

Министерство образования Республики Беларусь  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Межгосударственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Белорусско-Российский университет»

## **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Материалы Международной  
научно-технической конференции  
молодых ученых  
(Могилев, 24–25 октября 2019 года)

Могилев  
«Белорусско-Российский университет»  
2019

УДК 621.01:531:625.08:69:62-82«324»(0.43.2)

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

Н 72

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М. Е. Лустенков* (гл. редактор); д-р техн. наук, проф. *В. М. Пашкевич* (зам. гл. редактора); д-р техн. наук, проф. *С. Д. Семенюк*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. *Н. А. Коваленко*; канд. техн. наук, доц. *А. О. Коротеев*; канд. техн. наук, доц. *Г. С. Ленецкий*; канд. техн. наук, доц. *И. В. Лесковец*; канд. ист. наук, доц. *С. Е. Макарова*; канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *А. П. Прудников*; канд. техн. наук, доц. *С. С. Сергеев*; д-р техн. наук, проф. *С. Д. Семенюк*; канд. техн. наук, доц. *В. М. Шеменков*; д-р техн. наук, доц. *А. И. Якимов*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*

**Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Международ. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 192 с. : ил. ISBN 978-985-492-224-9.**

Рассмотрены вопросы разработки новых технологических процессов, оборудования и их автоматизации, проектирования, производства и эксплуатации транспортных средств, энерго- и ресурсосберегающих технологий строительства. Изложены новые методы создания автоматизированных систем расчета и проектирования перспективных конструкций механической передачи. Приведены результаты исследований в области высокоэффективных технологий и машин сварочного производства, информационно-измерительной техники для контроля и диагностики. Рассмотрены способы повышения эффективности субъектов хозяйствования в условиях трансформации экономики.

Сборник предназначен для инженерно-технических и научных работников, аспирантов и студентов вузов.

УДК 621.01:531:625.08:69:62-82«324»(0.43.2)

ББК 34.5:22.21:39.3:38:31.291

ISBN 978-985-492-224-9

© Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Пленарное заседание</b>	
КАПИТОНОВ О. А. Современные способы обеспечения плавного пуска асинхронных электроприводов .....	13
ПЕТРЕНКО М. Л., БИЛЫК С. Ю., МОИСЕЕВ Е. А., ЮШКЕВИЧ А. В. Создание систем активной безопасности АТС на силовом анализе .....	15
ЮМАНОВ Д. Н. Корректирующая система автоматического регулирования мощности тепловложения при контактной рельефной сварке .....	22
<b>Секция 1. Технология и оборудование машиностроения, автоматизация технологических процессов и производств, мехатроника и робототехника</b>	
АНИСИМОВ В. С. Кинематика и управляющая программа обработки сложных поверхностей деталей на токарном станке с ЧПУ .....	27
БОГДАНОВ А. В., АФАНЕВИЧ В. В., ПАШКЕВИЧ В. М. Об эффективности процесса инерционно-импульсного раскатывания.....	28
БУДНИЦКИЙ А. С. Импульсное электрохимическое полирование матричных стентов из нитинола.....	29
ВИННИЧЕК К. С., ЛИТВИНОВИЧ Т. П. Влияние режимов ионно-плазменного азотирования на стойкость дисковых фрез из быстрорежущей стали.....	30
ГВОЗДЬ Г. И. Проектирование блочно-модульного режущего инструмента для многоцелевых станков с ЧПУ .....	31
ГОЛОД И. А. Автоматизация выбора режущего инструмента при токарной обработке с продольной подачей.....	32
ЛЕБЕДЕВ М. В., САСКОВЕЦ К. В. Исследование характера распределения боковых зазоров между сателлитами и деталями зацепления планетарной передачи .....	33
ЛОПУХОВ А. В. Синтез автопилота на основе синергетической теории управления .....	34
МАСЛОВА К. С. Перспективы применения экзоскелетов и антропоморфных роботов в социальной сфере .....	35
ПЛЮЩЕВСКИЙ И. Н., БОРОДАВКО Е. А., БУРАЯ В. К. Состояние и развитие аддитивных технологий в Российской Федерации .....	36
ПОПОК Н. Н., ТИХОН Е. М. Оптимизация геометрических параметров расточных инструментов на основе моделирования резьбовых соединений .....	37

ПОРТЯНКО С. А. Технология FDM-печати конструкции блочно-модульной торцовой фрезы .....	38
САСКОВЕЦ К. В., ЛЕБЕДЕВ М. В. Оценка рабочих характеристик измененной конструкции планетарной радиально-плунжерной передачи .....	39
СВИРЕПА Д. М., СЕМЁНОВА А. С. Оптимизация количества источников магнитного поля в инструментах для совмещенной обработки резанием и МДН .....	40
СИДОРОВА О. С., ФРОЛОВА Е. И. Анализ применения S-функций при моделировании нейронных регуляторов .....	41
ТИМАНОВСКИЙ Е. А. Способы защиты поверхности мешалки от коррозионного воздействия .....	43
ШАТУРОВ Д. Г. К управлению механизмом износа лезвия твердосплавного резца при точении .....	44
ЯНОВИЧ В. А. Импульсное электрохимическое полирование сталей с повышенным содержанием углерода .....	45
 <b>Секция 2. Механика машин и механизмов</b>	
БЕГАН В. В. Расчет задних углов резца при продольной подаче исполнительного механизма.....	46
ВЕКША И. А. Расчет дифференциального уравнения движения пространственного исполнительного механизма .....	47
ГЕВКО Р. Б., НЫКЕРУЙ Ю. С., ЦЫЗЬ И. Е. Разработка канатного механизма для загрузки складских помещений яблоками в таре.....	48
ГОШКО З. О., МАГАЦ М. И., ГЕРАСИМЧУК О. А. Исследование физико-механических свойств плодов фундука .....	49
ДУБОВИК Д. А. Управление вектором тяги колёсных машин.....	50
КОНДРАТЧИК Н. Ю., ВЕРЕМЕЙКО Е. А. Совершенствование конструкции валкового пресса.....	52
КРИВОНОГОВА Е. Г., БРАТЕНКОВ В. В. Актуальность разработки прецессионной передачи с большим передаточным числом.....	53
ЛЕВКО С. И., КРУПИЧ О. М., ГЕРАСИМЧУК О. А. Результаты экспериментальных исследований процесса уплотнения растительных материалов.....	54
ЛУСТЕНКОВА Е. С. Установка для испытаний электро-механического привода автомобильного домкрата.....	55
МАГАЦ М. И., ГОШКО З. О., СИННИЙ С. В. Результаты исследований модернизированного мини-агрегата для уборки картофеля.....	56

МАКАРЕВИЧ А. С., МАКАРЕВИЧ С. Д. Совершенствование структуры эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов.....	57
МАКАРЕВИЧ А. С., МАКАРЕВИЧ С. Д. Создание устройств на базе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов.....	58
МОИСЕЕНКО А. Н. Направления совершенствования конструкций сферических роликовых передач.....	59
ПАРФИЕВИЧ А. Н., ДАКАЛО Ю. А., СОКОЛ В. А. Влияние технического обслуживания на параметры вибрации зубчатых механизмов.....	60
ПРУДНИКОВ А. П. Винтовая передача с коническими резьбовыми роликами.....	61
СЕМЕН Я. В., КРУПИЧ О. М., ГЕРАСИМЧУК Г. А. Результаты экспериментальных исследований захватов тросового стряхивателя плодов.....	62
СИНЬИЙ С. В., ГЕВКО Р. Б., ТКАЧЕНКО И. Г. Повышение качества очистки корнеплодов системой продольных транспортеров.....	63
ХОМИК Н. И., ОЛЕКСЮК В. П., ГЕРАСИМЧУК Г. А. Определение критических ударных взаимодействий корнеплодов с прутками транспортеров.....	64
ШАНТЫКО А. С., БАКАЛОВА Л. Ю., ДУБОВИК Д. А. Ходовые системы самоходных уборочных комбайнов.....	65
ШАНТЫКО А. С., ВЫРСКИЙ А. Н. Метод снижения нагруженности механизма привода очистки зерноуборочного комбайна.....	66
ЮРКОВА В. Л., ЗАБАГОНСКИЙ К. И. Совершенствование структуры передач эксцентрикового типа.....	67
ЮХИМЧУК С. Ф., СЕМЕН Я. В., ЛЕВКО С. И. Подпружиненный натяжитель ремня льнотеребильного аппарата.....	68

### **Секция 3. Технологии получения и обработки новых материалов и покрытий**

АЛЕКСАНДРОВА Д. С., ИВАНОВ В. С., ЕГОРОВ А. С. Получение разветвлённых комплексобразующих олигомерных сорбентов на основе имидной матрицы.....	69
АНДРИЕНКО В. М., ДУВАЛОВ П. Ю. Исследование влияния легирующих элементов на прочность и твердость чугуна ИЧХ18ВМ.....	70
АНТИПОВ М. С., ЛАЗАРЕВ П. А. Математическое моделирование процесса газовой экструзии порошковых материалов в программном комплексе DEFORM.....	72

БОКАРЁВ Д. В. Трибологические свойства алюминиевого сплава, упрочненного углеродными наноструктурами.....	73
БУХРЯКОВА В. А., САЛЫКИН С. Ю. Разработка технологии получения суспензии частиц гидрогеля с неорганическим наполнителем.....	74
ВЕРЕМЕЙЧИК А. И. Локальная закалка пробивных пуансонов из стали Х12М движущейся плазменной дугой.....	75
ДОБРИНСКАЯ О. А. Перспективы использования высококремнеземистых горных пород в качестве стекольного сырья.....	76
ЖУРАВЛЕВА О. А., КУЛИГИН В. С. «Зеленый синтез» нанокристаллов сульфидов металлов для создания фоточувствительных материалов.....	77
ИВАНОВ В. С., ИВАНОВ Е. В., ГУДЕЕВА Д. С., ЕГОРОВ А. С. Мембраны на основе полиимидов для применения в низкотемпературных топливных элементах.....	78
ИВАНОВ Е. В., ЕГОРОВ А. С., РЕТИВОВ В. М., КОЖУХОВА Е. И., ЖУРАВЛЕВА О. А., КУЛИГИН В. С. Физико-химические свойства полимерных композитов, содержащих биогенные наночастицы.....	79
КЛЫКОВСКИЙ И. О. Исследования технологии получения чесальной ленты из волокна арселон.....	80
КОЗОДОЙ Т. С. Оценка влияния ультразвукового воздействия на дисперсные системы.....	81
КОСОЯН Е. Ш. Оценка паропроницаемости трикотажных полотен из нити QUICK DRY.....	82
КОТКО К. А. Биотехнология создания колористических и структурных эффектов на льняных тканях.....	83
МАСЛОВА К. С. Инновационная технология получения биокомпозитов для оборудования нефтяной промышленности.....	84
НЕРОДА М. В., ОНЫСЬКО С. Р. Влияние ионно-плазменного азотирования на физико-механические свойства стали марки 10кп.....	85
ОНЫСЬКО С. Р. Определение нагрузок на штамповую оснастку с нанесенным ZrCN / а-С покрытием.....	86
РАДЮК А. Н., КОЗЛОВА М. А. Технология получения композиций для низа обуви с использованием отходов пенополиуретанов.....	87
СОСНОВСКАЯ А. И., Исследование трикотажных полотен с использованием комбинированных высокоусадочных нитей.....	88
ФЕДОСЕНКО А. С., БАЛАЗЕЧКО А. Н., СЕЛИВАНОВА Ю. В. Применение газотермических покрытий на основе керамики в современной промышленности.....	89
ЯКУБОВИЧ Т. С. Исследование теплового режима подготовки металлопровода для литья намораживанием.....	90

#### **Секция 4. Новые технологии в сварочном производстве**

- ДОЛЯЧКО В. П. Перспективные направления развития аддитивных технологий при изготовлении металлоконструкций в условиях предприятий Республики Беларусь..... 91
- КОРОТЕЕВ А. О. Аддитивное послойное создание объемных металлических изделий при помощи дуговых сварочных технологий..... 92
- ПОЛЯКОВ А. Ю., СТЕПАНОВ А. А., ЮМАНОВ Д. Н. О необходимости дополнения уравнения теплового баланса, разработанного для процесса контактной рельефной сварки..... 93
- СМОЛЯР И. Н., НАУМОВЕЦ И. А. Разработка метода диагностики контактной сварки с использованием нейронных сетей ..... 94
- СОЛОВЬЕВ В. О. Влияние особенностей формирования и состава защитной газовой атмосферы на геометрические параметры валика наплавленного металла..... 95
- ФЕТИСОВА Е. А. Перспективные технологии управления переносом электродного металла при дуговой сварке в среде защитных газов..... 96
- ЮМАНОВ Д. Н., СМОЛЯР И. Н., ЛАРИОНОВ Г. А. Измерение параметров режима рельефной сварки в корректирующей системе регулирования мощности ..... 97

#### **Секция 5. Транспортные и технологические машины**

- АБДУКАЛИКОВА Г. М., МИХАЛЬКОВ А. Д. Глубинный виброуплотнитель бетонных смесей с пружинным излучателем колебаний..... 98
- АЛДУШИНА М. А., ШЕМЕТОВ Е. Г., ПЕТРЕНКО В. М. Струйная мельница с плоской помольной камерой криволинейной формы..... 99
- АНЦИФЕРОВ С. И., КУЛАКОВ Л. С., КАРАЧЕВЦЕВА А. В. Усовершенствованная конструкция барабанного смесителя..... 100
- БОБРОВ А. А. Актуальность применения новых методик расчёта главных балок мостовых кранов..... 101
- БОГДАНОВ Н. Э., РЫСИКОВ М. С. Проектирование лабораторной вибрационной мельницы в CAD/CAM/CAE-системе NX под управлением PLM-системы TEAMCENTER..... 102
- ДАЛИМАЕВ В. А., ДАЛИМАЕВ И. А. Обоснование параметров базового цикла для определения усталостной долговечности металлоконструкций карьерных самосвалов..... 103

ЗАРОВЧАТСКАЯ Е. В., КУТУЗОВ В. В. Влияние технического состояния гидропривода на производительность экскаватора.....	104
ПОТАПОВ В. А. О возможности использования программы LS-DYNA при проектировании рабочих органов цепного агрегата.....	105
САМСОНОВА П. С., ХАХАЛЕВ П. А., ЛОЗОВОЙ Н. М. Проектирование смесителя шнекового типа в CAD/CAM/CAE-системе NX под управлением PLM-системы TEAMCENTER.....	106
ТАРИЧКО В. И. Классификация подвесных канатных дорог с целью построения математических моделей.....	107
ХАХАЛЕВА Т. А., БОРДУНОВ И. С. Анализ конструкции и принципа действия горизонтальной валковой мельницы.....	108
ШИШЛАКОВ А. А., ШАПОВАЛОВ Д. А. Шаровая барабанная мельница с энергоэффективной футеровкой.....	109

#### **Секция 6. Проектирование, производство и эксплуатация автомобильного транспорта**

БИЛЫК С. Ю. Повышение тяговой динамики тягача с прицепным звеном путем превентивной передачи момента колесам прицепного звена.....	110
КРЕЗ А. И., ДОКОНОВ Л. Г. Восстановление работоспособности форсунок COMMON RAIL (CR).....	112
ЛЕБЕДЕВ Д. И. Мобильный диагностический комплекс для оценки технического состояния автомобилей после ДТП в рамках судебной автотехнической экспертизы.....	114
МИГУРСКИЙ Г. С. Путь совершенствования виброзащитных систем сиденья водителя колесных машин.....	116
ПЕТРЕНКО М. Л., ЮШКЕВИЧ А. В. Перспективные источники информации для систем управления торможением велосипеда «АИСТ».....	117
ЮШКЕВИЧ А. В., ПЕТРЕНКО М. Л., АМЕЛЬЧЕНКО Н. П., МЕЛЬНИКОВ А. С. Противобуксовочная система для двухколесного транспортного средства.....	118

#### **Секция 7. Инновации в строительстве**

АЛЕКСАНДРОВ Д. Ю. К вопросу предупреждения отраженного трещинообразования при ремонте дорожных одежд.....	119
БРОДОВА О. И., ПОЛЯКОВА Т. А., СЕРГЕЕВА А. М., ТКАЧЕВ Д. Н. Особенности автомобильных дорог с грунтовыми покрытиями.....	120

БРОДОВА О. И., СЕРГЕЕВА А. М., ПОЛЯКОВА Т. А., МОРГУНОВ А. А. Повышение эксплуатационных характеристик грунтовых дорог.....	121
ДОВБУШ Т. А., ДОВБУШ А. Д. Теплица на солнечных панелях с механической регулировкой их положения .....	122
ДУДОРГА В. А. О некоторых аспектах обеспечения надёжности слоев дорожных покрытий из регенерированных асфальтобетонов.....	123
ДЫДЫШКО И. М. К возможности использования пружинной мельницы для сверхтонкого помола материалов.....	124
ЗУБКОВ Е. А. Исследования дворовых территорий прибором RD8100.....	125
КАЛАЧ О. О., ЗУБКОВ Е. А. Георадарные исследования в районе Голубой Криницы.....	126
КИРЮШИНА В. И. Химический анализ бетона .....	127
КОЛЯДА А. В., ГОЛУШКОВ А. М. Возможности ВИМ-техно- логий при строительстве зданий.....	128
КОТОВ Ю. Н. Показатели эксплуатационной пригодности зданий и сооружений.....	129
КРАНТОВСКАЯ Е. Н., ПЕТРОВ Н. Н. Исследование относи- тельных деформаций арматуры неразрезных железобетонных балок.....	131
КСЁНШКЕВИЧ Л. Н., БАРАБАШ И. В. Технология пригото- вления самоуплотняющихся смесей на механоактивированном вяжущем.....	132
КУТУЗОВ В. В., ДЕМИДЕНКО Р. С., ЗУБКОВ Е. А. Имитационное моделирование транспортных потоков на Т-образных перекрестках.....	133
КУТУЗОВ В. В., ЛИТВИНЧУК А. С. Диагностика автомо- бильных дорог на основе алгоритмов компьютерного зрения.....	134
ЛОБИКОВА Н. В. Использование тепловых насосов в системах вентиляции с рекуперацией.....	135
ЛОБИКОВА Н. В. Соломенные стены как часть архитектурного комплекса энергонезависимого здания.....	136
МАКАЦАРИЯ Д. Ю., КУТУЗОВ В. В. Повышение безопас- ности дорожного движения при ликвидации колеиности автомобильных дорог.....	137
МОРОЗОВ И. В. Проблема влияния сцепления арматуры с бетоном на прочность лёгких бетонов.....	138
МОСКАЛЬКОВА Ю. Г. Учет расчетной плотности керам- зитобетона при определении границ микротрещинообразования.....	139
ПАШКЕВИЧ А. В., ФРОЛОВ С. Д. Использование органи- минеральной смеси при строительстве автомобильных дорог .....	140

РЖЕВУЦКАЯ В. А. Легкие бетоны, модифицированные пластиковыми отходами.....	141
СКАЧЁК П. Д. Контактные напряжения в шарнирном узле опирания балки.....	142
СОТНИК Л. Л. Оптимальные параметры процесса измельчения доломита в вибровалковом измельчителе.....	143
СУНАК П. О., КСЁНШКЕВИЧ Л. Н., КРАНТОВСКАЯ Е. Н. Исследование прочности сцепления фибр с бетоном.....	144
СЫС М. М. Расчет остаточного ресурса каркасных зданий.....	145
ТУМАРЕВА В. С. Оптимизация работы с информационными моделями в AUTODESK REVIT с помощью приложения DYNAMO.....	146
ШЕР МОХАММАД К. К расчёту системы перекрестных балок на винклеровском основании методом перемещений .....	147

### **Секция 8. Автоматизация, электропривод, электро- оборудование**

КОНОНЕНКО О. С., ЛЕВИНА Т. А. Анализ недостатков систем активной теплозащиты водолаза.....	148
РОМАНЕНКО К. Н., КАПИТОНОВ О. А. Обзор методов пространственно-векторной модуляции матричных преоб- разователей частоты.....	149
РЫБАКОВ Н. А., ВОРОБЬЁВ В. В. Элементы электрического автомобиля.....	150
РЫБАКОВ Н. А., ВОРОБЬЁВ В. В. Современные источники питания для электромобилей.....	151
РЫБАКОВ Н. А., ВОРОБЬЁВ В. В. Конструктивное исполнение электропривода для транспортного средства.....	152
ТРЕТЬЯКОВ А. С., КАПИТОНОВ О. А. Разработка наблю- дателя состояния скорости бездатчикового электропривода по системе «ПЧ – АД».....	153

### **Секция 9. Методы и приборы качества продукции и природной среды**

БАГУЦКИЙ С. А., ЕРМАКОВА Е. В., ЯНУКОВ А. В., ЧУДАКОВ Е. А. Волноводная спектроскопия структуры ZRO <sub>2</sub> -SIO <sub>2</sub> -SI.....	154
БЕЛОНОГИЙ Д. Ю., МАРКАВЦОВ А. А. Совершенствование конструкции пьезоэлектрических преобразователей .....	155
БЕРЕЗИНА В. П. Методы и средства теплового контроля теплопроводности жидкокерамических теплоизоляционных покрытий.....	156

БОРОЗНА В. Д. О технологической пригодности материалов к производству обуви.....	157
ИВАШКО Е. И. Проблемы исследования водопроницаемости текстильных материалов.....	158
КОРОТКЕВИЧ З. М. Измеритель магнитной индукции импульсный для магнитного метода неразрушающего контроля .....	159
КОРСУН Д. А. Прогнозирование остаточного ресурса электронных блоков по данным объективного контроля.....	160
КРИВОЗУБОВА Е. В., ЛЕВИНА Т. А. Автоматизация контроля качества поверхности .....	161
МЕЛЬНИК А. В., МАНЬКО П. В., БОЯРСКАЯ И. В. Оптимизация методики классификации космических изображений....	162
МИХЕЕВ С. С. Оценка чувствительности волноводного терагерцового зонда слоистой среды.....	163
ОРЛОВСКИЙ П. С. Оперативный радиационный контроль.....	164
РАДЮК А. Н. Методика проведения исследования свойств материалов для низа обуви.....	165
САМАРИН М. Д. Исследование люминесцентных характеристик дробленого гороха с различной степенью измельчения.....	166
УЛЬ А. В., МАНЬКО П. В., МЕЛЬНИК Ю. А. Классификация территории НПП «Припять-Стоход» по данным SENTINEL-2 .....	167
ШИЛОВ А. В. Проектирование фотонно-кристаллических волокон с выраженной структурной окраской.....	168

### **Секция 10. Информационные технологии**

АКУЛИЧ И. П., АКУЛИЧ С. В. Применение системы поддержки принятия решений при организации дистанционного зондирования Земли .....	169
БАРКОВ В. В., КИЛЬДЮШКИНА А. В. Оптимизация выполнения производственной программы промышленного предприятия... ..	170
ГУМЕННИКОВ Е. Д. Автоматическая генерация эквивалентных текстов.....	171
ЖЛОБНИЦКИЙ М. Д. Возможности применения искусственного интеллекта в образовательных процессах.....	172
ЖЛОБНИЦКИЙ М. Д. Применение облачных технологий в образовательных процессах .....	173
КОРШАК С. А. Выбор оптимальных значений параметров обучения нейронной сети для классификации фигур пилотажа.....	174
НЕБОРСКАЯ Н. Н. Особенности разработки математической модели аэрозольного противодействия средствам разведки .....	175
ОТОРОВ Д. С. Интеграция информационных технологий в производственные процессы в условиях индустрии 4.0.....	176

САВОСТИКОВА О. Г. SCRUM-система для управления разработкой приложений виртуальной реальности.....	177
САФРОНОВ Д. В. Направления совершенствования информационного обеспечения предприятий.....	178

### **Секция 11. Инновационная экономика в развитии общества**

ГАЛКОВСКАЯ Е. В., ПОДОШЕВКО Т. А. Обоснование целесообразности диверсификации видов деятельности автотранспортного предприятия.....	179
ГРУЗНЕВИЧ Е. С., ТРОЯН Н. В. Сущность понятия «устойчивое развитие» .....	180
ЕМЕЛЬЯНЧЕНКО Я. В. Оценка инновационной активности организаций Гомельской области.....	181
ЖЛОБНИЦКИЙ М. Д. Перспективы и возможности «зелёной» экономики Республики Беларусь.....	182
ЛАБУН Д. В. Современная философия устойчивого развития и успеха в рыночных условиях.....	183
МАРИНЕНКО П. Л., ИВАНЬКОВА Т. Н. Логистическое управление потоками во внешнеэкономической деятельности региона.....	185
МОРОЗ М. В., КОТЕЛЬНИКОВА Н. В. Совершенствование экспортной деятельности предприятия.....	186
ПОДОШЕВКО Т. А. Оценка инвестиционной привлекательности Могилевской области .....	187
РАНЦЕВ Н. Д., БОРОДИЧ Т. А. Совершенствование транспортно-логистической деятельности транспортной организации.....	188
СИМАЕВ Е. А., БОБРОВ Н. А. Проблемы транспорта областных городов и пути их решения .....	189

### **Секция 12. Проблемы и перспективы развития гуманитарной составляющей в вузах технико-технологического профиля**

МАСЛОВА К. С. Возможности применения графических редакторов для освоения профессиональных компетенций студентами вуза.....	190
ШАЛУХОВА М. А., МАКАРОВ Е. В. Профессионально значимые качества преподавателя технического вуза.....	191

УДК 621.3  
СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАВНОГО ПУСКА  
АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

О. А. КАПИТОНОВ

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Электроприводы на базе асинхронного электродвигателя в настоящее время являются наиболее распространенными в промышленности. Пуск асинхронного электродвигателя в простейшем случае может производиться путем прямой подачи на обмотку статора напряжения питающей сети (прямой пуск). Такой способ пуска является наиболее простым и дешевым, однако он имеет ряд недостатков.

При прямом пуске во время разгона электродвигатель потребляет от питающей сети ток, превышающий номинальный до 6...8 раз. При этом крутящий момент на валу электродвигателя может превышать номинальный в 4...6 раз. Вследствие этого режим прямого пуска является тяжелым и потенциально приводящим к поломкам и повышенному износу как элементов питающей сети, так и приводимой в движение рабочей машины.

Для ряда механизмов, таких как лифты, лебедки, краны, необходимо обеспечить ограничение ускорения в процессе разгона. Электропривод насосов требует ограничения скорости разгона и торможения с целью исключения гидроструйного удара в трубопроводе.

Для решения этих задач в настоящее время широко применяются устройства плавного пуска (УПП) и преобразователи частоты (ПЧ).

Устройство плавного пуска обеспечивает постепенное повышение питающего напряжения на статоре электродвигателя при неизменной частоте. Величина крутящего момента на валу электродвигателя обратно пропорциональна квадрату напряжения на статоре, а величина потребляемой электродвигателем силы тока прямо пропорциональна напряжению на статоре. Таким образом, изменяя величину напряжения на статоре в процессе пуска, можно обеспечить регулирование крутящего момента на валу и потребляемого тока в необходимых пределах.

Недостатком описанного способа плавного пуска является существенное снижение коэффициента полезного действия электродвигателя при работе на пониженном напряжении, что приводит к увеличению потерь энергии по сравнению с прямым пуском. Потери энергии возрастают при увеличении времени пуска.

Преобразователь частоты обеспечивает плавное регулирование скорости вращения электродвигателя путем снижения напряжения на

статоре одновременно с изменением его частоты. При этом так же, как в случае с устройством плавного пуска, можно обеспечить регулирование крутящего момента и ограничение потребляемого от питающей сети тока в процессе пуска. При таком способе плавного пуска не происходит столь значительного снижения коэффициента полезного действия двигателя, а величина потерь энергии оказывается меньше, чем при прямом пуске. Величина потребляемого от питающей сети тока при этом существенно ниже, чем при прямом пуске, или пуске с использованием УПП.

К недостаткам данного способа можно отнести повышенную стоимость электропривода с преобразователем частоты и сложность организации обхода преобразователя, т. е. вывода его из работы после окончания разгона электродвигателя и перевода электродвигателя на прямое питание от сети. Этот недостаток существенно ограничивает применение такого способа плавного пуска, поскольку требует либо применения дорогостоящего устройства обхода преобразователя частоты, либо оставления преобразователя в работе после завершения пуска, что во многих случаях приводит к неоправданным дополнительным потерям энергии.

Перспективным направлением развития силовых преобразователей для асинхронного электропривода являются матричные преобразователи.

