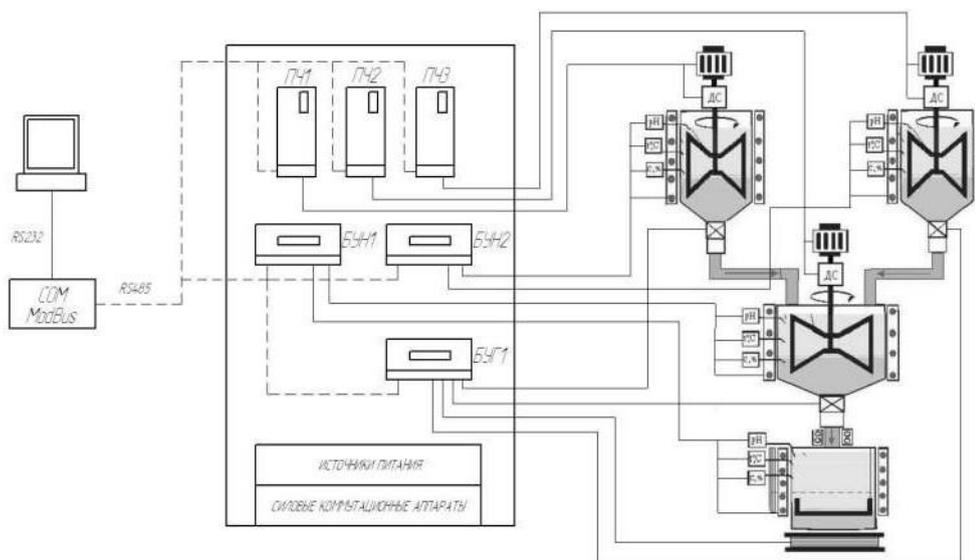


Рисунок 2 – Управляющая аппаратная часть системы

Аппаратная часть содержит:

Концентратор COM, необходим для согласования работы распределенной управляющей компьютерной сети (стандарт связи RS-485) с программной частью персонального компьютера (стандарт связи RS-232);

преобразователи частоты – для управления скоростью вращения мешалок реакторов по заданной программе. Микропроцессорные блоки управления и контроля БУН1 и БУН2- для контроля параметров от датчиков температуры, кислотности, концентрации и для управления нагревателями реакторов по заданной программе. Микропроцессорный блок управления и контроля БУГ1 - для управления электромагнитными клапанами, электромагнитными и ультразвуковыми излучателями, и другими исполнительными устройствами, а также для контроля параметров от датчиков магнитной восприимчивости, электронных весов и др. Силовые коммутационные аппараты – для коммутации электропитания силовых токоприемников. Источник питания.

Автоматизированная система управления позволяет оперативно контролировать качество ферритового порошка и проводить научные исследования с целью получения конструктивных материалов нового поколения.

КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ ПРИ ЗАЩИТНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Дубинин С.В., Пуцькович З.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Один из вариантов системы низковольтной электрической сети промышленного предприятия предполагает электропитание нескольких электроустановок, в том числе с преобразователями напряжения, от трансформаторной подстанции и наличие сети гибких кабелей от пускателей до асинхронных электроприводов.

Процесс снижения тока утечки на землю в процессе защитного отключения асинхронного электропривода можно разделить на три периода (Рис. 1). Время протекания тока утечки складывается из времени срабатывания аппарата защиты и коммутационного аппарата – T_1 , времени затухания остаточных ЭДС в процессе выбега электродвигателей, после их отключения – T_2 и T_3 . С момента возникновения утечки в течение времени T_1 , имеет место переходный процесс ограничения тока утечки дроссельным устройством компенсации емкостной составляющей приблизительно до уровня 0,05 – 0,07 А.

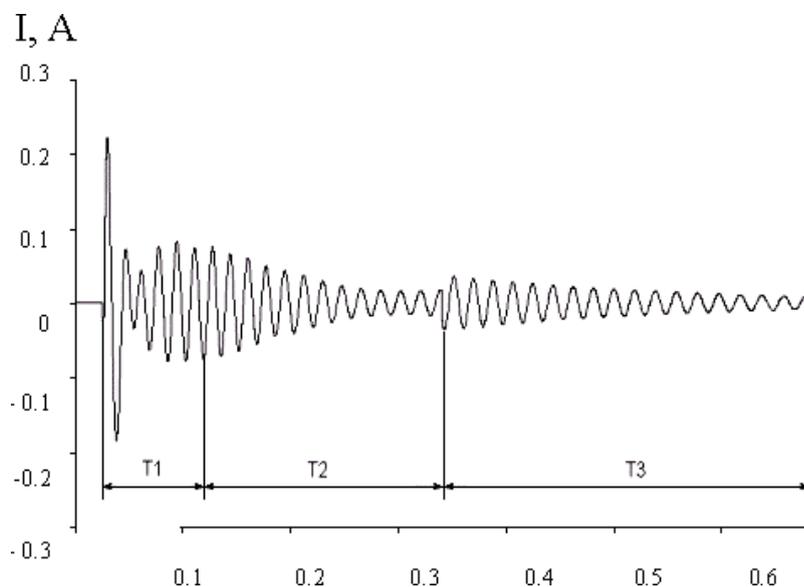


Рисунок 1. – Осциллограмма тока утечки при защитном (сопротивление однофазной утечки $R_y = 1$ кОм, общая емкость сети $C_c = 1$ мФ, емкость поврежденного ответвления $C_{от} = 0,15$ мФ)

Постоянная времени выбега электродвигателя без нагрузки на выходном валу составляет 1-1,5 с при экспоненциальном характере изменения амплитуды остаточной ЭДС вращения U_m :

$$U_m = \frac{L_m}{L_p} j(1-s) \omega_0 \psi_{op} e^{t/T_p} e^{j\omega_0(1-s)t}, \quad (1.1)$$

где L_m – индуктивность главного потока АД; L_p – полная индуктивность ротора; s – скольжение ротора; ω_0 – синхронная частота вращения ротора; T_p – постоянная затухания свободного тока ротора; ψ_{op} – потокосцепление ротора.

Расчет количества электричества проходящего через сопротивление утечки можно рассчитать по формуле:

$$Q = \int_0^T |I_y| dt, \quad (1.2)$$

где I_y – ток через сопротивление однофазной утечки $R_y = 1$ кОм.

Расчетная модель состоит из модели статорных обмоток электродвигателя 1, управляемого трехфазного генератора 2, емкостей общего участка кабельной сети 3, емкостей ответвления 4, дроссельного компенсатора 5, короткозамыкателя 6, контакторы пускателя К2.

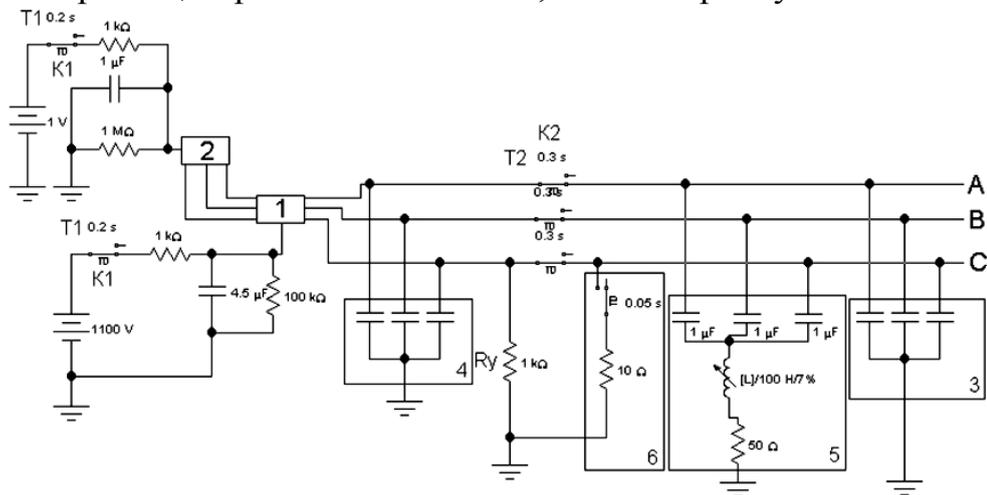


Рисунок 2. Расчетная модель электрической сети асинхронного электропривода.

В процессе исследований установлено, что защитное отключение электропривода сопровождается изменением как амплитуды, так и частоты напряжения обратной ЭДС. Это приводит к снижению эффективности работы дроссельного компенсатора из-за выхода его из режима параллельного резонанса. При значении постоянной времени затухания обратной ЭДС менее 0,65с для количества электричества Q может превысить допустимое значение 50 мА*с. Процесс снижения частоты напряжения обратной ЭДС необходимо учитывать при модернизации систем защиты от утечки тока на землю в сетях питания асинхронного электропривода.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ С ЧПУ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ВО ВНЕПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Заярный В.П., Семижон Е.Д.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Начинающие и опытные радиолюбители периодически сталкиваются с задачей создания электронных печатных плат, отвечающих предъявляемым к ним конкретным требованиям. Решения данной задачи сводятся либо к заказу печатной платы у изготовителя подобного продукта по частному проекту. Рынок конкурентоспособных производителей представлен в большинстве своём китайскими представителями, либо к изготовлению печатной платы самостоятельно. На данный момент существуют несколько уже устоявшихся способов и их разновидностей для изготовления печатных плат, среди них, например, «ЛУТ» – лазерно-утюжная технология, заключающаяся в переносе напечатанного на бумаге рисунка платы на фольгированный текстолит, технология лазерного выжигания и фрезерование.

Решением задачи оптимизации нанесения эскиза контактных дорожек платы может послужить собранный из доступных деталей трёхосевой станок с числовым программным управлением (ЧПУ). Составными компонентами станка выступают: модуль Arduino, либо его аналоги, два CD-ROM привода, драйверы управления шаговыми двигателями, блок питания, пишущий элемент и сервопривод, либо подобное ему устройство. Приводы CD-ROM являются каретками-направляющими, управляемые драйверами, которые обеспечивают перемещение рабочего пишущего элемента в плоскости XY. За отрыв и прижатие к плоскости XY, то есть перемещение по оси Z, отвечает сервопривод, на котором и размещён пишущий элемент. Оптимальным (и наиболее бюджетным) будет являться маркер с минимальным значением толщины стержня, что обеспечит высокую точность нанесения будущих дорожек на плату. Здесь стоит заметить, что в роли начертателя может выступать любое устройство, способное оставлять контролируемый равномерный слой защитного вещества (воска, краски). Модуль Arduino будет содержать в себе прошивку, обеспечивающую связанную работу всех компонентов. Наиболее предпочтительной, зарекомендовавшей себя с хорошей стороны, является прошивка GRBL, распространяемая свободно с помощью веб-сервиса GitHub. Перед загрузкой прошивки на компьютер необходима установка драйвера CH340SER, эмулирующего COM-порт для «общения» с микроконтроллером. Загрузка прошивки происходит с помощью встроенного в плату порта micro-USB, либо type-C. Работа со станком с ЧПУ предполагает исполнение им командных файлов, именуемых G-

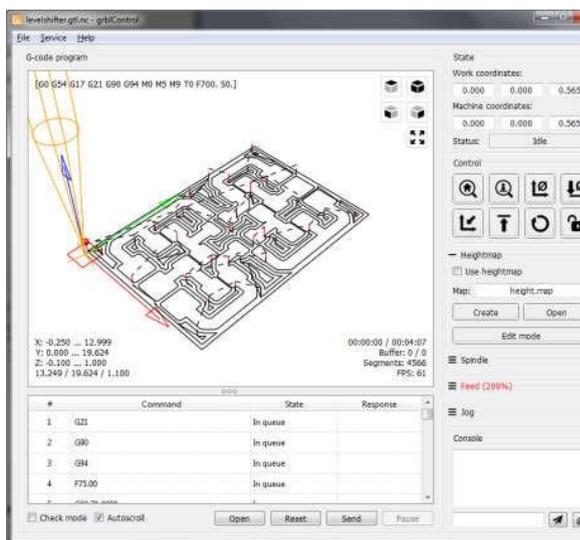


Рисунок 4 — Визуализация рисунка платы в программе grblControl

кодами. Для построения G-кодов можно использовать специальные программы, либо использовать подключаемые к программам для разводки плат плагины, позволяющие напрямую конвертировать геометрию будущей платы в командный файл для станка с ЧПУ. Немаловажным аспектом на данном этапе является визуализация командного файла. Визуализация необходима для контроля соответствия проектируемого и исполняемого шаблона платы. Этот пункт реализуется путем использования дополнительного

программного обеспечения (например приложения grblControl), которое распространяется свободно с помощью уже упомянутого ранее веб-сервиса GitHub. Программа позволяет настроить параметры работы станка, а также отслеживать в режиме реального времени исполнение командного файла.

Особенность такого подхода к изготовлению самодельных печатных плат заключается в минимизации влияния человеческого фактора. Человек исключается ещё на стадии проверки работоспособности станка и настройки точности позиционирования рабочего элемента, что крайне положительно влияет на повторяемость и точность изделия.

Итогом сборки является станок с ЧПУ из достаточно доступных деталей, способный быстро и качественно, при правильно подобранных параметрах начертания, переводить рисунок разведённой платы на фольгированный текстолит. Дальнейший же процесс не изменяется: за начертанием следует травление, а затем лужение и металлизация платы. Такой станок может стать хорошим подспорьем для дальнейших проектов. При необходимости такой станок всегда можно переоборудовать, например, в лазерный гравер, маломощный сверлильный станок, либо в подобные по функционалу устройства.

1. Сайт GitHub [Электронный ресурс] - <https://github.com/>
2. Panchal H. B. et al. Arduino Based CNC Machine //International Journal of Research in Science & Engineering, P-ISSN. – С. 2394-8280.
3. Girhe P., Yenkar S., Chirde A. Arduino based cost effective CNC plotter machine //International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 6-9.

СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ ТИПА ROV (ТНПА)

Заярный В.П., Чернявский Ю.М.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В Республике Беларусь самый глубокий водоем - озеро Долгое в Глубокском районе Витебской области с максимальным значением глубины 53 метра. В нашей стране есть и другие большие и достаточно глубокие реки и озера, много речных судов и барж, которым необходимо подводное обследование. В этом нелегком процессе водолазов и аквалангистов хорошо заменяют подводные роботы ROV(ТНПА) с управлением по кабелю, так как беспроводное управление в связи с высокой плотностью и разнородностью воды имеет ряд проблем. Кроме того, подводные роботы не так сильно ограничены низкими температурами, как человек, и не столь критичны к работам на больших глубинах.



Оператору ТНПА очень важно знать глубину нахождения объекта с точностью в пределах 10 – 30 см. Выпускаемые для этой цели подводные измерители давления промышленного типа стоят очень дорого, речь идет о суммах значительно более 3000 рублей.

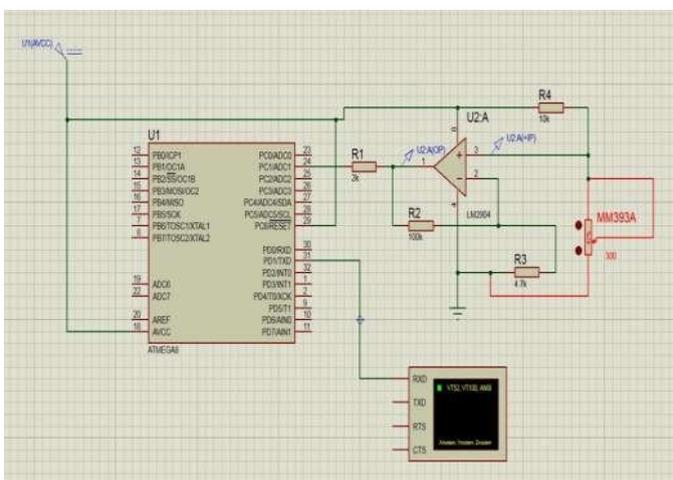
В связи с этим предлагается использовать распространенный недорогой мембранный датчик давления ММ363А производства завода «Автоприбор» г.Владимир РФ. Датчик имеет

линейную характеристику,

которая позволит использовать его на глубинах до 70 метров.

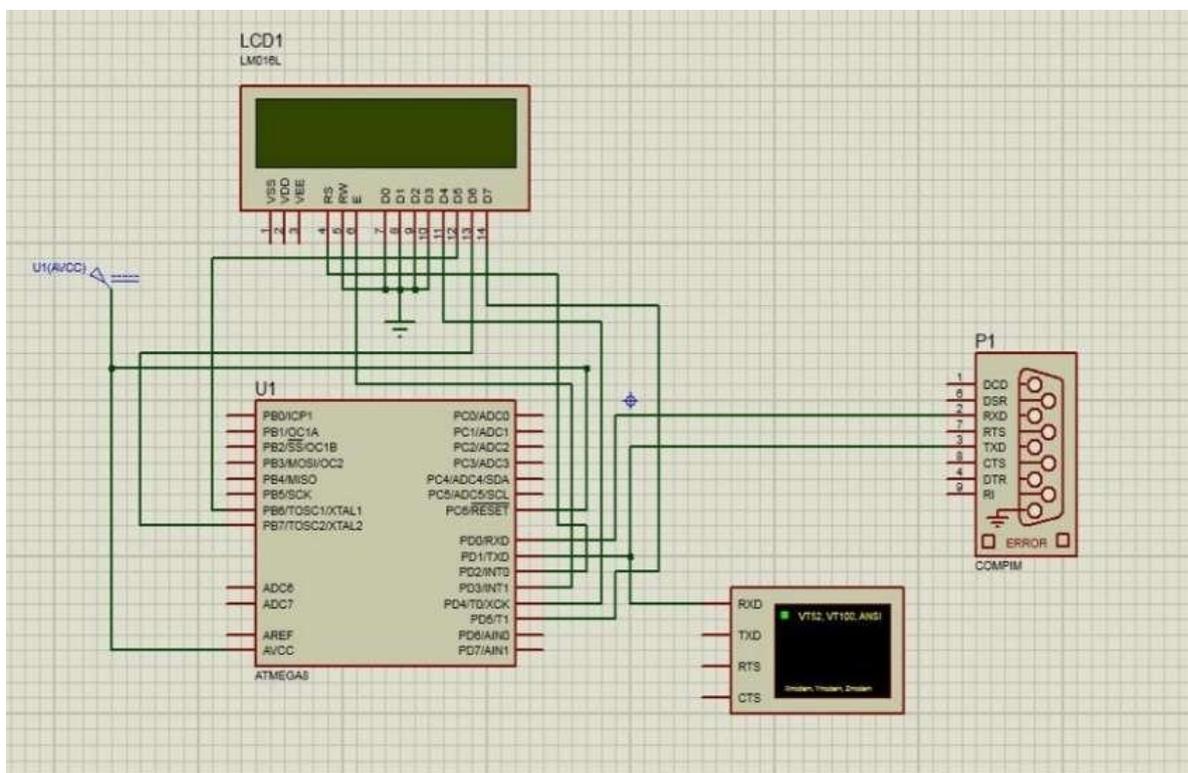
Давление воды воздействует на мембрану, которая изменяет сопротивление. Подключив датчик через операционный усилитель с $K_u=21$, на выходе ОУ мы получаем

нормализованный ток в пределах 4-20 мА, который



подаем на вход PC1/ADC1 микроконтроллера Atmega8. Далее в цифровой форме по многожильной водостойкой витой паре сигнал подается на второй микроконтроллер Atmega8, который размещается на панели оператора

надводном блоке управления либо на судне, либо на берегу. В результате на



LCD дисплее LM016L получаем строку со значением глубины ТНПА. Вторая строка LCD дисплея используется для вывода температуры воды. Код управления измерителем глубины (давления) написан на языке С. Питающий и управляющий кабель ТНПА выпускается в кевларовой оболочке для увеличения прочности до 150 кг на разрыв. Чтобы устранить проблему запутывания кабеля на катушке предлагается следующее решение. На данный момент, при эксплуатации ТНПА, используются береговые или плавающие станции (блоки управления), а также донные модули базирования. При невозможности использования донной базы (модуля) ТНПА, целесообразно использовать промежуточные базы (модули) на глубинах от 10 до 59 метров (для доступа аквалангистов) и более, в зависимости от требуемых глубин погружения. Во избежание запутывания кабеля «робот-база» применяют катушки для кабеля со скользящим токосъемником и всевозможные блинные контактные кольца, вплоть до волоконно-оптических поворотных соединений.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОДОБЛАСТЕЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ЯЧЕИСТЫХ СТРУКТУР В МОНОЛИТНЫЕ ДЕТАЛИ

Ковалева И.Л., Маканов Д.В., Полозков Ю.В.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Задача перепроектирования монолитных деталей в легковесные путем интеграции ячеистых структур включает этап определения областей для интеграции. В качестве областей интеграции ячеистых структур можно использовать наименее нагруженные места в теле детали, выявленные в результате конечно-элементного анализа ее напряженно-деформированного состояния [1]. Однако найденные области могут иметь форму и размеры, не соответствующие интегрируемым ячеистым структурам. Поэтому предлагается выполнить процедуру разделения найденных областей на подобласти, представляющие собой выпуклые многогранники, в идеальном случае параллелепипеды.

Процедуру разделения областей на подобласти можно трактовать как задачу кластеризации. В этом случае объектами кластеризации будут являться узловые точки пирамидальных конечных элементов. В процессе кластеризации требуется сформировать оптимальное количество кластеров, которые затем можно будет преобразовать в элементы заданной формы. Количество классов заранее не известно, начальные точки для кластеризации также не известны. Исходя из этих условий, для кластеризации был выбран алгоритм агломеративной иерархической кластеризации Ланса – Уильямса. Основные этапы алгоритма приведены на рисунке 1.

- 1: инициализировать множество кластеров C_1 :
 $t := 1; C_t = \{\{x_1\}, \dots, \{x_l\}\};$
- 2: **для всех** $t = 2, \dots, l$ (t – номер итерации):
- 3: найти в C_{t-1} два ближайших кластера:
 $(U, V) := \arg \min_{U \neq V} R(U, V);$
 $R_t := R(U, V);$
- 4: изъять кластеры U и V , добавить слитый кластер $W = U \cup V$:
 $C_t := C_{t-1} \cup \{W\} \setminus \{U, V\};$
- 5: **для всех** $S \in C_t$
- 6: вычислить расстояние $R(W, S)$ по формуле Ланса-Уильямса:

Рисунок 1 – Алгоритм Ланса-Уильямса

С помощью этого алгоритма можно выполнить кластеризацию на любое число классов. Одним из подходов, на основании которого можно

определять требуемое количество классов, если их число заранее не известно, – это выполнить оптимальную кластеризацию, т.е. кластеризацию на основании заданных критериев. С точки зрения гипотезы компактности в качестве критериев можно использовать критерий, описывающий среднее расстояние внутри классов для классификации, и критерий, определяющий среднее расстояние между классами для классификации. Эти критерии характеризуют степень компактности сформированных классов. На основании этих локальных критериев был разработан обобщенный аддитивный критерий. Чем меньше значение обобщенного критерия, тем лучше кластеризация. Примеры работы алгоритма кластеризации приведены на рисунке 2.

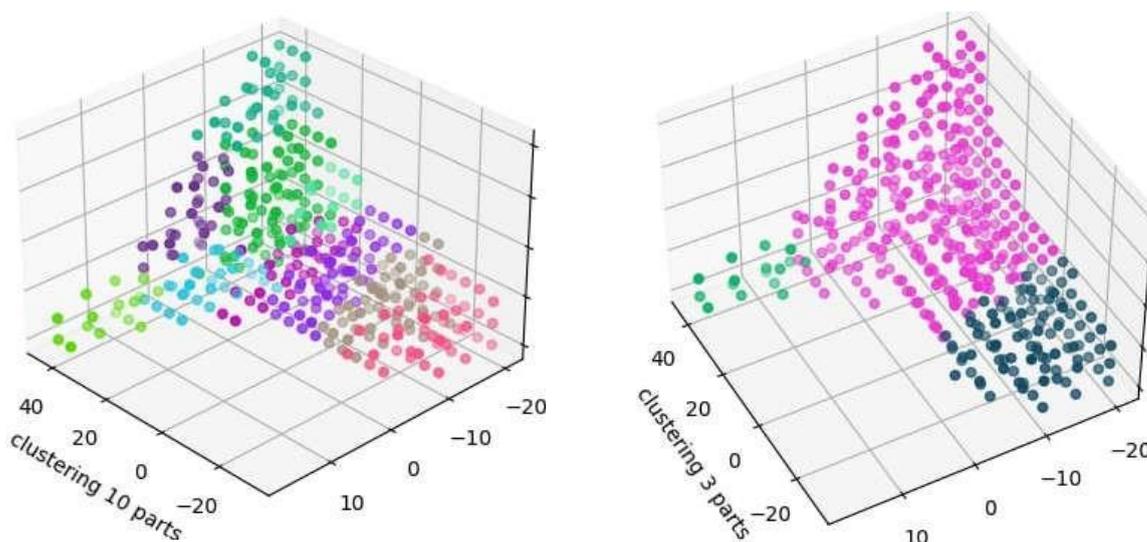


Рисунок 2 – Результаты работы алгоритма кластеризации при различных параметрах

Алгоритм реализован на языке Python. Основными модулями являются: Main.py, PointWorker.py, Cluster.py, Point.py, DistanceWorker.py.

Анализ результатов кластеризации показывает принципиальную возможность разбиения исходных областей на простые подобласти для дальнейшей интеграции ячеистых структур. Однако наличие границ детали накладывает ограничение по условию формирования выпуклых многоугольников, в частности, параллелепипедов, из множества точек, объединенных в кластеры. Поэтому целесообразно доработать обобщенный критерий кластеризации с учетом ограничений, обусловленных границами деталей.

1. Ковалева И. Л. и др. Топологическая оптимизация конструктивной геометрии легковесных деталей //Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – №. 3. – С. 50-55.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Кожевникова Г.В.¹, Щукин В.Я.², Дубенец С.С.¹

1).Физико-технический институт НАН Беларуси

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

Применение усовершенствованных теорий разрушения металла при пластических деформациях позволяет улучшить качество поковок и способствует более широкому использованию в промышленности малопластичных металлов и сплавов с высокими эксплуатационными свойствами. Повышение ресурса пластичности титановых сплавов ТС21 и ВТ9 обеспечит повышение качества поковок валов авиационных двигателей и беспилотных летательных аппаратов.

Использование усовершенствованной феноменологическую деформационную теорию разрушения [1] позволяет определить ресурс пластичности поковки, вероятность разрушения металла по закону нормального распределения Гаусса, место в поковке, где произойдет разрушение, оптимизировать параметры технологии производства поковки. Совершенствуется теория В.Л. Колмогорова: диаграмма пластичности преобразуется в поверхность пластичности, показано влияние видов деформации на разрушение, в качестве критерия разрушения принят ресурс пластичности, создано множество экспериментальных методов определения пластических свойств металлов, способов повышения ресурса пластичности поковок.

Деформационный, энергетический и эмпирический критерии разрушения металлов при пластическом деформировании не противоречат друг другу, но феноменологический деформационный критерий до последнего времени считался наиболее универсальным [2].

Существующие энергетические критерии построены на предположении, что разрушение наступает после совершения для конкретного материала определенной работы. Для зарождения трещины, ее роста и объединения микротрещин в макрополость необходимо совершить определенную работу, которая постоянна для конкретного материала при стабильной температуре. В существующих теориях не учитывает весь тензор напряжений, а только его часть.

Эмпирическая теория предполагает экспериментальное определение зависимости разрушения от параметров процесса [3]. Недостаток этого направления – необходимость постановки эксперимента и требование с одной стороны не пропустить все факторы, влияющие на процессы разрушения, и с другой стороны диапазон экспериментов должен перекрывать диапазон параметров процесса.

Теории разрушения металлов должны отражать два фактора: среда, в которой деформируется металл, и свойства этого металла. Третий фактор – это критерий, по которому оценивается событие – разрушение металла. В феноменологической деформационной и энергетической теориях критерием пластичности служит ресурс пластичности. Это безразмерная величина. Для феноменологической деформационной теории ресурс пластичности равен единица минус отношение накопленной степени деформации сдвига, деленной на предельную степень деформации сдвига, при которой происходит разрушение. Для энергетической теории – единица минус отношение энергии материальной точки материала при ее движении вдоль линии тока к энергии материальной точки при разрушении. Ресурс пластичности суммируется по этапам деформации.

Среда, в которой происходит деформация, определяется следующими параметрами: напряженное состояние (среднее напряжение, параметр третьего инварианта тензора напряжений), температура среды, скорость нагрева и скорость охлаждения, скорость деформации, вид деформации (монотонная однонаправленная, монотонная разнонаправленная, немонотонная разнонаправленная), температура фазового изменения материала, импульсный ток, магнитное поле, ядерное излучение (последние два параметра – это гипотеза).

Свойства металла определяются следующими параметрами: плотность дислокаций, неметаллические включения, размеры трещин и полостей, размеры зерен металла, ориентация зерен, тип кристаллической решетки. У исследуемых в работе ТС21 и ВТ9 титановых сплавов гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка.

Совершенствование феноменологической деформационной теории предполагается провести по следующему направлению – ресурс пластичности коррелировать с плотностью дислокаций, изменяющийся от накопленных деформаций и воздействия температуры нагрева [1].

1. Кожевникова, Г.В. Пластические свойства металлов и сплавов: феноменологическая деформационная теория разрушения при пластическом течении / Г.В. Кожевникова, В.Я. Щукин. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 277 с.

2. Кожевникова, Г. В. Критерии вскрытия осевой полости при поперечно-клиновой прокатке / Г. В. Кожевникова, В. Я. Щукин, С. С. Дубенец // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2022. Т.67. – № 4. – С. 370–378.

3. Pater, Z. Establishment of a new hybrid fracture criterion for cross wedge rolling / Z. Pater, J. Tomczak, T. Bulzak // Int. J. Mech. Sci. – 2020, 167, e105274.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Конопацкий Д.А.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время усиливается роль автоматизации образовательного процесса в связи с широким применением технических средств обучения в частности, и информационно-коммуникационных технологий в целом.

Информационно-коммуникационные технологии прочно вошли в нашу жизнь и современные подходы в системе образования не могут отставать, а должны не только отвечать современным требованиям, но и опережать их. Образовательный процесс уже не воспринимается, как только мел и доска, поэтому технические средства обучения являются одной из главных составляющих обеспечения качества учебного процесса.

Использование информационно-коммуникационных технологий подразумевает под собой высокую степень автоматизации как образовательного процесса, так и управления этим процессом.

В целом автоматизация предполагает выполнение некоторых функций техническими средствами на основе информационно-коммуникационных технологий, а не человеком. В отдельных случаях автоматизация может полностью исключать участие человека в ходе образовательного процесса.

Автоматизация процесса обучения позволяет сократить время получения образования, выбрать индивидуальную образовательную траекторию, объективно, без учета человеческого фактора, оценить полученные обучающимся знания и др.

На сегодняшний день вопросы автоматизации учебного процесса наиболее актуальны для системы дополнительного образования взрослых. Слушателям, которые уже являются специалистами в той или иной области необходимо в кратчайшие сроки удовлетворять свои образовательные потребности с целью обеспечения карьерного роста, развития бизнеса, совершенствования производственного процесса для того, чтобы быть конкурентным в современном мире.

Основой автоматизация учебного процесса являются технические средства обучения. Вместе с тем, наличие таких технических средств обучения в учреждениях образования (компьютеров, планшетов, мультимедийных систем и др.) еще не говорит о высоком качестве образования. Определяющую роль играет, в том числе эффективность использования таких средств и их содержательная составляющая.

В 2022 году был принят в новой редакции Кодекс Республики Беларусь об образовании (далее – Кодекс).

Впервые дистанционная форма была выделена в отдельную форму получения образования.

В соответствии с пунктом 4 статьи 16 Кодекса дистанционная форма получения образования - обучение и воспитание, предусматривающие преимущественно самостоятельное освоение содержания образовательной программы обучающимся и взаимодействие обучающегося и педагогических работников на основе использования дистанционных образовательных технологий.

Под дистанционными образовательными технологиями понимаются образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационно-коммуникационных технологий при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников.

В нынешних условиях дистанционная форма получения образования востребована и наиболее перспективна. В последние годы ее развитию во многом поспособствовала санитарно-эпидемиологическая ситуация в нашей стране и в мире. Поэтому многие учреждения образования начали использовать в образовательном процессе дистанционные технологии.

Вместе с тем на законодательном уровне дистанционная форма в республике только формируется как самостоятельная форма получения образования.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2022 г. № 518 «О реализации Закона Республики Беларусь от 14 января 2022 г. № 154-З «Об изменении Кодекса Республики Беларусь об образовании» определен перечень специальностей, по которым не допускается обучение с применением дистанционных технологий. Вместе с тем не вызывает сомнений, что данный перечень будет сокращаться, так как у учреждений образования будет накапливаться опыт проведения такого рода занятий, а также совершенствоваться технологии и технические средства обучения.

Например, в филиале БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики» в 2021 году было обучено с применением элементов дистанционного обучения 77 человек, а уже в 2022 году – 367 человек более чем по 15 направлениям. В настоящее время проводится анализ полученного опыта с целью открытия дистанционного обучения как отдельной формы получения образования.

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании.

2. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2022 г. № 518 «О реализации Закона Республики Беларусь от 14 января 2022 г. № 154-З «Об изменении Кодекса Республики Беларусь об образовании».

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА СЪЕМ МЕТАЛЛА

Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршута А.Э., Сорока Е.В.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Для снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменной обработки (ЭПО) с целью, модификации и полирования поверхности изделий из металлических материалов, их размерной обработки при сохранении высокой интенсивности, качества и экологической безопасности разработан новый импульсный метод (ИЭПО), совмещающий преимущества как электрохимического, так и электролитно-плазменного процесса [1]. В работе исследовалось влияние соотношения амплитуд и длительностей электрохимической (ЭХС) и электролитно-плазменной стадий на производительность ИЭПО.

