

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

Материалы VII международной научно-практической конференции

(Минск, 13-14 марта 2019 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2019»

Минск БНТУ 2019

Редакционная коллегия:

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

Составитель:  
Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы VII 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.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ</b>	
<i>Чернецов И.В., Сиротин Ф.Л.</i> .....	7
<b>2. МЕХАТРОННОЕ ВАКУУМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УПАКОВКИ ИЗДЕЛИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b>	
<i>Скучнов В.А., Сиротин Ф.Л.</i> .....	9
<b>3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b>	
<i>Денисов А.В., Околов А.Р.</i> .....	11
<b>4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СБОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b>	
<i>Денисов А.В., Околов А.Р.</i> .....	14
<b>5. KINEMATICS OF RECONFIGURABLE MANIPULATORS</b>	
<i>Pligachev Kuzma</i> .....	16
<b>6. РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗВЕНЬЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА</b>	
<i>Опейко О.Ф., Несенчук А. А.</i> .....	18
<b>7. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА 300 МВТ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗОК</b>	
<i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.</i> .....	20
<b>8. МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА</b>	
<i>Кулаков Г.Т., Артёменко К.И.</i> .....	23
<b>9. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ РЕЗАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ</b>	
<i>Капительян И.А., Романенко В.И., Литвинов А.Ю.</i> .....	25
<b>10. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ</b>	
<i>Капительян И.А., Шпак А.В., Павловский А.Б.</i> .....	28
<b>11. О ВЛИЯНИИ ХАРАКТЕРА НАГРУЗКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СДПМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ</b>	
<i>Фираго Б.И., Александровский С.В.</i> .....	32
<b>12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СНЯТИЯ СИЛОВОЙ И СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФЕРОВ И АМОРТИЗАТОРОВ</b>	
<i>Гоцкая Н.А., Садоменко С.Л., Лившиц Ю.В.</i> .....	34
<b>13. ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КОТЕЛЬНОЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ.</b>	
<i>Липницкий Л.А.<sup>1</sup>, Пильгун Т.В.<sup>1</sup>, Мататов В.И.<sup>2</sup></i> .....	36
<b>14. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ</b>	
<i>Дубинин С.В., Коротченя А.П.</i> .....	38
<b>15. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ</b>	
<i>Дубинин С.В.,</i> .....	40
<b>16. ВСТРОЕННЫЕ СИСТЕМЫ VHDL/FPGA</b>	
<i>Матрунчик Ю.Н., Гутич И.И., Захаревич А. А.</i> .....	42
<b>17. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ SATS</b>	
<i>Попова Ю.Б., Середа П.В.</i> .....	44

<b>18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИНАЛА GSM ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСОМ</b>	
<i>Матрунчик Ю.Н., Шпакевич Ю.Г.</i> .....	46
<b>19. РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>	
<i>Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.</i> .....	48
<b>20. КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ КАБИН</b>	
<i>Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.</i> .....	51
<b>21. GPS – ТРЕКЕР - ЛОГГЕР ДЛЯ СЕНСОРОВ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА</b>	
<i>Моисеев Д.Н., Свириденок А.И.</i> .....	52
<b>22. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА «УРАЛ-20»</b>	
<i>Паноцкая Е.И.</i> .....	55
<b>23. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЫТОВЫХ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ</b>	
<i>Нитиевский С.А.</i> .....	57
<b>24. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СДПМ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	
<i>Цыбулькин П.С.</i> .....	59
<b>25. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ</b>	
<i>Жарко Д.Н.</i> .....	61
<b>26. РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ (ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ) ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ ДОРОЖНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН</b>	
<i>Хилько И.И.<sup>1</sup>, Гарост М.М.<sup>2</sup></i> .....	63
<b>27. УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ</b>	
<i>Лившиц Ю.Е., Савёлов П.И.</i> .....	65
<b>28. "РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР ДЛЯ ЗАГЛУБЛЕНИЯ В ГРУНТ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ»</b>	
<i>Алдакушин А.Г.<sup>1</sup>, Андрияйнен А.Ю.<sup>2</sup></i> .....	67
<b>29. СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ АСУТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ</b>	
<i>Лившиц Ю.Е.<sup>1</sup>, Синицын А.В.<sup>2</sup></i> .....	70
<b>30. ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>	
<i>Зуев Е.О., Лившиц Ю.Е.</i> .....	72
<b>31. МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОВОЙ ОХОТЫ У КОРОВ</b>	
<i>Грищенко А.Б.</i> .....	74
<b>32. НЕЙРОМОРФНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ</b>	
<i>Прокопович Г.А., Сычёв В.А.</i> .....	76
<b>33. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ В УДАЛЕННОМ РЕЖИМЕ</b>	
<i>Барышев А.А., Кункевич Д.П., Статкевич Д.Г.</i> .....	79
<b>34. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА</b>	
<i>Прохорович С.С.</i> .....	81
<b>35. СОЗДАНИЯ НИЗКОУРОВНЕВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ «CLULANG»</b>	
<i>Котляров Д.И.<sup>1</sup>, Панасенко С.И.<sup>1,2</sup></i> .....	83

<b>36.УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ</b>	
<i>Васильев С.В.</i> .....	85
<b>37.АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЖИЛОГО ДОМА</b>	
<i>Бохонко М.С., Околов А.Р., Глядко В.В.</i> .....	87
<b>38.АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ</b>	
<i>Новичихин Р.В., Журавлёва Е.Р.</i> .....	91
<b>39.ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ</b>	
<i>Каришакевич Е.А.</i> .....	93
<b>40.СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ</b>	
<i>Садоменко С.Л., Тозик А.С., Лившиц Ю.Е.</i> .....	95
<b>41.КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ</b>	
<i>Напрасников В.В.<sup>1</sup>, Соловьев А.Н.<sup>2</sup>, Скалух А.С.<sup>3</sup></i> .....	97
<b>42.ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМЕРА ДЕФОРМАЦИИ ШИНЫ МОБИЛЬНЫХ МАШИН</b>	
<i>Бобровник А.И.<sup>1</sup>, Варфоломеева Т.А.<sup>2</sup>, Маршалко С.В.<sup>3</sup>, Степуть И.И.<sup>1</sup></i> .....	98
<b>43.АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ</b>	
<i>Карпук Д.А., Околов А.Р., Глядко В.В.</i> .....	102
<b>44.ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОФИЛЯ</b>	
<i>Реентович И.А., Околов А.Р., Глядко В.В.</i> .....	104
<b>45.МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОБМЕН ОПЫТОМ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПРОГРАММАМИ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ</b>	
<i>Журавлёва Е.Р., Гутич И.И.</i> .....	106
<b>46.АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕЙНИРИЗОВАННЫМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ</b>	
<i>Дербан А.Н., Дербан Д.Н.</i> .....	108
<b>47.ОТКРЫТАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (ROS)</b>	
<i>Дербан А.Н.<sup>1</sup>, Бусько А.М.<sup>2</sup></i> .....	109
<b>48.ЗАЩИТА ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПОМОЩИ RFID МЕТОК</b>	
<i>Юденков В.С., Астафьев И.А.</i> .....	110
<b>49.КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА И УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ</b>	
<i>Гурский Н.Н., Артючик В.С., Скачек В.А., Скачек А.В.</i> .....	112
<b>50.МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ВЫПАДЕНИЯ НА ДНО ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ (РЕКАХ И КАНАЛАХ) РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ</b>	
<i>Качанов И.В., Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Рабченя В.С., Пастушек О.А.</i> .....	115
<b>51.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА КОНУСНОСТИ КОНФУЗОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ</b>	
<i>Качанов И.В., Жук А.Н., Веремеенко В.В., Филипчик А.В., Шаталов И.М., Ковалевич В.С.</i> .....	117
<b>52.ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКЕ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПОСРЕДСТВОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	
<i>Качанов И.В.<sup>1</sup>, Кудин М.В.<sup>2</sup>, Ленкевич С.А.<sup>1</sup>, Шаталов И.М.<sup>1</sup>, Быков К.Ю.<sup>1</sup>, Кособуцкий А.А.<sup>1</sup></i> .....	119

<b>53.ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	
<i>Качанов И.В.<sup>1</sup>, Кудин М.В.<sup>2</sup>, Ленкевич С.А.<sup>1</sup>, Шаталов И.М.<sup>1</sup>, Быков К.Ю.<sup>1</sup>, Кособуцкий А.А.<sup>1</sup>.</i>	<i>121</i>
<b>54.ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ГДУ-3 ДЛЯ СКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ</b>	
<i>Качанов И.В., Власов В.В., Ленкевич С.А.<sup>1</sup>, Кудин М.В.<sup>2</sup>.</i>	<i>123</i>
<b>55.МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ И ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ</b>	
<i>Акула И.П.<sup>1</sup>, Адашкевич С. В.<sup>2</sup>, Стельмах В.Ф.<sup>2</sup>, Чекан Н.М.<sup>1</sup>, Маркевич М.И.<sup>1</sup>, Чапланов А.М.<sup>1</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>3</sup>.</i>	<i>125</i>
<b>56.ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ЛЕГКООКИСЛЯЕМЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИПОЛЯРНЫХ МИКРОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ</b>	
<i>Парицито А.Э., Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.</i>	<i>127</i>
<b>57.ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ УГЛЕРОДА В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ</b>	
<i>Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Парицито А.Э., Янович В.А.</i>	<i>129</i>
<b>58.МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ</b>	
<i>Русак Е.О., Воюш Н.В.</i>	<i>131</i>
<b>59.ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ</b>	
<i>Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю., Василевич А.В.</i>	<i>133</i>
<b>60.СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОБСТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ</b>	
<i>Здор Г.Н., Тимошевич В.Б.</i>	<i>136</i>
<b>61.И СНОВА О ЗАРЯДЕ АККУМУЛЯТОРОВ АССИМЕТРИЧНЫМ ТОКОМ</b>	
<i>Тимошевич В.Б.</i>	<i>138</i>

УДК 621.865.8-83(075.8)

## **ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

**Чернецов И.В., Сиротин Ф.Л.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В результате активного развития техники с программным управлением в области машиностроения и приборостроения, приходится использовать различное технологическое оборудование для той или иной операции. Существует большое количество деталей, при обработке которых нет необходимости использовать сложные, дорогостоящие станки с программным управлением. Например, при обработке изделий из текстолита, листового металла, дерева и т.п. Очень часто достаточно таких операций как фрезерование, сверление, гравирование. Для обработки таких изделий целесообразно применять промышленный робот инструментальной обработки.

Особенностью является простота конструкции, упрощенная система программного управления, точность. Стоит отметить, что современное технологическое оборудование с программным управлением на сегодняшний день может добиться точности позиционирования до 1мкм. Вследствие небольших габаритов промышленного робота является возможным достижение указанной выше точности, так как явление накопленной абсолютной погрешности не будет существенно влиять на точность позиционирования, как это было бы при больших габаритах. Но при всем при этом необходимо учитывать, что для достижения точности приходится снижать скорость обработки.

Данный промышленный робот представляет собой манипулятор портального типа с программным управлением с рабочей зоной на плоскости 250x250мм и при ходе портала по оси Z на 50мм. Сама конструкция изготовлена из станочного алюминиевого профиля, что позволяет добиться легкости изготовления каркаса. Преобразование вращательного движения в поступательное происходит при помощи передачи винт-гайка. Для уменьшения нагрузки перемещения портала используются направляющие круглого сечения с линейными подшипниками.

Инструментальная обработка включает в себя сверление, фрезерование, гравирование. При этом для крепления инструмента используется цанговый патрон ER11 с диаметром посадочного места 5 мм.

Характерной особенностью, как было отмечено ранее, является упрощенная система программного управления. Под упрощенной системой программного управления понимается отсутствие некоторых функций G-кодов, которые присутствуют в станках с ЧПУ промышленного масштаба. Это различные циклы, будь то циклы сверления, нарезания

резьбы. Функции переключения между видами подач (оборотная и минутная), функции смены инструмента. Отсутствие описанных функций обуславливается тем, что для инструментальной обработки плоских изделий в масштабах данного станка они не представляют никакой необходимости.

Как на пульте оператора, так и на ЭВМ, есть возможность передвижения шпинделя в ручном режиме и индикация текущего положения относительно нуля. Работа станка происходит только в абсолютных координатах.

Корректировка выполняется посредством обнуления текущего положения шпинделя. И уже последующие координаты достигаются относительно этого обнуленного положения. Для корректной работы необходима правильно написанная программа обработки с корректной базой.

Функциональная схема представлена на рисунке 1. Согласно этой схеме происходит обработка информации. При ручном управлении с пульта управления (ПУ) поступает сигнал на микроконтроллер (МК), сигнал обрабатывается и подает управляющие импульсы на блок драйверов (БД), уже после драйверов идет сигнал на сами шаговые двигатели (ШД). При программном управлении с текстового файла через СОМ порт построчно передается входная программа (ВП) на микроконтроллер, где обработанная информация переходит на блок драйверов, затем на шаговые двигатели.

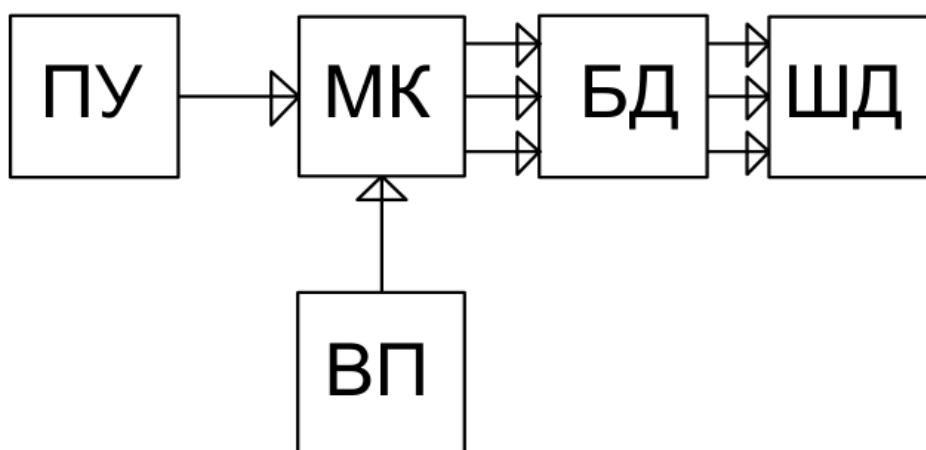


Рис.1.Функциональная схема



## МЕХАТРОННОЕ ВАКУУМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УПАКОВКИ ИЗДЕЛИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Скучнов В.А., Сиротин Ф.Л.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Мехатроника — это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами. Достоинствами мехатронных устройств является возможность лёгкого внедрения их в системы управления разных типов и автоматизированные системы. В простейшем случае в состав мехатронного устройства входят четыре основные части: механическое устройство, конечным звеном которого является рабочий орган, блок приводов включающий в себя силовые преобразователи и исполнительные двигатели, устройство управления на вход которого поступают команды оператора либо ЭВМ верхнего уровня, информационное устройство, предназначенное для получения и передачи в устройство управления данных о реальном движении машины и фактическим состоянием ее подсистем.

Мехатронное вакуумное упаковочное устройство служит для упаковки предметов размерами до 550x370 мм. В нашем случае структурная схема имеет следующий вид:

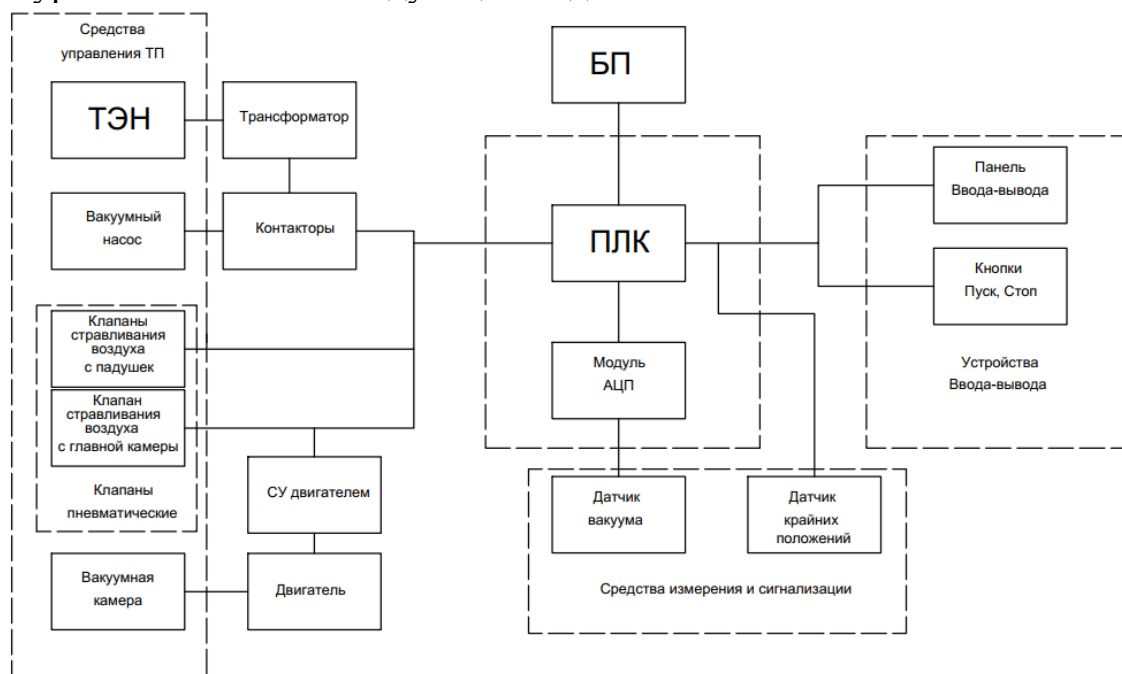


Рис. 1 - Структурная схема мехатронного вакуумного упаковочного устройства

При построении новой системы управления с возможностью дальнейшего включения оборудования в цепочку технологических процессов главным элементом был выбран ПЛК, имеющий 12 входов и 8 выходов, и блока АЦП) для связи ПЛК с датчиком вакуума. Само устройство состоит из 2-ух камер для упаковки, 2-ух пар ТЭН для запайки пакетов, вакуумного насоса, двух пар пневматических клапанов для управления процессами поднятия прижимных подушек (для прижима ТЭН к упаковке) и стравливания воздуха в камере создания вакуума. Для определения вакуума используется датчик, дающий на выходе сигнал 1-5 В. Этот сигнал поступает на вход блока АЦП, который преобразует его в цифровой сигнал по линейному закону. Код поступает на ПЛК, в программе которого преобразуется в более удобный вид для индикации на панели и сравнения с требуемым значением вакуума.

Для пуска/остановки служат кнопки на передней панели устройства. Для задания параметров и их контроля служит панель ввода/вывода. На ней задаётся время запайки у паковки, требуемый уровень вакуума и отображается его текущий уровень. Связь панели с ПЛК осуществляется через интерфейс RS232. Через интерфейс панелью осуществляется постоянная синхронизация отображающихся данных на дисплее с записанными данными в ячейках памяти ПЛК, но также имеется возможность управления мехатронным вакуумным упаковочным устройством по интерфейсу с RS232 при включении.

Таким образом главным элементом нашей централизованной одноконтурной системы управления является ПЛК, исходные данные в котором задаются панелью ввода-вывода. С выходов ПЛК сигнал идёт на катушки, посредством которых идёт управление контакторами и клапанами. Они, в свою очередь, управляют остальными функциональными элементами (ТЭН, насос и т. д.), а данные о тех. процессе ПЛК получает посредством обратной связи, благодаря датчику вакуума. Закрытие/открытие верхней крышки устройства происходит за счёт сервопривода. При нехватке крутящего момента, его повышение происходит благодаря понижающей зубчатой передаче.

Программа в ПЛК написанная на языке релейно-контактной логики содержит несколько функциональных блоков: блок установки начальных данных (установка меркеров и катушек в начальный момент времени); блок синхронизации данных, хранящихся в ячейках постоянной памяти, со значениями, записанными в обычные меркеры для общения с панелью MD204L-V5 (требуется для сохранения введённых ранее параметров ТП); блок основного алгоритма программы (Последовательность действий ТП, индикация на панель текущего состояния вакуума, арифметические операции (служат для сравнения сигнала с датчика и выставленным значением вакуума на панели)). Проблема дребезга контактов решена с помощью таймеров после блоков сравнения.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Денисов А.В., Околов А.Р.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в условиях интенсивной «цифровизации» экономики степень развития любой отрасли напрямую зависит от информатизации предприятий и отрасли в целом. Наиболее эффективными и удобными к восприятию системами сбора, хранения, учета, систематизации, анализа и визуализации технической и пространственной информации являются геоинформационные системы (ГИС) за счет возможности реализации бескомпромиссного сопоставления (связи) абстракций системы и реальных объектов. В данном случае под абстракциями системы понимается массив записей в базе данных содержащий техническую и векторную пространственную (географическую) информацию соответствующий реальному объекту, а под связью абстракций системы и реальных объектов понимается растровая пространственная (географическая) информация.

Разработка ГИС возможна путем создания абстракций с использованием прямых методов получения векторной пространственной информации, таких как наземная геодезическая съемка посредством GNSS-приемников, тахеометров и другого геодезического оборудования. Данный подход требует значительных трудозатрат и не обеспечивает простоты проверки качества получаемых данных.

Предлагаемый подход проектирования и разработки ГИС предполагает создание абстракций с помощью косвенного метода получения векторной пространственной информации о реальных объектах используя их связь, а именно растровую пространственную информацию, например – ортофотопланы. Суть метода в камеральном дешифрировании ортофотопланов с применением специализированного программного обеспечения.

Основными характеристиками ортофотопланов являются разрешающая способность и точность привязки. В зависимости от задач ГИС требования к ортофотопланам и, как следствие, способам их получения могут быть различны. Как правило, ортофотопланы получают с помощью специализированного программного обеспечения используя материалы аэрофото- или космосъемки. Разные виды съемок имеют свои преимущества и недостатки, например космосъемка позволяет покрыть большую площадь, в то время как аэрофотосъемка позволяет получить ортофотопланы более высокой разрешающей способности и в меньшей степени зависит от наличия облачности. На рисунке 1 приведены

ортофотопланы полученные с помощью космосъемки и аэрофотосъемки с использованием БАК.



Рис.1 – Ортофотопланы полученные по результатам космосъемки и аэрофотосъемки с использованием БАК

Для проектирования и разработки локальных ГИС отдельных предприятий наиболее целесообразно осуществлять аэрофотосъемку с применением беспилотных авиационных комплексов (БАК). Использование БАК позволяет получать ортофотопланы с разрешающей способностью 4-5 см/пиксель и точностью привязки 10-15 см. Съёмка с использованием БАК не зависит от облачности в силу малых высот полета, значительно дешевле съёмки с пилотируемых воздушных судов и обеспечивает достаточную производительность.

Беспилотный авиационный комплекс, как правило состоит из одного или нескольких беспилотных летательных аппаратов и наземной станции управления. В расчет БАК включаются руководитель полетов он же оператор беспилотного летательного аппарата (БЛА) и инженер БЛА.

Таким образом процесс создания абстракций ГИС состоит из следующих этапов:

- 1) Определяется участок съёмки, в зависимости от характеристик которого выбирается тип беспилотного летательного аппарата. (мультикоптер, «летающее крыло» и др.);
- 2) С помощью специализированного программного обеспечения наземной станции управления разрабатывается полетное задание, отмечаются точки взлета и посадки.
- 3) Согласно полетному заданию выполняется аэрофотосъемка.
- 4) С помощью специализированного программного обеспечения, используя результаты аэрофотосъемки, формируются ортофотопланы и матрицы высот.

- 5) При необходимости (с целью повышения точности привязки) с помощью специализированного программного обеспечения производится геодезическая привязка ортофотопланов, используя географические координаты контрольных точек, полученные в результате наземной съемки.
- 6) Используя инструменты специализированного программного обеспечения производится камеральное дешифрирование ортофотопланов.

На рисунке 2 приведен пример абстракции созданной в результате дешифрирования ортофотоплана.

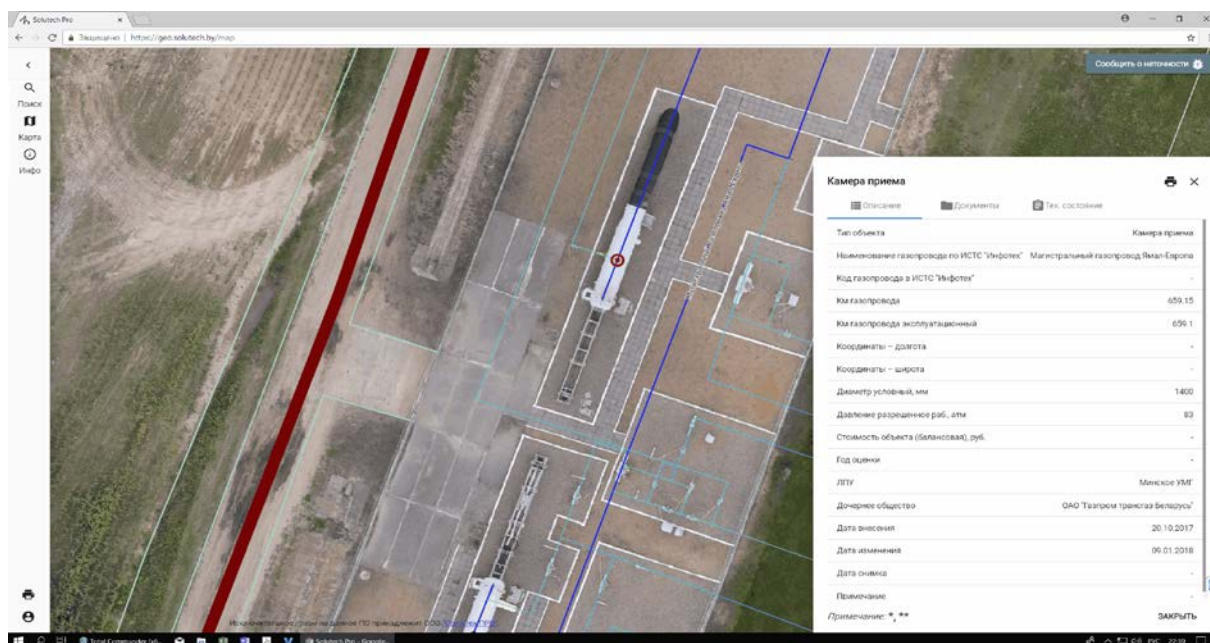


Рис. 2 – Абстракция ГИС

Использование БАК при проектировании и разработке ГИС позволяет:

- 1) Обеспечить достоверность информации ГИС, исключив человеческий фактор из процесса сбора исходных данных.
- 2) Существенно снизить объем полевых работ и их стоимость.
- 3) Ускорить процесс проектирования и разработки ГИС.
- 4) Использовать алгоритмы автоматизированного дешифрирования.
- 5) Проводить автоматизированную регистрацию изменений при периодическом формировании ортофотопланов одних и тех же участков.
- 6) Улучшить восприятие информации пользователями ГИС.

1. Шипулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем: учебн. пособие / Шипулин В. Д.; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2010. – 337 с.

2. Глебова Н. ГИС для управления городами и территориями // ArcReview. Электрон. журн. - 2006. - № 3(38)  
УДК 621.791

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СБОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Денисов А.В., Околов А.Р.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Метод сбора и технической и пространственной информации с использованием беспилотных авиационных комплексов (БАК) при проектировании и разработке локальных геоинформационных систем является основным по ряду технических и экономических показателей, но не достаточным, т.к. не обеспечивает необходимой точности пространственных данных для некоторых трехмерных объектов, а также не позволяет собирать необходимую информацию о водных объектах, скрытых под толщей воды.

Для решения указанных задач применяют такие специальные методы сбора технической и пространственной информации, как:

- наземное лазерное сканирование;
- обследование водных преград с применением эхолотов и гидролокаторов.

Суть технологии лазерного сканирования заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта. Это реализуется посредством измерения расстояний до всех определяемых точек, а также регистрации соответствующих точкам вертикальных и горизонтальных улов поворота сканирующей системы. Все измерения производятся с очень высокой скоростью – до нескольких десятков и сотен тысяч измерений в секунду.



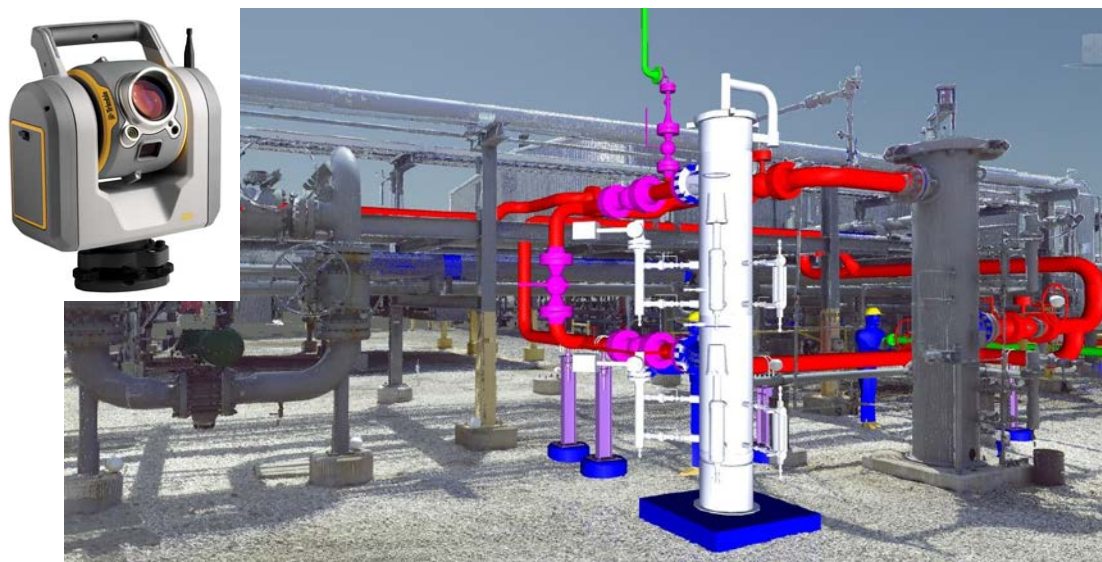


Рис. 1 – Сканирующая система и результаты ее работы

Система лазерного сканирования состоит из наземного лазерного сканера и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением, позволяющим управлять сканером и обрабатывать полученные результаты. Результатом работы сканирующей системы является множество (облако) точек с вычисленными трехмерными координатами. Далее облако точек преобразуется в трехмерные модели объекта посредством специализированного программного обеспечения. Сканирующая система и пример результатов работы приведен на рисунке 1.

Обследование водных преград осуществляется с помощью гидрографического комплекса (ГК), состоящего из следующих основных элементов:

- лодки или катера с мотором;
- многочастотного эхолота;
- гидролокаторов бокового и кругового обзоров;
- трассопоисковой системы;
- GNSS-системы точного спутникового позиционирования;
- полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением.

Использование ГК позволяет получать информацию о рельефе и плотности дна водоёма, форме и размерах подводных объектов (препятствий), подземных сооружениях, пересекающих водоём. Встроенная в ГК GNSS-система точного спутникового позиционирования обеспечивает сантиметровую точность геодезической привязки результатов измерений. На рисунке 2 приведен пример результатов работы гидрографического комплекса.

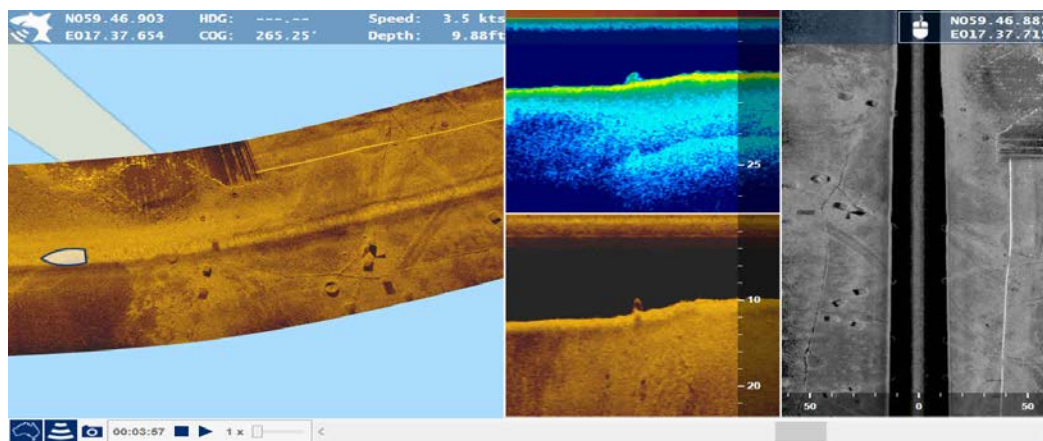


Рис. 2 – Результаты работы гидрографического комплекса

Точность геодезической привязки измерений, полученных как методом наземного лазерного сканирования, так и обследованием с помощью гидрографического комплекса делает возможным использование их при проектировании и разработке ГИС, а также при последующем анализе средствами ГИС.

УДК 658

## KINEMATICS OF RECONFIGURABLE MANIPULATORS

Plugachev Kuzma

Autefa Solutions Switzerland, Frauenfeld, Switzerland

The traditional way of extending manipulators' abilities by means of increasing the number of controlled joints results in disproportionately rapid growth of the complexity and cost of construction. It is mainly caused by the complexity of communicating movements from the motor via the previous links to every new joint.

The other possible approach suggests that manipulator should be equipped with one or more so-called reconfigurable links (RL). The RL consists of several parts interconnected by translational or rotational passive (i.e. having no drivers) joints with the simple locks fixing a position of the RL parts in respect to each other. The idea of this approach lies in the fact that the movement in passive joints is attained not by the usage of special additional drives but by means of using already existing drives of conventional active joints between other links not only for displacement of the gripper, but also for changing the RL geometrical parameters.

Actual report is devoted to consideration of kinematic aspects of reconfigurable manipulators modelling. Let  $\mathbf{r}$  be the position vector of the coordinate system  ${}^{n+m}S$  of the gripper with respect to the base frame  ${}^0S$ . To describe the  ${}^{n+m}S$  orientation with respect to  ${}^0S$  the Euler angles  $O = (\varphi, \theta, \phi)$  will



be used. The gripper position and orientation can be presented as vector  $p^T = (r^T, O^T)$ .

In general case the manipulator with RL contains  $n+m$  joints and includes reconfigurable links with  $m$  passive joints, and  $n$  controlled active joints. The manipulator arm configuration at arbitrary instant of time is determined by a vector of joint variables  $q \in R^{n+m}$ . This vector may be organized as  $q^T = (q_a^T, q_p^T)$  where  $q_a \in R^n$  are joint variables of active controlled joints,  $q_p \in R^m$  is a column vector of the RL joint variables.

Taking into account the above designations, expressions for both direct and differential kinematics of the manipulator can be written as follows:

$${}^0p = k(q) \quad (1)$$

$${}^0\dot{p} = \frac{\partial k(q)}{\partial q} \dot{q} = J_k(q) \dot{q} \quad (2)$$

If the end-effector velocity in the base frame  ${}^0S$  is written as a vector  ${}^0v^T = ({}^0r^T, {}^0\omega^T)$ , where  ${}^0r$  and  ${}^0\omega$  are linear and angular components respectively, then

$${}^0v = J(q) \dot{q} \quad (3)$$

The standard Jacobian  $J$  of the manipulator differs from Jacobian  $J_k$  in (2), associated with accepted minimal description of orientation in (1). A derivative of the Euler angles set  $O = (\varphi, \theta, \phi)$  may be transformed into the angular velocity  ${}^0\omega$  in the  ${}^0S$  using matrix  $A^*$  whose elements are functions of the gripper orientation

$${}^0v = A({}^0p) {}^0\dot{p}; \quad (4)$$

$$A({}^0p) = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0 \\ 0 & A^*(\varphi, \theta, \phi) \end{bmatrix} \quad (5)$$

The matrix  $A^*$  reflects the fact that the gripper angular velocity is not a mere derivative of minimal description of an orientation.

The manipulator Jacobian may be divided into two matrices corresponding to active and passive joint variables, so that

$${}^0v = J_a(q) \dot{q}_a + J_p(q) \dot{q}_p \quad (6)$$

The RE configuration at each instant of time can be described by the joint variables vector  $g_d \in R^d$ . The gripper and the RE in a contact form a kinematic pair with  $k$  degrees of freedom, and their relative position may be described by the vector  $g_k \in R^k$ . This enables the gripper position to be determined by the vector  $g^T = (g_k^T, g_d^T)$ , so that

$${}^0p = \Gamma(g). \quad (7)$$

The inverse dependence can be written as

$$g = \Gamma^{-1}({}^0p) = \Gamma^{-1}[k(q)]. \quad (8)$$

Differentiation of (7) and its division by parameters of both RE and contact gives

$${}^0v = T(g)\dot{g} = T_k(g)\dot{g}_k + T_d(g)\dot{g}_d, \quad (9)$$

where

$$T(g) = A[\Gamma(g)] \frac{\partial \Gamma(g)}{\partial g} = A(g) \frac{\partial \Gamma(g)}{\partial g};$$

$$T_k(g) = A(g) \frac{\partial \partial(g)}{\partial g_k};$$

$$T_d(g) = A(g) \frac{\partial \partial(g)}{\partial g_d}.$$

A number  $h$  of degrees of freedom of a gripper in contact with RE is determined by

$$\begin{aligned} h &= \dim[imJ(q) \cap imT(g)] = \\ &= rankJ(q) + rankT(g) - rank[J(q)T(g)] \end{aligned} \quad (10)$$

УДК 621.01

## РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗВЕНЬЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

**Опейко О.Ф., Несенчук А. А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Приведенный к валу электродвигателя момент инерции любого звена промышленного робота зависит от относительных положений звеньев, а так же от массы в захватном устройстве, и потому изменяется в процессе функционирования. Применение специальных двигателей с высокими динамическими свойствами, например, синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ), позволяет уменьшить динамическую погрешность при обработке траектории, однако изменения момента инерции будут значительно влиять на динамические свойства системы.

Для стабильности динамических свойств системы при параметрических возмущениях возможно применение методов робастного управления [1-6].

Синтез робастных ПИ регуляторов положения и скорости выполняется для линеаризованной редуцированной модели объекта управления, параметры которой, зависящие от моментов инерции, принадлежат заданным интервалам. Критерием качества является принадлежность корней характеристического полинома заданной области на плоскости корней для всех возможных значений параметров объекта.

Две горизонтальные оси промышленного робота (рисунок 1) приводятся в движение идентичными электроприводами с векторным частотным управлением, СДПМ. Синтез робастных ПИ регуляторов выполнен двумя методами [4, 5].

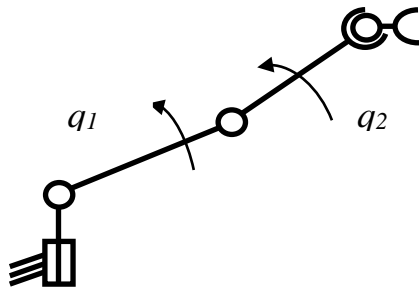


Рис. 1 – Кинематическая схема промышленного робота

В соответствии с [4] формируется интервальный полином, гарантирующий принадлежность корней заданной области качества на комплексной плоскости.

$$N(s) = \det(Is - A) = s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n$$

$$, \quad \underline{a}_j \leq a_j \leq \bar{a}_j, \quad j = \overline{0, n}.$$

Границы области качества приняты на основании требуемого времени регулирования равными:  $\sigma_{\max} = -2,5$ ,  $\sigma_{\min} = -200$ . Пошаговый метод формирования интервального полинома представлен в [2, 3]. Имитационное моделирование поворота двух горизонтальных осей показано на рисунке 2.

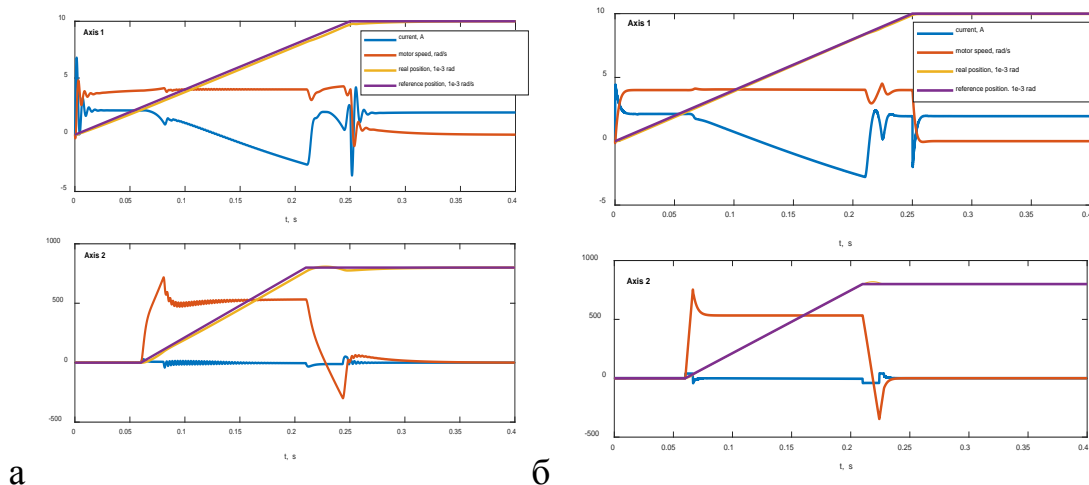


Рис. 2 – Процесс в системе с подчиненным управлением (а), и с робастным управлением (б).