Полная схема матричного преобразователя частоты обеспечивает одновременное регулирование напряжения на статоре электродвигателя и его частоты. При этом матричные преобразователи не содержат накопителей энергии в своем составе, что позволяет проще организовать их обход после завершения пуска. Однако полнофункциональный матричный преобразователь содержит в 3 раза большее количество силовых транзисторов по сравнению с традиционным преобразователем частоты и вследствие этого в настоящее время имеет высокую стоимость.

Для решения задачи плавного пуска электродвигателя с использованием матричного преобразователя могут быть применены его упрощенные варианты со сниженным числом силовых транзисторов. В предлагаемом нами варианте такого преобразователя используется шесть транзисторов, что соответствует числу этих элементов в традиционном преобразователе частоты. Такое устройство плавного пуска обеспечивает только регулирование напряжения при неизменной частоте, но при этом обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными УПП. За счет импульсного, а не фазового способа регулирования напряжения повышается электромагнитная совместимость с питающей сетью и снижается величина потребляемого устройством от сети тока. Входной фильтр в составе устройства дополнительно обеспечивает компенсацию реактивной мощности асинхронного электродвигателя.

УДК 629.113

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
АТС НА СИЛОВОМ АНАЛИЗЕ

М. Л. ПЕТРЕНКО, С. Ю. БИЛЫК, Е. А. МОИСЕЕВ, А. В. ЮШКЕВИЧ

Научные руководители В. А. КИМ, д-р техн. наук, проф.,

И. С. САЗОНОВ, д-р техн. наук, проф.,

А. С. МЕЛЬНИКОВ, канд техн. наук, доц.

С момента создания первой системы активной безопасности (САБ) – антиблокировочной системы автомобиля (АБС) – прошло уже более 50 лет. Первую АБС, созданную совместно с фирмой Kelsey-Hayes, инженеры Ford установили на автомобиле Thunderbird и Continental Mark III в 1969 г. Алгоритм первой антиблокировочной системы, основанный на измерении и анализе угловых скоростей вращения колес, стал основой создания более совершенных САБ АТС, производящихся в настоящее время многими мировыми фирмами, такими как Bosch, Continental, Wabco и др.. Совершенствование САБ продолжаются. Созданы новые системы, такие как противобуксовочная система (ПБС, TCS), система стабилизации курсовой устойчивости движения АТС (ESP) и мн. др. Однако принцип их функционирования почти не претерпел никаких изменений и направлен на идентификацию взаимодействия колес с опорной поверхностью дороги (оценка состояния сцепления колеса с дорогой), определяемую косвенным путем – расчет сил в контакте колес с дорогой на основе измерения угловых скоростей вращения колес и других кинематических параметров масс автомобиля [1, 2]. Этим объясняется сложность функционирования алгоритмов САБ АТС и их высокая стоимость.

Создание и производство новых, дешевых САБ АТС и их использование на АТС отечественного производства существенно повысит их конкурентоспособность. Однако высокая конкуренция на мировом рынке АТС позволит реализовать производство отечественных САБ только тогда, когда разработанная САБ АТС будет наделена явными и неоспоримыми преимуществами перед существующими САБ.

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусско-Российского университета более 30-ти лет ведет научные исследования по созданию новых САБ АТС на высокоинформативном источнике – прямом измерении и анализе сил в контакте колес с дорогой, исключая косвенные расчеты определения сил в контакте колес с дорогой, которые характеризуют коэффициенты сцепления колес с дорогой. Поэтому алгоритм САБ становится проще, стоимость системы управления дешевле, а его эффективность выше по сравнению с существующими современными аналогами.

Фундаментальные основы алгоритмов САБ АТС на силовом анализе были разработаны на кафедре «Техническая эксплуатация автомобилей»

под руководством профессоров В. А. Кима, И. С. Сазонова и доцента А. С. Мельникова. Эти основы успешно используются в настоящее время при создании новых, эффективных САБ АТС на силовом анализе. Получено множество патентов на изобретения, в том числе патенты РБ и РФ, евразийские, международные по линии РСТ. Новые технические решения реализованы в макетных образцах и прошли предварительные испытания.

В 1997 г. на кафедре ТЭА был разработан первый стенд испытаний АБС на силовом анализе (рис. 1).

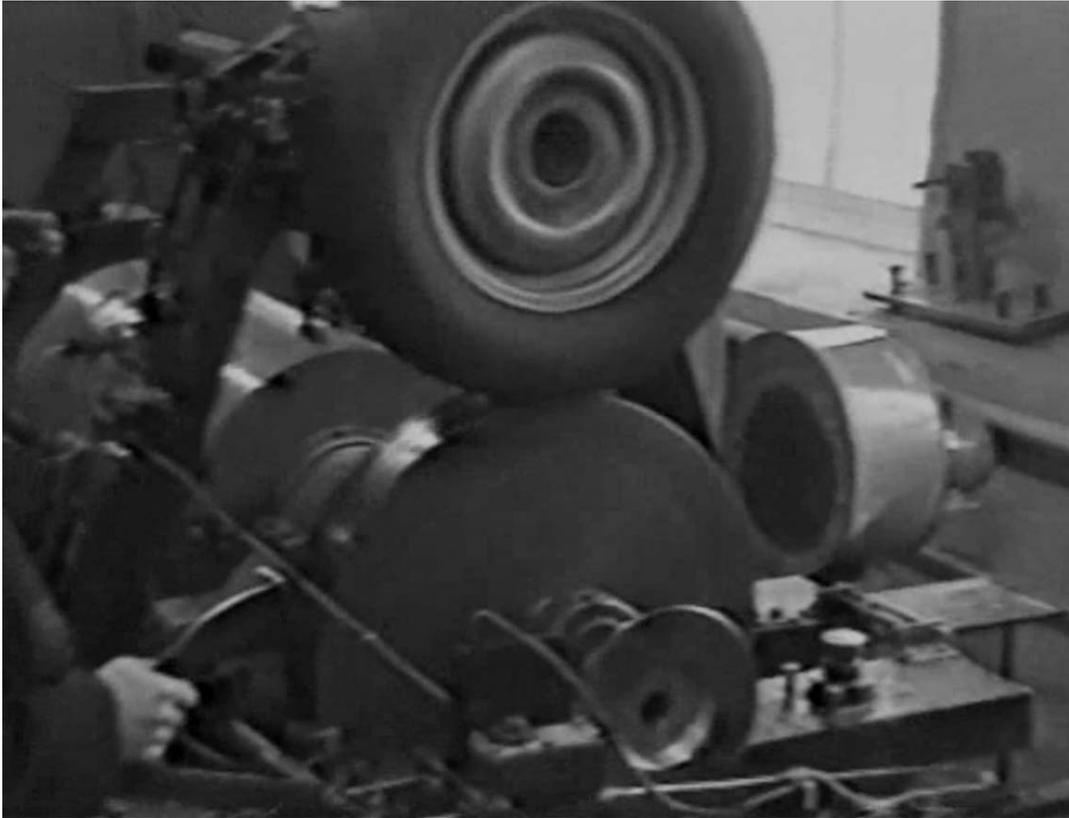


Рис. 1. Стенд для исследования антиблокировочной системы на силовом анализе

В 1999 г. была разработана первая антиблокировочная система на силовом анализе, которая прошла стендовые и натурные испытания на автомобиле ВАЗ-2108 (рис. 2). Результаты испытаний при различных дорожных условиях (лето, осень, зима, весна) показали его эффективность.

Как известно, Республика Беларусь была крупнейшим производителем мотоциклов и велосипедов. Рыночные условия, которые пришли после распада СССР, привели крупнейшее предприятие – ММВЗ в состояние упадка. Выйти из состояния кризиса ММВЗ может при больших объемах инвестиций для производства высокотехнологичной продукции, способной конкурировать на международном рынке.

Обеспечение безопасности – непреходящая задача автомобильного транспорта; она является актуальной и острой проблемой и двухколесных

транспортных средств, производство которых развивается стремительными темпами во всем мире.



Рис. 2. Автомобиль ВАЗ-2108 с антиблокировочной системой на силовом анализе

На кафедре ТЭА ведутся исследования по созданию САБ двухколесных транспортных средств. Разрабатываются новые системы активной безопасности на силовом анализе.

Под руководством канд. техн. наук, доц. А. С. Мельникова создана современная лаборатория испытаний велосипедов и мотоциклов. Подобная лаборатория отсутствует в других вузах РБ и является уникальной.

В лаборатории успешно проходят испытания новые макетные образцы САБ на силовом анализе, создаются новые источники информации.

Создание новых, современных, источников информации, позволяющих отслеживать силовые факторы, являющихся основой эффективных алгоритмов САБ, например, для мотоциклов, является прерогативой НИР кафедры ТЭА.

На кафедре ТЭА проводятся испытания устройств измерения сил в контакте колес мотоцикла ММВЗ с опорной поверхностью при его торможении и разгоне, необходимых для создания противобуксовочных и антиблокировочной систем мотоцикла ММВЗ с электроприводом.

Системы торможения велосипеда «АИСТ» и мотоцикла ММВЗ прошли стендовые и предварительные беговые испытания и могут быть использованы в перспективных моделях мотоцикла и велосипеда с электроприводами (рис. 3–6).

Использование созданных САБ в мотоциклах и велосипедах ММВЗ позволит повысить их конкурентоспособность.

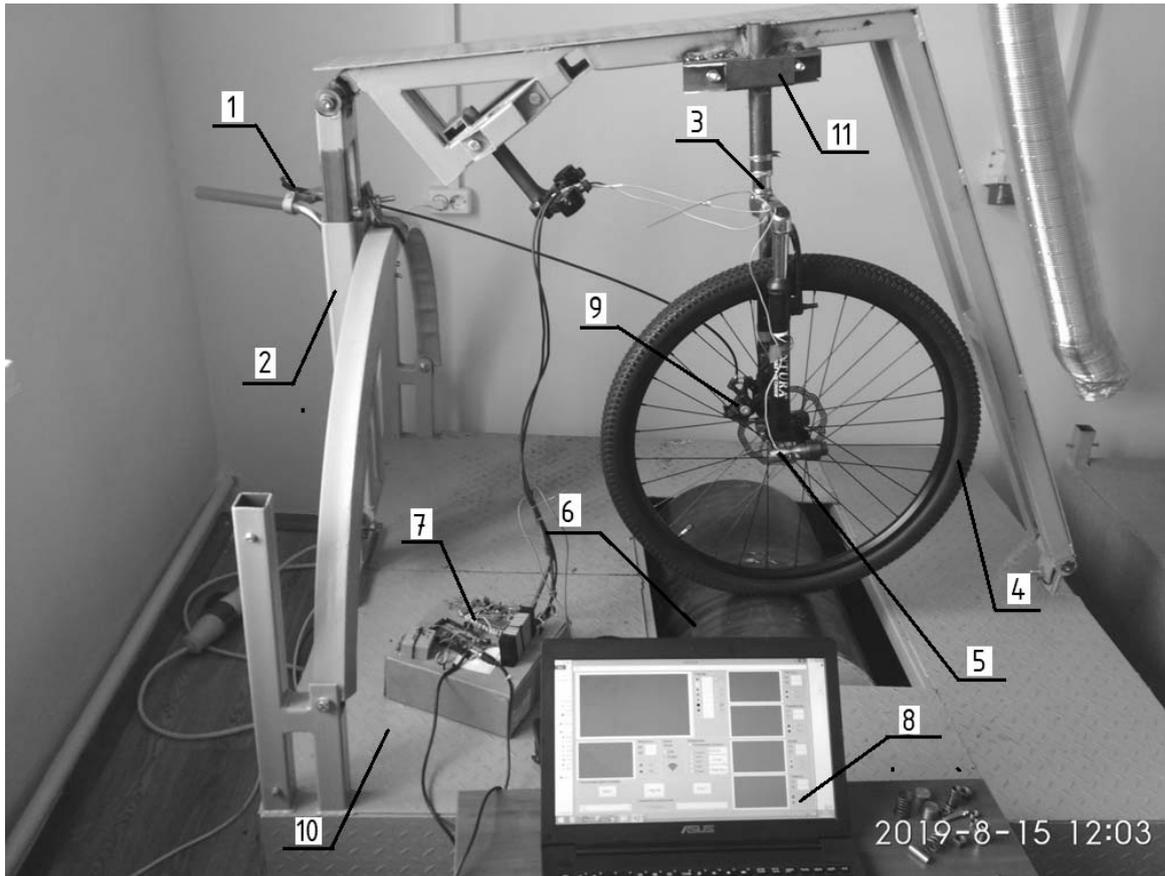


Рис. 3. Стенд испытаний алгоритма управления торможением велосипеда на силовом анализе: 1 – рукоятка тормозного механизма; 2 – рама нагружения колеса; 3 – передняя вилка велосипеда; 4 – колесо велосипеда; 5 – датчик измерения усилия и гармонический осциллятор; 6 – беговой барабан стенда (инерционная масса); 7 – схема преобразования данных; 8 – компьютер; 9 – дисковый тормозной механизм; 10 – стенд исследования эффективности тормозных механизмов; 11 – крепление передней вилки велосипеда

Автомобильные грузоперевозки играют важную роль в сфере экономики любой страны. Почти все организации, занимающиеся производственной или коммерческой деятельностью, используют данный вид перевозок, поэтому спрос на эти услуги постоянно растет. В настоящее время на долю магистральных АТС и многомерных автомобильных поездов приходится значительная часть грузоперевозок.

Повышение эффективности автомобильных грузоперевозок во многом зависит от их безопасности и тяговой динамики, обеспечиваемых современными САБ АТС.

Кафедра занимается проблемой повышения тяговой динамики магистральных АТС путем создания автоматической системы превентивной передачи мощности, осуществляющей передачу момента на прицепное звено тягача при буксовании его ведущих колес.

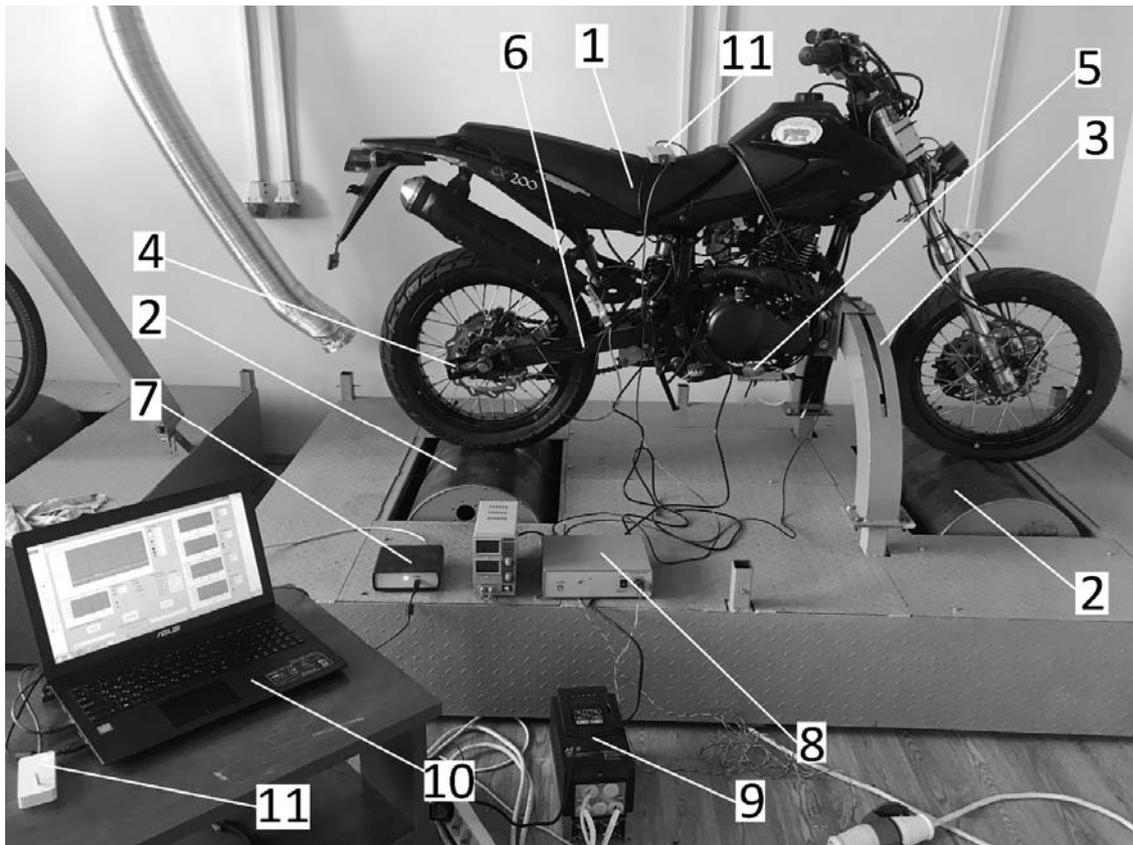


Рис. 4. Стенд для измерения тормозных сил мотоцикла ММВЗ: 1 – мотоцикл; 2 – беговой барабан; 3 – рама крепления мотоцикла; 4 – датчик измерения тормозных сил; 5 – датчик измерения силы нажатия на педаль тормоза; 6 – задний маятник мотоцикла; 7 – блок управления электродвигателями; 8 – АЦП; 9 – инвертор; 10 – ноутбук; 11 – модуль связи



Рис. 5. Стенд для исследования алгоритма превентивной передачи момента колесам тележки с электромеханическим приводом ее колес



Рис. 6. Ходовые испытания алгоритма превентивной передачи момента колесам экспериментальной тележки с электромеханическим приводом

### ***Выводы по результатам исследований***

1. Созданы и испытаны макетные образцы электронных САБ велосипедов и мотоциклов, реализующих алгоритмы, основанные на прямом измерении и анализе сил в контакте колес при их торможении и разгоне.

2. Разработаны методы идентификации скольжения контактов колес относительно опорной поверхности и критерии формирования сигналов управления исполнительными механизмами колесных машин, основанные на качественном анализе электрических, пропорциональных силам в контакте колес с опорной поверхностью.

3. Использование источников информации о силах в сцепных устройствах тягача с прицепными звеньями, включающих электромеханический привод их колес, позволит создать электронные системы для превентивной автоматической передачи моментов колесам прицепных звеньев при буксовании ведущих колес тягача.

4. Значимость создания собственных, отечественных систем САБ АТС диктуется тем, что мировые производители уже запретили выпуск автомобилей без установки ESP, а это означает повышение конкуренции на рынке колесных машин для стран СНГ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тормозные системы колесных машин / И. С. Сазонов, П. А. Амельченко, В. А. Ким, А. С. Мельников, Д. А. Дубовик; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – 346 с.: ил.
2. **Сазонов, И. С.** Теория автомобиля: учебное пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки-Йонг Чой. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 164 с. : ил.
3. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
4. Управление движением колесных машин / С. Н. Поддубко [и др.]; под ред. проф. И. С. Сазонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – 510 с.: ил.
5. Основы создания САБ АТС на основе силового анализа / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки-Йонг Чой, Г. О. Котиев. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – 118 с.: ил.
6. Механическая антиблокировочная система: пат. ВУ 4778 / А. С. Мельников [и др.]. – Оpubл. 20.05.2007.
7. Способ управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства: пат. WO 98/01332 / В. А. Ким, Ф. А. Ким, В. С. Портасенок, Р. И. Фурунжиев, В. П. Лобах, Г. В. Бочкарев. – Оpubл. 15.01.1998.

УДК 621.383

КОРРЕКТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ  
ПРИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ

Д. Н. ЮМАНОВ

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Технологические процессы контактной рельефной сварки являются одними из основных при получении неразъемных соединений в области автомобилестроения, производства сельскохозяйственной техники, лифтов, авиастроения и пр. Одним из способов снижения себестоимости изготовления изделий, конструктивные решения которых содержат малогабаритные сварные узлы, весьма эффективным технологическим процессом является контактная рельефная сварка T-образных соединений.

Однако отсутствие в различных литературных источниках теоретических основ процесса образования T-образных соединений вызывает сложности при определении параметров рельефной сварки и требует проведения ряда дополнительных экспериментальных исследований для получения технологии сварки конкретных типов изделий.

В настоящее время в области сварочного производства стремительно развивается перспективное направление, связанное с разработкой систем автоматического управления процессами контактной точечной и рельефной сварки. Серийная аппаратура управления машин для контактной сварки в основном работает по циклу с жестким заданием режима сварки, которое предусматривает стабилизацию сварочного тока и не позволяет оптимизировать ввод электрической энергии в зону сварки за счет использования обратных связей по другим параметрам процесса (перемещение подвижного электрода, мощность и энергия тепловложения, усилие сжатия электродов и пр.).

Современные аналого-цифровые и устройства с микропроцессорной архитектурой позволяют не только регистрировать параметры сварочного процесса для последующего анализа и внесения в него корректировок, но и напрямую воздействовать на параметры сварки в режиме реального времени.

Регулирование процессом сварки в разрабатываемой нами корректирующей системе осуществляется путем задания мощности тепловложения в каждом полупериоде сетевого напряжения с помощью управления тиристорным контактором сварочной машины.

Изначально разрабатывался математический аппарат, позволяющий в процессе сварки в режиме реального времени рассчитывать коэффициент регулирования мощности тепловложения  $k_{Pn}$  в межэлектродную зону в те-

кущем полупериоде сетевого напряжения. Вычисление коэффициента регулирования мощности  $k_{P_{n+1}}$  и угла открытия тиристоров  $\alpha_{n+1}$  в следующем полупериоде сетевого напряжения базировалось на измерении действующих значений вторичного тока  $I_2$  и напряжения между электродами  $U_{ээ}$ , длительности включенного состояния тиристоров  $\lambda_n$  в течение предыдущего полупериода и определении по аппроксимирующей зависимости коэффициента мощности  $\cos\phi$  контактной сварочной машины [1].

Далее математический аппарат с помощью программы LabView был реализован в виде программного кода, представляющего собой программный инструмент, с помощью которого осуществляется управление по мощности тепловложения в корректирующей системе автоматического управления. Для отработки циклограммы сварки разработан виртуальный блок цикла сварки, осуществляющий ожидание нажатия на педаль сварочной машины, отсчет с помощью таймеров-счетчиков интервалов времени предварительного сжатия, сварки, проковки и паузы, управление включением катушек электропневмоклапанов сжатия и проковки, а также включением сварочного тока путем задания напряжения управления  $U_y$  и угла открытия  $\alpha$  тиристорного контактора [2].

Структурная схема устройства для реализации способа контактной рельефной сварки с адаптивным управлением включает в себя следующие компоненты (рис. 1): терминал управления (например, персональная ЭВМ), аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь напряжений (далее АЦП и ЦАП) (например, преобразователь NI-USB 6251), блок управления тиристорами (далее БУТ) (например, блок ОВЕН БУСТ2), блок питания и согласования напряжений (далее БПСН), контактную сварочную машину, включающую тиристорный контактор, пневмораспределители привода сжатия и проковки, датчики обратной связи по напряжению межэлектродной зоны  $U_{ээ}$ , вторичному току  $I_2$  и напряжению питания  $U_1$ , педаль пуска, программируемый логический контроллер (например, ПЛК 160), преобразователь линейного перемещения электрода, тензорезисторы для измерения усилия сжатия электродов, модуль аналогового ввода сигналов тензодатчиков.

Программируемый логический контроллер связывается с терминалом управления по локальной сети Ethernet и по шине USB. Через терминал управления в АЦП и ЦАП по шине USB вводится программный код, который позволяет задавать циклограмму заданной табличной мощности тепловложения  $P_{зад}$ , время срабатывания пневмораспределителей привода сжатия и проковки и тиристорного контактора. АЦП и ЦАП отслеживает нажатие на педаль пуска сварочной машины и обрабатывает сигналы датчиков обратной связи по вторичному току  $I_2$ , напряжению межэлектродной зоны  $U_{ээ}$  и напряжению питания  $U_1$ . БУТ формирует выходной сигнал длительности включения тиристоров  $\lambda$  и передает его в АЦП и ЦАП, который, в свою очередь, осуществляет выработку

напряжения управления  $U_y$ , поступающего на вход БУТ.

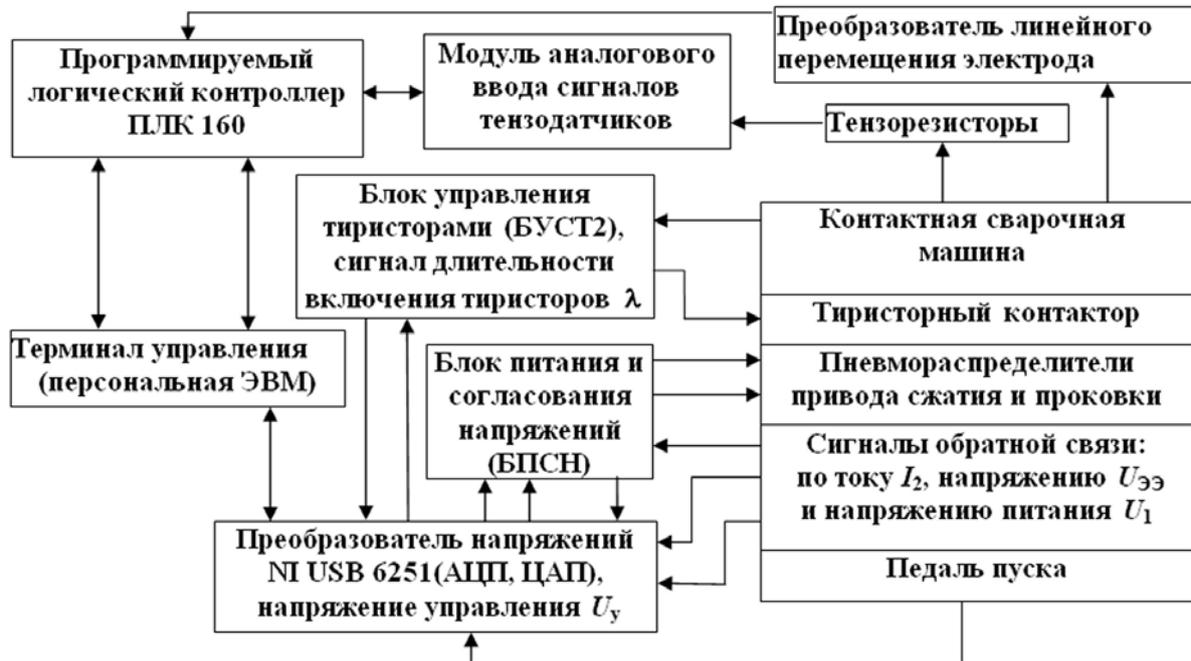


Рис. 1. Структурная схема аппаратной части корректирующей системы автоматического регулирования мощности тепловложения

Использование персональной ЭВМ при разработке алгоритмов управления контактными сварочными машинами целесообразно по следующим причинам:

- ЭВМ в связке с микроконтроллером становится универсальным инструментом для реализации алгоритмов управления любой сложности, при этом экономятся материальные затраты на другие дорогостоящие аппаратные средства и модернизацию устройства самой сварочной машины;
- существует возможность детальной записи и последующего замедленного воспроизведения необходимого потока данных, получаемого при сварке на экспериментальной установке, с их дальнейшим анализом.

Использование компьютерного управления позволяет генерировать новые законы регулирования, которые в дальнейшем могут применяться при построении серийных контроллеров контактной сварки.

Основной проблемой исследований при разработке корректирующей системы автоматического регулирования мощности тепловложения в зону рельефной сварки является сложность внедрения системы в производство.

Измерение электрических параметров осложнено влиянием электромагнитных помех. Основным препятствием, усложняющим аппаратуру, предназначенную для измерения мощности тепловложения, является необходимость располагать провода, снимающие напряжение с электродов  $u_{ээ}$ , вдоль токоведущих частей сварочной машины. ЭДС, возникающая в про-

водах, пропорциональна скорости изменения магнитного потока и иногда превышает напряжение  $u_{ЭЭ}$ , которое имеет низкий уровень 1,5...2 В.

Использование преобразователя напряжения National Instruments NI-USB 6251 решает проблему за счет подключения датчиков тока и напряжения на аналоговые входы по дифференциальной схеме, снижающей уровень паразитных наводок и увеличивающей коэффициент ослабления синфазных помех.

Для получения информации о текущем перемещении верхнего подвижного электрода при контактной точечной и рельефной сварке необходимо применять оптоэлектронные преобразователи линейных перемещений или фотоэлектрические датчики. Данные от датчиков могут использоваться устройствами сбора данных также для расчета скорости и ускорения перемещения электрода и их контроля.