Увеличение напряжения при длительности импульса электрохимической стадии 0,05 мс приводит к снижению съема с 4 % при 0 В до 1,8 % при 80 В. При длительности импульса электрохимической стадии 0,25 мс съем уменьшается с 5 % при 0–60 В до 1,8 % при 80 В. При длительности импульса ЭХС 0,5 мс наблюдается увеличение съема с 5% при 0 В до 6,3 % при 60 В. Увеличение напряжения ЭХС до 100 В приводит к снижению съема до 3 %. Снижение съема при напряжении электрохимической стадии более 60 В для всех длительностей импульса ЭХС объясняется, тем, что при таком его значении на ток начинает существенно влиять интенсивное образование пара и газа возле поверхности образца. При таких условиях увеличивается сопротивление приэлектродной зоны и, соответственно, снижается ток.

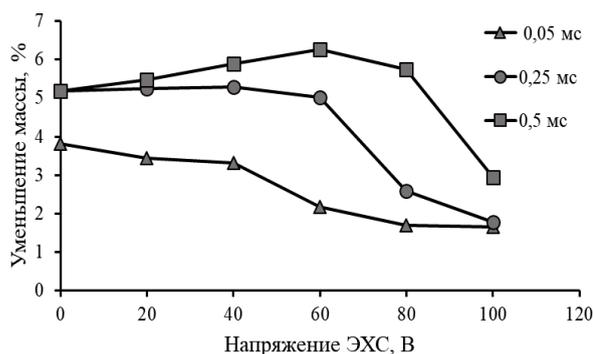


Рис. 1. Влияние амплитуды электрохимической стадии процесса ИЭПО на изменение массы образца при различных значениях длительности импульса

Особенности влияния амплитуды импульса напряжения ЭХС процесса ИЭПО на изменение массы образца можно объяснить тем, что при длительности импульса 0,05 мс парогазовая оболочка (ПГО) не

исчезает полностью, что приводит к снижению силы тока, а, следовательно, и съема металла. При длительности 0,25 мс, а, тем более, при 0,5 мс схлопывание ПГО более вероятно, ток электрохимической стадии выше и, соответственно, больше съем. Ток электролитно-плазменной стадии достигает максимального значения 4,5 А при длительности импульса 0,5 мс и напряжении ЭХС 0 В, а при длительности импульса 0,05 мс и напряжении 0 В ток равен 1,7 А. Снижение тока при малой длительности импульса также объясняется влиянием ПГО.

Из зависимостей на рис. 2 видно, что при значении коэффициента заполнения (КЗ) 2,5 % (длительность ЭХС – 0,05 мс) уменьшение массы минимально и составляет 2,8–3,0 % для всех значений напряжения (0–40 В). При увеличении КЗ до 10 % уменьшение массы достигает 5,0–5,5 % также для всех значений напряжения (0–40 В). При дальнейшем увеличении КЗ (увеличении длительности ЭХС) съем увеличивается до 8,5 % при напряжении 40 В и КЗ 95 %. Соответственно начало роста съема наблюдается при КЗ более 20 % (длительность – более 0,4 мс). Эти результаты показывают, что на рост съема в значительной степени влияет значение напряжения ЭХС. Этот факт подтверждается зависимостями на рис. 3, демонстрирующими влияние коэффициента заполнения импульса стадий ИЭПО и амплитуды импульса напряжения ЭХС на изменение тока электрохимической стадии. При более длительном импульсе электрохимической стадии и большем напряжении ток существенно больше и при КЗ 95 % и напряжении 40 В он достигает 5,8 А по сравнению с 0,0–0,2 А при КЗ 2,5 % и напряжении 0 В. Для сравнительной оценки дополнительно выполнялась традиционная ЭПО на постоянном токе при напряжении 300 В. Съем составил 1,77%, что в 1,4–4,7 раза меньше, чем при исследованных режимах ИЭПО.

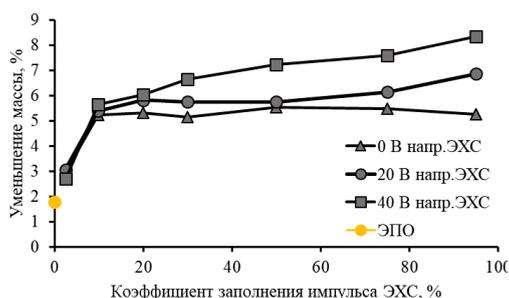


Рис. 2. Влияние коэффициента заполнения импульса стадий и амплитуды импульса напряжения ЭХС на изменение массы образца

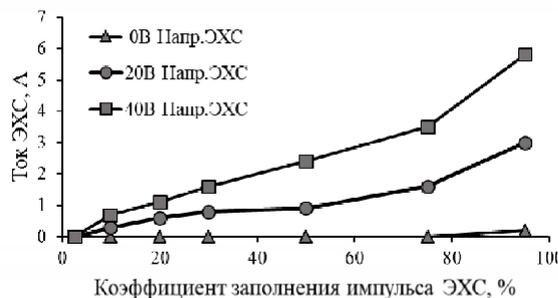


Рис. 3. Влияние коэффициента заполнения импульса стадий и амплитуды импульса напряжения ЭХС на изменение ее тока

1. Электролитно-плазменная обработка в управляемых импульсных режимах [Электронный ресурс] / А. Ю. Королёв [и др.] // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 279–286.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА ПРИ
МОДИФИЦИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

**Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Нисс В.С.,
Алексеев Ю.Г., Иванов А.И.**

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В качестве альтернативы существующим методам упрочнения поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения [1]. В работе исследовалось влияние тепловых и электрических условий (температура электролита, напряжение, плотность тока, удельная мощность) в процессе модифицирования поверхности титана с применением электролитно-плазменного нагрева на скорость нагрева, максимальную температуру нагрева и долю тепла, затрачиваемую непосредственно на нагрев.

Для исследований использовались образцы из титанового сплава ВТ6 диаметром 8 мм и длиной 30 мм. В качестве электролита использовался 10%-й водный раствор хлорида аммония. На рис. 1 представлены вольтамперные характеристики электролитно-плазменного нагрева при различных значениях температуры электролита. Для расчёта скорости и удельной мощности нагрева использовались данные, полученные при анализе начальных временных разверток тока. На развертках выделяются следующие стадии процесса нагрева (рис. 2).

1. Стадия погружения образца в электролит, во время которой происходит рост тока с образованием парогазовой оболочки вокруг образца. Длительность этой стадии, определяется скоростью погружения образца в электролит.

2. Стадия нагрева, во время которой в результате роста температуры образца увеличивается толщина парогазовой оболочки с постепенным снижением силы тока до постоянного значения. Длительность этой стадии соответствует времени нагрева образца.

3. Стадия поддержания температуры образца, во время которой значение силы тока остается постоянным.

Удельная мощность электролитно-плазменного нагрева определялась по стадии поддержания температуры образца – умножением усреднённого значения стабилизированного тока на соответствующее рабочее напряжение.

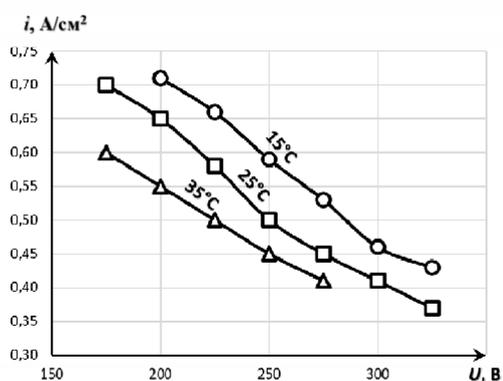


Рис. 1. Вольтамперные характеристики процесса анодного нагрева при различных значениях температуры электролита

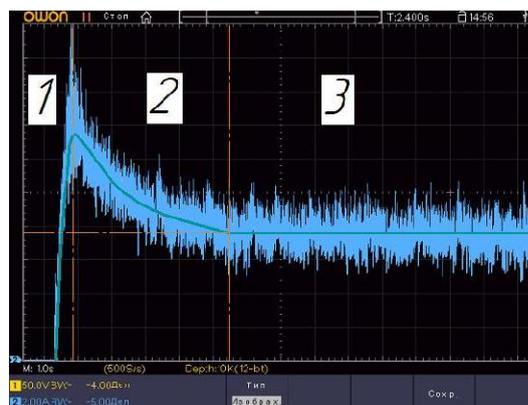


Рис. 2. Осциллограмма переходных процессов электролитно-плазменного нагрева при напряжении 175В

Зависимость распределения максимальной температуры нагрева от рабочего напряжения имеет параболический характер. В диапазоне 175–250 В наблюдается рост максимальной температуры нагрева, а далее происходит ее снижение. Во всём исследуемом диапазоне значений напряжения 175–275 В происходит плавный рост удельной мощности нагрева. В диапазоне от 175 до 250 В происходит увеличение скорости нагрева. Дальнейшее увеличение напряжения приводит к снижению скорости нагрева.

На рис. 3 представлена зависимость изменения доли тепла от рабочего напряжения. Максимальная доля тепла, поступающего в анод ($\eta_{ан} = 24,6\%$), обеспечивается при напряжении 250 В. С дальнейшим увеличением рабочего напряжения величина $\eta_{ан}$ снижается.

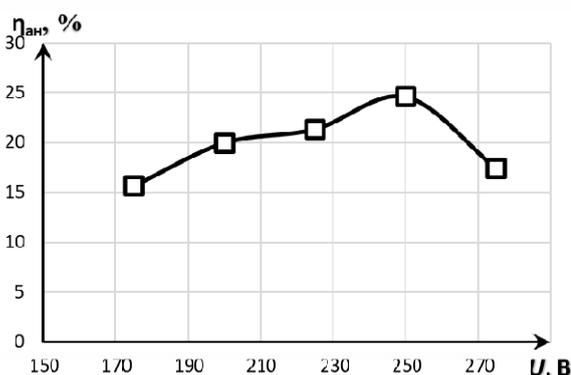


Рис. 3. Зависимость изменения доли тепла, затрачиваемого на нагрев анода, от напряжения

1. Особенности электролитно-плазменного нагрева при электрохимико-термической обработке стали / Ю.Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. – 2013. – №6. – С. 20-24.

ФЕНОМЕН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ КАК ОСНОВА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Феномен золотого сечения заключается в том, что объекты природы, экономики, общества, техники, включая системы автоматического управления, стремятся к состоянию устойчивого гармонического развития, когда отношение между показателями большей и меньшей частями элементов систем соответствуют золотой пропорции [1,2]. Поэтому при решении задач структурно-параметрической оптимизации систем автоматического управления сложными динамическими системами, позволяющими достигать высокого качества управления, целесообразно использование феномена золотого сечения и ряда численных значений отношения между числами последовательности ряда Фибоначчи, которые позволяют математически строго найти идеальные соотношения структуры оптимальных регуляторов и их параметров динамической настройки [3].

Феномен (греческое *phainomenon* – являющее себя) проявляется как идентичное в многообразии способов его данности [4].

В 1202 году итальянский математик (монах из Пизы) опубликовал математический труд «Книга об абак» (счетной доске), где собрал известные в то время задачи, включая задачу «Сколько пар кроликов в один год от одной пары родится». В книге он выстроил следующий ряд чисел 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, ..., который стал известен как ряд Фибоначчи. Если при этом предыдущее число ряда делить на последующее, то численное значение отношения между числами последовательности будет увеличиваться и при $n=12$ достигает числа $\varphi = 0,618...$ (число Фибоначчи), которое формирует бесконечный ряд пропорций золотого сечения:

$$1, \varphi, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4, \varphi^5, \varphi^6, \varphi^7, \dots, \varphi^n. \quad (1)$$

Этот ряд получил широкое распространение в архитектуре, скульптуре, живописи и т.д.

Так, например, пропорции храма Василия Блаженного в Москве определяются восьмью членами $n=8$ золотого сечения (1). В теории автоматического управления в большинстве случаев достаточно использовать численные значения отношения между предыдущим числом ряда Фибоначчи к предыдущему при $n=6$ [3].

Еще Пифагор установил, что наиболее совершенным делением целых чисел на две неравные части является такое деление, при котором целое

так относится к большей части целого, как большая часть относится к меньшей части:

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{1-x}, \quad (2)$$

где x - большая часть целого; $1-x$ - меньшая часть целого.

Пропорцию (2) можно записать также, как отношение большей части целого x к целому (1), а меньшей части ($1-x$) к большей:

$$\frac{x}{1} = \frac{1-x}{x}. \quad (3)$$

Пропорцию (3) представим в виде квадратичного уравнения:

$$x^2 = 1-x, \quad (4)$$

один из корней которого будет равен отношению меньшей части к большей:

$$x_1 = \varphi = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618\dots,$$

а отношение большей части к меньшей

$$x_2 = \frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1,618\dots \quad (5)$$

В пропорциях золотого сечения можно в качестве целого принимать любое число, взятое за 100% (рис. 1), а затем меньшую часть брать за целое и т.д.

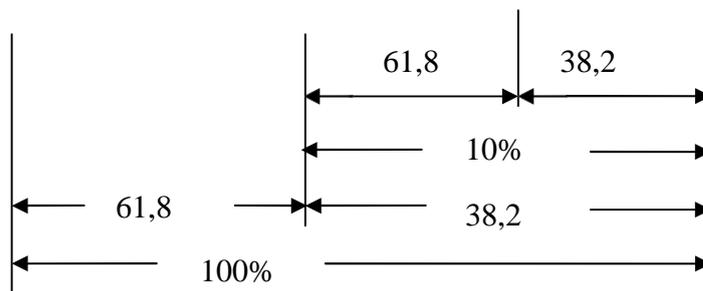


Рис. 1. Интерпретация частей золотого сечения в процентах

Вместе с тем большая часть целого в пропорции золотого сечения, а также само целое могут быть выражены не только числами, но и соответствующими передаточными функциями систем автоматического управления. Так, например известная передаточная функция оптимального регулятора с динамическим компенсатором динамики объекта имеет следующий вид [3]:

$$W_P^{opt}(p) = \frac{1}{W_{OB}(p)} * \frac{W_{3Д}^{opt}(p)}{1 - W_{3Д}^{opt}(p)} = [W_{OB}(p)]^{-1} W_{3Д}^{PC}(p) \quad (6)$$

где $W_{OB}(p)$ - передаточная функция объекта по каналу регулирующего воздействия; $W_{3Д}^{opt}(p)$ - заданная передаточная функция критерия

оптимальной обработки скачка задания замкнутой системой; $W_{3д}^{PC}(p)$ - заданная передаточная функция разомкнутой системы, равная [3]:

$$W_{3д}^{3C}(p) = \frac{W_{3д}^{opt}(p)}{1 - W_{3д}^{opt}(p)} = W_P^{opt}(p)W_{OB}(p); \quad (7)$$

где $[W_{OB}(p)]^{-1}$ - компенсатор динамики объекта.

Если за большую часть целого принять заданную передаточную функцию замкнутой системы

$$x = W_{3д}^{opt}(p), \quad (8)$$

то правая часть пропорции золотого сечения (1) с учетом (7) примет вид:

$$\frac{W_{3д}^{opt}(p)}{1 - W_{3д}^{opt}(p)} = W_P^{opt}(p)W_{OB}(p). \quad (9)$$

Из равенства (9) находим передаточную функцию оптимального регулятора с динамическим компенсатором:

$$W_P^{opt}(p) = \frac{1}{W_{OB}(p)} * \frac{W_{3д}^{opt}(p)}{1 - W_{3д}^{opt}(p)}, \quad (10)$$

которая равна известной передаточной функции (6).

Если с учетом (8) левую часть пропорции (1) приравнять передаточной функции разомкнутой системы, то получим равенство

$$\frac{1}{W_{3д}^{opt}(p)} = W_{3д}^{PC}(p), \quad (11)$$

откуда целое будет равно произведению заданной передаточной функции разомкнутой системы на заданную передаточную функцию замкнутой системы:

$$1 = W_{3д}^{PC}(p)W_{3д}^{opt}(p), \quad (12)$$

которой соответствует, например, структурная схема программной системы автоматического управления (рисунок 2):

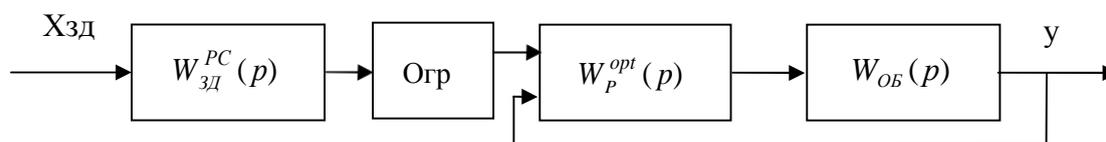


Рис. 2. Структурная схема программной системы автоматического управления температурой перегретого пара при пуске котлоагрегата энергоблока

Здесь между выходом программного задающего устройства (ПЗУ) с передаточной функцией $W_{3д}^{PC}(p)$ и регулятором $W_P^{opt}(p)$ установлен ограничитель $Огр$.

Пусть передаточная функция объекта управления имеет следующий вид:

$$W_{об}(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, \quad (13)$$

где K_1 - коэффициент передачи; T_1 - постоянная времени объекта управления.

Передаточной функции (13) объекта управления соответствует заданная передаточная функция критерия оптимальной отработки скачка задания [3]:

$$W_{зд}^{opt}(p) = \frac{1}{T_{зд} p + 1}, \quad (14)$$

где $T_{зд}$ - единственный расчетный параметр динамической настройки оптимального регулятора, равный

$$T_{зд} = \gamma T_1. \quad (15)$$

Здесь γ - весовой коэффициент из ряда чисел пропорции золотого сечения (1):

$$\gamma \in [1, \varphi, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4, \varphi^5, \dots, \varphi^n]. \quad (16)$$

При этом передаточная функция разомкнутой системы с учетом (14) примет вид идеального интегрирующего звена:

$$W_{зд}^{PC}(p) = \frac{1}{T_{зд} p}, \quad (17)$$

которая реализует с ограничителем $O_{гр}$ заданную передаточную функцию программы подъема температуры пара за котлом с заданной скоростью.

Программу обрабатывает оптимальный регулятор пускового впрыска с передаточной функцией вида [3] с учетом (13) и (14):

$$W_P^{opt}(p) = [W_{об}(p)]^{-1} W_{зд}^{PC(n=1)}(p) = \frac{T_1(T_1 p + 1)}{K_1 T_1 p} = \frac{K_P(T_I p + 1)}{T_I p}, \quad (18)$$

реализованный в структуре ПИ-регулятора с одним расчетным параметром динамической настройки $T_{зд} = \gamma T_1$. Структура оптимального регулятора с динамической компенсацией соответствует структуре пропорции золотого сечения.

Здесь: $K_P = \frac{T_1}{K_1 T_{зд}}$ - коэффициент передачи; $T_I = T_1$ - время интегрирования регулятора.

При достижении номинального значения температуры перегретого пара система начинает выполнять функцию стабилизации регулируемого параметра.

Выводы:

1. Структура оптимального регулятора с динамической компенсацией должна полностью соответствовать структуре пропорции золотого сечения и структуре передаточной функции объекта управления по каналу регулирующего воздействия.

2. Для расчета параметров оптимальной динамической настройки регуляторов и для объектов с запаздыванием за целое необходимо принимать условное запаздывание, а для объектов без запаздывания – малую постоянную времени передаточной функции объекта управления по каналу регулирующего воздействия. Для объектов с передаточной функцией в виде инерционного звена первого порядка – время разгона T_1 .

3. Использование феномена золотого сечения в инвариантных системах автоматического управления теплоэнергетическими процессами позволяет достигать высокого качества обработки основных внешних воздействий на систему, существенно лучшего иностранных аналогов [3].

1. Сороко, Э.М. Золотое сечение, процессы самоорганизации и эволюции систем: введение в общую теорию гармонизации систем/ Э.М. Сороко. М.: Комкнига, 2006. - 264с.

2. Кулаков, Г. Т., Кравченко В.В. Феномен золотого сечения как фактор структурной устойчивости и гармонии динамических систем// Сборник материалов секции «Энергетическая безопасность союзного государства». Форум проектов программ Союзного государства – III Форум вузов инженерно-технического профиля (6 – 11 октября 2014 года). – Минск: БНТУ, 2014.- С.111.

3. Теория автоматического управления: учебное пособие/ Г.Т.Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа. 2022. - 197с.

4. Большой энциклопедический словарь: Философия, социология, религия, изотеризм, политэкономия/ Главн. науч. ред. и сост. С.Ю. Солодовников. – Мн.: МФЦТ, 2002. – 1008с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ 300 МВТ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС

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

Лукомльская ГРЭС – крупнейшая тепловая электростанция Республики Беларусь, которая привлекается к регулированию частоты и перетоков мощности. В 80-х годах прошлого века типовая система автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ), первая и вторая её модификации были разработаны и внедрены на восьми энергоблоках 300 МВт Лукомльской ГРЭС Южным отделением «Южтехэнерго», БЭРН, БПИ, БГПА под руководством к. т. н., доцента Кулакова Г.Т.

В настоящее время САУМБ не удовлетворяют требованиям современных стандартов, регламентирующих нормы участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков мощности [1]. На рисунке 1 изображена функциональная схема предлагаемой САУМБ 300 МВт, на которой красным цветом обозначены её отличия от типовой системы.

На рис. 1 использованы следующие обозначения: ЦУВМ – планируемая центральная управляющая вычислительная машина; ОСЧ САУМС – общестанционная часть системы автоматического управления мощности электростанции; ПУ – переключающее устройство; АЗМБ – автоматический задатчик мощности блока; ЗН – задатчик нагрузки; ЗС – задатчик скорости; I – базовый режим работы САУМБ; II – регулирующий режим работы САУМБ; N_3 – заданное значение мощности энергоблока; N_3^{ϕ} – то же в базовом режиме; N_3^P – то же в регулирующем режиме; N_{ϕ} – фактическая электрическая мощность энергоблока; Д_з – дифференциатор задатчика мощности; Σ – сумматор; Δf – частота электрической сети; КЧ – корректор частоты; РРК – стабилизатор положения регулирующих клапанов; РД – регулятор давления; МУТ – механизм управления турбиной; РПС – реле переключения структуры; p_T – давление перегретого пара перед турбиной; $p_T^{3д}$ – заданное значение давления перегретого пара перед турбиной; Д_{ин} – дифференциатор инвариантности; $p_{ив}$ – давление иввиоля; TV – трансформатор напряжения; ТА – трансформатор тока; ЦВД, ЦСД, ЦНД – соответственно цилиндр высокого, среднего и низкого давления турбины; ВПП – вторичный пароперегреватель; РКТ – регулирующие клапаны турбины; СК – стопорный клапан; $G_{впр}$ – расход воды на впрыск; V_T – расход топлива; $t_{врч}^{II}$ – температура за верхней радиационной частью котла; КТП – корректор температуры пара за ВРЧ-II; КРМ – котельный регулятор мощности; РТ – регулятор топлива; К_{оп} –

усилительное звено на входе в РТ; РП – регулятор питания; РПК – регулирующий питательный клапан; РПТН – регулятор питательного турбонасоса; ПТН – питательный турбонасос; $G_{\text{ПВ}}$ – расход питательной воды; $G_{\text{ПТН}}$ – расход питательного турбонасоса; $p_{\text{ПВ}}$ – давление питательной воды; РТВП – регулятор температуры вторичного пара; РОВ – регулятор общего воздуха; $V_{\text{В}}$ – расход общего воздуха; РЭП – регулирующий электропривод; УКПДН – устройство коррекции параметров динамической настройки; G – электрогенератор.

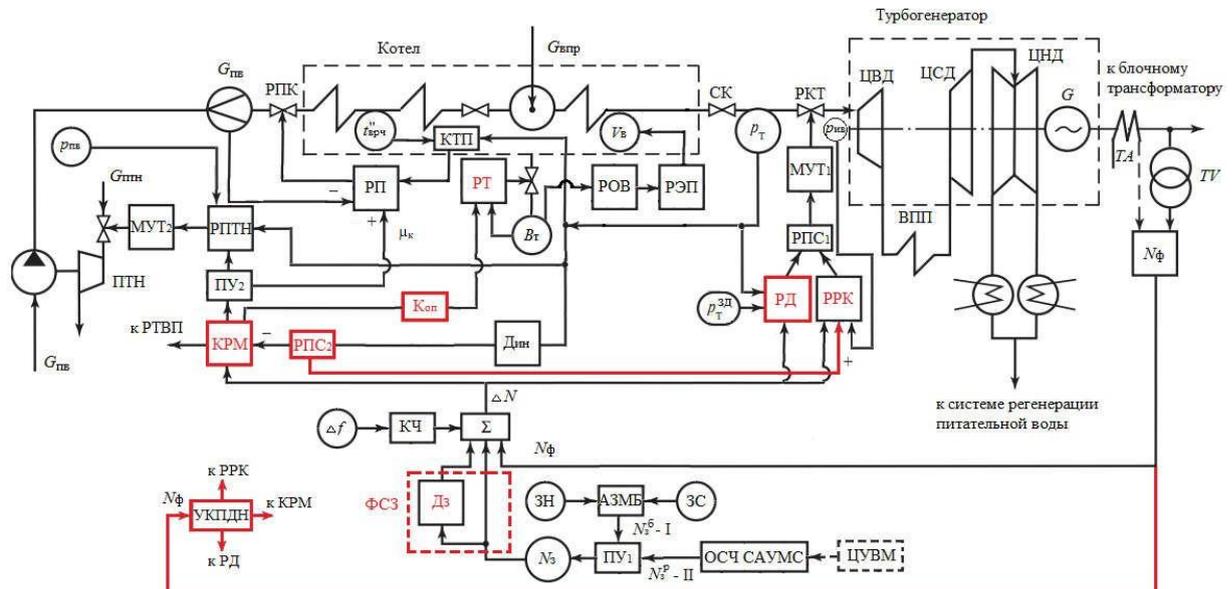


Рисунок 1 – Функциональная схема САУМБ энергоблока 300 МВт в составе автоматизированной системы диспетчерского управления частотой и перетоками мощности в энергосистеме

Предлагаемая САУМБ работает следующим образом. Задатчик нагрузки и задатчик скорости при постановке ПУ₁ в базовый режим работы формируют сигналы заданной мощности энергоблока на выходе АЗМБ. При появлении заданного значения нагрузки энергоблока, на выходе сумматора Σ КРМ появляется ошибка регулирования, формируемая сигналами разности между заданной и фактической мощностью энергоблока, выхода дифференциатора Дз, выхода корректора частоты поступает на вход КРМ.

КРМ формирует сигнал задания регуляторам нагрузки котла (РТ, РП или РПТН и РОВ). Дифференциатор Дз необходим для форсирования (увеличения скорости) отработки задания. Ошибка регулирования поступает также на входы РД и РРК. Датчик давления и задатчик давления формируют ошибку регулирования для РД. Ко входу РРК подключен датчик давления ивиоля, сигнал которого соответствует положению регулирующих клапанов турбины. Первое РПС подключает к первому механизму управления турбиной в режиме постоянного давления пара перед турбиной регулятор давления, а в режиме переменного давления

пара перед турбиной – РРК. В режиме постоянного давления пара перед турбиной РД поддерживает давление возле его номинального значения, а изменение мощности энергоблока достигается перемещением регулирующих клапанов турбины. В режиме переменного давления пара перед турбиной РРК удерживает регулирующие клапаны в турбины в полностью открытом состоянии, а изменения мощности энергоблока достигается изменением давления перегретого пара перед турбиной. Первый МУТ воздействует на регулирующие клапаны турбины. Дифференциатор инвариантности необходим для формирования сигнала о скорости изменения давления перегретого пара перед турбиной. Второе РПС в режиме постоянного давления пара перед турбиной подает сигнал о скорости изменения давления на вход КРМ, а в режиме переменного давления пара перед турбиной – на вход РРК. Входными воздействиями для регулятора питания являются расход питательной воды и сигналы с выходов КРМ и КТП. РП управляет регулирующим питательным клапаном. Входными воздействиями для регулятора ПТН являются давления питательной воды и перегретого пара перед турбиной, а также управляющее воздействие КРМ. РПТН подключен ко второму МУТ, который управляет питательным турбонасосом.

При отключении АЗМБ задание по мощности для энергоблока формируется ОСЧ САУМС, которая может действовать по сигналу планируемой ЦУВМ энергосистемы. УКПДН необходимо для изменения параметров динамической настройки КРМ, РРК и РД при уменьшении или увеличении нагрузки энергоблока.

Для сравнения с предлагаемой САУМБ будем использовать САУМ-1, установленную на энергоблоке № 4 Конаковской ГРЭС (Россия) [3], которая является лучшим иностранным аналогом. Всероссийский теплоэнергетический институт провел на нём испытания для определения динамических характеристик энергоблока, а затем на основе этих данных была настроена САУМ-1 и проведены её модельные исследования.

Сравнивать предлагаемую САУМБ с иностранным аналогом будем при скачке задания по мощности на 10 % в режимах постоянного и переменного давления пара перед турбиной. Прямые показатели качества переходных процессов при данном виде возмущения сведены в таблицу 1 (вариант 1 – предлагаемая САУМБ; вариант 2 – САУМ-1).

Таблица 1. – ППК переходных процессов при изменении задания на 10 %

Нагрузка, МВт	Вариант	$t_{5\%}$, с	t_p , с	σ_m , %	B_T^{M*} , о.е.	h_{PK}^{M*} , о.е.	p_0^M , %	h_{PK}^M , %	p_0^{M*} , о.е.
270	1	8	21	0	1,188	1,239	1,88	–	–
	2	8	120	1	1,24	1,3	3,67	–	–
170	1	10	46	0,22	1,183	–	–	62,4	1,194
	2	9	265	0	1,7	–	–	12,5	1,0

В таблице 1: $t_{5\%}$ – время достижения САУМБ половины регулировочного диапазона (5 % от $P_{\text{ном}}$); t_p – время вхождения регулируемой величины в зону нечувствительности САУМБ (± 1 % от номинальной мощности энергоблока); σ_m – максимальное перерегулирование; B_T^{M*} – максимальное относительное изменение расхода топлива (отношение максимального значения расхода топлива к установившемуся значению); $h_{p_k}^{M*}$ – относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины; p_0^M – максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной; $h_{p_k}^M$ – максимальное перемещение регулирующих клапанов турбины; p_0^{M*} – относительное изменение давления перегретого пара перед турбиной.

В режиме постоянного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ отрабатывает половину требуемого задания по мощности за 8 с, что аналогично сравниваемому варианту. У САУМ-1 полное время регулирования больше в 5,7 раза. Также у предлагаемой САУМБ отсутствует перерегулирование, в то время как у САУМ-1 оно равняется 1 % $P_{\text{ном}}$, что допускается стандартом. Наименьший относительный расход топлива в предлагаемой системе на 4,4% меньше, чем на энергоблоке № 4 Конаковской ГРЭС. Наименьшее относительное перемещение регулирующих клапанов турбины в предлагаемом варианте системы на 5% меньше по сравнению с вариантом 2. Наименьшее отклонение давления перегретого пара перед турбиной у САУМ-1 больше в 1,95 раза.

В режиме постоянного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ обладает очевидным преимуществом над лучшим иностранным аналогом, т.к. показывает лучшие прямые показатели качества переходных процессов при скачке задания по мощности на 10 %.

В режиме переменного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ отрабатывает половину задания по мощности за 10 с, что больше на 1 с, чем у варианта 2, однако этот показатель укладывается в требования стандарта. У варианта 2 полное время регулирования больше в 5,76 раза по сравнению с предлагаемой САУМБ. У САУМ-1 отсутствует перерегулирование по мощности, в то время как у предлагаемой САУМБ оно совсем незначительно и равняется 0,22 % $P_{\text{ном}}$, что в 4,5 раза меньше допускаемой стандартом [2] наибольшей величины перерегулирования в 1 % $P_{\text{ном}}$. Наименьший относительный расход топлива у предлагаемой САУМБ, по сравнению с энергоблоком № 4 Конаковской ГРЭС больше в 1,44 раза. Наименьшее отклонение положения регулирующих клапанов турбины в варианте 2 по сравнению с предлагаемой САУМБ больше в 5 раз. Высокое быстродействие САУМ-1 при отработке половины требуемого задания по мощности достигается за счёт большего расхода топлива с момента увеличения задания по мощности до момента вхождения в зону нечувствительности САУМБ ± 1 % $P_{\text{ном}}$. Высокое быстродействие предлагаемой САУМБ достигается за счёт большего отклонения положения регулирующих клапанов турбины,

что позволяет повысить экономичность работы энергоблока, т.к. относительный расход топлива при переходном процессе ниже в 1,44 раза.

Переходной процесс по давлению перегретого пара перед турбиной САУМБ энергоблока № 4 Конаковской ГРЭС не имеет перерегулирования, а сразу достигает установившегося значения, в то время как у предлагаемой САУМБ относительное изменение давления перегретого пара перед турбиной равняется 1,194, т.е. есть перерегулирование. Однако, необходимо отметить, что у САУМ-1 при росте мощности со 170 МВт до 200 МВт давление перегретого пара перед турбиной увеличивается на 3,3 МПа. При мощности энергоблока 170 МВт давление пара перед турбиной равняется 20,7 МПа. При росте мощности до 200 МВт у сравниваемого варианта давление вырастает до номинального.

В предлагаемой САУМБ новое установившееся значение давления перегретого пара перед турбиной при мощности энергоблока 200 МВт на 9,5 % больше, чем при мощности 170 МВт, т.е. абсолютное отклонение давления пара перед турбиной в 1,65 раза меньше, чем у САУМ-1. В САУМБ энергоблока № 4 Конаковской ГРЭС максимальное отрицательное значение отклонения давления перегретого пара перед турбиной равняется 0,75 МПа. В предлагаемой САУМБ то же самое отклонение равняется 1,7 % или 0,35 МПа, что в 2,14 раза меньше по сравнению с вариантом 2.