По сравнению с методом подчиненного управления (рисунок 2, а) синтез робастных ПИ регуляторов методами [4, 5] (рисунок 2, б) позволяет получить более плавные процессы с меньшими колебаниями, что существенно для режимов контурного и позиционного управления. Результаты применения методов [4] и [5] отличаются незначительно.

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





В этой схеме котельный ПИД-регулятор настраивают на оптимальную обработку сигнала задания, а стабилизирующий ПИ-регулятор топлива – на оптимальную обработку внутреннего возмущения [2, 3].

Структуру турбинных регуляторов мощности (ТРМ) формируют на основе передаточных функций оптимальных регуляторов с использованием передаточной функции по давлению перегретого пара или иввиоля при возмущении изменением положения регулирующих клапанов турбины [2, 3].

Передаточную функцию формирователя сигнала задания представляют в виде звена быстрого реагирования в режиме постоянного давления пара перед турбиной или в виде звена медленного реагирования при переменном давлении пара [2, 3].

В диапазоне от 100 до 70 % номинальной мощности датчик давления пара перед турбиной подключён ко входу КРМ положительной обратной связью, а в режиме скользящего давления отключен от входа КРМ, к которому через КД подключён датчик  $h_T$  [2, 3]. При этом ошибка регулирования на входе в КРМ подаётся на вход ТРМ через корректор задания КЗ.

Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме постоянного и переменного давления пара перед турбиной приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме постоянного давления пара перед турбиной

САУМБ	Вид возмущения	$t_p, c$	$\Delta B^m_T$	$\Delta h^m_{рк}$	$\Delta p^m_0$	$\Delta N^{f1}_{ф, м}$
Предлагаемая	$N_{зд}$	25	1,1	1,0	0,12	-
	$f_1$	250	0,122	0,009	0,0065	0,0014
Типовая	$N_{зд}$	480	1,5	1,6	- 0,03	-
	$f_1$	600	0,1	0,02	0,03	0,023

Таблица 2 – Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме переменного давления пара перед турбиной

САУМБ	Вид возмущения	$t_p, c$	$\Delta B^m_T$	$\Delta h^m_{рк}$	$\Delta p^m_0$	$\Delta N^{f1}_{ф, м}$
Предлагаемая	$N_{зд}$	25	1,283	+ 0,115	1,037	-
	$f_1$	130	0,114	- 0,02	+ 0,01	0,0014
Типовая	$N_{зд}$	720	1,4	+ 0,1	1,0	-
	$f_1$	1840	0,403	- 0,261	+ 0,258	0,036

Обозначения:  $t_p$  – время регулирования;  $\Delta B^m_T$  – относительное максимальное изменение расхода топлива;  $\Delta h^m_{рк}$  – относительное максимальное изменение положения регулирующих клапанов турбины;  $\Delta p^m_0$  – максимальное отклонение давления перегретого пара перед турбиной;  $\Delta N^{f1}_{ф, м}$

– максимальное отклонение фактической мощности при внутреннем возмущении.

Предложенный вариант САУМБ позволяет существенно улучшить показатели качества управления в режимах постоянного и переменного давления пара перед турбиной по сравнению с типовой САУМБ.

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

2. Кулаков, Г. Т. Параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблоков 300 МВт в режиме постоянного давления пара перед турбиной / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, К. И. Артёменко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2018. – № 5. – С. 451–462.

3. Кулаков, Г. Т. Параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблоков 300 МВт в режиме переменного давления пара перед турбиной / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, К. И. Артёменко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2018. – № 6. – С. 540–551.

УДК 621.52

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА**

**Кулаков Г.Т., Артёменко К.И.**

Белорусский национальный технический университет

Известно, что чрезмерное увеличение постоянной времени  $T_{им}$  электрического исполнительного механизма (ИМ) может вывести регулятор при больших возмущениях в режим постоянной скорости, увеличив отклонение регулируемой величины и полное время регулирования. Чрезмерное уменьшение  $T_{им}$  улучшает качество регулирования, но вызывает повышение частоты включения сервомотора в пульсирующем режиме, уменьшая продолжительность каждого включения и увеличивая вредные влияния выбега сервомотора.

При этом для случая, когда максимальное возмущение эквивалентно половине хода сервомотора, оптимальные значения  $T_{им}$  можно определить из следующих соотношений:

– для П- и ПИ-регуляторов:  $T_{им} \approx (1 \div 4) \tau$ ,  $T_{им.опт} \approx 2 \tau$ ;

– для ПИД-регулятора:  $T_{им} \approx (0,75 \div 2) \tau$ ,  $T_{им.опт} \approx \tau$ ,

где  $\tau$  – запаздывание объекта по каналу регулирующего воздействия [1].

В методе полной компенсации в общем виде в качестве критерия оптимальности при отработке скачка задания используется передаточная

функция в виде последовательно соединённых инерционного звена первого порядка с заданным временем разгона  $T_{зд}$  и звена условного запаздывания  $\tau_y$  по каналу регулирующего воздействия, где  $T_{зд} = \tau_y$  [2]. При этом для объекта регулирования в виде последовательно соединённых инерционного звена первого порядка с временем разгона  $T_k$  и звена условного запаздывания  $\tau_y$  оптимальным является ПИД-регулятор, у которого время отработки скачка задания составляет в зависимости от выбранной зоны нечувствительности регулятора  $t_p = (4 \div 5) \tau_y$ . Дальнейшее уменьшение времени регулирования требует использования специальных регуляторов Смита или Ресвика либо применения экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации САР на базе передаточных функций оптимального регулятора [3].

В связи с этим актуальной становится задача определения взаимосвязи между оптимальным расчётным значением  $T_{зд}$  для ПИ- и ПИД-регуляторов и  $T_{им}$ . На рис. 1 приведена схема моделирования переходных процессов в САР с учетом передаточной функцией исполнительного механизма

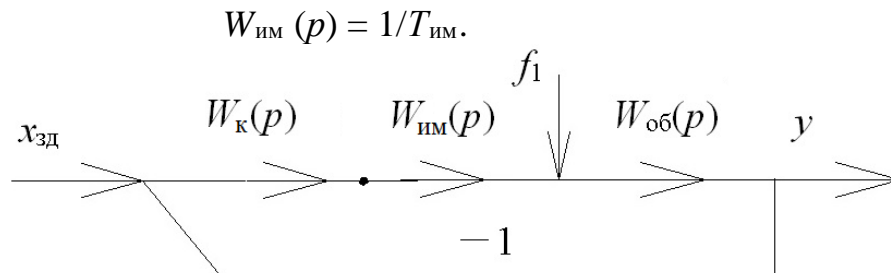


Рисунок 1 – Структурная схема моделирования переходных процессов САР с передаточной функцией исполнительного механизма

Здесь передаточные функции соответственно: объекта  $W_{об}(p) = K_{об} (T_1 p + 1)^{-1}$  и компенсатора динамики объекта  $W_k(p) = [W_{об}(p)]^{-1}$ . В результате передаточная функция оптимального ПИ-регулятора примет вид:

$$W_p^{опт}(p) = (T_1 p + 1) [K_{об} T_{зд} p]^{-1}. \quad (1)$$

С учётом (1) схемы САР на рис. 1 передаточная функция регулятора будет равна:

$$W_p(p) = W_k(p) W_{им}(p) = (T_1 p + 1) [K_{об} T_{им} p]^{-1}, \quad (2)$$

т.е. оптимальное значение времени исполнительного механизма равно заданному значению  $T_{зд}$  критерия оптимальности:

$$T_{им} = T_{зд}.$$

Это позволяет определить оптимальное значение  $T_{им}$  с учётом допустимой максимальной величины регулирующего воздействия  $x_p^M$  при отработке скачка задания в момент времени  $t = 0$  по формуле [3]

$$T_{им.опт} = T_1 (K_{об} x_p^M).$$

Если передаточная функция объекта имеет вид

$$W_{об}(p) = K_{об} (T_1 p + 1)^{-1} e^{-\tau_y p},$$



то оптимальным регулятором будет реальный ПИД-регулятор с передаточной функцией [3]:

$$W_p^{\text{opt}}(p) = \frac{(T_1 p + 1)(\tau_y p + 1)}{K_{\text{об}} 2T_{\text{зд}} p \left( \frac{T_{\text{зд}}}{2} p + 1 \right)},$$

где  $T_{\text{зд}} = \gamma \tau_y$ , а  $\gamma \leq 1$ .

При этом  $T_{\text{им}} = 2T_{\text{зд}}$ , а выбор численных значений  $T_{\text{зд}}$  производят с учётом ряда чисел правила золотого сечения, приняв за целое  $\tau_y$ , на основе заданных показателей качества при отработке скачка задания.

1. Стефани, Е.П. Основы расчёта настройки регуляторов теплоэнергетических процессов/Е.П. Стефани. – М.: Энергия, 1972. – 372 с.

2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: УП Технопринт, 2003. – 134 с.

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

УДК 621.9.06

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ РЕЗАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

**Каштальян И.А., Романенко В.И., Литвинов А.Ю.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Программное обеспечение (ПО) в значительной степени определяет уровень устройства числового программного управления (УЧПУ). Создание развитого ПО УЧПУ является весьма трудоемкой задачей, и поэтому его построение осуществляется по блочно-модульному принципу с максимальной независимостью модулей и обеспечением их универсальности. С точки зрения применимости к различным видам оборудования ПО можно разделить на две части. К первой части относится базовое ПО, общее для различных видов оборудования; ко второй – групповое (технологическое) ПО, ориентированное на определенную группу станков.

В функции базового ПО входит обеспечение взаимодействия аппаратуры и функциональных программ ЧПУ, а также определение стандартных способов взаимодействия между программами, выполняемыми в реальном времени. Ядро базового ПО (диспетчер) обеспечивает мультипрограммирование процессов ЧПУ: обработка прерываний, временные отсчеты, запуск и приостановка программ, обмен сообщениями и т.п. В состав базового ПО входит ряд прикладных

программных модулей и блоков, общих для станков различных групп. К ним относится модуль интерпретации управляющей программы (УП), модуль управления электроавтоматикой, блоки интерполяции, управления приводами, ввода, вывода и редактирования УП и др.

Основными элементами технологического ПО являются технологические циклы и макроопределения, реализуемые в виде подпрограмм подготовительных G – функций. Увеличение объемов памяти и быстродействия УЧПУ позволяет создать развитые циклы для каждой группы станков, а внутри группы – для различных видов обработки. При этом в память УЧПУ вводятся данные по режимам обработки применительно к используемым режущим инструментам и алгоритмы их пересчета для ситуаций, свойственных определенным циклам.

Программные модули, реализующие разработанные математические модели и алгоритмы управления нестационарными процессами резания, входят в состав базового программного обеспечения [1]. Структурно они объединены в блок управления нестационарными процессами резания (БУНПР), который является автономным, обладает алгоритмической структурой, собственными данными и интерфейсной оболочкой. Взаимодействие этого блока с другими блоками УЧПУ осуществляется путем обмена информацией.

Информация каждого нового кадра поступает из блока ввода на преобразователь кодов (интерпретатор) в двоично-десятичном коде и в соответствии с адресами пересылается в блок интерполяции, блок задания скорости и БУНПР. В БУНПР информация будет заноситься при наличии в кадре УП адреса (адресов) параметра (параметров) кинематически нестабильного процесса резания (рисунок).

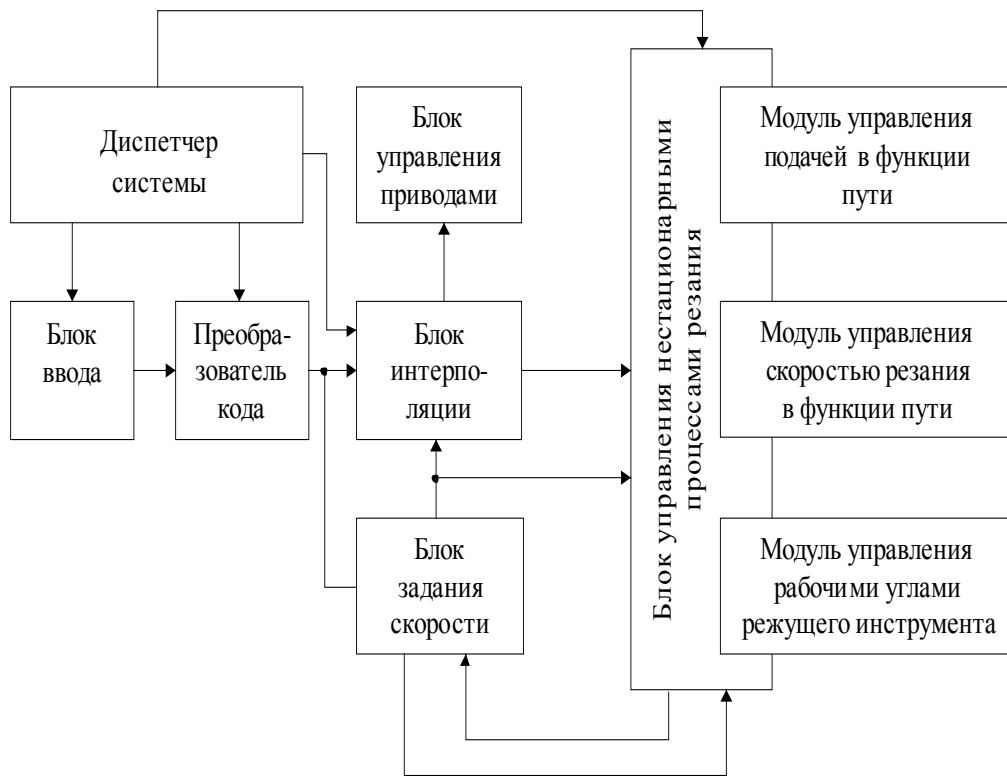


Рисунок – Схема взаимодействия модулей управления нестационарными процессами резания с другими модулями микропроцессорного УЧПУ

В процессе обработки каждого кадра УП блок интерполяции выдает импульсы унитарного кода на блок управления приводами с частотой, зависящей от частоты импульсов, поступающих из блока задания скорости. После каждого импульса из блока задания скорости текущее значение параметра в БУНПР увеличится на единицу. Когда оно станет равным значению параметра, поступающего на блок интерполяции из блока ввода через интерпретатор, в БУНПР управляющее воздействие (подача или частота вращения шпинделя) увеличится или уменьшится в соответствии со знаками на единицу дискретности. Его новое значение передается на блок задания скорости.

Интерфейс модулей, входящих в состав БУНПР, строится с помощью объектов двух классов: класса объект–переменная и класса объект–процесс. Каждый объект первого класса соответствует одной из переменных модуля. А каждый объект второго класса – одному конечному автомату, состояние которого есть состояние модуля, а переходы означают смену состояний.

Переходы при этом инициируются функциями внешних модулей (диспетчера) или органами управления УЧПУ. Такая структура интерфейса предполагает следующие возможности: модули БУНПР могут взаимодействовать с помощью собственных интерфейсов через единую коммуникационную среду, представляющую собой, по сути, виртуальную

машину; одни модули могут управлять переходами других модулей в новое состояние (например, в состояние сброса, готовности запуска, работы, выхода из строя и др.) Каждый из модулей имеет свою область применения и включается путем задания соответствующих параметров [2].

В качестве идентификаторов этих параметров выбираются символы адресов кода ИСО-7 бит, которые не использованы для кодирования стандартных функций управления для конкретного сочетания станок – УЧПУ. Причем параметры задаются в кадре УП при детерминированном управлении либо формируются автоматически в системах адаптивного управления. При организации циклов механической обработки с включением в процесс резания кинематической нестабильности взаимодействие модулей БУНПР с модулями технологического программного обеспечения осуществляется посредством аппарата параметрического программирования с использованием формальных параметров, а также условных и безусловных переходов [3].

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

2. Каштальян, И.А. Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях нестационарного резания / И.А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2008. – 311 с.

3. Каштальян, И.А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением: учебно-методическое пособие/ И.А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2015. – 135 с.

УДК 621.9.06

## **АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ**

**Каштальян И.А., Шпак А.В., Павловский А.Б.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

При изготовлении нежестких деталей на токарных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) применение находят методы

управления точностью обработки, основанные на программном изменении силы резания в соответствии с законами, установленными на этапе создания алгоритмов работы устройства ЧПУ. На базе таких алгоритмов могут быть построены также адаптивные системы управления.

Разработанная адаптивная система (рисунок) позволяет реализовать практически любой закон изменения силы резания в функции пути и поддерживать его при случайных колебаниях глубины резания  $t$  и твердости материала детали  $HB$ [1]. При этом настройка системы фактически выполняется при вводе соответствующего закона изменения составляющей силы резания  $P_z$  в функции пути, который определяется заранее расчетом либо экспериментально.

Вследствие технических трудностей непосредственного измерения величины  $P_z$  на многоинструментальных станках в качестве измеряемого параметра выбрана потребляемая двигателем шпинделя станка активная мощность  $N_d$ , которая связана с тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  зависимостью

$$N_d = N_x + P_z \omega_{ш} R, \quad (1)$$

где  $N_x$  – активная мощность, потребляемая двигателем шпинделя в режиме холостого хода, кВт;  $\omega_{ш}$  – угловая скорость вращения шпинделя, рад/с;  $R$  – радиус обработки (расстояние от вершины режущей кромки резца до оси вращения заготовки), м.

Система, включающая блок 1 задания программы, блок 2 интерполяции и блок 3 задания скорости подачи, управляет станком 4 путем воздействия на привод 5 продольной подачи, привод 6 поперечной подачи и двигатель привода 7 шпинделя. Кроме того, на процесс резания оказывают возмущающие воздействия глубина резания  $t$  и твердость материала детали  $HB$ . Активная мощность  $N_d$ , потребляемая двигателем привода 7 шпинделя, измеряется датчиком 8 и преобразуется им в напряжение  $U_{N_d}$ , пропорциональное величине  $N_d$ .



блока 12, на другие входы которого из блока 1 задания программы поступает код угловой скорости вращения шпинделя  $K_\omega$ , который образуется под воздействием управляющей программы, и текущее значение заданной силы резания  $K_p^T$ , которое формируется в блоке 16 реализации закона преобразования силы резания с устройством ввода. Начальное значение  $K_p$  образуется под воздействием управляющей программы и поступает на вход блока 16 реализации закона преобразования силы резания с устройством ввода. В этом блоке она изменяется в соответствии с законом, информация о котором поступает с устройства ввода. На выходе вычислительного блока 12 формируется напряжение  $U_{N_3}^T$ , пропорциональное текущему произведению значений кодов  $K_p^T$ ,  $K_\omega$ ,  $K_R$ , а следовательно, пропорциональное и заданной текущей мощности резания  $N_3^T$ , которая определяется из равенства (1) при условии  $P_z = P_3^T$ .

$$N_3^T = P_3^T \omega_{ш} R. \quad (2)$$

Напряжение, пропорциональное текущему значению мощности резания с выхода вычислительного блока 12 поступает на вход блока 17 изменения тактовой частоты и на вход блока 13 сравнения. На выходе блока 17 формируется текущее значение кода тактовой частоты, которое поступает на вход блока 3 задания скорости при условии, что на вход второго ключа 18, связанного с одним из выходов блока 1 задания программы, не поступит команда блокировки (признак быстрого хода). В противном случае ключ 18 пропускает на вход блока 3 задания скорости код тактовой частоты, соответствующий быстрому ходу, сформированному в блоке 1 задания программы. Блок 13 сравнения формирует на своем выходе напряжение рассогласования  $U_\Delta$  в соответствии с равенством

$$U_\Delta = U_{N_d} - U_{N_x} - U_{N_3^T}. \quad (3)$$

Анализируя равенства (1), (2) и (3), можно заключить, что  $U_\Delta = 0$  при  $P_z = P_3^T$ .

Регулятор подачи 14, воздействуя на блок 3 задания скорости, корректирует тактовую частоту работы блока 2 интерполяции таким образом, чтобы  $U_\Delta$  было равно нулю. При этом блок 3 задания скорости формирует результирующее значение тактовой частоты.

1. Каштальян, И.А. Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях нестационарного резания / И.А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2008. – 311 с.

## О ВЛИЯНИИ ХАРАКТЕРА НАГРУЗКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СДПМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

**Фираго Б.И., Александровский С.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Будем исследовать динамические свойства СДПМ без демпферной обмотки при линеаризации угловой характеристики синхронного двигателя, когда электромагнитный момент определяется выражением [1]:

$$M = b \int (\omega_0 - \omega) dt, \quad (1)$$

а статический момент нагрузки представляется общей формулой [1]

$$M_c = C_n \omega^n, \quad (2)$$

где  $b$  – есть магнитная жесткость СДПМ;  $\omega_0$  – синхронная угловая скорость СДПМ при данной частоте  $f_1$  выходного напряжения преобразователя частоты (ПЧ);  $\omega$  – текущее значение угловой скорости СДПМ;  $C_n$  – коэффициент, который определяется для текущей угловой скорости СДПМ таким образом  $C_n = \frac{M_c(\omega)}{\omega^n}$ ;  $M_c(\omega)$  – статический момент

при данной угловой скорости  $\omega$  СДПМ;  $n$  – показатель степени, который принимает значения  $n = 0; 1; 2$ .

На основании уравнения движения электропривода с учетом (1) и (2) в результате преобразований получаем дифференциальное уравнение [2]

$$\frac{1}{\Omega_0^2} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \tau \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0. \quad (3)$$

где  $\Omega_0 = \sqrt{\frac{b}{J}}$  – собственная частота электромеханических колебаний синхронного электропривода;  $\tau = \beta_n / b$  – электромагнитная постоянная времени синхронного электропривода;  $\beta_n$  – модуль жесткости характеристики статического момента при  $\omega = \omega_0$  для данного показателя степени  $n$ , характеризующего статический момент:

$$\left. \frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \beta_n = C_n n \omega_0^{n-1}. \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение (3) имеет такое характеристическое уравнение:

$$p^2 + 2\alpha_n p + \Omega_0^2 = 0, \quad (5)$$

где  $\alpha_n = \frac{\beta_n}{2J} = \frac{1}{2T_{m,n}}$  – коэффициент затухания колебаний при данном виде статического момента.

Уравнение (5) имеет корни  $p_{1,2} = -\alpha_n \pm \sqrt{\alpha_n^2 - \Omega_0^2}$ . Обычно  $\alpha_n \ll \Omega_0$ , поэтому имеем комплексно-сопряженные корни  $p_{1,2} = -\alpha_n \pm j\Omega_p$ , где



$\Omega_p = \sqrt{\Omega_0^2 - \alpha_n^2}$  – есть резонансная частота электромеханических колебаний синхронного электропривода.

При показателе степени  $n = 0$  в соответствии с (2) имеем  $M_c = C_n = \text{const}$ , т.е. постоянный статический момент, и как видно из (4), нулевое значение модуля жесткости  $\beta_n$  статического момента, приводящее и нулевое значение коэффициента затухания  $\alpha_n$ . Характеристическое уравнение (5) имеет два мнимых корня  $p_{1,2} = \pm j\Omega_0$ , которые свидетельствуют о незатухающих электромеханических колебаниях синхронного электропривода с частотой  $\Omega_0$  при отсутствии демпферной обмотки в СДПМ. Следовательно, СДПМ без демпферной обмотки нельзя использовать в скалярных системах частотного управления с постоянным статическим моментом.

При показателе степени  $n = 1$ , как видно из (2), статический момент  $M_c$  изменяется пропорционально скорости ротора, т.е. такой статический момент является моментом вязкого трения первого рода [1], который демпфирует электромеханические колебания синхронного электропривода на основе СДПМ без демпферной обмотки. Формула (4) показывает, что модуль жесткости характеристики статического момента является постоянным на всем диапазоне изменения синхронной угловой скорости  $\omega_0$  СДПМ, что обеспечивает постоянный коэффициент затухания  $\alpha$  электромеханических колебаний.

При показателе степени  $n = 2$  имеем квадратичную зависимость статического момента от скорости. Такие статические моменты являются моментами вязкого трения второго рода [1] и хорошо демпфируют колебания ротора синхронного двигателя.

Из формулы (4) с учетом (2) при  $n = 2$  получаем модуль жесткости характеристики статического момента  $\beta_n = C_2 2\omega_0 = 2 \frac{M_c(\omega_0)}{\omega_0^2} \omega_0 = 2 \frac{M_c(\omega_0)}{\omega_0} = 2\beta_n(n=1)$ . Следовательно, при  $n = 2$  модуль жесткости характеристики статического момента и коэффициент затухания колебаний будет в 2 раза выше, чем эти величины при  $n = 1$ . Это показывает, что с возрастанием показателя степени “ $n$ ” демпфирующая способность нагрузки увеличивается. В связи с этим для турбомеханизмов с показателем степени  $n \geq 1$  могут применяться электроприводы на основе СДПМ без демпферной обмотки при скалярном частотном управлении [3].

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

2. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363с.

3. Stefan Brock, Tomasz Pajchrowski. Energy-optimal v/f control of permanent magnet synchronous motors for fan applications. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne. № 92/2011. 169s.

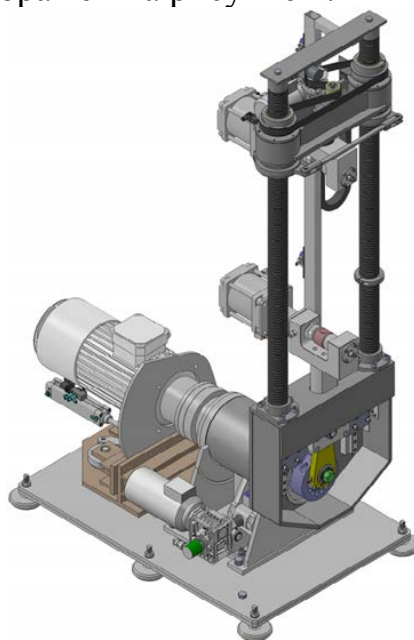
## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СНЯТИЯ СИЛОВОЙ И СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФЕРОВ И АМОРТИЗАТОРОВ**

**Гоцкая Н.А., Садоменко С.Л., Лившиц Ю.В.**  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В современном машиностроении при изготовлении механических транспортных средств, будь то автомобильный или железнодорожный транспорт, особое внимание уделяется надежности механизма и безопасности его эксплуатации. Применение демпферов и амортизаторов позволяет добиться требуемой плавности хода, устранить раскачку кузова и погасить колебания пружин, рессор или торсионов.

Каждый механизм перед поступлением его в продажу должен пройти приемо-сдаточные испытания на предприятии-изготовителе на соответствие механизма установленным ГОСТам, предельным параметрам и номинальным значениям характеристик. Совершенствование процесса испытаний является приоритетным направлением заводов-изготовителей, позволяющий не только повысить качество продукции, но сократить издержки производства.

Так, для автоматизации проведения приемо-сдаточных испытаний гидравлических амортизаторов и демпферов (до 25 кН) разработан стенд, внешний вид которого изображен на рисунке 1.



**Рис. 1 - Стенд для проведения приемо-сдаточных испытаний гидравлических амортизаторов и демпферов**

Конструктивно стенд включает в себя:

1. исполнительный модуль с пневмосистемой;

2. систему управления (включая станцию управления, кнопочный пост управления, контрольно-измерительные приборы и автоматизированное рабочее место оператора).

Испытание производится одним из двух методов:

1. гармонических колебаний, под углом установки гидродемпфера от 0 до 90 градусов, с построением рабочей диаграммы (координаты «усилие-перемещение») испытываемого амортизатора или демпфера;

2. плавного перемещения штока амортизатора или штока демпфера с постоянной скоростью с построением диаграммы изменения усилия от перемещения.

Система управления в свою очередь обеспечивает измерение скорости испытания амортизаторов, усилия растяжения (сжатия), температуры амортизатора (демпфера) и угла наклона амортизатора, а также запись снимаемых во время испытаний параметров, их архивирование и создание отчетов об испытаниях.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) испытателя предназначено для управления стендом, визуализации процесса испытаний, сбора измерений, их архивирования, обработки, создания журналов, отчетов и вывода их на печать. Также производится аналитико-статистическая обработка данных.

Программное обеспечение АРМ испытателя разработано в SCADA системе MAPS. Для связи с нижним уровнем (программируемым логическим контроллером) используются встроенные драйвера и утилиты FastRW. Пример графического окна результатов испытания продемонстрирован на рисунке 2.

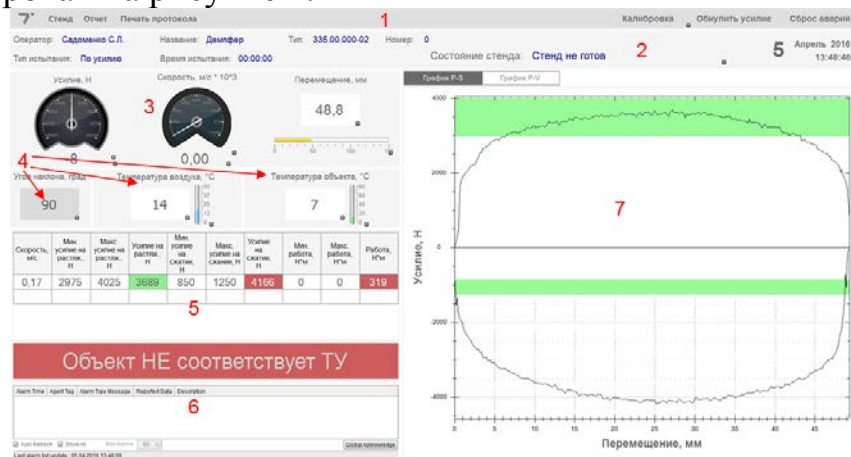


Рис. 2 – Экран результатов испытания

Здесь ключевой для оператора информацией являются значения угла наклона, усилия на растяжение/сжатие и построенные на основе полученных данных скоростная и силовая характеристики.

Изготовленный стенд внедрен и активно используется на предприятии ОАО «Барановичский автоагрегатный завод».

## **ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КОТЕЛЬНОЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ.**

**Липницкий Л.А.<sup>1</sup>, Пильгун Т.В.<sup>1</sup>, Мататов В.И.<sup>2</sup>**

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

2). Международный государственный экологический институт  
имени А.Д. Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Обеспечение экономии топливно-энергетических ресурсов становится с каждым годом все более актуальной проблемой для производственных предприятий в связи с ростом цен на топливно-энергетические ресурсы, необходимостью снижения себестоимости продукции и ростом требований к охране окружающей среды. В этой связи важным становится эффективная организация потребления тепловой энергии на предприятиях [1].

Существующая схема децентрализованного теплоснабжения предприятия, подразумевающей наличие котельной установки, потребителей с тепловыми пунктами и тепловой сети для подачи прямой и обратной сетевой воды. Основная часть подаваемой тепловой энергии идет на поддержание требуемого температурного режима в помещениях предприятия [2].

Существующие способы регулирования температурного режима в помещении предусматривают отслеживание разности температур прямой и обратной сетевой воды, а также регулирование отпуска тепла источником в зависимости от температуры наружного воздуха [3]. Данные способы регулирования позволяют достичь определенного уровня рационального использования тепловой энергии.

Однако при этом существуют случаи, когда потребителям не всегда нужно определенное количество тепла. Если производство носит сменный характер, то по завершению рабочего дня и до начала следующего дня в производственных помещениях с целью снижения потребления тепла может поддерживаться минимально требуемая температура воздуха.

Для решения данной задачи предлагается организация автоматизированной системы управления энергоресурсами, предусматривающая следующую ее организацию. В помещениях потребителя устанавливается регулятор, на котором задается требуемый температурный режим с учетом регулирования температуры воздуха в течение суток. В тепловом пункте потребителя на трубопровод прямой подачи воды системы отопления устанавливается трехходовой клапан, связанный с трубопроводом обратной воды.

В случае необходимости снижения температуры воздуха в помещении в конце рабочего дня температурный регулятор подает управляющее

воздействие на трехходовой клапан, уменьшая подачу прямой сетевой воды в помещение и подмешивая в нее часть обратной сетевой воды. Тем самым изменяется количество тепла, подаваемого в помещение. Перед рабочей сменой происходит обратный процесс, в результате чего температура в помещении подымается.

Кроме того, информация об изменении температуры с регулятора в помещении по системе связи (Ethernet, GSM или другой) передается на центральную систему управления, находящуюся в котельной установке предприятия. Последняя с учетом количества тепла, потребляемого в рассматриваемом помещении, производит соответствующее изменение в подачи топлива в котельные агрегаты.

Таким же образом организуется регулирование температурного режима в других помещениях предприятия. При этом информация об изменении регулирующих параметров в этих помещениях также поступает на центральную систему управления котельной. В результате отпуск тепла котельной установкой будет изменяться с учетом общей потребности в нем предприятия.

Из вышесказанного следует, что процесс управление должен затрагивать не только работу самой котельной установки, но процесс подачи тепла к каждому из потребителей. Для этого управляющие органы системы автоматического управления должны находиться, как в самой котельной, так и на тепловых пунктах непосредственно перед вводом тепла в каждое производственное помещение, температурный режим которого подвергается регулированию, и должна организована взаимосвязь между ними.

В результате организации такой системы автоматического управления производством и потреблением тепловой энергией возможно достижение наиболее эффективного способа потребления котельно-печного топлива и снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

1. Государственная программа ”Энергосбережение“ на 2016 – 2020 годы – Режим доступа: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21600248> - Дата доступа: 03.01.2019.

2. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты: учебник для СПО / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва: Издательство Юрайт, 2018. — 199 с.

3. Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://теси.рф/автоматизация/автоматическое-регулирование-потреб/>. - Дата доступа: 03.01

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Дубинин С.В., Коротченя А.П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск. Республика Беларусь.

Для снижения емкостной составляющей тока утечки на землю до безопасного уровня в современных системах защиты человека от поражения электрическим током применяют компенсаторы дроссельного типа. Для контроля изоляции электрической сети в системах защиты обычно используется источник оперативного напряжения, подключенного между фазами электрической сети и землей. Как показали исследования [1], в комбинированных сетях применение компенсаторов дроссельного типа может оказывать значительное влияние на точность измерений. В связи с этим были проведены сравнительные исследования влияния компенсаторов дроссельного типа и компенсаторов на основе конвертора отрицательного сопротивления КОС на систему измерения изоляции комбинированной электрической сети относительно земли. Исследования проведены при помощи пакета моделирования электротехнических систем NI Multisim (рис.1).

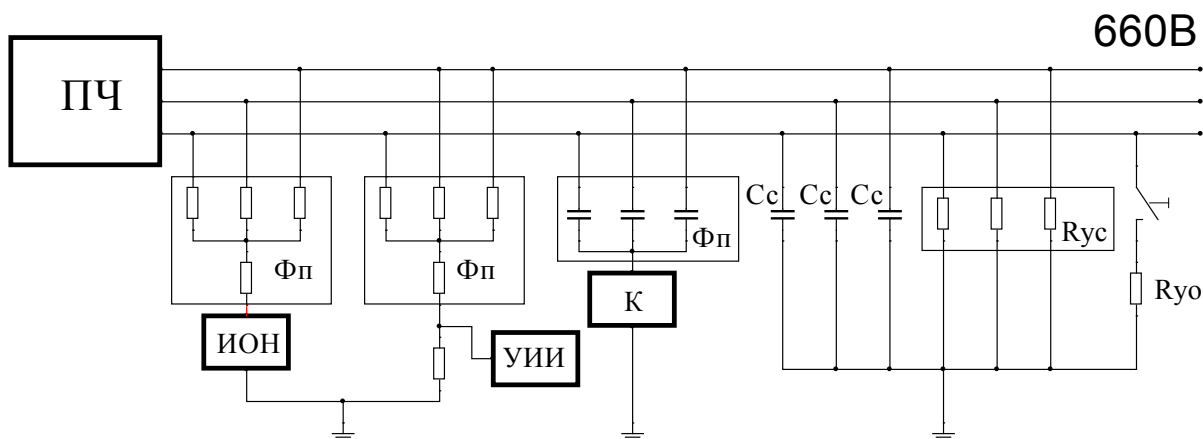


Рисунок 1. Моделирование процесса компенсации емкости сети: ПЧ – преобразователь частоты, ИОН – источник оперативного напряжения, УИИ – устройство измерения сопротивления изоляции сети, К – компенсатор, Фп – фильтр присоединения, Cс – емкость сети, Rуc – симметричное сопротивление утечки, Rуo – однофазное сопротивление утечки.

Моделирование проводилось для двух способов компенсации – при помощи дроссельного компенсатора и компенсатора на основе КОС (рис.2).

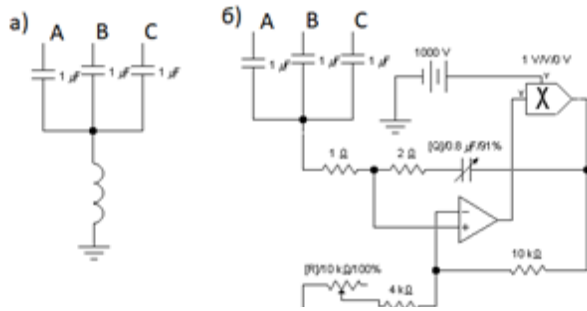


Рис. 2. Модели компенсаторов: а) дроссельного типа, б) на основе КОС.

Для измерения сопротивления изоляции используется параллельный способ, при котором прямоугольное напряжение источника ИОН подключено к фазам сети через фильтр Фп. По амплитуде сигнала, поступающего на вход устройства измерения УИИ определяется величина сопротивления изоляции сети относительно земли.

На рис. 3 приведены результаты моделирования сигнала на входе измерительного устройства УИИ.

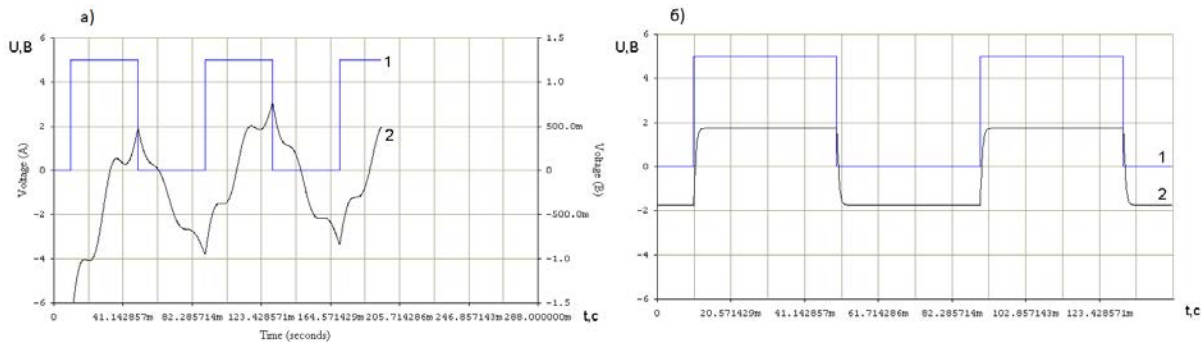


Рис. 3. Результаты моделирования процесса компенсации емкости сети: а) с дроссельным компенсатором, б) с компенсатором на основе КОС

Из рис. 3 следует, что в случае дроссельного компенсатора (рис. 3а) искажение формы сигнала значительнее чем в случае КОС (рис. 3б).

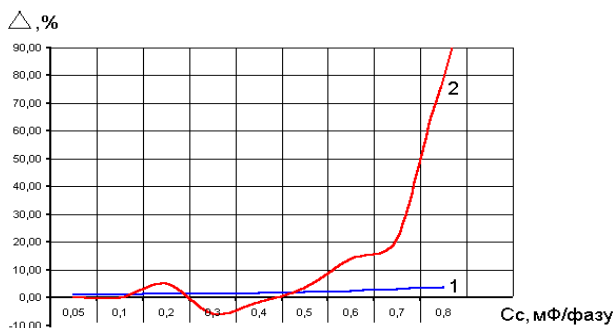


Рис. 4. Зависимость точности измерения от емкости кабеля сети.

Применение КОС позволяет значительно уменьшить погрешность измерения сопротивления изоляции (рис. 4) и расширить область применения системы автоматического контроля изоляции относительно земли на комбинированные электрические сети с протяженным кабелем (2 – погрешность измерения с дроссельным компенсатором, 1– с компенсатором на основе КОС).

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Дубинин С.В.,

Белорусский национальный технический университет  
Минск. Республика Беларусь.

Одним из эффективных способов снижения емкостного тока утечки на землю в комбинированных электрических сетях является способ с использованием конвертора отрицательного сопротивления КОС [1]. Функциональная схема системы компенсации емкостной составляющей тока утечки на землю (рис.1) содержит преобразователь частоты ПЧ, асинхронный электродвигатель М1, КОС на основе дифференциального усилителя ДУ, охваченного положительной емкостной обратной связью ПОС и подключенного через высоковольтный каскад ВК, фильтр присоединения ФП к фазам комбинированной электрической сети.