Для измерения перемещения подвижного электрода используется инкрементальный преобразователь линейных перемещений ЛИР-17, имеющий на выходе два квадратурных сигнала А и В со смещением фазы 90 град, используемых для определения текущего положения штока и направления перемещения. При передаче сигналов от датчика к контроллеру для минимизации ухудшения сигнала используют дифференциальные выходы А,  $\bar{A}$  и В,  $\bar{B}$ , состоящие из двух витых пар для повышения помехоустойчивости сигнальных линий. Датчик позволяет измерять контактным методом перемещения до 40 мм с точностью 0,1...10 мкм.

Принципиальная схема измерительного моста для регистрации усилия сжатия электродов при контактной сварке на основе двух фольговых тензорезисторов приведена на рис. 2.

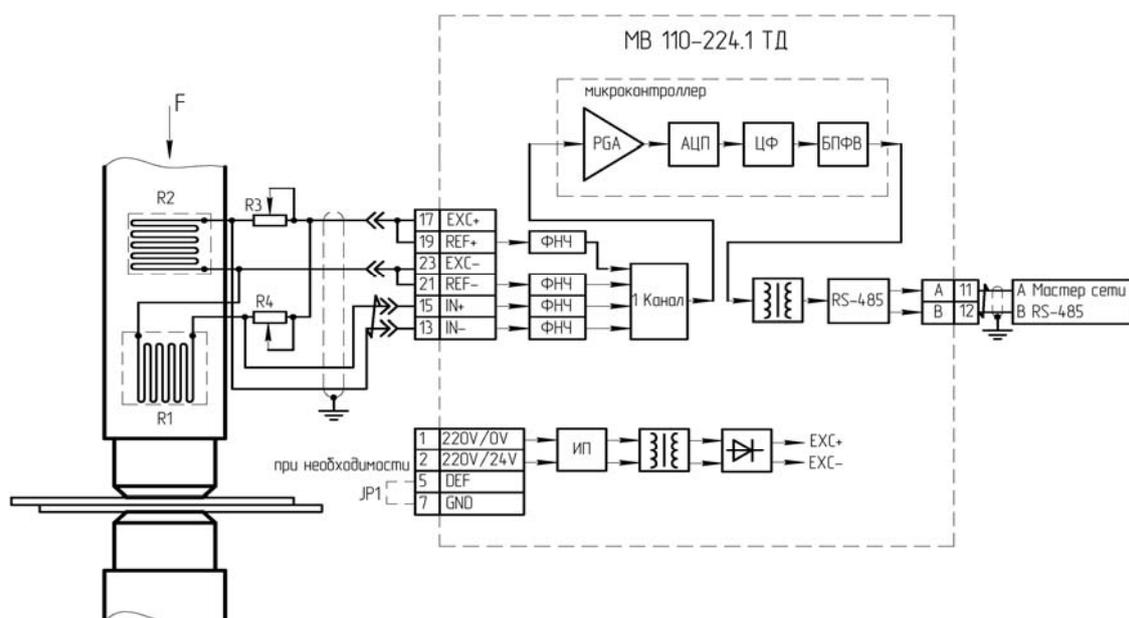


Рис. 2. Регистрация усилия сжатия электродов при контактной сварке с помощью тензорезисторов и модуля аналогового ввода MB110-224.1ТД

Тензорезисторы R1 и R2 одинакового сопротивления наклеиваются на электрододержатель, который играет роль упругого элемента сжатия-растяжения, воспринимающего усилие сжатия. Тензорезистор R1 реагирует на упругую деформацию в направлении оси электрода. Тензорезистор R2 выступает как термокомпенсирующий элемент, т. к. в процессе сварки электрододержатель может нагреваться. Переменные резисторы R3 и R4 составляют плечи моста и используются для его балансировки перед измерением, поэтому во время регистрации выходной сигнал пропорционален только усилию сжатия. Кривая выходного напряжения тарируется стандартным динамометром, имеющим высокий класс точности. Измерение усилия сжатия электродов осуществляется с помощью модуля аналогового ввода сигналов тензодатчиков MB110-224.1ТД. Входным сигналом прибора является постоянное напряжение с выхода тензорезистивного моста, которое через помехоподавляющие фильтры низких частот приходит на вход АЦП. Цифровой фильтр обеспечивает дополнительную фильтрацию от импульсных помех и помех с частотами, кратными частоте сети 50 Гц.

В настоящее время обеспечение прочностных характеристик соединений, получаемых контактной рельефной сваркой, является острой проблемой. Применение систем автоматического регулирования позволяет не только получать качественное сварное соединение, но и снижать себестоимость производства сварных узлов за счёт снижения потребления электрической энергии. Однако при проектировании и разработке таких систем необходимо уделять внимание особенностям подключения системы к сварочной контактной машине. Следует использовать такие средства измерений параметров сварки, которые смогли бы обеспечить стабильную работу корректирующей системы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О фазовом регулировании мощности тепловложения в межэлектродную зону при контактной сварке / С. М. Фурманов, А. Ю. Поляков, Д. Н. Юманов, А. Н. Кухарев // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 1. – С. 80–91.
2. Компьютерное управление процессом контактной сварки с помощью среды графического программирования LabView / С. М. Фурманов, Д. Н. Юманов, И. Н. Смоляр, И. Д. Камчицкая // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 54–62.
3. Аппаратная реализация корректирующей системы регулирования мощности тепловложения при контактной рельефной сварке / С. М. Фурманов, Б. В. Федотов, Д. Н. Юманов, И. Н. Смоляр // Сварка и Диагностика. – 2018. – № 5. – С. 35–40.

УДК 621.91.01/02  
 КИНЕМАТИКА И УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ  
 СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
 НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

В. С. АНИСИМОВ

Научный руководитель Н. Н. ПОПОК, д-р техн. наук, проф.  
 Полоцкий государственный университет  
 Новополоцк, Беларусь

Для определения влияния угла наклона режущей кромки инструмента и ее касательного движения резания на показатели (скорость резания, подача) и характеристики (сила резания, усадка стружки) процесса резания рассмотрим некоторые схемы обработки конструктивных элементов и поверхностей вращающейся детали вращающимся инструментом на токарно-фрезерном станке с ЧПУ фирмы EMCO – EMCOTum S45 (рис. 1). Схема обработки цилиндрической и плоской поверхностей может осуществляться как при попутном, так и при встречном фрезеровании.

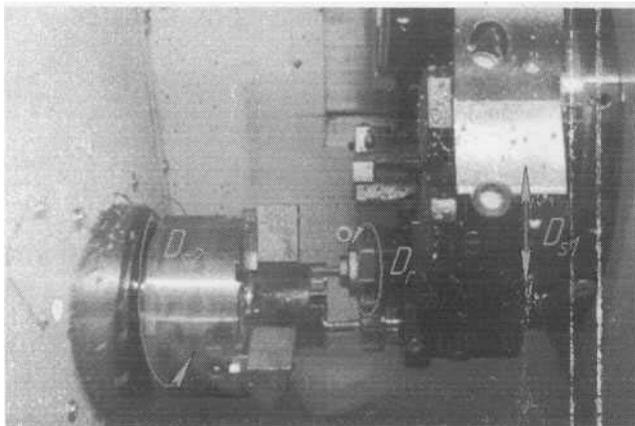


Рис. 1. Обработка цилиндрической и плоской поверхностей детали на токарно-фрезерном станке с ЧПУ EMCOTum S45

Как при попутном, так и при встречном фрезеровании вращение инструмента  $D_f$  совпадает по направлению (при попутном фрезеровании) или разнонаправлено (при встречном фрезеровании) с движением подачи заготовки  $D_{s2}$ , которое в сочетании с движением подачи инструмента  $D_{s1}$  позволяет получить плоскую поверхность. Дискретность перемещений инструмента и вращения заготовки по рабочим осям станка просчитывается системой УЧПУ в за-

висимости от параметров режима резания (глубины резания, минута подачи инструмента, припуска на чистовую обработку и т. д.), которые задает оператор станка в цикле обработки.

Нормальная скорость резания  $v_N$ , направленная перпендикулярно к режущей кромке инструмента, в сочетании с касательной скоростью резания  $v_T$  образуют скорость резания инструмента  $v_f$ . Независимо от угла наклона режущей кромки  $\lambda$  скорость резания инструмента  $v_f$  будет перпендикулярна в любой точке режущей кромки к оси вращения инструмента. Но с учетом скорости движения подачи инструмента  $v_{s1}$  и заготовки  $v_{s2}$  результирующая скорость резания при попутном и встречном фрезеровании в различных точках соприкосновения режущего лезвия инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки будет разной.

УДК 621.787

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА  
ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОГО РАСКАТЫВАНИЯ

А. В. БОГДАНОВ, В. В. АФАНЕВИЧ, В. М. ПАШКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

На эффективность процесса инерционно-импульсного раскатывания могут оказывать влияние различные факторы. Одним из таких факторов является скорость деформирующего элемента (шара) в момент нанесения удара по обрабатываемой поверхности. При выполнении обработки на станке скоростью шара можно управлять изменением частоты вращения заготовки или частоты вращения инструмента (в зависимости от группы станка, на котором производится обработка). Такой способ регулирования удобен и эффективен при использовании уже готового инструмента. Но на стадии проектирования инструмента важно правильно выбрать тип беговой дорожки для деформирующих шаров, который также существенно влияет на скорость движения шаров.

Известны [1] методика для определения скорости и графики, отражающие зависимость скорости движения центра шара для различных беговых дорожек от его расстояния до центра дорожки. Ставилась задача избежать жестких ударов при обкатывании шара по дорожке. Описанные подходы справедливы и для беговых дорожек, используемых в инерционно-импульсном раскатнике. Однако в данном случае жесткие удары не критичны, а, наоборот, способствуют более эффективной обработке.

На предмет определения скорости центра шара были исследованы беговые дорожки, выполненные в виде синусоиды, смещенной окружности, циклоиды, спирали Архимеда и участков прямых линий. При инерционно-импульсном раскатывании шар наносит удар по обрабатываемой поверхности, приближаясь к наиболее удаленной от центра дорожки точке. В этой области для дорожек, выполненных в виде синусоиды, смещенной окружности и циклоиды, шар замедляет свою скорость до нуля, и обработка поверхности становится неэффективной.

При движении шара от центра к периферии для дорожки, выполненной в виде спирали Архимеда, скорость остается постоянной на всем участке. В то же время для дорожки, выполненной в виде участков прямых линий, шар увеличивает свою скорость при удалении от центра дорожки.

Таким образом, применение двух последних дорожек представляет наибольший интерес вследствие их большей эффективности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пашкевич, М. Ф.** Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания / М. Ф. Пашкевич, В. В. Геращенко. – Минск: БелНИИНТИ, 1992. – 248 с.

УДК 621.9.047.7:621.923

ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ  
МАТРИЧНЫХ СТЕНТОВ ИЗ НИТИНОЛА

А. С. БУДНИЦКИЙ

Научный руководитель Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Для увеличения биологического просвета и поддержания проходимости кровеносного сосуда после чрескожной транслюминальной ангиопластики в медицинской практике используются стенты из нитинола – материала, обладающего высокой упругостью и эффектом памяти формы. Важнейшей характеристикой стентов, оказывающей существенное влияние на их коррозионную стойкость в агрессивной среде организма, биосовместимость и риск повторного уменьшения просвета сосуда в зоне имплантации, является качество их поверхностей.

Для обеспечения высокого качества поверхностей стентов ( $R_a$  до 0,1 мкм) применяются электрохимические методы. Электрохимическое полирование (ЭХП) стентов не только обеспечивает улучшение качества поверхности, но и приводит к формированию чистого и равномерного пассивного слоя, устранению дефектов, улучшению механических свойств обработанной поверхности и повышению её коррозионной стойкости.

Традиционно процессы ЭХП стентов из нитинола выполняют с применением постоянного тока. Их основным недостатком является чрезмерный съём металла с обрабатываемых поверхностей, что недопустимо для изделий сложной формы, малого сечения и жёсткости, таких как стенты. Другим существенным недостатком является необходимость использования электролитов сложных составов, содержащих токсичные компоненты – плавиковую кислоту и метанол.

Нами разработаны режимы с применением импульсного тока с импульсами микросекундной длительности (10...100 мкс), позволяющие добиться существенного повышения эффективности процесса ЭХП, когда за счет локализации анодного растворения скорость сглаживания микронеровностей обрабатываемой поверхности, отнесённая к общему съёму металла, значительно возрастает. При этом становится возможным качественное полирование стентов из нитинола в электролитах, не содержащих токсичных компонентов, таких как фториды и метанол.

По результатам выполнения исследований процессов импульсного ЭХП разработаны электролиты и установлены амплитудно-частотные характеристики, обеспечивающие высокое качество поверхности стентов из нитинола (до  $R_a$  0,05 мкм) при низком съёме (до 15 % исходной массы) и допустимом радиусе закругления кромок.

УДК 621.1  
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ  
НА СТОЙКОСТЬ ДИСКОВЫХ ФРЕЗ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

К. С. ВИННИЧЕК, Т. П. ЛИТВИНОВИЧ

Научный руководитель А. Н. ЖИГАЛОВ, канд. техн. наук, доц.  
Барановичский государственный университет  
Барановичи, Беларусь

Для улучшения поверхностей деталей машин и режущего инструмента применяют различные методы химико-термической обработки. Наиболее совершенным методом является ионно-плазменное азотирование (ИПА). Этот метод позволяет улучшить такие характеристики режущих инструментов как износостойкость, теплостойкость, коррозионная стойкость, а также закалка, проводимая вместе с поверхностным насыщением.

Сущность этого метода заключается в том, что в разряженной до 250 атм. азотосодержащей газовой среде между катодом, на котором располагается инструмент, и анодом (стенки вакуумной камеры) возбуждается аномальный тлеющий разряд, образующий активную среду (ионы, атомы, возбужденные молекулы). Под действием температуры около 545 °С происходит насыщение поверхностей инструментов ионами азота. На поверхности инструментов образуется слой, состоящий из внешней – нитридной – и располагающейся под ней диффузной зоны.

Исследования проводились на дисковых отрезных, шлицевых и пазовых двухсторонних фрезах на базе Барановичского государственного университета на установке ИПА. Использовались фрезы диаметром 60 мм, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5, с твердостью 61...63 HRC. После обработки на ИПА получили более высокую твердость поверхностей и улучшенные режущие характеристики этих инструментов. После испытаний (отрезание заготовок, прорезание шлицев головок винтов и прямоугольных сквозных пазов) при наблюдении под микроскопом модели Ftemj-2000 на режущей части фрез не наблюдалось изменения структуры, формы зубьев, их деформации и цвета.

В сравнении с широко используемыми методами упрочняющей термической и химико-термической обработки материалов (закалка, цементация, нитроцементация, цианирование, газовое азотирование в печах) метод ИПА имеет ряд преимуществ:

- более высокая твердость азотированных поверхностей;
- отсутствие деформаций и коробления после обработки;
- высокая коррозионная стойкость обработанных поверхностей;
- более низкая температура обработки (400...600 °С), благодаря чему не изменяется структура материала.

УДК 621.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Г. И. ГВОЗДЬ

Научный руководитель Н. Н. ПОПОК, д-р техн. наук, проф.  
Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь

Анализ тенденций проектирования инструментальных систем ведущими зарубежными фирмами, например, Sandvik Coromant (Швеция), Iscar (Израиль), Hertel (Германия), Kennametal (США), Seko и Mitsubishi (Япония), TaeguTec (Корея) и др., показывает, что наиболее перспективным направлением в использовании режущего инструмента является применение многофункциональной модульной технологической оснастки.

Разработана система (гамма) блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) на основе унифицированного блока резцового, включающая резцы токарные расточные, резьбовые, проходные и т. д., фрезы торцовые, дисковые, охватывающие и т. д., головки расточные, зуборезные и т. д.

В связи с большой номенклатурой режущих инструментов необходимо применение обобщенного подхода к проектированию сборных режущих инструментов. Формализация процесса проектирования комплекта БМРИ включает создание следующих математических моделей [1, 2]: модель формирования исходной информации по обрабатываемым поверхностям и конструктивным элементам; модель обобщенной схемы обработки резанием; модель обобщенной конструктивной схемы БМРИ; модель взаимного расположения блоков и модулей БМРИ; модель оценки вариантов конструкций БМРИ по критериям; модель оценки напряженно-деформированного состояния БМРИ.

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

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попок, Н. Н.** Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н. П. Попок. – Минск: Технопринт, 2001. – 396 с.
2. **Таратынов, О. В.** Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: учебное пособие для вузов / О. В. Таратынов, Г. Г. Земсков, Ю. Л. Тарамыкина. – Москва: Высшая школа, 1991. – 423 с.

УДК 621.01

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

И. А. ГОЛОД

Научный руководитель В. С. МУРАШКО

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Беларусь

При проектировании технологических процессов в машиностроении большое внимание уделяется выбору режущих инструментов, т. к. от этого в большей степени зависит эффективность и экономичность обработки. Многообразие инструментов значительно усложняет эту задачу. Кроме того, оптимальный выбор зависит от множества различных факторов.

В данной работе рассматривается каталог Mitsubishi Carbide.

С помощью программы Microsoft Access была разработана база данных, содержащая всю необходимую информацию об инструментах, а также о быстросменных неперетачиваемых пластинах для них и рекомендуемых режимах резания. Информация представлена в виде совокупности таблиц, связанных между собой общими полями. База данных содержит сведения о токарных резцах для наружного точения, растачивания и нарезания наружной и внутренней резьбы.

Для удобства работы с базой данных и быстрого получения необходимой информации было разработано приложение на языке программирования C#.

При запуске приложения устанавливается соединение с базой данных Microsoft Access. Затем на основании введенной информации осуществляется выбор токарного инструмента при помощи последовательных SQL-запросов. Результаты работы программы отображаются в виде таблицы.

Алгоритм работы программы следующий.

Исходя из вида обработки и общих условий резания выбирается державка и вид резца. Резцы имеют разные исполнения, которые выбираются по размерам резцедержателя станка. В зависимости от обрабатываемого материала и требуемой точности выбирается сменная пластина. В результирующую таблицу выводится вид обработки, наименование державки, полное обозначение резца и сменной пластины, а также рекомендуемые режимы резания.

Приложение позволяет значительно сократить время проектирования технологических процессов, что особенно актуально в мелкосерийном производстве.

УДК 621.83.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
БОКОВЫХ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ САТЕЛЛИТАМИ И ДЕТАЛЯМИ  
ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

М. В. ЛЕБЕДЕВ, К. В. САСКОВЕЦ

Научный руководитель А. В. КАПИТОНОВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

При исследовании планетарных передач с промежуточными телами качения в виде шаров или цевок важным является исследование характера распределения боковых зазоров между сателлитами и деталями зацепления ведущего и ведомого звеньев. В этих передачах при вращении сателлиты перемещаются по многопериодным дорожкам и находятся в контакте с кольцом ведущего звена, многопериодной дорожкой и сепаратором, связанным с выходным валом. Наличие зазора между сателлитами и прорезями (пазами, отверстиями) сепаратора приводит к неравномерности вращения звеньев передачи.

С уменьшением диаметра сателлита на  $0,05 \dots 0,1$  мм ведущая дорожка поворачивается на  $0,2 \dots 0,4$  град больше номинального, уменьшая клиновой зазор между другими сателлитами и деталями зацепления. При этом сателлит входит в зацепление, нарушая закон движения, и поворачивает сепаратор на угол, отличный от номинального. Происходит периодическое замедление и ускорение ведомого вала через некоторые угловые интервалы.

Увеличение ширины пазов сепаратора для обеспечения бокового зазора также приводит к неравномерности вращения ведомого звена. Кроме того, если ширина паза сепаратора будет значительной, то практически передавать нагрузку будет один сателлит. Это снизит нагрузочную способность передачи. При этом теоретически сателлит будет находиться близко к вершине многопериодной дорожки с небольшими углами подъема, что приведет к снижению КПД передачи. Поэтому нужно рассчитать оптимальный боковой зазор между сателлитами и пазами сепаратора, который должен учитывать температурные деформации, размещение масла и погрешности изготовления передачи.

Расчет минимального бокового зазора для планетарных передач с промежуточными телами качения выполнялся по методикам расчета зубчатых передач. Компьютерным моделированием и расчетами были определены основные погрешности изготовления и сборки деталей зацепления планетарных передач с разным передаточным отношением, влияющие на равномерность вращения всех их звеньев. Установлены численные значения минимальных боковых зазоров и их допуски.

УДК 623.462.22

## СИНТЕЗ АВТОПИЛОТА НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

А. В. ЛОПУХОВ

Научный руководитель О. В. СИДОРОВИЧ, канд. техн. наук, доц.  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

Классическая теория управления давно освоила методы внешнего силового воздействия на объект управления (ОУ), для синтеза автопилота используются линеаризованные математические модели. Следствие этому – неполное соответствие реальному физическому объекту, т. к. связь между каналами управления осуществляется косвенно и не учитывается часть динамических свойств.

Следует пересмотреть данные подходы и перейти к идеям синергетики. Использование последней основано на методе аналитического конструирования агрегированных регуляторов, который может применяться для сложных, нелинейных, многомерных и многосвязных ОУ (например, зенитная управляемая ракета, беспилотный летательный аппарат и т. д.), и является методологическим ядром синергетической теории управления.

Применение данного метода позволило:

- реализовывать синтез, используя полную нелинейную математическую модель пространственного движения летательного аппарата, что дало возможность повысить динамические свойства ОУ;

- осуществлять напрямую связь между каналами, не разбивая его на отдельные части, благодаря чему появляется возможность не терять часть динамических свойств;

- достигать необходимых целей управления, предъявляемых к ОУ, за счет введения инвариантных многообразий, которые выступают в роли линии или точки, по которой ОУ движется до тех пор, пока не достигнет желаемых целей управления;

- добиваться инвариантности внешних и внутренних возмущений.

Синергетические законы управления реализуют процесс расширения-сжатия фазового пространства за счет увеличения-уменьшения степеней свободы, исходной полной нелинейной математической модели пространственного движения ОУ.

Использование идей синергетической теории управления в нелинейной постановке позволит перейти на новый уровень в системе автоматического управления.

УДК 531.3

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ И АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ

К. С. МАСЛОВА

Научный руководитель А. В. БОРИСОВ, д-р физ.-мат. наук, доц.  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

Определяющим показателем при оценке эффективности развития России является качественный и количественный рост научной активности, который провоцируется также инновациями в социальной сфере. Ведется работа над обеспечением безопасности и комфорта людей, чьи двигательные возможности по каким-либо причинам ограничены. Высокотехнологичная продукция робототехники обеспечивает повышение уровня адаптации и эффективности работы организма. Применение экзоскелетов распространено в области медицины, что обосновывается популяризацией разработанных пространственных моделей в целях содержания человеческого тела в вертикальном состоянии, а это способствует обмену веществ организма и его более эффективной функциональности. Этим обуславливается актуальность популяризации разработки пространственных моделей экзоскелетов, а также их технической реализации.

Для разработки прототипов моделей экзоскелетов используются биологические прототипы соединений, взятые из наблюдения за процессом движения в живой природе. Исследования этого вопроса на практике ведутся в таких направлениях, как создание роботизированных моделей экзоскелетов, создание моделей антропоморфных роботов. Особенности разработки предполагают конструирование нижних конечностей, тазобедренного и голеностопного сустава. Особое внимание необходимо уделять числу звеньев, обеспечивающих свободу передвижения, подвижных соединений, которые предполагают естественное движение. Разработка данной модели экзоскелета отличается инновационностью и потому представляет собой фундамент для дальнейших практических разработок.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисов, А. В.** Применение обобщений матриц для построения дифференциальных уравнений движения трехмерных моделей эндо- и экзоскелета по уравнениям плоских механизмов / А. В. Борисов, А. В. Чигарев // Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб. – Минск: БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 91–104.
2. **Борисов, А. В.** Модель звена экзоскелета переменной длины с двумя весомыми абсолютно твердыми участками / А. В. Борисов, К. С. Маслова // Международный журнал теории и научной практики. – 2019. – Т. 2, вып. 2. – С. 104–109.

УДК 778.64.621.7

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИИ. Н. ПЛЮЩЕВСКИЙ, Е. А. БОРОДАВКО, В. К. БУРАЯ  
НИЭИ Минэкономки Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

Обращение к российскому опыту развития аддитивных технологий (АТ) в сфере металлопечати связано с тем, что сначала в России произошел импорт технологий без предварительного развития производства сырьевых материалов (металлические порошки) и без активного повсеместного внедрения цифровых технологий проектирования в промышленные предприятия страны. Интенсивный рост процессных разработок, определенные успехи в проектировании и изготовлении аддитивных машин различных способов выращивания в последние 5–6 лет произошли в результате значительных объемов финансирования предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и исследовательских учреждений, имеющих с ним соответствующие корпоративные связи.

В 2018 г. был сформирован Комплексный план мероприятий по развитию и внедрению АТ на 2019–2025 гг., на базе которого готовится проект подпрограммы «Развитие аддитивных технологий». Сам план предусматривает реализацию ряда мероприятий, которые целиком можно отнести и к развитию аддитивных производств в Республике Беларусь, а именно: создание единой цифровой среды на базе цифровых технологий; разработка отечественных материалов нового поколения и АТ изготовления деталей; создание отечественного оборудования на базе отечественного программного обеспечения (ПО); формирование национальных стандартов и нормативной документации; совершенствование подготовки кадров по базовым инженерным специальностям др.

В России интенсивно развивается база технических стандартов для аддитивных производств. Изготовление аддитивных машин и расходных материалов приняло характер единичных и мелкосерийных производств, а разработки технологических процессов происходят по всем известным направлениям 3D-металлопечати. При этом следует отметить, что развитие того или иного способа 3D-печати происходит в тех организациях, которые специализировались на исследованиях, разработках и создании оборудования и технологий в соответствующих направлениях сварочно-наплавочных производств. В частности, организации и коллективы, занимающиеся лазерной сваркой и в целом лазерными технологиями, направили свои усилия на разработку аддитивного оборудования селективного лазерного сплавления или прямого лазерного выращивания изделия. Это же сделали и организации или подразделения, которые специализировались на создании *электронно-лучевого оборудования или плазменно-дуговой сварки*. Последние два типа АТ характеризуются тем, что позволяют использовать дешевые проволочные расходные материалы, тем самым смещая возможность применения АТ из узкой области (например, аэрокосмической) в плоскость общего машиностроения, что в большей степени *может быть целесообразным для промышленного сектора* Республики Беларусь.

УДК 621.01/004.896  
 ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТОЧНЫХ  
 ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Н. Н. ПОПОК, Е. М. ТИХОН  
 Полоцкий государственный университет  
 Новополоцк, Беларусь

Точность расточных режущих инструментов зависит от точности исполнения резьбового соединения винт–гайка. Для повышения точности этого резьбового соединения чаще всего используется разрезная втулка, которая позволяет регулировать зазоры в резьбе и тем самым повышать точность перемещения резцовых вставок. При этом ставится задача по выбору размеров нарезаемых пазов во втулке – глубины, ширины, шага пазов, обеспечивающих требуемую точность перемещений.

Для решения этой задачи произведено моделирование резьбового соединения винт–втулка в программной среде «ANSYS». При изменении осевой нагрузки на резьбу от 50 до 200 Н рассматриваются напряжение в резьбовом соединении и перемещения винта.

На основе результатов моделирования была разработана *математическая модель* расчета напряжений и перемещений в блочно-модульных расточных режущих инструментах, позволяющая оптимизировать геометрические параметры винта и разрезной втулки в механизмах настройки режущих лезвий (рис. 1).

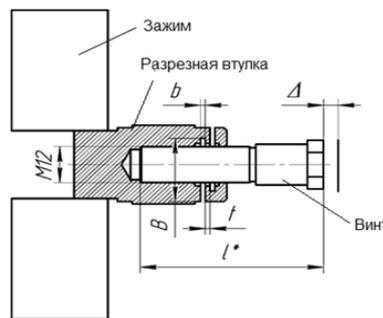


Рис. 1. Схема физической модели перемещений

Формулы, описывающие данную модель:

$$\Delta = -0,0283 - 0,00124 \cdot b - 0,0175 \cdot t + 0,00325 \cdot B;$$

$$\sigma = 39,285 - 11,575 \cdot b - 75,95 \cdot t + 6,23 \cdot B,$$

где  $\Delta$  – величина перемещения, мм;  $\sigma$  – величина напряжения, МПа;  $b$  – ширина паза, мм;  $t$  – шаг паза, мм;  $B$  – глубина паза, мм.

Оптимальными параметрами резьбового соединения являются ширина паза, равная двум шагам резьбы, и глубина паза, равная четырем пятым от диаметра втулки.