В режиме переменного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ обладает очевидными преимуществами над зарубежным аналогом: более высокое быстродействие (в 5,76 раза), большая экономичность и высокая надежность за счёт увеличения срока службы металла котла и турбины.

Наличие незначительного перерегулирования допускается стандартом, а большее отклонение положения регулирующих клапанов турбины необходимо для обеспечения высокого быстродействия предлагаемой САУМБ.

Ожидаемая годовая экономия условного топлива на одном энергоблоке составит 858,2 т. у. т., что эквивалентно (при цене 1 т. у. т. 260 у. е.) 223132 у. е.

Таким образом, доказано преимущество предлагаемой САУМБ по сравнению с зарубежным аналогом в широком диапазоне изменения нагрузок.

1. Система автоматического регулирования частоты и перетоков мощности в Белорусской энергосистеме. Нормы участия энергоблоков ТЭС и АЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты: СТП 09110.01.215-15. – Введ. 2015.11.02. – Минск : ГПО «Белэнерго», 2015. – 17 с.

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТИПОВЫХ И
МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ВПРЫСКОВ КОТЛА
ТГМП–114 ЭНЕРГОБЛОКА №2 ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС**

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В., Артёменко К.И.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Введение в эксплуатацию второго энергоблока Белорусской АЭС мощностью 1200 МВт приведет к тому, что энергоблоки ТЭС должны будут работать в широком диапазоне изменения нагрузок, что приведет к снижению надежности и экономичности их работы.

В связи с этим актуальной становится задача повышения надежности и экономичности работы энергоблоков ТЭС в переменных режимах за счет модернизации типовых регуляторов впрысков на базе современных экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации систем автоматического регулирования теплоэнергетических процессов.

Типовая САР температуры перегретого пара парового котла представляет собой двухконтурную систему автоматического регулирования с дифференцированием температуры пара за местом впрыска, далее называемая регулятором впрыска (РВ), сравнивалось на трех уровнях нагрузки котла по показателям качества переходных процессов при основных воздействиях с четырьмя вариантами модернизации РВ: инвариантная система автоматического регулирования на базе САР со стабилизирующим устройством; регулятор впрыска на базе модифицированного линейного упредителя Смита с фильтром в цепи задания; инвариантная система автоматического регулирования на базе каскадной САР с фильтром в цепи задания; инвариантная система автоматического регулирования на базе передаточных функций оптимальных регуляторов с динамической компенсацией и с использованием фильтра в цепи задания.

В результате проведенных исследований были определены аналитические зависимости корректировки оптимальных параметров динамической настройки модернизированных РВ в функции от нагрузки котла.

Результаты моделирования переходных процессов каскадных систем регулирования (КСАР) с реализацией корректирующего регулятора (КР) в виде последовательного и параллельного соединения составляющих ПИД-регулятора показали, что при одинаковом качестве регулирования при отработке внешнего возмущения максимальные значения регулирующего воздействия при параллельной структуре ПИД-регулятора на 39,5 % больше, чем при последовательной реализации ПИД-регулятора, что

увеличивает расход электроэнергии на привод регулирующих клапанов впрыска.

Были также разработаны рекомендации для проведения эксплуатационных испытаний модернизированных и типовых РВ при отработке калиброванных трапецеидальных возмущений автоматического задатчика мощности блока САУМБ (АЗМБ САУМБ) для первого и второго впрысков.

Анализ результатов эксплуатационных испытаний модернизированных и типовых РВ позволил установить, что:

1. Использование предложенных БНТУ методов расчета САР с дифференциатором на минимальной нагрузке котла (120 МВт), несмотря на ухудшение динамических характеристик, позволяет повысить качество регулирования в 1,38 раза по сравнению с типовой САР РВ.

2. Использование инвариантной каскадной САР (ИКСАР) с дифференциатором инвариантности по температуре пара до места впрыска позволяет уменьшить максимальное отклонение температуры на выходе котла при отработке трапецеидального внешнего возмущения АЗМБ САУМБ в 1,42 раза.

3. Замена ТСАР ЛГРЭС (САР с дифференциатором) на КСАР БНТУ позволяет уменьшить средние отклонения температуры пара за котлом А1 в 1,5 раза.

4. Использование ТСАР ЛГРЭС с дифференциатором инвариантности по наиболее опасному внутреннему дополнительно измеряемому возмущению позволяет уменьшить максимальное отклонение температуры на выходе котла в 1,73 раза.

5. Внедрение ИКСАР с моделью и дифференциатором инвариантности по температуре пара до места впрыска позволяет повысить качество регулирования температуры пара за котлом в 1,94 раза.

6. Максимальные отклонения температуры перегретого пара приходится на окончание набора или снижения выхода АЗМБ САУМБ. При этом фактическая активная мощность генератора при наборе нагрузки значительно отстает от заданного АЗМБ значения, а при снижении нагрузки ошибка регулирования по активной мощности генератора существенно меньше. Это подтверждает актуальность модернизации как структуры, так и параметров динамической настройки САУМБ с заменой котельного регулятора мощности на ПИД-регулятор или оптимальный регулятор с динамической компенсацией.

На рисунке 1 представлена, в качестве примера, структурная схема моделирования переходных процессов инвариантной САР с использованием модифицированного линейного упредителя Смита (ИСАР) с полной инвариантностью относительно внутренних возмущений и выделением эквивалентного внешнего возмущения без его непосредственного измерения (схема а)), типовой САР с дифференциатором при штатных параметрах динамической настройки

(схема в)), а также схема формирователя трапецеидального внешнего возмущения (схема с)) изменения электрической мощности энергоблока с помощью автоматического задатчика мощности блока №2 Лукомльской ГРЭС со скоростью набора (сброса) мощности 5 МВт/мин [1].

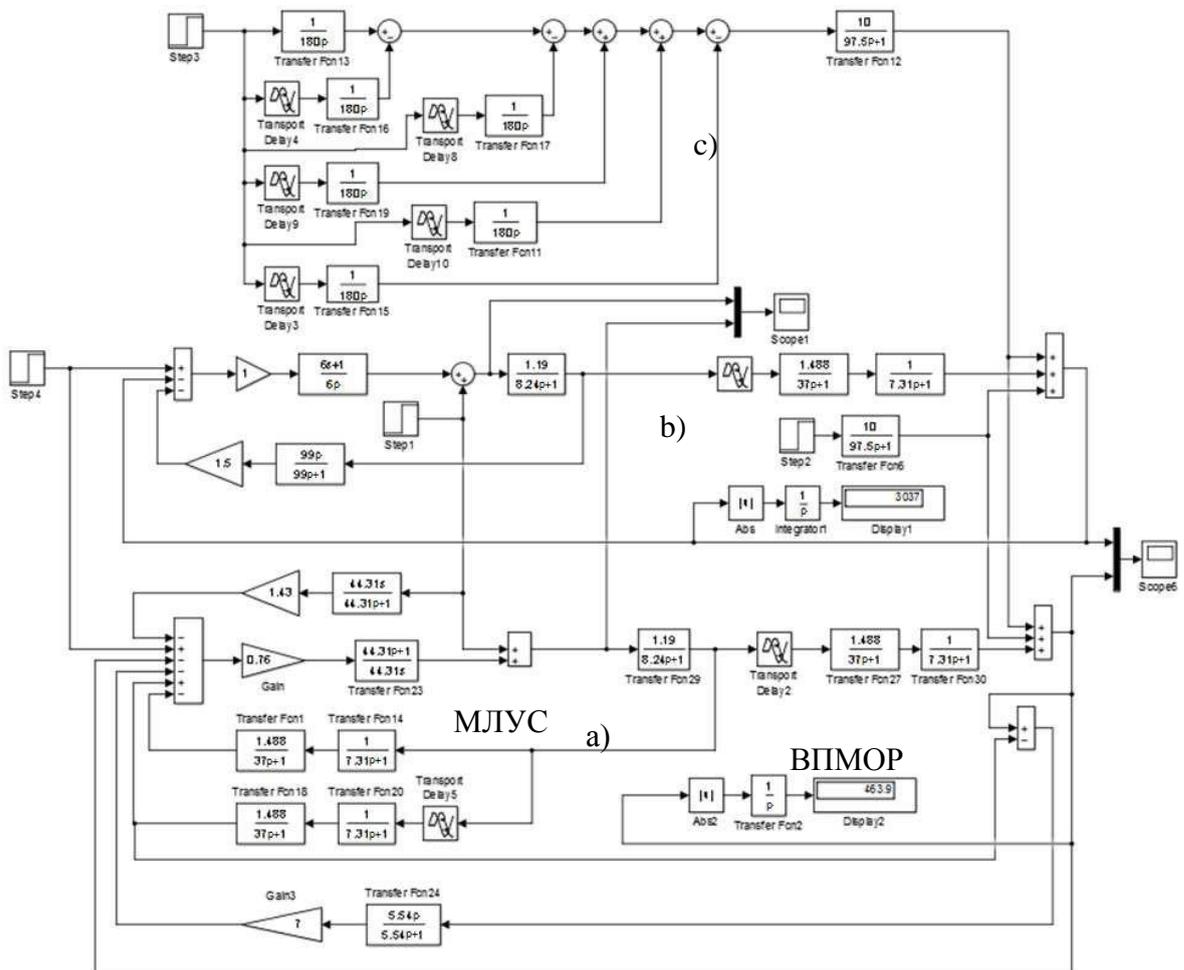


Рисунок 1. Схема моделирования инвариантной и типовой систем автоматического регулирования температуры перегретого пара парового котла в пакете Simulink

Из анализа графиков переходных процессов следует, что при обработке скачка задающего воздействия, время регулирования в инвариантной САР уменьшается в три раза по сравнению с типовой САР (рисунок 2, а). В обеих системах переходные процессы при обработке скачка задающего воздействия являются монотонными, однако переходной процесс в типовой САР в момент времени $t = 100c$ изменяется в обратную сторону, что уменьшает приемистость при обработке скачка задания (рисунок 2, а). Это обусловлено большим изменением регулирующего воздействия по сравнению с типовой САР (рисунок 2, б). При этом адекватность исходных математических моделей объекта регулирования подтверждена результатами сравнения эксплуатационных испытаний

типовой САР при обработке скачка задания и результатами моделирования переходных процессов. Видно, что график переходного процесса при обработке скачка задающего воздействия во время эксплуатационных испытаний (процесс с точками) практически совпадает с результатами моделирования (рисунок 2, а – темная линия).

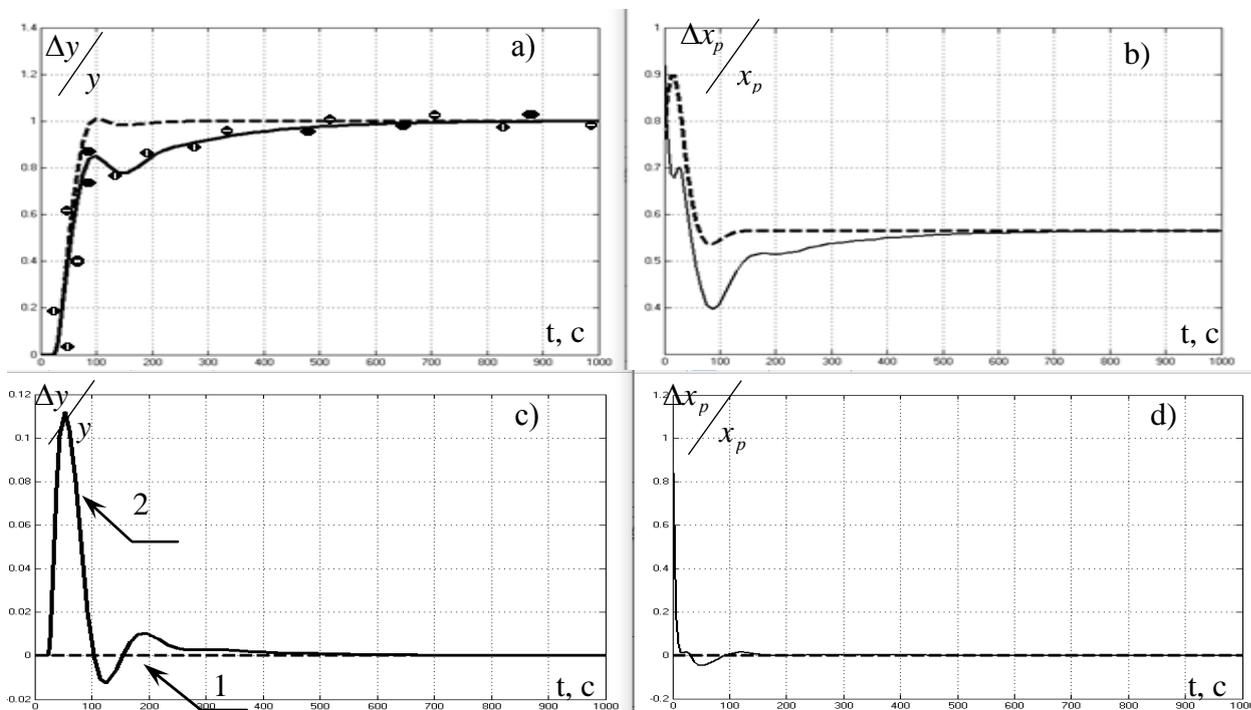


Рисунок 2. Переходные процессы в типовой и модернизированной САР при обработке скачка задания и внутренних возмущений

При обработке скачка наиболее опасного измеряемого внутреннего возмущения достигнута полная инвариантность (рисунок 2, с – прямая 1) за счет использования первого дифференциатора. При отключении дифференциатора инвариантности наиболее опасного внутреннего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования типовой САР составляет 11% от скачка возмущения (рисунок 2, с – кривая 2).

Переходные процессы в ИСАР и типовой САР при обработке скачкообразного и трапецеидального изменения внешнего возмущения приведены на рисунок 3.

Видно, что максимальная динамическая ошибка регулирования при обработке скачка внешнего возмущения в ИСАР уменьшилась по сравнению с типовой САР на 30%, время регулирования сократилось в 2,3 раза, а площадь модуля ошибки регулирования уменьшилась в 5,6 раза (рисунок 3, а). Это достигнуто за счет большей скорости изменения регулирующего воздействия (рисунок 3, б).

При обработке трапецеидального внешнего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования ИСАР уменьшилась по сравнению с

типовой САР в 3 раза, время регулирования сократилось в 2 раза, а площадь модуля ошибки регулирования – в 5,5 раза (рисунок 3, с).

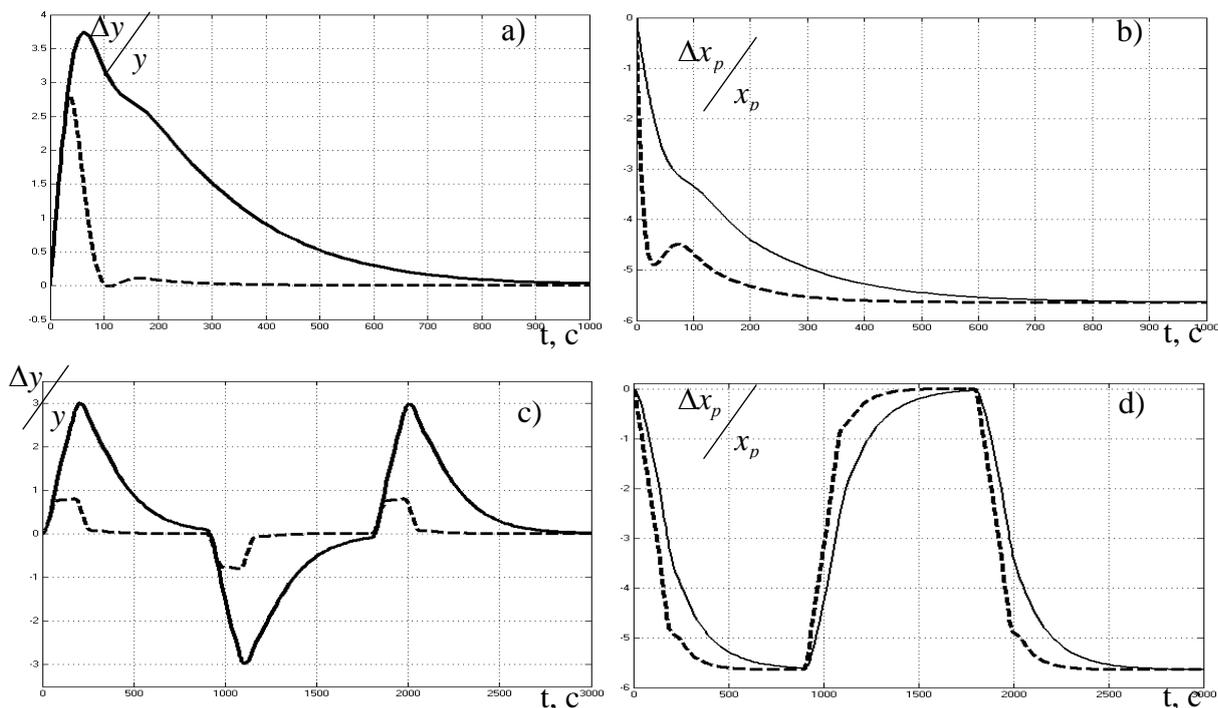


Рисунок 3. Графики переходных процессов типовой и инвариантной САР при обработке скачка крайнего внешнего возмущения (а, б) и трапецеидального возмущения (с, д)

Таким образом ИСАР по сравнению с типовой САР позволяет существенно повысить быстродействие и точность поддержания регулируемого параметра и может быть рекомендована для широкого внедрения на котлах ТЭС ГПО «Белэнерго».

1. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 197 с.

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ НА СТРОИТЕЛЬНОМ 3D-ПРИНТЕРЕ

Лапко О.П., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В научно-исследовательской лаборатории БНТУ занимаются разработкой конструкции строительного 3D-принтера для печати промышленных изделий. На текущий момент в конструкции 3D-принтера не предусмотрена система отслеживания процесса печати. Отсутствие мониторинга может привести к тому, что принтер будет продолжать печать в случаях различных форс-мажоров, например, если будет использована некачественная смесь. Раствор может «поползти», а принтер при этом продолжит печатать. В случае печати громоздких и сложных изделий будут впустую потрачены время и материалы, которые можно было бы сэкономить при отслеживании процесса печати.

Для анимации процесса печати в большинстве популярных 3D-слайсерах реализована возможность просмотра G-кода, в котором отражены все параметры печати. Но в некоторых из них из-за проблем с синхронизацией визуализация может опережать реальный процесс на несколько секунд. Например, G-кода viewer в OctoPrint достаточно точно попадает в синхронизацию с реальным прогрессом печати. А вот в мобильном приложении OctoRemote рассинхронизация может составлять несколько слоев.

В разрабатываемом строительном 3D-принтере в качестве слайсера используется Cura (продукт компании Ultimaker), который можно считать общим стандартом, поскольку слайсер совместим с большинством 3D-принтеров. Cura был выбран для разрабатываемого 3D-принтера, т.к. его функционал легко расширяем. В Cura имеется возможность просмотра траектории движения экструдера при печати каждого из слоев.

С целью дополнительного контроля процесса 3D печати рекомендуется организовать систему отслеживания работы 3D-принтера в режиме реального времени. Основными элементами такой системы являются источник бесперебойного питания, который позволит обеспечить безотказную работу 3D принтера, и устройство дистанционного отключения электропитания, которое представляет собой программируемый сетевой фильтр с LAN или wi-fi интерфейсом. Встроенный web-сервер обеспечит подключение к локальной сети и позволит дистанционно управлять электропитанием. Наблюдение за процессом работы 3D-принтера можно осуществлять с помощью камеры.

Использование двух подходов к отслеживанию процесса печати позволит не только получить промышленное изделие высокого качества в ожидаемое время, но и уберечь 3D-принтер от поломок.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЛА КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Лившиц Ю.Е., Задорожная В.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Модернизация котельной - самый эффективный способ для увеличения эффективности ее работы, повышения мощности и безопасности, уменьшение расходов в ее использовании.

Основные причины технического перевооружения котельной с заменых котлов:

- высокая степень изношенности оборудования;
- увеличение себестоимости вырабатываемого тепла;
- нарушение температурных графиков теплоподачи;
- отсутствие возможностей для строительства новой котельной.

Перед проведением данных мероприятий утверждается проект по модернизации котельной. Для этого необходимо предварительное предпроектное обследование, включающее в себя исследование дополнительных термических нагрузок, оптимизации уровня загрузки оборудования, уточнение перспектив энергоэффективности и снижения теплопотерь [1].

При принятии решения о модернизации системы теплоснабжения проводится комплекс мероприятий, призванных оценить глубину модернизации и масштабы предстоящих работ:

- обследование всего оборудования котельной;
- анализ существующих тепловых нагрузок;
- оценка возможных перспективных нагрузок и создание необходимого резерва мощности;
- расчет экономической эффективности проведения модернизации;
- принятие общей концепции технического перевооружения.

Непосредственно процесс модернизации производится в несколько этапов, включающих в себя следующие основные мероприятия:

- выбор оборудования;
- проектирование;
- демонтажные работы;
- доставка и монтаж оборудования;
- пусконаладочные работы и сдача объекта.

При проведении модернизации котельных установок особое внимание уделяется выбору основного теплотехнического оборудования - котлов и горелок. Именно от них в первую очередь зависит эффективная и бесперебойная работа всей системы теплоснабжения [2].

Модернизация производственной котельной может включать в себя полное обновление конфигурации всей системы или замену отдельных узлов и агрегатов.

Модернизация котельного оборудования. Это самый эффективный способ реконструкции котельной с заменой котлов, включающий в себя замену всех устаревших и отработавших свой ресурс моделей, таких как чугунные секционные, на современные стальные, замена водогрейного котла с повышением КПД до 75-80 %, замена конвективных частей и теплообменников, замена топок с ручной топливоподачей на механизированные или автоматизированные топки, организацию утилизации теплоты уходящих газов [3].

Результаты модернизации:

- повышение надежности и производительности оборудования;
- значительное увеличение КПД и тепловой мощности;
- оптимальный режим работы котла;
- сокращение расходов на обслуживание и эксплуатацию путем снижения расхода топлива и количества обслуживающего персонала;
- снижение количества экологически вредных выбросов.

Заменой котла, как его обслуживание и ремонт, может производиться исключительно сотрудниками, которые занимались установкой котла. Это обусловлено тем, что газовое отопительное оборудование может представлять угрозу для жизни человека. Помимо этого, для замены потребуется подготовить следующие документы [4]:

- документ, подтверждающий соответствие котельной всем нормам безопасности;
- акт проверки дымоходов и вентиляционных каналов;
- документация на отопительное оборудование;
- договор о гарантийном обслуживании;
- проект помещения с внесенными в него изменениями.

1.kvzr.ru [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.kvzr.ru/boiler-modernization.html>

2.nordcompany.ru [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.nordcompany.ru/press-centr/vse-o-kotelnyh/modernizacija-kotelnoj/>

3.kotel-kv.com [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.kotel-kv.com/modernization-boiler.html>

4.fb.ru [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/357860/zamena-kotla-pravila-i-posledovatelnost>

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Интенсивное развитие роботизированных мобильных систем, к которым относятся беспилотные летательные аппараты (БЛА) ставит всё новые задачи их анализа, синтеза и эффективного применения. БЛА находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности как в народном хозяйстве, так и в специальных областях применения, например – в военной сфере. БЛА относятся к сложным техническим устройствам, обладающим элементами искусственного интеллекта. Появляются всё более разнообразные конструктивные решения при создании БЛА, новые задачи их применения, пути решения этих задач. При создании БЛА в ряде случаев для снижения стоимости изделия при обеспечении выполнения соответствующих требований по эффективности и надежности применяются типовые, стандартные конструктивные узлы и элементы, обладающие соответствующими свойствами и характеристиками. При этом разработка новых способов и моделей применения конструктивных элементов БЛА в сочетании с одновременным применением современных информационных технологий представляет собой важное направление развития технических систем.

Сохраняют своё значение хорошо апробированные аналитические методы анализа и синтеза систем управления БЛА, основанные на использовании математических моделей систем и их элементов. В работах [1, 2, 3, 5, 8, 12, 13] решаются задачи определения оптимальных параметров траектории БЛА. В работах [4, 10, 11] рассматриваются вопросы аналитического синтеза математической модели автопилота БЛА. В работах [6, 7, 14] – вопросы синтеза и анализа элементов системы управления полетом БЛА. В работе [9] проводится оценка эффективности функционирования БЛА в особых условиях применения. Таким образом, аналитические методы анализа и синтеза систем управления в сочетании с возможностями современных информационных технологий позволяют решать ряд практических задач, особенно на этапе предварительного проектирования БЛА.

1. Лобатый А.А., Антаневич А.А., Икуас Ю.Ф. Аналитический синтез управления беспилотным летательным аппаратом // Сборник статей ВА РБ. – 2009. – № 17. – С. 62-66.

2. Лобатый А.А., Антаневич А.А., Икуас Ю.Ф. Модальное управление беспилотным летательным аппаратом // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 37-40.

3. Лобатый А.А., Икуас Ю.Ф. Оптимальное программное управление беспилотным летательным аппаратом // Наука и техника. – 2012. – № 3. – С. 17-20.
4. Лобатый А.А., Бенкафо А.С. Особенности применения фильтров Калмана-Бьюси в комплексах ориентации и навигации // Доклады БГУИР. – 2013. – № 5(75). – С. 67-71.
5. Лобатый А.А., Аль-Машхадани М.А. Интервально-оптимальное программное управление летательным аппаратом // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 25-29.
6. Лобатый А.А., Абуфанас А.С. Беспилотный авиационный комплекс как сложная мультиструктурная система // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – № 1. – С. 4-9.
7. Абуфанас А.С., Лобатый А.А., Яцына Ю.Ф. Анизотропный регулятор демпфирования случайных колебаний подвижной платформы беспилотного летательного аппарата // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – № 3. – С. 13-19.
8. Лобатый А.А., Бумай А.Ю., Ду Цзюнь. Формирование оптимальных параметров траектории пролета беспилотного летательного аппарата через заданные точки пространства // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7-8. – С. 50-57.
9. Лобатый А.А., Яцына Ю.Ф., Степанов В.Ю., Бумай А.Ю. Вероятностный анализ попадания беспилотного летательного аппарата в запретную зону // Системный анализ и прикладная информатика. – 2019. – № 4. – С. 46-54.
10. Лобатый А.А., Яцына Ю.Ф., Прохорович С.С., Хвитько Е.А. Идентификация упрощенной математической модели беспилотного летательного аппарата // Системный анализ и прикладная информатика. – 2020. – № 2(26). – С. 26-33.
11. Лобатый А.А., Бумай А.Ю., Прохорович С.С. Поэтапный аналитический синтез математической модели автопилота беспилотного летательного аппарата // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 1. – С. 21-28.
12. Лобатый А.А., Бумай А.Ю., Прохорович С.С. Аналитический синтез управляющего ускорения беспилотного летательного аппарата // Наука и техника. – 2021, Том 20. – № 4. – С. 338-344.
13. Лобатый А.А., Бумай А.Ю., Авсиевич А.М. Формирование траектории беспилотного летательного аппарата при облете запретных зон // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 4. – С. 47-53.
14. Лобатый А.А., Гу Пэнхао, Савёлов П.И. Особенности моделирования операторного управления беспилотным летательным аппаратом и его целевой нагрузкой // Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – № 4 – С. 24-28.

РАБОТА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ СПУФИНГА

Маркова И.С., Яцына Ю.Ф., Бедрицкий А.С., Дадыкин Б.А.

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный
центр многофункциональных беспилотных комплексов»

Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь

Координаты любого подвижного объекта могут быть определены двумя способами:

1). путем прямого их вычисления при помощи геометрических соотношений, когда исходной информацией являются дальность, азимуты или курсовые углы до точек с известными координатами, а также высоты и азимуты светил, наблюдаемых с объекта;

2). путем непрерывного вычисления линии движения (траектории) по данным о векторе скорости и координатах начальной точки движения.

На первом способе основаны методы ближней и дальней радионавигации, спутниковой навигации, а также определение местоположения летательного аппарата по данным, получаемым от бортовых оптических или радиолокационных станций о направлении и дальности до наземного ориентира, координаты которого известны. Таким ориентиром могут служить мосты, устья рек, скалы на море и т.д.

Второй способ, называемый счислением координат или более традиционно счислением пути, может быть осуществлен с помощью расчета траектории полета, проводимого на бортовой вычислительной машине по показаниям, получаемым от курсовертикали и измерителей путевой скорости. Путевая скорость может измеряться доплеровскими радиосистемами или инерциальными гироскопическими системами [1].

Самыми распространенными навигационными системами являются спутниковая навигационная система (СНС) и счисление координат с помощью инерциальных навигационных систем (ИНС). Каждый способ навигации имеет свои недостатки. В связи с этим для решения задачи навигации осуществляется комплексное использование (комплексирование) навигационных систем различной физической природы и принципов формирования навигационных параметров. Комплексирование инерциальных и спутниковых навигационных систем позволяет, с одной стороны, ограничить рост погрешностей ИНС, а с другой – снизить шумовую составляющую ошибок СНС и существенно повысить помехозащищенность системы.

Поскольку систематические ошибки инерциальной системы со временем возрастают, необходима периодическая коррекция ИНС с использованием данных СНС. Коррекция заключается в периодическом

перезапуске алгоритма ИНС с новыми начальными условиями по координатам и составляющим скорости, данные о которых поступают от спутникового приемника. Однако сигнал СНС легко подделать, так как сам сигнал слаб, а приемник будет воспринимать более мощный сигнал. В связи с этим появилась проблема подмены данных или спуфинг. Для обеспечения автономного полета беспилотного летательного аппарата (БЛА) необходимо исключить вероятность подмены данных.

Существует большое количество методов обнаружения спуфинга [2, 3, 4], однако недостаточно лишь обнаружить подмену данных, для осуществления безопасного полета БЛА и предотвращения его потери или крушения необходимо дополнить навигационную систему БЛА дополнительными способами определения собственных координат.

В докладе рассматриваются реализуемые в Республиканском унитарном предприятии «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси способы навигации БЛА, а именно навигация с помощью СНС и ИНС. Для БЛА «Буревестник» нет существенных ограничений для габаритов навигационной системы. Сейчас на данном типе БЛА установлен приемник сигналов СНС и бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) (в БИНС отсутствуют подвижные детали: акселерометры и гироскопы жестко связаны с корпусом прибора, а функции платформы моделируются математически вычислительной системой). При установке ИНС, обладающей большей точностью можно уменьшить рост ошибки, а также путем сравнения данных выявить спуфинг атаку на БЛА. По данным БИНС и ИНС можно вывести БЛА в диапазон видимости оператором БЛА для безопасной посадки. А при добавлении в контур навигации определение координат с помощью оптико-электронной системы продолжить выполнение задания.

1.Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах / О.А. Бабич. – М.: Машиностроение, 1991. – 512с.

2.Толстиков А.С. Противодействие спуфингу и повышение помехоустойчивости аппаратуры потребителя глобальных навигационных спутниковых систем / А. С. Толстиков, А. Е. Ушаков // Интерэкспо Гео-Сибирь – 2018.

3.Басан Е. С. Метод обнаружения атак на систему навигации БПЛА / Е. С. Басан, Е. С. Абрамов, А. Г. Басюк, Н. А. Сушкин // Робототехника, автоматизация и системы управления – 2021.

4.Орёл Д.В. Анализ угроз функционирования аппаратуры гражданских потребителей глобальных спутниковых радионавигационных систем // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ – 2011.

ЗАЩИТА ВЫХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В СХЕМУ УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Марукевич И.А., Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

При разработке автоматизированных систем управления вращением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором чаще всего используются преобразователи частоты, которые с развитием технологий совершенствуются и расширяют свой функционал. Но иногда возникают проблемы с внедрением в уже имеющуюся производственную линию частотного преобразователя. На рисунке 1 приведена часть силовой схемы, в которую внедрен частотный преобразователь. Двигатель может быть запущен двумя способами:

Через контактор КМ1 напрямую, где двигатель запускается по схема звезда-треугольник;

От частотного преобразователя через контактор КМ2, где обмотки двигателя замыкаются на схему звезда.

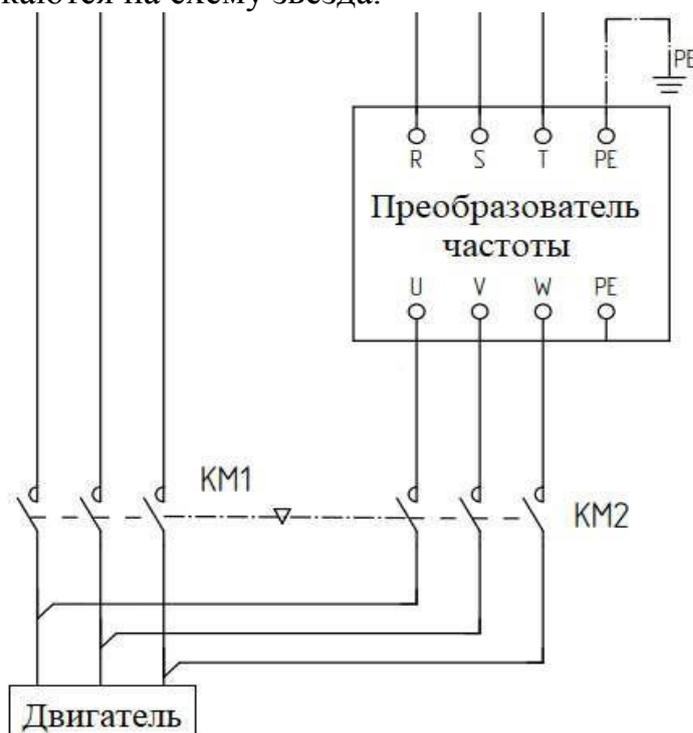


Рис.1. Силовая схема пуска двигателя

Контактор КМ1 служит для пуска асинхронного электродвигателя через схему звезда-треугольник. Контактор КМ2 введен в схему для того, чтобы при работе электродвигателя по схеме звезда-треугольник на выходных контактах частотного преобразователя не возникало напряжение, которое бы вывело из строя выходные транзисторы преобразователя.