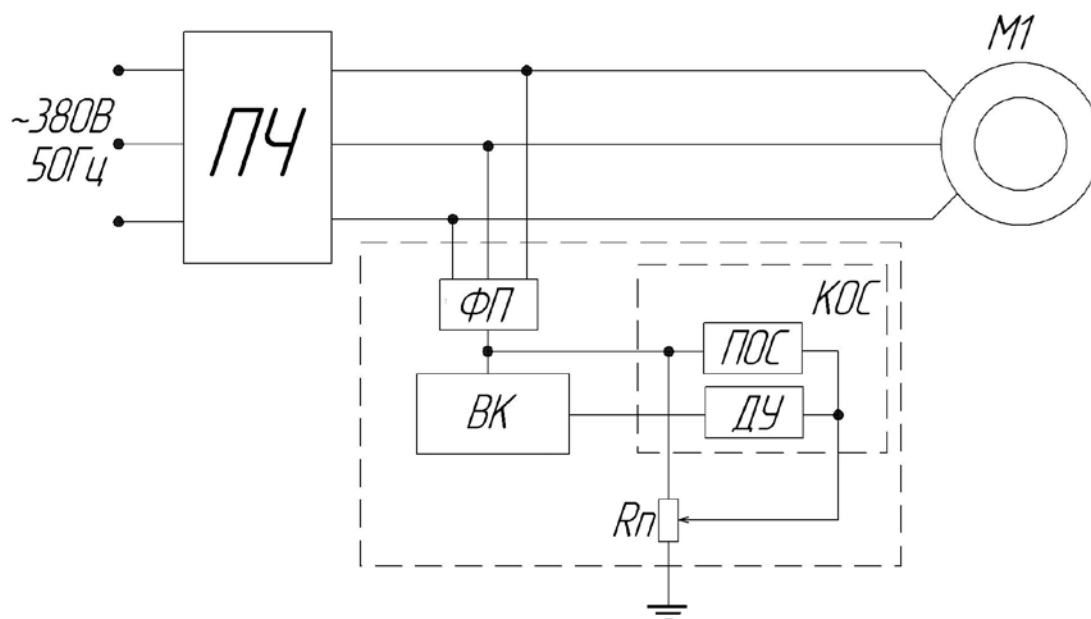


Рис. 1 - Функциональная схема системы компенсации емкостной составляющей тока утечки на землю в электрической сети

Регулируя глубину ПОС при помощи потенциометра  $R_p$  можно изменять степень компенсации тока утечки на землю.

Оптимизация параметров КОС проводилась при помощи математического моделирования (функциональная схема математической модели приведена на рис. 2)



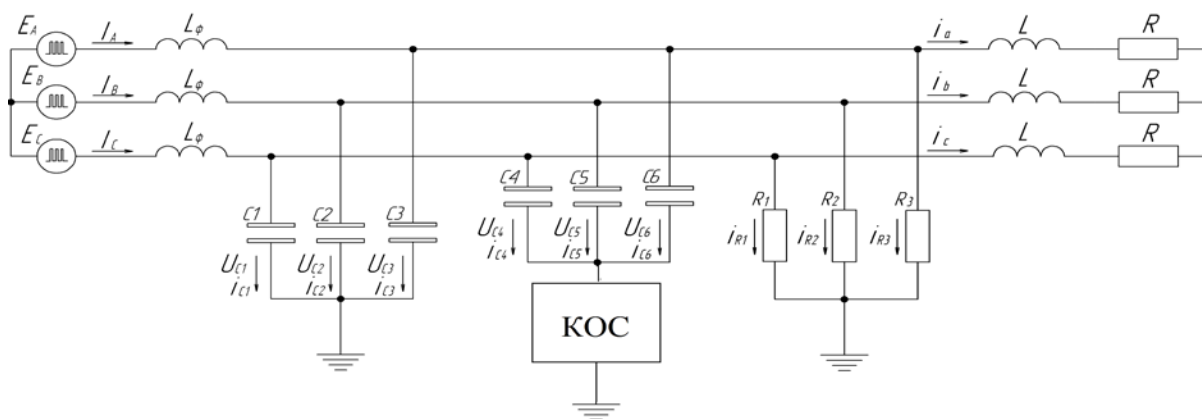


Рис. 2 – Математическая модель системы компенсации тока утечки

Оптимизация параметров КОС проводилась при различных значениях параметров модели, а именно: напряжение питающей сети 380 В; емкость сети изменялась от 0.01 мкФ/фазу до 1 мкФ/фазу; индуктивность фильтра от 0 до 8 мГн, без компенсации сети и при максимально возможной глубине компенсации, которая ограничивается устойчивостью КОС. Приняты следующие критерии качества:  $I_{ут} \rightarrow \min$ ;  $U_{\max \text{ Сос}} \rightarrow \min$ ;  $U_{\max \text{ Спр}} \rightarrow \min$ ;  $P_{\max \text{ вых}} \rightarrow \min$ , где  $I_{ут}$  – емкостной ток утечки на землю,  $U_{\max \text{ Сос}}$  – напряжение на конденсаторе обратной связи КОС,  $U_{\max \text{ Спр}}$  – напряжение на конденсаторах фильтра присоединения,  $P_{\max \text{ вых}}$  – выходная мощность КОС.

Для решения многокритериальной задачи оптимизации выбран метод ЛП поиска [2]. В соответствии с [2] минимальное количество испытаний системы можно оценить по формуле:  $N = 2^{(2+\sqrt{M})}$ , где  $N$  – количество испытаний;  $M$  – количество оптимизируемых параметров. При  $M = 5$ ,  $N$  равно 16. Так как (согласно [2], при увеличении  $N$  точность метода повышается, то целесообразно удвоить количество испытаний и принять  $N = 32$ .

В процессе оптимизации получены следующие параметры системы:  $L_{\phi} = 8$  мГн,  $C_{\text{спр}} = 0,5$  мкФ,  $C_{\text{ос}} = 0,5$  мкФ.

Значения критериев качества находятся в диапазонах:

$I_{ут} = 23 \dots 65$  мА,  $U_{\max} = 712 \dots 1005$  В;  $U_{\max \text{ Спр}} = 690 \dots 1031$  В;  $P_{\max \text{ вых}} = 70$  Вт.

Оптимизированные параметры использованы при разработке принципиальной схемы системы компенсации емкостной составляющей токов утечки на землю в комбинированной электрической сети.

1. Дубинин С. В. Особенности применения конвертора отрицательного сопротивления в электросетях с преобразователем частоты. - Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Электротехника и энергетика. Выпуск 98. - Донецк, ДонНТУ, 2005.

2. Соболев И.М., Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. - М.: Наука, 1981. - 101с.  
УДК 681.3

## ВСТРОЕННЫЕ СИСТЕМЫ VHDL/FPGA

**Матрунчик Ю.Н., Гутич И.И., Захаревич А. А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Целью проекта является создание образовательного демонстратора, который подчеркивает различные варианты платы Basys3 и для решения проблем с внутренним выделенным оборудованием FPGA Xilinx Artix 7 с использованием VHDL и IP-генератором программного обеспечения Vivado от Xilinx. Демонстратор использует плату Basys3, VGA-выход платы и USB-клавиатуру с USB разъемом платы. Цель состоит в том, чтобы создать фон с VGA и иметь две отдельные фигуры, так называемые спрайты, на экране которых можно перемещать отдельно с помощью клавиш клавиатуры USB. В проекте используется интерфейс PS2 между ПЛИС и микроконтроллером PIC, который преобразует вывод USB-клавиатуры в выход PS2. Он использует Multimedia Clock Manager (MMCM), чтобы построить устойчивую частоту 25 МГц. Для синхронизации VGA он использует Block RAM для хранения двух спрайтов и использует VGA для адресации VGA-экрана.

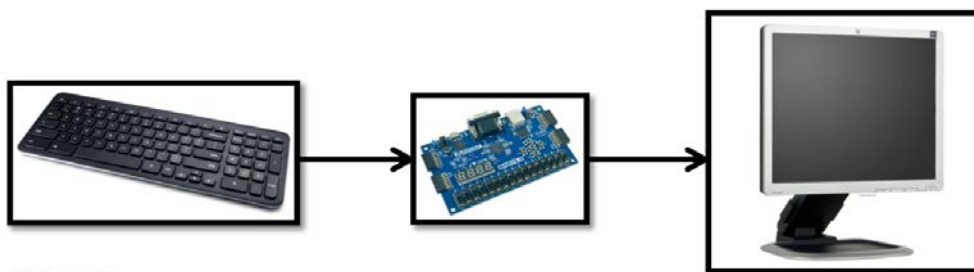


Рис. 1 - Внешняя блок-схема: VGA-экран, стандартная клавиатура USB и плата Basys3

VHDL расшифровывается, как Very high speed Integrated Circuit Hardware Description Language. HDL – это язык описания аппаратуры. Т.е. основная задача таких языков – описывать электрические цифровые цепи подобно графическим схемам. Традиционные языки программирования не пригодны для описания аппаратуры, т.к. они создавались для описания алгоритмов, а это совсем не то же самое, что цифровая цепь.

Языки программирования характеризуются синтаксисом и семантикой. Синтаксис определяет грамматические правила написания программ и использования конструкций языка, а семантика – значение этих конструкций. Когда создается новый язык, он создается для описания конкретных процессов, со своим синтаксисом и семантикой. Программы,

написанные на традиционных языках программирования, моделируют последовательный процесс. Так как результат выполнения отдельных операторов часто влияет на последующие операторы, то нельзя менять их местами. У такого подхода есть два плюса:

1. Так проще создавать алгоритм, потому что человек мыслит последовательно.

2. Последовательный алгоритм легче переложить на машинные инструкции, потому что команды выполняются последовательно на процессоре.

Такие языки не могут описывать цифровые схемы, потому что последние состоят из большого количества мелких компонентов, сигналы через которые распространяются параллельно. При этом на каждом компоненте сигналы просто испытывают некоторую задержку. Для описания таких систем требуется язык с другой семантикой. Операторы такого языка должны выполняться одновременно (или параллельно). Т.к. операторы выполняются параллельно, то результат их выполнения не зависит от их места в коде относительно друг друга. Программа на языке VHDL не может быть «выполнена» на компьютере, подобно программам на языке C. В отличие от них VHDL программа решает другие задачи:

1. Формально описать цифровую схему, т.е. описать ее интерфейс и функциональное назначение в форме понятной человеку (подобно рисунку)

2. На основе VHDL программы можно провести моделирование работы цифровой схемы на компьютере. Т.е. подать на входы схемы воздействия и последить за выходами.

3. На основе VHDL программы создается реальное цифровое устройство. Подбираются реальные компоненты и создаются связи между ними.

Фундаментальные свойства цифровой системы описываются понятиями: модульность, связность, одновременность и продолжительность. Модульность означает, что любая схема может быть разбита на некоторые модули со входами и выходами. При этом сама эта схема может быть представлена как один большой модуль. Связность означает, что эти модули связаны друг с другом посредством сигналов. Сигналы распространяются одновременно. При этом каждый элемент цифровой схема (или модуль) характеризуется временем распространения сигнала через этот элемент. Т.е. каждый элемент схемы вносит некоторую задержку в распространение сигнала. Семантика языка VHDL включает в себя эти понятия.

1. Digital Design Using Digilent FPGA Boards *Richard E. Haskell / Darrin M. Hanna* LBE Books – Third Edition, 2014
2. <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-4/contact-bounce/>

3. [https://eewiki.net/pages/viewpage.action?pageId=28278929&preview=28278929/28508225/ps2\\_keyboard.vhd#PS/2KeyboardInterface%28VHDL%29-CodeDownloads](https://eewiki.net/pages/viewpage.action?pageId=28278929&preview=28278929/28508225/ps2_keyboard.vhd#PS/2KeyboardInterface%28VHDL%29-CodeDownloads)

УДК 004.04

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ CATS

**Попова Ю.Б., Середа П.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

На кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ разработана и используется обучающая система CATS (англ., Care About The Students), расположенная в локальной сети университета по адресу [http://172.16.11.72:2020]. Поскольку система находится в постоянном расширении функциональных возможностей при одновременной работе нескольких участников проекта, то возникает проблема постоянной интеграции новых частей, а также их тестирование. Следует добавить, что при появлении новых функциональностей необходимо проводить регрессионное тестирование с целью проверки отсутствия повреждений старых частей при добавлении новых.

Для решения данной проблемы авторы применили практику непрерывной интеграции посредством инструмента Jenkins. Схема последовательности проведения автоматизации тестирования LMS (англ., Learning Management System) CATS приведена на рисунке 1. Здесь на этапе 1 Пользователь обращается к Jenkins с целью собрать LMS. На этапе 2 происходит скачивание исходного кода LMS из удалённого репозитория по сети Интернет.

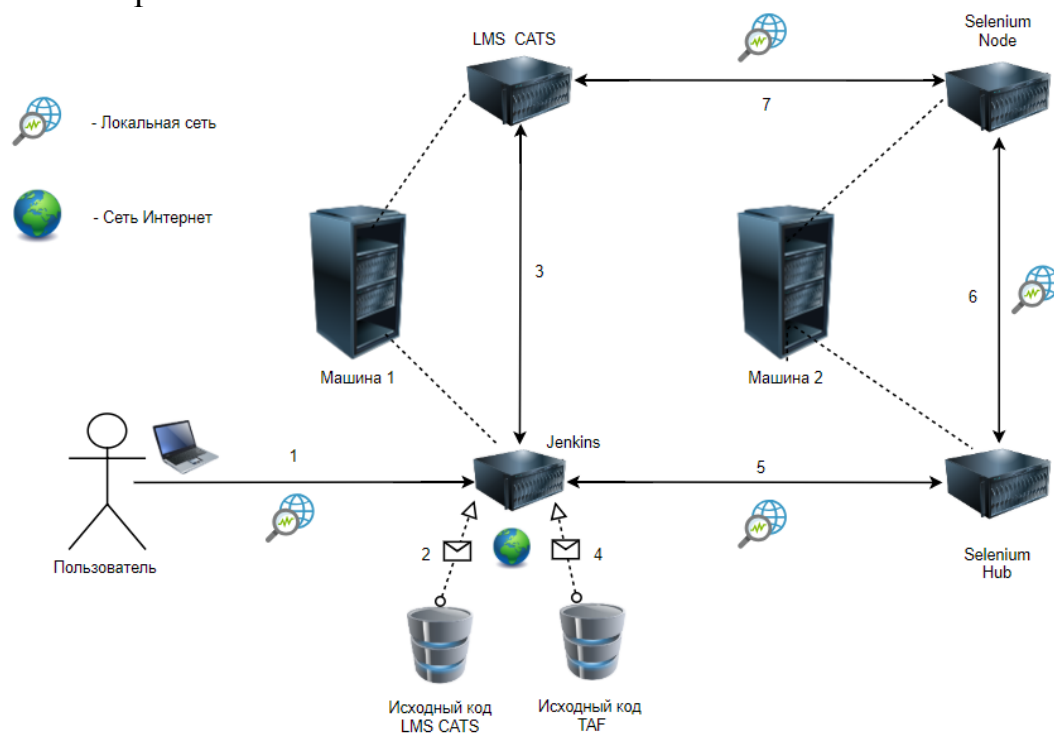


Рис.1 – Схема последовательности проведения автоматизации тестирования LMS CATS

На этапе 3 происходит сборка и развертывание LMS на сервере в университете. Следует добавить, что обучающая система и сервер Jenkins физически расположены на одном сервере. На этапе 4 происходит скачивание исходного кода тестов (TAF, англ. Tests Automation Framework) для проверки новой версии LMS. Для тестирования функциональностей обучающей системы CATS через визуальный интерфейс пользователя был выбран пакет Selenium и его инструменты Selenium Web Driver и Selenium Server. Чтобы не нагружать тестами сервер, на котором функционирует LMS CATS, инструменты Selenium физически расположены на другом компьютере (Машина 2 на рисунке 1). Selenium Server должен быть развёрнут в двух экземплярах: Selenium Hub и Selenium Node. Selenium Hub берёт на себя обязательства приёма запросов пользователя и поиск необходимой Node для запуска браузера (этап 5). Если под запрашиваемые параметры ничего не будет найдено, пользователь получит сообщение об ошибке. На этапе 6 происходит вызов исполняющей тесты Selenium Node посредством переданных параметров для запуска. Selenium Node также требует наличия драйвера браузера (например, у браузера Chrome это будет файл chromedriver.exe) для взаимодействия непосредственно с самим браузером. Далее на этапе 7 происходит запуск тестов для LMS CATS посредством обращения к самой тестируемой системе в выбранном браузере.

Также следует отметить, что при работе с инструментом непрерывной интеграции Jenkins пользователь указывает желаемые параметры сборки LMS и ее тестирования, а также запускает задачу, сконфигурированную администратором сервера Jenkins. Для выполнения этой задачи необходимо указать такие параметры, как адрес в сети Selenium Server, который развёрнут как Hub (он принимает запросы на запуск браузера на удалённом компьютере), начальная страница, с которой будет открыт браузер на удалённой машине (Selenium Node), тип запрашиваемого для запуска браузера (например, Chrome), пользовательские параметры, такие как логин и пароль к системе LMS CATS, а также название необходимого набора тестов для запуска (например, приемочные тесты, позитивные, негативные нагрузочные тесты).

**Заключение.** Описанная выше организация процесса автоматизированного тестирования позволяет избегать локального хранения исходного кода разрабатываемого инструмента автоматизации тестирования, всегда работать с его последней копией, иметь возможность запуска тестов по расписанию или же сразу после того, как завершена сборка системы LMS CATS, проводить тестирование на разных операционных системах или используя различные браузеры. Работа пользователя организована максимально удобным и понятным путём,

сведенным к запуску задач на Jenkins и анализу результатов тестирования, которые формируются автоматически в табличном и графическом вариантах.

УДК 681.3

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИНАЛА GSM ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСОМ**

**Матрунчик Ю.Н., Шпакевич Ю.Г.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрен способ удаленного управления насосом с помощью терминала GSM RTU.

RTU (Remote Terminal Unit) – это устройство на базе микроконтроллера, предназначенное для удаленного управления оборудованием. Терминалы GSM RTU обеспечивают беспроводное взаимодействие человека или систем управления и удаленного оборудования через сеть сотовой связи GSM. Благодаря простоте монтажа и эксплуатации, надежности, возможности беспроводного обмена данными по протоколу GPRS или с использованием простых SMS-команд, контроллеры и терминалы GSM находят применение в различных удаленных задачах.

Данный способ управления рассмотрим на примере комплекса водоснабжения, состоящего из накопительного резервуара для чистой воды и скважин, соединенных с резервуаром системой трубопроводов. Скважина оборудована погружным насосом и пультом управления. Пульт управления включает электромагнитный пускатель и кнопки для пуска и остановки насоса. Вода из скважины подается в накопительный резервуар по трубопроводу. Пуск насоса производится вручную на основании визуального контроля уровня воды в резервуаре. Удаление скважины от резервуара на расстояние более 1км обуславливает потребность в дистанционном управлении насосом. Особенностью комплекса является подвод электрического питания к скважине от стороннего источника, также удаленного от места расположения накопительного резервуара. В силу данной особенности не представляется возможным осуществлять управление скважинным насосом по линии напряжения питания, прокладка же проводов управления требует существенных временных, материальных и трудовых затрат. В связи с этим предлагается использовать беспроводные системы связи для управления удаленным насосом, в частности, GSM. Для применения GSM необходимо удостовериться в том, что районы расположения скважин, резервуара и точек контроля имеют устойчивое покрытие сетью GSM.

При устойчивости сигнала GSM в зоне комплекса водоснабжения могут быть реализованы: пуск и остановка скважинных насосов производятся дистанционно, через сеть GSM, с мобильного телефона,

контроллера главного пульта управления или ПК, также возможно применение контроллера, который будет производить контроль уровня в резервуаре с помощью соответствующих датчиков и посылать команды для включения или выключения насосов через сеть GSM.

В пульт управления скважинным насосом может быть внедрен контроллер для дистанционного управления GSM RTU, при этом необходимо предусмотреть следующее: защиту насоса от «сухого хода» и контроль тепловой перегрузки электромагнитного пускателя.

Главным органом пульта управления насосом является контроллер GSM, который предназначен для передачи информации о состоянии и подачи дискретных команд на удаленное электрическое оборудование в виде простых SMS-сообщений. Контроллер может быть запрограммирован для подачи SMS-сообщений с извещением об аварии и о восстановлении нормальной работы по состоянию входов. Переключение выходного реле производится как по SMS-сообщению, принимаемому извне, так и по состоянию входов. Абонентом контроллера может быть, как сотовый телефон, так и персональный компьютер с модемом GSM [1].

Для подключения к сети GSM перед началом работы в контроллер необходимо установить SIM-карту. Настройка контроллера производится с помощью программы конфигурирования через порт RS-232.

Схема автоматизированного управления скважинными насосами через сеть GSM в общем виде представлена на рисунке 1.



Рисунок 1- Схема автоматизированного управления

С помощью SMS-команд оператор может запрашивать отчеты о состоянии контроллеров GSM и получать информацию о состоянии скважинных насосов, об уровне воды в накопительном резервуаре и др. Также оператор получает тревожные SMS-сообщения, посылаемые контроллерами в случае тревоги.

1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM – М., 2005. – 133 с.



УДК 631.171:65.011.56

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.**

Белорусский аграрный технический университет  
Минск, Беларусь

Первые шаги в области автоматизации сельскохозяйственного производства относятся к началу второй половины прошлого века и были основаны на заимствованном из промышленности принципе «жесткой логики». Такие системы автоматизации поточно-технологических линий, например, в свиноводстве, были выполнены на релейно-контактной базе и не удовлетворяли требованиям реального производства.

Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства не в малой степени связано с использованием «информационного ресурса», компьютеризацией и роботизацией технологических процессов и установок[1,2]. Для их реализации идёт внедрение новых информационных технологий управления. Здесь еще нет устоявшейся терминологии, поэтому можно встретить такие определения, как точное, высокотехнологичное или координатное управление, точные технологии в животноводстве, в молочном скотоводстве и т.п. Но при этом суть нововведения сводится к интегрированной информационной системе управления сельскохозяйственными технологиями с целью повышения их эффективности, улучшения количественных и качественных показателей производимой сельскохозяйственной продукции, с учетом индивидуальных особенностей живых организмов и влияния на них параметров окружающей среды, а также минимизацией воздействий этих технологий на окружающую среду. Например, переход от группового кормления и доения коров к индивидуальному, приводит к необходимости увеличения в сотни и тысячи раз объемов получаемой и перерабатываемой информации. Причем постоянное снижение стоимости программно-технических средств построения систем управления делает эффективным расширение сфер их применения. Благодаря этому и сельскохозяйственное производство, несмотря на его, относительно низкую удельную стоимость продукции, получает возможность широкомасштабных применений достижений научно-технического прогресса.

Внедрение новых информационных технологий управления осуществляется двумя направлениями:

- разработка принципиально новых технологий, оборудования и предприятий с многоуровневыми компьютеризированными системами управления;



- модернизация систем управления действующих установок, технологических процессов и предприятий.

В качестве яркого примера первого направления можно привести разработку и внедрение роботизированных доильных установок. Но такие полностью безлюдные технологии являются дорогостоящими и находят применение в развитых странах, где существует высокий уровень оплаты труда.

Необходимо найти оптимальное соотношение между задачами двух направлений, понимая, что развитие интеллектоемкого направления разработки систем автоматизации производства является реальным средством снижения энергоемкости ВВП Беларуси, достижения цели импортозамещения и снижения интеллектуальной зависимости.

Возросшие вычислительные возможности современных компьютеризированных контроллеров, позволяют осуществлять управление сложными биотехническими объектами без участия человека и тем самым кардинальным образом изменить подходы к проектированию технологического оборудования. Механизация производства была связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. При типовом оборудовании на свиноводческих комплексах, требующих присутствия оператора, принято 2-разовое кормление. Внедрение современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, может дать трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу жидкого корма по сравнению с 2-разовым кормлением (рис. ) [3].

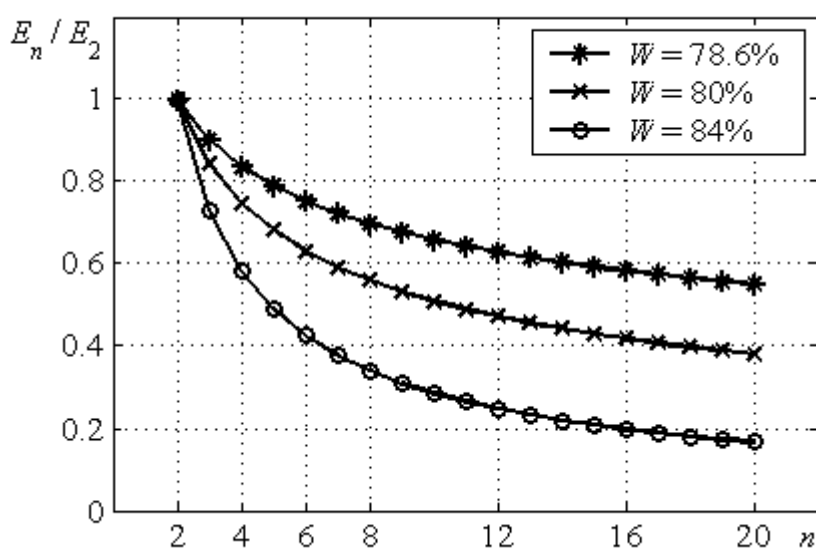


Рис.1. Сокращение энергозатрат на раздачу жидкого корма при увеличении числа кормлений в сутки  $n$ :

Новейшее поколение кормораздаточного оборудования, реализующего технологию многоразового кормления по поедаемости, внедрена в цехе откорма СПК «Восходящая Заря» Брестской области. Использование средств точного дозирования и частотно-регулируемого привода кормового насоса, позволяет полностью, без остатка, раздавать жидкий корм и экономить до 30..40% электроэнергии. Многократное увеличение ежесуточного числа кормлений позволило существенно уменьшить материалоемкость и производительность оборудования, повысить продуктивность животных. Приготовление и раздача корма осуществляется в автоматическом режиме, без необходимого присутствия оператора. Использование удаленного контроля и управления позволяет оперативно реагировать и устранять возможные отказы оборудования.

Реализация потенциальных возможностей развития и освоения рынка модернизации систем управления технологических и производственных процессов действующих предприятий требует разработки соответствующей методологии. Обычно сельскохозяйственные производители имеют весьма ограниченный бюджет и в тоже время задачи управления достаточно сложны в реализации. У заказчика не всегда имеется описание, и даже понимание алгоритма функционирования биотехнического объекта. Неподготовленность сельскохозяйственного производства к компьютеризации, нестабильность сырьевых и энергетических потоков требуют нетривиальных алгоритмов управления, дополнительных функций диагностики технологического оборудования и т.п. Исходя, из этих предпосылок сформулированы, следующие принципы, позволяющие обеспечить успешность внедрения информационно-управляющих систем в сельскохозяйственное производство Беларуси и других стран СНГ:

- учет биотехнического характера сельскохозяйственного производства;

- максимальное использование программно-технических средств общепромышленного применения;

- ориентация на концепцию компьютерно-интегрированного производства;

- развитие научно-учебной базы агроинженерных университетов.

1. Мусин, А.М. Технологический эффект автоматизации биотехнических систем производства [текст]/ А.М. Мусин //Автоматизация сельскохозяйственного производства. Сборник докладов Международной научно-технической конференции (29-30 сентября 2004 г., г. Углич). Часть 2.– с..66-76.

2. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней/ Автореферат дисс. на соиск. степ. д.т.н., Москва, ФГОУ ВПО МГАУ, 2008.- 36 с.

3. Гируцкий, И.И. Энергосберегающий потенциал интеллектуальной раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах

## КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ КАБИН

Гируцкий И.И., Сеньков А.Г.

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Производство кабин тракторов с использованием устройств защиты при опрокидывании (ROPS), отвечающих стандартам безопасности [1] на сегодняшний день является обязательным условием для их сертификации на допуск к работе [1].

Для проведения испытаний в ГУ «Белорусская МИС» разработан специальный стенд [2]. Для осуществления горизонтального и вертикального нагружения используется гидравлическое оборудование с компьютеризированным управлением. Регистрация результатов измерений и управление работой гидростанции осуществляется контроллером общепромышленного применения фирмы V&R типа CPU 1301, соединенного с компьютером по интерфейсу VNC. Для данного контроллера разработана микропроцессорная программа управления, осуществляющая сбор данных и автоматизированное управление оборудованием стенда. Данные с контроллера передаются на персональный компьютер с установленной операционной системой Windows XP/Windows 7/8/10.



Рис.1. Главное окно визуализации управления стендом.

1. ГОСТ Р 5700 2008. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные колесные. Устройства защиты при опрокидывании. Метод статических испытаний и условия приемки.
2. ПРОТОКОЛ № 003 Д 9/3-2018ИЦ от 9 февраля 2018 года сертификационных испытаний устройства защиты при опрокидывании

ROPS кабины типа SDFR-6700010 трактора Agrolux 4.80/ ГУ «Белорусская МИС», 2018.- 69 с.

УДК: 62-501.72:556

## GPS – ТРЕКЕР - ЛОГГЕР ДЛЯ СЕНСОРОВ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Моисеев Д.Н., Свиридёнков А.И.

Гродненский филиал «Научно - исследовательский центр проблем ресурсосбережения» Государственного научного учреждения «Институт тепло - и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»

Гродно, Республика Беларусь

В связи с растущей проблемой загрязнения окружающей среды вредными выбросами обнаружение и мониторинг концентрации (картирование) загрязняющих веществ является очень важной задачей. Для решения данной задачи постоянно совершенствуются уже имеющиеся и разрабатываются новые аппаратные средства экологического мониторинга. Описываемое в данной работе устройство-прототип, управляемое микроконтроллером, предназначено для отображения результатов измерения концентрации вредных веществ датчиками на дисплее в динамическом режиме и последующей фиксации их на flash-карте с привязкой по GPS-координате для каждого выполненного измерения.

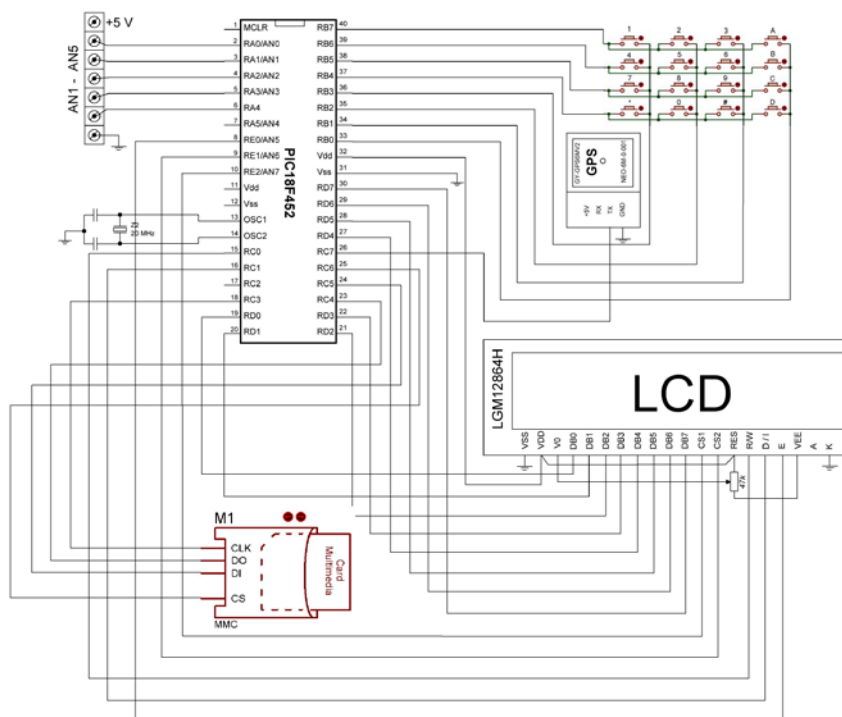


Рис. 1. Принципиальная схема устройства GPS – трекера – логгера, под управлением MCU PIC 18F452

В результате, помимо непосредственного отображения прибором концентраций загрязняющих веществ, создаётся массив данных, позволяющий во времени и пространстве картировать результаты

измерений. Одновременно к логгеру напрямую может быть подключено до 5 разных аналоговых датчиков загрязняющих веществ (AN1-AN5, рис. 1). Кроме непосредственного сопряжения пяти датчиков с аналоговыми входами микроконтроллера, к устройству может быть подключено любое необходимое количество цифровых датчиков по двухпроводной I2C – шине данных, как, например, показано на рис.2.

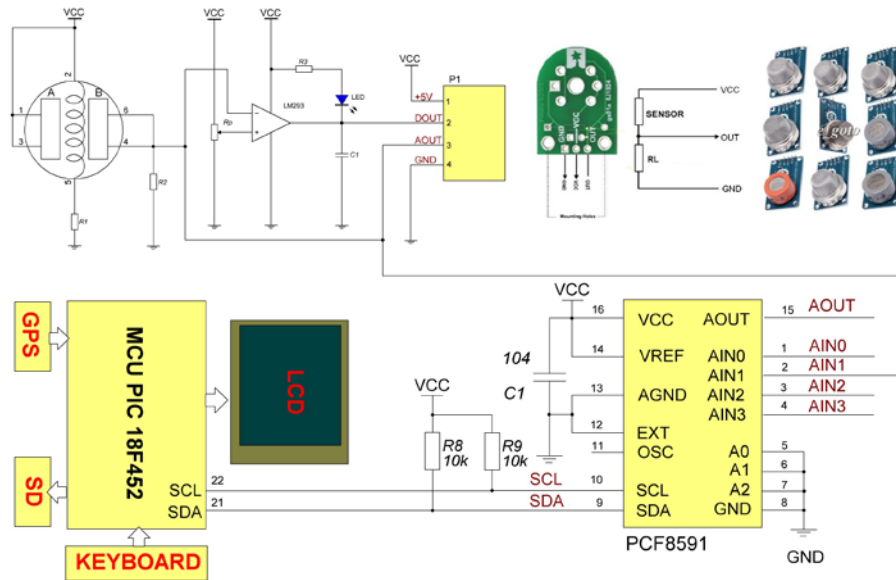
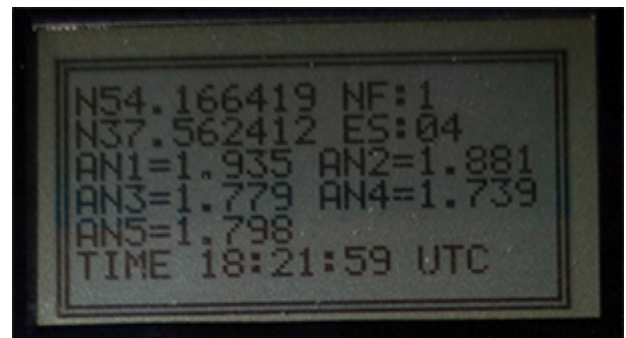


Рис.2. Подключение хеморезистивных (MOS) датчиков газа на основе диоксида олова к GPS – трекеру – логгеру по двухпроводной шине данных типа I2C .



а

б

Рис.3. Внешний вид прибора (а) и отображение результатов измерения (б) на графическом LCD – дисплее регистратора.

Для выбора режима работы логгера имеется клавиатура. В качестве GPS – модуля применён приёмник NEO-6M [1], передающий

микроконтроллеру координаты, мировое время, значение высоты над уровнем моря, скорость передвижения, количество видимых спутников и качество связи с ними пакетом данных в формате NMEA [2] – протокола, по RS232 интерфейсу. Полученные данные с модуля GPS + показания измерений датчиков фиксируются на SD – карте и отображаются графическим LCD - дисплеем устройства, как показано на рис. 3 (а – б).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	\$										
2	54,16665	54,166648	37,562831	0,22	199,5	0	0	0	0	0	0
3	37,56283	54,166656	37,562816	0,47	199,2	0	0	0	0	0	0
4	0,22	54,166656	37,562786	0,64	197,6	0	0	0	0	0	0
5	199,5	54,166667	37,562759	0,37	196,2	0	0	0	0	0	0
6	0	54,166679	37,562728	0,7	194,1	0	0	0	0	0	0
7	0	54,166679	37,562709	0,33	192,7	0	0	0	0	0	0
8	0	54,166687	37,56269	0,99	191,4	0	0	0	0	0	0
9	0	54,166706	37,562664	2,84	190,3	0	0	0	0	0	0
10	0	54,166706	37,56266	0,65	191,9	0	0	0	0	0	0
11	17:12:28	54,166679	37,562606	1,33	186,3	0	0	0	0	0	0
12	\$	54,166687	37,562602	4,13	185,4	0	0	0	0	0	0
13	54,16666	54,166706	37,562606	4,12	185,6	0	0	0	0	0	0
14	37,56282	54,166717	37,562606	6,9	184,9	0	0	0	0	0	0
15	0,47	54,166751	37,562595	3,09	184,2	0	0	0	0	0	0
16	199,2	54,166755	37,562614	2,5	184,3	0	0	0	0	0	0
17	0	54,16677	37,562644	3,33	184,6	0	0	0	0	0	0
18	0	54,166782	37,562641	2,85	183,1	0	0	0	0	0	0
19	0	54,166812	37,562614	2,66	181,9	0	0	0	0	0	0

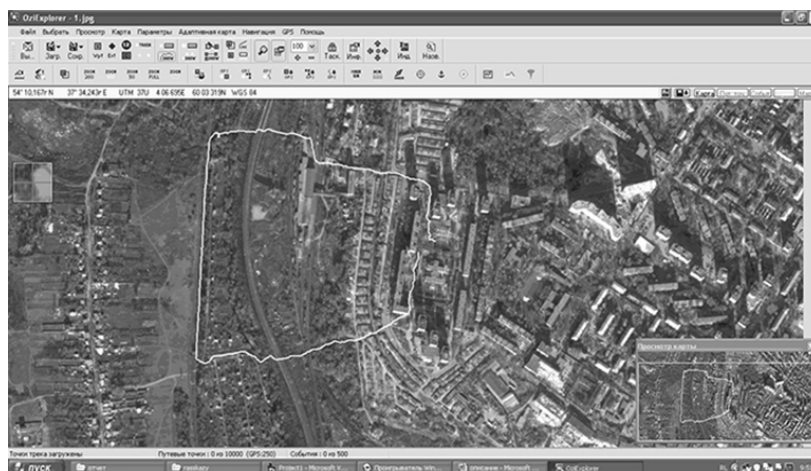


Рис. 4. Внешний вид программы – экстрактора данных с SD-носителя и построенный по этим данным трек.

По полученным данным, с помощью специально разработанного программного обеспечения может быть построен трек на карте с соответствующими показаниями распределения загрязняющих веществ, рис.4. Таким образом, созданное устройство вполне может быть использовано для картирования результатов экологического мониторинга среды в полевых условиях экспедиционными группами исследователей экологов на природоохранных или промышленных территориях.



1. URL: <http://asemlab.net/viewtopic.php?f=16&t=75&sid=70026bf67d67628299cc2aa6d5a2f3aa>

2. URL: [https://drive.google.com/file/d/106U8KC\\_75U8\\_RVonwbZRyOF2Lgv088kD/view](https://drive.google.com/file/d/106U8KC_75U8_RVonwbZRyOF2Lgv088kD/view)

УДК 62-83

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА «УРАЛ-20»

**Паноцкая Е.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Проходческий комбайн «УРАЛ-20» имеет гидравлический привод гусеничного хода, который обеспечивает подачу комбайна на забой, перемещение его во время холостого перегона, а также поворот и разворот комбайна. Такая система не обеспечивает наличие контролируемой подачи, которая приводит к перегрузке рабочего органа и редукторов во время работы, а также не позволяет увеличить скорость комбайна при перегонах и отгонах. Вследствие этого возникает необходимость в разработке системы управления автоматизированного электропривода с использованием асинхронного двигателя гусеничного хода, которая обеспечит наличие контролируемой подачи и регулирование скорости во второй зоне, что повысит техническую производительность комбайна. Актуальной задачей является усовершенствование системы управления для улучшения динамических свойств системы и энергетических показателей.

Надежную реализацию силы тяги на всем диапазоне регулирования скорости может обеспечить электропривод с прямым векторным управлением. Наиболее простым вариантом векторного управления является вариант с ориентированием оси  $x$  вдоль вектора потокосцепления ротора  $\Psi_2$ . В этом случае справедливы следующие соотношения [1]:  
 $\psi_{2x} = \psi_2, \psi_{2y} = 0.$

Дифференциальные уравнения эквивалентного АД в этом случае:

$$\begin{aligned} u_{1x} &= i_{1x} R_1 + L_{1\sigma} \frac{di_{1x}}{dt} - \omega_1 \sigma L_1 i_{1y}, \\ u_{1y} &= i_{1y} R_1 + \sigma L_1 \frac{di_{1y}}{dt} - \omega_1 (\psi_{2x} + L_{1\sigma} i_{1x}), \\ \psi_{2x} + T_2 \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= L_{12} i_{1x}, \\ M &= \frac{2}{3} p_n K_r i_{1y} \psi_{2x} = K_M \psi_{2x} i_{1y}, \\ \Delta \omega_{\text{эл}} &= \frac{1}{T} \frac{i_{1y}}{i_{1x}}. \end{aligned} \tag{1}$$

где  $u_{1x}, u_{1y}, i_{1x}, i_{1y}$  – проекции вектора напряжения и тока статора двигателя на оси  $x$  и  $y$ ;  $\Psi_{2x}$  – модуль результирующего вектора потокосцепления ротора;  $R_1, R_2'$  – активные сопротивления фаз обмотки статора и ротора;  $L_{12}$  – наибольшее значение взаимной индуктивности для трехфазной обмотки;  $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$  – индуктивности рассеяния статора и ротора;  $\sigma$  – коэффициент рассеяния;  $T_2$  – электромагнитная постоянная времени цепи ротора;  $K_r$  – коэффициент магнитной связи ротора.