УДК 621.91.02

## ТЕХНОЛОГИЯ FDM-ПЕЧАТИ КОНСТРУКЦИИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ТОРЦОВОЙ ФРЕЗЫ

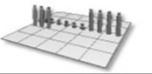
С. А. ПОРТЯНКО

Научный руководитель Н. Н. ПОПОК, д-р техн. наук, проф.  
Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь

В настоящее время 3D-геометрическое моделирование занимает ключевую позицию в процессе проектирования различного назначения машиностроительных изделий, в частности, режущего инструмента.

В первую очередь трудоемкость конструкторской и технологической подготовки производства фрез с использованием 3D-печати в значительной степени сокращает несколько этапов подготовки производства.

Технология трехмерной (FDM) печати позволяет получать достаточно точные геометрические модели блочно-модульной торцовой фрезы для дальнейшей оценки эргономических и аэродинамических свойств; необходимое количество времени и материалов на их изготовление представлено на рис. 1. Следует определить преимущества и недостатки технологии сборки, а также могут ли быть они изготовлены в инструментальных цехах отечественных машиностроительных предприятий.

	Contents: Копус1 (1)	Time: 20 hr 19 min Model Material: 215 cm <sup>3</sup> Support Material: 48.8 cm <sup>3</sup>
	Contents: Копус1 (2)	Time: 20 hr 19 min Model Material: 216 cm <sup>3</sup> Support Material: 46.8 cm <sup>3</sup>
	Contents: Копус2 (1)	Time: 20 hr 22 min Model Material: 218 cm <sup>3</sup> Support Material: 44.7 cm <sup>3</sup>
	Contents: Копус2 (2)	Time: 20 hr 22 min Model Material: 219 cm <sup>3</sup> Support Material: 42.8 cm <sup>3</sup>
	Contents: Винт_корпус (7) Блок резовый - Штифт-1 (5) Блок резовый - Винт пр-1 (1)	Time: 1 hr 43 min Model Material: 21.8 cm <sup>3</sup> Support Material: -17.9 cm <sup>3</sup>
	Contents: Блок резовый - Державка-1 (8) Блок резовый - Прихват-1 (3)	Time: 11 hr 16 min Model Material: 73.5 cm <sup>3</sup> Support Material: 14.5 cm <sup>3</sup>
	Contents: Заглушка (1) Блок резовый - Прихват-1 (5) Шайба2.SLDPRT (8) Механизм зажима - Винт кулачка-1 (1)	Time: 3 hr 38 min Model Material: 31.5 cm <sup>3</sup> Support Material: -3.97 cm <sup>3</sup>
	Contents: Блок резовый - Пластина-1 (8) Механизм зажима - Винт кулачка-1 (2) Заглушка (7) Блок резовый - Штифт-1 (2) Механизм зажима - Кулачок1-1 (1)	Time: 5 hr 48 min Model Material: 37.8 cm <sup>3</sup> Support Material: 2 cm <sup>3</sup>
	Contents: Блок резовый - Винт пр-1 (7) Механизм зажима - Винт кулачка-1 (5) Механизм зажима - Кулачок2-1 (8) Механизм зажима - Кулачок1-1 (7) Блок резовый - Штифт-1 (1) Винт_корпус (1)	Time: 9 hr 6 min Model Material: 68.2 cm <sup>3</sup> Support Material: -10.5 cm <sup>3</sup>

Применение 3D-параметрических моделей деталей конструкции торцовых фрез является существенным резервом повышения эффективности проектирования в среде CAD-системы, а также изготовление на примере макета блочно-модульной торцовой фрезы приводит к сокращению длительности технической подготовки производства, снижению себестоимости, повышению гибкости и конкурентоспособности торцовых фрез, выбору и оптимизации конструктивных элементов из спроектированных ранее на стадии разработки.

Рис. 1. Время и материалы для печати на 3D-принтере MoJo

УДК 621.83.06  
**ОЦЕНКА РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕНЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕТАРНОЙ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ**

**К. В. САСКОВЕЦ, М. В. ЛЕБЕДЕВ**

Научный руководитель А. В. КАПИТОНОВ, канд. техн. наук, доц.  
 Белорусско-Российский университет  
 Могилев, Беларусь

В планетарных радиально-плунжерных передачах с промежуточными телами качения основными кинематическими характеристиками, влияющими на качество работы, являются угловые перемещения, скорости и ускорения сателлитов, а также кинематическая погрешность передачи.

Одним из основных недостатков передач такого типа является трение на поверхности сепаратора, т. к. сателлит имеет касание по трем точкам. Наличие этого трения значительно влияет на кинематические характеристики передачи. Установлено, что угол наклона поверхностей контакта деталей позволяет повысить нагрузочную способность передачи и уменьшить влияние трения на сепараторе.

Для этого была изменена цилиндрическая форма поверхности контакта сателлита (плунжера) и сепаратора на наклонную (рис. 1). Заданный наклон позволяет изменить направление реакций опор, а также их составляющих. Из условия равновесия плунжеров [1] получена математическая зависимость, которая уменьшает трение на поверхности сепаратора.

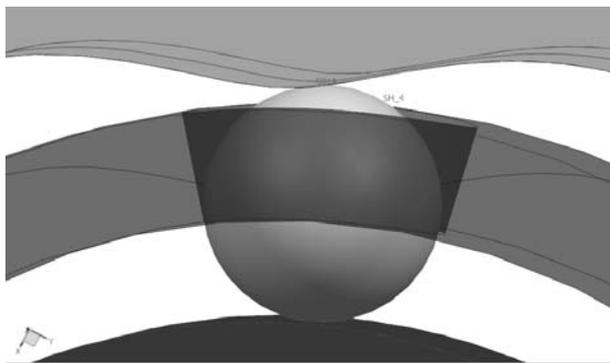


Рис. 1. Конструкция передачи с наклонной поверхностью контакта деталей

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич, В. С. Пашкевич, А. М. Пашкевич, С. В. Чертков. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.

УДК 621.9  
 ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНОГО  
 ПОЛЯ В ИНСТРУМЕНТАХ ДЛЯ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ  
 РЕЗАНИЕМ И МДН

Д. М. СВИРЕПА, А. С. СЕМЁНОВА  
 Белорусско-Российский университет  
 Могилев, Беларусь

При конструировании инструментов для совмещенной обработки важную роль играют выбор оптимального количества источников магнитного поля и расположение в магнитной системе относительно заготовки для оптимального воздействия на деформирующие шары и поверхность заготовки.

Существует две схемы расположения источников магнитного поля в магнитной системе инструмента для совмещенной обработки: инструменты с радиальной намагниченностью и инструменты с осевой намагниченностью. Инструменты, магнитная система которых имеет радиальное расположение магнитов, отличаются меньшими осевыми размерами и повышенной динамикой деформирующих шаров, совершающих окружное и колебательное движение в области кольцевой камеры и обрабатываемой заготовки соответственно. Инструменты с осевым расположением источников магнитного поля в магнитной системе характеризуются меньшими скоростями вращения инструмента, что позволяет расширить технологические возможности метода обработки без ухудшения качества обрабатываемой поверхности.

Для разных магнитных систем количество источников магнитного поля может значительно отличаться и зависит от диаметра обоймы  $D_{об}$ , диаметра магнита  $d_{маг}$ , высоты магнита  $h_{маг}$ , а также от кругового  $\delta_{кр}$  и радиального  $\delta_{рад}$  зазоров. Так для инструментов с радиальным расположением магнитов расчет рекомендуется осуществлять по формуле

$$n_{рм} = \frac{2\pi\left(\frac{D_{об}}{2} - h_{маг}\right)}{1 + d_{маг}},$$

для инструментов с осевой намагниченностью по формуле

$$n_{ом} = \frac{2\pi\left(\frac{D_{об}}{2} - \frac{d_{маг}}{2} - \delta_{рад}\right)}{d_{маг} + \delta_{кр}}.$$

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирепа, Д. М. Влияние магнитной силы, действующей на деформирующий шар раскатника / Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 66–67.

УДК 681.5013, 681.5.09  
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ S-ФУНКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ  
НЕЙРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

О. С. СИДОРОВА, Е. И. ФРОЛОВА

Научный руководитель А. А. КОБЗЕВ, д-р техн. наук, проф.  
Владимирский государственный университет  
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Владимир, Россия

Нейросетевые регуляторы в системах автоматического управления привлекают все большее внимание разработчиков [1, 2]. Один из принципиальных моментов состоит в обучении нейронной сети. Наряду с другими методами, при моделировании в среде MatLab может быть эффективно использован аппарат S-функций. В работе рассматривается вопрос применения этого аппарата для обучения нейросетевого регулятора.

В настоящее время разработано множество программ-симуляторов, на которых могут быть реализованы нейронные сети. Например, такие как Artificial Intelligence Recurrent Asymmetric Networks (NARIA), Genesis, Tradection, University of Hertfordshire, Neural Network Software, Neural Network Toolbox for MATLAB и др. Наиболее популярной для проектирования и исследования систем автоматического управления динамическими объектами является программа MatLab, но для данного пакета свойственно некоторое ограничение – в нем отсутствует блок нейронной сети с возможностью реализации онлайн-обучения. Однако MatLab предоставляет возможности для создания собственных блоков на основе Simulink-функции. С помощью языков программирования пользователь может создать описание сколь угодно сложного блока и подключить его к Simulink-модели, при этом с точки зрения взаимодействия пользователя с моделью блок на основе S-функции ничем не отличается от стандартного библиотечного блока Simulink. Создаваемые блоки могут быть непрерывными, дискретными или гибридными. S-функции, созданные на C, C++, Ada или Fortran, компилируются в исполняемые (\*.dll) файлы, за счет чего обеспечивается повышенная скорость выполнения таких блоков. S-функции также обладают дополнительными возможностями, которые включают работу с разными типами данных (целыми, действительными и комплексными числами различной степени точности), использование матриц в качестве входных и выходных переменных, а также большой набор внутренних функций (callback-методов). S-функция подключается к модели Simulink с помощью библиотечных блоков Level-1 и Level-2 Matlab S-function. При этом Simulink-блок однозначно описывается наборами входных переменных  $u$ , переменных состояния  $x$  и выходных переменных  $y$ . В математической форме блок можно описать в общем виде следующей

системой уравнений:

$$y = f_c(t, x, u); \quad \dot{x}_c = f_d(t, x, u); \quad x_{d_{k+1}} = f_u(t, x, u).$$

Каждая задача при вызове S-функции в процессе моделирования решается с помощью специальной внутренней функции (callback-метода). В MATLAB S-функции используются следующие процедуры.

1. `mdlInitializesizes` – Инициализация. До начала первого цикла моделирования Simulink инициализирует S-функцию. В течение этого этапа Simulink инициализирует структуру с именем `SimStruct`, содержащую информацию о S-функции, устанавливает количество и размерность входных и выходных портов, устанавливает шаг модельного времени для блока, выделяет память для хранения переменных и устанавливает размерность массивов.

2. `mdlGetTimeOfNextVarHit` – вычисление времени следующего срабатывания блока (с дискретным переменным шагом расчета).

3. `mdlOutputs` – вычисление значений выходных сигналов на внешнем шаге моделирования.

4. `mdlUpdate` – расчет дискретных переменных состояния на внешнем шаге моделирования. Дискретные переменные состояния сохраняют свое значение до следующего цикла моделирования.

5. `mdlDerivatives` – расчет производных переменных состояния.

6. `mdlTerminate` – завершение работы S-функции.

Если S-функция содержит непрерывные переменные состояния, Simulink вызывает callback-методы `mdlDerivatives` и `mdlOutputs` для расчета производных переменных состояния и выходных переменных на внутренних шагах моделирования.

Для создания блока на основе **Level-2 Matlab S-function** используется базовый шаблон `msfuntmpl_basic.m`, который содержит скелетные реализации необходимых callback-методов, определенных API-интерфейсом MATLAB.

В докладе приводятся листинг программы и результаты настройки нейрорегулятора для типовых функций управляющего воздействия и полигармонического возмущения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01126 «а».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хайкин, С.** Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд. – Москва: И. Д. Вильямс, 2017. – 1104 с.

2. **Еременко, Ю. И.** О разработке метода выбора структуры нейронной сети для решения задачи адаптации параметров линейных регуляторов / Ю. И. Еременко, А. И. Глуценко // Управление большими системами: сб. тр. – 2016. – № 62. – С. 75–123.

УДК 620.193.4

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ МЕШАЛКИ  
ОТ КОРРОЗИЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е. А. ТИМАНОВСКИЙ

Научный руководитель Л. А. ТИМОШЕНКОВА  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

Коррозионному воздействию подвержены основные широко используемые металлы. Данный процесс заключается в разрушении поверхности металлов, соприкасающихся с рабочими жидкостями или газами, под химическим и электрохимическим влиянием.

В зависимости от области применения и конструкционных особенностей мешалки наибольшее распространение получили различные методы, представленные на рис. 1.



Рис. 1. Основные методы защиты от коррозии

Легирование металлов – один из самых эффективных методов повышения коррозионной стойкости. В состав металла при легировании добавляются легирующие элементы, которые вызывают пассивность металла. Пассивность металла заключается в торможении его анодного процесса.

Защитные покрытия искусственно создаются на поверхности мешалки для её защиты от коррозии. Данный метод – это самый распространённый метод при борьбе с коррозией. Защита от коррозии не является единственным преимуществом этого метода, при нанесении защитного покрытия увеличивается износостойкость и электрическая проводимость мешалки.

Химическая защита, в свою очередь, делится на оксидирование, фосфатирование. Процесс оксидирования заключается в образовании оксидных плёнок на поверхности металла путём обработки в щелочных растворах. Фосфатирование основывается на получении фосфатных плёнок на изделиях методом погружения изделия в растворы фосфорной кислоты.

По результатам работы установлены основные методы коррозионной защиты. Выявлены главные особенности химической защиты на примере оксидирования и фосфатирования. Дана характеристика процессу коррозионности подвергаемых металлов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликова, М. Г.** Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5 (107). – С. 126–127.

УДК 621.97

К УПРАВЛЕНИЮ МЕХАНИЗМОМ ИЗНОСА ЛЕЗВИЯ  
ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ

Д. Г. ШАТУРОВ

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

При точении в широком диапазоне изменения скорости резания зависимость периода стойкости резца от скорости представляет собой плавную кривую с двумя экстремальными значениями. Первый экстремум расположен в зоне скоростей наростообразования. Второй, значительно меньший, – в зоне скоростей окислительного износа лезвия резца. Периоды стойкости с экстремальными значениями разделены между собой впадиной, имеющей минимальный период стойкости при скорости резания  $V_m$ .

При увеличении скорости резания больше скорости  $V_{01}$  (где  $V_{01}$  – скорость резания, соответствующая максимальному периоду стойкости резца зоны наростообразования) увеличивается температура в зоне резания, и нарост, предохранявший от износа лезвие резца, местами постепенно исчезает, что приводит к увеличению интенсивности его износа. При некоторой скорости резания  $V_{п2}$  абразивно-адгезионный износ увеличивается, и период стойкости резца значительно падает. Это также относится и к обработке осевыми инструментами при сверлении, зенкеровании и фрезеровании. Эксплуатация инструментов при скорости резания, большей  $V_{п2}$ , по многим причинам нецелесообразна. Периодический срыв нароста с передней поверхности резца изменяет силу резания, что вызывает вибрацию в технологической системе. При срыве нароста часть его внедряется в обработанную поверхность, что увеличивает ее шероховатость. Для исключения этих отрицательных моментов возможен технологический переход от скорости  $V_{п2}$  к скорости резания  $V_{л}$ , большей, чем  $V_m$ , соответствующей левой ветви кривой  $T_0 = f(v)$  второго экстремума, где имеет место абразивно-окислительный износ лезвия, при котором окисление, т. е. восстановление окислых пленок, является преобладающим.

В работе приведены зависимости по определению скоростей резания, при которых необходимо осуществлять технологический переход на более высокую скорость резания, а тем самым абразивно-адгезионный износ заменить на абразивно-окислительный без потери ресурса работы инструмента и при повышении качества обработки и производительности.

УДК 621.9.047.7:621.923

## ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

В. А. ЯНОВИЧ

Научный руководитель А. Ю. КОРОЛЁВ, канд. техн. наук  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Стали с повышенным содержанием углерода, в особенности при наличии в их структуре фаз внедрения (карбиды, нитриды, бориды, силициды), сформированных в результате термического или химико-термического упрочнения, трудно поддаются полированию как механическими, так и электрохимическими методами.

Для решения проблемы качественного электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода нами разработан способ, который заключается в применении импульсного технологического тока и использовании в качестве электролитов безводных или маловодных растворов на основе органических растворителей. Электропроводность таких электролитов обычно на один-два порядка ниже электропроводности водных растворов.

Обработка в электролитах на основе органических растворителей позволяет с низкими энергетическими затратами добиться качественного полирования, глянцевого покрытия поверхности и удаления заусенцев на изделиях из сталей машиностроительного назначения с повышенной концентрацией углерода. Использование униполярных и биполярных импульсных режимов с импульсов микросекундной длительности, а также правильный подбор длительности пауз между импульсами, амплитуды импульсов и соотношения амплитуд катодного и анодного импульсов позволяет создать необходимые условия для растворения карбидов в поверхностном слое образца, релаксации и полного удаления продуктов электрохимического растворения из зоны обработки.

По результатам исследований разработанного способа установлены электролиты и режимы электрохимического полирования сталей машиностроительного назначения с повышенным содержанием углерода, таких как 45, 65Г и У10А, обеспечивающие высокие показатели качества поверхности (низкое значение шероховатости обработанной поверхности и высокая отражательная способность). Наилучшие результаты достигаются при использовании электролита на основе изопропилового спирта и хлорной кислоты при длительности импульсов 50...60 мкс с периодом следования импульсов 150...200 мкс, амплитуде напряжения 20...30 В при плотности тока 0,2...0,3 А/см<sup>2</sup> и температуре электролита 20...25 °С.

УДК 622.002.5:517:531112  
 РАСЧЕТ ЗАДНИХ УГЛОВ РЕЗЦА ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕ  
 ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА

В. В. БЕГАН

Научный руководитель А. В. ЛОКТИОНОВ, д-р техн. наук, проф.  
 Витебский государственный технологический университет  
 Витебск, Беларусь

Определим угол движения  $\alpha'_d$  резца при продольной подаче  $S'_0$  режущей головки исполнительного механизма за один оборот [1]. В этом случае угол движения  $\alpha'_d$  равен углу подъема винтовой линии и его можно найти из выражения

$$\alpha'_d = \text{arctg}(S'_0 / \pi D). \quad (1)$$

Установлено (рис. 1), что при продольной подаче ( $\beta_1 \approx 0$ )

$$\text{tg}\alpha_N = \text{tg}\alpha_y \sin \beta ; \text{tg}\alpha_{N_1} = \text{tg}\alpha_{y_1} \cos \beta , \quad (2)$$

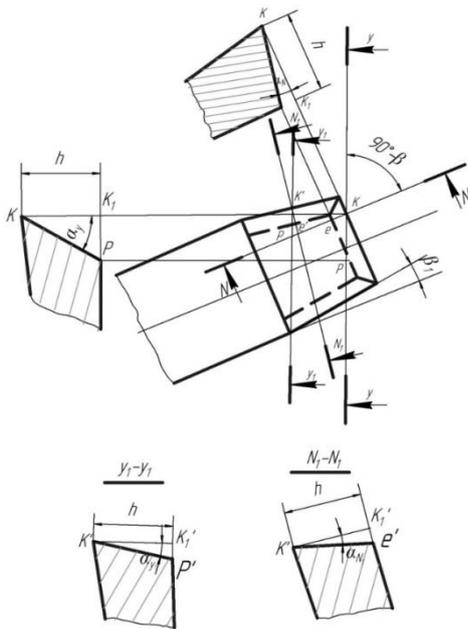


Рис. 1. Схема для расчета задних углов при продольной подаче резца

где  $\alpha_y$  и  $\alpha_{y_1}$  определяются по формуле (1). При продольной подаче режущей головки со скоростью до 2,5 м/мин ( $n = 53$  об/мин;  $D = 0,5$  м) угол движения  $\alpha'_d$  не превышает  $1^\circ 40'$  [1]. Геометрические углы  $\alpha_N$  радиальных резцов по задней грани равны  $8...15^\circ$ . Это значительно больше их расчетных значений.

При продольной подаче исполнительного механизма [1] формулы для расчета кинематических углов  $\varphi$  и  $\tau$  имеют следующий вид:  $\text{tg}\tau = (V_n / r\omega_2) \sin \beta$ ;  $\text{tg}\varphi = (V_n / r\omega_2) \cos \beta$ . Выражение  $V_n / r\omega_2$  представляет формулу (1) для расчета угла движения  $\alpha'_d$  при продольной подаче исполнительного механизма, т. е.  $V_n / r\omega_2 = S'_0 / \pi D = \text{tg}\alpha'_d$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Локтионов, А. В. Расчет кинематических параметров при сферическом движении исполнительного механизма / А. В. Локтионов // Теоретическая и прикладная механика: Междунар. науч.-техн. сб. – Минск, 2016. – № 31. – С. 323–329.

УДК 531.312.1

РАСЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА

И. А. ВЕКША

Научный руководитель А. В. ЛОКТИОНОВ, д-р техн. наук, проф.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

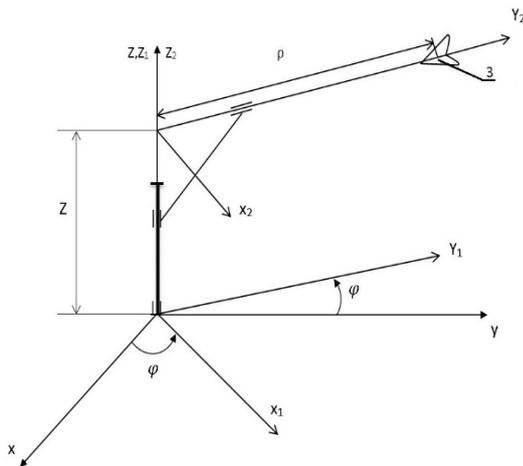


Рис. 1. Расчетная схема  
робота-манипулятора в  
цилиндрических координатах

Рассмотрим расчет дифференциального уравнения движения пространственного исполнительного механизма в цилиндрической системе координат (рис. 1).

Установлено, что кинетическая энергия робота-манипулятора может быть определена по формуле

$$T = \frac{J_1 + J_2 + J_3 + m_3 \rho^2}{2} \dot{\varphi}^2 + \frac{m_2 + m_3}{2} \dot{Z}^2 + \frac{m_3 \rho^2}{2} \dot{\varphi}^2.$$

Используя уравнения Лагранжа второго рода, получим дифференциальные уравнения движения пространственного исполнительного механизма в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} [(J_1 + J_2 + J_3 + m_3 \rho^2) \dot{\varphi}^2] = M;$$

$$(m_2 + m_3) \ddot{Z} = F_{12} - (m_2 + m_3) q;$$

$$m_3 (\ddot{\rho} - \rho \dot{\varphi}^2) = F_{23},$$

где  $I_1$  – момент инерции звена 1 относительно оси поворота;  $m_2$  – масса звена 2;  $I_2$  – момент инерции относительно оси поворота;  $m_3$  – масса двигающейся руки схватом;  $\rho$  – расстояние от оси поворота до центра масс;  $I_3$  – момент инерции относительно центральной оси.

К оси поворота приложен момент  $M$ ; движущие силы, создаваемые приводами в поступательных парах, равны соответственно  $F_{12}$  и  $F_{23}$ ;  $\dot{\rho}$  – скорость центра схвата вдоль штанги;  $\rho \dot{\varphi}$  – скорость центра схвата во вращении вместе со штангой вокруг оси  $Z$ ;  $\dot{Z}$  – скорость центра схвата в вертикальном перемещении вдоль оси  $Z$ .

УДК:621.33

РАЗРАБОТКА КАНАТНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ ЗАГРУЗКИ  
СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ЯБЛОКАМИ В ТАРЕ

Р. Б. ГЕВКО, Ю. С. НЫКЕРУЙ

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
Тернополь, Украина

И. Е. ЦЫЗЬ

Луцкий национальный технический университет  
Луцк, Украина

Технологические процессы загрузки складских помещений яблоками в таре требуют щадящего режима их выполнения для обеспечения длительного срока сбережения яблок до времени их реализации.

Проведенный анализ известных исследований показал, что такие процессы преимущественно осуществляются ленточными, роликовыми, а также винтовыми механизмами [1]. Исследованиями, которые изложены в [2], установлено, что решить эту задачу возможно использованием канатных механизмов, адаптированных к конкретным условиям работы.

Разработанный канатный механизм содержит две опоры: нижняя – размещена внутри помещения; верхняя – закреплена с внешней противоположной стороны помещения и выполнена в виде двух треугольно-подобных ферм, соединенных между собой центральной балкой. Опоры соединены между собой канатами с механизмами их натяжения, которые расположены со стороны нижней опоры. На канатах установлена пара роликов, соединенных между собой осью, к которой крепится рамная конструкция с основой для размещения яблок в таре.

В процессе работы оператор загружает ящики на основу рамной конструкции и через окно толкает ее в сторону нижней опоры, где они разгружаются. Возврат рамной конструкции в исходное положение осуществляется с помощью троса, который связывает ее с роликовым блоком, закрепленным на центральной балке верхней опоры.

При проведении исследований параметры помещения и канатного механизма были следующие: расстояние между опорами – 12 м; диаметр канатов – 12 мм; диаметр роликов – 100 мм; максимальная нагрузка – 200 кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах / Р. Б. Гевко [и др.]. – Тернопіль: Осадца Ю.В., 2018. – 180 с.
2. **Ляшук, О. Л.** Теоретичне дослідження підвісних механізмів піднімально-транспортних лебідок / О. Л. Ляшук, О. А. Колесник, С. Л. Мельничук // Наукові нотатки: міжвуз. зб. – Луцьк: Луцький нац. техн. ун-т, 2016. – Вып. 53. – С. 97–102.

УДК 631.358  
 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
 ПЛОДОВ ФУНДУКА

З. О. ГОШКО, М. И. МАГАЦ

Львовский национальный аграрный университет  
 Львов, Украина

О. А. ГЕРАСИМЧУК

Луцкий национальный технический университет  
 Луцк, Украина

Проектирование и расчет оборудования и машин для обработки орехов, в частности – для осуществления механических операций при их переработке, невозможны без знания технологических свойств составляющих плода (оболочки, ядра). Значение усилия разрушения оболочки ореха, особенности изменения этого усилия в зависимости от участка его приложения, усилия разрушения ядра необходимо знать для выбора оптимальных и рациональных параметров рабочих органов машин, используемых для обрушки оболочки и отделения ее от ядра, а также при проектировании машин и аппаратов пищевой промышленности [1].

Целью исследований было определение физико-механических свойств орехов фундука как объекта сбора и переработки.

При математической обработке данных проведенных экспериментальных исследований для плодов фундука сорта Каталонский получены следующие результаты:

- ширина:  $a_{min} = 15,93$  мм;  $a_{max} = 24,05$  мм;  $a_{cp} = 20,29$  мм;  $V_{\text{коэф. вариаци.}} = 10$  %;
- высота:  $b_{min} = 16,23$  мм;  $b_{max} = 23,89$  мм;  $b_{cp} = 20,47$  мм;  $V_{\text{коэф. вариаци.}} = 8$  %;
- толщина:  $c_{min} = 18,25$  мм;  $c_{max} = 25,75$  мм;  $c_{cp} = 22,46$  мм;  $V_{\text{коэф. вариаци.}} = 9$  %;
- работа разрушения оболочки:  $A_{min} = 0,2$  Дж;  $A_{max} = 0,4$  Дж;  $A_{cp} = 0,3$  Дж;
- работа разрушения ядра:  $A_{min} = 0,1$  Дж;  $A_{max} = 0,275$  Дж;  $A_{cp} = 0,45$  Дж.

Полученные результаты свидетельствуют, что диапазон колебаний значений по размерным показателям плодов ореха незначителен, а значение коэффициента вариации не превышает 10 %. Следовательно, в процессе проектирования сортировочных машин существенных проблем во время разделения плодов ореха возникать не будет.

Значения работы разрушения оболочки и ядра практически перекрываются, что является свидетельством того, что в процессе разрушения оболочки есть значительная вероятность повреждения ядра плодов, что необходимо учитывать при проектировании оборудования и машин.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крупич, Р.** Дослідження вагових показників плодів горіхоплідних культур / Р. Крупич // Вісн. Львів. нац. аграр. ун-ту. – 2013. – № 17. – С. 161–165.