Контакты KM1 и KM2 связаны между собой механической блокировкой, что, в свою очередь, не позволяет им быть замкнутыми одновременно.

Если в случае пуска двигателя по схеме звезда-треугольник нет никаких проблем как с пуском, так и с остановкой двигателя, то в случае с частотным преобразователем возникают проблемы связанные с необходимостью отключения частотного преобразователя прежде чем разомкнутся силовые контакты пускателя KM2. Если силовые контакты контактора разомкнутся прежде, чем будет выключен частотный преобразователь, то напряжение на выходных транзисторах в разы превысит допустимое значение, что повлечет за собой выход их из строя.

На рисунке 2 представлена схема управления, которая позволяет решить эту проблему.

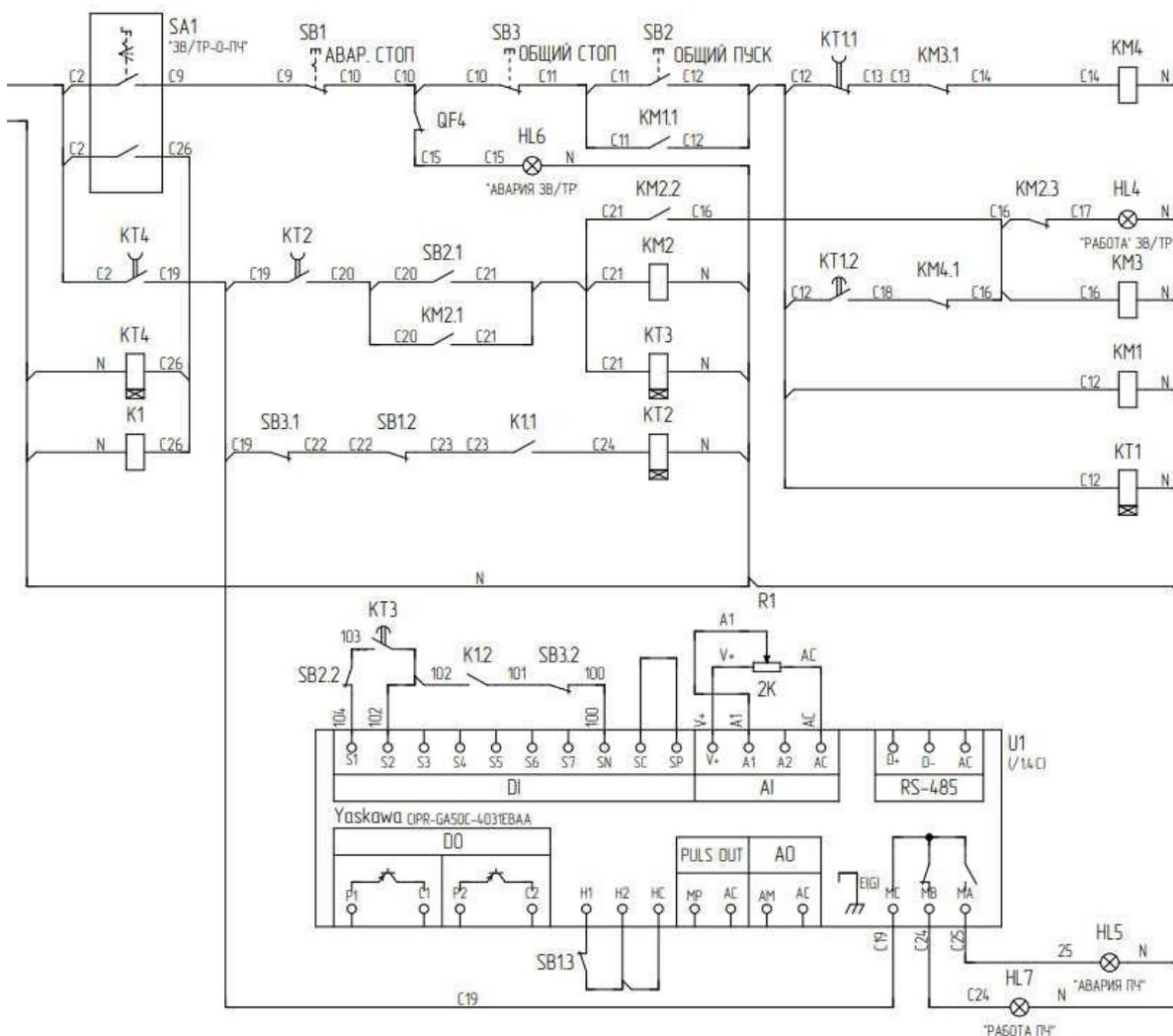


Рис. 2. Схема управления

Переключение метода пуска двигателя происходит через трехпозиционный выключатель SA1 имеющий среднее нейтральное положение. В случае пуска двигателя посредством преобразователя частоты замыкаются нижние контакты, и соединяется цепь C2-C26. Через катушку реле времени KT4 начинает течь ток и замыкается цепь C2-C19.

Одновременно с этим срабатывает промежуточное реле К1, которое замыкает цепь С23-С24 и 102-103 в цепи управления частотного преобразователя. Ток начинает течь через катушку реле времени КТ2 и его нормально открытый контакт замыкает цепь С19-С20. Теперь система готова к пуску. После нажатия на кнопку SB2 ее дополнительный контакт SB2.1 замыкается и через катушку контактора КМ2 начинает течь ток который замыкает контакты в силовой схеме (Рис. 1). Дополнительные контакты контактора КМ2 подхватывают кнопку (КМ2.1) и замыкают катушку контактора КМ3 для подключения двигателя на схему звезды (контакт КМ2.2 замыкает цепь С21-С16). Также ток начинает течь через катушку реле времени КТ3, который ожидает некоторое время, после чего замыкает цепь 102-103 в цепи управления частотного преобразователя. Система работает.

В случае, когда нам надо остановить подачу напряжения на электродвигатель нужно нажать кнопку SB3. После чего в цепи управления двигателя разомкнутся цепи 100-102 и 100-104, что в свою очередь даст команду преобразователю частоты останавливать двигатель. В это время ток по катушке реле времени КТ2 течь перестанет, и его внутренний таймер начнет отсчет на размыкание контакта (цепи С19-С20) и так как частотный преобразователь уже остановил двигатель и напряжения на его выходных транзисторах отсутствует при размыкании цепи С19-С20 силовые транзисторы не сгорят.

Предусмотрен вариант аварийной остановки. При нажатии на кнопку SB1 одновременно размыкаются цепи С19-С22 и Н1-Н2/НС. При параметризации частотного преобразователя был выбран режим аварийной остановки в случае размыкания цепи Н1-Н2/НС. При размыкании этой цепи выходные транзисторы частотного преобразователя закрываются, а двигатель еще какое-то время вращается по инерции и после чего останавливается. Режим аварийной остановки двигателя не рекомендуется использовать в случае использования его в башенных кранах или лебедках.

Также в системе предусмотрена, так называемая, защита от дураков. В случае, если работник по каким-то причинам не захочет использовать кнопку стоп для выключения системы, прежде чем изменить метод пуска, и переключит трехпозиционный переключатель SA1, то силовые транзисторы частотного преобразователя также останутся целыми. При возврате переключателя в нейтральное положение с режима частотного преобразования через катушку реле времени КТ4 перестанет течь ток, что в свою очередь запустит таймер на отключение цепи С2-С19. В это же время в цепи управления преобразователя частоты разомкнется цепь 101-102. Как и в случае с нажатием на кнопку SB3 в цепи управления двигателя разомкнутся цепи 100-102 и 100-104, что в свою очередь даст команду преобразователю частоты останавливать двигатель. И двигатель будет остановлен за тот промежуток времени, который был занесен при параметризации частотного преобразователя.

РОБОТИЗАЦИЯ СКЛАДСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ НА КОЛЕСАХ MECANUM

Матрунчик Ю.Н., Гармаза Д.И.

- 1). Белорусский национальный технический университет,
г. Минск Республика Беларусь,
- 2). УО «Национальный детский технопарк»,
г. Минск Республика Беларусь

Роботизация складских процессов, позволяет минимизировать участие оператора на различных этапах обслуживания грузов при транспортировании и складировании на производстве и торговых предприятиях. Практическими исследованиями доказано, что складские роботизированные мобильные системы справляются с любым действием в 3-4 раза быстрее человека. При этом они выдерживают значительные нагрузки, не снижая уровня производительности. Роботизированные погрузчики - помощники позволяют оптимизировать движение грузов, деталей, подборок и т.д., а также товаров и управление складскими запасами, рациональнее использовать малые площади. И не менее важным фактором является возможность исключить ошибки, обусловленные человеческим фактором.

Цели исследовательской работы: повысить эффективность погрузочных работ; повысить плотность складских помещений; сократить затраты. Задачи проекта:

Спроектировать роботизированную складскую систему с использованием погрузчиков на всенаправленных колесах Илона.

Построить твердотельную модель устройства.

Разработать электрическую принципиальную схему устройства работа.

Настроить протокол аппаратуры радиуправления.

Колёса Mecanum (колеса Илона) позволяют передвигаться в любом направлении без необходимости создания поворотного крепления, что уменьшает затраты на изготовление и повышает манёвренность. Энкодеры моторов позволяют контролировать скорость моторов с обратной связью, поэтому перемещения плавные и точные.

Манипулятор с 5-ю степенями свободы позволяет перемещать предметы из одной точки в другую. Отладочная плата Arduino Uno позволяет производить необходимые расчёты для ручного управления, а также работы по запрограммированной программе.

Управление через Bluetooth позволяет человеку находиться на расстоянии от зоны работы робота, а также не привязываться к проводам. Поскольку модуль Bluetooth подключается по последовательному

интерфейсу, то остаётся возможность управление через USB-Serial адаптер.

Светодиодный дисплей 16x8 пикселей позволяет выводить полезную информацию.

Модификации и перспективы развития разрабатываемой системы:

Установка акселерометра MPU6050 позволит обеспечить координацию в пространстве и автоматическое управление.

Датчик цвета VEMML6040 позволит организовать позиционирование по цветовым меткам.

Замена Arduino Uno на Raspberry Pi с модулем камеры позволит распознавать и выбирать лишь необходимые предметы с помощью технологии OpenCV.

Распределение предметов в зависимости от их параметров.

Ориентирование на местности с большей точностью.

Большая вычислительная мощность и объём памяти, что позволяет делать более трудные программы.

Наблюдение и управление через веб-интерфейс.

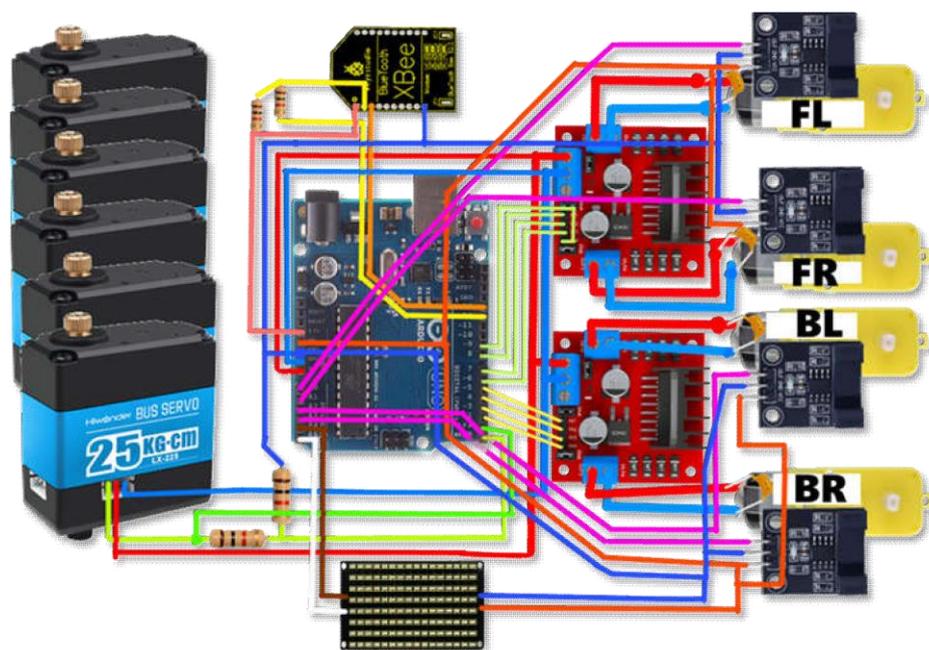


Рис.1 – Схема соединения компонентов системы

1. Сажнев, А. М. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие для академ. бакалавриата: для студ. вузов, обучающихся по инж.-техн. направлениям / А. М. Сажнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – 139 с.

2. CodeVisionAVR [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://cxem.net/software/codevisionavr.php>. – Дата доступа: 14.10.2022.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Матрунчик Ю.Н., Пустошило А.В.

- 1). Белорусский национальный технический университет,
г. Минск Республика Беларусь,
- 2). УО «Национальный детский технопарк»,
г. Минск Республика Беларусь

Актуальность создания устройства, помогающего человеку в выполнении несложных рутинных (часто повторяющихся) операций, в современную эпоху не вызывает сомнений.

По аналогии с роботами-пылесосами, роботами мойщиками окон или роботами для чистки бассейна инженерами по робототехнике создаются подобные устройства и для обеспечения комфортных условий жизни и труда человека, как например, всевозможные устройства «Умного дома» в том числе регулирующие в автоматическом режиме освещенность помещения.

Большое количество людей работает в недостаточно освещённых условиях. Почти 90% информации мы получаем через органы зрения. Неудовлетворительная освещенность в помещении, пульсации ламп, которые незаметны невооруженному глазу, через определенное время могут привести к различным заболеваниям органов зрения и ухудшению психического здоровья. Это проявляется в усталости, сонливости, частых головных болях, повышении артериального давления. Недостаточная освещенность рабочих мест может являться причиной снижения производительности и качества работы, получения производственных травм. Использование не сфокусированного потока света и неэффективных осветительных приборов приводит к излишнему потреблению электроэнергии. Из-за ночного образа жизни многие люди имеют проблемы с пробуждением и засыпанием. Что приводит к раздражительности, быстрой утомляемости, стрессу и другим негативным последствиям.

Разработка и внедрение в повседневную жизнь роботизированной системы эффективного освещения рабочей зоны с возможностью удаленного управления поможет решить вышеперечисленные проблемы.

Цель реализации проекта: теоретическая и практическая подготовка в области роботизации бытовой сферы жизнедеятельности человека, обеспечение более комфортных условий труда и жизни с применением инновационных технологий, совершенствование творческих способностей учащегося, приобщение его к современным технологиям и знакомство с тенденциями развития в области робототехники, развитие навыков в научной и практической деятельности.

В результате выполнения проекта была разработана роботизированная система эффективного освещения рабочей зоны с возможностью удаленного управления.

В проекте произведен анализ интернет источников по выбранной тематике проекта, выполнен анализ существующих аналогов и выбор оборудования для реализации системы, обоснован выбор микроконтроллерного устройства управления, соответствующих современным требованиям, разработана логическая блок-схема управления системой, разработана кодовая часть основной управляющей программы, 3D модель элементов конструкции и корпусных деталей разрабатываемой роботизированной системы эффективного освещения рабочей зоны с возможностью удаленного управления.

Созданный прототип роботизированной системы имеет многоуровневую аппаратную структуру и строится на основе высоконадёжных унифицированных программных средств.

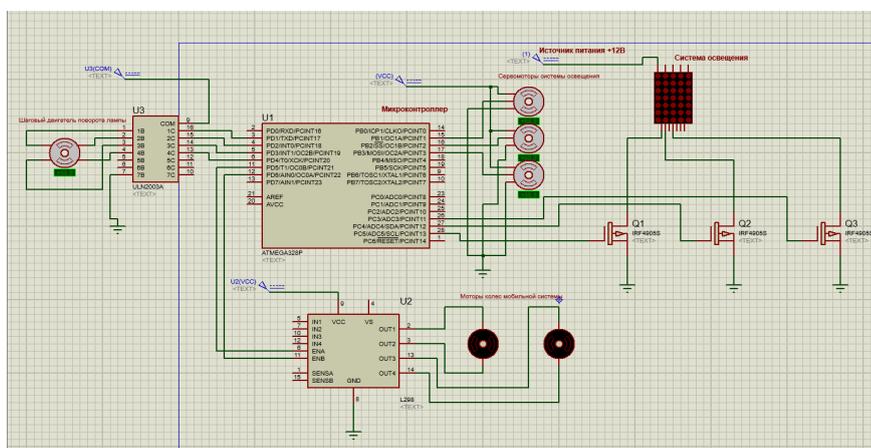


Рис. 1 Электрическая принципиальная схема системы

Актуальность разработки роботизированной системы эффективного освещения рабочей зоны с возможностью удаленного управления не вызывает сомнений, поскольку данная система предлагает совместить приятное с полезным - поставить осветительный прибор на передвижную роботизированную платформу и автоматизировать настройку осветительного элемента относительно рабочей области для того, чтобы не отвлекать пользователя от работы и не тратить его время на настройку лампы и выбора подходящего положения вручную.

Разработанная роботизированная система в дальнейшем может быть дополнена с точки зрения программной части сценариями и возможностями быстрой настройки под конкретного пользователя на любом устройстве, как-то персональный компьютер, ноутбук, или смартфон.

1. Макаров, И. М. Робототехника: История и перспективы / И. М. Макаров, Ю. И. Топчеев. – М. : Наука; Изд-во МАИ, 2018. – 349 с.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА БЫСТРОСМЕННЫХ ЗАХВАТОВ И СБОРОЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Матрунчик Ю.Н., Шлейко Т.А.

- 1). Белорусский национальный технический университет,
г. Минск Республика Беларусь,
- 2). УО «Национальный детский технопарк»,
г. Минск Республика Беларусь

На современных промышленных предприятиях роботизация производства может иметь достаточно высокий процент. На малых предприятиях, характеризующихся мелкосерийным производством, промышленные роботы оснащены одним видом рабочего инструмента и для выполнения полного цикла производства требуется несколько роботов, которые расположены вдоль конвейера, по которому перемещается обрабатываемая заготовка либо же смену инструмента выполняет технический персонал вручную.

На более крупных и технически развитых предприятиях конвейерные линии оборудованы универсальными промышленными роботами, оснащенными наборами сменных инструментальных насадок и позволяют проводить несколько технологических операций с применением малого количества основного технологического оборудования

Цель проекта: автоматизировать производственные процессы и освободить человека от механических рутинных действий по смене инструмента и выполнению простых технических манипуляций, снижение стоимости оснастки промышленных роботов и создание энергоэффективных аналогов уже существующих видов быстросменных приспособлений для установки инструмента и захватов промышленных роботов, расширение номенклатуры быстросменного инструментария в робототехнических производственных системах.

В проекте произведен анализ литературных источников по выбранной тематике проекта, выполнена группировка оборудования для реализации системы, обоснован выбор устройства управления, соответствующих современным требованиям, составлены блок-схемы логики управления устройством, разработана основная управляющая программа, 3D модель элементов механизмов устройства быстрой смены инструмента и самого манипулятора.

Созданный прототип роботизированной система быстросменных захватов и сборочных инструментов промышленных роботов имеет многоуровневую аппаратную структуру и строиться на основе высоконадёжных унифицированных программных средств.

Актуальность разработки роботизированной системы быстросменных захватов и сборочных инструментов промышленных роботов не вызывает

сомнений, поскольку в наше высокотехнологичное время все ещё существуют предприятия, которые имеют низкий уровень роботизации и вследствие этого спрос на варианты оснастки роботов сменным инструментом, не требующим участия человека в рабочем процессе, а только в процессе управления РТС в целом. И особенно на те, которые могут выполнять несколько технологических задач на одном рабочем месте.

Разработанная роботизированная система может быть дополнена магазинами сменных инструментов, с возможностью транспортирования дополнительного инструмента в зону обслуживания промышленного робота. Электрическая схема разработки представлена на рисунке 1.

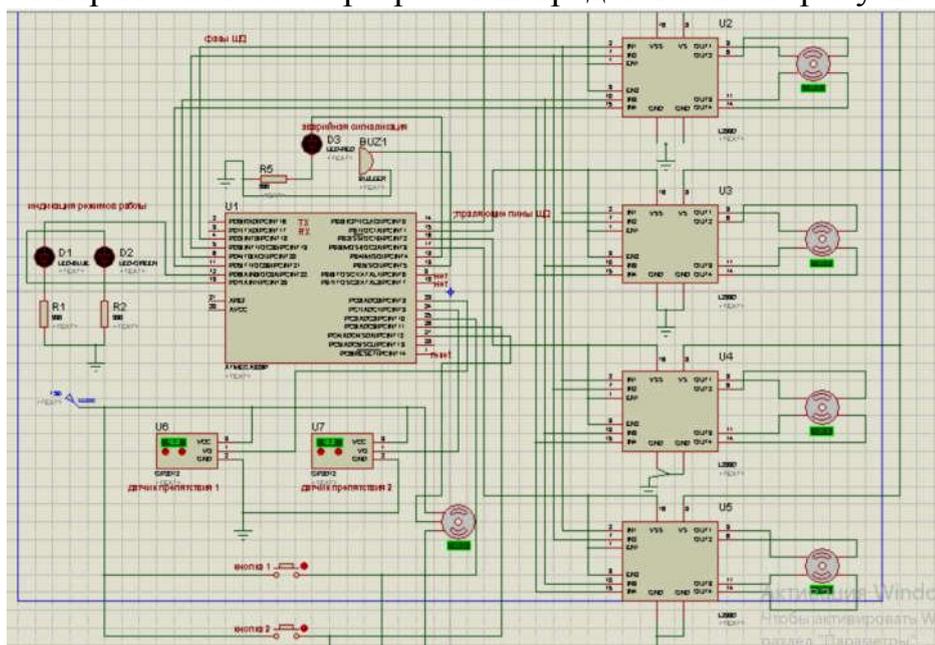


Рис.1 Электрическая схема роботизированной системы быстросменных захватов и сборочных инструментов ПР

На обучение управлению данной системой пользователями не нужно тратить много времени, ведь управление включает в себя минимальный набор действий, необходимых от человека. Состав оборудования инструментальной части может варьироваться под технологический процесс.

Робот может автономно выполнять поставленные задачи в любое время и в любом количестве по заранее записанной в памяти микроконтроллера управляющей программе, реализующей различные сценарии под конкретную задачу пользователя и под определенную оснастку – инструментальную часть универсального промышленного робота.

1. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами. 3-е изд. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 480 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСТОМ ПРИЕМКИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Матрунчик Ю.Н., Казимирчик В.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Основным сырьем для молочной промышленности является коровье молоко.

Прием на молочном предприятии начинается с определения количества молока, которое регистрируется в системе взвешивания, необходимой для сравнения с количеством молока, отправленного с фермы.

Важным фактором на данном этапе является охлаждение поступающего молока, так как при транспортировке неизбежно повышение температуры молока выше $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с этим молоко обычно охлаждается ниже $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пластинчатом теплообменнике, прежде чем поступит в резервуары на промежуточное хранение.

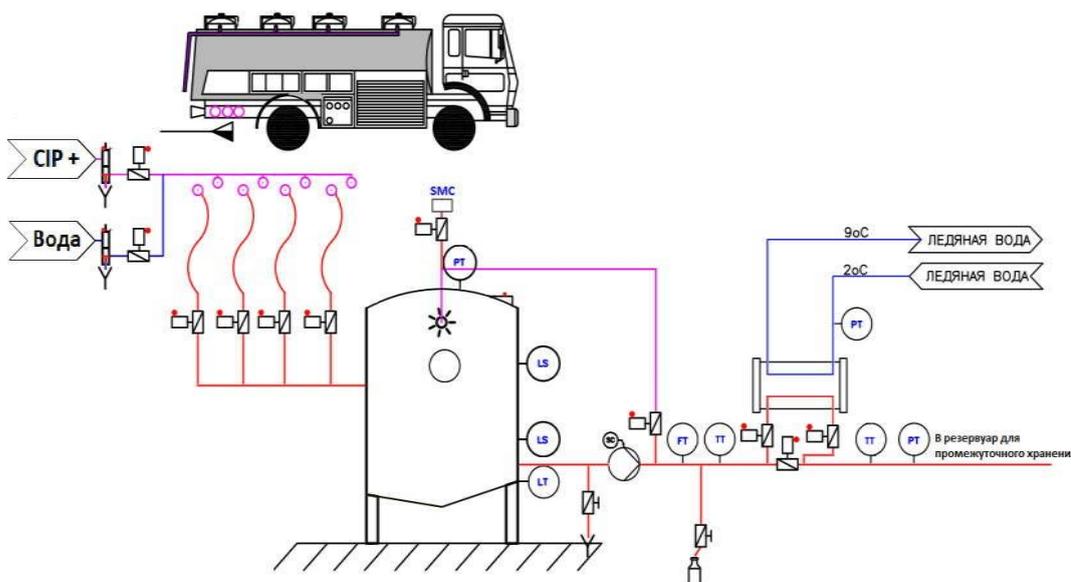


Рисунок 5 - P&ID схема автоматизированной системы управления постом приёмки молочной продукции

На рисунке 1 представлена P&ID схема автоматизированной системы управления постом приёмки молочной продукции с измерением по объему.

В данном способе управления и контроля за текущими параметрами используется расходомер, однако показания прибора не всегда точны, так как во время транспортировки молоко смешивается с воздухом в цистернах молоковоза. [1]

Для этого используется воздухоотделитель, состоящий из резервуара и вакуумного эжектора.

Технологический процесс работы поста приемки молочной продукции:

1. За счет создаваемого вакуума внутри воздухоотделителя молоко перекачивается из молоковоза в резервуар.

2. Насос запускается системой управления, которая дает сигнал о том, что молоко в воздухоотделителе достигло необходимого уровня, чтобы предотвратить обратный подсос воздуха в линию. Насос останавливается, как только уровень молока падает ниже заданного уровня.

3. Фиксируется количество молока, проходящее через измерительное устройство.

4. Охлаждение молока до требуемой температуры. По данным с датчика температуры система управления решает отправлять молоко на промежуточное хранение через трубчатый теплообменник или минуя его.

Компоненты системы управления постом приемки молочной продукции:

1. Воздухоотделитель:

а) резервуар; б) вакуумный эжектор.

2. Насос с частотным управлением;

3. Расходомер;

4. Трубчатый теплообменник;

5. Датчики:

а) датчик уровня; б) датчик положения; с) датчик температуры;

д) датчик давления.

6. Клапаны:

а) клапан бабочка с пневматическим приводом; б)

регулирующий клапан; с) седельный клапаны.

7. Промышленный контроллер WAGO;

8. Многофункциональная цветная сенсорная панель оператора WEINTEK;

9. Сеть Industrial Ethernet.

Автоматизированная система управления разработана в среде разработки CoDeSys с применением языка программирования Structured Text (ST) стандарта МЭК 61131-3.

1. Сбор и приёмка молока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/sbor-i-priyomka-moloka>.

2. CoDeSys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА LED ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Мисякова В.А., Азаревич Э.А., Ковалева И.Л.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Для оценки правильности позиционирования рабочего инструмента 3D-принтера предлагается определить координаты LED излучателя синего цвета, закрепленного на печатающей головке. Изображение с обычной телевизионной камеры (web-камеры), расположенной над рабочей зоной строительного 3-D принтера, подается на компьютер и обрабатывается программой, описанной ниже.

Сигнал LED излучателя представляет собой фиксированный оттенок синего цвета или соотношение RGB. В этом случае целесообразно использовать такие понятия как цветовой тон, насыщенность и светлота. Именно в данных понятиях люди обычно описывают цвета. Поэтому для определения положения центра LED излучателя предлагается перейти к цветовой модели HSV (англ. Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, значение), поскольку она учитывает особенности восприятия и описания цвета человеком. Одним из ключевых аспектов модели HSV, отражающей человеческое восприятие, является разделение цветовой информации на компоненты оттенка, насыщенности и значения. Оттенок представляет доминирующую длину волны света, которая воспринимается как цвет, в то время как насыщенность представляет интенсивность или чистоту цвета, а значение представляет яркость или темноту цвета.

На первом этапе к видеопотоку, поступающему на компьютер, применяется фильтрация по Гауссу. Данный вид фильтрации используется для сглаживания изображения за счет уменьшения шума и деталей при сохранении общей структуры изображения. В OpenCV для фильтрации по Гауссу предусмотрена функция `cv2.GaussianBlur()`, которая принимает в качестве входных параметров входное изображение, размер ядра, который будет использоваться для сглаживания, и стандартное распределение Гаусса, применяемое для генерации ядра.

После сглаживания изображение выполняется его бинаризация, основанная на том, чтобы по цветовому признаку детектировать все лишнее и перевести пиксели нужного цвета в белые, а все остальные – в черные. Для выделения синих областей изображения создается двоичная маска входного изображения в цветовом пространстве HSV с использованием функции `cv2.inRange()`, где пикселям, которые попадают в указанный диапазон значений синего цвета, присваивается значение «белый», а пикселям, которые выходят за пределы диапазона, присваивается значение «черный». Диапазон значений синего цвета

задается кортежем из трех целых чисел, которые определяют нижний и верхний предел значений в цветовой модели HSV.

На следующем этапе выполняется аппроксимация контуров областей, соответствующих синему цвету. Для этого используется алгоритм сжатия `cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE`, который удаляет все избыточные точки и сжимает горизонтальные, вертикальные и диагональные сегменты. Затем извлекаются все контуры с использованием функции `cv2.findContours()` и восстанавливается полная иерархия вложенных контуров (`cv2.RETR_TREE`). После определения контура с максимальной площадью с помощью функции `cv2.contourArea()` вычисляются моменты изображения M_{00} , M_{01} и M_{10} , на основании которых и осуществляется вычисление координат центра LED излучателя. Для этого библиотека OpenCV предоставляет функцию `cv2.moments()`, которая принимает контур в качестве входных данных и возвращает словарь, содержащий вычисленные моменты. Момент изображения относится к определенному математическому вычислению, выполняемому для значений пикселей изображения, которое дает информацию о пространственных свойствах изображения, таких как его центр масс или ориентация. Момент нулевого порядка M_{00} представляет собой общую сумму интенсивностей всех пикселей в изображении, момент первого порядка M_{01} – это сумма значений интенсивности пикселей, умноженных на их координаты вдоль выбранной оси, деленная на общую интенсивность изображения, момент десятого порядка M_{10} – это один из высших порядков моментов, который может быть использован для определения формы и текстуры объектов на изображении.

Скрипт для определения положения центра LED излучателя был разработан на высокоуровневом языке программирования Python с использованием библиотеки OpenCV. Результаты работы скрипта приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Отображение координат центра LED излучателя

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ УСИЛИЙ, ЗОН СКОЛЬЖЕНИЯ И СЦЕПЛЕНИЯ АВТОШИНЫ С ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ САПР ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Можаровский В.В.¹, Кузьменков Д.С.¹, Василевич Ю.В.²

- 1). Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь,
- 2). Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для описания и анализа контактных процессов, происходящих при качении автомобильных колес по основанию, и механизма изнашивания автошин колес, была исследована задача качения двух ортотропных (из композитов) цилиндров с параллельными осями, прижатых друг к другу с силой P и зон контакта, была построена математическая модель исследуемой задачи, разработан алгоритм решения задачи, осуществлена программная реализация. На базе представленных в монографии [1]) теоретических положений кратко изложена программная реализация.

Следует отметить, что исследование явления качения цилиндрических тел из композитных материалов при контактном взаимодействии тел возможно при использовании эмпирических экспериментальных методов, но нежелательно, из-за обширности и дороговизны работ, требуемых для охвата множества разнообразных комбинаций структур материалов, наполнителей, способов плетения волокна, последовательности укладки слоев, типов конструкций. В связи с этим создана программа, реализующая нахождение касательных усилий в области контакта, а также определение зон скольжения и сцепления, направления скольжения. Для решения поставленной задачи был запрограммирован алгоритм решения задачи о качении цилиндров.

Сначала производится ввод исходных данных, позволяющее задать управляющий параметр $\psi = T/fP$ [1], T и P нормальные и касательные усилия, коэффициент трения f , E_j , $j=1,2$, G_{12} , ν – технические постоянные материала. После введения начальных данных программа осуществляет вычисления и отображает окно вывода результатов, в котором приведены все необходимые выходные данные. Найденные касательные усилия в области контакта, а также зоны скольжения и сцепления, направление скольжения изображены на рисунке 1.

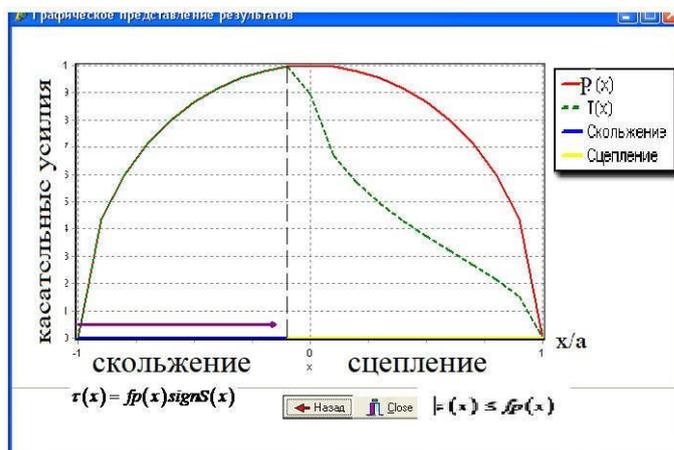


Рисунок 1 – Окно графического представления результатов

Программа, реализующая определение зоны контакта напряжений и перемещений, построена на МКЭ, в ней используются экспериментальные исследования, например, на основе фотопринера (см. [2]). Разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение напряжений и перемещений в контактирующих телах. Программа позволяет изменять размеры параллелепипеда, в котором находится исследуемое тело. Форму верхней границы тела, на которую действует давление, можно задавать при помощи «мыши» (прямоугольниками). Для решения поставленной задачи был использован и успешно запрограммирован метод конечных элементов. Построена схема расчета параметров контакта (см. рис.2). Для расчета применялись прямоугольные конечные элементы.