Данная система уравнений (1) позволяет синтезировать регуляторы тока, потокосцепления и скорости, на основании которых была построена имитационная модель с целью проверки результатов проектирования, которая представлена на рисунке 1

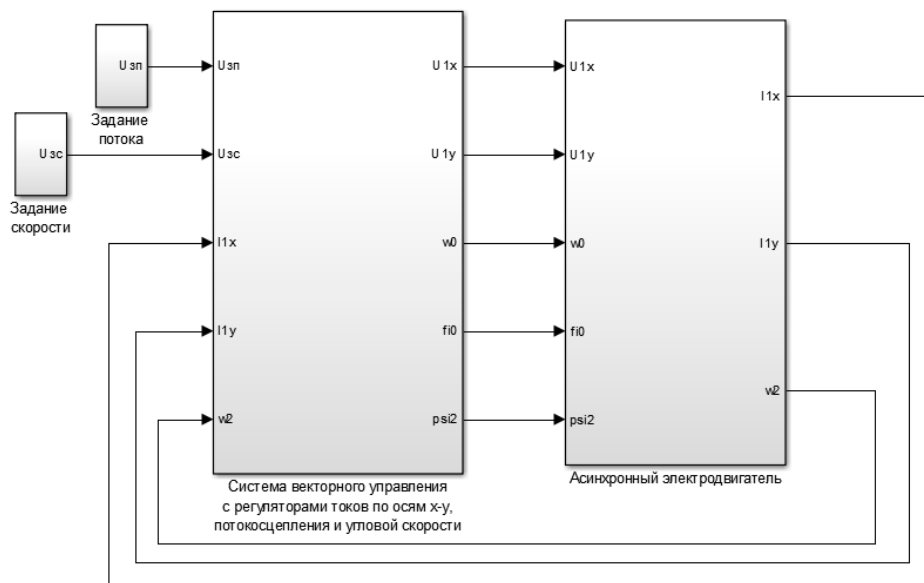


Рис.1 – Имитационная модель тягового электропривода проходческого комбайна «УРАЛ-20»

В системе управления происходит формирование сигналов управления  $U_{x,z}$  и  $U_{y,z}$ . Величины  $\psi_{2x,z}, i_{1x,z}, i_{1y,z}$  поддерживаются с помощью регулятора потокосцепления РП и регуляторов тока РТ<sub>1</sub> и РТ<sub>2</sub>, которые входят в блоки канала потока и канала скорости, реальные значения потока  $\psi_{2x} = \psi_2$  и токов  $i_{1x}, i_{1y}$  вычисляются. Трехфазные токи статора  $i_{1a}, i_{1b}, i_{1c}$  и трехфазные напряжения  $u_{1a}, u_{1b}, u_{1c}$  измеряют датчиками тока ДТ и датчиками напряжения ДН.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования.

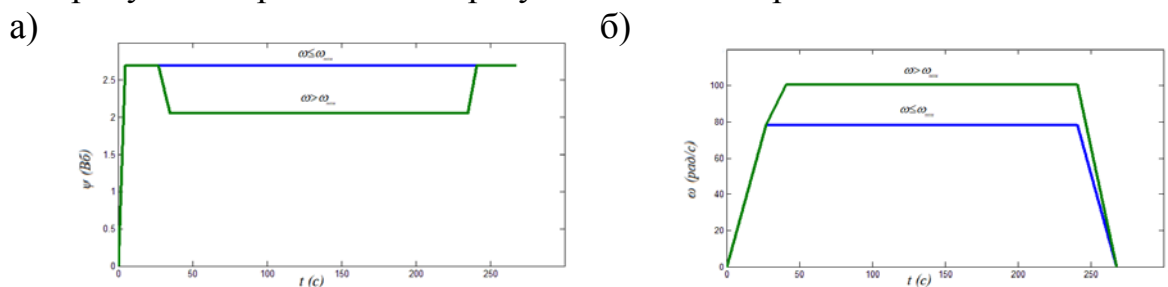


Рис. 2 – Результаты моделирования: а) зависимость  $\psi_{2x}(t)$ ; б) зависимость  $\omega(t)$



Полученные динамические характеристики удовлетворяют требуемым условиям.

1. Векторные системы управления электроприводами: учеб.пособие Б.И. Фираго, Д.С, Васильев. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 159 с. УДК 621.314

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЫТОВЫХ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ**

**Нитиевский С.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Бытовые деревообрабатывающие станки в настоящее время получили весьма широкое распространение и являются основным типом оборудования для работы с древесиной. В электроприводе деревообрабатывающих станков наиболее распространены однофазные асинхронные электродвигатели с конденсаторным пуском. Достоинством применения этих двигателей по сравнению с используемыми в ручном электроинструменте универсальными коллекторными двигателями является отсутствие щеточно-коллекторного узла, лучшие массогабаритные показатели, а также более высокий коэффициент полезного действия.

В станках, где не требуется регулирование скорости (круглопильные, шлифовальные, строгальные) зачастую используется либо прямой привод, либо привод с постоянным передаточным числом – редуктор, ременные передачи с клиновыми, поликлиновыми и зубчатыми ремнями [1].

Однако, существует определенная группа деревообрабатывающих машин, где необходимо регулирование частоты вращения электродвигателя. Наиболее используемыми машинами такого типа являются токарные, фрезерные и, реже, сверлильные станки. В таких станках привод обычно осуществляется через ременную передачу, при этом изменение передаточного числа осуществляется путем перестановки ремня на соответствующую пару шкивов. Также применяются вариаторы, которые позволяют плавно изменять передаточное число, однако на большинстве станков количество позиций вариатора строго определено. Применение вариатора позволяет получить относительно большой диапазон регулирования скорости, чего вполне достаточно для обеспечения большинства базовых операций деревообработки. Тем не менее, чисто механическое регулирование скорости иногда не позволяет получить удовлетворительные характеристики, вследствие чего в некоторых случаях может возникнуть необходимость применения регулируемых электроприводов. Также необходимо отметить, что применение электрического регулирования позволяет использовать

систему автоматического управления (САУ), обеспечивающую управление двигателем по определенному закону.

В настоящее время наиболее перспективным типом двигателей для использования в бытовых станках можно назвать двигатели с возбуждением от постоянных магнитов [2]. Электроприводы на основе таких двигателей имеют в своем составе, помимо самого двигателя, также полупроводниковый преобразователь энергии и датчик положения ротора. Они подразделяются на систему электропривода «синхронный двигатель с постоянными магнитами» (СДПМ), где управление положением результирующего вектора намагничивающей силы якоря  $F_{\text{я}}$  относительно положения ротора осуществляется непрерывно, и систему «бесконтактный двигатель постоянного тока» (БДПТ), где управление положением  $F_{\text{я}}$  осуществляется дискретно [3].

В деревообработке наиболее выгодным является применение системы БДПТ, поскольку для управления электрическими переменными в ней используется скалярное управление, что дает возможность применения простой САУ, тем самым снижая стоимость электропривода.

В настоящее время возбуждение таких двигателей осуществляется магнитами на основе сплавов неодим – железо – бор (Nd-Fe-B) и ферритов. При использовании высокоэнергетических магнитов Nd-Fe-B, позволяющих обеспечить в зазоре БДПТ значения магнитной индукции 0,–0,8-0,9 Тл, сопоставимых с асинхронным двигателем, БДПТ имеет более высокий номинальный момент, что объясняется отсутствием потерь мощности в роторе БДПТ. Ферритовые магниты могут обеспечить 0,3-0,4 Тл, что в 2 раза меньше, чем у АД, однако, их достоинством является низкая стоимость. В данном случае выбор типа магнитов должен осуществляться исходя из требований, предъявляемых к станку, а также экономической целесообразности.

Отметим преимущества применения системы БДПТ по сравнению с системами на основе асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока. По сравнению с АД, БДПТ имеет:

- большой допустимый момент во всем диапазоне регулирования скорости;
- возможность применения изоляции классом ниже, чем у АД.

Преимуществом БДПТ по сравнению с системами постоянного тока является отсутствие щеточно-коллекторного узла, что исключает искрение, повышает КПД и избавляет от необходимости обслуживания щеток.

1. Дереворежущие станки. Изд. 2-е, переработ., Манжос Ф.М. «Лесная промышленность», 1974 г., 456 с;

2. Лебедев Н.И., Гандшу В.М., Явдошак Я.И. Вентильные электрические машины. СПб.: Наука, 1996. – 352 с;

3. Овчинников И.Е. Бесконтактные двигатели постоянного тока / И.Е. Овчинников, Н.И. Лебедев. – Ленинград: Наука, 1979 г.

УДК 62.83.52

## **СИНТЕЗ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СДПМ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Цыбульский П.С.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Применение синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) в современном электроприводе является инновацией, которая призвана повысить эксплуатационные показатели, в том числе энергоэффективность, автоматизированного электропривода [1]. СДПМ — это наиболее перспективные электрические машины в диапазоне малых и средних мощностей. Двигатели такого типа конструктивно просты и надёжны. Они не требуют затрат на возбуждение и обладают большой перегрузочной способностью и высоким быстродействием в переходных процессах.

С расширением области применения синхронных электроприводов возрастает актуальность их математического моделирования. Одной из актуальных остаётся задача синтеза регуляторов простой структуры, для улучшения качества переходных процессов системы управления положением с СДПМ.

В данной работе для системы векторного управления СДПМ разработана имитационная модель управления положением с ПИ-регуляторами токов и положения и П-регулятором скорости. Применение П-регулятора скорости позволяет снизить время регулирования контура скорости, а, следовательно, повысить быстродействие системы.

Для сравнения выполнены:

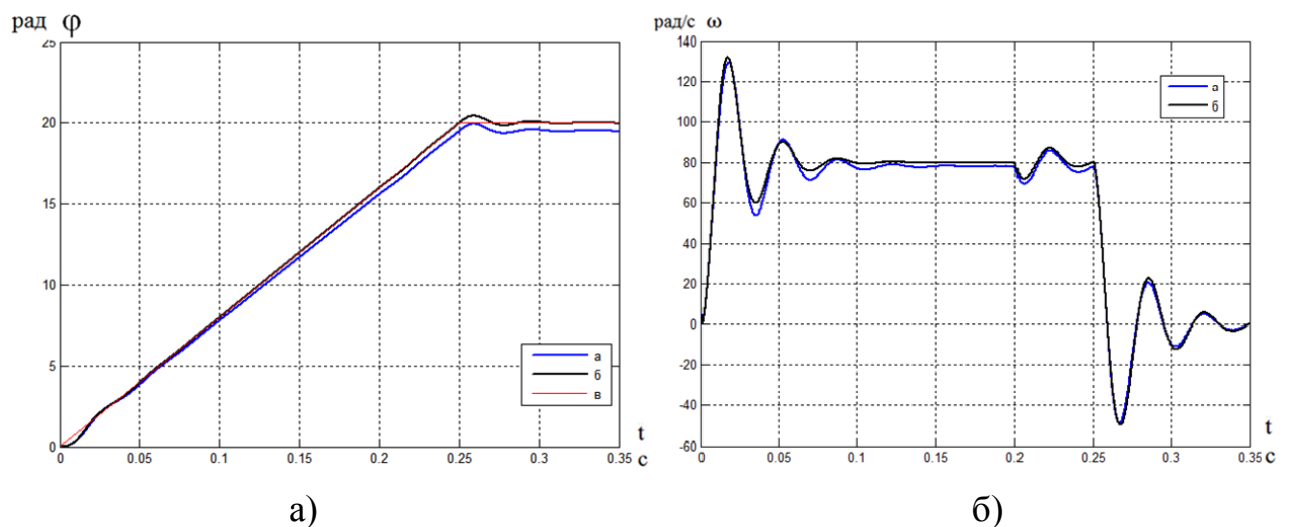
- 1) Расчет передаточной функции ПИ-регуляторов тока в непрерывной форме методом подчинённого регулирования;
- 2) Расчет передаточной функции ПИ-регуляторов тока в дискретной форме методом модального управления на плоскости комплексной переменной  $z$  [2].

Исследование статических и динамических свойств САУ произведено путем имитационного моделирования на основании математической модели. Имитационное моделирование выполнено для СДПМ малой мощности (53 Вт), применяемых в качестве сервопривода в системах

управления скоростью и положением (в промышленных роботах и манипуляторах).

Имитационная модель строится с использованием библиотек Simulink и Sim Power Systems пакета MATLAB с учетом широтно-импульсной модуляции частотой 8 кГц в автономном инверторе напряжения. Моделирование выполнено для номинального момента двигателя 0,13 Н·м. Момент нагрузки подаётся на механический вход СДПМ в момент времени 0,2 с.

На рисунке 1 показаны результаты моделирования для регуляторов с параметрами, рассчитанными для непрерывной системы (на графиках кривые *а*) и с параметрами, рассчитанными с учётом дискретности (на графиках кривые *б*). Заданный угол поворота  $\varphi_{\text{зад}}$  на рисунке 1 обозначено *в*.



а) - зависимости  $\varphi(t)$  и  $\varphi_{\text{зад}}(t)$ , б) - зависимость  $\omega(t)$

Рис. 1 - Графики угла поворота и угловой скорости при отработке положения

По результатам моделирования можно сделать вывод, что обе системы обладают хорошими динамическими свойствами. Электромагнитный момент во время переходных процессов не превышает допустимый, тем не менее, учет дискретности при синтезе регулятора тока приводит к значительному уменьшению пульсаций тока.

По результатам сравнительного анализа можно сделать вывод, что в системах векторного управления положением СДПМ динамические показатели качества могут быть улучшены, если синтез регуляторов тока выполнить методом модального управления с учётом дискретности. Регуляторы скорости и положения могут быть синтезированы методом, предназначенным для непрерывных систем, т.к. время регулирования в контурах управления положением и скоростью значительно превосходит интервал дискретности.

1. Нго Фьонг Ле. Расчет индуктивностей синхронного двигателя с инкорпорированными постоянными магнитами / Фьонг Ле Нго,

Г.И.Гульков // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2017. №1. – С. 41 – 53.

2. Опейко О.Ф. Синтез регулятора тока системы векторного управления асинхронным электродвигателем / Вестник КрНУ имени Михайла Остроградського. Выпуск 1/2014. – С. 33-49.

УДК 62-83

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

**Жарко Д.Н.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Приоритетным направлением развития электроприводов является развитие тягового электропривода транспортных средств: электробусы, электромобили, трактора и т.д. К примерам колесных тракторов с тяговым электроприводом можно отнести трактор «Беларус 3023», который разработан на ОАО «МТЗ» и «Кировец-455», разработанный на ОАО «Кировский завод» (РФ). Привод таких тракторов имеет электромеханическую трансмиссию. В электромеханической трансмиссии вместо сцепления и коробки передач устанавливается генератор и тяговый двигатель. Таким образом, основными элементами электрической трансмиссии является дизельный двигатель, генератор, блок силовой электроники, который включает в себя неуправляемый трехфазный выпрямитель и автономный инвертор напряжения, и тяговый асинхронный двигатель [1]. Для системы управления тяговым двигателем применяется векторное управление, которое позволяет получить высокие динамические характеристики и реализовать требования, предъявляемые к системам тягового электропривода [2].

Основным требованием к системе управления тяговым электроприводом трактора является стабилизация мощности, потребляемой от дизельного двигателя, основанная на использовании обратной связи по мощности [3].

Система стабилизации мощности, построенная на основании векторного управления, состоит из 2 каналов регулирования: канала потока и канал мощности. В канале потока имеется два контура: внутренний контур управления током намагничивания и внешний контур управления потокосцеплением. В канале мощности имеется 3 контура: внутренний – контур управления образующей момент составляющей тока, контур скорости и контур мощности. Для контура мощности обратную связь можно сформировать двумя вариантами: 1) нахождение мощности

через напряжение и ток звена постоянного тока преобразователя; 2) измерение мощности через угловую скорость двигателя и момент. Полученные мощности будут отличаться друг от друга на величину потерь, зависящую от КПД.

Целью имитационного моделирования системы стабилизации мощности трактора «Беларус 3023» является анализ динамических режимов при использовании второго способа, поскольку при векторном управлении система обычно содержит датчики как тока, так и скорости. Упрощенная модель системы управления электропривода представлена на рисунке 1.

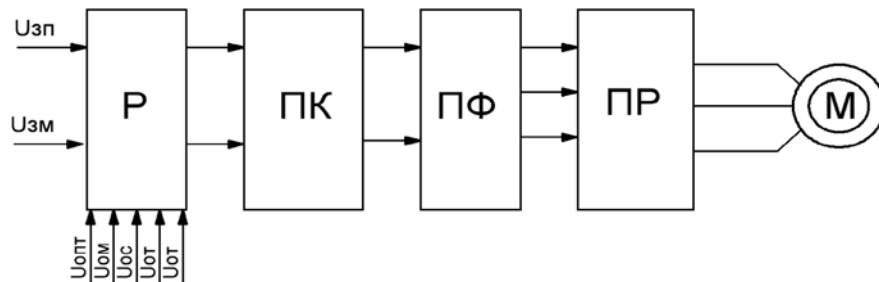


Рисунок 1 – Упрощенная модель системы управления электропривода

На рисунке 1: Р – регуляторы, ПК, ПФ – преобразователи координат и фаз; ПР – преобразователь электрической энергии; М – тяговый асинхронный двигатель;  $U_{зп}$ ,  $U_{зм}$  - сигналы задания потока и мощности соответственно;  $U_{опт}$ ,  $U_{ом}$ ,  $U_{ос}$ ,  $U_{от}$  - сигналы обратных связей по потоку, мощности, скорости и току соответственно.

Результаты имитационного моделирования для электропривода трактора «Беларус 3023», представлены на рисунке 2 для номинальной скорости при набросе нагрузки.

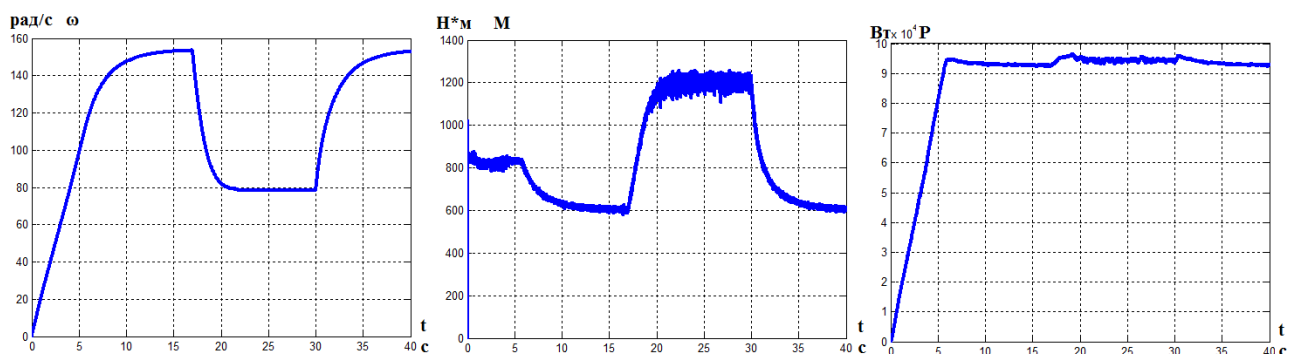


Рисунок 2 – Результаты моделирования

Результаты имитационного моделирования показывают, что мощность, потребляемая от дизеля, стабильна при возмущении.

1 Амельченко П.А., Жуковский И.Н., Стасилевич А.Г., Ключников А.В. Жуковский А.И. Электрическая тяга и электроотбор

мощности сельскохозяйственного трактора// Трактора и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 1-10

2 Фираго Б.И. Векторные системы управления электроприводами: Учеб. пособие / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. - Мн.: Вышэйшая школа, 2016.

3 Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 287с.

УДК 621.81:744:005.591.7:004

## **РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ (ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ) ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ ДОРОЖНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

**Хилько И.И.<sup>1</sup>, Гарост М.М.<sup>2</sup>**

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

Рабочие органы многих дорожных и строительных машин (экскаваторов, бульдозеров, погрузчиков, для ремонта автодорожных покрытий, распределителей противогололедных материалов и др.), сельскохозяйственных машин ((плугов, культиваторов, дисковых борон, сеялок, разбрасывателей минеральных удобрений и др.) работают в абразивной, коррозионных средах. По этим причинам рабочие органы таких машин из-за интенсивного изнашивания имеют небольшой срок службы. Для сведения к минимуму простоя высокопроизводительных машин необходимо на быстроизнашивающиеся детали иметь рабочие чертежи, особенно это актуально для техники импортного производства. Такая задача успешно решается за счет применения обратного инжиниринга.

Нами предприняты определенные действия по совместной работе с СЗАО «МСП Технолоджи Центр» (Республика Беларусь), направленные на выявление возможностей современных технологий в области цифрового производства опытных образцов и малых серий для сокращения сроков подготовки серийного производства.

Как следует из накопленного опыта обратное проектирование должно включать следующие стадии:

1) получение файла данных о поверхностях оцифрованного объекта (детали, сборочной единице) для их воспроизведения и разработки технологической оснастки в САД системах (Компас, Pro/Engineer, SolidWorks, Unigraphics, NX и др.);

2) выявление «неточностей» в моделях и оснастке, передача их в САД систему;

3) экспорт данных для станков с ЧПУ и систем быстрого прототипирования;

4) получение и хранение данных об оснастке после ее доводки для последующего воспроизведения (дублирования).

В качестве объекта оцифровки был взят корпус плуга фирмы «Lemken» с пластинчатым отвалом.

Общий вид бесконтактной оптической системы оцифровки и измерений ATOS II, задействованной в процессе оцифровки корпуса плуга фирмы «Lemken», приведен на рисунке 1.



Рис. 1 – Оцифровка плуга фирмы «Lemken» бесконтактной оптической системой оцифровки и измерений ATOS II

Облако точек лицевой стороны корпуса плуга представлено на рисунке 2. Облако точек передается в CAD (например, ProEngineer, NX), где после обработки получают точную геометрию, которую можно дальше использовать при разработке изделия. По данным фирмы СЗАО «МСП Технолоджи Центр» время оцифровки корпуса плуга – 2,5 часа.

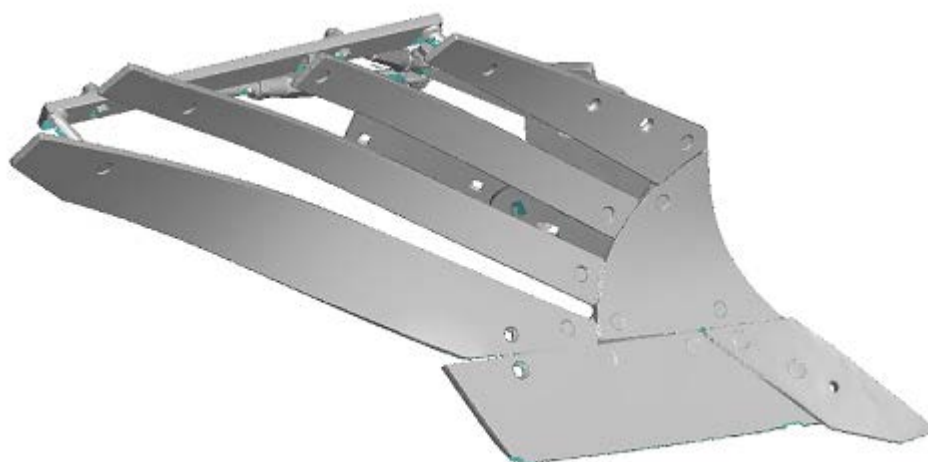


Рис. 2 – Облако точек лицевой стороны корпуса плуга



Посредством обратного инжиниринга можно получать цифровые 3Dмодели деталей из пластмасс, литых из металла, из листовых материалов. Технические возможности СЗАО «МСП Технолоджи Центр» делают его надежным партнером в решении актуальных задач импортозамещения в сфере технической эксплуатации дорожной, строительной и сельскохозяйственной техники.

УДК 681.58

## **УНИВЕРСАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ**

**Лившиц Ю.Е., Савёлов П.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Использование солнечной энергии характеризуется экологической чистотой, простотой использования и является наиболее перспективным, т.к. количество солнечной энергии поступающей на поверхность земли за неделю превышает энергию всех разведанных полезных ископаемых.

Основными недостатками солнечной энергетики являются непостоянство во времени плотности энергетических потоков, применение дорогостоящего оборудования для преобразования и аккумуляции энергии, невысокого коэффициента полезного действия (КПД) солнечных батарей. Максимальное КПД солнечной батареи достигается при её инсоляции под углом  $90^\circ$  к поверхности преобразователя солнечной энергии [1]. Особенно это касается мест с небольшим числом солнечных дней в году. В г. Минске среднегодовое количество солнечных дней составляет 75-80.

В солнечной энергетике применяются системы автоматического управления одно- и двухкоординатными устройствами позиционирования солнечных конверторов, использующие различные алгоритмы функционирования.

Целью работы является проектирование универсальной системы позиционирования солнечной батареи в зависимости от её географического положения и соответствующей траекторией движения солнца по небесной сфере.

Для решения поставленной задачи разработана электрическая схема системы автоматического управления двухкоординатным позиционированием солнечной батареи.

Управление системой осуществляется при помощи программируемого логического контроллера ПЛК110 фирмы “Овен”. Применение данного контроллера обусловлено широкими функциональными возможностями: наличием входов для подключения энкодеров, относительно низкой потребляемой мощностью (не более 28 Вт), расширенным температурным диапазоном: от  $-40$  до  $+55$  °С.

При помощи алгоритма вычисления положения солнца относительно географических координат в зависимости от времени суток и календарной даты [2] определяются угол положения солнца над горизонтом и его азимут для местоположения солнечной батареи.

Разработка программного обеспечения для ПЛК110 производилась при помощи инструментального программного комплекса промышленной автоматизации CODESYS и языков программирования C++ и SFC. Разработанный код программы позволяет производить корректировку положения солнечной батареи в режиме реального времени и оперативно адаптировать систему автоматизированного позиционирования для эксплуатации в любой точке планеты.

Электрическая схема автоматизированной системы позиционирования солнечной батареи представлена на рисунке 1. Исполнительным устройством системы являются шаговые двигатели с минимальным энергопотреблением и встроенными энкодерами.

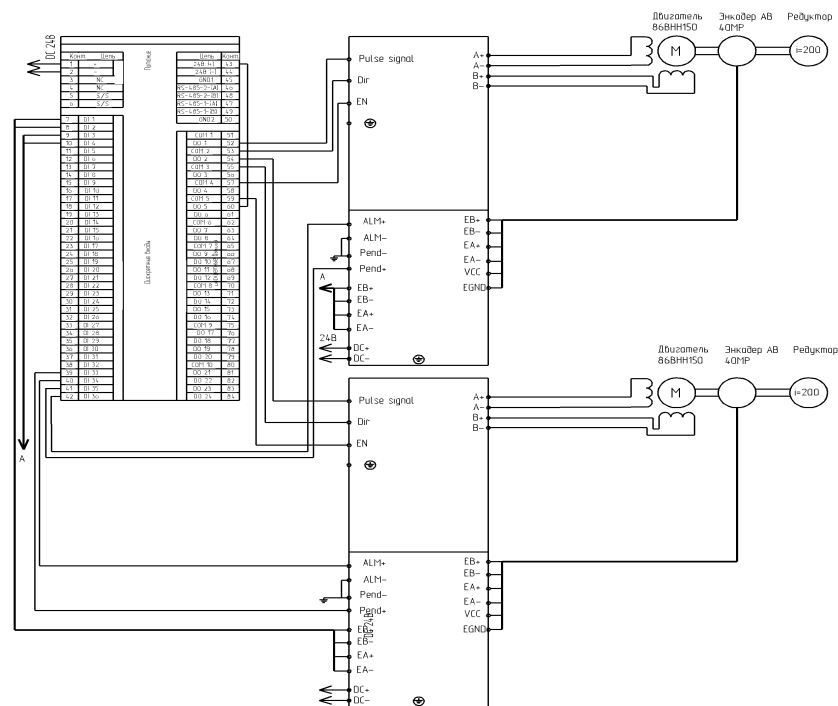


Рис. 1 – Схема электрическая соединений устройства позиционирования солнечных батарей

Для обеспечения необходимого вращающего момента предусмотрено использование в системе управления червячных редукторов. Исполнительный механизм следящей системы позволяет использовать различные конструкции солнечных батарей.

Предлагаемая следящая система автоматического управления позиционированием солнечных батарей, обеспечивает оптимальный угол инсоляции солнечной батареи в режиме реального времени вне зависимости от её географического положения и календарной даты.

1. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. – Routledge London, 2015. - p. 784
2. Computing planetary positions - a tutorial with worked examples [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html#5> Дата 13.10.2018

УДК 681.934

## **"РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР ДЛЯ ЗАГЛУБЛЕНИЯ В ГРУНТ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ»**

**Алдакушин А.Г.<sup>1</sup>, Андрияйнен А.Ю.<sup>2</sup>**

- 1). Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь
- 2). Общество с ограниченной ответственностью «Аванпорт»  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Технические регламенты по прокладке подводных коммуникаций требуют заглубления в грунт проложенных кабелей или трубопроводов в зонах судоходства. Прокладка кабелей и трубопроводов может выполняться в один или два прохода. В варианте с одним проходом укладка кабеля или трубы на дно и последующее заглубление под поверхность дна производится одновременно. В варианте с двумя проходами первым проходом кабель или труба укладываются на поверхность дна, вторым проходом производится заглубление кабеля под поверхность дна. Данные работы выполняются водолазами вручную путем размыва грунта под кабелем с использованием гидромониторов низкого давления и высокого расхода. Производительность таких работ ограничена временем возможного пребывания людей под водой (глубина погружения, видимость, течения, температура воды, и т.п.). Таким образом, задача выполнения работ по заглублению в грунт предварительно уложенных по дну водоема кабелей или трубопроводов при обеспечении высокой производительности и максимального сокращения времени пребывания под водой водолазов представляет собой одну из наиболее характерных областей возможного использования средств робототехники.

Устройство для автоматизированного заглубления в грунт подводных кабелей или трубопроводов, состоит из надводной самоходной плавающей платформы (с расположенными на ней установками энергообеспечения, кабиной оператора, грузоподъемными механизмами) и подводным роботом с гидроприводами движения (мотор-колесами), узлом направления и шестистепенным гидроманипулятором дистанционного управления. Направление движения вдоль кабеля обеспечивается узлом управления направлением движения, соединенным с передней рулевой осью робота. Рабочим органом по заглублению подводного кабеля или трубопроводов малого сечения (до 180 мм) является установленный на тележке робота размывочный узел, оснащенный расположенными с двух

сторон от заглубляемого кабеля поворотными в вертикальной плоскости штангами гидромониторов, длина которых соответствует величине заглубления. При этом каждая из штанг гидромониторов выполнена в виде ряда последовательно расположенных конфузоров системы гидроэжекции, в промежутках между которыми установлены распылительные форсунки воды высокого давления (400...600 бар) с осями рабочего направления струи направленными против направления движения установки под углом в диапазоне от 10 до 60 градусов от горизонтальной плоскости симметрии кабеля (трубопровода) и от 10 до 45 градусов от вертикальной плоскости симметрии кабеля (трубопровода). Узел направления движения снабжен двумя расположенными симметрично вертикальной плоскости кабеля (трубопровода) гидрантами воды низкого давления со сходящимся выбросом струй по движению установки под углом в диапазоне от 10 до 30 градусов от горизонтальной плоскости симметрии кабеля (трубопровода) и от 10 до 45 градусов от вертикальной плоскости симметрии кабеля (трубопровода). Выходные сопла гидроэжекционной системы имеют подводный выброс пульпы в направлении заглубленного кабеля (трубопровода), что обеспечивает замывку грунтом заглубленного кабеля.

Рука манипулятора предназначена для уборки из зоны движения робота посторонних предметов (камней, отложений и т.п.), мешающих движению. Управление рукой выполняется с поверхности оператором, расположенным в кабине плавающей платформы по визуальной картинке на экране монитора передаваемой телекамерой, расположенной над рабочей зоной. Особенностью конструкции руки манипулятора работающей в погруженном состоянии является компенсация веса звеньев ее конструкции выталкивающей силой, центр величины которой совпадает с центром тяжести каждого звена. Это обеспечивается выполнением конструктивных герметичных полостей в каждом звене манипулятора. Таким образом, достигается эффект «невесомости», что позволяет перемещать значительные массы груза на большом вылете руки.

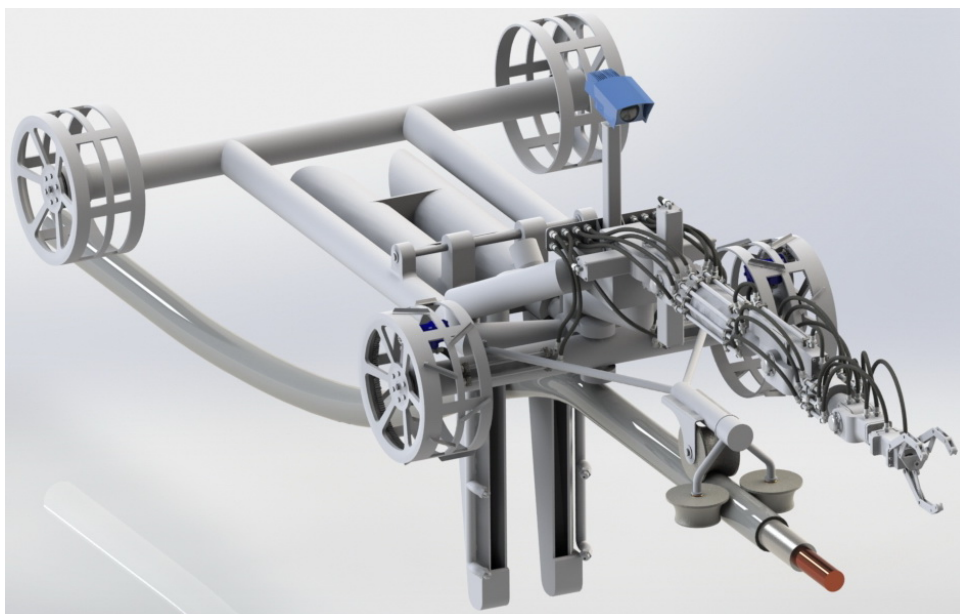


Рис.1  
Робот-манипулятор, вид общий.

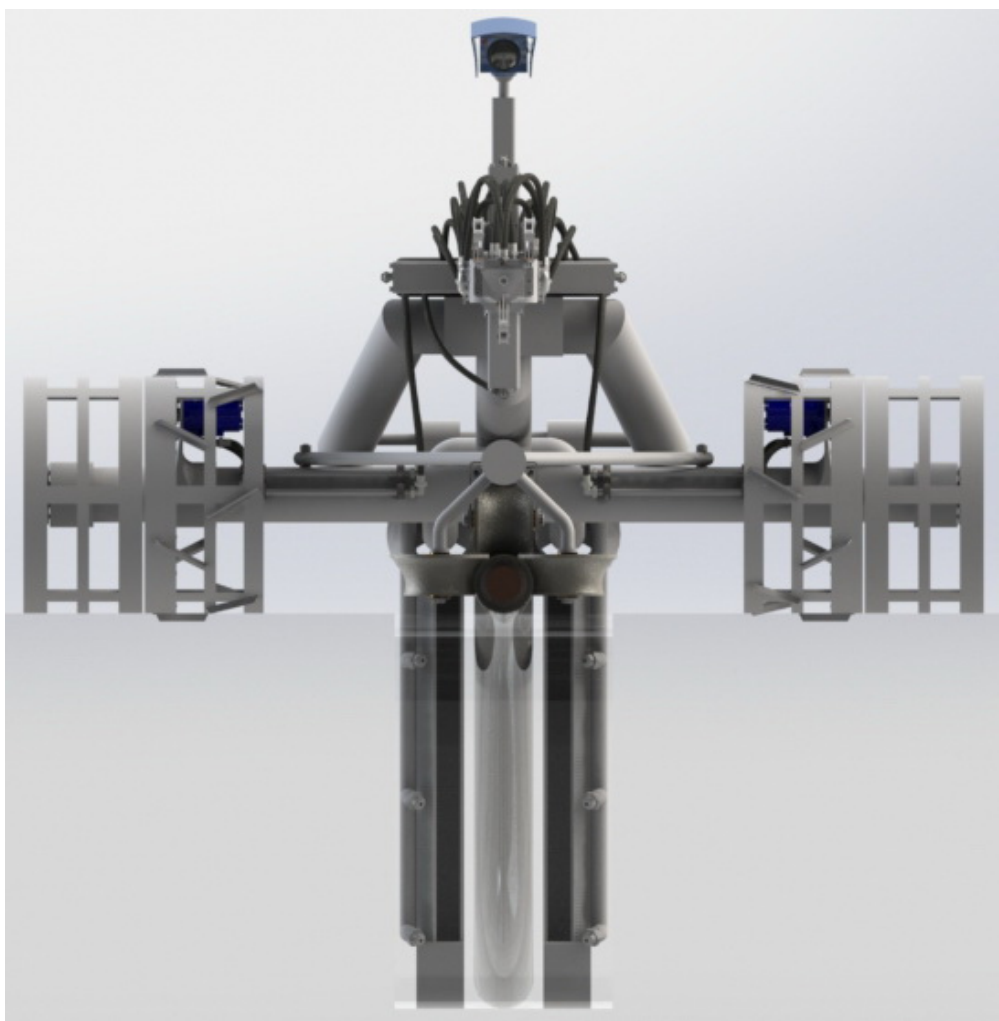


Рис.2  
Робот-манипулятор, вид спереди.

Система управления роботом-манипулятором представляет собой электродистанционную on-line систему «оператор-робот» на базе следящего гидропривода с обеспечением обратной связи отработки команд по видеоканалу. Распределители силовых гидроприводов монтируются в отдельном гермоблоке непосредственно на раме робота, что позволяет минимизировать количество шлангов и кабелей между системой управления и подводной аппаратурой робота.

Объектовые испытания показали, что робот-манипулятор в состоянии обеспечить рабочую проходку на заглубление до 1 м в грунтах IV категории предварительно уложенного кабеля со скоростью 0,5 м/мин при глубине погружения до 15 м. Становится возможной организация круглосуточной работы, а необходимость в водолазах сводится к минимальному времени для обеспечения функций периодического контроля и ликвидации нештатных ситуаций.

УДК 62-519

## **СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ АСУТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Лившиц Ю.Е.<sup>1</sup>, Синицын А.В.<sup>2</sup>**

1).Белорусский национальный технический университет;

2).ООО «Техникон»

Минск, Республика Беларусь.

В настоящее время наблюдается активное внедрение цифровых технологий в различные области человеческой деятельности. Этот процесс отражается и на АСУТП водоснабжения. Зачастую цифровые технологии в водоснабжении строятся на системах поквартирного учета потребления воды, системах диспетчеризации и слежения за транспортом, обслуживающим эти системы.

Эти функции важны, однако они носят вспомогательный и информационный характер по отношению к основному технологическому процессу водоснабжения и водоотведения (ВиВ). Внедрение новых технологий автоматического управления принесет наиболее ощутимый экономический эффект за счет снижения энергопотребления и потерь воды, а также оптимизации эксплуатационных затрат. Определим основные направления внедрения новых технологий в АСУТП водоснабжения.

Для этого рассмотрим типовую многоуровневую структуру АСУТП ВиВ, показанную на рисунке 1. Она состоит из трёх уровней.

1. Полевой (нижний) уровень, включающий в себя различные КИП исполнительные механизмы.

2. Средний уровень, состоящий из локальных систем управления на базе ПЛК, а также средств сбора и передачи данных.

3. Верхний уровень, предназначенный для организации единого централизованного управления системой водоснабжения, построенного на базе SCADA систем и геоинформационных систем (ГИС).

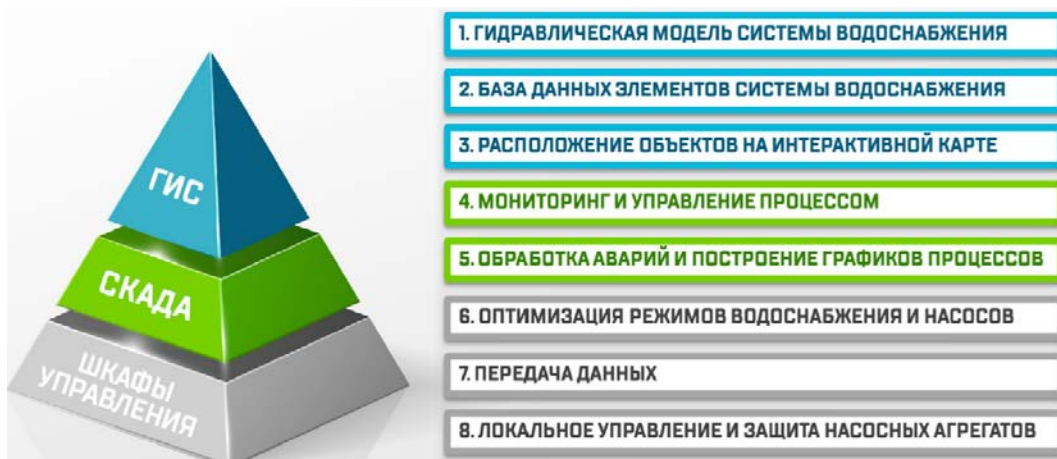


Рис. 1 - Структура и функции АСУТП водоснабжения

Цифровые технологии подразумевают в первую очередь обработку большого объема данных, поступающего от всех объектов, входящих в систему, а также их взаимосвязанное управление. Поэтому реализация этих функций должна происходить на верхнем уровне АСУТП.