УДК 629.3

## УПРАВЛЕНИЕ ВЕКТОРОМ ТЯГИ КОЛЁСНЫХ МАШИН

Д. А. ДУБОВИК

Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Интенсивная модернизация и разработка новых типов силовых приводов [1], бурное совершенствование электронно-компонентной базы [2] открывают широкие возможности по регулированию реализуемых колёсами внешних сил в процессе движения мобильной машины, что актуализирует дальнейшее развитие теории движения колёсных машин. Необходимым направлением при этом является разработка теории управления вектором тяги колёсной машины.

Целью настоящей работы является разработка основ теории управления вектором тяги колёсных машин.

Составляющими вектора тяги колёсной машины являются векторы касательных сил тяги ее ведущих колёс, которые характеризуются величинами этих сил и направлениями их действия, например, относительно продольной оси машины.

В теории автомобиля качество колёсной машины представляется совокупностью свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определённые потребности в соответствии с её назначением [3]. Установлены эксплуатационные свойства, на которые оказывает влияние величина общей касательной силы тяги и распределение касательных сил тяги между мостами и колёсами машины [4]. К ним относятся опорная проходимость, тягово-скоростные свойства, поворачиваемость, маневренность, поворотливость, устойчивость движения и управляемость. Известно [5], что распределение касательных сил тяги оказывает противоречивое влияние на эксплуатационные свойства колёсной машины. Так, с одной стороны, распределение касательных сил тяги, характерное блокированному приводу, повышает опорную проходимость и тягово-скоростные свойства. С другой стороны, оно ухудшает поворачиваемость, маневренность, поворотливость, устойчивость движения и управляемость машины.

Эксплуатационные свойства, которые имеют одни и те же оценочные показатели, предложено называть однородными [6]. Тогда зависимые от касательных сил тяги эксплуатационные свойства машины можно представить двумя группами однородных свойств. Первая группа объединяет опорную проходимость и тягово-скоростные свойства, оцениваемые с помощью КПД ходовой системы  $\eta_{rs}$  [7], учитывающего величины и направления действия касательных сил тяги. Вторая группа однородных свойств объединяет поворачиваемость, маневренность, поворотливость, устойчивость движения, определяющие такое комплексное свойство, как

управляемость машины [8]. Для объективной оценки управляемости предложено использовать количественный показатель  $S_v$  [9], учитывающий отклонение действительной траектории машины движения от траектории, задаваемой водителем поворотом рулевого колеса [9].

Тогда основная проблема теории управления вектором тяги колёсной машины может быть представлена двухкритериальной оптимизацией:

$$\begin{aligned}\eta_{rs} &\rightarrow \max; \\ S_v &\rightarrow \max.\end{aligned}$$

Объектом теории управления вектором тяги колёсной машины является самоходная машина, движущаяся под действием реализуемых ее колесами сил. Предметом теории управления вектором тяги колёсной машины выступают закономерности, описывающие влияние общей касательной силы тяги и распределения этой силы между ведущими колесами на эксплуатационные свойства машины.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные тенденции сельхозтракторостроения / П. А. Амельченко [и др.] // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 76–92.
2. Основные тенденции развития современного сельскохозяйственного тракторостроения / П. А. Амельченко [и др.] // Наука, образование и производство в XXI веке : Современные тенденции развития : материалы Юбилейн. междунар. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 157–158.
3. **Литвинов, А. С.** Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – Москва: Машиностроение, 1989. – 240 с.
4. **Дубовик, Д. А.** Повышение проходимости внедорожной машины посредством рационального привода колес управляемых мостов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Дубовик. – Минск, 2003. – 20 с.
5. **Ванцевич, В. В.** Регулирование мощности в двигателе как средство управления динамикой колесных машин / В. В. Ванцевич, М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 1. – С. 13–16.
6. **Vantsevich, V. V.** Control of the Wheel Driving Forces as the Basis for Controlling Off-Road Vehicle Dynamics / V. V. Vantsevich, M. S. Vysotski, D. A. Doubovik // SAE International Off-Highway Congress: Technical Paper 2002-01-1472. – Las Vegas, 2002. – 8 p.
7. **Высоцкий, М. С.** Коэффициент полезного действия ходовых систем колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 2. – С. 91–94.
8. Трехзвенные автопоезда / Я. Е. Фаробин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1993. – 224 с.
9. **Дубовик, Д. А.** Кинематическая оценка управляемости колесных машин / Д. А. Дубовик // Вестн. машиностроения. – 2007. – № 8. – С. 19–23.

УДК 622.363.2  
 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВАЛКОВОГО ПРЕССА

Н. Ю. КОНДРАТЧИК, Е. А. ВЕРЕМЕЙКО  
 Барановичский государственный университет  
 Барановичи, Беларусь  
 Научный руководитель В. Я. ПРУШАК, чл.-кор. НАН РБ,  
 д-р техн. наук, проф.  
 Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
 с опытным производством  
 Солигорск, Беларусь

Недостатком конструкции валковых прессов является низкая степень прессования из-за вероятности разрыхления прессуемого материала воздушными пузырьками, захваченными вместе с материалом.

Поэтому была предложена более совершенная конструкция валкового пресса. Она включает загрузочную шахту 1, подпрессовщик 2 в виде корпуса 5 с вертикально расположенными внутри приводными шнеками 6, под которыми смонтированы с возможностью встречного вращения параллельно расположенные приводные валки 3 и 4 с общим мотор-редуктором 8, который передает вращательный момент раздаточному редуктору 9, передающему вращение всем выходным валам, каждый из которых соединен с одним из шнеков 6, гидроцилиндры 10 прижима одного из валков к другому, а по бокам корпус подпрессовщика снабжен штуцерами 7 отвода воздуха и пыли (рис. 1) [1]. Таким образом, предложена конструкция прессовщика, в которой шнеки выполнены с переменным шагом винтовой навивки, что обеспечивает плавное уплотнение сыпучего материала, подлежащего прессованию, и создание условий для повышения качества прессуемой плитки.

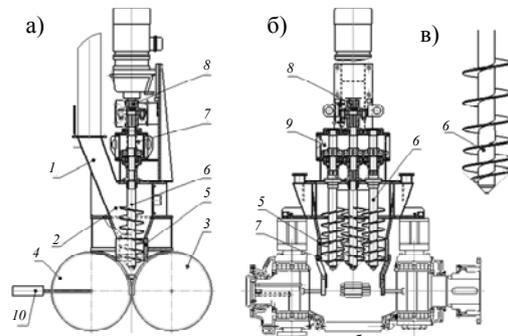


Рис. 1. Схема валкового пресса: общий вид (а); вид сбоку (б); шнек с переменным шагом винтовой навивки (в)

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструктивные пути повышения эффективности прессования хлористого калия / В. Я. Прушак, Е. В. Щерба, Н. Ю. Кондратчик, О. М. Волчек // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 3. – С. 82–86.

УДК 621.83  
АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ  
С БОЛЬШИМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ЧИСЛОМ

Е. Г. КРИВОНОГОВА, В. В. БРАТЕНКОВ  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Передачи с большим передаточным числом имеют широкие области назначения и применения, а именно: металлообрабатывающее оборудование, робототехника, измерительные приборы, транспортные системы, авиация, видеопозиционные системы наблюдения и охраны и многие другие.

К передачам, способным обеспечить большие передаточные отношения и высокую нагрузочную способность, относятся червячные, волновые и планетарные передачи, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Преимуществами червячной передачи являются высокая плавность работы, постоянство передаточной функции, низкий уровень вибраций и шума, а также возможность самоторможения червячного колеса. К основным недостаткам можно отнести наличие высоких температур в зоне контакта червяка и червячного колеса из-за высокой скорости трения, что не позволяет использовать червячную передачу в качестве быстроходной, а также обеспечение указанной передачей низкого значения коэффициента полезного действия. Для решения проблемы нагрева элементов передачи, посредством уменьшения коэффициента трения, червячное колесо выполняют из бронзы, что приводит к увеличению стоимости редуцирующего механизма.

Волновые передачи получили широкое распространение в странах, активно использующих современные методы обработки, которые позволяют обеспечить высокую точность и качество поверхностей, а также точность взаимного расположения большого количества деталей. Данные передачи обладают высокой многопарностью зацепления и способностью обеспечить большие передаточные числа в одной ступени, а также высокой кинематической точностью и низкой материалоемкостью.

Планетарные передачи подразделяются на несколько видов, наиболее известными являются шариковые и роликовые передачи, зубчатые с эвольвентным зацеплением, эксцентриковые и прецессионные. Указанные передачи обладают рядом характерных им преимуществ и недостатков.

В связи с вышеизложенным актуальной остается идея создания передачи, для которой, благодаря структурным особенностям, будет отсутствовать необходимость применения высокоточного оборудования и инструмента для изготовления составляющих её элементов, а также обеспечение точности взаимного расположения деталей.

УДК 631.572

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. И. ЛЕВКО, О. М. КРУПИЧ

Львовский национальный аграрный университет  
Львов, Украина

О. А. ГЕРАСИМЧУК

Луцкий национальный технический университет  
Луцк, Украина

Существующие в настоящее время технологии переработки растительных материалов в твердое топливо сопровождаются использованием значительного количества энергии, времени и средств, поэтому стоит острая проблема дальнейшего их совершенствования и разработки более эффективных процессов подготовки материалов к прессованию и их прессования [1]. Процесс прессования растительных материалов осуществляется с помощью шнековых или поршневых прессов и характеризуется изменением давления в камере прессования. Кроме плотности растительной массы, в зависимости от давления в рабочей камере, большое влияние также оказывает неоднородность физико-механических свойств растительной массы, в частности геометрические размеры частиц стеблей (соломы) [1].

Для проведения опытов по исследованию влияния длины измельченных частиц на плотность брикета использовалась солома озимой пшеницы и овса (влажностью 14 %), озимого рапса (влажностью 16 %) и камыша (влажностью 15 %) [1].

Полученные зависимости бокового давления от влажности для соломы рапса имеют следующий вид [1]: для осевого давления 10,33 МПа  $p_{\phi} = 0,0105 \cdot W^2 - 0,471 \cdot W + 8,6765$ ; для осевого давления 30 МПа  $p_{\phi} = 0,0246 \cdot W^2 - 0,9782 \cdot W + 21,367$ .

Обобщенное уравнение зависимости бокового давления от влажности растительных материалов имеет следующий вид:  $p_{\phi} = A' \cdot W^2 - B' \cdot W + C'$ .

Динамика изменения коэффициента бокового давления, представляющего собой отношение значений бокового и осевого давления, для всех видов исследуемых культур примерно одинакова, а его значение находится в пределах 0,36...0,48.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузенко, Д. В. Методика та результати експериментальних досліджень коефіцієнта бокового тиску рослинних матеріалів / Д. В. Кузенко, С. І. Левко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – Мелітополь: ТДАУ, 2014. – С. 174–182.

УДК 621.83.06  
 УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО  
 ПРИВОДА АВТОМОБИЛЬНОГО ДОМКРАТА

Е. С. ЛУСТЕНКОВА

Научный руководитель М. Е. ЛУСТЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.  
 Белорусско-Российский университет  
 Могилев, Беларусь

Передачи с промежуточными телами качения использовались для создания баллонных ключей грузовых автомобилей [1]. В рассматриваемом случае проверяется их применимость в приводе автомобильного домкрата с электромеханическим приводом. Ведущий винт ромбического домкрата 1 (рис. 1) вращается с помощью двигателя постоянного тока 2. Снижение скорости и увеличение момента обеспечивается редуктором 3, разработанным на основе сферической роликовой передачи с двухрядным сателлитом [2].

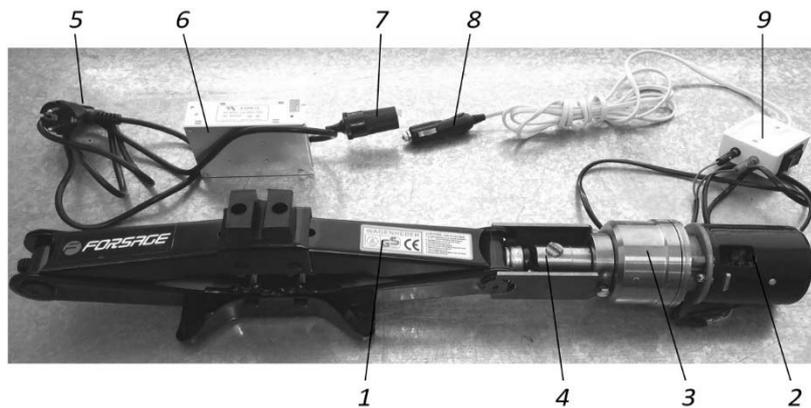


Рис. 1. Домкрат с электромеханическим приводом и стендом

Разработана установка для испытаний привода домкрата. С помощью провода 5 она подключается к однофазной сети переменного тока с напряжением 220 В. Посредством блока питания 6 обеспечивается постоянный ток и напряжение 12 В в гнезде 7, как и в прикуривателе автомобиля. Соединение с приводом осуществляется с помощью патрона 8. Блок 9 обеспечивает включение и реверс вращения винта домкрата.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустенков, М. Е. Ключ для демонтажа ведущих колес грузовых автомобилей ЗИЛ и ГАЗ / М. Е. Лустенков // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 24–25.
2. Лустенков, М. Е. Оценка кинематических возможностей и КПД сферической и роликовой передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 25–28.

УДК 631.3:633.4

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО МИНИ-АГРЕГАТА ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

М. И. МАГАЦ, З. О. ГОШКО

Львовский национальный аграрный университет

Львов, Украина

С. В. СИНІЙ

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

Проводимые усовершенствования конструкции рабочих органов и рабочих процессов мини-агрегатов на базе мотоблока [1] обусловлены их широкой распространенностью и универсальными возможностями использования для нужд небольших фермерских и приусадебных хозяйств, в том числе для уборки картофеля.

Для повышения технико-экономических показателей мини-агрегата «ЗУБР НТ-105 + картофелекопатель (лапа-копатель)» использовали модернизированную лапу (рис. 1).

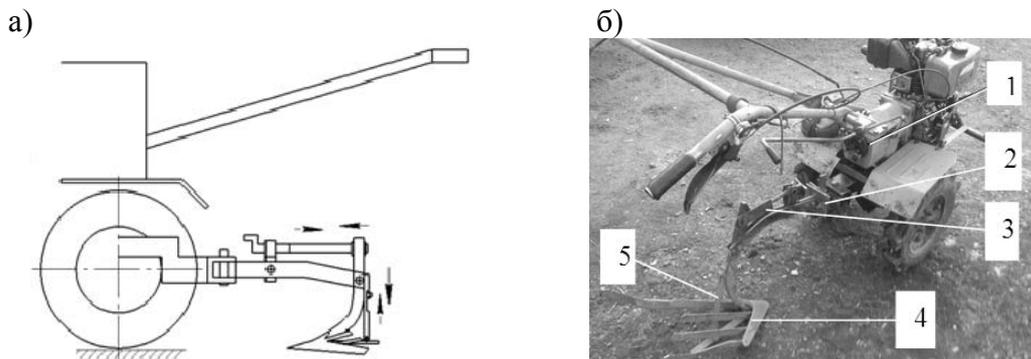


Рис. 1. Схема (а) и общий вид (б) исследуемого мини-агрегата для выкапывания картофеля: 1 – мотоблок «Зубр»; 2 – сцепка; 3 – верхний регулировочный механизм; 4 – лапа-копатель с открылками; 5 – регулировочный механизм стабилизатора хода

Анализ обработки результатов проведенных экспериментальных исследований позволил определить преимущества показателей работы модернизированного мини-агрегата в сравнении с базовым, в частности получены их значения для модернизированного агрегата:

- производительность выросла с 455 до 625 м<sup>2</sup> за 1 ч работы;
- расход топлива уменьшился на 0,2 л и составил 0,5 л на 500 м<sup>2</sup>.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Експлуатаційні дослідження модернізованого міні-агрегату / М. І. Магац, Т. А. Махоркіна, З. О. Гошко, А. В. Дусан, С. В. Синій // Сільсько-господарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк, 2018. – Вип. 39. – С. 93–100.

УДК 622.24

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭКСЦЕНТРИКОВОЙ  
ПЕРЕДАЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ  
ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ВАЛОВ

А. С. МАКАРЕВИЧ, С. Д. МАКАРЕВИЧ

Научный руководитель П. Н. ГРОМЫКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Использование эксцентриксовой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов во многих приводных устройствах и значительное расширение областей применения указанной передачи возможно за счет повышения ее служебных свойств.

В связи с этим была предложена эксцентриксовая передача с параллельным расположением входного и выходного валов с двумя потоками мощности.

В эксцентриксовой передаче с параллельным расположением входного и выходного валов с двумя потоками мощности имеются две вращательные пары, которые состоят из сателлита и внутреннего колеса. Запроектировано два эксцентрика, которые расположены на входном валу. Зубья сателлита выполнены в виде роликов. Эксцентрик приводит сателлит в плоскопараллельное движение благодаря взаимодействию зубчатой поверхности с роликами корпуса. Плоскопараллельное движение сателлита складывается из поступательного и вращательного.

При помощи системы автоматизированного проектирования NX 8.5 были проведены экспериментальные исследования для определения работоспособности передачи и получены следующие результаты:

- среднее КПД зацепления эксцентриксовой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с двумя потоками мощности выше, чем КПД передачи с одним потоком мощности (83 %), и сопоставимо с КПД эксцентриксовой передачи с соосным расположением валов (87 %);
- кинематическая погрешность вращения выходного вала у эксцентриксовой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с двумя потоками мощности составляет 20 угловых минут;
- среднее значение реакций в подшипниковых опорах пар вращения (эксцентрик–сателлит) входного вала эксцентриксовой передачи с соосным расположением входного и выходного валов находится на уровне 4500Н.

Проведённые исследования полностью доказали работоспособность эксцентриксовой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с двумя потоками мощности.

УДК 622.24  
СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ЭКСЦЕНТРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ  
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ  
ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ВАЛОВ

А. С. МАКАРЕВИЧ, С. Д. МАКАРЕВИЧ  
Научный руководитель П. Н. ГРОМЫКО, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Преимущество эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов перед различными вариантами передач с соосным расположением входного и выходного валов состоит в том, что без увеличения массогабаритных размеров достигается вращение со значениями передаточных отношений от 15 до 60. Теоретически возможно проектирование ременных и цепных передач с указанными коэффициентами редуцирования. Однако габаритные размеры этих передач не позволят им компактно встраиваться в приводы малогабаритных устройств.

В Белорусско-Российском университете эксцентриковая передача с параллельным расположением входного и выходного валов применяется в качестве редуцирующего механизма в разрабатываемых аварийно-спасательных устройствах, используемых при проделывании отверстий в строительных конструкциях.

Одно из важнейших требований при эксплуатации устройства – достижение максимально возможной мощности, высокой производительности, безопасности спасателя, что обеспечивается параметрами редуцирующего механизма, используемого в приводе устройства.

Кроме этого, разработка эффективных малогабаритных устройств актуальна и для строительной отрасли Республики Беларусь.

Разрабатывается устройство с возможностью проделывания в габаритных строительных конструкциях нескольких отверстий одновременно, что позволит значительно ускорить разборку завалов, а также использовать его при проведении строительно-монтажных работ.

Одно из наиболее распространенных применений редуцирующих механизмов на базе передач с возможностью параллельного расположения входного и выходного валов – строительные машины для микрорезания бетона и железобетона. Для выполнения указанных работ разрабатывается машина с использованием в качестве редуцирующего механизма эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов.

УДК 621.83.06

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ  
СФЕРИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ

А. Н. МОИСЕЕНКО

Научный руководитель М. Е. ЛУСТЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Проведенные лабораторные испытания сферических роликовых передач (СРП) с двухрядным сателлитом выявили некоторые недостатки разработанных конструкций [1]. Геометрическое замыкание высших кинематических пар, образуемых роликами, теоретически обеспечивает высокий коэффициент перекрытия, т. е. большое число роликов, одновременно передающих нагрузку. Однако на практике это приводит к снижению КПД [2], т. к. передача становится особо чувствительна к погрешностям изготовления и точности регулировки. Низкий КПД подтверждают и результаты компьютерного моделирования. Под нагрузкой возникают упругие деформации, приводящие к неравномерности распределения нагрузки между телами качения, что не учитывается в моделях для абсолютно жестких тел.

Сферическая форма тел качения более технологична для изготовления кулачковых профилей на фрезерных станках с ЧПУ, когда сферическая фреза перемещается по замкнутой траектории. Однако в контакте сферических профилей ролика и дорожки возникают дополнительные расклинивающие усилия. Использование аддитивных технологий снимает проблему изготовления кулачковых профилей любой сложности.

Коаксиальное расположение рядов роликов, контактирующих с неподвижным и ведомым кулачками соответственно, приводит к увеличению радиальных габаритов передачи, усложнению конструкции сателлита и снижению его надежности.

На основе анализа указанных недостатков были определены дальнейшие пути совершенствования конструкций СРП. Необходимо разработать передачу с силовым замыканием кинематических пар, образуемых роликами, ролики должны иметь цилиндрические рабочие поверхности, а их ряды располагаться параллельно.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Оценка кинематических возможностей и КПД сферической и роликовой передач / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 25–28.
2. **Лустенков, М. Е.** Сферическая роликовая передача с двухрядным сателлитом: силовые расчеты и определение КПД / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2019. – № 5. – С. 32–43.

УДК 621.833

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ВИБРАЦИИ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. Н. ПАРФИЕВИЧ, Ю. А. ДАКАЛО, В. А. СОКОЛ

Научный руководитель А. В. ДРАГАН, канд. техн. наук, доц.  
Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

Использование методов вибродиагностики для контроля состояния зубчатых приводов позволит перейти от системы планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию, что приведет к снижению издержек, связанных с особенностями эксплуатации диагностируемого оборудования [1]. Известно, что замена приработанных деталей привода в рамках текущего обслуживания приводит к снижению ресурса механизмов и увеличению количества отказов [2].

Для выявления изменений параметров вибрации после разборки-сборки были произведены натурные испытания на трехступенчатом редукторе с прямозубыми цилиндрическими зубчатыми колесами с моделированием на одной из шестерен локального повреждения зуба различной степени развитости при изменяющихся условиях эксплуатации.

В ходе анализа спектров виброускорений установлено, что с увеличением степени развитости локального дефекта происходит не только асимметричное изменение амплитуд зубцовых  $f_z$  и комбинированных  $m \cdot f_z \pm k \cdot f_0$  гармоник на поврежденной шестерне, но и рост амплитуд  $f_z$  для технически исправного зубчатого колеса. Кроме того, после замены подшипниковых опор изменился не только общий уровень вибрации, но и параметры вибрации технически исправных зубчатых пар.

Таким образом, в настоящее время актуальной задачей является создание и внедрение методики оценки и прогнозирования остаточного ресурса зубчатых приводов по вибрационным характеристикам, учитывающей влияние новых деталей, устанавливаемых при ремонтах, на изменение параметров вибраций и остаточный ресурс привода в целом.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ишин, Н. Н.** Динамика и вибромониторинг зубчатых передач / Н. Н. Ишин. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 432 с.
2. Влияние технического обслуживания на остаточный ресурс зубчатых приводных механизмов / Ю. А. Дакало, Н. Н. Ишин, А. М. Гоман, А. С. Скороходов // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 27–28 мая 2019 г. – Брест: БрГТУ, 2019. – С 95–98.

УДК 621.83.06

ВИНТОВАЯ ПЕРЕДАЧА С КОНИЧЕСКИМИ  
РЕЗЬБОВЫМИ РОЛИКАМИ

А. П. ПРУДНИКОВ

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Классическая планетарная роликвинтовая передача предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное и получила широкое распространение в различных отраслях промышленности. Ее преимуществами являются высокая точность, плавность, нагрузочная способность и КПД, а также малые габаритные размеры при большом передаточном отношении.

Если в роликвинтовой передаче «остановить» водило, то образуется «рядовая» передача, в которой ведомый вал вращается с редукцией. Передаточное отношение определяется как отношение числа заходов винтовых линий взаимодействующих друг с другом резьбовых роликов. Вращение с одного ролика на другой передается за счет сил трения, возникающих между витками резьбы. Силы трения образуются при повороте ролика под действием создаваемой осевой силы. С увеличением передаваемого роликами момента силы трения пропорционально возрастают. Для полученной передачи сохраняются преимущества планетарной роликвинтовой передачи: высокая точность, плавность и КПД. Имеется возможность выполнения передачи с многопоточной схемой, которая обеспечит высокую нагрузочную способность.

В работе рассмотрена конструкция передачи с коническими роликами. Она может быть реализована в одноступенчатом варианте – аналог классической конической передачи и в двухступенчатом, когда ведущий и ведомый валы соосны. Применение конических роликов позволяет обеспечить более равномерное распределение нагрузки между витками резьбы, чем в случае использования цилиндрических роликов. Соответственно, при сопоставимых габаритных размерах и передаточном отношении предложенная конструкция передачи позволяет передавать большее усилие.

В NX CAD построена 3D-модель разработанной передачи (в одноступенчатом и двухступенчатом вариантах) и выполнен кинематический анализ. При этом подтверждена возможность обеспечения требуемого передаточного отношения, пропорционального числу заходов винтовых линий, не равному отношению диаметров контактирующих поверхностей, что позволяет уменьшить габариты передачи. Однако при этом дополнительно возникает трение скольжения в зацеплении, приводящее к снижению КПД передачи.

УДК 631.358:634

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЗАХВАТОВ ТРОСОВОГО СТЯХИВАТЕЛЯ ПЛОДОВ

Я. В. СЕМЕН, О. М. КРУПИЧ

Львовский национальный аграрный университет  
Львов, Украина

Г. А. ГЕРАСИМЧУК

Луцкий национальный технический университет  
Луцк, Украина

В тросовом стягивателе используются преимущественно петле-захваты, которые охватывают штабб дерева и передают ему возмущающие усилия, сгенерированные приводными механизмами [1]. Методика определения их жесткостно-демпфирующих свойств основана на регистрации затухающих колебаний, выводимых из положения равновесия кратковременным силовым импульсом.

Исследования проводились на переоборудованном ударном копре. Самый высокий коэффициент вязкого сопротивления деформированию ( $0,317...0,429$  кН·с/м) – у захвата из двух прорезиненных эластичных лент толщиной 10 мм каждая, имеющего низкий диапазон коэффициента жесткого сопротивления деформированию ( $6899,2...9210,3$  кН/м). В эластичных лентах происходят значительные потери энергии, они не обеспечивают должного контакта с штаббом дерева в месте его охвата. У петле-захвата, изготовленной из прорезиненной ленты толщиной 12 мм и охваченной тросом диаметром 14 мм, коэффициент вязкого сопротивления деформированию имеет пределы  $0,306...0,389$  кН·с/м, а жесткого –  $7422,2...9908,2$  кН/м. Ее целесообразно использовать на плодовых деревьях с диаметром штабба  $100...200$  мм.

Жесткое сопротивление деформированию петле-захвата, основание которой изготовлено из плотной прорезиненной ткани, с внешней стороны обтянутой двумя ветками троса, а на внутренней ее стороне закреплены оболочки с сыпучим наполнителем (гранулы фторопласта 3), самое высокое среди исследуемых и имеет пределы  $7819,6...10105,8$  кН/м. В петле-захвате данного типа наблюдается наивысший коэффициент вязкого сопротивления деформированию ( $0,291...0,373$  кН·с/м), что позволяет использовать ее на плодовых деревьях с диаметрами штаббов  $80...200$  мм.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семен, Я. В. Модернізована тросова плодознімальна машина / Я. В. Семен // Вчені ЛНАУ виробництву: каталог інноваційних розробок ЛНАУ. – Львів: ЛНАУ, 2018. – Вип. XVIII. – С. 36–37.

УДК 631.3  
 ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ СИСТЕМОЙ  
 ПРОДОЛЬНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

С. В. СИНИЙ

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

Р. Б. ГЕВКО, И. Г. ТКАЧЕНКО

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя

Тернополь, Украина

С целью интенсификации процесса очистки корнеплодов при их механизированной уборке разработана система, совмещающая функции транспортирования и сепарации вороха. Результаты теоретических и экспериментальных исследований подобных транспортно-сепарирующих систем корнеуборочных машин изложены в [1, 2].

Экспериментальные исследования по определению качественных показателей процесса проводились на двухзвеньеовом доочистительном транспортере в компоновке со скребковым загрузочным транспортером, конструктивная схема которых представлена в [3].

На основании полученных уравнений регрессий установлено, что значение углов  $\varepsilon$  и  $\varphi$  наклона соответственно нижнего и верхнего звеньев двухзвеньеового транспортера, а также зазора  $l$  между битером и нижним звеном существенно влияют на потери корнеплодов. Изменение значений этих параметров в пределах  $\varepsilon = 15...25^\circ$ ;  $\varphi = 50...75^\circ$ ;  $l = 50...40$  мм способствует снижению потерь корнеплодов от 1,52 до 1,32 %.