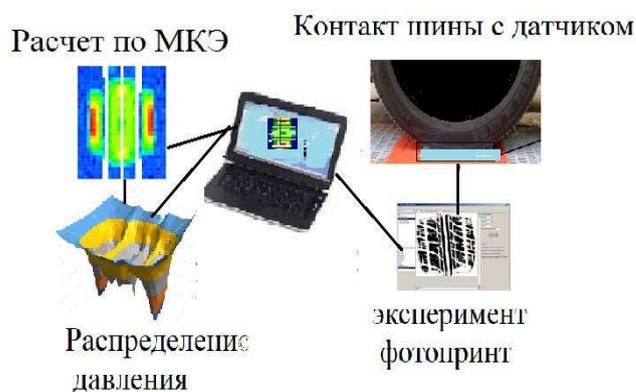


Рисунок 2 – Схема расчета параметров контакта

1.Можаровский В.В., Старжинский В.Е. Прикладная механика слоистых тел из композитов. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 280 с.

2.Tire Contact Force Equations for Vision-Based Vehicle Weight Identification /Xuan Kong, Tengyi Wang,Jie Zhang,Lu DenJiwei Zhong, Yuping Cui and Shudong Xia/ Appl. Sci. 2022, 12, 4487. <https://doi.org/10.3390/app12094487>.

СЦЕНАРИЙ НА ЯЗЫКЕ IRONPYTHON ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО ТЕЛА

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

- 1) Минск, Белорусский национальный технический университет,
2) Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет,
3) Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

При проектировании многих изделий в промышленности существенным требованием является снижение материалоемкости объектов массового производства в условиях сохранения прочности и жесткости. Для выполнения этих требований геометрическая модель объекта должна быть параметрической, поскольку в дальнейшем она должна использоваться в блоке, выполняющем оптимизацию. Построение такой модели часто связано с определенными трудностями, поскольку выбранные геометрические модели имеют ряд ограничений.

Встроенный в среду Ansys Workbench моделиер SpaceClaim обладает рядом преимуществ, одним из которых является наличие инструмента для создания сценариев на языке IronPython, позволяющего исследователю существенно упростить подготовку модели.

В качестве примера использования такого подхода рассматривается задача разделения исходного тела с помощью «фрезы», представленная на рисунке 1 слева. Здесь исходное тело имеет коричневый цвет, а тело «фрезы» зелены.

Контур проекции основного тела предварительно строится по замеренным точкам с помощью сплайна, затем контур заполняется и вытягивается. Отдельный резец «фрезы» представляет собой тело, получаемое вытягиванием задаваемого предварительно сечения вдоль винтовой кривой, которая строится с помощью другого сплайна.

Особенностью предлагаемого алгоритма является то, что при построении «фрезы» необходимо объединить все резцы с предварительно созданной подошвой для образования единого тела.

Это связано с особенностью инструмента, используемого для разделения тела с целью получения ячеистой структуры. Если попытаться выполнить такое разделение предварительно созданным массивом резцов без указанного объединения, то операция выполняется некорректно и прерывается при достижении зуба, не пересекающегося с основным телом. При этом выполнение программы прерывается.

Обратим внимание, что предложенный сценарий может быть легко модифицирован для другого основного тела и другого вида зуба «фрезы».

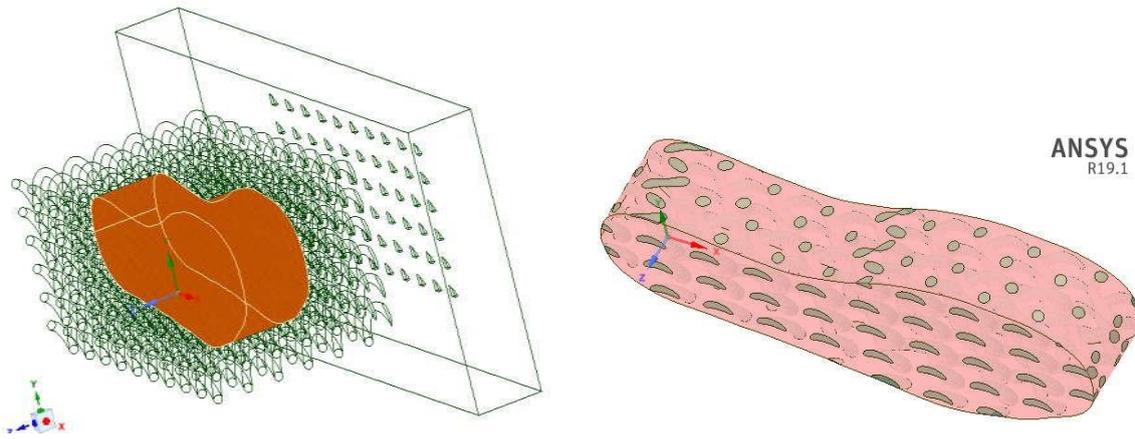


Рисунок 1. Исходное тело и «фреза» (слева) и результат выполнения сценария (справа)

На рисунке 2 показаны фрагменты сценария на языке IronPython с комментариями, запуск которого обеспечивает выполнение нужных операций.

```

1 | # Python Script, API Version = V17
2 |
3 | document = DocumentHelper.CreateNewDocument()
4 |
5 | import math
6 |
7 | def funcWINT(R,H_angle, H,K_point):
8 |     #___ Создаем пустой набор точек с именем ptList
9 |     ptList = List[Point]()
10 |    #___ Добавляем точки в набор ptList
11 |    for i in range(0, K_point):
12 |        ALFA=H_angle*i;
13 |        x1=MM(R*math.cos(ALFA));
14 |        y1=MM(R*math.sin(ALFA));
15 |        z1=MM(i*H)
16 |
17 |        ptList.Add(Point.Create(x1, y1, z1))
18 |    ncurve = NurbsCurve.CreateThroughPoints(False, ptList, 0.0001)
19 |    curveSegment = CurveSegment.Create(ncurve)
20 |    designCurve = DesignCurve.Create(GetRootPart(), curveSegment)
21 |    #_____ Слайн построен
22 |    return ptList
23 |
219 | # Объединить объекты
220 |
221 | for i in range(1, Count_Comp_in_massiv+1):
222 |     print ' i=', i
223 |     telo1=GetRootPart().Bodies[1]
224 |     # Ниже индекс 0 в Components[0] потому,
225 |     #что объединенное тело telo2 удалится после объединения!!!
226 |     telo2=GetRootPart().Components[2].Content.Bodies[0]
227 |     targets = Selection.Create([telo1,telo2])
228 |     result = Combine.Merge(targets, None)
229 | # EndBlock
230 |
231 |
232 | # Переименовать "Твердое тело" в "FREZA"
233 | selection = Selection.Create(GetRootPart().Bodies[1])
234 | result = RenameObject.Execute(selection,"FREZA")
235 | # EndBlock
236 |
237 |
238 | # Создать пересечение объектов
239 | targets = Selection.Create(GetRootPart().Bodies[2])
240 | tools = Selection.Create(GetRootPart().Bodies[1])
241 | options = MakeSolidsOptions()
242 | options.KeepCutter = False
243 | result = Combine.Intersect(targets, tools, options, None)
244 | # EndBlock

```

Рисунок 2. Фрагменты сценария на языке IronPython

На рисунке 1 справа представлен результат выполнения сценария для одного из возможных случаев основного тела и зуба «фрезы». Здесь решена задача о построении облегченного варианта обувной подошвы.

Таким образом в результате выполненной работы обоснован выбор современного геометрического моделиера SpaceClaim, который может работать как из-под Ansys Workbench, так и автономно;

разработан алгоритм и получена его реализация в виде сценария на языке IronPython для параметрического моделирования ячеистого тела; получены результаты моделирования для реального объекта.

ЗАДАНИЕ СЕЧЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УТОЧНЕННОЙ МОДЕЛИ КАБИНЫ ЛЕСОВОЗА

Напрасников В.В., Ван Цзы Жуй

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

При проектировании кабин особое внимание следует уделять их защитным свойствам. Существенное влияние на этот фактор оказывает адекватное описание компонентов каркаса кабины, который воспринимает основную часть возможных ударных нагрузок. Поэтому важно задавать реальные сечения элементов каркаса, имеющие разные профили, не представленные в стандартной библиотеке.

В докладе подробно описываются этапы подготовки конечно-элементной модели конструкции кабины, в которой каркас представлен балочными элементами, а обшивка пластинчатыми. На рисунке 1 представлены последовательные этапы подготовки модели.

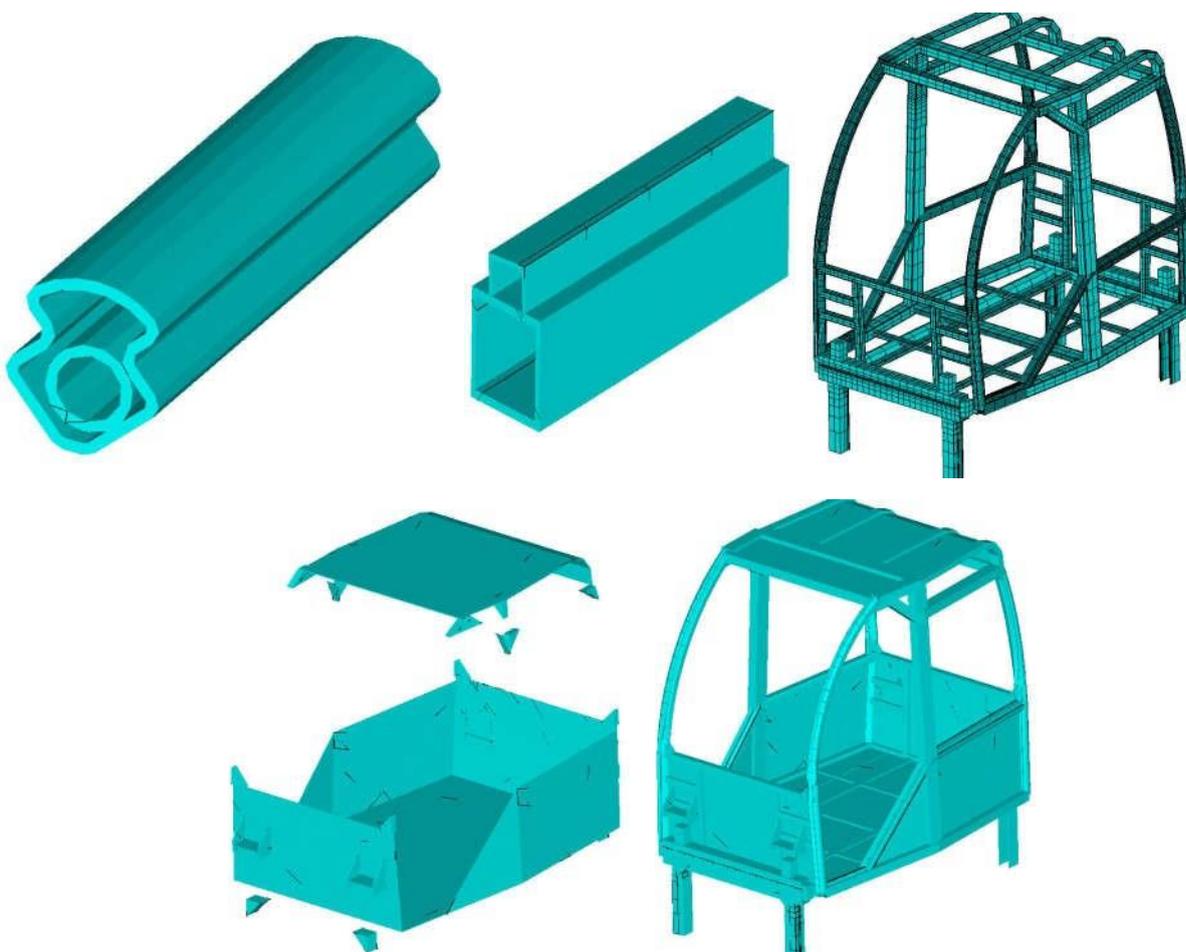


Рисунок 1. Виды некоторых сечений балочных элементов и всего каркаса (вверху), обшивка и полная сборка (внизу)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ТИТАНА НА СТРУКТУРУ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

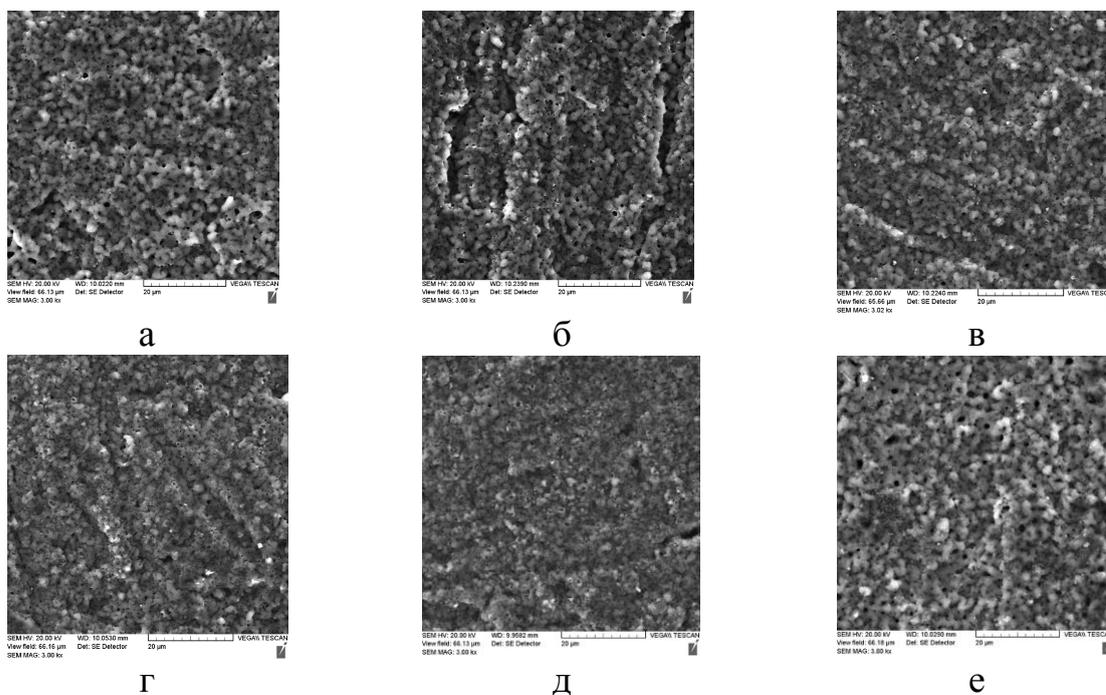
Нисс В.С., Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Паршута А.Э.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Для повышения производительности с возможностью управления структурой и свойствами формируемых оксидных слоев предложен метод микродугового оксидирования, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов напряжением до 600 В с регулируемой частотой от 50 до 2500 Гц. В работе исследовалось влияние режимов высокочастотного импульсного МДО титана ВТ1-0 в электролите на основе ортофосфорной кислоты на морфологию формируемого оксидного слоя.

В качестве электролита использовался водный раствор H_3PO_4 (1 % масс). Температура электролита составляла 25 °С. Для исследований использовались плоские образцы из титана ВТ1-0 с размерами 20x5x1 мм (площадь обработки 2,0 см²). Обработка образцов выполнялась в биполярном режиме при длительности импульсов 0,05 мс, 0,2 мс, 0,5 мс, 1,0 мс и 5,0 мс в форме меандра с коэффициентом заполнения 50 %. Амплитуда импульса положительного напряжения составляла 400 В, отрицательного напряжения – 50 В. Продолжительность обработки составляла 5 мин.

Электронные микрофотографии поверхности образцов при различных значениях длительности импульсов высокочастотного импульсного МДО представлены на рис. 1. Оксидная пленка на поверхности покрытия представляет собой относительно рыхлую структуру со множеством пор и бороздок, размеры и количество которых зависят от длительности импульсов технологического напряжения. Наибольшего размера бороздки достигают при длительности импульсов 0,2–0,5 мс и составляют 50–60 мкм. При длительности импульсов 0,1–0,05 мс бороздки существенно меньше и имеют длину 10–15 мкм. Установлено, что размер пор уменьшается при снижении длительности импульсов (рис. 2). Покрытия, полученные при длительности импульсов 5 мс представляет собой достаточно пористую структуру, в то время как при 0,05–0,2 мс пористость и размеры бороздок существенно меньше. Увеличение длительности импульсов технологического напряжения с 0,05 мкс до 5 мс приводит к росту размера пор с 0,5 мкм до 2,2 мкм соответственно.



а – 1, 0 мс; б – 0,5 мс; в – 0,2 мс; г – 0,1 мс; д – 0,05 мс; е – 5 мс;

Рис. 1. Электронные микрофотографии поверхности образцов из титана VT1-0 при различных значениях длительности импульсов

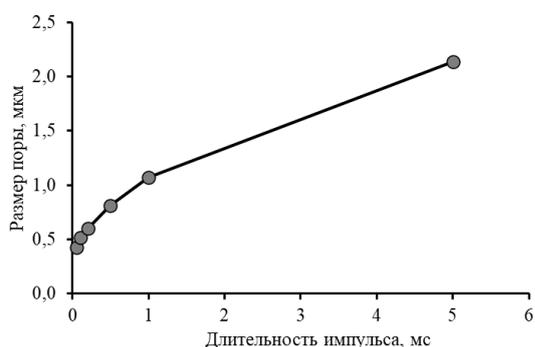


Рис. 2. Изменение размера пор в покрытии МДО в зависимости от длительности импульсов

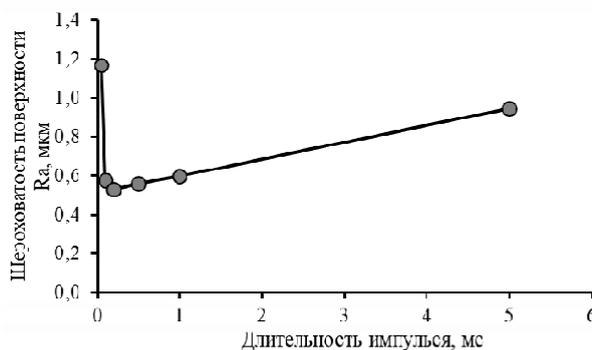


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности оксидного слоя от длительности импульсов

Анализ зависимости на рис. 3 показывает существенную нелинейность шероховатости формируемого оксидного слоя от длительности импульсов. При малой длительности импульса (0,05 мс) происходит формирование неоднородной поверхности с высокой шероховатостью (до $Ra = 1,2$ мкм). Такое состояние оксидного слоя связано, по-видимому, с недостаточным количеством энергии, поставляемой в зону обработки за малый промежуток времени и невозможностью образования относительно ровного покрытия. При большей длительности импульсов (0,1–1,0 мс) шероховатость значительно ниже и составляет $Ra = 0,5$ – $0,6$ мкм. При дальнейшем увеличении длительности импульсов (до 5 мс) шероховатость увеличивается и достигает значения $Ra = 0,9$ мкм.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ МДО-ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Нисс В.С., Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г.,
Сенченко Г.М., Янович В.А.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В работе приводятся результаты исследования структуры и свойств черных керамических покрытий на алюминиевом сплаве АМг2, полученных методом микродугового оксидирования с применением силикатно-фосфатного электролита с добавлением ферроцианида калия в качестве окрашивающего компонента (рис. 1.) [1].

Установлено, что с повышением содержания ферроцианида калия с 0,5 до 1,5 г/л наблюдается значительное снижение качества формируемых покрытий. Дальнейшее повышение концентрации ферроцианида калия не оказывает влияние на изменение шероховатости. Так повышение концентрации ферроцианида калия с 0,5 до 1,5 г/л приводит к увеличению шероховатости поверхности Ra с 1,08 мкм до 4,20 мкм (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид образца с полученным черным керамическим покрытием

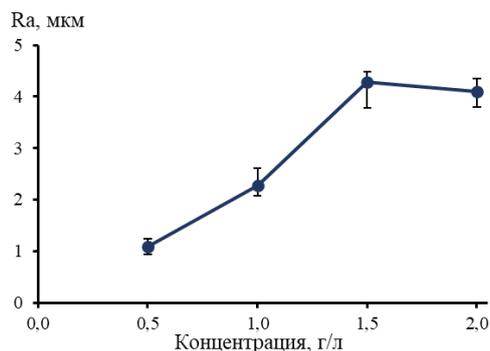


Рис. 2. Влияние концентрации ферроцианида калия на шероховатость покрытия

На рис. 3 представлены фотографии структуры поверхности и поперечного сечения полученного покрытия. Покрытие имеет глобулярную структуру с большим количеством пор, имеющих преимущественно размеры 0,5–3,2 мкм (рис. 3а). Установлено, что повышение содержания ферроцианида калия приводит к уплотнению структуры покрытий со значительным увеличением плотности и размеров глобулярных образований. Оксидный слой с общей толщиной 31 мкм включает относительно небольшой беспористый внутренний слой (1,5–2,5 мкм). Наружный слой имеет как продольные, так и поперечные (причем закрытые) поры с размером до 18 мкм. При этом в структуре наружного слоя присутствует большое количество мелких сферических пор с размерами 0,5–2,5 мкм (рис. 3б).

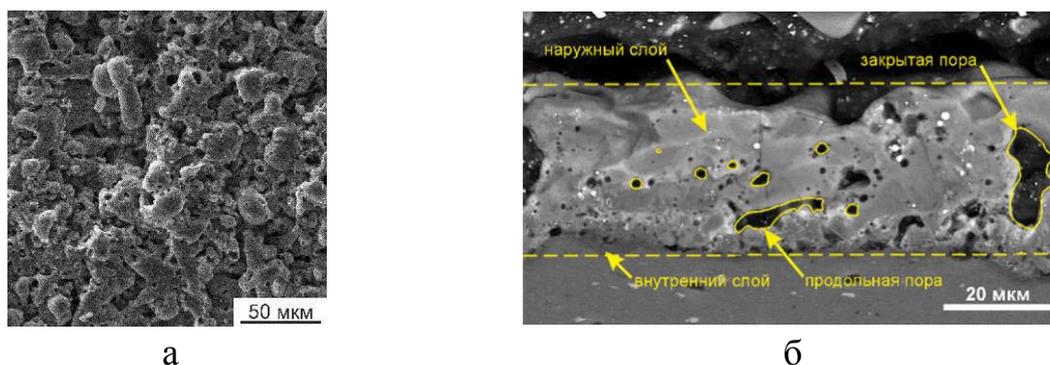


Рис. 3. Морфология и структура покрытия

На рис. 4 представлена зависимость, характеризующая влияние продолжительности обработки на скорость износа поверхности образцов. На начальной стадии обработки (1 мин) покрытия демонстрировали низкую стойкость к износу. При воздействии индентором из-за малой толщины покрытия продавливались в подложку или полностью изнашивались с дальнейшим износом подложки на относительно большую глубину – 24–26 мкм, что соответствует скорости износа $3,0\text{--}3,4 \cdot 10^{-4}$ мм³/м·Н. Максимальная износостойкость покрытий (скорость износа $0,38\text{--}0,59 \cdot 10^{-4}$ мм³/м·Н) была достигнута при обработке с продолжительностью 10 мин. Дальнейшее увеличение продолжительности обработки существенным образом не оказало влияние на скорость износа.

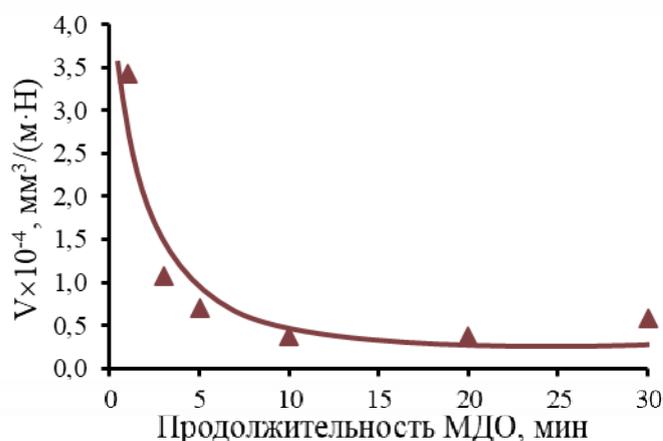


Рис. 4. Влияние продолжительности МДО на скорость износа поверхности

1. Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю. Структура и свойства оксидных покрытий, полученных высокочастотным микродуговым оксидированием // Интеграция науки, образования, производства – залог прогресса и процветания: сбор. материалов международной науч.-практической конф., посвященной 5-летию основания Новайского отделения Академии наук Республики Узбекистан, 9-10 июня 2022 г. / г. Навои, Республика Узбекистан, в трёх томах. – Навои, 2022. – Т. 3. – С. 115-119

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЧАСТОТУ АВТОКОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Нитиевский С.А.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Анализ систем управления электроприводами в целом, а в частности систем электропривода, работающих в автоколебательном режиме, является достаточно трудоемкой и сложной задачей ввиду наличия большого количества нелинейностей. В этом случае для анализа работы системы и регуляторов можно воспользоваться методом гармонической линеаризации [1], дающим описывающие функции для различных типов нелинейностей, и позволяющим сравнить эти типы нелинейностей при использовании их в качестве регуляторов в системе управления электроприводом.

При сравнении работы различных типов нелинейностей в системе с автоколебательным режимом методом имитационного моделирования по структурной схеме на рисунке 1, можно заметить, что изменение собственных параметров настройки нелинейных элементов (НЭ), в частности, ширины зоны нечувствительности и коэффициента усиления практически никакого влияния на частоту автоколебаний не оказывает.

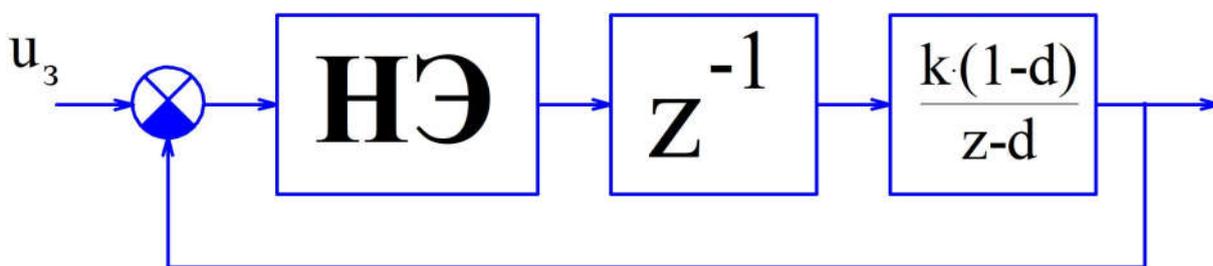


Рисунок 1 – Структурная схема имитационной модели

Исходя из этого, можно сделать вывод, что в случае, если задачей построения системы с автоколебательным режимом является стабилизация частоты автоколебаний в определенных пределах либо прямое управление ею, необходимо рассматривать иные способы воздействия на частоту автоколебаний, поскольку за счет изменения параметров нелинейных элементов получить удовлетворительное качество управления будет затруднительно.

1. Теория автоматического управления: Учебное пособие для электротехнических специальностей вузов / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – 2-е изд., испр. – Мн. : Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА

Околов А.Р., Груша Ю.А., Матрунчик Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Сегодня промышленные роботы доступны не только для крупных предприятий, но и для предприятий малого бизнеса. Это стало возможно благодаря развитию технологий и заинтересованности государства в модернизации производств.

Современные роботы могут выдерживать большие нагрузки, возросла скорость и точность их работы. Снижается и стоимость внедрения робототехнических комплексов, т. к. программное обеспечение все больше заменяет аппаратное; цены на электронные компоненты и вычислительную мощность также снижаются, а возможности и функциональность промышленных роботов и исполнительных механизмов постоянно растут. Благодаря этому, промышленных роботов успешно применяют не только в машиностроении, но и в электротехнической промышленности, фармацевтике, логистике.

Ряд финансовых и социальных факторов также подталкивает к процессу автоматизации производств. Роботы стали безопаснее – коботы способны эффективно сотрудничать с человеком на производстве. Технологии машинного зрения и искусственного интеллекта позволяют роботам выполнять более сложные задачи, самостоятельно улучшать качество работы, быстро перенастраиваться на новые операции, в т. ч. за счет роста их производительной мощности. Согласно прогноза Международной федерации робототехники, к 2035 году в странах, лидирующих в сфере промышленной роботизации, производительность труда на заводах вырастет на 40%, а валовая добавленная стоимость удвоится. Благодаря этому роботы могут стать эффективным решением не только на массовых и крупносерийных производствах, но даже на предприятиях, выпускающих небольшие партии продукции [1].

COVID-19 явился причиной роста инвестиций в робототехнику. Пандемия привела к нехватке рабочей силы, протоколам социального дистанцирования и ограничениям в цепочке поставок, что приводит компании к автоматизации. Несмотря на то, что в настоящее время ситуация в большинстве регионов мира нормализовалась, последствия пандемии коронавируса продолжают сказываться на мировой экономике. Кроме того, военные действия в Украине вызвали повышенный уровень глобальной геополитической напряженности, что привело к резкому росту инфляции и надвигающемуся энергетическому кризису потенциально огромных масштабов.

Следует отметить, что до недавнего времени малые и средние компании были относительно непривлекательными конечными клиентами для большинства производителей робототехнических комплексов – прежде всего из-за относительно небольшой доходности таких проектов наряду с высокими вложениями самой компании-поставщика, т.к. во многих случаях такие проекты ориентированы на ресурсы определенного клиента. Несмотря на эти трудности, компании-производители видят перспективу в реализации таких проектов для малых и средних предприятий; для этого они продают готовые отраслевые решения, информируют о преимуществах инвестиций в роботов нового поколения, т.к. дефицит квалифицированных кадров и негативное отношение работников к робототехнике являются более серьезными инвестиционными барьерами для небольших компаний.

Сегодня, возможность использования преимуществ от внедрения робототехнических комплексов актуальна как никогда. Кризис и пандемия COVID-19 стали драйвером развития робототехники, ведь, управлять роботизированными комплексами предприятий можно дистанционно, а здоровье, безопасность, экономичность и производительность – станут ключевыми факторами для обоснования внедрения или углубления автоматизации процессов в различных отраслях экономики. Во-первых, повысится качество охраны труда и техники безопасности на рабочем месте за счет сокращения работы человека на потенциально опасных производствах. Во-вторых, значительно повысится производительность и качество продукции: автоматизация на основе робототехники может устранить нежелательные отклонения в производственном процессе или системе. В-третьих, новое поколение роботов более гибкое, что означает, возможность легкой перенастройки под другие процессы и задачи [2].

В скором времени, робототехника, может стать локомотивом для общего экономического роста, учитывая, что наиболее передовые развитые страны в настоящее время создают у себя роботизированные предприятия и переводят к себе производства из развивающихся стран.

1. Executive Summary World Robotics – 2022 Industrial Robots (Краткий обзор мирового рынка промышленных роботов за 2022 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2022.pdf . – Дата доступа : 15.12.2022.

2. Lian Jye Su. 5 Trends Dominating the Robotics Sector [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/5-trends-dominating-the-robotics-sector/>. – Data of access: 10.12.2022.

3. Подтелкина, О.А. Перспективы развития робототехнических комплексов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ravitiya-robototekhnicheskikh-kompleksov/viewer>. – Дата доступа : 10.12.2022.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЕРХНИХ УРОВНЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Околов А.Р., Матрунчик Ю.Н., Марченко И.С.
Белорусский Национальный Технический Университет,
Минск, Республика Беларусь

Современное производство невозможно представить без автоматизированных систем управления. Согласно ГОСТ 62264 их принято разделять на 5 уровней:

- полевой,
- управления технологическим процессом,
- диспетчеризации,
- управления производством,
- управления ресурсами.

Унифицированность датчиков и исполнительных механизмов, которыми представлен полевой уровень, позволяет им однозначно взаимодействовать со следующим по возрастанию уровнем системы управления технологическим процессом посредством цифрового или аналогового сигнала.

Единые протоколы передачи данных, такие как OPC, Modbus TCP, и другие, позволяют промышленным логическим контроллерам, которыми представлен уровень управления технологическим процессом, быть совместимыми с абсолютным большинством существующих систем диспетчеризации.

Уровнем диспетчеризации пользуется обслуживающий оборудование инженерно-технический персонал для контроля за состоянием и авариями, ускорения их выявления и исправления, а при необходимости и записи большого объёма данных на кратковременный срок о работе оборудования для последующего анализа возникшей проблемы.

Существование системы управления производством в качестве готового программного продукта, подходящей для любого производства, не представляется возможным в силу того факта, что каждое отдельное предприятие, даже в рамках одной отрасли промышленности, имеет уникальную внутреннюю структуру, различную номенклатуру продукции и перечень оборудования. В её отсутствие её место занимает документооборот с ручным вводом данных.

При этом в сфере автоматизации бизнес-процессов, связанных с системами управления ресурсами предприятий, за последние тридцать лет сформировались компании-лидеры рынка данных систем, такие как SAP, 1С, «Галактика» и др. В условиях крупного предприятия, требующего комплексного управления отказаться от таких систем практически невозможно. Данные системы, как правило, имеют пакеты расширений для

взаимодействия со сторонними системами, но не предоставляют прямого обращения к используемым ими базам данных.