Анализ показывает, что на сегодняшний день на рынке представлено два различных класса решений для систем управления городскими системами водоснабжения, а также их гибридные версии. К первому классу можно отнести решения на базе SCADA-систем, ко второму – ГИС.

Решения на базе SCADA представлены на рынке СНГ такими компаниями, как Siemens и Schneider Electric, существуют также и отечественные разработки.

Ко второму классу относятся ГИС (например, решения компаний Bentley Systems, Политерм), которые в меньшей степени предназначены для задач диспетчеризации и решают задачу моделирования процесса с целью оптимизации его режимов. Однако, проблема использования данного класса продуктов связана с отсутствием корректных данных для создания гидравлической модели водопроводной сети города и последующего проведения моделирования. Такая работа обычно занимает несколько лет и предполагает проведение большого числа измерений в различных точках сети. Кроме этого, созданная гидравлическая модель требует постоянной корректировки по мере проведения модернизации или ремонтов водопроводной сети. В тоже время наличие достоверной гидравлической модели позволит решить проблему оптимизации режимов максимально эффективно.

В последние годы в попытке предложить на рынке более эффективные решения наметилась тенденция создания гибридных продуктов, формируемых как симбиоз вышеуказанных классов.

В рамках цифровизации SCADA-системы не противопоставляются ГИС, наоборот их функционал должен быть интегрирован друг с другом для достижения максимальной эффективности оптимизации.

Изменение методов автоматического управления связано с переходом от автоматического поддержания определенных параметров (давления, расхода, уровня) с помощью типовых регуляторов – например ПИД, к цифровым методам управления. Они базируются на принципах «мягких вычислений» (soft computing), применяемых для решения задач в условиях неопределенности, недостаточной точности исходных параметров или математической модели объекта в целом. Принципы «мягких вычислений» объединяют такие классы алгоритмов, как: нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и др. При создании гибридных интеллектуальных систем данные области используются в различных комбинациях или по отдельности, дополняя друг друга.

Таким образом, внедрение новых математических методов управления в Scada системы для объектов водоснабжения может позволить существенно повысить эффективность работы этих объектов.

УДК 621.314.26

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Зуев Е.О., Лившиц Ю.Е.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Лабораторный комплекс предназначен для получения студентами практических навыков управления частотным электроприводом от различных внешних устройств.

Лабораторный комплекс состоит из преобразователя частоты Eaton PowerXL DE1, конфигурационного модуля для преобразователя частоты DXE-EXT-SET, внешнего модуля управления преобразователем частоты DX-KEY-LED, программируемого логического контроллера Siemens S7-1200, трехфазного асинхронного двигателя, панели управления Siemens Simatic KTP 400 Basic, кнопочного пульта управления. Структурная схема лабораторного комплекса представлена на рисунке 1.



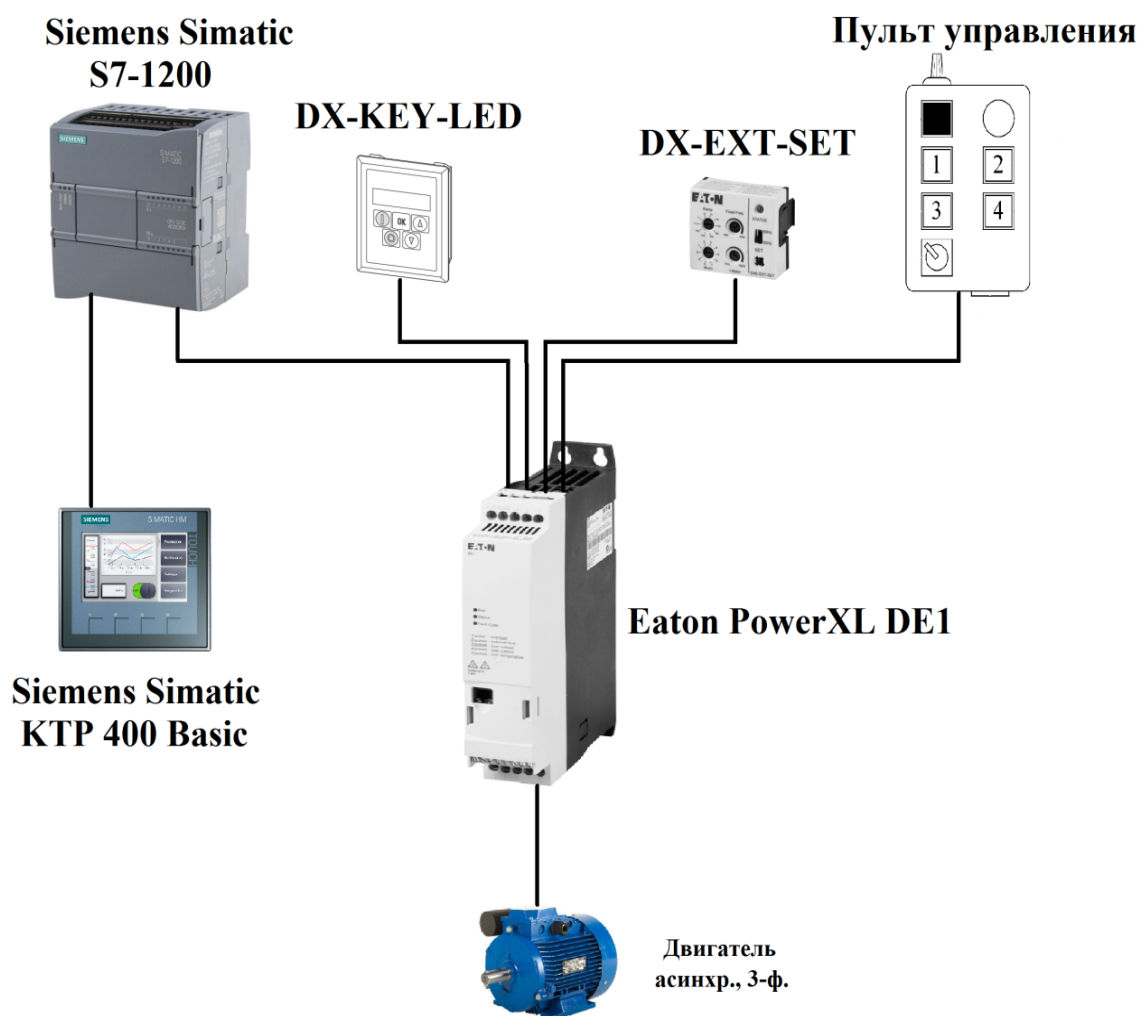


Рис. 1 – Структурная схема лабораторного комплекса

Для подключения внешних устройств управления к преобразователю частоты используются цифровые и аналоговые входы преобразователя частоты, а также интерфейс RS-485 с коммуникационным протоколом Modbus.

Лабораторный комплекс может работать в ручном и автоматическом режиме. Для переключения режимов используется кнопочный пульт управления, имеющий переключатель режимов.

В ручном режиме управление приводом осуществляется с кнопочного пульта управления, на котором расположен потенциометр для регулировки скорости вращения вала двигателя, набор кнопок и переключателей. В этом режиме возможно запускать, останавливать, реверсировать двигатель, увеличивать или уменьшать скорость вращения вала двигателя, осуществлять аварийную остановку лабораторного комплекса. Изменяя параметры преобразователя частоты, можно изменять назначение каждой из кнопок пульта управления.

В автоматическом режиме лабораторный комплекс работает по программе, загруженной в ПЛК. В процессе выполнения лабораторной работы, студенты должны составить программу работы преобразователя частоты, которая, в общем случае, позволяет организовывать пуск,

остановку, реверсирование, регулировку скорости вращения вала двигателя, а также устанавливать временные задержки, что позволяет имитировать выполнение реального технологического процесса.

Лабораторный комплекс позволяет изучить ПЛК Siemens S7-1200 и схему его подключения к частотному преобразователю, освоить принципы и языки его программирования.

Дополнительные модули преобразователя частоты DXE-EXT-SET и DX-KEY-LED используются для изменения параметров и режимов работы преобразователя частоты, а также их контроля. Панель управления ПЛК Siemens Simatic KTP 400 Basic используется для запуска, остановки программы, контроля процесса выполнения программы и изменения переменных программы без подключения к ПК.

Для написания программы работы ПЛК используется ПК, на котором установлена среда разработки TIA Portal и пакеты программирования Simatic Step 7 и Simatic WinCC. Программирование контроллера производится написанием программ на языках LAD, FBD или STL. Выбор языка программирования зависит от уровня подготовки студентов, выполняющих лабораторную работу. Загрузка программы в ПЛК производится с использованием интерфейса Ethernet.

Лабораторный комплекс прошел апробацию при выполнении лабораторных работ на кафедре «Робототехнические системы» по курсам «Приводы робототехнических систем» и «Электрические машины и автоматизированный электропривод» и показал, что он позволяет получить в доступной форме практические навыки работы управления преобразователями частоты внешними устройствами.

УДК 636.2.034:004

## **МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОВОЙ ОХОТЫ У КОРОВ**

**Грищенко А.Б.**

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В Беларуси функционируют около 1000 молочно-товарных ферм с беспривязной технологией содержания коров и компьютеризированными системами управления стадом. Одной из важнейших задач эффективного воспроизводства стада является своевременное осеменение коров с целью наиболее эффективного использования их производственного потенциала.

Одним из наиболее часто используемых признаков выявления охот является показатель двигательной активности коровы. Многочисленные исследования показывают, что активность коров в периоды половой охоты значительно повышается.

В системе управления стадом «Майстар» для определения половой охоты у животных также используется показатель двигательной активности. На каждое животное вешается ошейник-транспондер, который

помимо идентификации животных, обеспечивает также измерение их активности. С заданной периодичностью информация с транспондеров передается в устройства–приемники, а оттуда поступает в компьютерную программу системы управления стадом, где происходит анализ полученных данных по разработанному алгоритму. По окончании работы алгоритма выдается сигнал о повышенной активности коровы, который может свидетельствовать о нахождении ее в периоде половой охоты.

Тем не менее, система определения охоты у коров не дает стопроцентного результата, поэтому важным вопросом является разработка методики тестирования системы и проведение самого тестирования.

Для оценки эффективности работы системы выявления половой охоты у животных была предложена описываемая ниже методика.

Данная методика требует наличия базы данных с информацией об активности животных, а также о событиях жизненного цикла коров, вносимых в программу системы управления стадом зоотехниками. Для оценки работы системы необходимо подсчитать, сколько сигналов, выданных системой, были достоверными – подтверждены операторами-зоотехниками (путем выполнения осеменения животных и дальнейшей проверке его результатов).

Общее число охот  $N_o$  для животных стада за месяц определяется следующим образом:

$$N_o = N_{an} + N_{an} + N_n, \quad (1)$$

где  $N_{an}$  – число охот, выявленных системой определения активности и подтвержденных персоналом фермы путем выполнения искусственного осеменения;

$N_{an}$  – число охот, выявленных системой определения активности, но не подтвержденных персоналом фермы (ложные срабатывания системы выявления активности);

$N_n$  – число охот, выявленных и подтвержденных персоналом, но без сигнала системы определения активности.

Эффективность системы определения активности  $\mathcal{E}_{ca}$  в процентном выражении будет равна:

$$\mathcal{E}_{ca} = N_{an}/N_o * 100 = (N_o - N_{an} - N_n)/N_o * 100, \quad (2)$$

Результат работы алгоритма выдается в виде предупреждения для пользователей системы и сохраняется в базе данных программы.

Для выполнения тестирования был разработан отдельный модуль в составе компьютерной программы системы управления стадом, который позволяет выполнять тестирование за различные промежутки времени согласно приведенной выше методике.

В ходе проведения исследования были протестированы базы данных с информацией о животных с нескольких молочных ферм Республики

Беларусь. Полученные результаты показывают, что эффективность системы выявления охоты изменяется в очень широких пределах (от 30 до 80%).

На данный показатель влияет качество внесенной информации о событиях жизненного цикла животных. Чем более полная информация о событиях содержится в программе управления стадом, тем более высокий процент обнаружения половых охот у животных показывает система определения активности.

Другими факторами, оказывающими воздействие на систему определения активности, являются работоспособность оборудования молочной фермы (ошейников-транспондеров, устройств приемников сигналов с ошейников) и индивидуальные особенности отдельных животных (некоторые животные не проявляют значительно повышенной активности в период половой охоты), а также качество работы зоотехнической службы.

Выводы:

1. В рамках исследования был разработан программный модуль для оценки эффективности системы выявления повышенной активности животных.
2. Проведено тестирование системы с помощью разработанного программного модуля, которое показывает, что эффективность системы варьируется в широких пределах.

УДК 004.89

## **НЕЙРОМОРФНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ**

**Прокопович Г.А., Сычѐв В.А.**

Лаборатория робототехнических систем, ОИПИ НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

С момента появления первых непромышленных роботов не прекращаются попытки расширить сферы их применения. Отмечавшиеся ранее трудности на пути к внедрению роботов в бытовую, образовательную, коммунальную и т.д. сферы жизни человека [1] преодолеваются благодаря появлению всё более компактных и производительных вычислительных устройств начиная от Raspberry Pi и вплоть до NVIDIA Jetson AGX Xavier. Также значительно развились технологии химических аккумуляторов, токоотдача которых стала равной ста и более ёмкостям аккумулятора и допускающих несколько сот циклов заряда-разряда, а также электроприводов и силовой электроники. Перечисленные технологии, в частности, позволили создать в последние годы такие образцы робототехнических устройств, как сферический робот

с нулевым радиусом поворота [2], прыгающий робот [3], антропоморфный робот [4].

Однако очевидно и то, что такие перспективные технологии как стайная робототехника [1], микро- и нанороботы [5] не разработаны до уровня широкого применения. Одним из источников проблем видится достаточно широкая специализация применяемых комплектующих, в частности, в системах управления. Цифровая модульная микропроцессорная техника позволяет в кратчайшие сроки создавать универсальные системы управления. В то же время прыгающие роботы, микророботы или стайные роботы предъявляют требования по массе, объёму и энергопотреблению бортовых систем управления, исключающие применение широко распространённых в данный момент архитектур.

Перспективным решением сформулированной выше проблемы может стать создание нейроморфного контроллера для выполнения специфических задач управления мобильными роботами на основе ветвящихся алгоритмов. Таким образом, управление будет строиться не на примитивных реактивных парах “причина<sub>*i*</sub> – следствие<sub>*i*</sub>”, а на наборе пересекающихся функциональных цепочек “следствие<sub>*i+2*</sub> (следствие<sub>*i+1*</sub> (следствие<sub>*i*</sub> (причина<sub>*i*</sub>)))”, которые являются процессом реализации различных ветвящихся алгоритмов.

В результате проведённых исследований в качестве основы для нейроморфного контроллера избрана модификация искусственной нейронной сети Хопфилда [6], реализованная на хаотических генераторах Чжуа в качестве специализированных искусственных нейронов. На данный момент в среде Simulink проведётся моделирование блока ассоциативной памяти разрабатываемого нейроморфного контроллера, содержащего четыре нейрона (рис. 1).

Для того, чтобы разрабатываемый нейроморфный контроллер мог полностью имитировать модель ассоциативной памяти Хопфилда, необходимо окончательно определить управляющие коэффициенты генераторов Чжуа и отладить механизм фиксации образов в кратковременной памяти сети из этих генераторов. После этого, следующим шагом будет воспроизведение экспериментов, приведённых в работах [6, 7].

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Ф18Р-229 "Исследование и разработка концепции мехатронных бортовых вычислительных и исполнительных систем групповых микророботов" и гранта № SFG 450 от 24.09.2018 “Neuromorphic controller for an autonomous robotic vehicle”.

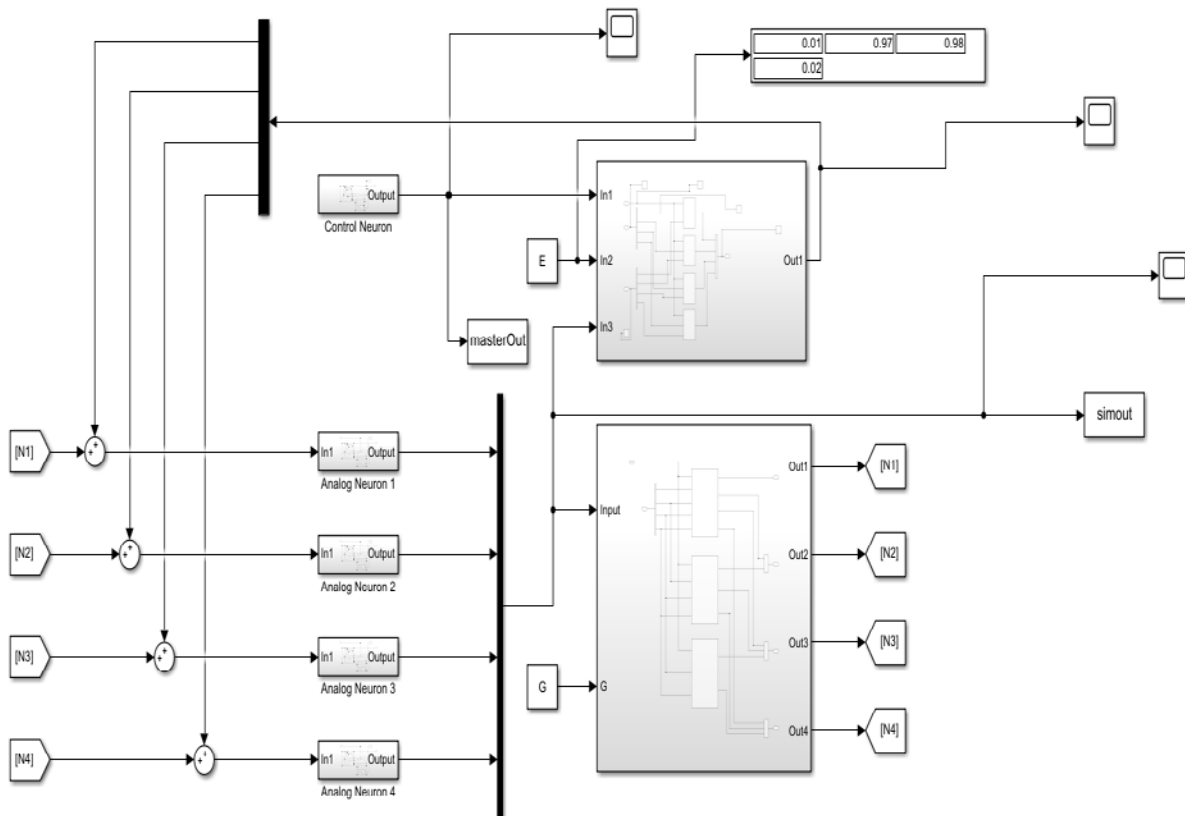


Рис. 1 – Модель блока ассоциативной памяти нейроморфного контроллера

1. Прокопович, Г.А. Моделирование коллективного поведения роботов для поисково-исследовательских задач / Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв // XXI Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника» / ЦНИИ РТК ; под науч. ред. Е. И. Юревича. — Санкт-Петербург : Политехника-сервис, 2010. — С. 237-243.

2. Прокопович, Г.А. Мобильный робот с нулевым радиусом поворота / Г.А. Прокопович // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – №2(7). – С. 39-44.

3. Haldane, D.W. A power modulating leg mechanism for monopodal hopping / D.W. Haldane, M. Plecnik, J.K. Yim [et al.] // 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Daejeon Convention Center / – Daejeon, Korea : IEEE, 2016. – С. 4757-4764.

4. Langevin, G. InMoov open sourced 3D printed life-sized robot // G. Langevin // [Электронный ресурс]. — 2019. Режим доступа : <http://inmoov.fr/>. – Дата доступа : 22.01.2019.

5. Прокопович, Г.А. Разработка концепции мехатронных бортовых вычислительных систем для реализации группового управления микророботами / Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв // Междунар. науч.-техн. конф. "Экстремальная робототехника" / ЦНИИ РТК ; Председ. прогр. ком. конф. Юревич Е.И. – Санкт-Петербург : Гангут, 2017. – С. 149-150.

6. Prakapovich, R. Hetero-associative memory technology for development of intelligent control systems of autonomous mobile robots / R. Prakapovich // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: мат. междунар. науч.-техн. конф. / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 297 – 300.

7. Прокопович, Г.А. Нейросетевая модель для реализации поисковых движений мобильного робота/ Г.А. Прокопович // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: мат. III Междунар. науч.-техн. конф. / редкол. : В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013 г. – С. 483-488.

УДК 621:004

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ В УДАЛЕННОМ РЕЖИМЕ**

**Барышев А.А., Кункевич Д.П., Статкевич Д.Г.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Технологическая оснастка – один из важнейших элементов производственного процесса. Несмотря на использование гибких систем (ЧПУ, аддитивные технологии и др.) потребность в оснастке достаточно высока и повышение эффективности ее проектирования по-прежнему актуально. Основные средства автоматизации проектно-конструкторских работ – системы геометрического моделирования. Причем в подготовке производства используются пакеты среднего уровня, поскольку задачи возникают сложные, нестандартные. Однако наряду с таковыми немало и типовых. Например, проектирование несложных приспособлений для

установки-закрепления деталей на различных технологических операциях (рисунок 1). Подобное проектирование осуществимо в удаленном режиме.

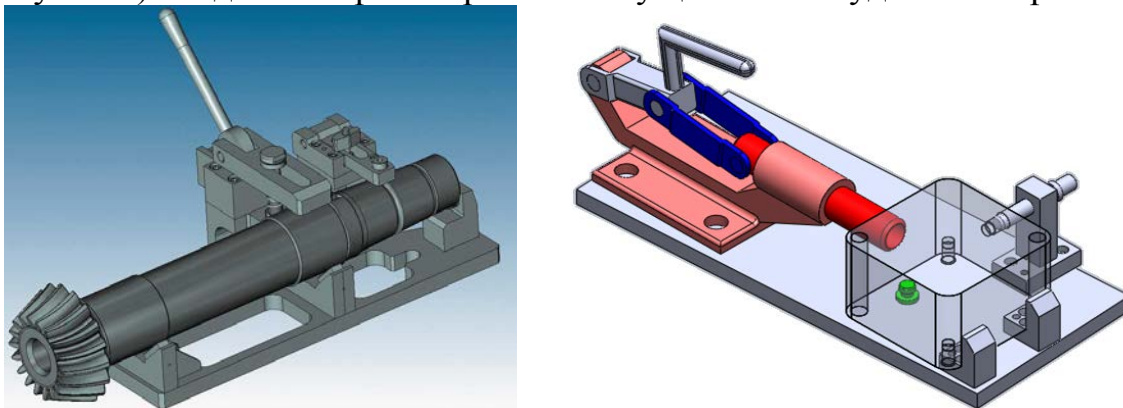


Рис. 1 – Примеры приспособлений

Основные положения теории базирования позволяют сформулировать ряд допущений, обеспечивающих достаточно простую нормализацию большинства проектных ситуаций:

- 1) установка детали осуществляется на три базы;
- 2) база – грань плоской или цилиндрической формы;
- 3) каждая база, в зависимости от ее формы и размеров (соотнесенных с размерами других баз), получает один из пяти статусов;
- 4) каждому статусу соответствует определенный набор установочных элементов;
- 5) для каждого установочного элемента определяется функциональное свойство - грань либо справочная геометрия, сопрягаемая с базой.

Исходя из изложенного, разрабатывается процедура, которая, определив статус каждой базы, добавляет в модель соответствующие элементы и устанавливает сопряжения их функциональных свойств с базами. Делается все это без вмешательства проектировщика, поэтому процедура может быть запущена на удаленном сервере. Исходная информация – геометрическая модель в стандартном формате, например, STEP выделенными базами. Выделение осуществляется посредством изменения какого-либо параметра соответствующей грани, например, цвета (рисунок 1, а). Результат проектирования – модель детали с сопряженными элементами в том же стандартном формате – возвращается заказчику.

Следующий этап – формирование несущей системы, объединяющие функциональные элементы. Перед его выполнением заказчику следует скорректировать положения элементов и оправить модель (рисунок 1,б) обратно на сервер.

Несущая система проектируется исходя из, так называемой, “плоской” концепции: функциональные элементы проецируются на единую “приварочную плоскость”, в которой формируется контур замкнутый и выпуклый, охватывающий все проекции (рисунок 1, в). На базе контура формируется плита или элемент из стандартного проката.



Функциональные элементы, расположенные выше привалочной плоскости, соединяются с ней либо непосредственно путем удлинения специально предусмотренной части, либо при помощи типового переходника.

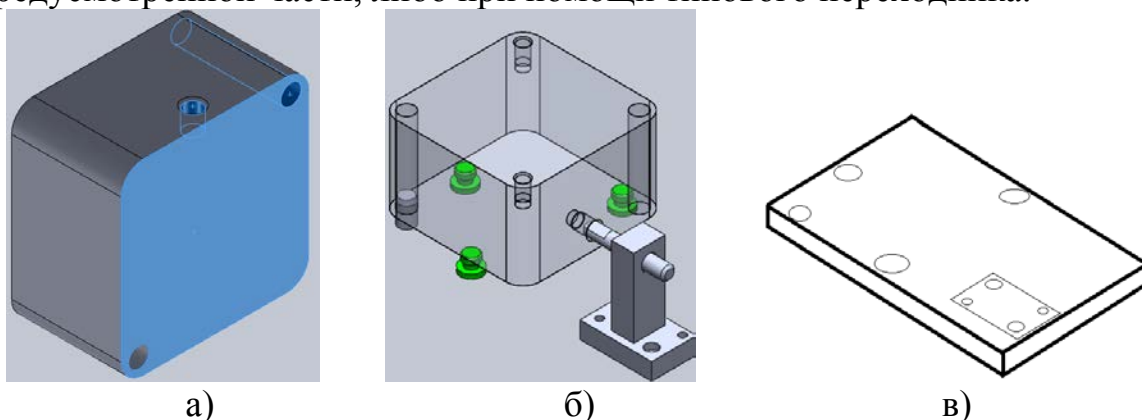


Рис. 1 –Исходная модель детали (а), компоновка приспособления (б), корпусная плита

Подразделения, проектирующие технологическую оснастку, укомплектованы, как правило, высококвалифицированными специалистами, чье рабочее время – не дешевый ресурс. Заказчики – цеховые технологи, которые вполне решили бы многие задачи самостоятельно, имея **хорошую** геометрическую систему. Представленный сервис позволил бы обойтись более скромным средством, поддерживающим просмотр стандартных форматов и простейшее редактирование. Наличие «просмотрщика», поддерживающего необходимые функции, позволит предоставлять представленный сервис через сайт.

УДК 681

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

**Прохорович С.С.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В теории управления большое внимание уделяется синтезу систем управления при недостаточной информации об объекте управления и действующих на него полезных сигналов и помех. Один из методов решения этой проблемы – использование нечетких методов управления [1].

В качестве устройств управления переходными процессами в автоматических системах управления (САУ) наиболее распространены пропорционально-дифференцирующие (ПД) регуляторы. Данная работа посвящена проектированию нечётких ПИД-регуляторов для управления переходными процессами в следящих системах.

В качестве объекта управления был использован макет мобильного робота (рисунок 1).

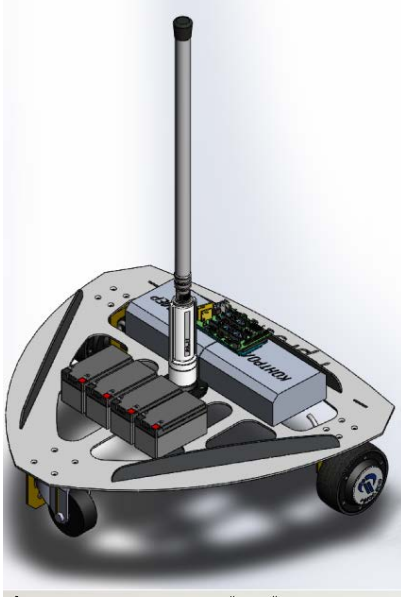


Рисунок 1. Внешний вид приводной платформы

Была получена математическая модель этого привода и его структурная схема в среде MATLAB Simulink (рисунок 2). На основе математического моделирования получены основные характеристики системы, в частности, график переходного процесса (рисунок 3).

Была поставлена задача снижения времени переходного процесса. В качестве базовой структуры, формирующей сигнал управления для САУ, выбран адаптивный ПИД-регулятор, изменение коэффициентов которого происходит в зависимости от данных получаемых с нечеткого контроллера. Структурная схема нечеткого ПИД-регулятора приведена на рисунке 4.

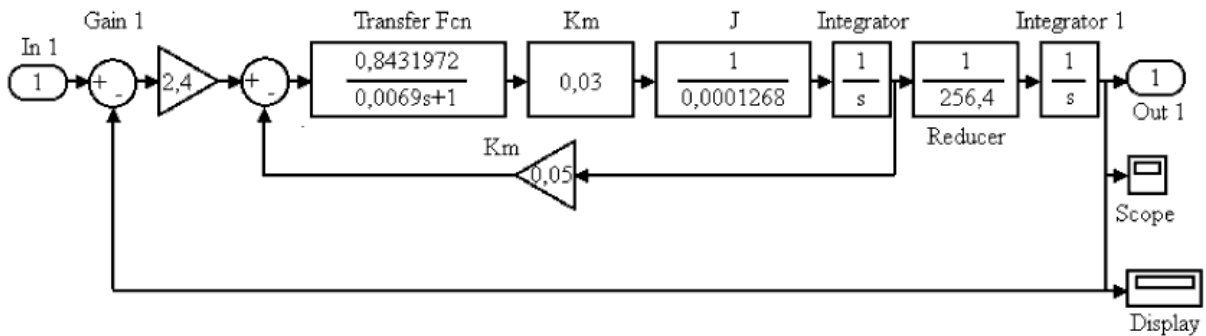


Рисунок 2. Структурная схема следящего привода

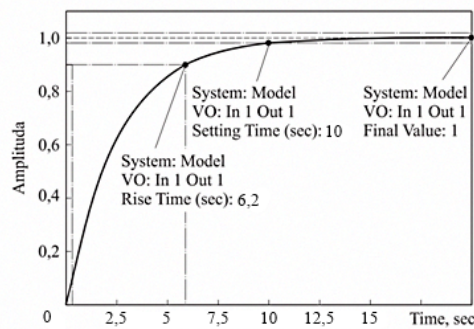


Рисунок 3. График переходного процесса системы

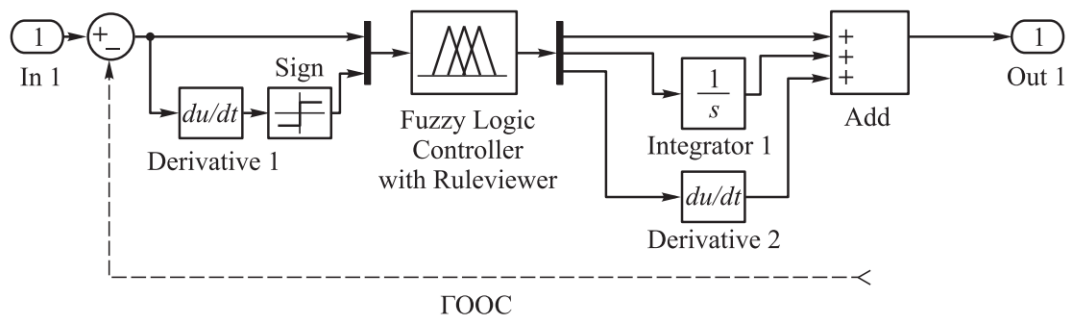


Рисунок 4. Структурная схема нечеткого ПИД-регулятора

Отличие ПИД-регулятора с контроллером, основанным на нечеткой логике, от обычного заключается в том, что коэффициенты усиления в пропорциональной и интегрирующей цепях регулятора не являются статическими, т. е. зависят от состояния системы в текущий момент времени [2]. Это позволяет качественно изменить процесс управления, учесть параметры сигналов в системе (скорость изменения сигнала, ускорение), а также сделать процесс управления более адаптивным.

В ходе проделанной работы был получен график переходного процесса (рисунок 5):

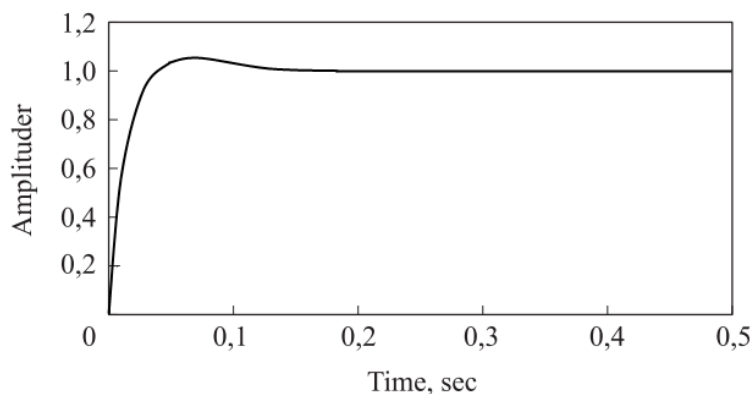


Рисунок 5. График переходного процесса системы с нечетким ПИД-регулятором

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений. Москва, Мир, 1976. – 168с.
2. Кудинов Ю.И. Нечеткие системы управления. Известия Академии наук. Техническая кибернетика, 1990, № 5, с. 196 –206с.

УДК 004.4

**СОЗДАНИЯ НИЗКОУРОВНЕВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ РАБОТЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ И  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ СИСТЕМНОГО  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ «cluLang»**

**Котляров Д.И.<sup>1</sup>, Панасенко С.И.<sup>1,2</sup>**

1) Слуцкий государственный колледж

Слуцк, Республика Беларусь

2) Белорусский государственный аграрный технический университет,

cluLang (Cluster Language) — язык системного программирования, разработанный для быстрого и безопасного создания низкоуровневых приложений для работы автоматизированных, роботизированных и интеллектуальных систем на базе операционных систем: Windows, Linux, MacOS.

Расширенное метапрограммирование.

Исключительной особенностью cluLang является возможность манипулирования синтаксическими деревьями компилятора на уровне промежуточного кода путем реализации дополнительных синтаксических возможностей, а также их упрощения для использования в требуемых программисту определенных сферах деятельности (базы данных, нейронные сети, низкоуровневый аппаратный код).

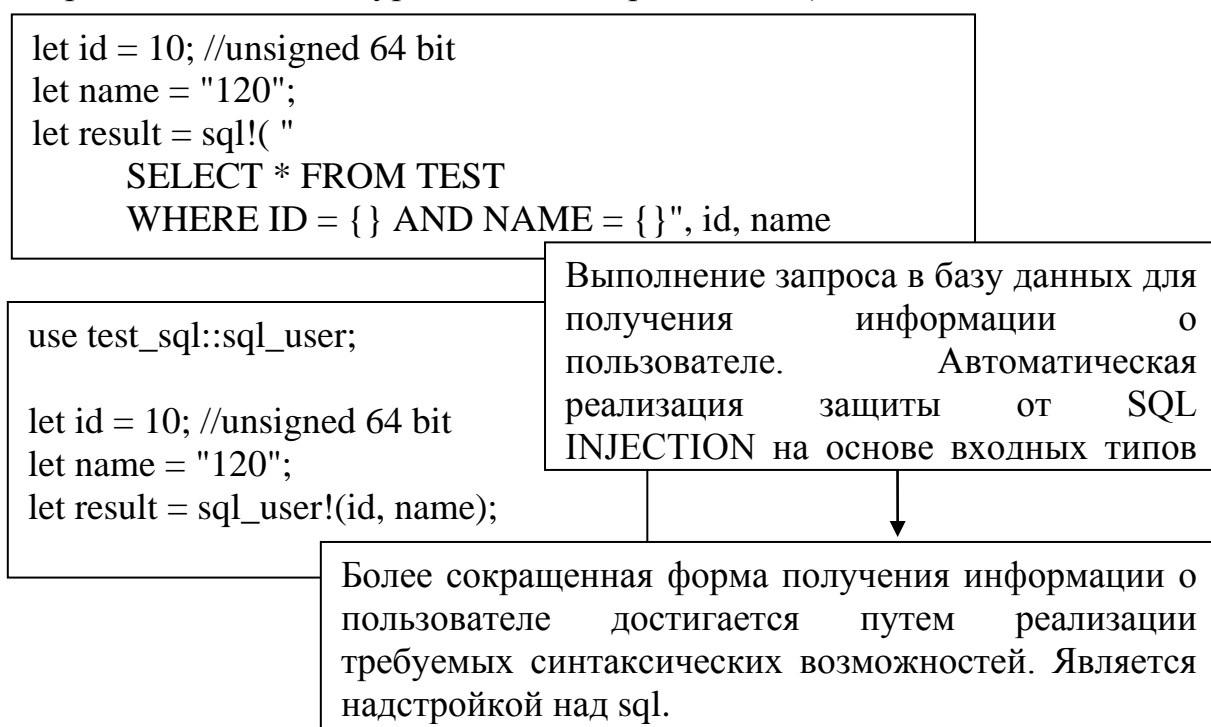


Рисунок 1 — Пример использования расширения синтаксических возможностей языка, облегчая восприятие и переиспользование кода.

Манипулирование синтаксическими деревьями компилятора позволяет получать программы при наиболее меньших затратах на кодирование, чем если бы программист описывал их вручную целиком, а также позволяет улучшить свойство созданного кода (размер и быстродействие), его переиспользование, а также восприятие другими программистами путем создания собственных инструкций или расширения уже существующих инструкций.

Автоматическое управление памятью.

Виртуальная инструкция **let** позволяет связывать данные хранящиеся в стеке функции или в куче (**Heap**) с именем переменной для того чтобы использовать эти данные немного позже с помощью других конструкций

языка. Каждое связывание имеет свой определенный тип данных и свой набор функций свойственных типу. Тип данных связывания и набор функций автоматически подбирается компилятором на основе вводимых исходных данных.

Определенный жизненный цикл данных определяет зона видимости, в которой находится данное связывание, зона видимости могут быть ограничены функцией или другими блоками данных. Зоны видимости, записанные с помощью блоков данных, могут объединяться с определенным связыванием, для передачи финального значения из блока.

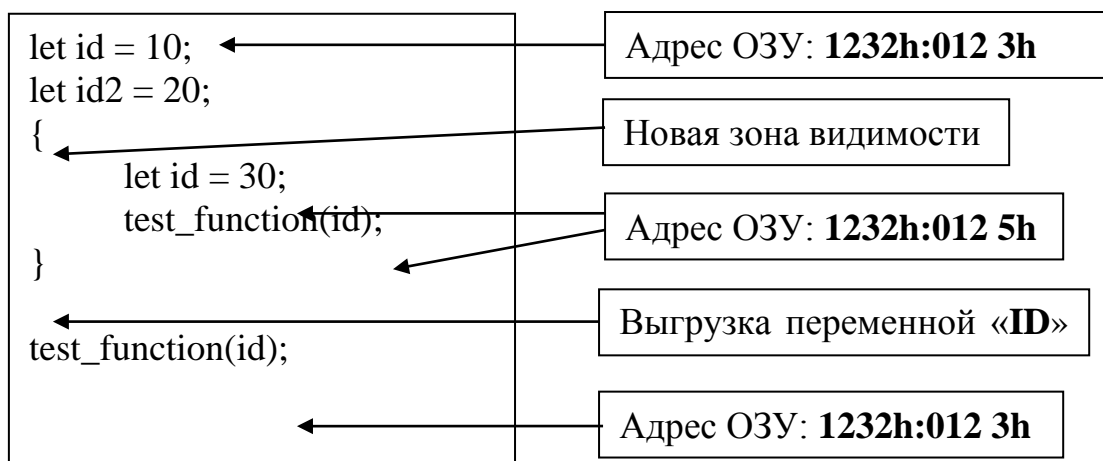


Рисунок 2 — Пример кода с определенной зоной видимости, выгрузка данных зоны, адресация данных зоны видимости.

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/LLVM>. Дата доступа — 15.11.2018.
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80> Дата доступа — 20.12.2018.
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80>. Дата доступа — 22.12.2018.
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>. Дата доступа — 10.01.2019.

УДК 621.314

## УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

**Васильев С.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Электромеханическая совместимость – это способность электрического двигателя обеспечить удовлетворительный уровень электромеханического преобразования при отклонении параметров

качества потребляемой электрической энергии от нормативно установленных значений.

Под качеством электромеханического преобразования можно понимать степень соответствия механических и технико-эксплуатационных характеристик приводного электродвигателя установленным значениям, отклонение которых может происходить под воздействием возмущающих электромагнитных факторов, при которых сохраняется эффективное функционирование электротехнического комплекса с электроприводом или протекание обеспечиваемого электроприводом технологического процесса[1].

Основными показателями качества электромеханического преобразования можно считать следующие характеристики:

- коэффициенты гармонических составляющих электромагнитного момента электродвигателя;
- паразитные электромагнитные поля и моменты;
- колебание электромагнитного момента;
- колебание частоты вращения;
- вибрацию электродвигателя и другие.

Основными факторами, влияющими на качество электромеханического преобразования, являются гармонические составляющие напряжения, тока и несимметрия напряжения.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя (АД) в общем виде можно выразить следующим образом

$$M = 1,5pC(\bar{a} \times \bar{b}), \quad (1)$$

где  $p$  – число пар полюсов АД;  $C$  - коэффициент, значения которого зависят от выбора векторов  $a$  и  $b$ [1].