На повреждение корнеплодов наибольшее влияние оказывает величина зазора  $S$  между скребками загрузочного и полотном доочистительного транспортеров. Изменение  $S$  от 40 до 70 мм вызывает рост степени повреждений на 1,4 %.

На засоренность корнеплодов, кроме углов  $\varepsilon$  и  $\varphi$ , существенное влияние оказывает линейная скорость полотна доочистительного транспортера  $V_T$ , ее оптимальное значение равняется 1,25 м/с.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р. Б. Гевко [та ін.]. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

2. Advances in methods of cleaning root crops / R. Hevko, R. Brukhanskyi, I. Flonts, S. Synii, O. Klendii // Bulletin of Transilvania University of Brasov Series II. – 2018. – Vol. 11 (60). – P. 127–138.

3. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters / R. B. Hevko, I. G. Tkachenko, S. V. Synii, I. V. Flonts // INMATEH: Agricultural engineering. – 2016. – Vol. 49, № 2. – P. 53–60.

УДК 631.358  
 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ  
 КОРНЕПЛОДОВ С ПРУТКАМИ ТРАНСПОРТЕРОВ

Н. И. ХОМИК, В. П. ОЛЕКСЮК

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
 Тернополь, Украина

Г. А. ГЕРАСИМЧУК

Луцкий национальный технический университет  
 Луцк, Украина

Новым направлением усовершенствования корнеуборочных машин является расширение функциональных показателей прутковых транспортеров. Использование в их схемах разных типов активаторов способствует получению дополнительного очистительного эффекта.

Для дополнительной сепарации корнеплодов использовался принцип их выбрасывания колебательными скребками на прутки полотна при перемещении вороха корнеплодов в зону выгрузки [1, 2]. При этом величины ударных взаимодействий корнеплодов с прутками полотна должны быть ограниченными для исключения критических повреждений. Влияние ударных взаимодействий корнеплодов с ребристой поверхностью шнекового очистителя на степень их повреждений изложено в [3].

Ударные взаимодействия корнеплодов с прутками полотен транспортеров сопровождаются определенной их деформацией относительно боковых резино-кордовых полос с внутренними зацепами. При этом необходимо учитывать, что прутки изготавливаются с диаметром 10 и 12 мм при расстоянии их крепления к боковым полосам 900 и 1200 мм.

Проведенные исследования показали, что жёсткость прутков в зоне падения корнеплодов колеблется в пределах 15000...18000 Н/м.

Используя контактную задачу Герца [3] с учетом вышеизложенного, а также скорости удара тел взаимодействия, размерно-массовых и реологических свойств корнеплодов (коэффициент Пуассона и модуль упругости), можно определить максимальные контактные напряжения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters / R. B. Nevko, I. G. Tkachenko, S. V. Synii, I. V. Flonts // INMATEH: Agricultural engineering. – 2016. – Vol. 49, № 2. – P. 53–60.
2. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора / І. Г. Ткаченко [та ін.] // Наукові нотатки: міжвуз. зб. – Луцьк: ЛДТУ, 2016. – Вип. 7. – С. 260–266.
3. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р. Б. Гевко [та ін.]. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

УДК 631.35  
ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ САМОХОДНЫХ УБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. С. ШАНТЫКО  
Гомсельмаш  
Гомель, Беларусь  
Л. Ю. БАКАЛОВА, Д. А. ДУБОВИК  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

К ходовым системам самоходных уборочных комбайнов предъявляются повышенные требования. Они должны обеспечивать движение комбайнов по дорогам общего пользования, а также подвижность и высокие тягово-скоростные свойства при движении по полю в различных природно-климатических условиях [1]. При этом буксования ведущих колес не должны превышать установленные нормативные значения [2].

Для повышения конкурентоспособности самоходных уборочных комбайнов производители сельхозтехники выполняют широкомасштабные НИОКР по увеличению ее производительности [3]. Увеличение производительности уборочных комбайнов сопровождается увеличением конструктивной ширины захвата жатки, размеров рабочих органов воздушно-решётной очистки, объёма бункера и т. д., что ведёт к возрастанию конструкционной массы самоходных комбайнов и давления их на почву.

Поэтому увеличение производительности самоходной уборочной сельхозтехники требует дальнейшего развития ходовых систем, которое может осуществляться по следующим направлениям:

- переход на полноприводную схему привода колес;
- использование сдвоенных колес;
- применение переднего привода, имеющего гибкие гусеницы;
- применение гусеничного движителя.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дубовик, Д. А.** Повышение проходимости внедорожной машины посредством рационального привода колес управляемых мостов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 2003. – 20 с.

2. Основные тенденции развития современного сельскохозяйственного тракторостроения / П. А. Амельченко [и др.] // Наука, образование и производство в XXI веке: Современные тенденции развития: материалы Юбилейн. междунар. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 157–158.

3. **Дубовик, Д. А.** Тенденции развития уборочной сельхозтехники / Д. А. Дубовик, Л. Ю. Бакалова, А. С. Шантыко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 39.

УДК 631.354.2

## МЕТОД СНИЖЕНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ПРИВОДА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

А. С. ШАНТЫКО, А. Н. ВЫРСКИЙ

Научный руководитель Д. А. ДУБОВИК, д-р техн. наук, доц.  
Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Известные методы снижения нагрузки на приводы рабочих органов сельхозмашин основаны на применении в конструкции приводов рекуператоров [1, 2]. Они позволяют снизить нагрузку и виброактивность приводов. Однако используемые при этом дополнительные элементы усложняют конструкцию механизмов привода.

Целью настоящей работы является разработка метода снижения нагрузки на механизм привода очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218 производства ОАО «Гомсельмаш» путем обоснования массовых параметров его элементов.

Для достижения поставленной цели выполнен кинематический и силовой анализ механизма привода очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218 [3], в ходе которого установлено, что наибольшее влияние на неуравновешенность механизма оказывают массовые параметры стрясной доски, верхнего и нижнего решет. Показано, что верхнее решето совершает противофазное движение по отношению к движению стрясной доски и нижнего решета. Получены зависимости составляющих главного вектора сил инерции от массовых параметров стрясной доски и верхнего решета. При условии сохранения универсальности стрясной доски обоснованы рациональные массовые параметры верхнего решета.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ снижения виброактивности и нагрузки на привод одноножевого режущего аппарата / Д. А. Дубовик [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 81–82.

2. Дубовик, Д. А. Снижение вибрации рам машин с рекуперативными приводами колеблющихся рабочих органов / Д. А. Дубовик, Н. П. Першукевич, Н. Л. Ракова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – С. 67–68.

3. Кинематический и силовой анализ механизма привода двухстанной очистки зерноуборочного комбайна / Д. А. Дубовик [и др.] // Вестн. машиностроения и надёжности машин. – 2019. – № 6. – С. 59–70.

УДК 621.83

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕДАЧ  
ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ТИПА

В. Л. ЮРКОВА, К. И. ЗАБАГОНСКИЙ

Научный руководитель П. Н. ГРОМЫКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Передачи эксцентриквого типа – это малогабаритные передачи с соосным расположением входного и выходного валов, имеющие возможность передавать вращение в большом диапазоне передаточных отношений. Существует множество структурных разновидностей эксцентрикговых передач. Одно из направлений их совершенствования – это передача вращения, использующая параллельные силовые потоки передачи мощности от входного вала на выходное звено. В эксцентрикговой передаче данного типа входной вал представляет собой три жестко связанных между собой эксцентрикговых кулачка, смещенных друг относительно друга в угловом положении на  $120^\circ$ . На каждом эксцентрикговом кулачке эксцентрикгового вала посажены подшипники. Внешняя поверхность наружной втулки каждого из трех подшипников взаимодействует с эксцентриками промежуточного эксцентрикгового вала, размещенными в отверстиях неподвижного корпуса. Благодаря указанному взаимодействию эксцентрикговые валы, число которых определяется передаточным отношением редуктора и компоновочными возможностями, вращаются вокруг своей оси. При этом наружные поверхности промежуточных эксцентрикговых валов входят в контакт с внутренними зубчатыми венцами наружной втулки, приводя ее во вращение.

Преимуществом эксцентрикговых передач, использующих параллельные силовые потоки передачи мощности от входного вала на выходное звено, являются малые габаритные размеры. Благодаря многопоточности при передаче вращающего момента относительно высокое значение КПД (выше 90 %) данной передачи обеспечивается использованием подшипников качения на центральном эксцентрикговом валу. Эксцентрикговые передачи такого типа обладают оптимальной геометрией зацепления эксцентрикговых промежуточных валов и внутренних зубьев наружной втулки, а также имеют низкую себестоимость изготовления, которая обусловлена технологичностью основных деталей редуктора.

## УДК 631.521 ПОДПРУЖИНЕННЫЙ НАТЯЖИТЕЛЬ РЕМНЯ ЛЬНОТЕРЕБИЛЬНОГО АППАРАТА

С. Ф. ЮХИМЧУК

Луцкий национальный технический университет  
Луцк, Украина

Я. В. СЕМЕН, С. И. ЛЕВКО

Львовский национальный аграрный университет  
Львов, Украина

Для натяжения теребивных ремней льноуборочных машин используют натяжные устройства, чаще всего это натяжные ролики, крепления которых можно перемещать регулировочным винтом. В этом случае натяжение обеспечивается за счет упругости ремня. Данный способ имеет наименьшую тяговую способность и низкую долговечность ремня.

Натяжные ролики можно подпружинить. Тогда обеспечивается автоматическое самонатягивание передачи по мере роста передаваемой нагрузки вследствие постоянного натяжения ведомой ветви ремня. При этом начальное натяжение можно уменьшить. Известно, что при уменьшении начального натяжения на 50 % долговечность ремней увеличивается в несколько раз.

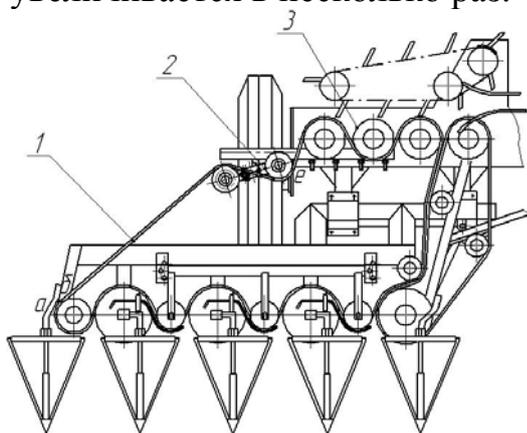


Рис. 1. Льнотеребивный аппарат с поперечными теребивными ручьями, оборудованный подпружиненным натяжителем

Поэтому предлагается для натяжения теребивного ремня использовать натяжитель из двух подпружиненных роликов (рис. 1).

Привод теребивного ремня 1 осуществляется от трех ведущих шкивов 3, натяжение ведомой ветви обеспечивает натяжитель 2, который состоит из двух роликов, размещенных на шарнирно закрепленном коромысле. Коромысло через связующее звено связано с подпружиненным ползуном. Сам натяжитель крепится хомутами к кронштейнам двух ведущих шкивов. Положение коромысла и натяжение пружины регулируется винтом, установленным в швеллере натяжителя. На винте между опорной планкой и головкой винта размещена пружина сжатия.

При диаметре натяжных роликов 100 мм и возможном повороте коромысла на 90° можно обеспечить натяжение ремня до 40 см и за счет такого регулирования увеличить долговечность ремней льнотеребивного аппарата с поперечными теребивными ручьями.

При диаметре натяжных роликов 100 мм и возможном повороте коромысла на 90° можно обеспечить натяжение ремня до 40 см и за счет такого регулирования увеличить долговечность ремней льнотеребивного аппарата с поперечными теребивными ручьями.

УДК 661.7  
 ПОЛУЧЕНИЕ РАЗВЕТВЛЁННЫХ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ  
 ОЛИГОМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИМИДНОЙ МАТРИЦЫ

Д. С. АЛЕКСАНДРОВА, В. С. ИВАНОВ, А. С. ЕГОРОВ  
 Научный руководитель Г. Р. АЛЛАХВЕРДОВ, д-р хим. наук, проф.  
 НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА  
 Москва, Россия

В работе оптимизируется методика синтеза разветвлённых олигомерных полиимидов, общая формула которых приведена на рис. 1.

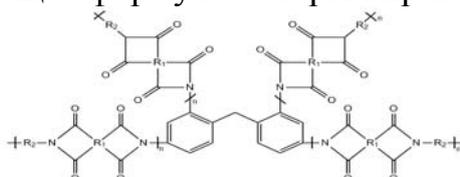


Рис. 1. Общий вид синтезируемых олигомерных сорбентов

Целевые продукты получали взаимодействием 2,2', 4,4'-тетрааминодифенилметана с различными диангидами и диаминами, как показано на рис. 2.

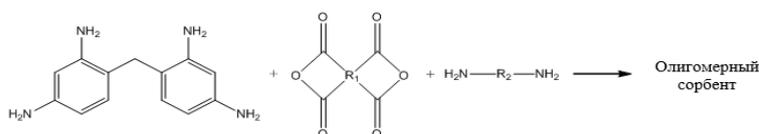


Рис. 2. Схема синтеза олигомерных имидных сорбентов

Для отработки методики синтеза была выбрана модельная система: 2,2', 4,4'-тетрааминодифенилметан, 4,4'-изопропилидендифталиевый ангидрид, 4,4'-оксиданилин. Олигомеры, полученные в чистой бензойной кислоте по методике, описанной в [1], оказались нерастворимыми в органических растворителях, включая N,N-диметилформамид, диметил-сульфоксид и N-метилпирролидон, из-за чего определение молекулярно-массовых характеристик полученных олигомеров оказалось невозможным. Для получения растворимых олигомеров была предложена методика синтеза с использованием в качестве растворителя м-крезола и бензойной кислоты в качестве катализатора.

С использованием отработанной методики были синтезированы олигомеры на основе дибензодиаминокраун-эфиров. Строение полученных образцов подтверждено методом ИК-спектроскопии, а также изучена термостойкость и механические свойства олигомеров с различным соотношением тетраамин/диангидрид/диамин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Synthesis of Reactive Three-Arm Star-Shaped Oligoimides with Narrow Molecular Weight Distribution / A. A. Kuznetsov [et al.] // J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem. – 2018. – Vol. 56, iss. 17. – P. 2004–2009.

УДК 621.74.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ ЧУГУНА ИЧХ18ВМ

В. М. АНДРИЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ

Научный руководитель Е. И. МАРУКОВИЧ, акад., д-р техн. наук, проф.  
Институт технологии металлов НАН Беларуси  
Могилев, Беларусь

Одним из важнейших факторов повышения срока службы деталей из износостойких высокохромистых чугунов (ИЧХ) является их термическая обработка. Существует мнение, что в высокохромистых чугунах, содержащих 3,5...3,6 % углерода, при кристаллизации выпадают крупные заэвтектические карбиды, которые сравнительно легко выкрашиваются при работе. Такие чугуны при закалке в масле дают трещины, а при охлаждении на воздухе их механические свойства повышаются незначительно. Поэтому для повышения механических свойств в них вводят элементы, способствующие переохлаждению аустенита, такие как никель, молибден, марганец и др. Кроме того, известно, что улучшению механических свойств чугуна способствуют такие способы его термической обработки, как закалка, отжиг, отпуск.

Цель исследований – выбор состава сплава ИЧХ18ВМ на основе оценки влияния легирующих элементов Ni, Mo, Mn и различных способов термической обработки на износостойкость сплава.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований прочности образцов при изгибе и их твердости по Роквеллу. Образцы получены из сплава ИЧХ18ВМ с разным содержанием никеля, молибдена и марганца литьем в комбинированную форму. В ходе исследований сравнивались по прочности и твердости образцы литые и термически обработанные двумя способами:

- 1) закалка: нагрев до температуры 860 °С – охлаждение на воздухе;
- 2) закалка и отпуск: нагрев до температуры 200 °С – остывание с печью.

На основе регрессионной обработки результатов экспериментов построены полиномиальные зависимости, отражающие влияние процентного содержания Ni (рис. 1), Mo (рис. 2) и Mn (рис. 3) на прочность при изгибе и твердость исследуемых образцов.

Из результатов исследований, например, следует, что для литых образцов наибольшая прочность на изгиб (84,3 кг/мм<sup>2</sup>) достигается при легировании Mn в количестве от 0,4 до 0,6 % (см. рис. 3), твердость такого сплава равна 55 HRC. Наибольшую твердость имеет сплав, легированный Mo в количестве до 0,3 % (см. рис. 2). При этом прочность на изгиб сплава составляет от 63,9 до 68,6 кг/мм<sup>2</sup>.

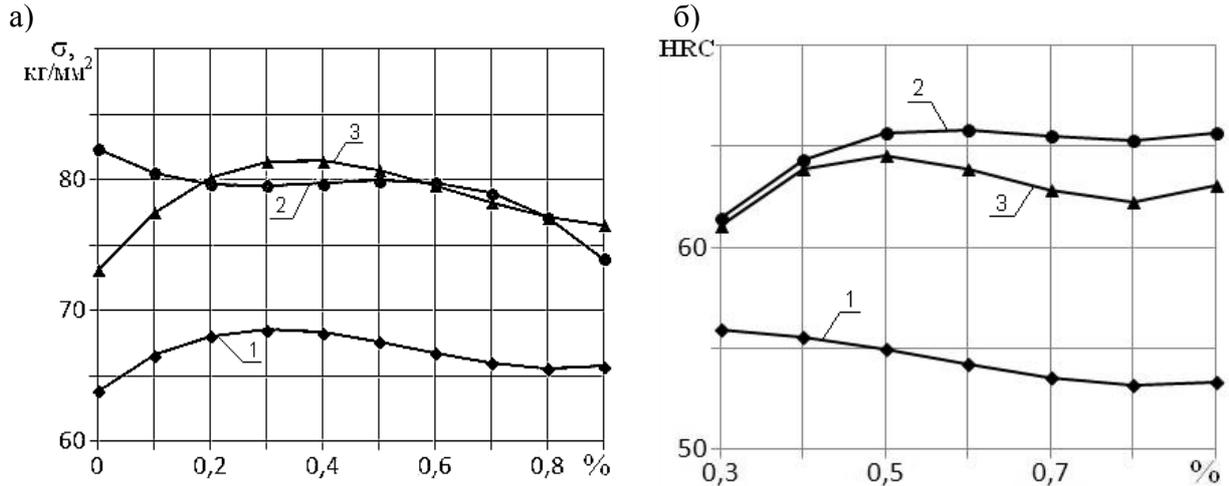


Рис. 1. Влияние процентного содержания Ni на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закаленно-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

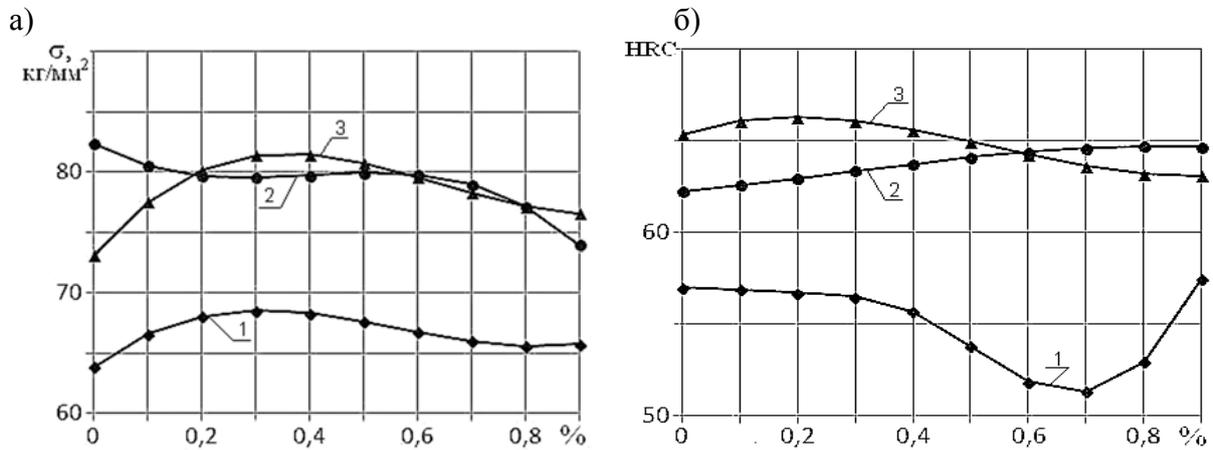


Рис. 2. Влияние процентного содержания Mo на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закаленно-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

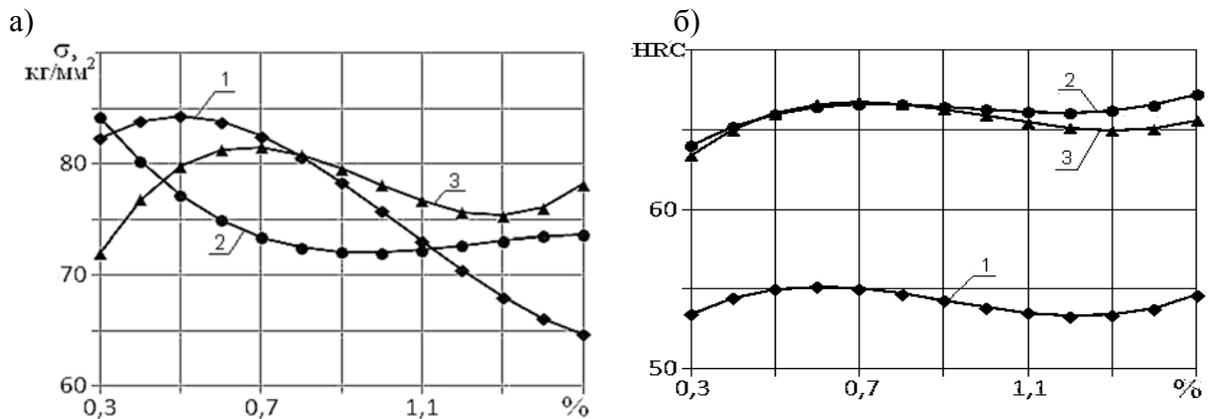


Рис. 3. Влияние процентного содержания Mn на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закаленно-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

УДК 621.762.4  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ  
ЭКСТРУЗИИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM

М. С. АНТИПОВ, П. А. ЛАЗАРЕВ

Научный руководитель А. В. АБОРКИН, канд. техн. наук, доц.  
Владимирский государственный университет  
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Владимир, Россия

Одним из эффективных способов повышения механических и функциональных свойств материалов является формирование наноконпозиционной структуры. Для этого могут быть использованы методы порошковой металлургии, заключающиеся в механическом синтезе наноконпозиционных порошков и последующей их консолидации. Для консолидации может быть использован метод газовой экструзии [1–3], который позволяет достигать высокого гидростатического давления в очаге деформации. Для разработки эффективных технологических процессов газовой экструзии необходимы данные о связи геометрических и технологических параметров процесса газовой экструзии с показателями напряженно-деформированного состояния обрабатываемого материала. Для установления таких взаимосвязей с помощью программного комплекса Deform была разработана и численно реализована математическая модель процесса газовой экструзии. В ходе анализа результатов моделирования получены данные об изменении относительной плотности и температурно-скоростных условий деформирования в зависимости от геометрических и технологических параметров процесса газовой экструзии.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной газовой экструзии для получения прутков тонкого сечения труднодеформируемых сплавов, в том числе в наноструктурированном состоянии / В. Е. Ваганов [и др.] // *Металлы*. – 2015. – № 5. – С. 67–74.
2. Особенности пластического деформирования методом высокотемпературной газовой экструзии композиционной системы «пластичная матрица – твердое включение» / В. Д. Бербенцев [и др.] // *Металлы*. – 2016. – № 6. – С. 90–94.
3. Высокотемпературная газовая экструзия как перспективный способ получения заготовок из инструментальных сталей / В. Е. Ваганов [и др.] // *Металлург*. – 2015. – № 12. – С. 58–62.

УДК 620.178.162.4  
 ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА,  
 УПРОЧНЕННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Д. В. БОКАРЁВ

Научный руководитель А. В. АБОРКИН, канд. техн. наук, доц.  
 Владимирский государственный университет  
 им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
 Владимир, Россия

Углеродные нанотрубки (УНТ) и гибридные структуры на их основе следует рассматривать как перспективный наполнитель алюминиевых сплавов, способствующий повышению не только механических, но и трибологических свойств. Для синтеза гибридных наноструктур на основе УНТ, покрытых наночастицами карбида вольфрама, был использован метод химического осаждения из паровой фазы металлоорганических соединений [1]. Композиционные материалы были получены обработкой в планетарной мельнице шихты, состоящей из гранул алюминиевого сплава АМг2 и наполнителя. Консолидация композиционного порошка выполнена спеканием под давлением при температуре 450 °С. Получившиеся образцы композиционного материала были исследованы на трибометре в условиях сухого трения под нагрузкой 10 Н. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Табл. 1. Трибологические свойства композиционного материала

Наполнитель	0,1 % WC/УНТ	1 % WC/УНТ	0,1 % УНТ	1 % УНТ
Коэффициент трения	0,412	0,407	0,445	0,428
Износ, мг	1,5	0,6	1,5	1,3

Анализ данных показал увеличение трибологических свойств с ростом массовой доли наполнителя в матричном материале. Так, например, увеличение массовой доли WC/УНТ с 0,1 до 1 вес. % повысило износостойкость материала в 2,5 раза и незначительно снизило коэффициент трения. При этом увеличение массовой доли УНТ с 0,1 до 1 вес. % вело к повышению износостойкости лишь на 15 %.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 18-79-10227.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синтез гибридных материалов на основе многостенных углеродных нанотрубок, декорированных нанопокрывтиями WC<sub>1-x</sub> различной морфологии / К. В. Кремлев [и др.] // Письма ЖТФ. – 2019. – Т. 45, вып. 7. – С. 41–44.

УДК 66.022  
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИИ ЧАСТИЦ  
ГИДРОГЕЛЯ С НЕОРГАНИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В. А. БУХРЯКОВА

Научный руководитель Д. А. МАКАРЕНКОВ, д-р техн. наук, доц.  
НИИ – филиал АО «Гознак»

Москва, Россия

С. Ю. САЛЫКИН

Научный руководитель Б. М. БОЛОТИН, д-р хим. наук  
НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА

Москва, Россия

Среди основы для композиционных полимерных материалов определенный интерес представляют полиакриламидные (ПАА) гидрогели. Благодаря простоте синтеза, доступности компонентов, пожаро- и взрывобезопасности, отсутствию липкости ПАА гидрогели являются перспективными материалами-носителями для различных неорганических веществ (наполнителей).

Для получения подобных композиционных материалов при постоянном перемешивании в смесь компонентов ПАА гидрогеля до введения инициатора полимеризации вводят тонкодисперсный неорганический наполнитель. Вводят инициатор радикальной полимеризации и получают композиционный материал – монолитный гидрогелевый блок, который содержит в своем объеме равномерно распределенный неорганический наполнитель. Помимо придания материалу специальных свойств, характерных для конкретных наполнителей, введение неорганического наполнителя повышает прочностные характеристики и термостабильность гидрогеля, существенно изменяет его сорбционные свойства.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА разработана технология получения в едином технологическом цикле блока композиционного гидрогелевого материала, а затем его двустадийное диспергирование до заданного узкого гранулометрического состава с  $D_{50}$  от 20 до 800 мкм. Диспергирование материала осуществляется по принципу масштабирования в дежах с профильной геометрией, обеспечивающей прерывание потока в радиальном направлении и создание дополнительных противодействующих сил, что в итоге влияет на динамику процесса.

Гранулометрический состав суспензии частиц композиционного материала контролируется частотой вращения диспергирующего устройства, временем диспергирования, прочностными характеристиками материала, содержанием материала в дисперсионной среде. Разработанная технология позволяет исключить энергозатратные стадии сушки и дробления гидрогелевого материала.

УДК 621.7

ЛОКАЛЬНАЯ ЗАКАЛКА ПРОБИВНЫХ ПУАНСОНОВ  
ИЗ СТАЛИ X12M ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК

Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

В производственных условиях для пробивки отверстий в крепежных деталях различного назначения часто применяют цилиндрические пуансоны. Визуальные обследования отработанных пуансонов показали, что происходит не только интенсивный износ их режущих частей, но и искривление оси вследствие внецентренного нагружения, а также по причине потери устойчивости. Такой характер разрушения присущ деталям, упрочненным объемной закалкой, и обусловлен возникновением в металле значительных механических напряжений и охрупчивания стали вследствие неоднородной закалки.