Таким образом взаимодействие верхних уровней системы управления производством следует реализовывать на уровне управления производством, рекомендуется разрабатывать её силами внутреннего персонала, обладающего полноценными знаниями об используемом оборудовании и установленных системах высшего и низшего уровня. Так как этот уровень является самой открытой для разработки системой, не требующая особых протоколов связи. В том числе на этом же уровне нарушается принцип передачи данных от систем нижнего уровня системам верхнего уровня. Архивирование данные снятые в режиме реального времени в системе диспетчеризации (время опроса - каждые 0,5-2с) приведет к слишком быстрому переполнению базы данных, а их обработка потребует дополнительной вычислительной мощности, когда система управления производством требует более редкого опроса (1 минута) и меньшего количества данных. Современные промышленные логические контроллеры поддерживают библиотеки прямого подключения для считывания данных из определенных областей памяти (например, s7.Net от Siemens). При считывании данных напрямую из контроллера снижается нагрузка на пропускную способность сети, объём памяти сервера, занимаемой информацией, исключается дополнительная вычислительная нагрузка системы диспетчеризации, зачастую критичной для производства. Интерпретация полученных данных, в зависимости от их объёма, может быть распределена между дополнительными таблицами базы данных, по принципу денормализации баз данных, и вычислениями на стороне клиента при выгрузке и визуализации.

Передавать данные из системы управления производством в систему управления ресурсами будет недостаточным для реализации всех функций управления производством. Чтобы сформировать многие данные в этой системе необходимы данные, формирующиеся в высшей системе (например: номер заказа, его объём и дату отгрузки для формирования производственного расписания и технических заданий). В таком случае появляется возможность для автоматизации оперативного контроля выполнения задания на производство и исключения из этого процесса человека, вследствие чего получится избежать неотслеживаемой человеческой ошибки, манипуляции с данными (сокращения реального количества брака и т.д.).

1. Н.М. Капустина. Комплексная автоматизация в машиностроении – М.: Издательский центр "Академия", 2015. – 365 с.

2. И.В. Петрова Автоматизация технологических процессов и производств – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2020. – 84 с.

3. А.С. Ключев Проектирование систем автоматизации технологических процессов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКОМ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В системах управления электроприводами присутствует дискретность программно-алгоритмического управления на базе микроконтроллера и широтно-импульсная модуляция (ШИМ) полупроводникового преобразователя электрической энергии, от которого питается двигатель. Сигнал управления формируется в микроконтроллере за время $T_C = t_{IN} + t_C + t_{OUT}$, где t_{IN} - время ввода сигналов, t_C - время расчета сигнала управления, t_{OUT} - время вывода сигнала управления. Все интервалы времени кратны тактовому периоду. Далее, требуется время не более периода T_S ШИМ для формирования напряжения преобразователя по сигналу u_{dq} . Обычно $T_C = T_S$ и периоды синхронизированы. Таким образом, два дискретных звена: микроконтроллер и преобразователь создают суммарный интервал дискретности $2T_C$.

В электроприводах наибольшее быстродействие требуется в контуре тока, что определяет быстродействие и качество всей системы. Структура контура тока на рисунке 1 содержит ПИ- регулятор $K_{dq}(z) = b_1 + b_0 T_C / (z-1)$ тока и электромагнитное звено двигателя с дискретной передаточной функцией (ДПФ) $K_C(z) = (1-d_e)/(z-d_e)$, где $d_e = \exp(-T_C/T_e)$, $T_e = L_e/R_e$ - постоянная времени электромагнитного процесса, L_e , R_e - эквивалентные индуктивность и сопротивление. Здесь b_1 , b_0 - искомые параметры регулятора. Ошибка $e = i_{dq}^* - i_{dq}$ регулирования тока поступает на вход импульсного звена I , учитывающего квантование по времени.

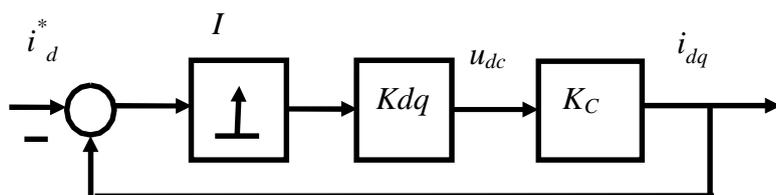


Рисунок 1 – Структура контура тока

Если обозначить $b_1' = b_1(1-d_e)/R_e$, $b_0' = b_0(1-d_e)T_C/R_e$, то ДПФ синтезированного контура тока, примет вид

$$W_C(z) = (b_1'(z-1) + b_0') / (z^2 - z((1+d_e - b_1') + b_0' - b_1' + d_e))$$

Характеристический полином контура тока $N_C(z) = z^2 - z(1 + d_e - b_1') + b_0' - b_1' + d_e$ должен иметь корни внутри единичного круга на

комплексной плоскости z . Значения желаемых корней $z_{1,2} = \sigma$ или близкие к ним действительные либо комплексные значения $z_{1,2} = \sigma \pm j\omega$ обеспечивают процессы, близкие к апериодическим. Время t_C реакции синтезированного контура тока на единичное воздействие может быть определено выражением $t_C = mT_C$, где m принимает значения от 5 до 20 в зависимости как от инерционности объекта, так и выбора σ .

Коэффициенты b_0' , b_1' , будучи рассчитаны по значениям корней z_1 и z_2 из выражений $1 + d_e - b_1' = z_1 + z_2$, $b_0' - b_1' + d_e = z_1 z_2$, позволяют получить параметры регулятора $b_1 = R_e (1 + d_e - z_1 - z_2) / (1 - d_e)$, $b_0 T_C = (z_1 z_2 + 1 - z_1 - z_2) R_e / (1 - d_e)$, обеспечивая требуемое время реакции синтезированного контура.

Контур регулирования потокосцепления и скорости являются внешними по отношению к контурам регулирования составляющих тока. При постоянстве потокосцепления электромагнитный момент пропорционален i_q . В этих условиях динамика контура скорости ограничена допустимым для двигателя ускорением $\dot{\omega}_{\max} = M_{\max} / J$, где M_{\max} - максимальный допустимый момент, J - приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции. Тогда время регулирования скорости $t_S \geq \Delta\omega / \dot{\omega}_{\max}$, и, если $\Delta\omega = \omega_{\text{ном}}$, то $t_S \geq \omega_{\text{ном}} / \dot{\omega}_{\max}$. С другой стороны, по условию устойчивости и качества $t_S \gg t_C$ а именно, $t_S > 4 t_C = 4mT_C$.

Таким образом,

$$t_S \geq \max(J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}, 4mT_C).$$

Если T_C достаточно малая величина, то есть

$$4mT_C < J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}, \quad (1)$$

что достигается высокой частотой ШИМ преобразователя, имеется возможность полного использования быстродействия двигателя.

Если же $4mT_C > J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}$, то из-за невозможности обеспечить устойчивость и качество динамики, при предельно доступном быстродействии контура скорости, двигатель остается недоиспользованным по моменту.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами (СДПМ) имеют, в сравнении с асинхронными электродвигателями, значительно меньший момент инерции. Для СДПМ особенно актуально выполнение условия (1) для обеспечения малого интервала дискретности T_C и, следовательно, требуемого быстродействия контура тока.

Следовательно, необходимо формулировать требования к динамике контура тока исходя из требований к быстродействию контура скорости, а выбор преобразователя электрической энергии выполняется с учетом частоты ШИМ.

ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ

Опейко О.Ф., Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Известен синтез управления электроприводами в предположении непрерывности системы, основанный на последовательной оптимизации контуров.

Целью работы является синтез и анализ двухконтурной подсистемы управления скоростью с дискретными робастными ПИ-регуляторами. В электроприводах управление формируется в микроконтроллере за время T_C интервала дискретности. Структура на рисунке 1 содержит дискретные ПИ- регуляторы $K_d(z) = K_q(z) = b_1 + b_0 T_C/(z-1)$ тока, потокосцепления ротора $K_\Psi(z)$ и скорости $K_\omega(z)$ и непрерывный объект управления - асинхронный двигатель (АД).

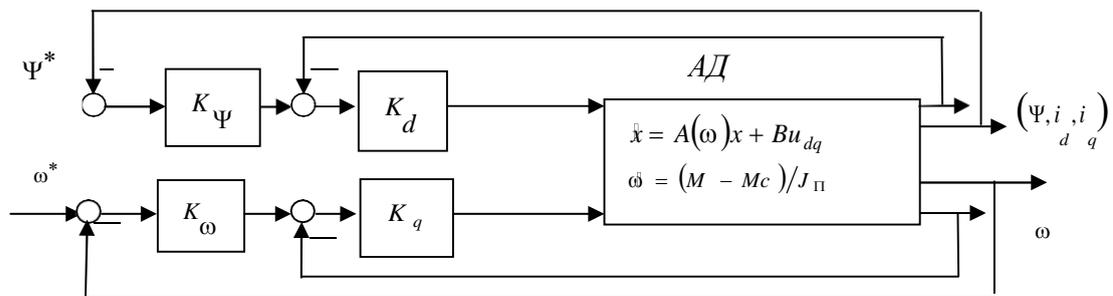


Рисунок 1 – Структура системы

Предполагая, что при управлении скоростью ω потокосцепление Ψ постоянно, перекрестными связями между каналами внутри объекта АД пренебрегают.

Синтез ПИ-регуляторов основан на расположении корней $z_i = \sigma_i$ ($i = 1, \dots, 4$) или близких к ним действительных либо комплексных значений $z_{i,i+1} = \sigma_i \pm j\nu_i$ внутри единичного круга на плоскости z , что обеспечивает процессы, близкие к апериодическим. Дискретная передаточная функция (ДПФ) $W_s(z)$ синтезированной замкнутой подсистемы преобразуется [1], переходя к новой переменной $q = (z-1)$. Учитывая, что если $s < 0,2/T_C$ то $q \approx T_C s$, к характеристическому полиному $N_s(q) = q^4 + a_1 q^3 + a_2 q^2 + a_3 q + a_4$ применимы методы анализа, известные для непрерывных систем.

Корневой портрет системы управления определяется семейством характеристических полиномов

$$P_s(q) = \{p(q) = a_0 q^n + a_1 q^{n-1} + \dots + a_n, : a_0 > 0, j = 0, \dots, n\}, \quad (1)$$

где вектор коэффициентов $a = (a_0, a_1, \dots, a_{n-1}, a_n)$ принадлежит интервальному множеству неопределенности $A = \{a \in R^{n+1} : \underline{a}_j \leq a_j \leq \bar{a}_j\}$.

Динамика системы управления приводом описывается семейством дискретных полиномов вида

$$N_s(q) = q^4 + a_1 q^3 + (a_{20} + b_p a_{2b}) q^2 + b_p a_3 q + b_p a_4, \quad (2)$$
 где b_p – изменяющийся параметр объекта, $b_p \in [\underline{b}_p, \bar{b}_p]$.

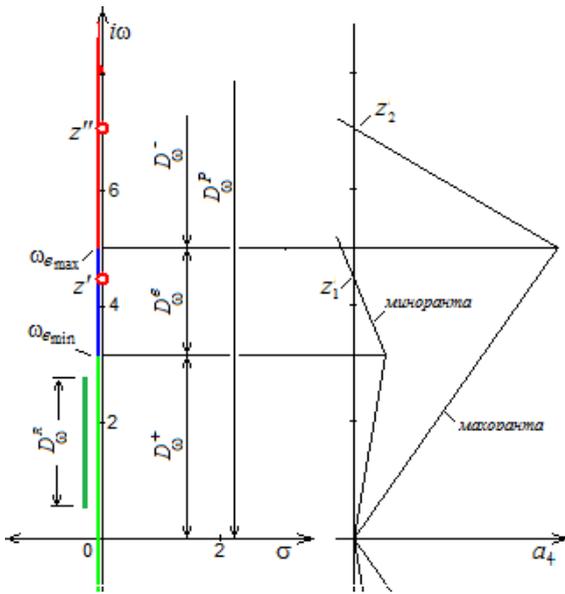


Рисунок 2 – Распределение функции параметра

После формирования для (1) уравнений корневого годографа и параметра [2], строится диаграмма распределения функции параметра вдоль границы устойчивости (рисунок 2) на основе метода, описанного в [2]. Согласно рисунку 2, реальная область пересечений D_{ω}^R границы устойчивости ветвями годографов семейства (2) располагается в пределах области D_{ω}^{\pm} возрастания функции параметра. Поэтому, при данной конфигурации системы имеются интервалы параметров

(коэффициентов (2)), при которых

система устойчива, а для проверки устойчивости всего семейства достаточно одного полинома с постоянными коэффициентами из (2):

$$s^4 + \bar{a}_1 s^3 + \underline{a}_2 s^2 + \underline{a}_3 s + \bar{a}_4 = p_1(s),$$

который после подстановки всех физических параметров системы принимает вид:

$$s^4 + 0,499s^3 + 0,0717s^2 + 0,0016s + 96,9e^{-6} = p_1(s) \quad (3)$$

и устойчивость которого гарантирует устойчивость всего семейства (2). Поскольку полином (3) устойчив, семейство (1), (2), а, следовательно, и система управления электроприводом в целом является устойчивой.

Заключение. Контур тока должен иметь расчетные полюса в 4 и более раз превосходящие по модулю расчетные полюса контура скорости, тогда корни полинома $N_s(q)$ обеспечат требуемое качество в широком диапазоне изменения параметра b_p объекта управления.

1. Джури Э. Инноры и устойчивость динамических систем. М.: Наука. 1979. – 304 с.

2. Nesenчук А.А. Investigation of behavior and synthesis of interval dynamic systems' characteristic polynomials based on the root locus portrait parameter function / А.А. Nesenчук // American Control Conference (ACC 2018): Proceedings of the 60th American Control Conference, Milwaukee, USA, June 27–29, 2018 / – Milwaukee, 2018. – P. 2041 – 2046.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ, КАК СРЕДСТВО ПЕРЕХОДА НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАСШТАБЫ ПРОИЗВОДСТВА

Охотенко А.В., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время одной из важнейших проблем в сфере автоматизации производства является недостаточная скорость перехода производства продукции на промышленные масштабы. Это сопряжено с тем, что на начальных этапах работы многих компаний большая часть процесса производства продукции, которая может быть автоматизирована, выполняется вручную. Такой подход имеет экономическое обоснование лишь при небольших объёмах производства. Однако при увеличении количества заказов, скорость их обработки значительно снижается.

Для рассмотрения данной проблемы возьмём текущую ситуацию на локальном рынке контроллеров автоматизации. Спрос на продукцию локальных производителей увеличился. Вторым фактором повышения спроса стала необходимость в уверенности обеспечения технической поддержки приобретаемого продукта. Повышение спроса, в свою очередь, повлекло необходимость повышения скорости производства.

Контроллер NGC занимает позицию в среднем сегменте надёжности. Это говорит о том, что контроллер не подходит для сложных промышленных процессов, но может использоваться в менее критичных системах автоматизированного управления технологического оборудования.

Тестирование устройства и его отдельных частей в процессе производства можно реализовать на базе следующих методик и технологий: визуальный автоматизированный контроль; внутрисхемное тестирование; периферийное сканирование; функциональное сканирование.

Все перечисленные методики позволяют оценить качество электроники в процессе производства, однако в некоторых случаях тестирование устройства проводится только на финальном этапе. Для контроллера NGC необходима именно автоматизация тестирования после окончательной сборки. Это позволит заменить непродуктивное ручное исполнение, освободив сотрудника для иной деятельности, и увеличить объёмы производства без задержек в поставках.

1. Как тестировать электронику на производстве: анализ современных технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/promwad/blog/185356/>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПСТМ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Парницкий А.М., Сеньюк В.Т.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Как известно, одной из важнейших задач при получении поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе нано- и микропорошков алмазов является достижение сочетания оптимальных характеристик получаемых материалов при минимальных производственных затратах [1]. В связи с этим для обоснованного выбора состава шихты и технологических режимов термобарического спекания ПСТМ, а также установления зависимости максимальной твердости H_V от параметров термобарического спекания и фракционного состава материала в работе были использованы методы математического планирования эксперимента, традиционно применяемые для оптимизации разнообразных технологических процессов [2]. В качестве основных факторов, влияющих на качество алмазных ПСТМ, рассматривались давление P , ГПа, температура T , °С и концентрация добавки C , %, в качестве которой использовали УДА-порошок детонационного синтеза.

В качестве исходных материалов использовались порошок УДА производства НП ЗАО «Синта» (г. Минск) с размером частиц 4–10 нм (ТУ РБ 28619110.001-95), модифицированный бором, и микропорошок алмазов статического синтеза АСМ 14/10 производства ЗАИ ПО «Кристалл» (г. Гомель) (ГОСТ 9206-80), модифицированный кремнием. Термобарическую обработку шихты выполняли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» в диапазоне давлений 5,5–7,5 ГПа при температуре от 1650 до 1950 °С.

Математическая модель уравнения отклика от независимых переменных с учетом эффектов их взаимодействий и ошибки эксперимента была представлена в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2$$

где y – параметр оптимизации; k – число факторов; i, l – номера факторов, $i \neq l$; x_i, x_l – варьируемые факторы; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметр оптимизации.

Для получения модели процесса в виде полинома второй степени реализован некомпозиционный план второго порядка. Использование некомпозиционных планов, предусматривающих всего три уровня варьирования факторов (+1, 0, -1), упрощает и удешевляет проведение эксперимента. На основе априорной информации были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Затем составили матрицу

некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов. В соответствии с условиями опытов проводили спекание модифицированных алмазных порошков и измеряли значения твердости. По данным опытов, проведенных согласно матрице планирования, получена модель, характеризующая зависимость твердости Y_{HV} от исследуемых факторов процесса и представляет собой полином второй степени. С учетом перехода к натуральным значениям факторов уравнение регрессии примет вид:

$$Y_{HV} = -1446,34 + 135,64 \cdot P + 7,004 \cdot C + 1,12 \cdot T - 0,00333 \cdot T \cdot C - 0,000292 \cdot T^2 - 10,68 \cdot P - 0,0337 \cdot C$$

Полученное уравнение регрессии можно использовать для выбора технологических режимов спекания поликристаллических материалов, обеспечивающих оптимальные значения твердости в зависимости от исследуемых факторов (Т, Р, С). На рисунке 1 представлены полученные с помощью уравнения графические зависимости твердости от температуры и концентрации добавки УДА-порошка. При построении поверхности откликов (программа SigmaPlot 13) варьировались только два фактора.

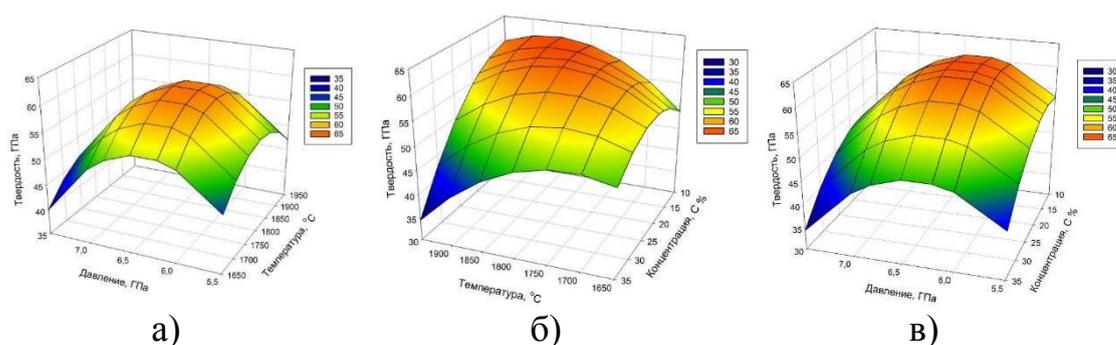


Рисунок 1 – Зависимость твердости Y_{HV} от исследуемых факторов процесса: а) температура Т и давление Р (С = 20 %); б) температура Т и концентрация С (Р = 6,5 ГПа); в) давление Р и концентрация С (Т = 1800 °С);

Установлено, что максимальная твердость $HV=58,4-63,7$ ГПа обеспечивается при температуре спекания $T=1875-1925$ °С, давлении спекания $P=6,2-6,7$ ГПа и концентрации добавки УДА-порошка $C=17,6-22,4$ %. Проведенная практическая проверка полученной модели показала ее адекватность в пределах выбранных интервалов варьирования технологических параметров.

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ НАНУ, 2001. – 528 с.

2. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

МЕХАНИЗМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ

Покровский А.И.

Физико-технический институт Национальной академии наук
Беларуси, г. Минск, Беларусь

Наиболее перспективными для машиностроения на сегодня является класс высокопрочных чугунов (ВЧ), по структуре представляющий графитные включения сферической формы в перлитной или феррито-перлитной основе. В случае, если в отливках из ВЧ удастся добиться получения структуры аусферритной металлической матрицы, эти материалы успешно конкурируют с прокатом легированных марок сталей, демонстрируя прочность до 1400 МПа. Одним из вариантов дальнейшего совершенствования структуры ВЧ является горячая пластическая деформация литой заготовки, позволяющая получать еще более высокие показатели механических свойств. После деформации шаровидная форма графита видоизменяется, превращаясь в эллипсообразную и нитевидную. Причем показано, что в большинстве случаев такая трансформация происходит без разрушения включения, вероятно, пластической деформацией.

Цель работы – предложить механизм пластической деформации хрупких графитных включений графита при обработке давлением.

Результаты и обсуждение. Металлографическим методом исследовано строение графита в литом ВЧ. На металлографических шлифах показано, что сферические включения имеют поликристаллическое секторальное строение (рис. 1).

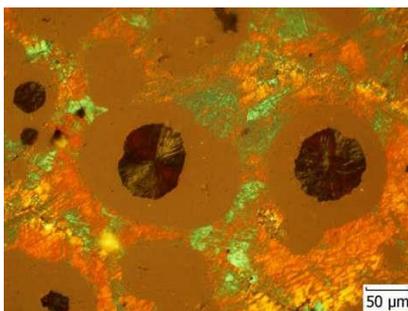


Рис. 1 - Шаровидные включения в высокопрочном чугуне в исходном (недеформированном) состоянии. Поляризованный свет. Заметно секторальное строение включений

В аксонометрии эти сектора представляют собой пирамиды с шестигранным основанием и достаточно четкими отходящими из центра и радиально расположенными границами. При кристаллизации рост каждого из секторов и всего включения в целом происходит в радиальном направлении за счет поочередного наслаивания базисных плоскостей графита друг на друга.

У образцов ВЧ, обработанных со степенью деформации 30 и 50 % (рис. 2) в структуре деформированного включения заметно наличие двух различных зон: в центре сохраняется круглое ядро с характерным секторальным (радиально-лучистым) строением и по бокам (слева и справа) отростки с иной более однородной морфологией.

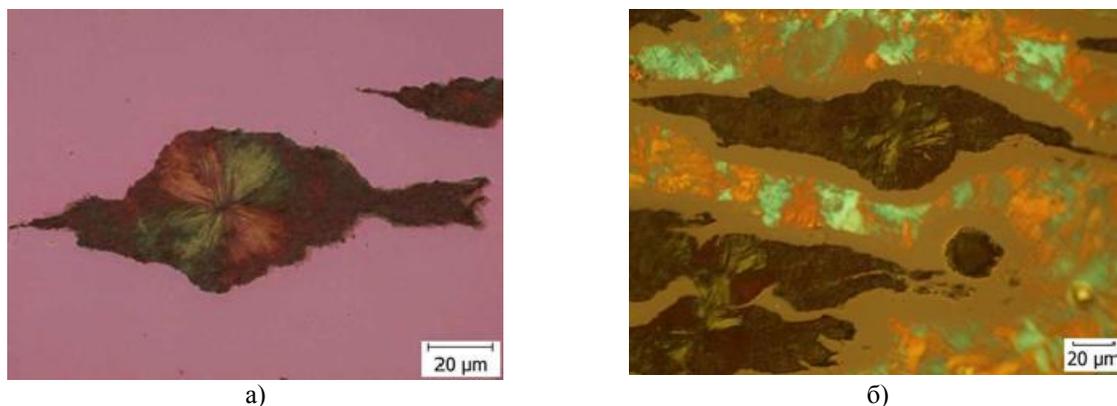


Рис. 2 - Изображение графитных включений при степени деформации 40% (а) и 60% (б). Оптическая металлография. Поляризованный свет. Заметно наличие двух зон: в центре круглое ядро с характерным секторальным (лучистым) строением и по бокам отростки с иной более однородной морфологией

У сильно деформированных чугуновых образцов (степень деформации более 60%) (рис. 3) с помощью электролитического вытравливания и растровой электронной микроскопии показано, что включение не разрушается на части (или превращается в порошок), а имеет цельную вытянутую эллипс-образную или иглообразную форму.

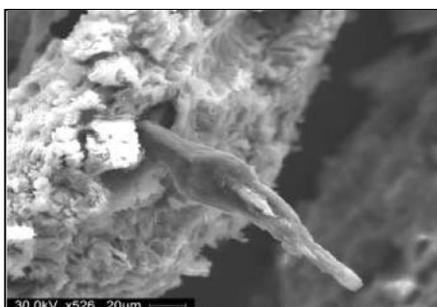


Рис. 3 – Морфология деформированного графитного включения первоначально имевшего шаровидную форму. Электролитическое вытравливание поверхности, растровая электронная микроскопия

Предложен двух стадийный механизм пластической деформации графитных включений. На первом этапе в процесс деформации вовлекаются только наружные слои (чешуйки) графитного включения. Внутреннее ядро сохраняет радиально – секторальную структуру (рис. 2).

На втором этапе деформации механизм изменяется; происходит выклинивание и выдавливание наружу тех секторов, которые расположены вдоль приложения нагрузки (рис. 3). Одновременно поперечные сектора сдвигаются ближе друг к другу. Если рассматривать единичную ячейку, то включение графита деформируется в оболочке из пластичного аустенита. Цельность и не поврежденность включения объясняется схемой деформации, близкой к неравномерному всестороннему сжатию.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ПУНКТА РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО МИНСК

Почебут Д.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Одним из важнейших этапов в ремонте двигателей внутреннего сгорания тепловозов являются послеремонтные испытания. Их проведение связано с необходимостью оценки качества ремонта, выявления и последующего устранения возможных неисправностей в работе тепловоза. Также при этом производится точная настройка и регулировка параметров работы ДВС, вспомогательного оборудования и электрической схемы тепловоза. Такой вид работ на белорусской железной дороге называют реостатными испытаниями. Пункт реостатных испытаний включает в себя реостат нагрузочный А455 мощностью 3000 кВт.

Основным узлом при выполнении реостатных испытаний является нагружающее устройство, обеспечивающее имитацию реальных условий нагружения дизель-генераторной установки и электрической передачи во всех режимах работы тепловоза. Принципиальная схема реостатных испытаний представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Принципиальная схема реостатных испытаний.

Данная схема процесса реостатных испытаний имеет несколько недостатков:

- затраты энергоресурсов;
- потери электроэнергии при выполнении работ;
- сложность конструкции.

Стремительное развитие и расширение областей применения электронных устройств, а именно полупроводниковых приборов дает возможность существенно расширить функционал процесса реостатных испытаний, а также позволить значительно экономить энергетические ресурсы.

Проект предусматривает установку инвертора, который будет использоваться вместо нагрузочного устройства, и, одновременно, рекуперировать часть полученной электроэнергии от ДГУ в электрическую сеть локомотивного депо Минск. Данная модернизация приведет к существенной экономии топливно-энергетических ресурсов.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕРВОПРИВОДА MG996R 8-БИТНЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ATTINY85

Руселевич Д.Д.¹, Дубатовка В.В.^{1,2}

1). УО «Национальный детский технопарк»,
Минск, Беларусь.

2). Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

MG996R – сервопривод, часто используемый в недорогих робототехнических прототипах для какого либо движения: поворот оси, механизм захвата объектов и др., и управляемый ШИМ-сигналом.

На данный момент существует огромное количество микроконтроллеров (МК), имеющих несколько ШИМ-выводов, однако, в некоторых приложениях необходимо использовать большое число сервоприводов. Так возникает проблема с выбором МК верхнего уровня. Был произведён сбор данных о доступных решениях и их анализ. Решением послужила модернизация сервоприводов *MK Attiny85*.

Attiny85 – 8-битный МК, частота до 20МГц, 8 кбайт flash, 512 байт EEPROM, 512 байт RAM, 2 ШИМ канала, 4 канала АЦП и интерфейс SPI. Данный МК был выбран из-за доступности, малых габаритов и оптимального функционала для работы.

Установка МК непосредственно в корпус сервопривода позволяет гибко управлять мотором разными способами получая лишь сигнал о режиме работы, скорости перемещения, угле поворота и предельному моменту по интерфейсу SPI от контроллера верхнего уровня.

Как результат удалось реализовать подчинённое регулирование сервопривода интегрировав дополнительные контуры регулирования по скорости и току. При этом получая от главного устройства управления положение, на выходе МК *Attiny85* получаем ШИМ-сигнал для управления мотором.

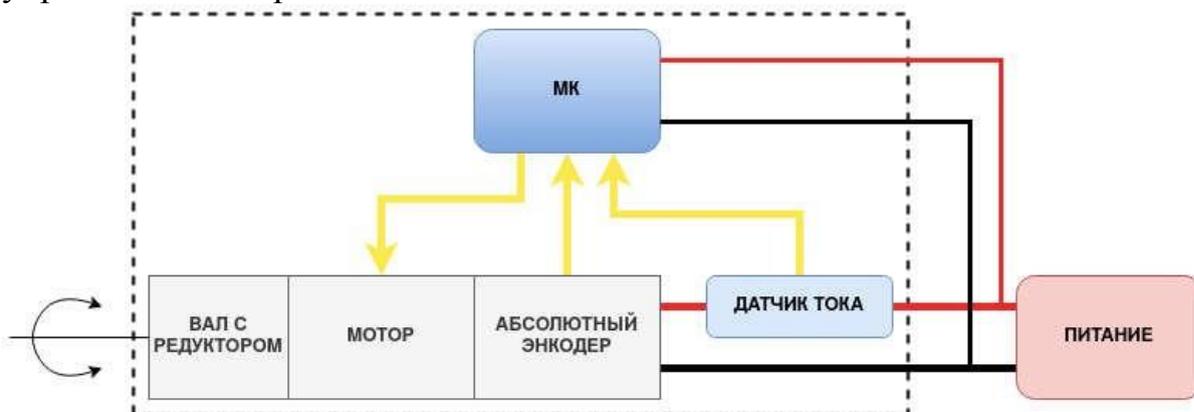


Рисунок 1 – Структурная схема модернизированного сервопривода

ПРИМЕНЕНИЕ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Савёлов П.И., Щавлев А.А.

РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов»
Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь

В настоящее время к беспилотным авиационным комплексам предъявляются высокие требования по надёжности и качеству, обеспечение которых производится на всех стадиях жизненного цикла изделия. Определяющим фактором является разработка оптимальных технических решений, реализующих требуемые функциональные параметры проектируемого устройства.

Современное проектирование новых беспилотных авиационных комплексов является модельно-ориентированным. Конструирование и принятие технических решений проводится на основании разработки и анализа функциональных параметров твердотельных моделей деталей, узлов и беспилотных летательных аппаратов в целом, а также с учётом результатов компьютерного моделирования эксплуатационных характеристик разработанных изделий.

Сокращение трудоёмкости конструкторских работ, сроков и себестоимости проектирования, изготовления и уменьшения затрат на эксплуатацию разработанных устройств невозможно без автоматизации конструкторских и научно-исследовательских работ при помощи систем автоматизированного проектирования.

При проектировании сложноконтурных деталей практически невозможно оценить прочностные параметры деталей численными методами выполнения расчётов. Поэтому оптимизация конструкции деталей выполнялась при помощи компьютерного инженерного анализа, в котором реализован алгоритм метода конечных элементов.

Основной тенденцией конструирования бортовой аппаратуры беспилотных авиационных комплексов является минимизация её массогабаритных параметров, что обуславливает противоречивые требования к проектированию таких устройств, так как необходимо обеспечить функционирование электронных компонентов достаточно больших тепловыделяющих мощностей в сравнительно малых объёмах.

Разработка новых конструктивных решений и сокращение времени проектирования требует оперативного прототипирования на основе разработанных электронных геометрических моделей деталей и узлов, а также проведение испытаний опытных изделий, в предполагаемых условиях эксплуатации. Это становится возможным при использовании аддитивных технологий, которые имеют высокую степень интеграции с модельно-ориентированным проектированием.

Самым распространённым, в настоящее время, является метод послойного наплавления материала. Основным достоинством данного метода является производство деталей независимо от сложности их конструкции и которые невозможно изготовить другими известными технологическими способами. Внедрение в процесс разработки и изготовления деталей и узлов беспилотных авиационных комплексов метода послойного наплавления материала позволила реализовать вариативную разработку новых изделий, высокую воспроизводимость, точность и скорость изготовления деталей, разрабатывать объекты с топологической оптимизацией формы. В качестве материалов деталей возможно применение новых термопластичных полимеров и композиционных материалов на их основе (Рисунок 1).

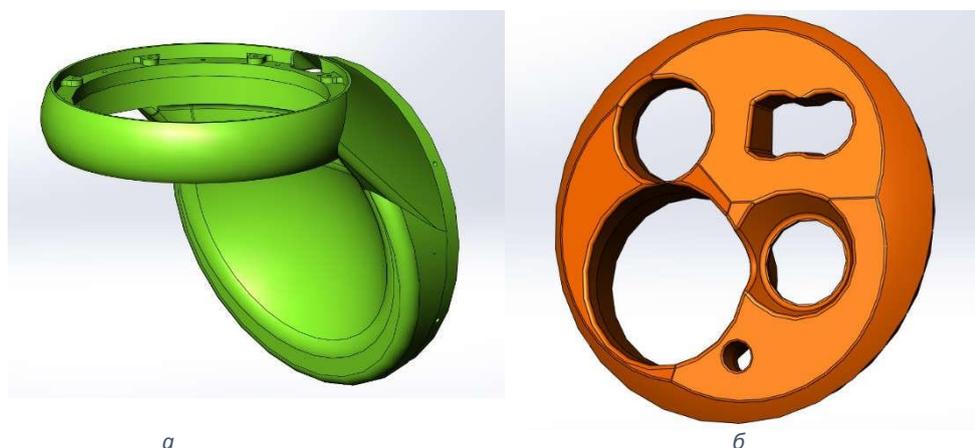


Рис. 1 – Сложноконтурные детали для производства методом послойного наплавления:

- а) кронштейн крепления гиросtabilизированной платформы целевой нагрузки;
- б) обтекатель оптического блока целевой нагрузки

При оптимизации несущих конструкций, разрабатываемых комплексов, нами широко применяются алгоритмы генеративного проектирования, что позволило оптимизировать конструкцию системы, снизить массу изделия при сохранении требуемой механической прочности. Были разработаны принципы и методики моделирования напряженного-деформированного состояния деталей, полученных методом послойного наплавления материала.