Если к обмоткам статора АД прикладывается синусоидальное трехфазное напряжение, то есть спектральный состав напряжения представлен только основной гармоникой, то электромагнитный момент АД, представленный через ток статора и потокосцепление ротора, можно записать в следующем виде

$$M = -\frac{3}{2}k_p(I_{CT} \times \Psi_p), \quad (2)$$

$$M_{(1)} = I_{CT(1)}\Psi_{P(1)} \sin \varphi. \quad (3)$$

На основе выражения (3) строится классическая система векторного управления – система трансвекторного управления.

В регулируемых электроприводах к обмоткам АД подводится несинусоидальное напряжение. Гармонические составляющие напряжения статора вызывают появление гармонических токов и магнитных потоков, которые можно разложить в гармонический ряд следующим образом

$$I_{CT} = \frac{2\sqrt{3}I_{CT.HOM}}{\pi} \left( \cos \omega t - \frac{\cos 5\omega t}{5} + \frac{\cos 7\omega t}{7} - \frac{\cos 11\omega t}{11} + \dots + -\frac{\cos n\omega t}{n} \right). \quad (4)$$

$$\Psi_p = \frac{2\sqrt{3}\Psi_{p.HOM}}{\pi} \left( \cos \omega t - \frac{\cos 5\omega t}{5} + \frac{\cos 7\omega t}{7} - \frac{\cos 11\omega t}{11} + \dots + \frac{\cos n\omega t}{n} \right). \quad (5)$$

Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол  $\theta$ . Каждая обмотка питается от автономного инвертора напряжения (АИН), причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол  $\gamma$ . При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД[2].

В таком электроприводе необходимо обеспечить равенство модулей углов  $\theta$  и  $\gamma$ , то есть

$$|\theta| = |\gamma| = 30 \text{ эл. градусов} \quad (6)$$

При соблюдении соотношения (6) в кривой результирующей намагничивающей силы (МДС) статора АД отсутствуют пространственные гармоники, соответствующие следующим временным гармоникам в кривой выходного напряжения преобразователя:

- $K=12n+7$  - для гармоник, вращающихся в сторону 1-ой гармоники;
- $K=12n+5$  - для гармоник, вращающихся в обратную сторону по отношению к 1-ой гармонике, где  $n=0,1,2,3\dots$

Важным является то, что в кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью отсутствуют пятая и седьмая гармоники, что является одним из важных преимуществ перед обычной трехфазной обмоткой. Устранение наиболее вредных для электрических машин пятой и седьмой гармоник уменьшает дополнительные потери, шум и вибрацию, устраняет провалы в кривой электромагнитного момента, увеличивает пусковой момент АД и, тем самым, улучшает электромеханическую совместимость частотно-регулируемого электропривода.

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

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

УДК 621.311

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЖИЛОГО ДОМА**

**Бохонко М.С., Околов А.Р., Глядко В.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Система умный дом представляет собой современный комплекс с автоматизированным управлением, направленный как на обеспечение безопасности жилья, так и на комфортное проживание в нём.

Особенно популярна данная система автоматизации в условиях загородного дома, так как там необходимо не только включать свет и настраивать управление бытовым оборудованием, но и добиться автоматизации управления системами отопления и электроснабжения. Также важное значение для загородного дома имеет наличие автоматизированной системы контроля и обеспечения безопасности, охраняющей не только основное здание с жилыми комнатами, но и подсобные помещения, и прилегающий участок.

### **Принцип работы умного дома**

Система умного дома устроена таким образом, чтобы выполнять возложенные на неё задачи без непосредственного участия человека — ему достаточно заложить необходимые параметры в процессе её настройки, а затем она будет действовать по заданному алгоритму. Комплексная система умный дом используется для автоматизации следующих систем загородного дома:

- Отопление;
- Энергоснабжение;
- Сигнализация и видеонаблюдение;
- Сервисные системы.

Так как для управления всеми системами используется один искусственный интеллект, то все они имеют связь между собой, и поэтому система умного дома может самостоятельно предотвращать возникновение многих чрезвычайных ситуаций.

Комплексная система управления умный дом отлично подходит для загородного дома, так как там чаще используются такие устройства, как тёплые полы или отопительные котлы, для правильной работы которых необходим контроль, а кроме того, проект умный дом может успешно контролировать не только помещения, но и участок и обеспечивать их охрану.

Система умный дом имеет все возможности для обеспечения комплексной безопасности, как в квартире, так и в загородном доме. В первую очередь это касается контроля доступа в дом, и наличие такой автоматизированной системы управления замками позволяет избавиться от связки ключей, размер которой в случае с загородным домом может быть весьма внушительным — это не только ключи от входной двери, но и от гаража, бойлерной, ворот, подвала и других помещений. В случае использования централизованной системы управления, ключи от всех них можно заменить на один электронный ключ. Средства обеспечения безопасности с помощью автоматизации оборудования делятся на три группы:

- Контроль помещений;



- Контроль участка;
- Имитация присутствия.

Любая квартира или дом, имеющие реализованный проект автоматизации охранного оборудования и использующие современные технологии обнаружения несанкционированного доступа, как правило, находятся в сохранности в отсутствие хозяев. Это достигается с помощью подключения датчиков движения, которые при срабатывании передают на сервер сигнал тревоги, включающий видеозапись и сообщаящий о вторжении в охранную организацию.

Если проект автоматизации системы безопасности планируется реализовывать в загородном доме, то необходимо учитывать не только охрану помещения, но и участка. Она подразумевает необходимость подключения схем контроля несанкционированного доступа и видеонаблюдения, которые в случае срабатывания передадут сигнал тревоги на пульт охраны и начнут видеозапись.

Кроме этого, с помощью автоматизации работы бытового оборудования и включения света можно реализовать имитацию присутствия хозяев в доме, когда в нём никого нет. Данный эффект достигается использованием упрощающих быт функций автоматизации работы различного оборудования во время отсутствия хозяев в обычном режиме, как будто они дома. Это может быть, как полив газона по утрам, так и включение света с наступлением темноты.

### **Варианты реализации системы управления умным домом**

Управление системой можно реализовать различными способами, использующими современные технологии, но чаще всего для автоматизации контроля применяется следующее оборудование:

- Настенные панели;
- Сенсорные экраны и пульты;
- Персональный компьютер;
- Смартфоны.

Достаточно легко реализовать управление системой умного дома с помощью такого оборудования, как настенные панели. Они обычно представляют собой мини-компьютер с установленной операционной системой, позволяющей производить все манипуляции с устройствами обеспечения безопасности. Как правило, их размещают рядом с дверьми, чтобы при входе и выходе из них использовать данное оборудование вместо ключа путем набора какого-либо кода на его клавиатуре.

Сенсорные экраны отличаются от настенных панелей тем, что имеют другой интерфейс — информация поступает на сервер не после нажатия клавиш, а после работы с сенсором, на котором можно использовать ту же экранную клавиатуру, как это реализовано, например, в смартфонах.

Дистанционные пульты управления прочно укоренились в обиходе современного человека, но стоит отметить, что в связи с использованием

этого оборудования в системе управления умным домом, его применение выглядит более обоснованным внутри помещений, нежели снаружи.

Проект автоматизации дома, предусматривающий управление с компьютера, имеет как свои достоинства, так и недостатки. Несомненным преимуществом данного варианта является возможность подключения системы умный дом на компьютере к глобальной сети, обеспечив возможность контроля её состояния практически из любой точки мира. Но данное преимущество является и недостатком, так как в любое время может произойти внештатная ситуация, при которой связь с хозяином оборвётся, и, если умный дом не рассчитан на возможность автономности, это может привести к плачевным последствиям.

Система связи умный дом, использующая для управления интерфейс мобильного приложения, установленного на смартфоне или планшете, является частным случаем управляемой с помощью компьютера системы, так как тоже использует интернет, но при этом не требует наличия ПК для связи, а потому имеет те же сильные и слабые стороны.

### **Основные преимущества технологии**

- Безопасность – это первое достоинство данной системы, за которое она так полюбилась многим хозяевам. Специальные датчики на панели управления очень чувствительны, поэтому они почти мгновенно будут реагировать на всевозможные поломки, возгорания, утечки. Немаловажно и то, что система позволяет контролировать проникновение в дом посторонних людей и животных не только через входную дверь, но даже через удаленные окна;

- Благодаря этой технологии можно значительно сократить плату за коммунальные услуги. Система реагирует на нахождение хозяев в помещении. То есть, как только дом все покидают, свет, газ, вода и прочие приборы автоматически отключаются. Как только жилец пересекает порог, свет сразу загорается, а также выставляется соответствующий уровень температуры воздуха. Такая экономия удобна тем, что она никак не влияет на уровень комфорта;

- Система «умный дом» способна обеспечить максимальный уровень комфорта жильцов. Даже жалюзи в любом уголке помещения будут открываться и закрываться путем одного нажатия соответствующей кнопки. Помимо основных, можно выставить еще множество дополнительных функций на панели, что дает возможность управлять всем помещением, находясь в одном месте.

УДК 621.91:658.512:004.942

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

## **Новичихин Р.В., Журавлёва Е.Р.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Объект исследования.* Производственные системы (ПС) в виде механообрабатывающих участков и линий в машино- и приборостроении.

*Область исследования.* Автоматизация разработки моделирующего программного обеспечения (ПО) для прогнозирования характеристик и поведения ПС. В свою очередь, моделирование используется для поддержки принятия решений при проектировании и управлении ПС.

*Проблема.* Каждая производственная система (участок, линия, цех), особенно автоматизированная и роботизированная, является сложным и уникальным объектом. Для анализа таких систем требуется одновременно несколько моделей. Вид и состав моделей меняются в зависимости от объекта, задач и этапа анализа [1]. Приходится каждый раз заново переделывать программное обеспечение для интеграции моделей и организации их взаимодействия.

*Цель проекта.* Экономия времени, средств и квалифицированного труда при разработке программного обеспечения для моделирования производственных систем.

*Ожидаемый конечный результат проекта.* Универсальная программная среда, которая без дополнительного программирования (без написания кода):

- а) настраивается на объект;
- б) интегрирует требуемые модели произвольного состава и функций;
- в) автоматически управляет согласованными запусками моделей и обменом данных между ними;
- г) определяет, что взаимное уточнение моделей завершено, останавливает итерации моделирования и обобщает результаты.

*Основная идея.* Нам требуется совместить в моделирующем ПО универсальность и автоматизм. До последнего времени эта задача не находила удовлетворительного решения, так как применительно к ПС эти два свойства плохо совместимы и связаны обратной зависимостью. Мы обратили внимание, что аналогичная задача успешно решается в другой предметной области – в программных средах для разработки экспертных систем (ЭС). Предлагается применить принципы построения и функционирования экспертных систем к моделирующему программному обеспечению.

*Суть предлагаемого подхода.* Мы ориентировались на ЭС продукционного типа с представлением знаний в виде правил. Структура правила: условия (антецеденты) => действия (консеквенты).

Считаем, что знания о системе заключены в моделях. Каждую модель будем рассматривать как одно «большое» правило. Совокупность моделей даст ЭС, заполненную знаниями о системе. Каждая модель предназначена для решения своих специфических задач. Вместе с тем, интерфейс всех моделей должен быть выполнен по единому шаблону. Кроме того, все

модели должны отражать одинаковый набор состояний основного технологического оборудования производственной системы. В этом случае модели могут использоваться как сменные модули.

Аналогом механизма логического вывода экспертной системы в нашем программном обеспечении будет выступать единый и неизменный алгоритм итерационного запуска моделей и обмена уточняющей информацией.

После очередного запуска все модели обмениваются между собой вновь полученными фактами. Эти новые факты уточняют исходные данные моделей. Модели запускаются вновь. Так продолжается до тех пор, пока не будет получено значение целевого факта. В качестве такового используется сходимость результатов у всех моделей по одной из ключевых характеристик системы, отражающей ее целевое назначение. Эта характеристика должна интегрально учитывать все аспекты производственной системы и влиять на все ее результаты функционирования. Нами показано, что ключевой характеристикой может служить средний коэффициент использования основного технологического оборудования по времени работы. Сходимость значений ключевой характеристики с заданной точностью у всех моделей будет означать, что взаимное уточнение моделей завершено.

При таком подходе программное обеспечение будет единообразно и автоматически функционировать вне зависимости от вида и состава используемых моделей. Мы избавляемся от пользовательского программирования при настройке на объект и требуемые модели.

*Программная реализация.* Описанный подход был реализован в программной среде «ESMod». Для тестирования прототипа мы использовали комплекс из 4-х моделей ПС: аналитическо-статистическая модель «Работы/Ресурсы» (калькуляция времени и метод Монте-Карло); имитационная модель «Логистика» (дискретно-событийная); аналитическая модель «Позиции» (марковская); аналитическая модель «Персонал» (теория массового обслуживания).

Тестирование показало принципиальную работоспособность идеи и подтвердило ожидаемую эффективность реализации.

1. Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р. Моделирование производственных систем обработки деталей в машино- и приборостроении. – Минск: БНТУ, 2010. – 309 с.

УДК 004.056:614.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ**

## **Каршакевич Е.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Развитие бесконтактных технологий в различных отраслях жизнедеятельности во многом позволило упростить трудоемкие процессы. Одной из перспективных областей применения бесконтактных идентификаторов является здравоохранение, которое постепенно переходит в цифровой формат.

RFID-технологии (англ. Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) нашли свое применение в различных программах электронного здравоохранения за рубежом в частности – контроль и определения местоположения медоборудования и сотрудников, учет медикаментов и даже контроль за пациентами. Интеграция RFID-решений в области здравоохранения — актуальная задача. Сейчас в отечественном здравоохранении активно применяются сравнительно дешевые по сравнению с RFID технологии идентификации пациентов на базе штрих-кодов (штрих-код на карточке для медицинского обслуживания).

Рассматривая современную модель организации работы врачей с медицинскими информационными системами (МИС) актуальными остаются вопросы идентификации пациентов, вне учреждения здравоохранения: визиты на дому, оказание неотложной помощи. Одним из решений, которое бы позволило упростить работу с пациентами может стать RFID метка, которую можно интегрировать в карту для медобслуживания, мобильное устройство, наклеить на амбулаторную карту или носить в виде брелока, браслета и т. д.

Для практической реализации работы с бесконтактными идентификаторами необходимо решить несколько задач: выбор конкретной технологии обмена, определение порядка взаимодействия и адаптация существующей инфраструктуры.

В частности, предлагается рассмотреть бесконтактную технологию NFC (Near field communication), которая позволяет хранить данные на специальной метке и обеспечить безопасную передачу данных от метки к считывателю на частоте 13,56 МГц и расстоянии до 10 см. В таком случае считывателем, например, может выступать мобильное устройство врача с поддержкой NFC и доступом к медицинской базе данных, а в качестве метки выступать мобильное устройство пациента с поддержкой NFC или NFC-метка в любом другом исполнении (наклейка, пластиковая карта, браслет и др.). Так же NFC-метка может стать цифровым ключом при многофакторной аутентификации пользователя МИС. То есть, при авторизации в системе врач кроме пароля, передает данные NFC-метки.

Преимуществами данного метода хранения и передачи данных:

- защита передаваемых данных - информация на NFC-метках защищена криптографическими алгоритмами;

- возможность продолжительного и многократного использования при относительно недорогой стоимости.

Предлагается «привязать» (выдать) бесконтактную метку к пациенту. Хотелось бы отметить, что NFC метка в данном случае будет играть роль ключа доступа к данным пациента (путь к электронной карте пациента), а не носителем информации о владельце, то есть на неё будет записан цифровой идентификатор (ID), который будет обрабатываться МИС. По результатам обработки метки на мобильное устройство врача подгружаются необходимые данные из базы данных МИС.

С точки зрения инфраструктуры, для такого взаимодействия предлагается организовать соединения с сервером МИС того учреждения, в котором работает врач, по технологии VPN, для каждого подключаемого мобильного устройства. Само по себе VPN-соединение позволяет надежно передавать данные без искажения, работать с локальными приложениями из другой сети, организовывать обмен данными по защищенному каналу, независимо от выбранного канала для связи (рисунок 1).

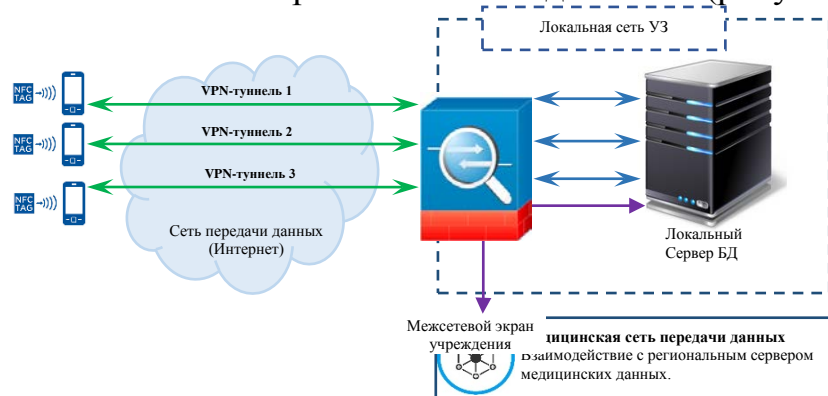


Рисунок 1. Схема организации работы с базой данных МИС с использованием бесконтактных меток.

Организуя выделенные VPN-соединения с локальной сетью учреждения здравоохранения у врачей появляется возможность полноценного взаимодействия с базами данных МИС.

К 2020-му году на смену терапевтам, придут врачи общей практики, оснащение которых предусматривает наличие мобильного устройства (планшета) для оперативного взаимодействия с базой данных МИС. Описанные методы взаимодействия, при их внедрении, позволят реализовать возможность удаленной работы вне учреждения или могут быть применены в удаленных регионах со слаборазвитой инфраструктурой.

УДК 004.896

## **СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

**Садоменко С.Л., Тозик А.С., Лившиц Ю.Е.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Оптимизации энергопотребления повысительных насосных станций (ПНС) на сегодняшний день уделяется большое внимание. Наиболее затратными элементами ПНС являются насосные агрегаты, поэтому оптимизация состава и режимов их работы является важной и актуальной задачей.

Для оптимизации режимов работы насосных агрегатов в первую очередь необходимо разработать механизм прогнозирования водопотребления для того чтобы оценить оптимальный состав работающих насосов с учетом возможностей регулирования.

Поскольку водопотребление можно описать одномерным временным рядом для прогнозирования процесса могут применяться многие статистические методы обработки и анализа временных рядов. Однако, эти методы менее эффективны для временных рядов с существенными нелинейностями, что присуще для описания водопотребления.

Другой класс методов прогнозирования основан на нейронных сетях.

Традиционные нейронные сети лишены памяти, что является их основным недостатком. Рекуррентные нейронные сети решают эту проблему. Они содержат в себе обратные связи, позволяющие сохранить информацию [1].

Успешно применяется особый тип рекуррентных нейронных сетей LSTM-сеть (long short-term memory, долговременно-кратковременная память), которая при решении ряда задач значительно превосходит стандартный вариант, поскольку способна обучаться долговременным зависимостям.

При решении задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей важно правильно выбрать стратегию прогнозирования.

Рекурсивная стратегия – это метод прогнозирования временных рядов на шаг вперед. Чтобы реализовать прогнозирование на более чем один шаг в данном подходе используется следующий механизм, сначала прогнозируем на шаг вперед, далее результат первого прогноза подаем на вход системы и прогнозируем опять, в результате такой рекурсии мы получаем прогноз на необходимое количество шагов.

Прямая стратегия – в отличие от рекурсивной стратегии, прямая подразумевает построение отдельной модели для каждого шага прогнозирования, то есть на 3 шага вперед необходимо построить 3 модели.

Стратегия множественного ввода и множественного вывода (МВМВ) – в отличие от рекурсивной и прямой стратегий, которые рассматриваются

как стратегии одиночного вывода, поскольку они отражают набор входных значений в одиночный скалярный выход, стратегия МВМВ использует набор входных значений для прогнозирования набора выходных значений. Результатом прогнозирования является вектор, а не скаляр. Стратегия МВМВ не имеет проблем предыдущих стратегий, однако из-за конкретной конфигурации модели, она становится менее гибким инструментом в отличии от других стратегий.

После анализа рассмотренных стратегий с учётом особенностей водопотребления на ПНС, была использована LSTM-сеть со стратегией прогнозирования МВМВ. Разработанная система прогнозирования удовлетворяет основному требованию, предъявляемому по ошибке прогноза. Как показал эксперимент, среднеквадратичная ошибка на тестовой выборке составляет менее 5 % (рисунок 1).

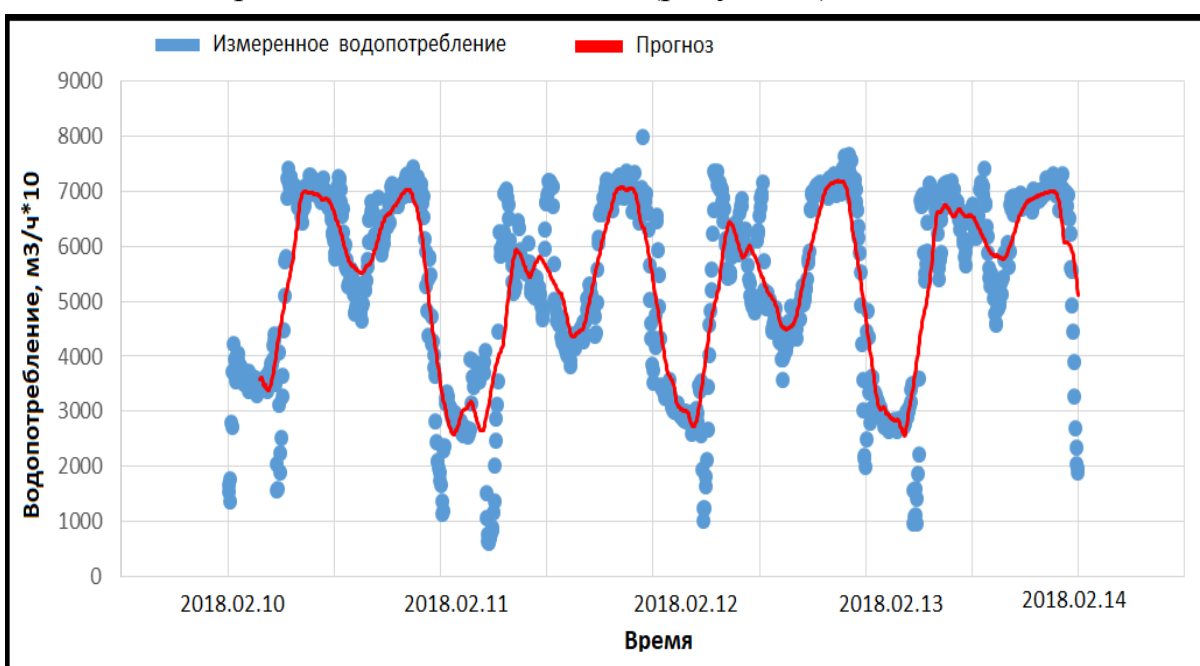


Рисунок 1 – Результат прогнозирования расхода воды на повысительной насосной станции

Система прогнозирования реализована в виде кроссплатформенного решения на языке программирования с# с помощью .netframework 4.6 для операционной системы (ос) windows и mono для ос linux [2].

Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети. (Введение в теорию формальных нейронов) — М.: Энергия, 1971. -232 с.

Э. Троелсен. Язык программирования С# 2010 и платформа .NET 4/ - М.: Издательство «Вильямс», 2010. -1392 с.

УДК 658.512.22.011.56



# КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ

Напрасников В.В.<sup>1</sup>, Соловьев А.Н.<sup>2</sup>, Скалиух А.С.<sup>3</sup>.

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

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

3) Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет  
Ростов-на-Дону, Россия.

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

Качество пористого материала зависит от геометрии пор, таким образом, необходимо и меть возможность получения результатов виртуальных испытаний пористой структуры на предмет исследования течения жидкости в этой структуре.

Целью данной работы является создание модели для исследования для определения скоростей и давлений в жидкости внутри пористой структуры, как основы для дальнейшего выполнения вариантных расчетов.

В работе излагаются особенности построения конечно-элементной модели и обсуждаются результаты моделирования. На следующем рисунке приводится пример результатов моделирования для одного из вариантов пористой структуры и граничных условий (Рисунок 1).

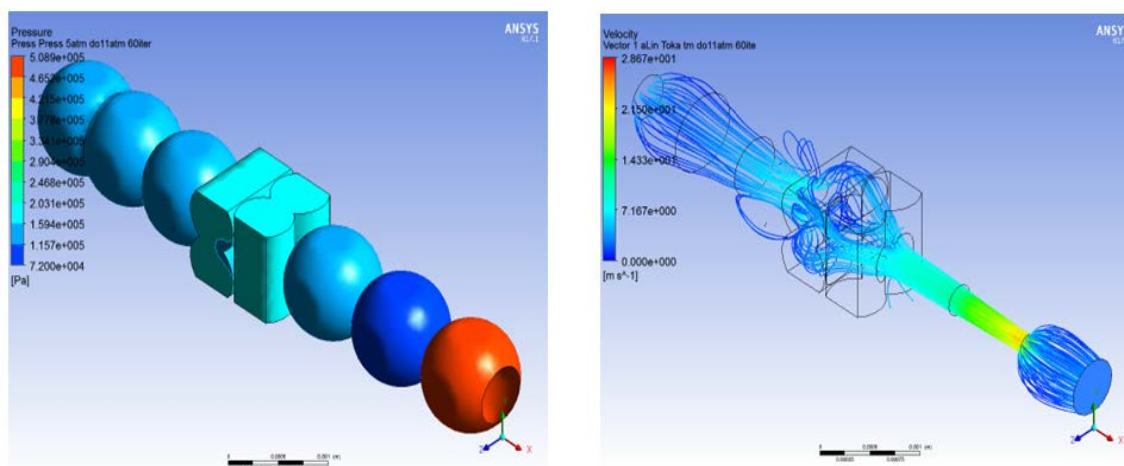


Рисунок 1. Картина поля давлений (слева). Визуализация направления и величины скоростей на линиях токов (справа).

Полученные результаты анализа показали, что предложенные модели позволяют выполнить вариантные расчеты для определения скоростей и давлений в жидкости внутри пористой структуры и перейти к задаче оптимизации.

УДК 629.3.027.5:001.895

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМЕРА ДЕФОРМАЦИИ ШИНЫ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

**Бобровник А.И.<sup>1</sup>, Варфоломеева Т.А.<sup>2</sup>, Маршалко С.В.<sup>3</sup>, Степуть И.И.<sup>1</sup>**

1. Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь
2. Белорусский государственный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь
3. ОАО «БЕЛАЗ», г.Жодино, Республика Беларусь  
г. Минск, Республика Беларусь

В мобильных машинах, выпускаемыми ведущими предприятиями Республики (ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «МТЗ», ОАО «МАЗ», ОАО «Гомсельмаш») широко применяются пневматические шины вследствие высоких эксплуатационных качеств и свойств за счёт амортизирующей способности, т.е. поглощения ударов, толчков, вибраций, передаваемых со стороны дороги и рабочих органов на остов машины.

Важнейшими факторами использования мобильных машин, особенно карьерных самосвалов является правильный выбор шин, так как затраты на шины за весь амортизационный период карьерных самосвалов БЕЛАЗ составляют до 70% стоимости автомобиля [1].

Для повышения эксплуатационных качеств карьерных самосвалов ОАО «БЕЛАЗ» устанавливаются системы контроля давления в шинах разных производителей: телеметрическая (СКР) или дистанционного контроля. Системы предназначены для подачи водителю в случае аварийных ситуаций визуальных и предупреждающих сигналов, что является не достаточным для управления режимом движениям различных условиях эксплуатации.

Мировое производство карьерных самосвалов в настоящий период идет в направлении создания всевозможных бортовых систем, позволяющих на базе компьютерных технологий в оптимальном режиме управлять машиной, обеспечить безопасность процесса движения и снижения затрат, а так же получение необходимой информации о параметрах работы различных узлов и систем самосвала.

Многие фирмы для определения внутреннего давления используют датчики антиблокировочных систем. Датчики давления пытались устанавливать внутри шины давно, в последнее время для передачи данных используют радиопередатчики, однако применяемые системы не дают при эксплуатации и испытаниях полного представления о нагруженности шин.

Фирма «Гудьир» (США) разработала новую шину так называемой кибернетической концепции, характеризующаяся постоянством тягово-сцепных свойств при работе на любых режимах и в любых условиях. Это достигается с помощью встроенных датчиков, контролирующих давление в шине, степень износа протектора, жесткость, соотношение тягово- и

поперечных усилий и пр. Датчики связаны с мини ЭВМ, управляющей совместной рабочей шин и агрегатов шасси [1] в зависимости от номинального скоростного режима и степени зарядки.

За счет электроники созданы миниатюрные радиопередатчики для передачи сигнала от вращающегося датчика на неподвижной приемник. Многие фирмы сейчас устанавливают датчики давления внутри шины или на ободу колеса, т.е. применена система прямого измерения давления в шине, однако это не позволяет определить фактически деформации шины в трех плоскостях.

Таким образом, для всестороннего анализа деформации шин - необходимо изучить силовые параметры и эксплуатационные факторы, влияющих на работоспособность шин при движении на различных карьерных автодорогах с максимальными уклонами в карьерах.

При движении самосвала энергия вибрации переходит в работу сжатия воздуха в шине и в работу упругого гистерезиса материала протектора, брекера и каркаса шины. При этом необратимо выделяется тепловая энергия и образуется пятно контакта шины с основанием, по всей площади которого действует реакция основания. На шину, как известно при эксплуатации мобильной машины действует нормальная, тангенциальная, боковая для и угловая нагрузки.

Поэтому различают деформации пневматической шины четырех видов: радиальную (нормальную), окружную (тангенциальную), поперечную (боковую), угловую.

Нормальный прогиб характеризует ее нагрузочную способность, плавность хода, тягово-сцепные свойства, и давление на почву. Окружная деформация шины влияет главным образом на динамику машины. В сравнении с жесткой податливая шина в большей мере снижает динамические нагрузки на трансмиссию при торможении, трогании и разгоне. Однако податливая шина подвержена большему износу в тормозном и ведущем режимах. Поперечная (боковая) деформация шины возникает под действием боковой силы и управляемость машины. Боковая сила вызывает деформацию шины, вследствие которой диск смещается относительно пятна контакта на некоторую величину. При этом происходит искажение формы профиля шины. Угловая деформация шины возникает под действием момента, поворачивающего колесо в плоскости параллельной поверхности его качения. Угловая деформация шины нарастает по мере увеличения поворачивающего момента до тех пор, пока в пятне контакта шины с дорогой сохраняется сцепление. В пределах упругой деформации шина разворачивается относительно пятна контакта на некоторый угол. Для ее определения нужно замерять угол поворота колеса.

Создаваемое давление воздуха в шине заметно влияет на сопротивление перекачиванию мобильной машины. Однако при значительном падении давления ресурс шины уменьшается и возможен

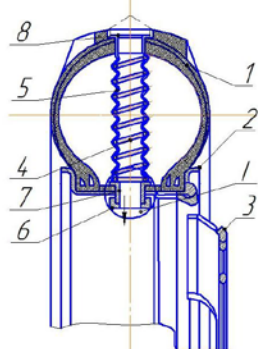
даже поворот шины на ободу, обрыв вентиля со всеми вытекающими из этого последствия. Для управления работой сельскохозяйственных тракторов необходимо так же знание изменения радиуса колеса для корректирования технологического процесса. В машинах высокой проходимости и вездеходах, как правило, регулируют давление в шинах. От характеристики пневматической шины зависят тягово-сцепные свойства ходового аппарата, управляемость, устойчивость движения, разгонно-тормозные качества, надежность, производительность, экономичность и др. При проколе шины падение давления по другим причинам возникает разное сопротивление левых и правых шин, что приводит к возникновению разворачивающего момента и заносу машины.

Основной тенденцией развития средств автотранспорта следует считать темп нарастания грузоподъемности, сдерживаемых несущей способностью шин. Применение низкопрофильных шин позволило поднять грузоподъемность карьерных самосвалов свыше 300т.

Особенностью автосамосвалов является укороченная колесная база, которая требует оптимального согласования углов поворота передних колес при значительных боковых нагрузках, особенно при минимальных радиусах поворота, составляющих 8,7-13,0 м для самосвалов ОАО «БЕЛАЗ» грузоподъемностью 30-120 т.

По данным ОАО «БЕЛАЗ» [1] число отказов передних шин в среднем на 10% больше, чем передних левых, так как при поворотах путь, проходящей правой шиной больше, чем левой. У шин задней левой полуоси на 8-15% больше число отказов, чем - задней правой. Для шин -  $\varnothing 75$ , ФТ-117 и зарубежных диагональных и радиальных выкрашивание протектора составляет соответственно 12.1%, 15.9%, 44.9%, 43.2% а отслоение протектора из-за механических и усталостных разрушений составляет соответственно 59.9%, 54.7% и 35.6% и 27.9%. Опыт эксплуатации шин карьерных самосвалов показывает, что в 55% случаев они работают с перегрузкой, что крайне сказывается на ресурсе. Скорость движения автосамосвалов влияет на технонагруженность. Оптимальная температура шин 70-75<sup>0</sup>С, нормальная 100<sup>0</sup>С, критическая 120<sup>0</sup>С. При температуре 120<sup>0</sup>С разрывная прочность обычных шинных резин снижается на 40%, а пробег шин на 40-60% чем при температуре 110<sup>0</sup>С. С увеличением скорости шина  $\varnothing 75$  с 10 до 18 км/час и изменении давления воздуха с 490 до 560 КПа температура шины повысилась с 70-100<sup>0</sup>С до 120<sup>0</sup>С [1]. Увеличение ресурса шин может быть обеспечено за счет совершенствования конструкции и качества шин, правильной их технической эксплуатации. Характерными признаками отказов шин при эксплуатации являются: производственные дефекты, не обнаруженные при выходном контроле на заводе-изготовителе, механические повреждения-порезы, проколы, сколы грунтозацепов, усталостные и тепловые разрушения-отслоение протектора, расслоение корда, боковин,

естественный износ, взрыв шины при исчерпании ресурса белее чем на 70% при ударе и наезде на острый предмет.



1-покрышка, 2- обод, 3- диск, 4- пружина, 5-гофрированная резиновая цилиндрическая оболочка,  
6- гайка, 7-втулка, 8- фиксатор, I-датчики измерения: радиальных, боковых, тангенциальных деформаций шин  
Рисунок 1. Колесо с датчиками замера радиальной, боковой, тангенциальной деформации шин

Нами предложено для пневматических колес карьерных самосвалов в условиях эксплуатации для наиболее нагруженных скоростных режимов одновременный производить замер радиальной, тангенциальной, продольной, поперечной и угловой деформации шин, что обеспечивается устройством, изображенным на рисунке 1.

При радиальной деформации шины фиксатор 8 перемещается вместе крышкой 1 относительно втулки 7, а при боковой и тангенциальной силах отклоняется от оси отверстия в ободе 2. Деформация элементов шины от датчиков может быть передана с помощью радиопередатчика или токосъемника на бортовую систему карьерного самосвала.

Установка такого устройства в шину колеса при тестовом режиме по определению деформаций во время движения по транспортной связи карьера, соединяющей вскрышные и добычные горизонты с технологическим комплексом позволит определить фактические нагрузки на шину и дать предложения по оптимизации параметров шины и режимам эксплуатации карьерного самосвала уже на стадии проектирования транспортной схемы карьера, определяемой пространственными параметрами залегания рудного тела, производительного карьера, режим и технологией ведения горных работ и т.д.

1.Мариев, П.А. Карьерный автотранспорт Состояние и перспективы// П.А. Мариев. А.А.Кулешов, А.Н.Егоров [и др.].-Санкт-Петербург: «Наука», 2004г.- 425с.

2. Патент на полезную модель №7042U Респ. Беларусь, МПК В 60В 19/00/, В 62057/00 Колесо бескамерное/ А.И. Бобровник; В.П. Бойков; Т.А. Варфоломеева, Дивин К.И.; заявитель Бел. гос. аграрн.-техн. ун-т. – № и 20100657; заявл.21.07.10; опубл. 20.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 1. – С. 184.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Карпук Д.А., Околов А.Р, Глядко В.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Одним из способов снижения эксплуатационных затрат на горячее водоснабжение и решения проблем оперативного реагирования на нештатные ситуации, является система, регулирующая подачу горячей воды одновременно из двух источников: городской сети и солнечного коллектора. Эта система может быть реализована как для обогрева жилого дома, так и производственных помещений.

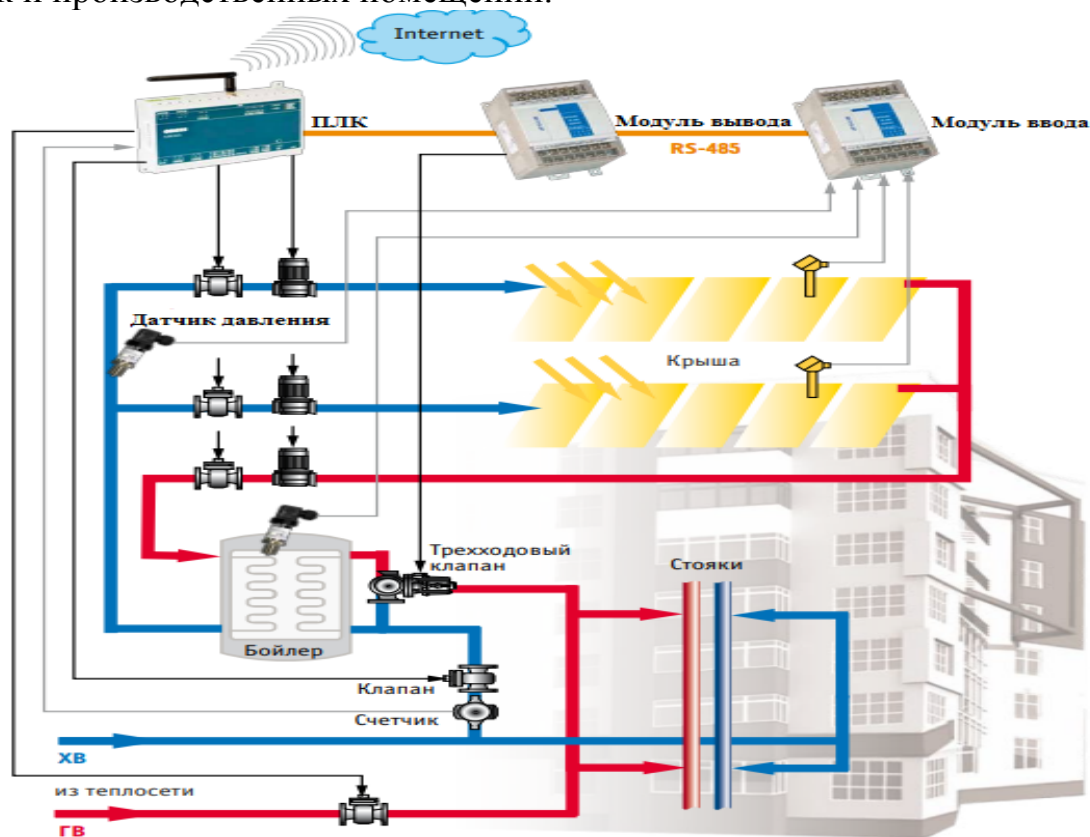


Рисунок 1- Функциональная схема управления двумя источниками ГВС

Основным элементом системы является солнечный коллектор-устройство для сбора тепловой энергии Солнца, переносимой светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит, нагрев материала-теплоносителя. В данном случае актуально использовать плоский коллектор, который состоит из элемента, поглощающего солнечные лучи(абсорбер) и термоизолирующего слоя. Чем больше энергии солнца передаётся теплоносителю, в коллекторе, тем выше его эффективность.

Солнечные коллекторы с абсорберами, выставленными под углом к солнцу, установлены на крыше обслуживаемого дома. На каждое поле коллектора рассчитан контур с циркуляционным насосом. Контуров заполнены теплоносителем, соединенным с бойлером косвенного нагрева через теплообменник.

Для эффективного управления данной системой горячего водоснабжения используется автоматизированная система на базе коммуникационного контроллера ПЛК с двумя аналоговыми модулями ввода и вывода. Для осуществления вспомогательных процессов используются датчики давления.

Программируемый логический контроллер обеспечивает:

- нагрев бака
- переключение источников горячего водоснабжения
- контроль температуры воды на выходе
- контроль стабильности системы и аварийных ситуаций

Основной задачей контроллера является анализ показания датчиков, установленных в коллекторах и баке. Если температура воды в гелиоустановке ниже 50С, то горячая вода поступает в бойлер из городской сети. При возрастании температуры до 50С и выше, контроллер подает сигнал на клапаны, подача горячей воды переключается с городской сети на гелиоустановку.

Однако в особо жаркие дни температура в баке может значительно превышать норму, в таком случае температура снижается, путем подмешивания холодной воды в трубопровод, на выходе из бойлера через управляемый трехходовый клапан. Далее вода поступает потребителю. Если горячая вода в баке заканчивается, ПЛК переключает систему на городской источник.