Для процесса поверхностного плазменного упрочнения рабочей зоны пуансонов, изготовленных из стали X12M, применяется плазмотрон с высокой удельной мощностью, в котором используется обжимающее сопло с диаметром отверстия 1,2 мм. Струя плазмы шириной 3 мм направлялась на торцы пуансонов, которые были обжаты двумя пластинами из меди М0 для их интенсивного охлаждения и собраны в обойму, что позволяет упрочнять лишь поверхностный слой материала, не изменяя физико-механических свойств внутренней части. При равномерном движении плазмотрона относительно пуансонов вдоль их рабочих торцевых поверхностей производится интенсивный нагрев пуансонов и закалка их торцов.

Плазменная закалка производилась при токах дуги  $I = 6...32$  А. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 5 до 25 мм/с. В результате проведенных экспериментов определены оптимальные параметры процесса закалки: скорость перемещения плазмотрона  $v = 10...13$  мм/с, ток дуги  $I = 27$  А, расход защитного газа  $Q = 2...2,5$  л/мин.

С применением программной системы ANSYS проведено исследование температурных полей, напряжений и деформаций в конечно-элементной модели системы «пуансон-обоймы» при поверхностной закалке. Исследование НДС проведено при различных скоростях движения плазмотрона, токах дуги, расходах рабочего газа. Анализ результатов показывает, что благодаря высоким скоростям охлаждения обеспечивается одновременность мартенситного превращения по всему контуру охлаждаемой детали, что уменьшает или даже полностью исключает появление закалочных трещин.

УДК 666.1  
 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМИСТЫХ  
 ГОРНЫХ ПОРОД В КАЧЕСТВЕ СТЕКОЛЬНОГО СЫРЬЯ

О. А. ДОБРИНСКАЯ

Научный руководитель Н. И. МИНЬКО, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический

университет им. В. Г. Шухова

Белгород, Россия

Доклад посвящен важной проблеме – использованию альтернативных сырьевых материалов в стекольной промышленности, например, таких как высококремнеземистые аморфные горные породы, способных заменить традиционные сырьевые материалы частично или даже полностью.

В работе проведены исследования составов аморфных горных пород (АГП) диатомита (Инзенское мест.), перлита (мест. Мухор-Таллинское, Республика Бурятия), опоки (мест. Республика Мордовия), а также изучено их изменение в процессе термообработки. Их составы представлены стеклообразующим оксидом  $\text{SiO}_2$  (87,22; 72,0; 92,47 масс. % соотв.), промежуточным оксидом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6,79; 16,45; 3,38 масс. % соотв.) и модификаторами ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{RO}$ ,  $\text{R}_2\text{O}$ ). По результатам химического анализа установлено, что основное влияние на нестабильность состава АГП оказывают такие оксиды, как  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Произведен рентгенофлуоресцентный анализ материалов до и после термообработки (рис. 1).

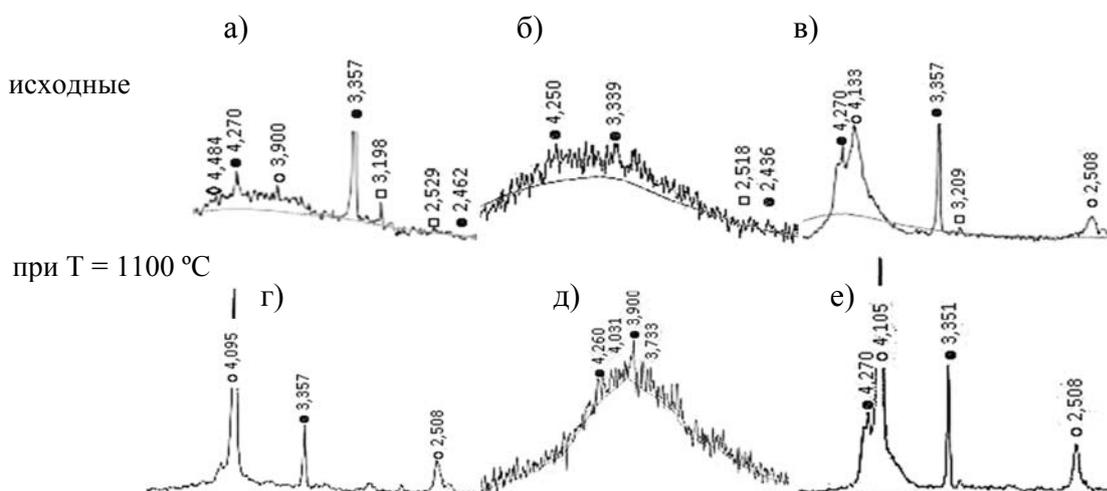


Рис. 1. Рентгенограммы АГП (● – кварц; ○ – кристобалит; □ – плагиоклазы; ◇ – монтмориллонит): а, г – диатомит; б, д – перлит; в, е – опока

Согласно предварительным данным, реакционная способность материалов расположена в следующий ряд по спекаемости и образованию жидкой фазы с ее уменьшением: *перлит* – *опока* – *диатомит*. Дальнейшее изучение многокомпонентных составов подтвердит или опровергнет этот ряд.

УДК 579.66  
«ЗЕЛЕНый СИНТЕЗ» НАНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДОВ МЕТАЛЛОВ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О. А. ЖУРАВЛЕВА, В. С. КУЛИГИН

Научный руководитель Т. А. ВОЕЙКОВА, канд. биол. наук  
НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика  
Москва, Россия

В настоящее время стремительно развиваются высокотехнологичные, экологически безопасные производства наноматериалов с использованием микроорганизмов. В ГосНИИгенетика оптимизирован «зеленый» способ получения концентрированных водных суспензий наночастиц (1...4 мг/мл) сульфида серебра, кадмия и цинка ( $\text{NpAg}_2\text{S}$ ,  $\text{NpCdS}$  и  $\text{NpZnS}$ ) с использованием бактерии *Shewanella oneidensis*. Определены размеры, форма, кристаллическая структура, оптические свойства, гидродинамический радиус,  $\zeta$ -потенциал; определен состав и количество белков на поверхности наночастиц, который изменяется при использовании различных штаммов. Наличие белков стабилизирует наночастицы в суспензиях.

Биогенные  $\text{NpAg}_2\text{S}$ ,  $\text{NpCdS}$  и  $\text{NpZnS}$  были применены в качестве наполнителя полимерных матриц: аминоксодержащие полистирольные (диаметр 5 мкм,  $\zeta$ -потенциал +3,3 мВ, угол смачивания  $12^\circ$ ) и полиглицидилметакрилатные микросферы (диаметр 3,5 мкм,  $\zeta$ -потенциал  $+15,6 \pm 0,1$  мВ, угол смачивания  $47,2 \pm 1^\circ$ ). Продемонстрировано, что более 60 %  $\text{NpAg}_2\text{S}$  иммобилизуется на полистирольных микросферах. Полученная комбинированная система была стабильна и не агрегировала. Модифицированные наночастицами полимерные микросферы образовывали монослой, т. е. наличие наночастиц на поверхности микросфер не приводило к агломерации нового композиционного материала.

Показана избирательность сорбции  $\text{NpAg}_2\text{S}$  на определенные типы ионообменных смол. Значительную роль в иммобилизации играет отрицательный поверхностный заряд биогенных  $\text{NpAg}_2\text{S}$ . Установлено, что эффективная иммобилизация возможна на аниониты Dowex 1x1 в  $\text{Cl}^-$ - и  $\text{OH}^-$ -ионных формах, на агароидные гели Sepharose DEAE и Sephadex DEAE, при этом отсутствовала десорбция  $\text{NpAg}_2\text{S}$ , что свидетельствует об их прочной связи с исследуемыми полимерными материалами.

Полученные результаты представляют интерес для создания полимерных наноконструкций, применяемых в промышленности, биологии, медицине.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания № 595-00003-19 ПР.

УДК 661.7  
 МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
 В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В. С. ИВАНОВ, Е. В. ИВАНОВ, Д. С. ГУДЕЕВА, А. С. ЕГОРОВ  
 Научный руководитель Г. Р. АЛЛАХВЕРДОВ, д-р хим. наук, проф.  
 НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА  
 Москва, Россия

Низкотемпературные топливные элементы (ТЭ) или ТЭ с протон-проводящей полимерной мембраной осуществляют превращение химической энергии в электрическую. Массоперенос при этом осуществляется через полимерную мембрану (электролит). Перфторированные сульфокислоты лидируют на рынке мембран для низкотемпературных ТЭ и являются превосходным материалом. Однако они все же имеют несколько существенных недостатков, которые ограничивают их широкомасштабное применение.

Для замены дорогостоящих фторированных полимеров в последнее время все больше внимания исследователей уделяется получению нефторированных либо частично фторированных полимеров для применения в качестве протон-проводящих мембран низкотемпературных ТЭ. Среди таких полимеров большой интерес представляют сульфированные ароматические полиимиды (СПИ), поскольку они обладают протонной проводимостью, сопоставимой с фторированными сульфокислотами типа Nafion (DuPont), но при этом отличаются более высокой механической и химической стойкостью.

В результате научной работы были получены образцы прочных пленок сульфированных полиимидов для создания мембран топливных элементов (рис. 1).

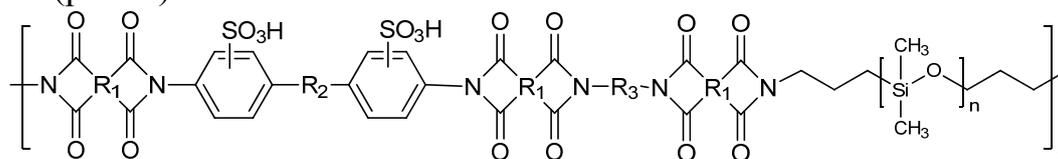


Рис. 1. Структура звена сульфированного полиимида

Строение пленок подтверждено методом ИК-спектроскопии, изучена протонная проводимость, термостойкость и механические свойства полученных образцов (табл. 1).

Табл. 1. Свойства полученных СПИ

Мембрана	Протонная проводимость, мСм/см	Толщина, мкм	Относительное удлинение, %	Предел прочности, МПа
СПИ	2...6	50...100	5...11	30...40
Nafion 117	9,3	150...200	135	20

УДК 661.7  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ,  
СОДЕРЖАЩИХ БИОГЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ

Е. В. ИВАНОВ, А. С. ЕГОРОВ, В. М. РЕТИВОВ, Е. И. КОЖУХОВА  
Научный руководитель Г. Р. АЛЛАХВЕРДОВ, д-р хим. наук, проф.  
НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА  
Москва, Россия

О. А. ЖУРАВЛЕВА, В. С. КУЛИГИН  
Научный руководитель Т. А. ВОЕЙКОВА, канд. биол. наук  
НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика  
Москва, Россия

Природоподобная технология получения биогенных наночастиц с использованием микроорганизмов является перспективной, экологически безопасной и доступной для промышленного производства различных наноструктур. Наночастицы сульфида кадмия (NpCdS) были получены с использованием штаммов *B.subtilis* и *S.oneidensis*, белки которых обеспечивают стабилизацию их в водных суспензиях. Нанокристаллы NpCdS являются квантовыми точками с размерами 1...5 нм, сферической формы, метастабильными, способными к люминесценции. Концентрация наночастиц в водных образцах – 1...3 мг/мл. Исследовано взаимодействие биогенных наночастиц и различных полимерных материалов. Целью исследования являлась разработка подходов для конструирования полимерных композитов, наполненных биогенными NpCdS.

Установлена корреляция между концентрацией и интенсивностью люминесценции наночастиц, определяемая с помощью спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама». Проведена оценка стабильности и люминесцентных свойств исходной водной суспензии наночастиц и после смешивания наночастиц с растворителями: диметилформамидом (ДМФА), диметилсульфоксидом (ДМСО), ацетоном, N-метилпирролидоном (N-МП). Визуальное наблюдение выявило гомогенность систем без образования агломератов, выпадения осадка. Были зарегистрированы спектры люминесценции. Наиболее характерными значениями интенсивности сигнала люминесценции обладали системы N-МП – водная суспензия NpCdS и ДМФА – водная суспензия NpCdS. Исследованы эпоксидная смола L с отвердителем GL-1, полиимид и поливиниловый спирт в качестве полимерных матриц различной природы для создания нанокompозитов. Спектры люминесценции исходных полимерных пленок и модифицированных NpCdS не показали различий по расположению пиков, что свидетельствует об идентичности поглощения полимерными матрицами и наночастицами света с длиной волны 270 нм и необходимости дальнейшего поиска полимерных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-00088.

УДК 677.4.021.16/.022

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ЧЕСАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ ИЗ ВОЛОКНА АРСЕЛОН

И. О. КЛЫКОВСКИЙ

Научный руководитель С. С. МЕДВЕЦКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

Исследование технологии производства пряжи из волокна Арселон проводилось на ОАО «Гронитекс» в г. Гродно. Целью проводимых исследований являлось повышение качества пряжи с одновременным снижением ее линейной плотности для получения более легких тканей. Нарботка пряжи осуществлялась по кардной системе прядения хлопка на кольцевых прядильных машинах.

В процессе корректировки технологического процесса были предприняты шаги для улучшения показателей неровноты чесальной ленты, вырабатываемой на машинах С70 фирмы Rieter. После проведения предварительных исследований было установлено влияние на неровноту ленты таких параметров, как линейная плотность питающего настила чесальной машины и частота вращения главного барабана.

Проведен эксперимент, в ходе которого изменяли толщину настила в диапазоне от 900 до 1100 ктекс. Затем полученные образцы чесальной ленты были проверены на неровноту по линейной плотности и содержание непса. Установлено, что при увеличении плотности питающего настила неровнота ленты уменьшается, но происходит увеличение количества непса. Это может быть вызвано увеличением загрузки волокном главного барабана и снижением интенсивности чесания. Снижение же неровноты ленты можно объяснить лучшим выравниванием волокон в результате смешивания за счет увеличения остаточной загрузки главного барабана.

Кроме того, проведен анализ образцов чесальной ленты, полученных при различной частоте вращения главного барабана. В результате установлено, что при снижении частоты вращения главного барабана неровнота ленты также уменьшается, при этом не ухудшаются другие показатели качества.

Анализ полученных данных позволил выбрать такие значения линейной плотности питающего настила и частоты вращения главного барабана, при которых достигается низкое значение неровноты ленты, при этом содержание и средние размеры непса соответствуют принятым нормам. Данные параметры работы чесальной машины были внедрены в технологический процесс ОАО «Гронитекс» и привели к повышению качества пряжи и полуфабрикатов на всех последующих переходах.

УДК 544.77:621.9.048.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Т. С. КОЗОДОЙ

Научный руководитель Н. Н. ЯСИНСКАЯ, канд. техн. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

Успешно УЗ-колебания используются в жидкостных обработках текстильных материалов (крашение, аппретирование), т. к. возникающий специфический процесс – УЗ-кавитация – обеспечивает разрыхляющее воздействие на волокнистый материал и диспергирующее на рабочий раствор красителя или аппрета.

Для оценки влияния кавитационных воздействий на дисперсную систему проведены исследования по определению оптической плотности водной дисперсии стирол-акрилата, используемой для аппретирования текстильных материалов. Экспериментальные исследования проводились на спектрофотометре Solar при длине волны ультрафиолетового спектра 290 нм в режиме поглощения. Подготовка раствора аппрета заключается в его озвучивании в ультразвуковой ванне мощностью 99 Вт, частотой 35 кГц. Дисперсия озвучивалась в течение 5; 15 и 60 мин, также готовился не озвученный раствор для дальнейшего сравнения и оценки влияния ультразвуковых колебаний на аппретирующую дисперсную систему. Результаты измерения оптической плотности представлены на рис. 1.

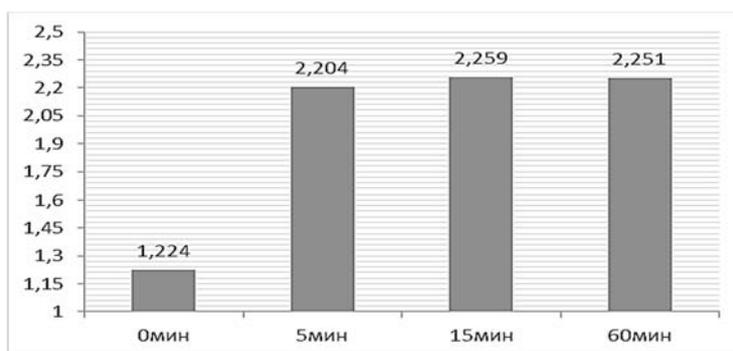


Рис. 1. Оптическая плотность дисперсии Аппретана № 9616

Сравнительный анализ дисперсной системы до и после озвучивания показывает, что дисперсия после ультразвуковой обработки переходит в мелкодисперсную фазу (это подтверждается увеличением оптической плотности раствора), максимальное время озвучивания составляет 15 мин, последующее воздействие существенных изменений в фазовую структуру дисперсии не вносит.

УДК 677.075

ОЦЕНКА ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ТРИКОТАЖНЫХ  
ПОЛОТЕН ИЗ НИТИ QUICK DRY

Е. Ш. КОСОЯН

Научный руководитель Н. В. СКОБОВА, канд. техн. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

На кафедре «Технология текстильных материалов» проведена работа по изучению гигроскопичных свойств трикотажных полотен, полученных с использованием функциональной нити Quick Dry (табл. 1). Для выявления эффективности функциональной нити наработан образец полотна из обычных полиэфирных нитей близкой линейной плотности (образец II).

Характер изменения массы испаряемой влаги через материал (рис. 1) показывает, что при добавлении хлопчатобумажной пряжи отмечается неравномерность прохождения влаги в первые 5 мин. Рассчитанный коэффициент паропроницаемости доказывает эффективность применения функциональной нити для улучшения эксплуатационных характеристик трикотажа. Отмечается преимущество этой нити при сочетании с хлопчатобумажной пряжей.

Табл. 1. Характеристика заправки кругловязальной трикотажной машины

Характеристика	Образец I	Образец II	Образец III
Переплетение	Кулирная гладь		
Заправка	100 % ПЭ	100 % ПЭ Quick Dry	Смешанная (ХБ пряжа + ПЭ Quick Dry в одной системе)
Поверх. плотность, г/м <sup>2</sup>	102	106	170

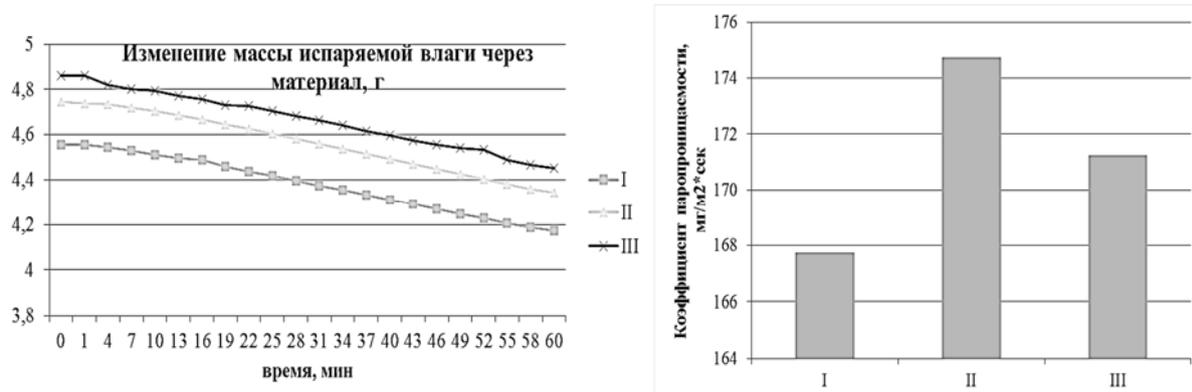


Рис. 1. Оценка паропроницаемости трикотажных полотен

УДК 677.027

## БИОТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ КОЛОРИСТИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ЛЬНЯНЫХ ТКАНЯХ

К. А. КОТКО

Научные руководители Н. Н. ЯСИНСКАЯ, канд. техн. наук, доц.,

Н. В. СКОБОВА, канд. техн. наук, доц.

Витебский государственный технологический университет

Витебск, Беларусь

В лабораторных условиях УО «ВГТУ» разработан способ ферментной обработки, позволяющий создавать структурные и колористические эффекты на льняных тканях типа «джинс». Способ заключается в локальном нанесении состава, содержащего ферментный препарат целлюлолитического действия, и последующей механической обработке абразивным материалом. Результатом такой обработки является создание на готовом изделии модных эффектов – «потертости», «дырки».

На рис. 1 представлены результаты после механического трения суровой ткани и образцов с биообработанными участками при разной концентрации фермента (2,5; 5 и 10 г/л). На каждом образце указано количество циклов, выдерживаемых образцом до начала разрушения (см. рис. 1, а), и конечное количество циклов, требуемое для создания эффекта «рваных дыр» (см. рис. 1, б).

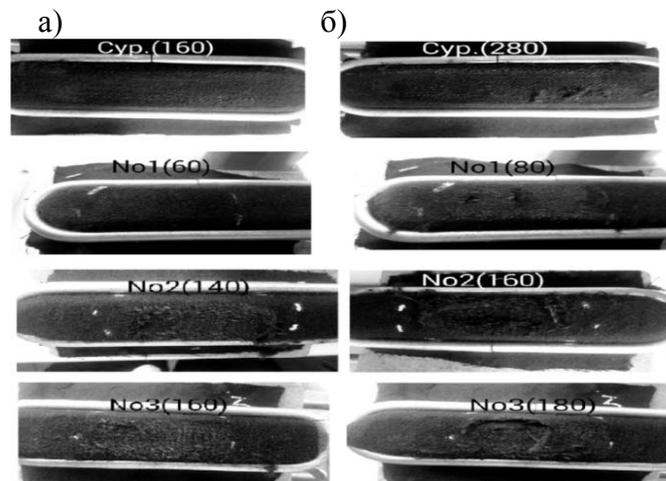


Рис. 1. Результаты механического трения ткани после биообработки

Анализ показал, что для ткани, обработанной ферментным препаратом, требуется меньшее количество циклов механического воздействия. Причем с увеличением концентрации энзима количество циклов снижается. Выбор оптимальной концентрации препарата и требуемого числа циклов зависит от желаемого конечного эффекта.

УДК 66.096.4  
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТОВ  
ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К. С. МАСЛОВА

Научный руководитель М. А. НОВИКОВА  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

Композиционный материал – это материал, искусственно созданный из двух и более компонентов. К композитному материалу предъявляются следующие требования: он должен быть сплошным, достаточно однородным, но граница раздела между компонентами должна быть различима [1]. Сочетание элементов в композитном материале определяет его свойства, такие как прочность и жесткость. При правильном подборе компонентов и расположении их в определенном порядке можно создать требуемые свойства композитного материала.

Биокомпозиты представляют собой особый класс композиционных материалов. Их отличительная особенность состоит в использовании в своем составе органических волокон, что позволяет снизить ущерб, наносимый окружающей среде. На данный момент происходит активная разработка новых видов материалов и внедрение биокомпозитов в разных странах мира.

Рынок биокомпозиционных материалов разнообразен. Современные биокомпозиты обладают высокими механическими характеристиками, эстетичны и являются биоразлагаемыми. В Смоленском филиале «НИУ «МЭИ» разработан инновационный способ получения биокомпозитных материалов, широко применяемых в нефтеперерабатывающей промышленности. В основе технологии – переработка льняной или конопляной костры. Планируется использовать материалы в производстве корпусов деталей нефтеперерабатывающего оборудования.

Индустрия производства биокомпозитных материалов набирает обороты как на мировом уровне, так и на российском. Применение продукции данного вида способствует улучшению экологической ситуации за счет использования биоразлагаемых ресурсов, а также повышению качественных характеристик товаров и снижению их стоимости.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новикова, М. А.** Использование композиционных материалов из костры льна и конопли применительно к промышленному потенциалу Смоленской области / М. А. Новикова, М. Г. Куликова // Техника и технология. Актуальные научные проблемы. Рассмотрение, решение, практика: сб. науч. ст. – 2016. – С. 30–32.

УДК 621.785  
ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ МАРКИ 10кп

М. В. НЕРОДА, С. Р. ОНЫСЬКО  
Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

Ионное азотирование является одним из наиболее эффективных способов поверхностного упрочнения, позволяющих повысить эксплуатационные свойства деталей машин и механизмов за счет изменения физико-механических свойств приповерхностного слоя при сохранении неизменными свойств основного металла [1].

В качестве исследуемого материала была принята конструкционная качественная углеродистая сталь 10кп (ГОСТ 1050–88). Данный материал используется при изготовлении деталей машин и механизмов высокой пластичности, работающих в интервалах температур до 450 °С, у которых имеются повышенные требования по твердости и износостойкости, в то время как прочность сердцевины незначительна. Исследуемые образцы были подвергнуты ионно-плазменному азотированию, после которого толщина нанесенного слоя находилась в пределах 0,12...0,15 мм.

Испытания проводились на электромеханической разрывной машине ИР 5145-500-11, снабженной самопишущим устройством, позволяющим в режиме реального времени вычерчивать диаграмму растяжения, показывающую зависимость удлинения образца от продольной растягивающей нагрузки. Установлено, что максимальная нагрузка на упрочненных образцах составила 49,58...59,27 кН, что более чем в 1,5 раза выше, чем на образцах без поверхностного упрочнения 31,57...38,65 кН.

Измерения микротвердости выявили, что максимальное значение твердости азотированного слоя по Виккерсу составляет 566 НV, при твердости основного металла – 196 НV.

Предварительные испытания образцов свидетельствуют, что ионно-плазменное азотирование позволяет увеличить прочность конструкционной стали более чем на 30 % за счет формирования упрочненного слоя при сохранении основных пластичных свойств материала.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин, Е. В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е. В. Берлин, Н. Н. Коваль, Л. А. Сейдман. – Москва: Техносфера, 2012. – 464 с.

УДК 620.16:621.793

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА ШТАМПОВУЮ ОСНАСТКУ  
С НАНЕСЕННЫМ ZrCN / a-C ПОКРЫТИЕМ

С. Р. ОНЫСЬКО

Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

На машиностроительных предприятиях в различных технологических процессах используется штамповая оснастка, работоспособность которой может быть повышена за счет изменения поверхностных свойств инструментального материала путем нанесения износостойких ZrCN / a-C покрытий на его рабочие поверхности [1]. Покрытия такого рода обладают высокой твердостью и более низким коэффициентом трения по стали, что является одной из причин в применении такого рода покрытий в ударно-штамповом инструменте.

Исследования по определению нагрузок, возникающих в процессе пробивки отверстий в листовом материале толщиной 4 мм (сталь 20), проводились при помощи измерительного комплекса «ТИССА» и созданной экспериментальной установки на цилиндрических пуансонах с рабочей частью диаметром 4,16 мм, изготовленных из стали марки X12МФ и прошедших объемную закалку, а также на аналогичном инструменте, но с нанесенным композиционным покрытием на основе карбонитрида циркония (ZrCN).

Установлено, что на торцевую рабочую поверхность инструмента воздействует значительная нагрузка (на инструмент без покрытия 68,4 кН, а с ZrCN / a-C покрытием – 52,7 кН), при этом из-за размеров пуансона она вызывает не только продольную, но и поперечную деформацию, вследствие чего инструмент в процессе пробивки отверстия подвергается продольно-поперечному изгибу. Расчеты бокового смещения пуансона показали, что в инструменте с нанесенным ZrCN / a-C покрытием максимальная боковая деформация уменьшается на 23 %, что приводит к снижению усилия резания заготовки и уменьшает вероятность охрупчивания режущей кромки пуансона при ударной нагрузке.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эксплуатационных свойств вырубных пуансонов путем нанесения тонких пленок карбонитрида циркония / С. Р. Онысько [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 34–36.

УДК 685.34.082  
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ НИЗА ОБУВИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ

А. Н. РАДЮК, М. А. КОЗЛОВА

Научный руководитель А. Н. БУРКИН, д-р техн. наук, проф.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

В настоящее время литые полиуретаны занимают первое место по объему производства среди уретановых каучуков. Изделия из каучуков этого типа изготавливают методом жидкого формования, совмещающего в одном процессе получение высокомолекулярного полимера и формование из него изделий.

Для получения деталей низа обуви широко используют газонаполненные материалы на основе литых полиуретанов – пенополиуретаны (ППУ), которые могут быть использованы повторно без существенного изменения свойств исходного сырья – полимерной матрицы. На основе данной матрицы в дальнейшем можно получать различные по структуре материалы и детали для низа обуви – монолитные, пористые, волокнисто-наполненные и другие.