Таким образом, применение современных систем автоматизированного проектирования обеспечивает выработку приемлемых конструктивно-технологических решений и оптимальность жизненного цикла разработанных конструкций.

1. Савёлов П.И. Аддитивные технологии при разработке узлов и деталей беспилотных летательных аппаратов / Савёлов П.И., Невгень М.П., Краевский Ю.Г. // Материалы X международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении» – Минск 2022 – с. 139.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Савёлов П.И., Щавлев А.А., Невгень М.П.

РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов»
Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

Бортовые электронные средства в процессе эксплуатации подвергаются различным механическим, тепловым и другим физическим воздействиям, которые оказывают дестабилизирующее влияние на их работоспособность. Одним из факторов, существенно влияющих на надёжность электронных средств, является величина перегрева электронных компонентов при их функционировании.

При проектировании бортовых электронных средств основной проблемой является их функционирование в сравнительно малых объёмах и наличия определённых тепловыделяющих мощностей. Это приводит к увеличению плотности выделяемой тепловой энергии и необходимости обеспечения её рассеивания, как правило, в условиях пассивного охлаждения. Поэтому важной проблемой при разработке новых бортовых средств и их надёжного функционирования является конструктивное обеспечение оптимального теплообмена с окружающей средой.

Целью данной работы является проведение компьютерных исследований эффективности теплообмена при пассивном охлаждении бортовой аппаратуры комбинированной конвективно-кондуктивной системой охлаждения. Критерием оптимизации являлась минимальная величина максимальной температуры электронных компонентов для различного типа конструкционных материалов и конфигурации защитного корпуса.

Для решения поставленной задачи нами была разработана упрощённая твердотельная модель бортовой электронной аппаратуры БПЛА. Граничными условиями при проведении исследований являлась пассивное охлаждение объекта в форме параллелепипеда с локальным источником энергии постоянной мощности (15 ватт), расположенным в зоне основания анализируемого объекта.

Исследования проводились при помощи САЕ модуля Flow Simulation САПР SolidWorks. Определялись максимальная температура эксплуатации аппаратуры в зависимости от типа конструкционного материала защитного корпуса (алюминиевый сплав Д16Т, полиамид-6), для различных типоразмеров защитного корпуса (все комбинации размеров из ряда возможных длин рёбер параллелепипеда 30, 50, 75 мм) при толщине стенки 2 мм. На рисунках 1, 2 представлены результаты исследований тепловых полей при термогравитационной конвекции в замкнутых

прямоугольных областях при начальной температуре тепловыделяющего элемента и окружающей среды + 25 °С.

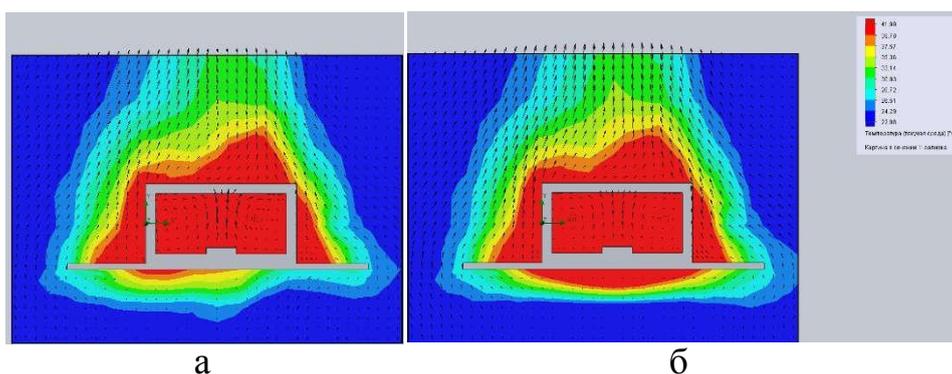


Рис. 1 – Тепловые поля с защитным корпусом размером 30x75x50 выполненных из следующих материалов: а) Д16Т; б) Полиамид - 6

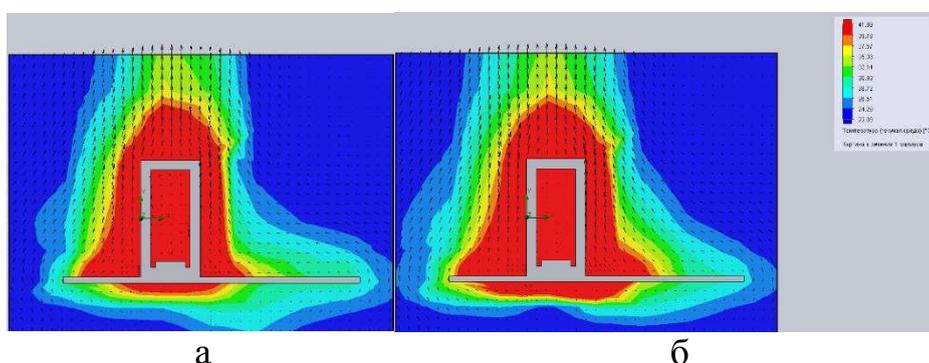


Рис. 2 – Тепловые поля с защитным корпусом размером 35x37x75 выполненных из следующих материалов: а) Д16Т; б) Полиамид - 6

Использование в качестве граничных условий постоянной температуры охлаждения, обусловлено проведением анализа систем пассивного охлаждения в условиях максимальной интенсивности процесса теплообмена. Такой подход позволяет наиболее корректно оценить влияние кондуктивного механизма переноса тепловой энергии в условиях комбинированной системы охлаждения.

Проведенные исследования показали, что при функционировании бортовой электронной аппаратуры в условиях пассивного теплообмена, температурные поля, формирующиеся в окружающей среде, не зависят от типа материала защитного корпуса и идентичны по контуру и площади. Но максимальная температура перегрева электронных компонентов, расположенных в устройстве с защитным корпусом из алюминиевого сплава, ниже предельно допустимых значений.

Таким образом, предварительные компьютерные исследования конфигурации тепловых полей и распределение градиента температур на начальном этапе проектирования бортовой аппаратуры позволит оптимизировать компоновку размещения авиационного оборудования уже на начальном этапе проектирования и минимизировать вероятность выработки ошибочных технических решений.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ УЧРЕЖДЕНИЕМ ОБРАЗОВАНИЯ: ПРИЛОЖЕНИЕ «СТУДЕНЧЕСКОЕ ОБЩЕЖИТИЕ»

Савчик А.О., Сидорик В.В.¹

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

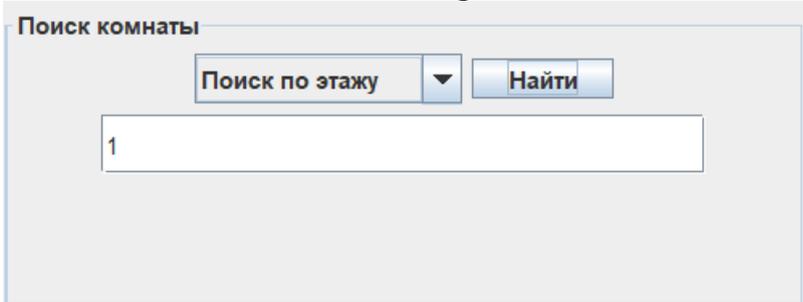
Для учреждений образования актуальным является комплексная автоматизация всех видов деятельности [1], включая структурные подразделения. Университетские общежития относятся к их числу. Ежегодно в общежития заселяются и выселяются тысячи студентов, что требует значительных затрат времени и усилий со стороны администрации университета, деканатов и персонала общежития. Каждого студента необходимо оформить, определить комнату и место с учетом статуса студента и уже проживающих. Сложность и многообразие связанных с этим факторов приводит даже к казусным ситуациям, при которых в комнату заселяется большее количество человек, чем это возможно. Это приводит к появлению дополнительных проблем с переоформлением и поиском нового места проживания.

В этой связи для улучшения эффективности организации работы системы, было создано приложение «Студенческое общежитие».

Данное приложение было спроектировано на платформе Rational Rose и реализовано с использованием среды разработки IntelliJ IDEA на языке программирования Java [2]. Для создания графического интерфейса были выбраны библиотеки Swing и AWT. Для хранения данных используется база данных MySQL WorkBench.

Функциональные возможности программы позволяют решать комплекс организационных и управленческих задач: учет данных о комнатах в общежитии, их хранение в базе данных, удаление записей, произведение поиска по различным параметрам: ID студента, курс, комната и др.

На рис. 1-4 показаны примеры графических окон, иллюстрирующих функциональные возможности данного приложения.



The image shows a window titled "Поиск комнаты" (Room Search). At the top, there is a dropdown menu with the text "Поиск по этажу" (Search by floor) and a downward-pointing arrow. To the right of the dropdown is a button labeled "Найти" (Find). Below these elements is a text input field containing the number "1".

Рис. 1 – Поиск студента

ID	Этаж	Комната	Имя	Фамилия	Отчество	Курс	Группа
20	1	101	Дарья	Ашейчик	Сергеевна	3	10702120
23	1	101	Кристина	Решетнико...	Валерьевна	3	10702220

Рис. 2 – Запись в базе комнат общежития

Удаление студента

Введите ID студе...

Рис. 3 – Удаление записи по ID студента

Главное окно приложения представлено на рисунке 4.

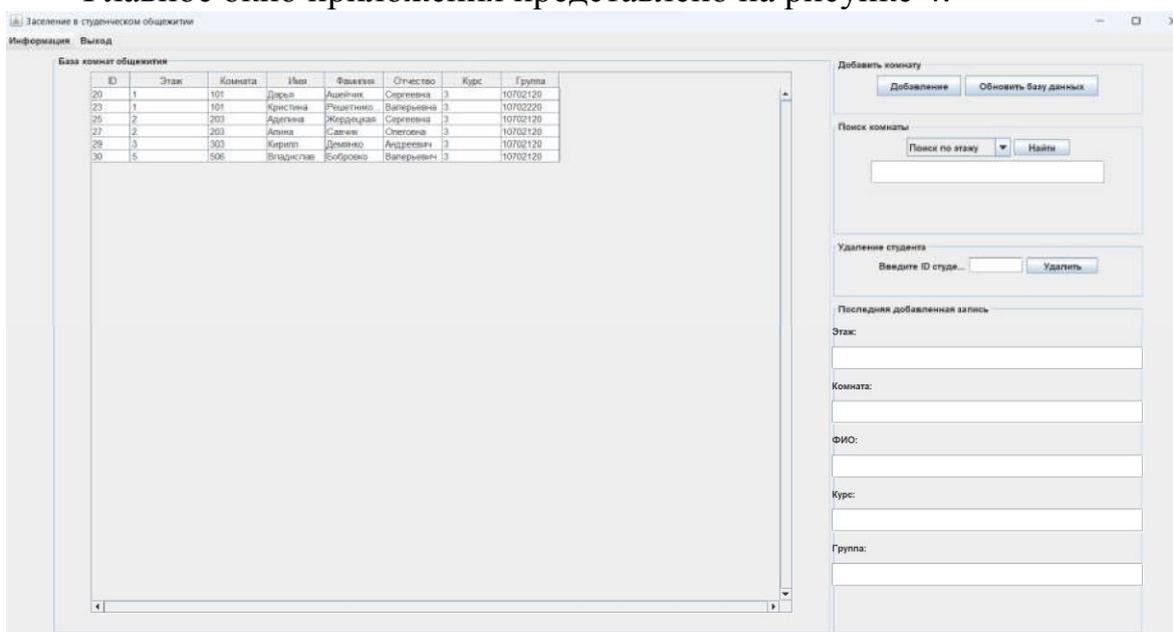


Рис. 4 – Главное окно приложения

Приложение обладает интуитивно понятным интерфейсом, что обеспечивает пользователю комфортную работу с ним. Реализация приложения на платформе объектно-ориентированной парадигмы обеспечивает его развитие, расширяемость и добавление функционала.

1. Рудковский, Д.В. Функциональный модуль web-приложения для планирования и учета нагрузки преподавателя [Текст] / Д. В. Рудковский, В. В. Сидорик // Информационные технологии и системы: проблемы, методы, решения : материалы Республиканской научно-технической конференции, секция «Автоматизация процессов и производств», Минск, БНТУ, 22-23 ноября 2018 г. : Минск : БНТУ, 2018. – С.54-55.

2. Эккель, Б. Философия Java. 4-е полное изд. / Б. Эккель. – СПб : Питер, 2015. – 1168 с.

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТИРОВАНИЯ БПЛА В ФОРМАТЕ 3D

Своекошин Д.М., Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день проектирование и построение полностью автономных БПЛА различного назначения является довольно востребованным направлением развития авиации. При проектировании программно-пилотируемых аппаратов важную роль играет совершенствование элементной базы опико-электронных систем, создание и использование устройств и технологий сканирования и моделирования пространства в формате 3D. Актуальными являются проблемы конструирования аппаратуры, создания способов сверхскоростной обработки и передачи информации, создание оптимальных маршрутов передвижения БПЛА.

Процесс управления летательным аппаратом заключается в следующих действиях: подготовка к работе; проведение измерений; формирование моделей пространства; обеспечение динамического поиска и обнаружения объектов; кодирование, передача, декодирование информации; фиксирование отдельных точек и фигур с отображением текущих координат; предоставление информации в удобном для пользователя виде; идентификация ориентиров и критически опасных объектов в реальном времени [1]. Схема системы управления полётом БПЛА представлена на рисунке 1.

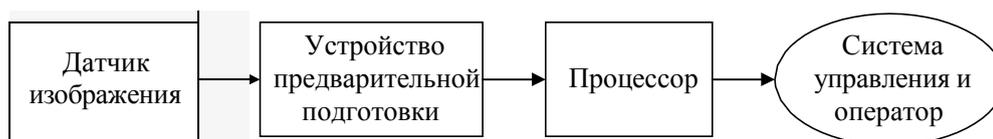


Рисунок.1 — Система управления полётом БПЛА

Под автономной системой ориентирования (АСО) БПЛА понимается совокупность приборов, устройств, аппаратно-программных средств и каналов связи, предназначенных для определения, преобразования и представления параметров полёта беспилотного аппарата и изображений объектов в формате 3D.

В системах навигации используются различные приборы: радары, сканеры, дальнометры, лидары, сонары и др. Сканирующие устройства формируют области точек в результате активного просмотра определённого участка местности и регистрации отражённых от объектов сигналов. Стереоскопические приборы получают видеoinформацию в виде кадров, получаемых с использованием двух фото/видеокамер, образующие стереопару. Наиболее эффективным устройством для создания 3D моделей

окружающего пространства и объектов является лазерный дальномер. В данный момент лучшими решениями для использования в системе ориентирования БПЛА являются приборные модули на базе сканирующих 2D или 3D лазерных дальномеров [2].

Основой АСО является построение геометрических моделей изображений объектов в формате 3D. Сущность данного процесса заключается в накоплении, интегрировании и фильтрации текущих параметров, то есть в связывании и суммировании результатов двумерных измерений в процессе сканирования с характеристиками разрешающей способности аппаратуры. Процесс формирования изображений эталонных и реальных объектов для ориентирования БПЛА в формате 3D можно представить в виде поэтапного выполнения: выбор объекта изображения; измерения параметров в формате 2D; преобразование изображения в трёхмерные структуры; получение трёхмерной геометрической модели изображения. Схема преобразования параметров при построении трёхмерной геометрической модели изображения реального объекта в автономной системе ориентирования БПЛА представлена на рисунке 2 [3].



Рисунок.2 — Схема формирования 3D модели изображения в АСО БПЛА

1. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под. ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 556 с.
2. Юревич Е.И. Сенсорные системы в робототехнике / Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013. — 100 с.
3. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Учеб. пособие. Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 280 с.

МАГНИТНЫЙ ПОДВОДНЫЙ РОБОТ ДЛЯ РЕМОНТА КОРПУСА КОРАБЛЯ

Семенчук Е.А., Заярный В.П.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В процессе эксплуатации морского транспорта возникают повреждения ниже корпуса ватерлинии, которые лучше устранять с помощью сварки со стороны внутреннего пространства корабля без погружения сварщика в воду. Сварка в судостроении дает возможность не только существенно повысить прочность и надежность всех соединений, но и снизить трудовые и временные затраты. Применение магнитных телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (M-ROV) позволит производить сварочные работы не в воде, а в атмосфере.

Преимущественно применяются дуговые способы сварки. Создание сварных соединения двух деталей происходит за счет разогрева свариваемых кромок и их плавления теплом, выделяемым при горении электрической дуги. Образование расплавленного металла и хорошей текучести металла способствует свободному перемешиванию и образованию единого целого при последующей кристаллизации.

Подобный механизм образования неразъемных соединений обеспечивают виды сварки: 1) Ручная электродуговая покрытыми штучными электродами; 2) аргонодуговая неплавящимся вольфрамовым электродом в среде инертного газа; 3) MIG/MAG – механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитного газа; 4) автоматическая сварка под слоем флюса; 5) газовая сварка.

В судостроении применяется в различной степени каждая из этих технологий. Однако наиболее распространения получила электродуговая сварка. Соединение деталей газокислородным методом стали в последнее время применять все меньше из-за низкой производительности процесса и вероятности возникновения деформаций конструкций в результате проведения сварочных операций.

При работе на полуавтомате применяют как порошковую проволоку рутилового типа в защитном газе CO₂, так и порошковую рутиловую



Рисунок 1 - Сварка под водой

проволоку в среде смеси защитного газа Ar/CO₂ для сварки во всех пространственных положениях и на керамических подкладках, используют высокопроизводительную металлопорошковую проволоку для сварки угловых швов и заполняющих проходов в нижнем пространственном положении в среде

Ar/CO₂ или в 100 % CO₂.

Подводная сварка для водолаза (рис.1) - очень тяжёлый процесс, на который оказывает влияние много факторов, например, подводное течение, необходимость постоянно работать ластами, дополнительное воздействие давления воды и др.

Учитывая сложности ручной подводной сварки, целесообразно использовать подводного робота M-ROV (рис.2) на магнитах с капсулой для герметизации места сварки. Разрабатываемое устройство будет состоять из механической рамы с герметичной камерой и газоотводом, которые будут крепиться на боковой стороне корпуса корабля.

В воде устройство будет фиксироваться с помощью четырех электромагнитов, каждый из которых способен создавать силу притяжения 7,5 т, обеспечивая необходимую силу по оси Z для герметизации места сварки с внешнего борта корабля в воде.



Рисунок 2 - Подводный робот на магнитах с капсулой



Рисунок 3 - Капсула для герметизации

корпусу корабля (рис.3), из которой предусмотрена возможность удаления сварочных газов, при этом создаётся вакуум, который позволяет производить сварочные работы изнутри (рис.4).



Рисунок 4 - Сварка внутри корабля

безопасным для человека, устранив необходимость в привлечении водолазов. В настоящее время мы занимаемся детальным проектированием конструктивных элементов и программы управления подводного M-ROV робота.

П
еред
рабо
той
робот
та
прои
сход
ит

очистка участка ремонта от водорослей и грязи. Затем M-ROV робот примагничивает капсулу к

Система сможет самостоятельно перемещаться в вертикальной плоскости между ремонтной заплатой и дефектным участком корпуса. Это позволит специалистам проводить ремонт корабля прямо в море без необходимости направляться в сухой док, контролируя процесс удаленно из любой точки мира.

Технология с применением M-ROV не только поможет сэкономить время и деньги, но и сделает ремонт более

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Сидорик В.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В связи с развитием информационного общества для учреждений образования актуальным является комплексное внедрение компьютерных технологий для обеспечения всех видов и форм учебного процесса, включая лабораторный практикум.

Решение прикладных задач в лабораторном практикуме дисциплин технических вузов имеет определенные сложности, обусловленные, в первую очередь, сложностью эксперимента и математических моделей, описывающих решение таких задач. Для лабораторного практикума это требует специального дорогостоящего оборудования. Тем не менее, наполнение содержания учебных дисциплин реальными задачами является актуальным и, во многом, предопределяет формирование интереса студентов к изучаемым дисциплинам. Проблему сложности математических моделей позволяет смягчить применение современных математических пакетов и языков программирования.

В данной работе иллюстрируется решение сложной прикладной задачи с техническим содержанием на примере проблемы движения колеса с грузом и амортизирующей подвеской по неровной поверхности. Такая задача возникает при проектировании транспортных средств, защиты различных устройств и человека от внешних воздействий.

В качестве модели выбрана система, содержащая колесо с грузом, закрепленным с помощью упругой пружины и демпфера. Пружина и демпфер образуют амортизатор (подвеску), связывающий груз с колесом. Колесо принимается абсолютно твердым и в процессе движения не отрывается от дороги. Колесо с закрепленным грузом может двигаться по неровной поверхности (дороге). Подвеска является линейно-упругой, а трение в подвеске – вязкое и линейное.

Система целей была сформулирована следующим образом:

- Изучить распределение скоростей и ускорений точек твердого тела при плоскопараллельном движении.
- Рассмотреть особенности качения колеса по кривой с изменяющейся кривизной.
- Ознакомиться с методом кинематического возбуждения колебаний тела с упругой связью.
- Исследовать колебания груза в зависимости от скорости движения механизма, параметров неровности.
- Определить частотный спектр воздействия дороги на груз.

- Установить оптимальные условия виброизоляции груза.
- Определить силу воздействия колеса на дорогу.

Исследуются кинематическое возбуждение колебаний груза со стороны дороги через амортизирующую подвеску. Изучаются как вопросы кинематики движения по поверхности с изменяющейся кривизной, так и кинематика и динамика колебаний груза. Рассматриваются вопросы кинематики движения колеса по поверхности с изменяющейся кривизной, а также кинематика и динамика колебаний груза. Рассчитывается сила воздействия колеса на дорогу, ставится вопрос о комфортабельности движения и оптимизации амортизатора.

Математическая модель системы позволяет решить и обсудить в ходе выполнения работы целый ряд вопросов, недоступных в традиционном практикуме, включая:

- Свободные и вынужденные колебания механической системы с одной степенью свободы при наличии и отсутствии трения.
- Скорости и ускорения точек твердого тела при плоском движении.
- Переходной и установившийся режимы колебаний.
- Амплитудно-частотные характеристики.
- Виброизоляция.
- Оптимизация параметров подвески.
- Комфортабельность движения.
- Кинематическое и динамическое воздействия.
- Коэффициент передачи при кинематическом воздействии.
- Сила воздействия колеса на дорогу.

Математическая модель системы представлена системой дифференциальных уравнений [1]. Для решения математической модели использовался пакет Matlab и (или) язык программирования Python.

Математическое моделирование предусматривает возможность анализа движения системы в зависимости от времени (t - аргумент) и в зависимости от положения оси колеса в горизонтальном направлении (x - аргумент). Последнее позволяет проследить влияние параметра неровности дороги (бугор, яма, скат) на кинематику колеса. Кроме того, при анализе скорости точки касания колеса и силы воздействия колеса на дорогу вместо положения оси колеса в качестве аргумента выбирается проекция точки касания колеса. Это позволяет, в частности, установить то место на дороге, где скорость точки касания и сила воздействия минимальна или максимальна.

Математическое моделирование позволяет в рамках учебной дисциплины решить целый комплекс прикладных задач, включая кинематическое возбуждение колебаний в системе с упругой связью.

1. Сидорик В.В., Джилавдари И.З. Физика в компьютерных моделях: Учебно-методическое пособие. – Минск : ПИОН, 1998, с. 250

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА С НЕСКОЛЬКИМИ ВОДОИСТОЧНИКАМИ

Синицын А.В., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

АСУТП «Акватория» предназначена для управления объектами водоснабжения города с целью обеспечения населения и промышленности города водой с минимальными эксплуатационными затратами. Весь процесс водоснабжения можно разделить на три составляющих.

1. Потребитель (городская водопроводная сеть).
2. Подача и распределение воды (насосные станции).
3. Подъем и добыча воды (водозаборы).

Городская водопроводная сеть «Потребитель» является основным задающим фактором для работы всей системы, который определяет объемы и режимы подачи воды станциями. Они зависят от рельефа местности и величины зоны влияния (количества абонентов) для каждой насосной станции.

Технологическими задачами АСУТП являются:

- обеспечение давления не ниже нормативного у всех потребителей;
- управление запасами воды в резервуарах;
- управление насосными станциями с поддержанием максимальной эффективности работы насосного оборудования;
- оптимальное распределение требуемого объема добычи воды между водоисточниками с учетом реальной себестоимости воды.

Особенностью систем водоснабжения крупных городов является наличие нескольких водоисточников без четко выделенных зон влияния насосных станций. По факту станции работают в общую сеть, то есть расход воды от каждой из них и давление у потребителей зависят от соотношений давлений и расходов нескольких станций. Таким образом, индивидуальное управление насосными станциями невозможно и в рамках исследовательских работ предложен другой подход к решению указанных выше задач.

В основе подхода лежит динамическое определение границ зон влияния насосных станций, работающих на общую сеть. Зоной влияния насосной станции называется участок водопроводной сети города, потребители которого получают воду от данной станции.

Для анализа распределения давления в сети может использоваться два метода.

1. Анализ по гидромодели. Однако, зачастую полноценной динамической модели данного участка города не существует, а ее создание и калибровка потребует существенных временных и финансовых затрат.

2. Анализ данных по давлению в городе с помощью технологии Big Data. В основе этой технологии используются специализированные алгоритмы обработки больших массивов данных, которые сравнивают графики давлений в различных точках сети и определяют наличие взаимосвязей (корреляций) между ними. Точки на сети, связанные в каждый момент времени с водозабором, определяются по степени корреляции давления в них с выходным давлением насосной станции второго подъема водозабора. Для этого производится попарное аналитическое сравнение графиков давления в различных точках сети.

Критериями для оценки взаимосвязи в таком случае является средняя и мгновенная степень корреляции между заданными объектами водоснабжения.

При этом графики давлений должны быть синхронизированы по времени. В результате программа получает информацию о точках, взаимосвязанных по давлению с каждым из источников воды, и тем самым генерирует карту границ зон влияния. После определения границ зон влияния АСУТП «Акватория» определяет входящие в зону диктующие точки и осуществляет управление выходным давлением станции для поддержания давления в них.

Для решения задач управления запасами воды и оптимального распределения объема добычи между водоисточниками используется метод прогнозирования водопотребления в зоне влияния конкретной насосной станции с помощью нейронных сетей. Система проводит обучение нейронной сети по данным о водоподаче станций и режимах поддержания давления и в последующем использует ее для получения почасового прогноза водопотребления.

На основании полученного прогноза система просчитывает динамику изменения уровня воды во всех контролируемых резервуарах и формирует почасовые графики подачи воды от всех водоисточников.

Важным аспектом является контроль достоверности получаемого прогноза с учетом динамики изменения границ зон влияния насосных станций. Если в процессе работы АСУТП «Акватория» определяет, что зона влияния насосной станции резко изменилась, она уведомляет диспетчера об этом и помечает прогноз как некорректный.

Причинами изменения зоны влияния насосной станции могут являться: авария на сетях, изменение режимов поддержания давления соседних станций или изменение конфигурации водопроводной сети (открытие или закрытие задвижек на сетях).

Предлагаемый метод управления позволит повысить качество управления групповыми объектами водоснабжения без использования прямого гидромоделирования сетей.

УДК: 532.543

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПО СУХОМУ РУСЛУ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ

**Стриганова М.Ю.¹, Дмитриченко А.С.², Шаталов И.М.³,
Максимович А.В.³, Калиновский И.В.³**

1).ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», Минск,
Республика Беларусь

2). УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск,
Республика Беларусь

3). Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь

Сценарии развития гидродинамической аварии различны. Возможно нарушение целостности подпорного сооружения (образование прорана) в теле плотины, размеры которого существенно меньше общей длины напорного фронта и меньше или равны высоте сооружения, или полное его разрушение. В результате данной чрезвычайной ситуации возникают волны перемещения, определение основных параметров которых (скорости, глубины потока) является весьма актуальной задачей.

Тестовым объектом исследования было выбрано Тахтакорпюнское водохранилище на территории Азербайджана, созданное одной из наиболее высоких земляных плотин не только в регионе, но и в Европе. Располагается данное сооружение на высоте около 140 м над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 км (рисунок 1).



Рисунок 1 – Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения и обеспечивали возможность пересчета полученных экспериментальных значений исследуемых параметров потоков для натуральных условий.

Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямооточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рисунок 2, 3). Поток снимали неподвижной камерой.



Рисунок 2 – Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора



Рисунок 3 – Общий вид обратной волны

Эксперименты были проведены при различных временных интервалах подъема затвора (от 2 до 15 с или мгновенно), что соответствовало различным сценариям разрушения плотины: от возникновения прорана вдоль основания плотины до полного ее исчезновения.

Видеонаблюдение и анализ полученных результатов показывает, что в начальный момент времени перемещения потока воды на участке, расположенном на некотором расстоянии от подвижного затвора, происходит довольно резкое увеличение глубины (и, соответственно, массы или расхода) вытекающего потока воды. Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины h и увеличением средней скорости v потока (рисунок 2). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока.

При движении по наклонной поверхности (горному склону) поток всегда находится в бурном состоянии, а волна перемещения обладает максимальной скоростью и огромной разрушительной способностью. Далее, достигнув горизонтальной плоскости в гидродинамическом лотке, поток переходит в спокойное состояние; при этом появляется обратная положительная волна (рисунок 5), у которой глубина увеличивается, что в природных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВОДООТВЕДЕНИЯ

Стромский С.А. Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Выделяют два класса систем – водоснабжения и водоотведения. Если посмотреть на нормы потребления воды как показатель подводимой к какому-либо объекту воды и обратить внимание на области применения этой воды, то получится, что объём сточных вод может превышать 95% от объёма подаваемой воды.

Например, согласно нормам водопотребления, ежедневная потребность воды общежития, оборудованного водопроводом, канализацией и централизованным горячим водоснабжением, с душами при всех жилых комнатах (без учета расхода воды на общих кухнях) составляет 80 литров в сутки на одного проживающего человека. При этом рекомендации по объёму поглощаемой человеком жидкости, суммарно выпиваемой и в составе пищи, колеблются от двух до трех литров в сутки, что составляет 2,5-3,75% от объёма подаваемой воды. Таким образом в первом приближении можно сделать вывод о том, что объёмы подаваемой и отводимой воды в значительной степени взаимосвязаны.

В водоснабжении, в связи с необходимостью поддерживать определенные уровни давления в различное время суток, зачастую применяются системы автоматизации на основе программируемого логического контроллера (ПЛК), реализующие какой-либо регулятор, а также позволяющие производить диспетчеризацию.

Основным элементом системы водоотведения является канализационная насосная станция (КНС). Её назначение перекачать использованную воду от потребителя на очистные сооружения для дальнейшей переработки сточных вод.

Бесперебойность работы КНС является задачей такой же важности, как и обеспечение водоснабжения, так как при неисправности системы водоотведения для предотвращения переполнения резервуара КНС и как следствие разлива сточных вод по прилегающей территории не остается выбора, кроме как отключение подачи воды.

Следовательно, в первую очередь КНС должна обеспечивать выполнение своего прямого назначения – бесперебойное отведение поступающих сточных вод. Отсюда выделяется основное направление при разработке КНС – обеспечение защитных функций:

- защита электродвигателей от перегрузки и короткого замыкания;
- защита насосов от «сухого хода»;
- защита двигателей насоса КНС от аварийного простоя (периодическую смену приоритетов насосов-ротацию);
- блокировка поступления сточных вод при переполнении резервуара.

После обеспечения бесперебойного водоотведения возникает вопрос об эффективности этого процесса. В системах водоотведения управление чаще всего построено по простому принципу: устанавливается несколько уровней воды в резервуаре. Минимально необходимо при этом два уровня (при применении одного насоса) – уровень включения и уровень отключения. Резервуар заполняется до уровня включения, затем насос включается и откачивает жидкость до уровня отключения, после чего отключается. Уровни определяются дискретными поплавковыми датчиками. Иногда для контроля уровня может применяться аналоговый датчик (ультразвуковой или гидростатический), но часто управление по аналоговому датчику представляет собой имитацию поплавковых датчиков задания определенных уровней и по ним управление как по дискретным сигналам.

Такой подход является наиболее распространенным. Для его эффективного применения необходимо соблюдение некоторых условий, например, для обеспечения большего периода включения/отключения насосных агрегатов необходима установка приемного резервуара объемом, значительно превышающим поступление сточных вод. Это приводит к увеличению занимаемого места, а также стоимости. Кроме того, система без регулирования хуже отрабатывает колебания объема поступающих стоков в режимах относительно больших поступлений (когда большую часть времени насос должен быть запущен).

С ростом перекачиваемого объема сточных вод эффективность от применения более сложных алгоритмов управления значительно возрастает. Это связано с тем, что применение продвинутой автоматизации позволяет улучшить эффективность использования оборудования, уменьшить размер накопительного резервуара и при централизации управления водоотведением распределять нагрузку между различными элементами системы (например, при высокой загрузке водоочистных сооружений возможно повысить заполняемость резервуаров КНС, таким образом уменьшив подачу на очистные сооружения и увеличив производительность системы водоотведения).