Что бы избежать остывания воды в стояках, контроллер выполняет алгоритм рециркуляции. В следствии чего происходит существенная потеря тепла, чтобы избежать потерь, в системе реализуется алгоритм циклической рециркуляции. Для дополнительной экономии энергоресурсов вводятся суточные режимы температуры. В частности, в дневное время с 7:00 до 23:00 контроллер поддерживает температуру выше чем в ночное время, с 23:00.

Каждая система управления должна обладать надежной системой безопасности. Для диагностирования протечек и прорывов трубопроводов контуры гелиоустановки и горячего водоснабжения оборудованы датчиками давления.

Представленная автоматизированная система, регулирующая горячее водоснабжение с двумя источниками, позволяет снизить финансовые расходы на 40% в годовом исчислении, а расходы в весенне-летний период уменьшить на 72%. Так же использование солнечного коллектора, источника, работающего на альтернативном топливе, выгодно в плане экологии.

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОФИЛЯ

Реентович И.А., Околов А.Р., Глядко В.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Система охранной сигнализации должна обеспечивать следующие ступени охраны: вход в здание, отдельные охраняемые помещения, зоны или объекты особой охраны. Система подразумевает получение, обработку и хранение тревожных сигналов по всем зонам охраны и ведение журнала действий персонала.

В современных электронных системах охранной сигнализации и системах видеонаблюдения одной из главных задач является своевременное обнаружение проникновения (попытки проникновения) на охраняемые объекты, а также сбор, обработка, передача и предоставление в заданном виде потребителям информации о проникновении (попытки проникновения).

Система охранной сигнализации должна обеспечивать безопасность объекта, имущества, расположенного на объекте, а также лиц, которые могут находиться на защищаемом объекте.

Система охранной сигнализации административного здания состоит из следующих обязательных элементов:

- прибора приемно-контрольного охранного;
- технических средств охраны объекта;
- устройства оповещения и (или) блока передачи информации на пункт центрального наблюдения.

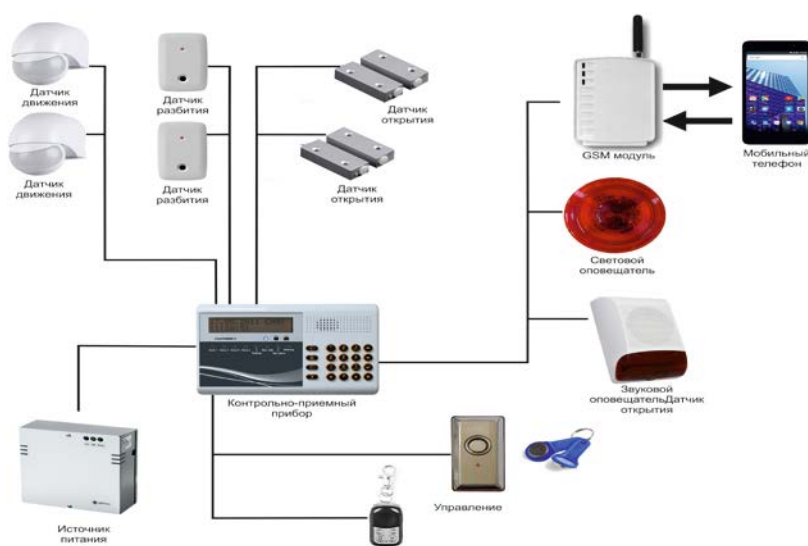


Рис. 1 Структура системы охранной сигнализации предприятия

Для охраны периметра и внутренних помещений используются:



– активные инфракрасные и пассивные инфракрасные извещатели движения;

– извещатели разбития стекла;

– магнитоконтактные и другие виды извещателей.

Пассивные инфракрасные извещатели движения срабатывают при попадании движущегося объекта, излучающего тепло (например, человека), в зону чувствительности датчика. Они отличаются, в основном, формой зоны чувствительности и устойчивостью к ложным срабатываниям. Зона чувствительности датчиков для систем охранной сигнализации представляет собой сектор (90°-110°).

Микроволновые датчики излучают и принимают отраженный сигнал поля СВ частоты. Ультразвуковые датчики излучают и принимают отраженный сигнал ультразвукового поля. Их отличает малая чувствительность, высокий уровень ложных срабатываний, зависимость настроек от перепадов температуры, сквозняка, акустических шумов, колебаний влажности.

Вибрационные датчики реагируют на наличие вибрации и ударов. Работают на основе пьезоэффекта или электромагнитной индукции.

Магнитоконтактные датчики относятся к самым простым и устанавливаются на оконные проемы, двери и люки. Существует две основные вариации: для наружной или скрытой установки. Обычно размещаются в верхней части дверного или оконного проема. Датчики представляют собой пару геркона и магнита, и срабатывают при движении двери или окна.

Прибор приемно-контрольный охранной и модули расширения предназначены для контроля состояния шлейфов ОС, с соответствующей индикацией состояния на индикаторах выносной панели управления. С помощью выносной панели управления осуществляется постановка/снятие с охраны шлейфов путем предъявления ключей пользователей, сброса тревог, программирования конфигураций прибора, индикацией на дисплее и звуковым оповещением встроенного зуммера о наличии тревог и системных неисправностей.

[1] Интегрированные системы безопасности [электронный ресурс]. Электронные данные. – <http://www.vinsit.ru/info/articles/securitysystem/001/>

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОБМЕН ОПЫТОМ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПРОГРАММАМИ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

**Журавлёва Е.Р., Гутич И.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Кафедра «Робототехнические системы» БНТУ участвует в проекте «Прикладные учебные программы в области космических исследований и интеллектуальных робототехнических систем» (APPLE, Erasmus +). В консорциум проекта входят ведущие университеты Европейского союза, а также университеты России, Беларуси и Казахстана.

Целью проекта является модернизация учебных программ и введение новых программ высшего образования в области освоения космических технологий и интеллектуальной робототехники.

Основные задачи проекта:

1. Обновление действующих учебных программ с учетом новейших тенденций в области разработки технических систем космической промышленности и интеллектуальной робототехники и в соответствии с ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System — Европейская система перевода и накопления баллов);

2. Разработка и внедрение цикла новых учебных программ и модулей в указанной области;

3. Разработка и введение в эксплуатацию новых робототехнических лабораторий ROBOLABs;

4. Создание сети TETRO, целью которой является маркетинг потребностей в области космических исследований и интеллектуальной робототехники, оказание услуг для различных целевых групп.

Проект направлен на усиление взаимодействия между ВУЗами и рынком труда, удовлетворение потребностей рынка труда, повышение уровня подготовки кадров в области космических и робототехнических технологий, содействие трудоустройству квалифицированной молодежи и профессиональному развитию обучающего персонала по новым учебным программам и методологиям в ИУЗах стран-участников проекта.

Инициатива по созданию проекта принадлежит Берлинскому техническому университету (Германия). Ее поддержали двадцать четыре организации, в том числе высшие учебные заведения Европы, такие как Университет Пьера и Марии Кюри (Франция), Университет Томаса Мора (Бельгия), Рижский технический университет (Латвия), Таллиннский технический университет (Эстония). От Республики Беларусь в проекте принимают участие Белорусский государственный университет, Белорусский национальный технический университет и Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Важными результатами участия в проекте кафедры робототехнических систем являются следующие:

- пересмотр и модернизация, изучение и адаптация учебных программ по материалам, предоставленным европейскими университетами и в соответствии с ECTS по выбранным курсам: «Моделирование робототехнических комплексов», «Автоматизированное проектирование», «Микропроцессорные системы управления», «Математическое и программное обеспечение промышленных роботов», «Механика промышленных роботов», «Электроника и схемотехника» и др. ;

- участие в мастер-классах и семинарах преподавателей кафедры РТС в Университете Томаса Мора (Бельгия), Берлинском техническом университете, Рижском техническом университете по следующим направлениям: основы проектирования печатных плат и POV программирование, программирование на С, системы VHDL/FPGA, цифровая обработка сигналов, энергосбережение, автоматизация технологических процессов, методологии создания учебных программ, и др.;

- участие в научно-методологической конференции в Рижском техническом университете;

- подготовка к введению в эксплуатацию новой робототехнической лаборатории, оснащенной современным оборудованием (3D-принтер PICASO Designer X Pro, 3D-сканнер RangeVision Smart, интерактивная доска Smart Board SBX880 и др.),

- внедрение в учебный процесс программного обеспечения: Node-RED (инструмент визуального программирования потоков для соединения аппаратных устройств, API-интерфейсов и онлайн-сервисов); EAGLE (автоматизированное проектирование печатных плат), Siemens Plant Simulation (программная среда имитационного моделирования систем и процессов) и др.;

- налаженное функционирование офиса TETRO по вопросам взаимного сотрудничества между университетами консорциума, заинтересованными партнерами в предметной области, профориентации учащихся.

В настоящее время ведется разработка учебных материалов, методических пособий, обучение преподавательского и вспомогательного персонала по предоставленным материалам европейских университетов, привлечение заинтересованных организаций в исследуемую область, организация совместных конференций.

Участие в проекте способствует интеграции национального образования в европейское, приобщению к современной материально-технической, программной и методической базе, налаживанию международных контактов. Пилотное обучение студентов по новым программам запланировано начать с сентября 2019 года.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕЙНИРИЗОВАННЫМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ**

**Дербан А.Н., Дербан Д.Н.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В современной информационной среде очень трудно обеспечить совместное функционирование и разработку программных продуктов без использования специальных организационно-программных модулей – контейнеров.

Контейнер, представляющий собой специализированный архив с необходимыми модулями программного обеспечения (ПО), которые могут включать в себя как исходные коды, так и программные библиотеки, а также системные и прикладные утилиты. Сгруппированное таким образом ПО помогает обеспечить надежное функционирование программных продуктов и сервисов, однако в рамках современной инфраструктуры развитых предприятий требуется согласованное развертывание и функционирования сразу нескольких контейнеров.

Установка и настройка необходимых наборов контейнеров как в рамках отдельно взятых серверных решений, так и в рамках кластеров и особенно облачных сред является более высоким уровнем администрирования информационных систем.

Наиболее популярным технологическим решением в области использования контейнеризованных приложений, основанным на использовании открытых программных продуктов является платформа Kubernetes. Ключевым элементом этой платформы является модуль (pod), который может включать в себя один или несколько контейнеров, а также любые необходимые им для функционирования совместные ресурсы. Модули могут быть развернуты в рамках узлов (nodes), которые представляют собой как физические, так и виртуальные машины.

Kubernetes автоматически балансирует нагрузку между всеми модулями, кроме того позволяет упростить масштабирование модулей на базе простого их перемещения или репликации в кластере. Появляется возможность отслеживания отказов в работе модулей и оперативной их замены, что очень важно для высоконагруженных сервисов, постоянно функционирующих в реальном времени. Модули могут быть как исполняемые (программные), так и для хранения информации, что позволяет администрировать приложения и сами базы данных более эффективным образом.

На данный момент существует ряд облачных решений, предоставляющих Kubernetes ориентированные решения для реализации концепции инфраструктура или платформа как сервис (IaaS или PaaS): Amazon EKS, Microsoft Azure Kubernetes Service.

## **ОТКРЫТАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (ROS)**

**Дербан А.Н.<sup>1</sup>, Бусько А.М.<sup>2</sup>**

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

ROS (Robot Operating System) предоставляет открытые программные решения, распространяемые на базе самой либеральной программной лицензии BSD (Berkley Software Distribution). ROS включает в себя: требования и описания аппаратных интерфейсов, драйвера, визуализаторы, парсеры, менеджеры пакетов и т.д., что позволяет упростить создания различных программных продуктов в области робототехники.

Ключевыми элементами ROS являются: общие средства коммуникации, специфичные программные решения для роботов, локация и навигация, а также набор сервисных утилит.

Коммуникационный уровень предусматривает реализацию системы передачи сообщений, которая нацелена на реализацию понятного интерфейса между узлами робототехнической системы с возможностями записи и воспроизведения сообщений, удаленного вызова программных процедур, а также распределенной обработки параметров функционирования системы.

Реализация специфичных программных решений для роботов, прежде всего, предусматривает унификацию формата описаний для различных робототехнических компонент. Например, стандартизированы описания, связанные с геометрическими характеристиками робота, его пространственными конфигурациями, положением сенсоров или камер, направлением перемещений и т.д., что в свою очередь упрощает реализацию программного обеспечения на прикладном уровне. Для использования описания роботов в ROS используется формат URDF (Unified Robot Description Format), представляющий собой структурированный документ, описывающих физические характеристики робота на основе детализации данных о его сочленениях, что в дальнейшем позволяет реализовать различные варианты 3D визуализаций.

ROS содержит ряд включенных по умолчанию модулей, нацеленных на решение общих робототехнических задач: определение позиции робота, разработка карт, позиционирование на карте, а также мобильная навигация.

Одной из особенностей ROS является наличие диагностических модулей и утилит, призванных упростить процедуры мониторинга и отладки разработанных программных продуктов в области робототехники

## ЗАЩИТА ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПОМОЩИ RFID МЕТОК

**Юденков В.С., Астафьев И.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Использование RFID-меток в области защиты полиграфической продукции оправдано для достаточно дорогих товаров, таких как книжная продукция, журнальная или любая другая, обладающая достаточно высокими ценовыми показателями. Связано это в первую очередь со стоимостью самих RFID-меток в сравнении с другими способами идентификации и защиты продукции. В качестве аппаратных средств на стороне покупателя предлагается использовать мобильные устройства с технологией NFC, на стороне производителя продукции платы Arduino с RFID-программаторами. Предлагаемое аппаратное решение объясняется универсальностью и относительной дешевизной. В качестве программных средств предложено реализовать классическую распределенную систему, в которую входит база данных, front-end и back-end сервера, а также клиентские программные средства для мобильных устройств и программаторов на основе Arduino.

На основании приведенного анализа RFID систем, функциональная схема RFID-программатора приведена на рисунке 1.

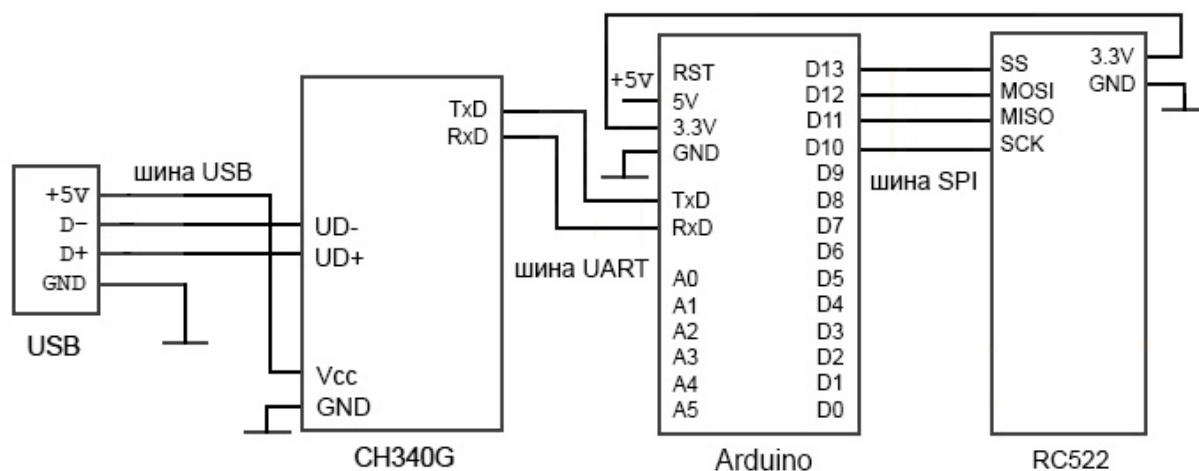


Рисунок 1 – Функциональная схема RFID-программатора

Чип CH340G отвечает за преобразования данных с USB-UART, обеспечивая возможность подключения платы к компьютеру через USB-порт. Arduino выступает в качестве основного устройства для обработки полученных результатов работы с модулем RC522, задает управляющий сигнал для RC522 модуля. RC522 в свою очередь непосредственно

занимается считыванием и записью информации в RFID-метки. Данные между Arduino и RC522 передаются с через SPI шину.

Далее следует определиться каким образом использовать доступную память RFID-метки и внутри какой программной системы считанные с метки данные будут обрабатываться. В настоящее время чаще всего для таких целей применяются распределенные системы [4]. Данные системы могут включать в себя такие структурные элементы как облачное вычислительное хранилище (включает в себя базы данных, back-end и front-end сервера) и клиентские устройства с необходимым аппаратным (считыватели RFID-меток) и программным обеспечением для взаимодействия с серверной частью системы. Пример структуры распределенной системы представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структура распределенной системы

Клиентская часть со стороны покупателя продукции может быть реализована на основе технологии NFC (Near field communication, актуально только для RFID-меток работающих на частоте 13,56 МГц). Данная технология реализована во многих современных смартфонах, что делает систему в целом более доступной и удобной для реализации.

1. Верзун, Н. А. Информационные технологии и телекоммуникации / Н. А. Верзун, Д. М. Воробьева, А. М. Колбанёв, М. О. Колбанёв. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 1–11.

2. Хабрахабр. [Электронный ресурс] : Взгляд изнутри: RFID и другие метки. – Режим доступа : – <https://habr.com/post/161401/>. – Дата доступа : 24.10.2018.

3. Машин, Б. RFID-технологии на службе вашего бизнеса / Б. Машин, М. Шахрам. – Москва: «Альпина Паблишер», 2007. – 290 с.

4. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – Питер, 2003. – 877 с.

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА И УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ

**Гурский Н.Н., Артющик В.С., Скачек В.А., Скачек А.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Мехатронные системы стремительно расширяют область применения. Они начинают интенсивно использоваться для реализации высокотехнологичных процессов в различных отраслях промышленности, качественного улучшения характеристик широкого спектра разнообразных объектов. Применение мехатронного подхода при создании устройств и машин определяет их основные преимущества по сравнению с традиционными электромеханическими системами: высокую точность реализации сложных движений, высокую степень интеграции, высокую надежность, долговечность, помехозащищенность и быстрое перепрограммирование для выполнения требуемых операций.

В настоящей работе рассматриваются компьютерные технологии построения робота-манипулятора, включающие математические, алгоритмические и аппаратно-программные средства для создания многоприводной мехатронной системы под управлением промышленного микроконтроллера фирмы OMRON.

Для достижения поставленных задач выбрана кинематическая схема двухзвенного манипулятора, разработана его математическая модель и программная поддержка моделирования заданных траекторий движения рабочего органа на плоских и пространственных имитационных моделях, приведенных на рисунках 1 и 2.

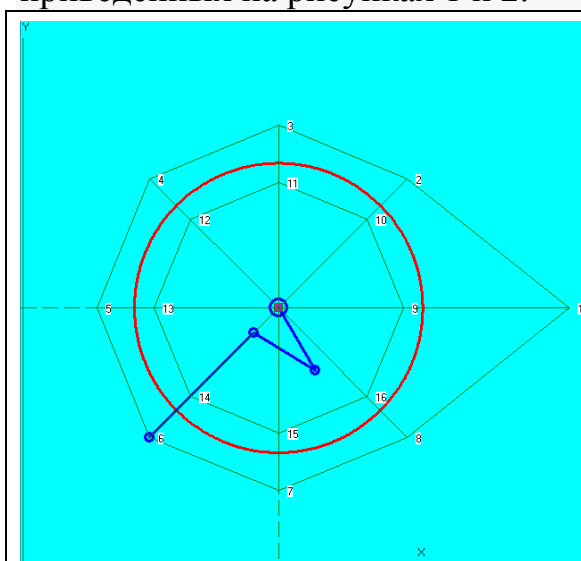


Рисунок 1 –Плоская модель манипулятора и траектория движения рабочего органа

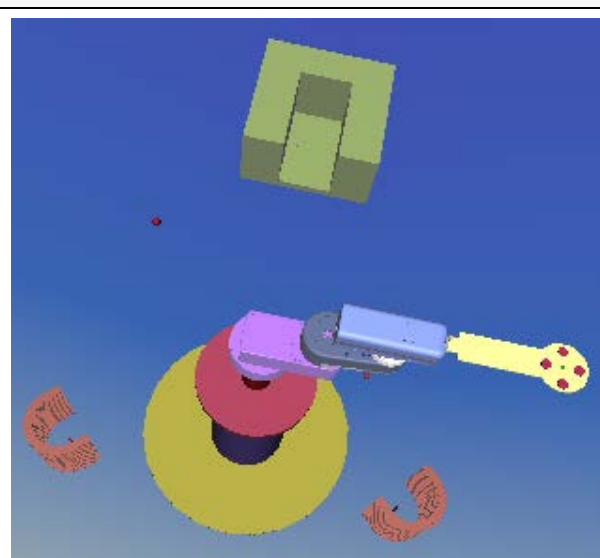


Рисунок 2 – 3D модель манипулятора



Программная реализация плоской модели, выполненная в среде Embarcadero RAD Studio, позволяет задавать траекторию движения манипулятора и пошагово отслеживать положения его звеньев. Пространственная имитационная модель манипуляционного механизма реализована в программной системе Matlab-Simulink. Она дает возможность наблюдать качественную сторону динамического состояния манипулятора и ускоряет процесс проектирования реальной конструкции.

Для разработки проектно-технической документации робота манипулятора использовалась САД система КОМПАС. Внешний вид электромеханической конструкции манипулятора приведен на рисунке 3.

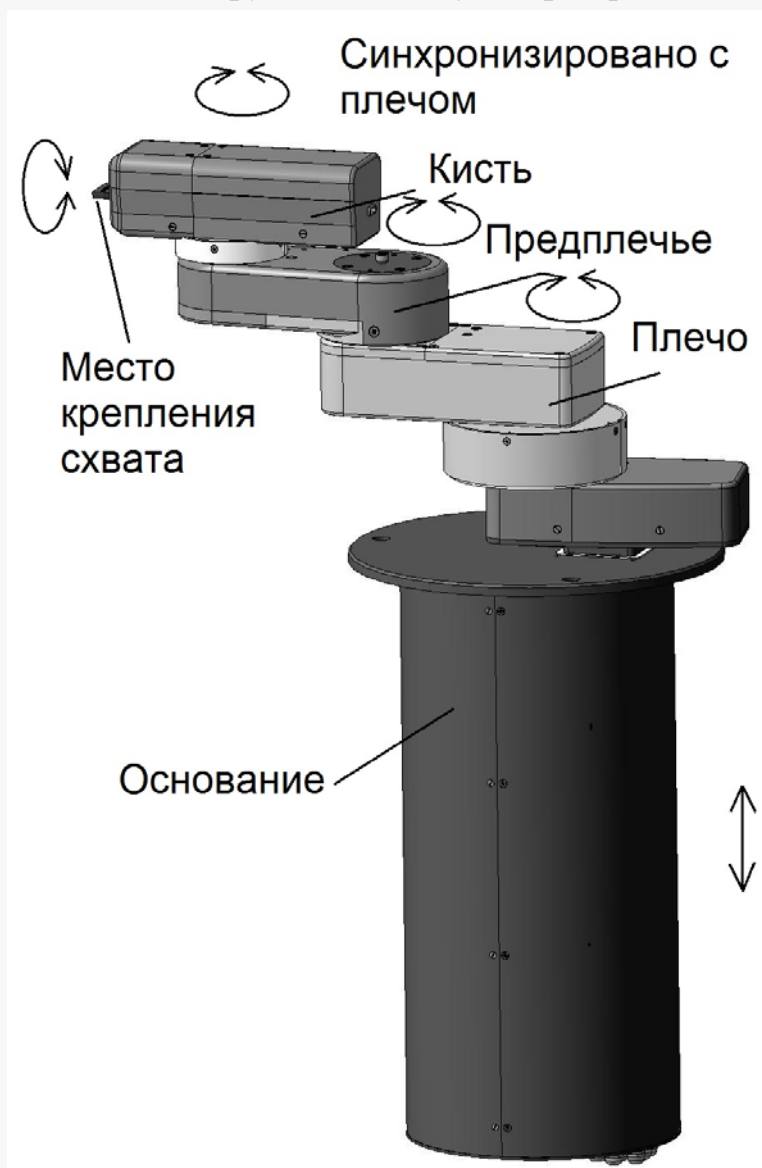


Рисунок 3 - Внешний вид робота манипулятора

Работу манипулятора в режиме реального времени обеспечивает микроконтроллер с защитой в его память управляющей программой, основу функциональности которой составляет код, отлаженный на этапе моделирования. Для программирования микроконтроллера Omron

использовалась среда Sysmac Studio Automation, поддерживающая язык релейно-контактной логики.

Обобщенная схема мехатронной системы управления роботом манипулятором, ее взаимодействия с внешним окружением показана на рисунке 4.

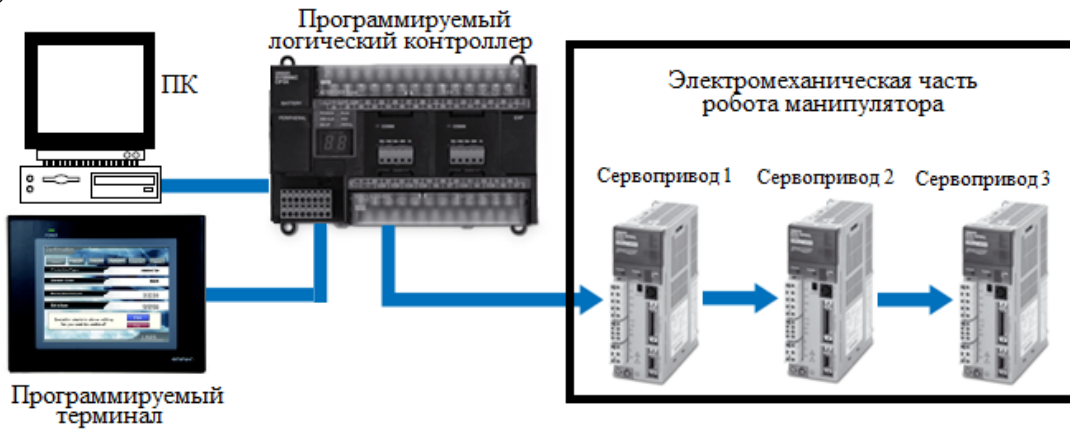


Рисунок 4 – Обобщенная схема мехатронной системы

Для промышленного использования разработанной мехатронной системы требуется дополнить ее средствами управления, необходимыми в период наладки и эксплуатации. Для этого используются программируемые терминалы с интерфейсными элементами и элементами анимации. На рисунке 5 показан главный экран такого терминала.

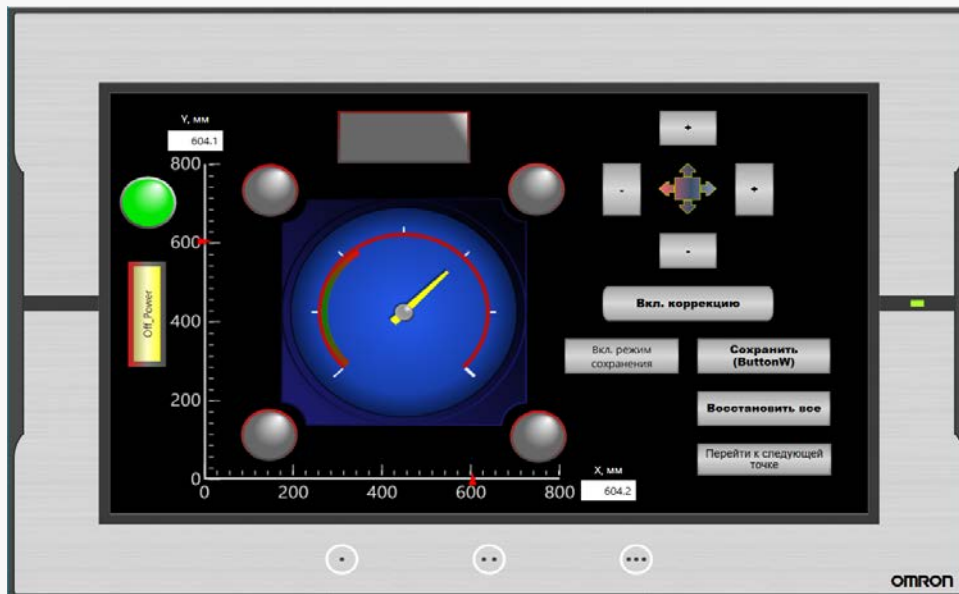


Рисунок 5 – Внешний вид экрана терминала управления манипулятором

Разработанная мехатронная система робота манипулятора может быть технологически ориентирована на решение других задач промышленного производства.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ВЫПАДЕНИЯ НА ДНО ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ (РЕКАХ И КАНАЛАХ) РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Качанов И.В., Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Рабченя В.С.,  
Пастушек О.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

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

В результате проведения аналитического обзора современной научно-технической литературы по вопросам транспортирующей способности взвесенесущих потоков были разработаны три методики определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на реках и каналах с целью определения зоны вредного воздействия.

Первая методика (№1) определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц основана на использовании теории турбулентной диффузии и графоаналитическом решении системы уравнений турбулентной диффузии с конечной скоростью [1]. Эта методика является основной и позволяет определить среднее значение расстояний выпадения на дно взвешенных частиц с определенным процентным содержанием их в потоке воды и с определенной гидравлической крупностью взвешенных частиц. На рисунке 1 показана схема распространения взвешенных частиц в турбулентном потоке.

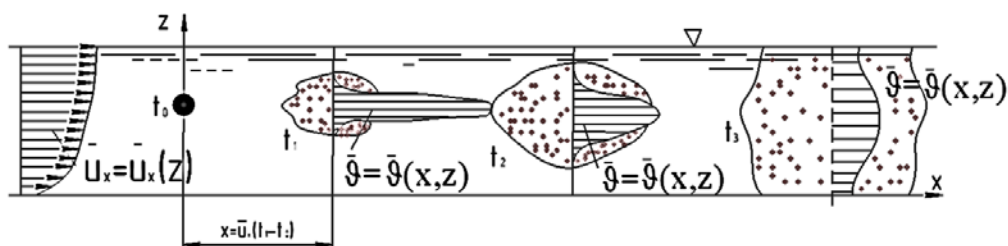


Рисунок 1 – Схема распространения взвешенных частиц в турбулентном потоке

Применение этой методики ограничено возможностями графоаналитического решения системы уравнений турбулентной диффузии (1) с конечной скоростью и относительной гидравлической крупностью взвешенных частиц в пределах  $w_r = 0,1 \div 5$ .

$$\begin{cases} \frac{\partial g_1}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial g_1}{\partial x} + (u_z'' - w) \frac{\partial g_1}{\partial x} = -w^{(L)} g_1 + w^{(L)} g_2; \\ \frac{\partial g_2}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial g_2}{\partial x} + (u_z'' - w) \frac{\partial g_2}{\partial x} = -w^{(L)} g_1 + w^{(L)} g_2. \end{cases} \quad (1)$$

Вторая методика (№2) определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц  $L_p$  основана на использовании эмпирической теории движения наносов [2] с применением следующего уравнения:

$$L_p = \frac{(p')^2 g^2 (\sqrt{h} - 0.2)^2}{2.74^2 w^2} \quad (2)$$

Эта методика позволяет определять расстояние, на котором произвольно взятая частица любых размеров и гидравлической крупности падает на дно. Однако эта методика даёт ориентировочные (завышенные) значения, так как не учитывает основные характеристики самого русла водотока.

Третья методика (№3) определения расстояний выпадения на дно взвешенных частиц  $L_p$  с использованием формулы (3).

$$L_p = \alpha H_p v_{cp} / w \quad (3)$$

Методика основана на использовании теории расчета гравитационных отстойников. Это методика использует осредненные параметры взвесенесущего потока; она достаточно проста в использовании, даёт значения расстояний выпадения взвешенных частиц, которые неплохо коррелируют с данными расчета по методике №1. При невозможном использовании методики №1 методика №3 может быть взята за основную. В противном случае используется методика №2.

Каждая из трех методик может быть использована в расчетах размеров зон вредного воздействия для любых водотоков Республики Беларусь.

1. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учеб. пособие / А.Д. Гиргидов – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2007. – 545с.
2. Богомолов, А.И. Гидравлика: учеб. пособие / А.И.Богомолов; К.А. Михайлов. – Москва: Стройиздат, 1972. –6

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА КОНУСНОСТИ КОНФУЗОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

**Качанов И.В., Жук А.Н., Веремеиук В.В., Филипчик А.В.,  
Шаталов И.М., Ковалевич В.С.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Наиболее эффективным и универсальным способом очистки металлических поверхностей от коррозии является гидроабразивный способ (ГАО) с реверсивной струйной очисткой (РСО). Основным рабочим элементом установки ГАО с РСО является конфузор [1], позволяющий сформировать струю рабочей жидкости с заданными энергетическими характеристиками. Оптимальный профиль конфузора определяется углом его конусности  $\alpha$ .

С целью математического обоснования оптимального угла конусности  $\alpha$  конфузора струеформирующего устройства была решена вариационная задача по минимизации потерь напора в потоке жидкости, проходящей через конфузор. При расчете конфузора полная потеря напора на трение определялась как сумма двух видов потерь: потерь напора на трение по длине  $h_{mp}$  и местных потерь напора на плавное сужение  $h_{n.c}$ . [2, 3], т. е.

$$h = h_{mp} + h_{n.c} \quad (1)$$

Потеря напора на трение по длине рассчитывалась с использованием формулы Дарси-Вейсбаха, записанной в дифференциальном виде. Для расчета принимался цилиндрический конфузор с прямолинейной образующей и углом  $\alpha$  при вершине (рисунок 1).

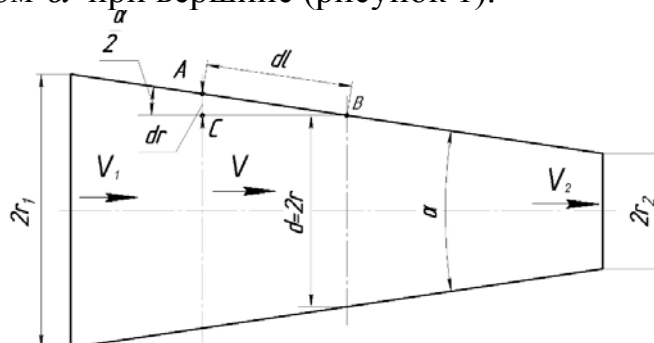


Рисунок 1 – Расчётная схема конфузора, принятая для определения оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$

Для элементарного отрезка конфузора  $dl = \frac{dr}{\sin \alpha/2}$ , можно записать следующую формулу для определения потерь напора на трение по длине:

$$dh_{mp} = \lambda \frac{dl}{2r} \cdot \frac{v^2}{2g} = \left( \frac{0,2326}{r^2} + \frac{55,6}{\sqrt{A} \cdot r^{4,5}} + \frac{7,9927}{A^{0,2135} \cdot r^{4,7865}} \right) \frac{Bdr}{\sin \alpha/2} \quad (2)$$

Гидравлический коэффициент трения  $\lambda$  определялся по формуле П. К. Конакова, а при расчёте местных потерь напора на плавное сужение использовалась классическая формула Вейсбаха [3]:

$$h_{n.c.} = \zeta_{n.c.} \frac{v_2^2}{2g} = \left[ \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot \left( 0,6(\sin \alpha/2)^{3,45} + \frac{0,0138}{\sin \alpha/2} + 0,13 \right) \right] \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

где  $\zeta_{n.c.}$  – коэффициент гидравлического сопротивления на плавное сужение, который определялся в соответствии с рекомендациями [2, 3].

Тогда зависимость для определения полной потери напора на трение в конфузоре после интегрирования примет следующий вид:

$$h(\alpha) = \frac{C_{mp}}{\sin \alpha/2} + \left( 0,6 \cdot (\sin \alpha/2)^{3,45} + \frac{0,0138}{\sin \alpha/2} + 0,13 \right) \cdot C_n \quad (4)$$

$$\text{где } C_n = \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}; \quad A = \frac{2\rho v_2 \cdot r_2^2}{\mu}; \quad B = \frac{0,00405 \cdot v_2^2 \cdot r_2^4}{g}; \quad B_1 = \frac{0,00405 \cdot v_2^2}{g};$$

$$C_{mp} = B_1 \left[ 0,0582 \cdot (1 - n^4) + \frac{15,886 \cdot (1 - n^{3,5}) \sqrt{r_2}}{\sqrt{A}} + \frac{2,111 \cdot (1 - n^{3,7865}) \cdot r_2^{0,2135}}{A^{0,2135}} \right]$$

В результате исследования на экстремум выражения (4) получим зависимость для определения оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$ :

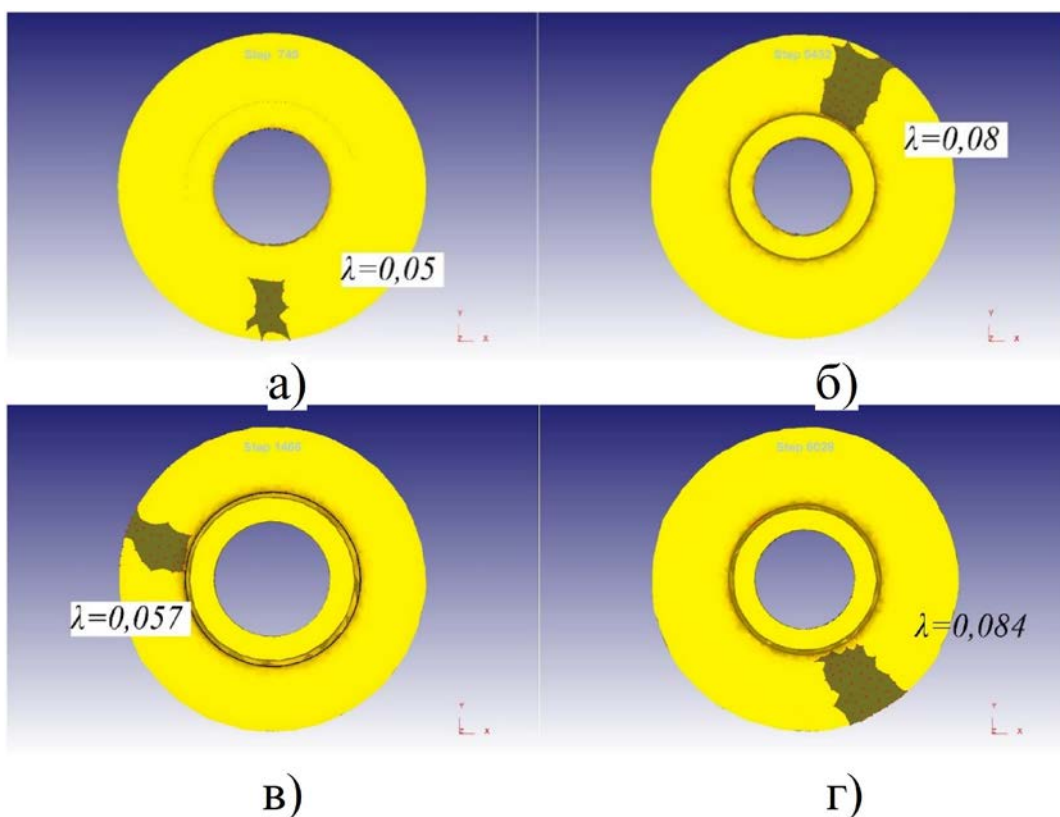
$$\alpha_{opt} = 2 \arcsin \left( \frac{C_{mp} + 0,0138 C_n}{2,07 C_n} \right)^{\frac{4}{19}} = 2 \arcsin \left( \frac{C_{mp}}{2,07 C_n} + 0,0067 \right)^{\frac{4}{19}} \quad (5)$$

Анализ расчётов (5) показывает, что для конструктивно обоснованных значений параметров, входящих в формулу (5), минимальные потери напора и как следствие, максимальное воздействие струи рабочей жидкости, будет отмечаться при значении угла конусности  $\alpha_{opt} = 39 \div 43^\circ$ .

1. Способы очистки металлических поверхностей: пат. №21512, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/04 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, А.В. Филипчик, А.С. Исаенко; дата публ. 30.12.2017.
2. Альтшуль А.Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). – М.: Стройиздат, 1975. – 323с.
3. Альтшуль А.Д., Гидравлические сопротивления. -М.:Недра, 1982. – 224с.







1 переход: а) в начале деформирования; б) в конце деформирования  
 2 переход: в) в начале деформирования; г) в конце деформирования

Рисунок 2 – Модели 1 и 2 перехода с обозначенным пятном контакта заготовки и обкатывающего пуансона

Как видно из рисунка 2 параметр  $\lambda$  находится в предельном значении уже на начальной стадии деформирования, причем для 2 перехода его значение даже выше рекомендуемого. В процессе штамповки пятно контакта неизбежно увеличивается, что ведет к росту технологического усилия.

Таким образом, исследования показали, что для снижения технологического усилия и уменьшения локального очага деформации при сферодвижной штамповке рассмотренного конического зубчатого колеса рекомендуется увеличение угла обкатки.

1. Живов, Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников, Е.Н. Складчиков: Учебник для вузов; под ред. Л.И. Живова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с.: ил.



## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКИ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Качанов И.В.<sup>1</sup>, Кудин М.В.<sup>2</sup>, Ленкевич С.А.<sup>1</sup>, Шаталов И.М.<sup>1</sup>,  
Быков К.Ю.<sup>1</sup>, Кособуцкий А.А.<sup>1</sup>**

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

2) Белорусская государственная академия авиации, Минск, Республика  
Беларусь

Зачастую внедрение нового технологического процесса штамповки сопряжено с рядом трудностей по оптимизации технологических параметров процесса. Отработка технологии требует корректировки исходной заготовки, штампового инструмента и оптимизации технологического режима, что ведет к значительным материальным затратам. Однако развитие современных программных продуктов позволяет минимизировать эти затраты оптимизацией технологических параметров с учетом изменившейся геометрии заготовки и штампового инструмента путем компьютерного моделирования.

В проведенных исследованиях, к основным технологическим параметрам, которые требовали оптимизации были отнесены: шаг подачи матрицы в осевом направлении, число оборотов обкатывающего пуансона, технологическое усилие и производительность.

Корректировка исходной геометрии заготовки и штампового инструмента производилась при помощи компьютерных моделей в DEFORM-3D для последующего внедрения нового технологического процесса в производство.

С учетом технических характеристик сферодвижного прессы "SCHMID" модели T300 и рекомендаций производителя для оптимального режима работы оборудования число обкатывающих движений пуансона не должно превышать 600 об/мин, а технологическое усилие 3000 кН. Угол обкатки  $\gamma$  составлял  $1^\circ$ .

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что с точки зрения оптимизации числа обкатывающих движений пуансона с обеспечением максимальной производительности процесса, предпочтительно отработку технологии вести при максимальных оборотах  $n=600$  об/мин.

Как показали экспериментальные данные, поломка штампового инструмента (матрицы) может происходить при превышении технологического усилия свыше 3000 кН при штамповке конических зубчатых колес из стали 20 ХНР.

Зависимости на рисунке 1 позволяют выбрать оптимальную скорость деформирования при которой будет исключена возможность разрушения

матрицы на 1 переходе (рисунок 1, а) и 2 переходе (рисунок 1. б) и будет обеспечена максимальная производительность технологического процесса.

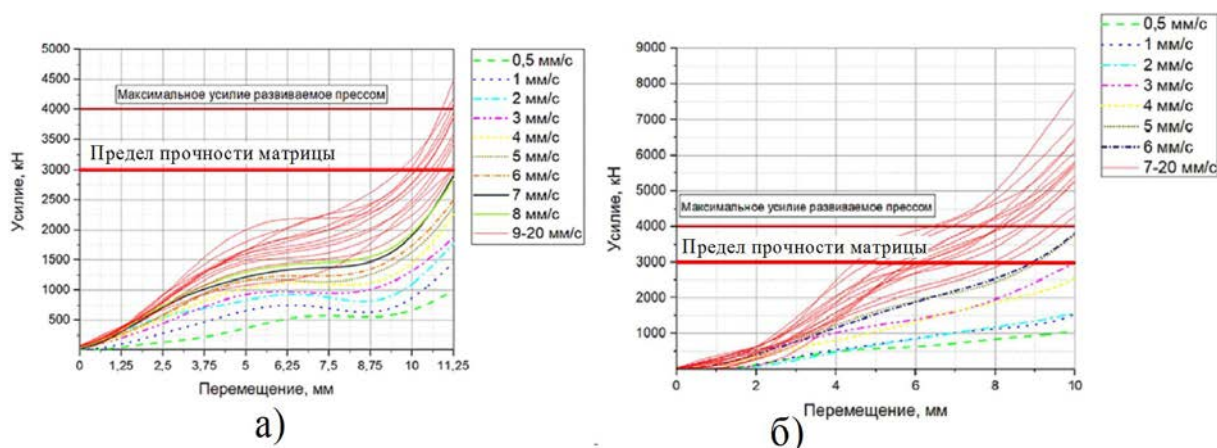


Рисунок 1 - Зависимости технологического усилия при увеличении скорости деформирования на 1 переходе а) и 2 переходе б) с частотой обкатки ( $n=600$  об/мин)

Данные зависимости косвенно могут служить ориентиром для оценки влияния повышенных скоростей деформирования на упрочнение металла.

Из зависимостей на рисунке 1, б) видно, что на 2 переходе металл деформируется в стесненных условиях и при повышении скорости деформирования быстро упрочняется. Поэтому при отработке реального технологического процесса выбор значения скорости деформирования следует снижать на 50% относительно приведенных зависимостей, а решение о повышении скорости деформирования принимать, основываясь на результатах стойкости матрицы от количества качественно отштампованных поковок.

При неудовлетворительной заполняемости зубчатого венца на втором переходе следует постепенно повышать технологическое усилие на 10 - 30% при скорости деформирования не превышающей  $v=2$  мм/с.

Таким образом установлено, что усилие сферодвижной штамповки, при правильно выбранной подаче, будет возрастать равномерно до максимального к концу штамповки без разрушения штампового инструмента и привод качения не будет испытывать пиковых нагрузок в процессе штамповки, а производительность достигнет оптимального значения.

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ГДУ-3 ДЛЯ СКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ

**Качанов И.В., Власов В.В., Ленкевич С.А.<sup>1</sup>, Кудин М.В.<sup>2</sup>**

1).Белорусский национальный технический университет

2).Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

Анализ существующих в настоящее время способов и технологий, изготовления инструмента показывает, что они являются неэкономичными, т.к. характеризуются низким коэффициентом использования дорогостоящих инструментальных сталей и значительными припусками на механическую обработку. Несмотря на известные успехи в разработке и создании новых сталей и сплавов, стойкость инструмента остается относительно невысокой.

В БНТУ на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» разработаны техпроцессы создания биметаллического стержневого инструмента, предназначенного для осуществления операций горячей и холодной штамповки [1].

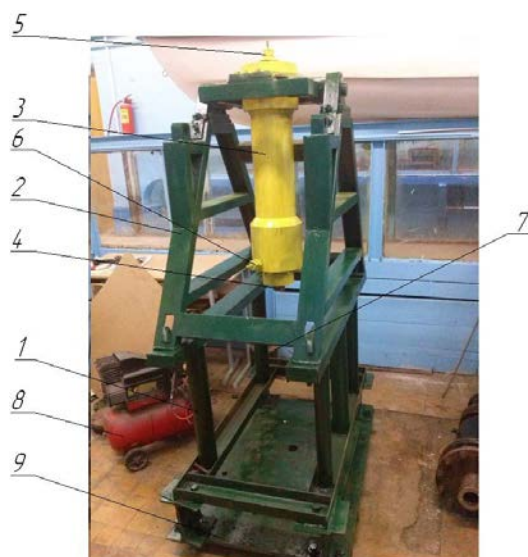
Существенным инновационным моментом в разработанных техпроцессах является формирование сварного соединения разнородных сталей на основе диффузионного переноса легирующих элементов в зоне соединения, что обеспечивает высокое качество и прочность соединения.

Весьма важным моментом при разработке технологии СГВ биметаллического плоскоступенчатого инструмента является прогнозирование таких параметров, как номинальная энергия пуансона  $E_{п}$ , пиковые нагрузки, действующие на пуансон  $P_{пmax}$  и матрицу  $P_{мmax}$ , действительная энергия пуансона  $E_0$  и др. [2]. Достижение заданных параметров на практике обеспечивается на установке ГДУ-3 (рис. 1) с помощью закачки энергоносителя в штоковую и бесштоковую полости заданных объема и начального давления, подбором массы промежуточного бойка, регулировкой хода поршня и пр.

Конструкция рамы 1 установки ГДУ-3 изготовлена сварной из швеллеров №22 в виде верхней и нижней обвязки со стойками из трубы  $\varnothing 50 \times 5$  мм, расположенными с 4-х сторон по периметру каркаса. Рама 1 с помощью болтов зафиксирована на основании 9.

На раму установлен и зафиксирован корпус 2, в котором смонтирован энергоузел 3. Выдвижение штока 4 по замерам его длины подтверждает крайние положения поршня с ходом 380 мм, что соответствует проектным значениям согласно разработанной КД на энергоузел.

Энергоузел представляет собой сборочную единицу, состоящую из гильзы, крышки, штока, собранного совместно с поршнем при помощи гайки и шайбы.



1 – рама; 2 – корпус; 3 – энергоузел; 4 – шток; 5 – ниппель для закачки энергоносителя в бесштоковую полость; 6 – ниппель для закачки энергоносителя в штоковую полость; 7 – матрица-держатель; 8 – компрессор; 9 – основание

Рисунок 1 – Внешний вид установки ГДУ-3

Герметичность поршневой и штоковой полостей обеспечивается уплотнительными кольцами, создающими надежную герметизацию штоковой и бесштоковой полостей при работе на гремучей смеси. Однако такой вид уплотнений создает относительно высокое сопротивление движению поршня, что потребовало установления точных значений давления страгивания поршня на рабочем (вниз)  $P_{сн}$  и обратном (вверх)  $P_{св}$  ходах, а также давлений, при котором поршень приобретает установившееся равномерное движение.

Для испытаний энергоузла на рабочий ход использовался лопастной компрессор с аксиальным расположением лопастей, позволяющий обеспечивать рабочее давление в пневмосистеме до 3000 кПа.

Показания манометра, расположенного на рукоятке пистолета компрессора, в момент страгивания поршня на ходе вниз находились на отметке 6,4 атм ( $P_{сн} = 640$  кПа), на ходе вверх – 7,2 атм ( $P_{св} = 720$  кПа). Равномерное движение поршня зафиксировано при давлении  $P = 600$  кПа при движении поршня сверху вниз.

Таким образом, при работе в составе с электролизером, необходимо увеличивать расчетное давление закачки энергоносителя в штоковую и бесштоковую полости энергоузла соответственно на 640 кПа и 720 кПа.

1. Качанов, И.В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И.В. Качанов; под ред. Л.А. Исаевича. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 327с. – ISBN 985 – 464 – 225 – 9.

2. Здор. Г.Н. Технологии высокоскоростного деформирования материалов: монография / Г.Н. Здор, Л.А. Исаевич, И.В. Качанов. - Минск: БНТУ, 2010. - 456 с.

## **МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ И ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

**Акула И.П.<sup>1</sup>, Адашкевич С. В.<sup>2</sup>, Стельмах В.Ф.<sup>2</sup>, Чекан Н.М.<sup>1</sup>,  
Маркевич М.И.<sup>1</sup>, Чапланов А.М.<sup>1</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>3</sup>**

- 1) ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь
- 2) УО «Белорусский государственный университет», Минск, Республика Беларусь
- 3) Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

С развитием промышленности текстильные материалы стали использоваться в спецодежде, авиакосмической, автомобильной, нефтехимической промышленности и т.д. Углеродные материалы и композиты на их основе по своим уникальным характеристикам относятся к перспективным материалам и для медицинской промышленности.

В данной работе пленки аморфного углерода наносились на лавсановую ленту на установке УВНИПА 1-002 методом импульсного катодно-дугового осаждения в вакууме  $3,5 \cdot 10^{-3}$  Па. Перед нанесением покрытия лавсановая лента промывалась в ультразвуковой ванне в этаноле. При напряжении основного разряда 300 В энергия импульсов разряда составляла около 95 Дж.

Во избежание перегрева тонкого полимерного материала длительность импульса составила 0,5 мс, частота следования разрядных импульсов составляла 3 импульса в секунду.

Использовалась графитовая мишень из высокочистого графита МПГ - 6 с плотностью  $1,7 \text{ г/см}^3$  при пористости не более 15%. Температура подложки составляла  $100 \pm 10^\circ\text{C}$ . Толщина покрытий, определенная с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4, составляла 230 нм.

На рисунке 1 приведена морфология и элементный состав покрытия. Как следует из рисунка 1а, нанесенное углеродное покрытие является квазиаморфным и неоднородным по толщине, состоящим из отдельных чешуек, разделенных между собой трещинами и изломами. По - видимому, при формировании покрытия возникают упругие напряжения в системе подложка – осажденное углеродное покрытие, приводящее к его растрескиванию.

Исследовалась также морфология поверхности частиц кремния в результате лазерной абляции в жидкости. В качестве мишени использовали поликристаллический кремний, а в качестве среды, в которой находилась мишень, применяли дистиллированную воду. Жидкость принудительно не перемешивали. Для обработки материала использован лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм,

генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс, частота 10 Гц, энергия одиночного импульса ~0,05Дж.).

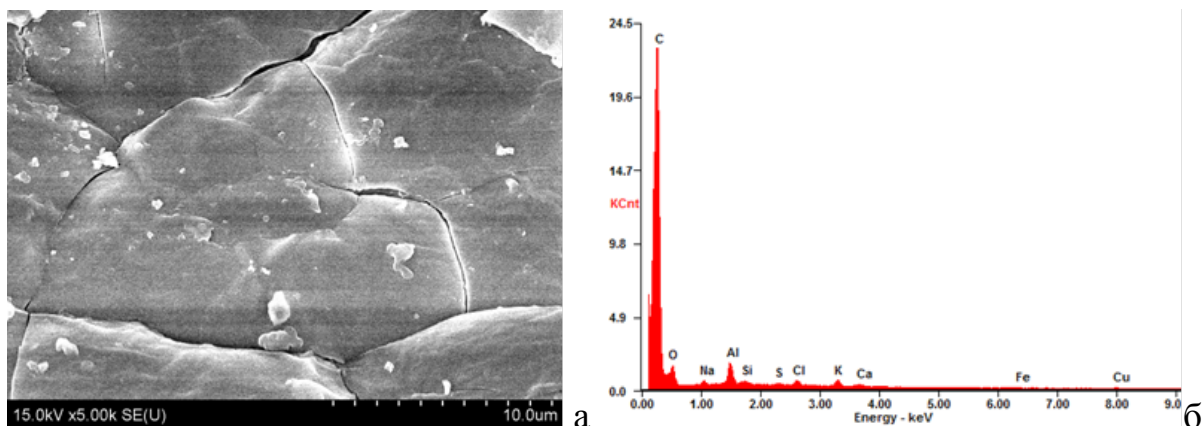


Рисунок 1- Морфология (а) и элементный состав (б) углеродного покрытия, нанесенного на поверхность лавсана

Мишень облучали лазерным излучением в интервале энергий 60–240Дж при временах экспозиции от 1 до 4 мин. При воздействии импульсного лазерного излучения на поверхность мишени происходит испарение материала мишени и образование плазменного факела.

В эрозионный лазерный факел также поступает мелкодисперсная конденсированная фаза материала мишени, попадает в окружающую водную среду. На поверхности мишени образуются кратер в результате многократного импульсного лазерного воздействия (рисунок 2).

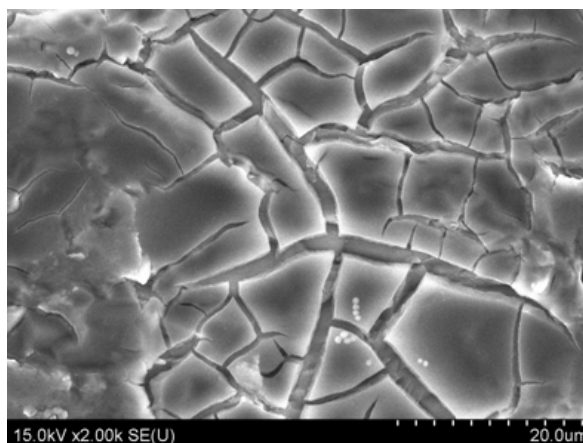


Рисунок 2- Морфология поверхности кратера кремниевой мишени после лазерного воздействия

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ЛЕГКООКИСЛЯЕМЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИПОЛЯРНЫХ МИКРОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

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

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Электрохимическая обработка легкоокисляемых металлов (таких как алюминий, титан, цирконий, магний, ниобий) и сплавов на их основе в современных процессах полирования, глянцеваания и очистки изделий медицинского назначения, деталей машино- и приборостроения имеет ряд специфических проблем. Известна высокая склонность таких материалов к пассивации и образованию в дальнейшем устойчивой окисной плёнки, для пробоя которой необходимо использовать источники высоких напряжений. После её пробоя необходимо снизить напряжение на электродах до уровня, обеспечивающего устойчивый анодный процесс. Обработка легкоокисляемых материалов вследствие указанных причин становится неустойчивой, система может перейти в автоколебательный режим с положительным коэффициентом обратной связи.

Процессы, связанные с анодным растворением и пассивацией при обработке таких материалов, развиваются не сразу, а с различной динамикой в микро- и миллисекундном диапазоне времен. Исследования показали, что улучшения условий протекания процесса обработки можно достичь, используя импульсные режимы обработки [1]. Они создают предпосылки для стабилизации условий и реализации системы управления процессом обработки легкоокисляемых материалов с более устойчивыми характеристиками регулирования. Поэтому, варьируя амплитудой, полярностью и длительностью импульсов тока в этом временном диапазоне, можно сформировать анодный потенциал, обеспечивающий оптимальное соотношение скоростей растворения и пассивационных процессов. Длительности пауз между импульсами также оказывают влияние на протекающие процессы. Для каждой пары «анодный материал – электролит определенного состава» скорости развития процессов разные. Также отличаются и оптимальные величины потенциалов для электрохимической обработки. Соответственно отличаются и амплитудно-временные параметры импульсов тока (амплитудная плотность тока, длительности импульса и паузы между импульсами), обеспечивающие, например, наивысшую скорость растворения материала, или качество сглаживания микрорельефа поверхности при электрохимической полировке. Кроме того, открывается возможность использования менее агрессивных и более дешёвых солей фтора, вместо плавиковой кислоты.

По результатам проведенных ранее исследований при использовании импульсных токов с миллисекундной длительностью импульсов (от 0,1 до 100 мс) значительное снижение шероховатости поверхности и существенное повышение отражательной способности были достигнуты для технически чистого алюминия, алюминиевых сплавов Д16Т, В95 и АД31, а также для технически чистого титана ВТ1-0. Причем обработка титана выполнялась в электролите, не содержащем плавиковую кислоту. При обработке других титановых и алюминиевых сплавов с применением указанного диапазона длительности импульсов на поверхности формировался оксидный слой, качество поверхности при этом не улучшалось.

Учитывая установленное чрезвычайно важное влияние импульсов в процессах электрохимического полирования (в особенности при минимальных значениях исследованного диапазона длительности импульсов), возможным решением проблемы качественного электрохимического полирования большинства алюминиевых и титановых сплавов, а также сплавов других труднообрабатываемых легкоокисляемых металлов (циркония, ниобия, магния) являлось дальнейшее повышение частоты следования положительных и отрицательных импульсов (уменьшение длительности импульсов до микросекундного диапазона).

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

1. Влияние биполярных импульсов микросекундной длительности на электрохимическое полирование изделий из сплавов меди и высоколегированных коррозионностойких сталей / В.С. Нисс; Ю.Г. Алексеев; Е.В. Сорока; А.Э. Паршутто; А.Ю. Королёв // Современные электрохимические технологии и оборудование : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 24 – 25 ноября 2016 г. – Минск : БГТУ, 2016. – С. 28–32.



## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ УГЛЕРОДА В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ**

**Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Янович В.А.**  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Существует широкий перечень материалов, электрохимическое полирование которых сильно затруднено из-за повышенного содержания углерода или присутствия в структуре фаз внедрения (карбиды, нитриды, бориды, силициды), сформированных в результате термического или химико-термического упрочнения. Такими материалами, в частности, являются конструкционные и инструментальные стали машиностроительного назначения, применяемые для изготовления деталей машин и механизмов. К ним относятся углеродистые качественные и легированные (45, 40X, 45X, 30XГСН2А, 40ХН2МА, 30XГСА, 39ХН3МА), инструментальные углеродистые (У7, У8, У10, У12), пружинные (65, 85, 65Г, 60С2, 70С3А), подшипниковые (ШХ15, ШХ15СГ, ШХ4) стали. Из-за высокой концентрации углерода такие стали характеризуются пониженной обрабатываемостью с применением существующих процессов электрохимического полирования.

Возможным путем повышения качества поверхности при электрохимическом полировании сталей машиностроительного назначения представляется использование в качестве электролитов многокомпонентных смесей на основе органических растворителей в сочетании с различными видами технологического тока. Многокомпонентные смеси на основе органических растворителей представляют собой растворы электролитов, в которых растворителями являются однокомпонентные жидкости, исключая воду, или многокомпонентные жидкие смеси, как неводные, так и маловодные. Их электропроводность обычно на 1–2 порядка ниже электропроводности водных растворов.

Неводные электролиты широко применяются в настоящее время в технике: при производстве литиевых аккумуляторов, фотоэлектрохимических элементов, электролитических конденсаторов, при электроорганическом синтезе. Замена водных электролитов на неводные в этом случае приводит к упрощению технологии производства, существенно улучшая качество продукции. Также известно применение неводных электролитов для точной высокоскоростной размерной электрохимической обработки. Высокая скорость съема при этом достигается за счет уменьшения поляризуемости обрабатываемого металлического материала.

Анализ характеристик электролитов на основе органических растворителей показывает, что по сравнению с традиционными кислотными электролитами предлагаемые растворы при использовании их в процессах полирования, глянцеваания и удаления заусенцев будут иметь ряд существенных преимуществ:

- большие локальные плотности тока при относительно небольшой общей плотности тока за счет низкой электропроводности электролита;
- улучшение качества обработанной поверхности (получение полирующего эффекта) за счет образования вязких приэлектродных слоев электролита, приводящих к явлениям пассивации;
- возможность контролируемого удаления заусенцев без использования противоиэлектрода, форма которого должна совпадать с профилем детали;
- применение гораздо менее агрессивных составов (по сравнению с традиционными кислотными электролитами) при использовании которых упрощаются требования к технологическому оборудованию, улучшаются условия труда и требования к технике безопасности.

Применение электролитов на основе органических растворителей позволяет с низкими энергетическими затратами добиться качественного полирования, глянцеваания поверхности и удаления заусенцев на изделиях из сталей машиностроительного назначения с высокой концентрацией углерода.

Выполнены эксперименты по обработке заготовок разводных гаечных ключей из конструкционной легированной стали 40ХФА в электролите на основе глицерина, которые показали высокую эффективность метода и перспективность его применения с целью удаления заусенцев, полирования и глянцеваания поверхности (рисунок 1). В процессе обработки были полностью удалены заусенцы размером до 0,2 мм, сглажены микронеровности, поверхность имела высокую отражающую способность. Плотность тока при обработке составила 0,05–0,15 А/см<sup>2</sup>.



Рисунок 1 – Результат электрохимического полирования изделия из конструкционной легированной стали 40ХФА электролите на основе органического растворителя

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Русак Е.О., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

С развитием информационных технологий и робототехники все большее экономическое и социальное значение приобретает автоматизация различных сфер жизни и деятельности человека. Не является исключением и контроль микроклимата жилых помещений. Ведь использование автоматики может позволить поддерживать температуру жилого помещения всё время на одном и том же комфортном уровне. Это достаточно важно, так как температура помещения – самый важный показатель комфортности. Низкие температуры провоцируют отдачу тепла организмом человека, тем самым снижая его защитные функции, в следствии чего люди будут постоянно страдать от переохлаждений, подвергаться частым простудам, инфекционным заболеваниям и т.д. Также очень высокая температура в помещении влечёт за собой не меньшие проблемы. Борясь с жарой, организм выводит соль из организма. Такая ситуация также чревата снижением иммунитета, нарушением водно-солевого баланса, который регулирует работу многих систем в организме.

Цель проекта – разработка модели автоматизированной системы по созданию и контролю необходимых микроклиматических условий в жилом помещении. Эта модель может использоваться как для построения реальной системы контроля, так и для исследования эффективности системы при различных управляющих воздействиях в учебных целях.

Система должна выполнять следующие задачи:

- поддерживать в заданных пределах значение температуры помещения;
- строить график изменения температуры во времени;
- иметь возможность изменять различные параметры управляющего воздействия для исследования его влияния на изменения графика нагрева воздуха.

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

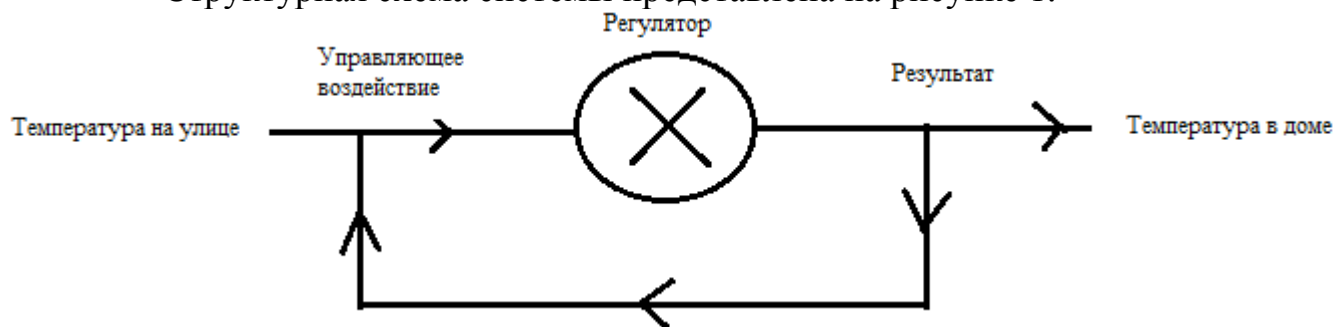


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы.

Модель выполнена в SCADA системе TRACE MODE 6 – это универсальное средство разработки и отладки для автоматизированных систем управления технологическими процессами и управления производством. Выбор среды разработки обусловлен тем, что TRACE MODE 6 позволяет постепенно наращивать функциональность АСУ, начиная с простого мониторинга и визуализации технологического процесса и заканчивая реализацией сложных контуров управления, организацией распределенных вычислений, подключением дополнительных рабочих мест и экономических модулей.

В системе используются: датчики контроля тепла на улице и в помещении, исполнительный механизм, который выполняет либо нагрев, либо охлаждение помещения.

Для температуры имеется 3 диапазона: нормальная, повышенная и пониженная. Диапазоны вариативны и могут изменяться в зависимости от пожеланий пользователя.

После обработки сигналов, в случае необходимости, контроллер выдает управляющие сигналы на исполнительный механизм, параллельно с этим в реальном времени строится график изменения температуры.

Обработка сигналов проходит несколько этапов:

- вычисление температуры на улице;
- вычисление температуры в помещении, в зависимости от температуры на улице;
- увеличение температуры помещения до оптимальной, если текущая температура ниже оптимальной;
- уменьшение температуры до оптимальной, если текущая температура выше оптимальной;
- повторение цикла вычисления.

Примерный график нагрева воздуха от 0 до 20 градусов представлен на рисунке 2.

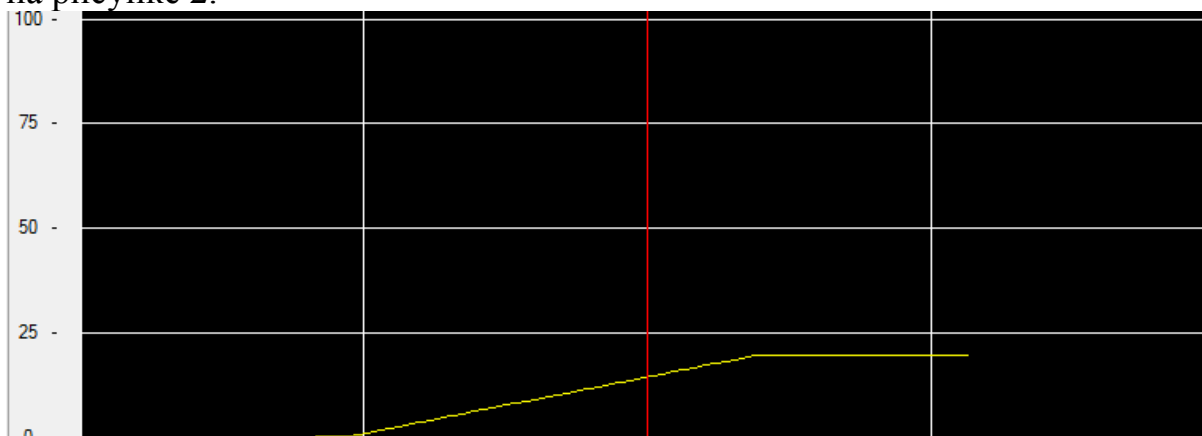


Рисунок 2 – График нагрева воздуха

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

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

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В последние годы работами многих ученых было показано, что решение проблемы создания высокопрочных стеклопластиков мало изучено и в попытках изучения таких материалов преобладают эмпирические методы. Высказано утверждение о возможности решения проблемы на основе исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости армированной системы с учетом особенностей стеклопластиков, обусловленных податливой матрицей и существенной неоднородностью материала, прочностные и деформационные свойства которого не являются детерминированными [1, 2]. Развитие такого подхода способствовало предложению о введении понятия сплошности композита, которое предполагает сплошность всех компонентов, отсутствие нарушений связи по границам их соприкосновения и однородность всей системы в целом.

**Монолитность композиционных материалов** напрямую зависит от степени пропитки связующим. В работе [3] время, необходимое для полной пропитки композита, определяется по формуле

$$t = \frac{\mu f(\delta) k^2 \ln k}{\rho g h + \frac{2\delta \cos \theta}{r_b} \cdot \frac{1 - \delta}{\delta^2}},$$

где  $f(\delta) = 16(1 - \delta)^{1,5} [1 + 56(1 - \delta)^3]$ ,  $k = r_0/r_b$ ,  $r_0$  - наружный радиус макронити;  $r_b$  - радиус элементарного волокна;  $h$  - высота поднятия жидкости в капилляре;  $\delta$  - пористость;  $\mu$  - вязкость связующего;  $\theta$  - угол наклона арматуры к горизонту. Анализ приведенного соотношения выше показывает, что скорость капиллярного течения связующего весьма низка (2 - 8 см/мин), а для того, чтобы скорость пропитки была приемлемой с точки зрения производительности процесса, необходимо протягивать ткань со скоростью 2 - 80 м/мин, т.е. на два-три порядка выше. Это не обеспечивает полную пропитку армирующего материала в ванне, поэтому процесс пропитки на микроуровне начинается только при выходе из ванны, когда под действием гравитационных сил в капиллярах образуются капли, раздвигающие волокна и способствующие образованию радиальных и продольных щелей, куда устремляется связующее.

**Оценка проницаемости пористой среды** обычно проводится в условиях одномерного течения ньютоновской жидкости известной вязкости через пористый образец прямоугольного сечения [4]. Измеряя перепад давления на входе и выходе, а также расход жидкости, можно рассчитать коэффициент проницаемости пористой среды  $K$  по следующей

формуле

$$K = \frac{Q\mu L}{(p_1 - p_2)b\delta},$$

где  $Q$  – расход жидкости;  $\mu$  - вязкость жидкости;  $L, b, \delta$  - размеры образца;  $(p_1 - p_2)$  - перепад давления по длине образца.

**Роль технологического натяжения арматуры** при намотке очень велика. Натяжение определяет коэффициент наполнения композиционного материала арматурой, решающим образом влияет на прочность и другие свойства материала даже при не слишком хороших упругих и адгезионных свойствах применяемого связующего. Однако превышение некоторого максимума технологического натяжения приводит к дополнительным повреждениям армирующих волокон при движении по пропиточно-формирующему тракту станка и к появлению участков, не смоченных связующим и создающих неоднородность свойств материала по толщине наматываемой оболочки.

**Оптимальное давление контактного формования** при намотке, определяемое натяжением наполнителя, позволяет получать максимальную прочность, минимальную пористость и наилучшие сочетания других свойств материала. Оно зависит от типа армирующего полуфабриката и характеристик полимерного связующего. Номинальное значение технологического натяжения армирующего материала, выражаемое в долях разрывной нагрузки применяемой арматуры ( $P_p$ ), для стеклянных нитей варьируется в пределах 0,12-0,5 от  $P_p$  [5]. Для стеклоткани натяжение обычно составляет 0,1-0,4 ( $P_p$ ). При этом уровень приложенных натяжений органопластиков в 2 раза выше, а при намотке углепластиков и боропластиков в 2 раза ниже, чем при намотке стеклопластиков [5].

Нарушение сплошности композита происходит вследствие либо потери сплошности, либо нарушения сплошности связующего или из-за нарушения связи по границе раздела волокно-смола. Условия сплошности описываются системой неравенств [3]

$$\frac{E_c}{E_a} \geq 0,06, \quad \frac{\tau_{адг}}{\sigma_a} \geq 0,04, \quad \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_a} \geq 1,5, \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_a} \geq 0,06, \quad \frac{\tau_c}{\sigma_a} \geq 0,04.$$

Из-за существенного различия свойств компоненты стеклопластика разрушаются не одновременно. Поэтому при формулировании условий герметичности необходимо учитывать, какой из компонентов (или контактный слой) разрушается первым. В композитах даже при простых видах нагружения связующее находится в плоском (или объемном) напряженном состоянии, и для оценки его прочности и, следовательно, сплошности совершенно необходимо применение тех гипотез прочности, которые учитывают реальное напряженное состояние.

Связь волокнистого наполнителя со связующим при формовании изделий из композиционных материалов связано с процессом пропитки пористой волокнистой среды. Сопротивление этой среды, оказываемое



течению жидкости, зависит от размеров и геометрии пор, которые, в свою очередь, определяются ориентацией и содержанием волокнистого наполнителя.

**Оценка проницаемости пористой среды** обычно проводится в условиях одномерного течения ньютоновской жидкости известной вязкости через пористый образец прямоугольного сечения [4]. Измеряя перепад давления на входе и выходе, а также расход жидкости, можно рассчитать коэффициент проницаемости пористой среды  $K$  по следующей формуле

$$K = \frac{Q\mu L}{(p_1 - p_2)b\delta},$$

где  $Q$  – расход жидкости;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $L, b, \delta$  – размеры образца;  $(p_1 - p_2)$  – перепад давления по длине образца.

**Роль технологического натяжения** арматуры при намотке очень велика. Натяжение определяет коэффициент наполнения композиционного материала арматурой, решающим образом влияет на прочность и другие свойства материала даже при не слишком хороших упругих и адгезионных свойствах применяемого связующего. Однако превышение некоторого максимума технологического натяжения приводит к дополнительным повреждениям армирующих волокон при движении по пропиточно-формирующему тракту станка и к появлению участков, не смоченных связующим и создающих неоднородность свойств материала по толщине наматываемой оболочки.

**Без обеспечения герметичности** стеклопластиков немислимо их применение в ряде отраслей промышленности и новой техники. Поэтому проблема формирования условий, которым должны удовлетворять как исходные элементы композита, так и условия его эксплуатации, для создания герметичной системы весьма актуальна.

1. Василевич Ю.В., Горелый К.А., Сахоненко С.В., Сахоненко В.М., Малютин Е.В. Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов. Научное издание в 2 частях. БНТУ, 2016. - 593с.

2. Василевич Ю.В., Горелый К.А., Сахоненко С.В., Сахоненко В.М., Скворцов К.Г., Федотов Д.А. Применение свойств препрегов в технических процессах изготовления изделий из композиционных материалов. Научное издание. – М.- 2017. - 153с.

3. Трофимов Н.Н., Канович М.З. Основы создания полимерных композитов. – М.: Наука, 1999, - 539с.

4. Практикум по технологии переработки пластических масс. Под.ред. Виноградова В.М., Головкина Г.С. – М.: Химия, 1980. – 240 с.

5. Калинин В.А., М.С. Макаров. Намотанные стеклопластики. – М.: Химия, 1986. – 272 с.

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОБСТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ**

**Здор Г.Н., Тимошевич В.Б.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Функционирование ряда технологических процессов и объектов сопровождается собственным радиоизлучением. Это излучение может быть инициировано электрическими разрядами, спонтанно возникающими при функционировании оборудования, а также из-за явлений трибоэлектричества, разделения электрических зарядов из - за уноса электронов угольными частицами и пр. Кроме того электрические разряды различных типов (искровой, коронный, тлеющий и др.) часто выступают в качестве одного из инструментов технологического процесса. Как было показано [1], это излучение может быть модулировано электромагнитными, акустическими и механическими воздействиями. Комплексный анализ характеристик - амплитудных, флуктуационных, а в первую очередь – спектральных, позволяют в достаточно полной мере контролировать процессы и своевременно диагностировать возникающие неисправности. Спектральный анализ, основанный на преобразованиях Фурье, является мощнейшим инструментом исследования электрических сигналов, а значит - вызывающих их процессов. Спектральный анализ может осуществляться: 1) параллельно, когда одновременно анализируются амплитуды различных частотных составляющих сигналов. При многочастотном анализе широкополосного сигнала этот метод требует очень большого количества дискретных узкополосных фильтров. Достоинства метода - высокое быстродействие, недостаток - невозможность выявления узкополосных частотных пиков, он используется в звукоусилительной аппаратуре в качестве индикатора спектра сигнала; 2) последовательно, когда происходит сканирование частотного диапазона сигнала. У метода - две разновидности: а) непосредственного сканирования с помощью перестраиваемого электронного фильтра с задаваемой полосой пропускания. В этих фильтрах неизменной добротности перестройка частоты приводит к изменению полосы пропускания. Этот метод используется редко; б) супергетеродинного типа. В них происходит перемножение исследуемого сигнала и сигнала перестраиваемого генератора. Результирующий сигнал поступает на измеритель амплитуды после высокодобротного фильтра промежуточной частоты. Этот метод широко используется в аналоговых анализаторах спектра. Последовательные методы спектрального анализа



обеспечивают высокую точность, регулируемые в широких пределах чувствительность, избирательность и полосу обзора, а главное, практически не вносят собственных ошибок в полученный результат. Но низкое быстродействие существенно ограничивает их применение для контроля процессов в реальном масштабе времени; 3) С использованием дискретного преобразования Фурье. При использовании этого метода исследуемый сигнал подвергается дискретизации по времени (взятие выборок) и квантованию по уровню с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Согласно теореме Котельникова, частота выборок должна по крайней мере вдвое превышать максимальную частотную составляющую входного сигнала. При таком преобразовании Фурье используется временной отрезок сигнала, т.е. при вычислении производится ограниченное число выборок («оконная выборка»). Входной сигнал умножается на определенную «оконную функцию» до или после взятия выборок во временной области. Полученный в результате дискретный частотный спектр имеет разрешение по частоте, прямо зависящее от времени наблюдения. Возникающие в результате «просачивания» уширение спектра и ошибки в определении амплитуд гармоник можно уменьшить, используя конкретные оптимизируемые «оконные функции» (Хеннинга, Хемминга, Блекмана, Херриса, Кайзера, Бесселя, Фейера и др.). Число вычислений для преобразования Фурье может быть сокращено при использовании специальных алгоритмов - быстрого преобразования Фурье (БПФ). Шум квантования может быть уменьшен увеличением разрядности АЦП. В этих преобразователях, в отличие от других, не теряется информация о фазовых соотношениях частотных составляющих сигналов. Они обладают высокой скоростью обработки сигналов и позволяют проводить анализ в реальном масштабе времени. Этот метод широко используется в промышленности. Использование конкретного принципа действия и типа анализатора зависит от поставленных задач – многие из анализаторов спектра имеют право на существование. Однако в условиях ужесточения требований к точности и, главное, к быстродействию наиболее перспективными являются приборы, использующие БПФ и работающие в реальном масштабе времени.

1. Тимошевич В.Б. Эффект модуляции собственного радиоизлучения электрического разряда механическими колебаниями. – МНТК Современные направления развития производственных технологий и робототехника. Могилев, 1999г.

## **И СНОВА О ЗАРЯДЕ АККУМУЛЯТОРОВ АССИМЕТРИЧНЫМ ТОКОМ**

**Тимошевич В.Б.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Аккумуляторные батареи востребованы в различных областях народного хозяйства. В автомобилях они используются в качестве стартерных, вспомогательных, а в гибридных и электромобилях – основных источников энергии. Функционирование мобильных роботов, квадрокоптеров, железнодорожного транспорта, кораблей, авиалайнеров, многочисленных гаджетов зависит от эксплуатационных характеристик аккумуляторов. Цена последних составляет большую долю общей цены использующих их устройств. Долговечность, надежность, энергоемкость, допустимые токи заряда и разряда определяются типом аккумулятора и характеристиками зарядных устройств. Различают следующие основные типы аккумуляторов: свинцово-кислотные, серебряно-цинковые, никель-кадмиевые, никель-железные, никель-металл-гидридные, литий-ионные, литий-полимерные и др. Как показано в [1] и в других работах, срок службы и энергоемкость аккумулятора возрастают при использовании зарядных устройств, осуществляющих цикл заряд-разряд. Использование в зарядном устройстве двухполупериодного тиристорного выпрямителя позволяет регулировать ток заряда, а разряд аккумулятора осуществляется через включенный параллельный ему резистор в тот промежуток времени, когда тиристоры заперты. Однако при этом затруднительно регулировать ток и время разряда независимо от тока заряда. Кроме того, на разрядном резисторе выделяется достаточно большая неиспользуемая мощность. Предлагается в качестве управляющего зарядом элемента использовать мощный МОП транзистор в ключевом режиме, а ток разряда использовать для питания инвертирующего ключевого преобразователя напряжения, реверсирующего полярность разрядной энергии и добавляющего ее к энергии заряда аккумулятора. В этом случае практически вся энергия источника питания используется для заряда аккумулятора (за исключением тепловых потерь на коммутирующих элементах, работающих в классе D). Управление токами заряда и разряда для различных типов аккумуляторов можно осуществлять с помощью микроконтроллера. Все вместе это позволит существенно уменьшить габариты и массу зарядного устройства при полном сохранении его уникальных положительных качеств.

1. Здрок А.Г. Выпрямительные устройства стабилизации напряжения и зарядки аккумуляторов. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-142с.