Направлением улучшения алгоритмов управления выступает применение для управления электродвигателями насосных агрегатов регулятора, а также учет в регулировании данных от систем водоснабжения, то есть объединение систем управления водоснабжением и водоотведением в единую систему. Это позволит с высокой точностью прогнозировать объем сточных вод и таким образом эксплуатировать электродвигатели насосных агрегатов в наиболее эффективных режимах работы.

1. Решение минского городского исполнительного комитета 28 января 2021 г. № 199 О нормах водопотребления.

**ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ И
ДИАГНОСТИКИ СОБСТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ**

Тимошевич В.Б., Розов Д.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Целый ряд технологических процессов и объектов сопровождается электрическими разрядами либо используют разряды как инструмент. При работе коллекторных электродвигателей возникают искровые разряды между коллектором и щётками. Для двигателей внутреннего сгорания характерен выброс угольных частиц, которые уносят с собой электроны, что также вызывает пробой по мере достижения пробивной напряжённости электрического поля между соплом и газовой струёй. Явление трибоэлектричества также вызывает разрядные явления, например при полёте самолёта из-за трения о воздух, при протяжке между валами шерстяной ткани при её малой влажности. Можно также упомянуть газотурбинные установки на газоперекачивающих станциях, создающих мощное радиоизлучение как возле камер сгорания [1], так и на срезе выхлопной трубы и так далее. Кроме того, целый ряд процессов использует электрический разряд в качестве инструмента: электросварка, травление тлеющим разрядом, электроимпульсная полировка металлических изделий и прочее. Как известно, электрический разряд порождает электромагнитное излучение, которое может нести информацию как о протекании собственно технологического процесса, так и о механически и электрически связанных с ним устройствах [2]. Анализируя различные характеристики этого процесса, можно судить о параметрах и режимах их работы с целью контроля и диагностики. Однако некоторые процессы и объекты не вызывают значимого радиоизлучения, например приемлемого для анализа излучения не удалось зафиксировать в кабине маломерного вертолёта с двигателем внутреннего сгорания, а также при горении и погасании газовых горелок, что можно было бы использовать для контроля погасания факелов на нефтяных месторождениях. Тем не менее, область применения датчиков собственного радиоизлучения процессов и объектов достаточно широка, хотя и нуждается в проверке в каждом случае.

1. Тимошевич В.Б., Здор Г.Н. Исследование радиоизлучения газотурбинных установок и выработка критериев для дистанционного контроля и диагностики. – Л.: Материалы II МНТК, г. Минск, 2013. – 2 с.

2. Тимошевич В.Б., Здор Г.Н., Северин И.Н. Механизмы возникновения собственного радиоизлучения двигательных установок и способы регистрации РИ. – Л.: Материалы V МНТК, г. Минск, 2017. – 2 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВОРОТНОГО УЧАСТКА ЗЕМСНАРЯДА

**Хвитько К.В., Качанов И.В., Шаталов И.М.,
Щербакова М. К., Скачко А.А.**

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Для проверки теоретических предположений о гидродинамике перекачиваемой пульпы на поворотных участках пульпопровода земснаряда, на кафедре ГЭСВТГ БНТУ было проведено предварительное компьютерное моделирование поворотных участков (колена с углом поворота на 90°) трубы пульпопровода с различными поперечными сечениями круглой, прямоугольной и овальной.

Компьютерное (численное) моделирование поворотных участков пульпопроводов земснаряда различной формы поперечного сечения и разработка твердотельной их модели проводились в прикладном программном пакете «Solid Works», а моделирование течения несжимаемой вязкой жидкости в поворотных участках пульпопровода было проведено на базе математического пакета «Cosmos Fleo Works».

Для проведения компьютерного моделирования течения рабочей жидкости внутри проточной части различной формы поперечного сечения поворотного участка пульпопровода, также была создана обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса.

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + V \cdot \nabla^2 \cdot V_i,$$

в этом уравнении $\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0$ ($i, k = 1, 2, 3$).

Результаты компьютерного моделирования представлены на рисунках 1, 2, 3.

Круглое поперечное сечение

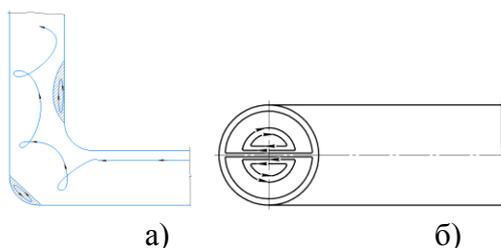


Рисунок 1 – Схема формирования парного вихря в колене пульпопровода земснаряда
круглого поперечного сечения

а) образование «парного вихря» на поворотном участке; б) схема «парного вихря» в
колоне пульпопровода с углом поворота на 90°;

Прямоугольное поперечное сечение

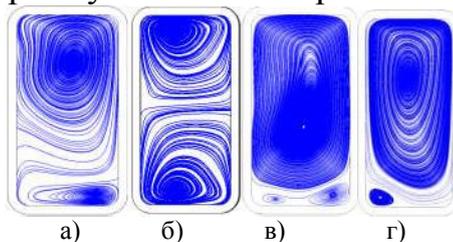


Рисунок 2 – Схема формирования «парного вихря» в колене пульпопровода земснаряда прямоугольного поперечного сечения

а) на входе в колено; б) в наивысшей точке; в) на выходе из колена;
г) в отводящей трубе

Овальное поперечное сечение

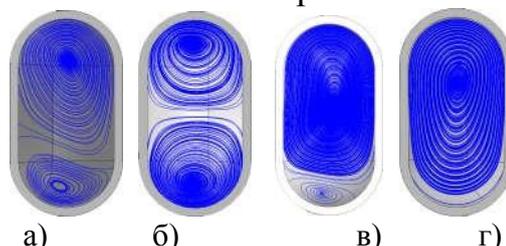


Рисунок 3 – Схема формирования «парного вихря» в колене пульпопровода земснаряда овального поперечного сечения

а) на входе в колено; б) в наивысшей точке; в) на выходе из колена;
г) в отводящей трубе

Компьютерное моделирование позволило сделать следующие выводы:

Физическая сущность сопротивления в изогнутых гидравлических каналах (трубах) заключается в следующем. В изогнутых каналах (трубах) скорость движения жидкости изменяет свое направление, что сопровождается искривлением линий тока (поворот потока) и появлением центробежных сил, приводящих к тому, что по направлению от центра кривизны давление увеличивается, а скорость соответственно падает и, наоборот, по направлению к центру кривизны скорость возрастает, а давление падает. Поэтому в коленах и отводах при переходе жидкости из прямолинейного участка в изогнутый скорость вблизи внутренней стенки повышается (рисунок 1а), а давление соответственно уменьшается, т.е. возникает кофузорный эффект. Вблизи внешней стенки колена происходит обратное явление: скорость падает, а давление растет, т.е. возникает диффузорный эффект. Переход жидкости из изогнутой части в прямолинейный участок (после поворота потока) сопровождается противоположными явлениями: диффузорным эффектом вблизи внутренней стенки и кофузорным вблизи внешней стенки. Диффузорные явления приводят к соответствующему отрыву потока от обеих стенок. При этом отрыв от внутренней стенки усиливается стремлением потока по инерции двигаться прямолинейно – в данном случае – по направлению к внешней стенке.

Вихревая зона, возникающая вследствие отрыва потока от внешней стенки, незначительна: она заполняет только внешний угол поворота, не стесняя заметно сечения основного потока. Наоборот, отрыв от внутренней стенки приводит к интенсивному вихреобразованию, зона которого распространяется далеко за изгибом канала.

Помимо вихревых областей у внутренней и внешней стенок, в изогнутом канале возникает ещё так называемый «парный вихрь». Появление этого вихря обуславливается наличием пограничного слоя и соответственно – ядра потока с максимальными скоростями. Это ядро, стремясь в изогнутом канале двигаться по инерции в направлении к внешней стенке, т.е. к стенке, расположенной дальше от центра кривизны канала, в силу неразрывности движения заставляет более медленные слои жидкости в пограничном слое двигаться вблизи обеих боковых стенок в сторону внутренней стенки поворота, т.е. к стенке, расположенной ближе к центру кривизны канала, в результате чего в поперечном сечении канала возникают два вихря (рисунок 1,2,3).

Вторичные токи, создаваемые «парным вихрем», налагаются на главный поток, параллельный оси канала, и в результате придают линиям тока винтообразную форму, которая распространяется на прямой участок за изгибом и исчезает весьма медленно на большой длине. Практически закручивание потока заканчивается на длине $10\div 15$ калибров.

Анализ результатов компьютерного моделирования колен с круглым и прямоугольным поперечным сечением показал, что минимальным моментом инерции обладает круговое сечение вихря, к тому же круговое сечение имеет не плоскость, а линию контакта вихрей, что в свою очередь существенно снижает гидравлическое сопротивление колена в целом.

В связи с этим основной формой поперечного сечения была выбрана овальная форма с соотношением меньшей оси к большей 1:2 (как у прямоугольной формы), причем большая ось овала была направлена вдоль оси кривизны колена.

Компьютерное моделирование такого колена выявило, что соотношение малой и большой осей 1:2 не является оптимальным, так как парный вихрь сохраняет ярко выраженную сплюсненную форму (рисунок 1). Это явление можно полностью или почти полностью устранить, увеличив соотношение осей овала до 1:3 или 1:4, сохраняя направление большей оси вдоль кривизны колена. Следует отметить, что у овальной формы поперечного сечения отсутствуют угловые локальные вихревые течения, что является преимуществом по сравнению с прямоугольным сечением.

К тому же применение овальных сечений с соотношением малой к большей осей 1:3 или 1:4 позволит придать «парному вихрю» круговую форму с минимальным моментом инерции и линией (а не плоскостью) контакта парного вихря, что позволит снизить гидравлическое сопротивление от 1,5 до 2 раз по нашему предположению.

МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ БПЛА

Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время существенно расширяются сферы применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): кинематографическая съёмка, освещение массовых мероприятий, поиск пропавших людей, инспекция объектов, составление карт местности, патрулировании территорий, контроль сельскохозяйственных площадей, исследование месторождений полезных ископаемых, применение в военной сфере, инспекция железнодорожных путей и т.д. Среди них наиболее распространёнными являются БПЛА мультироторного (квадрокоптеры, гексакоптеры, октокоптеры и т.д.) и самолётного типов. Тип БПЛА оказывает существенное влияние на тип решаемых с его помощью задач, способ управления, время автономной работы, дальность и скорость полёта. БПЛА самолётного типа используют классические виды топлива и характеризуются высокой скоростью и дальностью полёта. БПЛА мультироторного типа используют питание от электрического аккумулятора, имеют значительно меньшие скоростные характеристики, однако обладают повышенной точностью позиционирования, простотой взлёта и посадки, высокой мобильностью, что недоступно БПЛА самолётного типа [1].

БПЛА применяются как на открытых пространствах, так и в замкнутых (промышленные и военные объекты). БПЛА самолётного типа применяются только на открытых пространствах, а БПЛА мультироторного типа как на открытых, так и в замкнутых. Характер местности оказывает сильно влияет на требования к системам навигации: как на аппаратную составляющую (применяемые датчики и модули), так и на программную (алгоритмы определения положения, ориентации и генерации траектории полёта) [2].

Основным источником информации о местоположении для большинства БПЛА является модуль, использующий одну из спутниковых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo). Однако данный метод имеет существенные ограничения: высокая стандартная погрешность показаний (как правило, 5-10 м), высокая величина ошибки показаний на местности со сложными условиями для прохождения спутникового сигнала (здания, леса, горная местность и т.д.). Поэтому БПЛА комплектуются дополнительными датчиками и модулями для более точного позиционирования и ориентации.

В контексте ориентации это в первую очередь акселерометры и гироскопы, служащие в связке для точного определения ориентации БПЛА (углов рысканья, тангажа и крена), устанавливаемые по каждой из трёх

осей. Также распространённым способом корректировки позиционирования БПЛА является радиолокационный метод связи с наземной станцией, положение которой точно известно (по аналогии с навигацией в обычной авиации). Данный метод, как и системы спутниковой навигации, актуален только на открытых пространствах без помех для прохождения сигнала [1].

Для навигации в замкнутых пространствах и пространствах с высокой плотностью объектов применяются лазерные, оптические, ультразвуковые датчики расстояния, работающие по принципу активных дальнометров, когда излучение определённой природы испускается в направлении объекта, затем приёмником улавливается отражённое излучение и по известной скорости распространения излучения и измеренному времени его возврата вычисляется расстояние до объекта. Подобные датчики применяют для БПЛА мультироторного типа и устанавливают по каждой из сторон для более высокой точности позиционирования [2].

У большинства БПЛА спереди либо снизу устанавливается камера. БПЛА может управляться как оператором, так и работать в автономном режиме. При управлении оператором камера служит источником информации для оператора о местоположении БПЛА и объектах поблизости, что позволяет формировать точную траекторию полёта в обход препятствий. При автономном полёте применяются системы технического зрения. Для коптеров в замкнутых пространствах может быть использован алгоритм определения расстояния по сравнению размеров изображений в исходной точке начала измерений и действующей. Более широко использование целевой нагрузки в навигации БПЛА распространено в БПЛА самолётного типа. Среди основных методов можно выделить: 1) навигацию по контрольным точкам, когда БПЛА при прохождении маршрута осуществляет поиск заранее определённых объектов с известными координатами; 2) навигацию по рельефным кадрам, когда непрерывно осуществляется сопоставление рельефной карты, получаемой с БПЛА, ранее созданной рельефной карте; 3) навигацию по местности, когда предварительно было произведено большое количество снимков местности и БПЛА периодически делает снимки местности, сравнивая их с имеющимися в базе данных [3].

1. Микросистемная авионика: учебное пособие / В. Я. Распопов. – Тула «Гриф и К», 2010. – 248 с.

2. Gao, F.; Wu, W.; Gao, W.; Shen, S. Flying on point clouds: Online trajectory generation and autonomous navigation for quadrotors in cluttered environments. *J. Field Robot.* 2019, 36, 710–733.

3. Семенова, Л. Л. Современные методы навигации беспилотных летательных аппаратов / Л. Л. Семенова // Наука и образование сегодня. – 2018. – № 4(27). – С. 6-8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА СЛЕЖЕНИЯ БПЛА

Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Многие из задач, решаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), требуют данных о местоположении объекта наблюдения, которые далеко не всегда можно с достаточной точностью определить при помощи глобальных систем навигации (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo), особенно когда объект наблюдения является подвижным. В таких случаях помогает применение целевой нагрузки БПЛА для определения расстояния, нахождение которого также нужно при реализации автоматического построения траектории полёта БПЛА.

Устройства, с помощью которых можно реализовать определение расстояния до объекта наблюдения, установив их на БПЛА, можно разделить на следующие виды: 1) активные дальномеры: звуковые световые, лазерные, радиодальномеры; 2) одноосевые и многоосевые камеры (камеры видимого и инфракрасного спектров, тепловизионные камеры)

Активные дальномеры используют принцип подачи излучения некоторой природы (свет, ультразвук, лазерное излучение, радиоволны) с известной скоростью распространения излучения в направлении объекта наблюдения с последующим умножением скорости на половину времени, через которое отражённое излучение возвращается обратно к устройству измерения. Также существуют пассивные дальномеры, основанные на геометрических расчётах при наблюдении (необходимо либо регистрировать результаты наблюдений и выполнять расчёт по формулам для прямоугольного либо равнобедренного треугольника либо выполнять подсчёт делений по устанавливаемой около объекта наблюдения шкале), однако их применение в автоматическом определении расстояния с помощью БПЛА существенно ограничено, так как они либо требуют непосредственного взаимодействия с объектом измерения (установки шкалы и т.п.) либо дают существенную погрешность измерения, особенно при неравномерном рельефе [2].

Наиболее эффективными для применения в комплексе с БПЛА являются активные дальномеры лазерного типа, так как они обеспечивают высокий диапазон дальности измерения (более 20км) с относительно высокой точностью (единицы метров). В отличие от световых дальномеров, на их точность не оказывает влияния освещённость объекта. Ультразвуковые дальномеры обладают высоким рассеянием и применяются на небольших расстояниях для позиционирования БПЛА мультироторного типа. Радиодальномеры требуют установки

вспомогательного оборудования, что существенно ограничивает возможности их применения совместно с БПЛА.

Также для измерения расстояния до объекта можно использовать одноосевые или многоосевые камеры. Такое решение даёт меньшую точность в сравнении с использованием дальномера, однако даёт экономическую выгоду ввиду немалой стоимости высокоточного лазерного дальномера и позволяет рассчитывать расстояния, используя «базовую» комплектацию БПЛА. Как правило, применяются двухосевые камеры (с перемещением по вертикали и горизонтали), которые закрепляются в нижней части корпуса БПЛА либо встраиваются внутрь передней части корпуса [3].

Камера наводится на подвижный либо неподвижный объект оператором БПЛА либо при помощи автоматической системы сопровождения.

Для нахождения расстояния таким образом необходимо закрепить за центром масс БПЛА две системы координат: неподвижную (перемещается вместе с БПЛА, но не вращается) и подвижную (совершает наклоны вместе с БПЛА). Третью систему подвижную координат необходимо закрепить за целевой нагрузкой (камерой). Так как беспилотные летательные аппараты обладают относительно малыми размерами, расстоянием между центром масс и целевой нагрузкой можно пренебречь. Тогда путём последовательного перехода от третьей системы координат (целевой нагрузки) к первой неподвижной системе координат центра масс БПЛА путём перемножения матриц поворотов можно получить искомый угол камеры относительно наблюдаемого объекта [1].

В соответствии с постановкой задачи, известна высота полёта БПЛА, определяемая датчиком. Тогда, зная высоту и угол наклона, можно определить расстояние до наблюдаемого объекта как частное от деления высоты на косинус угла наклона. При известных координатах БПЛА с использованием полученных данных могут быть рассчитаны координаты самого объекта. Также рассмотренную методику определения координат объекта можно применять совместно с глобальными системами навигации для получения большей точности.

1. Степанов Д.Н. Методы и алгоритмы определения положения и ориентации беспилотного летательного аппарата с применением бортовых видеокамер // Междунар. ж-л «Программные продукты и системы». – 2014. – № 1. – С. 150 – 157.

2. Геодезические инструменты // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969 – 1978.

3. Микросистемная авионика: учебное пособие / В. Я. Распопов. – Тула «Гриф и К», 2010. – 248 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВОДНОГО РОБОТА-ПЫЛЕСОСА DOLPHIN 2X2

Чехомов З.В. , Заярный В.П. , Нитиевский С.А.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В спортивном бассейне БНТУ (как и в любом другом бассейне) в результате эксплуатации на дне и стенках ванны скапливается различного рода грязь и отходы. Чтобы не сливать воду в бассейне каждый раз, когда требуется его чистка, предлагаем использовать подводный робот-пылесос с фильтрами для грубой и тонкой очистки.



Рис.1-Траектория движения

Для увеличения автономности и исключения человека из процесса чистки предполагается оснастить робота системой управления на микроконтроллере STM32 и двумя аккумуляторами LiPo по +12 В каждый. Робот под водой будет использовать (так как бассейн простой формы размером 50 x 25 м) параллельный способ передвижения (Рис. 1). Для передвижения по данному маршруту с высокой точностью в систему управления включаем высокочастотный гироскоп с акселерометром (например MPU9250 и MPU6050). На борту Dolphin 2x2 имеется два коллекторных и два BLDC двигателя с датчиками положения. Для управления бесколлекторными двигателями необходим регулятор оборотов ESC (Рис. 2)

На рис. 3 изображена структурная схема подводного робота-пылесоса Dolphin 2x2.



Рис.2-Регулятор ESC

Для увеличения автономности и исключения человека из процесса чистки предполагается оснастить робота системой управления на

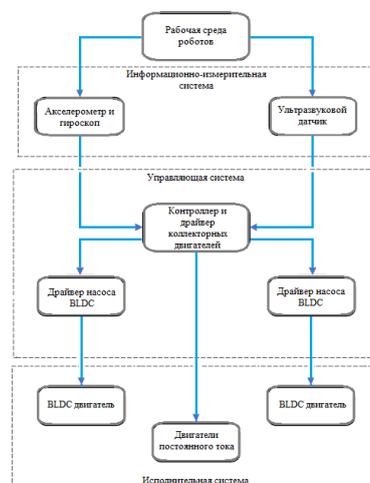


Рис.3-Dolphin 2x2

Предполагается, что срок работы данного робота будет составлять 5000 часов. Напряжение LiPo АКБ составляет +24 В (оно используется для двигателей), а для питания СУ используем стабилизатор LM317 (на +5 В).

Код микроконтроллера STM32 пишется на языке программирования C++. В коде учитывается положение ротора BLDC двигателя, которое определяется тремя датчиками на эффекте Холла, разнесенными друг от друга на 30 градусов (Рис.4).

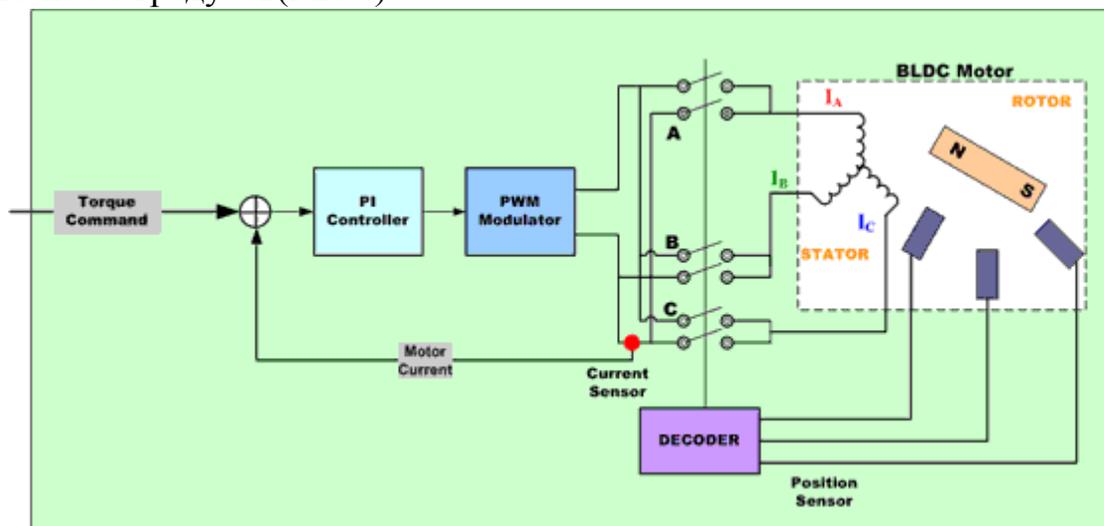


Рис.4-Схема управления разворотом

Поскольку глубина бассейна 3 метра, организовываем уровень защиты устройства по протоколу IP-68. Тем не менее вероятность протечки всё равно остаётся, в этом случае провести замену внутреннего содержимого будет не сложно, так как используются распространенные компоненты, которые не являются редкими.

После сборки робота возникает необходимость в проведении его балансировки и обеспечения его нулевой плавучести. Эти мероприятия будут выполнены с помощью убавления (прибавления) дополнительных грузил из нержавеющей стали.

Программирование траектории робота предполагается осуществлять на поверхности бассейна, для чего внутрь корпуса системы управления будет добавлен модуль Bluetooth.

Для выполнения подзарядки батарей предусмотрен герметично закрывающийся разъём с контроллером зарядки внутри корпуса батареи.

Выводы: Предполагаемый экономический эффект может составить около 3000 рублей (за счёт исключения человека из процесса уборки).

1. Ким, Т. Ю. Форсированное управление движением мобильного робота / Т. Ю. Ким, Г. А. Прокопович, А. А. Лобатый // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 86–100. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-3-86-100>

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Югова М.В., Матькова К.Ю.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

С точки зрения инновационного развития робототехнику в промышленности принято делить на три поколения в зависимости от степени их функциональных возможностей и предназначения в будущем.

Роботы первого поколения – это программные роботы, которые выполняют четко определенные операции в последовательности, жестко заложенной программой. Такие роботы нашли широкое применение в различных областях промышленности, и именно они составляют сейчас большинство используемых в промышленности роботов.

Роботы второго поколения – это адаптивные роботы, которые также выполняют операции в соответствии с программой, но контролируются устройством адаптивного управления. Такие роботы способны реагировать и приспосабливаться на изменения внешней среды с помощью датчиков обратной связи, т.е. сенсорных устройств и машинного зрения. Информация об изменении поступает в систему управления робота, которая ее обрабатывает в реальном масштабе времени, формирует управляющие воздействия и передает их исполнительным органам робота, корректируя их действия. Роботы второго поколения уже применяются в промышленности, но количество их пока сравнительно невелико.

Роботы третьего поколения – интеллектуальные роботы, которые предназначены не только для осуществления определенных физических операций, но и для решения интеллектуальных задач. Эти роботы отличаются от роботов второго поколения сложностью программного обеспечения, включающей элементы искусственного интеллекта.

Для разработки искусственного интеллекта для робота необходимо использовать определенные инструменты и технологии. Например, можно использовать искусственные нейронные сети для анализа данных, машинное обучение для идентификации и анализа данных, генетические алгоритмы для поиска оптимальных решений, системы диалога для общения с роботом и деревья решений для принятия решений. В зависимости от того, какие цели и задачи ставятся перед роботом, можно выбрать наиболее подходящие технологии и инструменты для достижения желаемого результата.

Использование технологий искусственного интеллекта при разработке и последующей эксплуатации роботов является наиболее перспективным направлением развития роботизации промышленности.

ОБЗОР МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Ян Шисинь, Павлюковец С.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Одним из типов роботов является мобильный робот, который обеспечивает автономное перемещение из текущего положения в целевое положение для выполнения поставленной задачи. Важной проблемой для мобильных роботов в условиях миссии является поиск оптимального или близкого к оптимальному пути без столкновений из начального состояния в целевое состояние в соответствии с определенной метрикой эффективности. Цель статьи заключается в том, чтобы сосредоточиться на проблеме планирования траекторий движения мобильных роботов и представить обзор методов планирования траекторий.

В зависимости от того, в какой степени мобильный робот воспринимает окружающую среду, планирование пути делится на глобальное планирование пути и локальное планирование пути. Методы реализации планирования пути для мобильных роботов можно разделить на традиционные классические методы и интеллектуальные методы. Классические методы, такие как метод искусственного потенциального поля, быстрое исследование случайного дерева, алгоритм A^* и интеллектуальные методы, такие как нейронная сеть, генетический алгоритм и муравьиный алгоритм, применяются к мобильным роботам для реализации планирования пути в заданной среде [1-6].

Все методы планирования пути имеют недостатки, такие как тенденция попадания в локальные минимумы, разрывы в результирующих путях, высокие вычислительные затраты в высоко-размерных конфигурационных пространствах и тенденция к преждевременному сближению. Эти недостатки приводят к тому, что отдельные методы планирования пути не очень хорошо подходят для сложных сред, поэтому для их преодоления можно использовать комбинацию этих методов [7, 8].

На планирование пути мобильных роботов влияет окружающая среда. Планирование пути для мобильных роботов становится более сложным в динамических средах, поскольку мобильному роботу необходимо обновлять карту среды в реальном времени для получения информации о расположении препятствий. Для решения этой проблемы может быть использован совместный подход нескольких интеллектуальных устройств [9]. Интеллектуальные устройства взаимодействуют друг с другом для построения карты окружающей среды в реальном времени и передают её мобильному роботу, который планирует и изменяет траекторию движения в реальном времени на основе информации об окружающей среде. Однако у этого метода есть ограничения, которые заключаются в ограничении

пространства окружающей среды и высоких требованиях к программному и аппаратному обеспечению для информационного взаимодействия между интеллектуальными устройствами.

1. Zhang Baofeng. Mobile robot path planning based on artificial potential field method / Zhang Baofeng, Wang Yachun, Zhang Xiaoling // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 577. – P. 350–353.

2. Wang Xinda. Collision-free path planning method for robots based on an improved rapidly-exploring random tree algorithm / Wang Xinda, Luo Xiao, Han Baoling, Chen Yuhan, Liang Guan hao, Zheng Kailin // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, iss. 4. – 1381 – P. 1–13.

3. Duchoň F. Path planning with modified a star algorithm for a mobile robot / Duchoň F, Babinec A, Kajan M, Beňoa P, Floreka M, Ficoa T, Jurišica L // *Procedia engineering*. – 2014. – Vol. 96. – P. 59–69.

4. Yu Jinglun. The path planning of mobile robot by neural networks and hierarchical reinforcement learning / Yu Jinglun, Su Yuancheng, Liao Yifan // *Frontiers in Neurorobotics*. – 2020. – Vol. 14. – P. 1–12.

5. Ismail, A. T. A mobile robot path planning using genetic algorithm in static environment / Ismail, A. T., Sheta, A., Al-Weshah, M. // *Journal of Computer Science*. – 2008. – Vol. 4, № 4. – P. 341–344.

6. Luo Qiang. Research on path planning of mobile robot based on improved ant colony algorithm / Luo Qiang, Wang Haibao, Zheng Yan, He Jingchang // *Neural Computing and Applications*. – 2020. – Vol. 32. – P. 1555–1566.

7. Ma Jianwei. Robot path planning based on genetic algorithm fused with continuous Bezier optimization / Ma Jianwei, Liu Yang, Zhang Shaofei, Wang Lin // *Computational intelligence and neuroscience*. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–10.

8. Liu Xiaohuan. A path planning method based on the particle swarm optimization trained fuzzy neural network algorithm / Liu Xiaohuan, Zhang Degan, Zhang Jie, Zhang Ting, Zhu Haoli // *Cluster Computing*. – 2021. – № 24. – P. 1901–1915.

9. 王晨捷. 无人机视觉SLAM协同建图与导航 / 王晨捷, 罗斌, 李成源, 王伟, 尹露, 赵青 // *测绘学报*. – 2020. – Vol. 29, № 6. – P. 767–776.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕВЕНТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Янкевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Современный этап развития транспорта и коммуникационных технологий, повышение требований к безопасности эксплуатации транспортных средств обострили необходимость разработки новых подходов. Несмотря на то, что уровень безопасности эксплуатации транспортных средств повышается, вопросы, связанные с принятием решений с учетом внешних условий (включая человеческий фактор), надежности систем транспортного средства (подсистем, деталей), влияющих на возникновение опасных ситуаций, еще не решены полностью.

При этом трудно оценить целевое значение параметров настройки безопасности транспортного средства, обеспеченной только применением современных электронных средств диагностики и контроля. Так, считается, что вопрос номенклатуры применяемых в автомобиле сенсоров на настоящий момент уже достаточно хорошо проработан. Поэтому в этом отношении значительный интерес представляют подходы, позволяющие внедрить методики анализа как текущей, так и прогнозируемой надежности транспортного средства с применением элементов искусственного интеллекта. Такой подход нашел отражение в разработке систем превентивной диагностики, используемой, в частности, при создании концепции «интеллектуального автомобиля».

Реальные проблемы, возникающие при эксплуатации любой машиностроительной конструкции, очень сложны и многогранны и подчас не могут быть уложены в прокрустово ложе сильно формализованных математических моделей. Обычно практикуемое экспертное задание требований по надежности деталей сложных технических систем, основанное только на инженерной практике и опыте эксплуатации, является не только самым простым, но и наиболее распространенным подходом. Расчетные прогнозы, безусловно необходимые, обычно имеют невысокую достоверность (за исключением случаев, когда они используют обширный экспериментальный опыт).

Квалифицированно и избирательно составленная именно расчетно-экспериментальная модель может позволить учесть почти все наиболее существенные факторы, влияющие на окончательный результат, а также достаточно полно отразить основные существующие связи между подсистемами сложной технической системы. В связи с этим особое значение придается развитию расчетно-экспериментальных методов исследований.

Такой подход был применен при разработке сетевой модели транспортного средства, причем архитектурные принципы задавали уровни и характер межуровневых информационных связей между общими модулями внутри системы, а также с внешней средой [1, 2]. Окружающая среда, водитель и подсистемы транспортного средства были представлены как системы наблюдателей различной степени полноты, причем основное внимание было уделено разработке сетевой модели двигателя внутреннего сгорания транспортного средства (она была построена как достаточно полная), в то время как все другие были описаны предельно упрощенно. Сетевая подмодель "Двигатель внутреннего сгорания" была разработана по возможности более точной в целях прогнозирования возможных отказов его подсистем. В то же время, учитывая высокую параметрическую изменчивость состояния человека, представляющая его подмодель была предельно упрощена, как и подмодель, описывающая окружающую среду.

Таким образом, на этом этапе алгоритмическое построение сетевой подмодели для анализа отказов двигателя внутреннего сгорания транспортного средства сводилось к разработке информационного графа состояний, основанного на статистической базе отказов, сформированной для подмоделей его конкретных подсистем.

Вместе с тем разработанная сетевая подмодель "Двигатель внутреннего сгорания" может стать основой для создания подмоделей иных систем транспортного средства, а также построения модели машинного обучения, позволяющей оценивать текущее состояние, определять вероятность выхода из строя отдельных компонент и транспортного средства в целом.

Такой подход может быть также использован как часть более глобальной информационной интеллектуальной транспортной системы. В любом случае ее полезность очевидна: данная система позволяет реализовать раннюю диагностику в режиме реального времени, прогнозировать как последствия возникающего отказа, так и его причины.

Разработанные подходы носят универсальный характер и могут найти применение при решении ряда практических задач.

1. Янкевич Н.С. Применение информационных и коммуникационных технологий для контроля технического состояния машин в транспортном потоке// «Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613 (Print), ISSN 2524-2822 (Online) - № 1, 2018. – С. 66-71.

2. Yankevich N. System of the preventive diagnostics as an integrated part of "smart" transport system// Journal of Industrial Engineering International, manuscript number - JIEI-D-17-00187R1; vol. 15, n. 3, pp 479–486 (2019).