Технология получения композиций для низа обуви с использованием отходов ППУ включает в себя следующие этапы:

1) получение монолитных материалов (основой их получения является непосредственно сама полимерная матрица):

- подготовка основного компонента – отходов ППУ;
- получение гранулированной композиции – необходима для устранения остаточной нерегулярной пористости ППУ;

2) получение пористых и волокнисто-наполненных материалов:

- подготовка дополнительных компонентов;
- приготовление смеси компонентов;
- гранулирование;
- литье материалов.

Результатом работы является получение монолитных материалов для низа обуви, пористых материалов с плотностью  $0,8 \dots 0,9$  г/см<sup>3</sup> и материалов типа «кожволон». Согласно исследованию, они обладают достаточными свойствами для того, чтобы рекомендовать их в производстве обуви. При этом получение материалов по данной технологии способствует повышению конкурентоспособности продукции, частичной утилизации отходов ППУ, расширению ассортимента материалов, снижению стоимости отечественной обуви за счет снижения себестоимости пары подошв на 0,2 долл. в среднем.

УДК 677.022  
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОМБИНИРОВАННЫХ ВЫСОКОУСАДОЧНЫХ НИТЕЙ

А. И. СОСНОВСКАЯ

Научный руководитель Н. В. СКОБОВА, канд. техн. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

Ассортимент трикотажных изделий постоянно расширяется за счет использования нового сырья и сочетаний исходных компонентов. Наибольший интерес вызывает создание модных структурных эффектов, получить которые можно путем использования комбинированных высокоусадочных нитей, проявляющих эффект усадки после термообработки.

На кафедре «Технология текстильных материалов» разработаны образцы трикотажных полотен следующих структур:

- образец 1 (плюш): ворс – крученая пряжа из ПАН-волокон линейной плотностью 31 текс ×2, грунт – комбинированная высокоусадочная нить (КВУН) линейной плотностью 34 текс; поверхностная плотность – 620 г/м<sup>2</sup>;
- образец 2 (производная гладь): хлопчатобумажная пряжа линейной плотностью 30 текс ×2, грунт – комбинированная высокоусадочная нить линейной плотностью 34 текс; поверхностная плотность – 440 г/м<sup>2</sup>.

Опытные образцы трикотажа подвергали процессу тепловой обработки в термокамере при температурах 40; 70 и 100 °С. Проведена оценка степени влияния температуры на усадку полотна за счет использования высокоусадочного компонента (рис. 1).

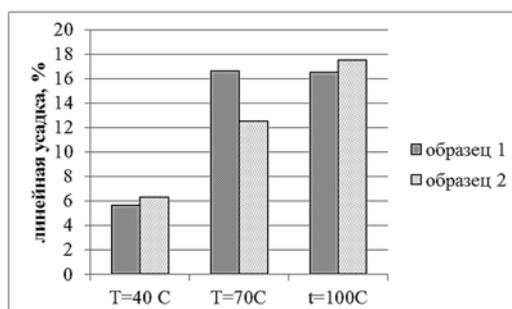


Рис. 1. Линейная усадка трикотажных образцов после термообработки

Анализ гистограммы показывает, что максимальные усадочные свойства полотна плюш (образец 1) приобретает при 70 °С и дальнейшее повышение температуры не приводит к дополнительной усадке, это объясняется прокладкой КВУН в каждый петельный ряд. Образец 2 достигает максимальной усадки при T = 100 °С, т. к. КВУН прокладывалась через петлю, благодаря этому имеется достаточный запас длины нити для усадки.

УДК 53.49.00

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ  
КЕРАМИКИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. С. ФЕДОСЕНКО, А. Н. БАЛАЗЕЧКО

Научный руководитель Ф. Г. ЛОВШЕНКО, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Ю. В. СЕЛИВАНОВА

Могилевский государственный политехнический колледж  
Могилев, Беларусь

Газотермические покрытия на основе керамики широко используются в различных отраслях промышленности. Основное их применение – это упрочнение деталей, работающих в условиях интенсивного трения, больших контактных нагрузок, а также в присутствии абразивных частиц. Среди материалов данной группы выгодно отличаются керамические материалы на основе оксидов титана, хрома, циркония, алюминия. Последний имеет целый ряд преимуществ: обладает высокой твердостью и температурой плавления, стоек во многих агрессивных средах, обладает высоким электрическим сопротивлением, при этом является недефицитным и имеет небольшую стоимость.

Керамические покрытия на основе оксида алюминия находят применение в нефтехимической отрасли, на предприятиях легкой промышленности, предприятиях, выпускающих различные виды проволоки, занимающихся производством стеклотканей, стеклонитей и т. д.

Большой ресурс деталей, упрочненных керамическими покрытиями, и невысокая стоимость материала делают его весьма перспективным для использования в других областях. К примеру, для упрочнения деталей, работающих в условиях повышенных или высоких температур. Это могут быть различные валки, ролики, стержни, направляющие и т. д. Однако, как и для большинства керамических материалов, работоспособность оксида алюминия в таких условиях весьма ограничена, т. к. покрытия из него склонны к растрескиванию и отслоению, что обусловлено меньшим коэффициентом теплового расширения по сравнению с металлами.

В связи с этим было предложено в керамическую матрицу дополнительно вводить небольшое количество вязкого материала, в качестве которого перспективно использовать никель, кобальт, сплавы никель-алюминий, железо-алюминий.

Внедрение металлокерамических материалов на основе оксидной керамики позволит решить ряд производственных задач, увеличив ресурс работы деталей и снизив затраты на ремонт оборудования.

УДК 621.74.047

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛОПРОВОДА ДЛЯ ЛИТЬЯ НАМОРАЖИВАНИЕМ

Т. С. ЯКУБОВИЧ

Научный руководитель В. П. ГРУША, канд. техн. наук, доц.  
Институт технологии металлов НАН Беларуси  
Могилев, Беларусь

Металлопровод для подвода расплава в кристаллизатор является основным элементом сифонной литниковой системы, от которого во многом зависит процесс литья намораживанием в непрерывно-циклическом режиме. Широкая номенклатура получаемых полых цилиндрических отливок требует использования металлопроводов с разным поперечным сечением каналов из песчаножидкостекольной смеси, а при необходимости и применения их предварительного разогрева перед разливкой.

Целью работы являлась разработка методики теплового расчета подготовки литниковой системы к процессу непрерывно-циклического литья намораживанием.

Экспериментальные исследования проводили при разогреве металлопровода с диаметром каналов 50 мм в печи сопротивления. Температура в печи задавалась и контролировалась цифровым регулятором температуры Omron E5CC. Измерение температуры по толщине стенки металлопровода проводили термопарами типа ХА при помощи многоканального регистратора РМТ 69L с выводом результатов на компьютер для последующей обработки. С использованием программного продукта для инженерного анализа, в котором реализован метод конечных элементов, была разработана параметрическая твердотельная модель металлопровода с учетом теплофизических свойств материалов, из которых он изготовлен, и проведен расчет температурного режима его разогрева. На основе экспериментальных исследований и расчетов получено распределение температуры по толщине стенки металлопровода и проведен анализ ее изменения во времени. Исследования показали, что наибольшая скорость разогрева рабочей поверхности канала 1,5...2,0 К/мин приходится на 1 ч нахождения металлопровода в атмосфере печи при температуре 250 °С. Затем в течение 3...5 ч происходит падение скорости разогрева до 0,3...0,1 К/мин. Сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных свидетельствуют о высокой степени их сходимости.

Разработанная методика позволяет в широком диапазоне регулировать термовременные параметры подготовки металлопровода к процессу литья, а проведенные расчеты могут являться ключевым аспектом при разработке рациональных режимов разогрева с точки зрения минимизации расходов электроэнергии и трудозатрат.

УДК 621.791.763.2

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. П. ДОЛЯЧКО

Научный руководитель А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Среди основных задач, стоящих перед современной промышленностью, можно выделить сокращение сроков разработки новой продукции и обеспечение гибкости производства.

Аддитивные технологии создания объемных изделий сложной формы в последнее время вызывают все больший интерес со стороны промышленности не только в качестве инструмента для 3D-прототипирования и изготовления моделей будущих деталей и конструкций, но и в качестве самодостаточного процесса получения готовых работоспособных заготовок с требуемым комплексом механических характеристик. В первую очередь это обусловлено снижением, по сравнению с традиционными способами изготовления таких изделий, расходом формообразующего материала. С другой стороны, зачастую сложная геометрия изделия делает невозможным изготовление цельной детали какими-либо другими способами кроме аддитивного.

Среди наиболее распространенных способов аддитивного производства, следует выделить способы, основанные на лазерном спекании металлического порошка (LBMD, DMD) и послойной дуговой наплавки (WAAM).

Несмотря на ряд преимуществ, технология получения готовых изделий, основанная на спекании металлического порошка, обладает рядом недостатков, мешающих внедрению данной технологии на предприятиях республики. Среди таких недостатков следует выделить: сложность техпроцесса, высокую стоимость оборудования и расходных материалов, а также низкую производительность процесса.

Одним из наиболее перспективных направлений послойного изготовления деталей на предприятиях РБ является технология, основанная на послойной дуговой наплавке сплошной металлической проволокой. Наплавка производится в среде инертного/активного газа или в многокомпонентных газовых смесях в зависимости от типа наплавляемого материала. При данном способе производства применяется оборудование, аналогичное уже используемому на предприятиях, что несомненно упрощает внедрение данной технологии.

В докладе приведен сравнительный анализ способов аддитивного послойного создания металлических изделий сложной формы с точки зрения возможностей реализации в условиях предприятий Республики Беларусь.

УДК 621.791.763.2

## АДДИТИВНОЕ ПОСЛОЙНОЕ СОЗДАНИЕ ОБЪЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПОМОЩИ ДУГОВЫХ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Аддитивные технологии в последнее время получают все большее распространение. Основными преимуществами такого способа создания изделий являются минимизация расхода материалов и возможность формирования сложных геометрических форм и поверхностей. Наиболее распространенным является метод селективного лазерного спекания порошковых материалов. В то же время, несмотря на очевидные преимущества способа, стоимость оборудования и формообразующих материалов существенно сдерживают его освоение на предприятиях Республики Беларусь для изготовления единичных и мелкосерийных изделий. Интерес представляет разработка аддитивных технологий на основе наиболее распространенного способа сварки GMAW.

В докладе приведены результаты исследований и сформулированы основные условия эффективности применения для послойного создания металлических изделий технологии дуговой сварки с реверсивной подачей присадочной проволоки.

Установлено, что при аддитивной наплавке вертикальной стенки создаются необходимые условия для вытеснения продуктов реакции раскисления на боковые поверхности, не затрудняя при этом процесс образования химических связей и объемное взаимодействие между отдельными валиками, что позволяет эффективно применить рассматриваемый способ без операций промежуточной зачистки, существенно повысив тем самым производительность процесса.

Результаты спектрального оптико-эмиссионного анализа показали, что в наплавке практически отсутствуют химическая неоднородность, а также вытеснение легкоплавких примесей и соединений к верхним слоям, что позволяет сформировать равномерную структуру и комплекс механических свойств по сечению заготовки.

Равномерный химический состав способствует формированию достаточно высоких показателей механической прочности 500...510 МПа, соответствующих низкоуглеродистой и низколегированной конструкционной стали. Металл обладает достаточными пластическими свойствами.

Важным вопросом остается выбор наиболее эффективного соотношения параметров режима с точки зрения максимизации коэффициента наплавки при условии сохранения надежного сцепления между отдельными валиками металла.

УДК 621.791.763.2  
О НЕОБХОДИМОСТИ ДОПОЛНЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО  
БАЛАНСА, РАЗРАБОТАННОГО ДЛЯ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ  
РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

А. Ю. ПОЛЯКОВ, А. А. СТЕПАНОВ, Д. Н. ЮМАНОВ  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Контактная рельефная сварка (далее – КРС) является способом сварки давлением, при котором детали, на одной из которых имеется выступ (рельеф), сжимаются электродами контактной машины и далее подвергаются воздействию электрического тока (в сжатом состоянии). Как указывается в литературе, при таком процессе по закону Джоуля–Ленца в контакте «деталь – деталь» выделяется тепловая энергия для взаимного нагрева и последующего расплавления металла свариваемых деталей с его перемешиванием. В итоге после объемного межэлектродного взаимодействия формируется общая зона взаимного расплавления металла деталей, впоследствии кристаллизующаяся в ядро цилиндрической формы.

Многочисленные эксперименты по КРС пластин из низкоуглеродистой стали толщиной (2 + 2) и (3 + 3) мм (по одному круглому выштампованному рельефу) на режимах, рекомендуемых в литературе, показали, что рельефная сварная точка имеет не цилиндрическую, а объемно-эллипсоидную форму. Это было подтверждено и результатами конечно-элементного моделирования электротермодеформационного процесса КРС в программных средах MSC.Marc и Sorpas.

В связи с этим уравнение теплового баланса (далее – УТБ), первоначально разработанное еще в середине XX в. для процесса контактной точечной сварки (с допущением о цилиндричности формы ядра точки), было адаптировано под процесс КРС.

Полученное уравнение позволило учесть объемно-эллипсоидную форму рельефного сварного соединения равнотолщинных пластин за счет следующих геометрических параметров:

- требуемая глубина проплавления в одну пластину;
- требуемый диаметр ядра точки;
- параметр  $\Delta$ , характеризующий реальные теплоотводящие площади контактов «электрод – деталь».

Однако в полученном УТБ оказалась неучтенной величина энергии, расходуемой на теплоотвод в объемы основного металла свариваемых деталей, расположенные непосредственно над и под условной зоной, нагреваемой до температуры, близкой к температуре плавления металла.

Учесть эту энергию возможно с помощью следующих геометрических параметров: толщины свариваемой пластины; требуемой глубины проплавления в одну пластину; требуемого диаметра ядра точки.

УДК 621.791.763.2  
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. Н. СМОЛЯР, И. А. НАУМОВЕЦ

Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Основной проблемой контактной точечной и рельефной сварки является низкая стабильность прочностных характеристик получаемых сварных соединений. Традиционные методы разрушающего и неразрушающего контроля невозможно использовать для сквозной диагностики абсолютно всех сварных соединений. С развитием искусственного интеллекта алгоритмы интеллектуального анализа данных активно применяются при диагностике технологических процессов контактной сварки.

В качестве инструмента для анализа измеряемых в процессе контактной сварки параметров применяются нейронные сети, дающие приемлемую точность прогнозирования геометрических и прочностных характеристик соединений. Они оценивают качество сварного соединения сразу же после окончания сварки, используя косвенную взаимосвязь между параметрами режима сварки и характеристиками соединений.

Для диагностики контактной сварки применяют следующие алгоритмы искусственного интеллекта: байесовские сети доверия, двухслойные нейронные сети прямого распространения, нейронные сети LVQ.

В исследуемой нами нейронной сети в качестве входных параметров предлагается применять мощность тепловложения в зону соединения в каждом периоде сетевого напряжения. Данный параметр является наиболее информативным при оценке качества сварного соединения. Диаметр литого ядра является лишь субъективным параметром, не учитывающим влияние остаточных напряжений в околошовной зоне на прочностные характеристики соединения.

Поставленная цель может быть достигнута разработкой и апробацией алгоритма диагностики сварки с использованием нейронной сети.

Входными данными для диагностики сварки являются действующие значения мощности тепловложения, которые для каждого цикла сварки представлены в виде векторов  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ , где  $n$  – количество периодов сетевого напряжения, в течение которых пропускался сварочный ток.

Обучение нейронной сети будет проводиться в ходе эксперимента при варьировании мощности тепловложения на различных этапах формирования сварного соединения и измерении усилия на разрыв образцов при статическом нагружении.

УДК 621.791.763.2  
ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И СОСТАВА  
ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ ВАЛИКА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

В. О. СОЛОВЬЕВ

Научный руководитель А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Газовые смеси на основе аргона ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ) получают все большее распространение в качестве защитной среды при сварке конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Вместе с тем, состав такой смеси и способ её подачи в зону горения дуги оказывает существенное влияние на особенности формирования валика наплавленного металла и его геометрические параметры. Кроме того, характер переноса электродного металла во многом определяется распределением газовых компонентов в области столба дуги и их взаимодействием с каплями жидкого металла.

В докладе приведены результаты исследований по оптимизации значений параметров режима с точки зрения максимизации значения коэффициента наплавки при одновременном обеспечении необходимой для надежного объемного и химического взаимодействия глубины проплавления основного металла. Эксперименты проводились при различных способах создания защитной газовой атмосферы: традиционная подача в зону горения дуги смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  с различными соотношениями компонентов; двухструйная коаксиальная независимая подача  $\text{Ar}$  и  $\text{CO}_2$  в зону горения дуги с формированием защитной атмосферы с переменным по вертикальной оси соотношением компонентов.

Установлено, что характер формирования защитной газовой среды оказывает существенное влияние на градиент распределения тепла в окружающей столб дуги атмосфере, что в конечном итоге влияет на площадь пятна нагрева и глубину проплавления основного металла.

На основании сравнительного анализа макрошлифов установлены закономерности между составом защитной газовой среды, значениями параметров режима и основными коэффициентами формы валика наплавленного металла. Определены условия для наиболее эффективного использования технологии с точки зрения наплавки и сварки, а также способы повышения коэффициента наплавки путем регулирования состава защитной газовой атмосферы.

УДК 621.791.763.2  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСОМ  
ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ  
В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Е. А. ФЕТИСОВА

Научный руководитель В. П. КУЛИКОВ, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Высокая степень механизации процесса дуговой сварки в защитных газах делает этот способ наиболее применимым для сварки широкого круга материалов и конструкций.

Применение металлоконструкций, изготавливаемых из материалов со сложным химическим составом вызывает ряд ограничений и требований к процессу сварки. Наиболее значимым параметром в этих условиях является тепловложение в основной металл. В связи с этим, рассматривая направления развития сварочных технологий наибольший интерес вызывают способы, позволяющие контролировать ввод энергии в сварное соединение путем управления технологическими параметрами дуги.

Наибольший интерес с точки зрения управления процессами дуговой сварки получили системы с импульсной реверсивной подачей проволоки и импульсно-дуговые процессы со сложными алгоритмами управления длительностью циклов и характером изменения силы сварочного тока и напряжения на дуге. В таких условиях характер переноса электродного металла играет важнейшую роль с точки зрения возможностей для обеспечения контроля и управления процессом. Развитие современных источников питания для сварки позволяет осуществлять контроль за изменением параметров режима с большими частотами, что делает возможным управление длительностью стадии короткого замыкания дугового промежутка, стадии горения дуги, отслеживать момент отрыва капли расплавленного электродного металла от торца плавящейся проволоки и её перехода в сварочную ванну.

Наиболее перспективными в настоящее время являются смешанные процессы, где часть длительности цикла занимает стадия с повышенным тепловложением, например, импульсно-дуговой процесс, а часть цикла – стадия с минимальным вводом энергии. Это позволяет, с одной стороны, обеспечить требуемую глубину проплавления, с другой, ограничить ввод энергии в основной металл, не перегревая его.

Вместе с тем, существует недостаточно сведений о наиболее эффективном соотношении параметров таких процессов, что ограничивает их применение в производственных условиях. Решение этих вопросов представляет актуальную задачу и вызывает практический интерес для предприятий Республики Беларусь.

УДК 621.791.763.2  
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ  
В КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ

Д. Н. ЮМАНОВ, И. Н. СМОЛЯР, Г. А. ЛАРИОНОВ  
Научный руководитель С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Основной проблемой исследований при разработке корректирующей системы автоматического регулирования мощности тепловложения в зону рельефной сварки является сложность внедрения системы в производство.

Измерение электрических параметров осложнено влиянием электромагнитных помех. Основным препятствием, усложняющим аппаратуру, предназначенную для измерения мощности тепловложения, является необходимость располагать провода, снимающие напряжение с электродов  $и_{ЭЭ}$ , вдоль токоведущих частей сварочной машины. ЭДС, возникающая в проводах, пропорциональна скорости изменения магнитного потока и иногда превышает напряжение  $и_{ЭЭ}$ , которое имеет низкий уровень 1,5...2 В.

Использование преобразователя напряжения NI-USB 6251 решает проблему за счет подключения датчиков напряжения и тока на аналоговые входы по дифференциальной схеме, снижающей уровень паразитных наводок и увеличивающей коэффициент ослабления синфазной помехи.

Для измерения перемещения подвижного электрода используется инкрементальный преобразователь линейных перемещений ЛИР-17, имеющий на выходе два квадратурных сигнала А и В со смещением фазы на 90 град. Сигналы каналов А и В и разница их фаз используются для определения текущего положения штока и направления перемещения. При передаче сигналов от датчика к контроллеру для минимизации ухудшения сигнала используют дифференциальные выходы А,  $\bar{A}$  и В,  $\bar{B}$ , состоящие из двух витых пар для повышения помехоустойчивости сигнальных линий.

При измерении усилия сжатия электродов используется тензометрический метод на основе фольговых тензорезисторов с высокой линейностью и точностью измерений. Упругая деформация проводящей части наклеенных тензорезисторов приводит к изменению их сопротивления и силы постоянного тока. Измерение усилия сжатия электродов осуществляется с помощью модуля аналогового ввода сигналов тензодатчиков МВ110-224.1ТД. Входным сигналом прибора является постоянное напряжение с выхода тензорезистивного моста, которое через помехоподавляющие фильтры низких частот приходит на вход АЦП. Цифровой фильтр обеспечивает дополнительную фильтрацию от импульсных помех и помех с частотами, кратными частоте сети 50 Гц.

УДК 666.972.017

ГЛУБИННЫЙ ВИБРОУПЛОТНИТЕЛЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ  
С ПРУЖИННЫМ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ

Г. М. АБДУКАЛИКОВА

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева

Нур Султан, Казахстан

А. Д. МИХАЛЬКОВ

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Важнейшим элементом любого глубинного виброуплотнителя является излучатель колебаний, которые необходимо с максимальной эффективностью передавать компонентам уплотняемого материала.

С целью дальнейшего совершенствования виброуплотнителей нами разработана принципиально новая конструкция излучателя, представляющая собой две цилиндрические пружины, вкрученные друг в друга, с параллельными осями, отстоящими друг от друга на расстояние  $0,5 \dots 0,75$  их среднего диаметра, и своими нижними концами с помощью расположенной в зоне их взаимного перекрытия тяги связанные с кривошипно-шатунным механизмом привода. Цилиндрические пружины, выполненные с определенным зазором, в своей верхней части опираются на полый кронштейн, который закреплен на корпусе привода и служит шахтой для расположенной внутри него тяги.

Выполнение излучателя колебаний в виде цилиндрических пружин позволяет получить ряд дополнительных преимуществ по сравнению с существующими. Во-первых, пружинные излучатели обладают повышенной интенсивностью колебаний с поличастотным спектром частоты и амплитуды и имеют повышенную излучающую поверхность, во-вторых, они позволяют, кроме повышения степени уплотнения, улучшить качество получаемого бетона путем диспергирования вяжущей части бетонной смеси, в-третьих, увеличивается производительность процесса уплотнения за счет возможности их работы не по методу штыкования, а по методу притяжки без переустановки вибронаконечника.

Глубинный виброуплотнитель с пружинным излучателем колебаний изготовлен на базе ручной электродрели «Макита» модели НР1630. Мощность привода – 710 кВт, частота колебаний – 50 Гц, размеры излучающей поверхности в плане –  $50 \times 65$  мм, расстояние от оси привода до нижней части излучателя – 1100 мм, общая масса виброуплотнителя – 6 кг, амплитуда колебаний –  $25/32,5/40$  мм.

УДК 621.926.9  
СТРУЙНАЯ МЕЛЬНИЦА С ПЛОСКОЙ ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРОЙ  
КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ

М. А. АЛДУШИНА, Е. Г. ШЕМЕТОВ, В. М. ПЕТРЕНКО  
Научный руководитель В. Г. ДМИТРИЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова  
Белгород, Россия

На кафедре механического оборудования спроектирована и изготовлена струйная мельница с плоской помольной камерой (рис. 1) [1]. Особенностью данной мельницы является совмещённый узел загрузки исходного материала и отвода тонкой фракции и камера помола торообразной формы. Мельница работает следующим образом: подлежащий измельчению материал поступает в загрузочный патрубок и под действием сил тяжести и всасывающего воздушного потока попадает в камеру помола 1 на конический отбойник. Рабочий энергоноситель поступает в камеру помола через сопла, установленные в горизонтальной полости центральной части камеры, и, подхватывая частицы, прижимает их к внутренней поверхности камеры, измельчая за счёт сил трения. Частицы готового продукта отводятся из камеры помола в патрубок отвода тонкой фракции и попадают в циклон 2 для улавливания. Запылённый воздух вентилятором 3 из циклона отводится в фильтр для очистки.

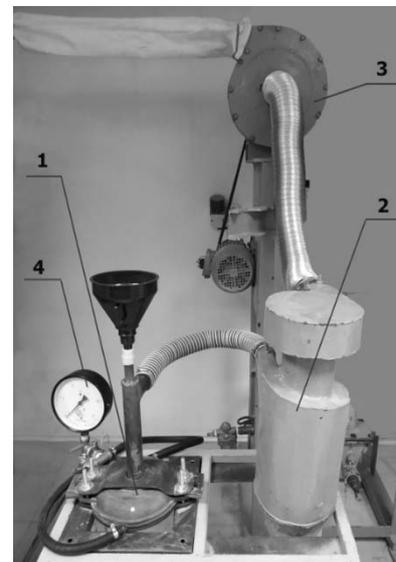


Рис. 1. Струйная мельница для сверхтонкого помола

Дальнейшая работа состоит в проведении постановочных экспериментов по измельчению материалов с различными физико-механическими свойствами, выборе факторов варьирования и плана экспериментов с целью отработки конструктивно-технологических параметров мельницы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2019115765 Российская Федерация, МПК В02С 18/06. Струйная мельница для сверхтонкого помола / В. Г. Дмитриенко, И. Н. Логачев, К. И. Логаев, Е. Г. Шеметов, О. М. Шеметова, Е. С. Чередниченко; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»; № 190985; заявл. 22.05.19; опубл. 18.07.19.

УДК 621.926.9

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ БАРАБАННОГО  
СМЕСИТЕЛЯ

С. И. АНЦИФЕРОВ, Л. С. КУЛАКОВ, А. В. КАРАЧЕВЦЕВА  
 Научный руководитель В. С. БОГДАНОВ, д-р техн. наук, проф.  
 Белгородский государственный технологический  
 университет им. В. Г. Шухова  
 Белгород, Россия

Конструкция смесителя (рис. 1) нацелена на повышение качества смеси и снижение времени смешивания за счет организации сложного движения материала. Внутри корпуса находятся перфорированные лопасти 2 (высота лопасти – 10...15 % радиуса корпуса), расположенные под углом 90° в поперечном направлении на расстоянии 10...25 % длины корпуса.

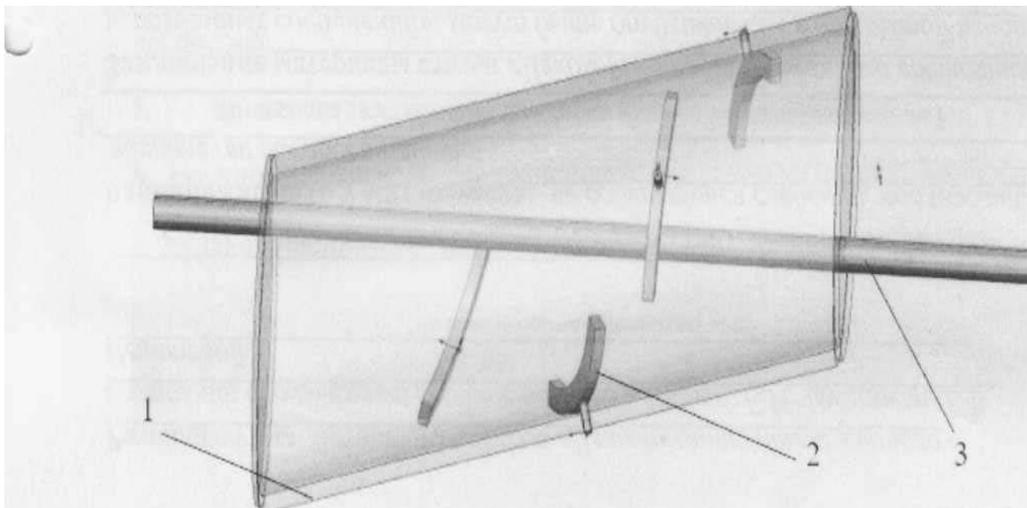


Рис. 1. Разработанная конструкция барабанного смесителя: 1 – корпус; 2 – перфорированная лопасть; 3 – вал

Предложена конструкция смесителя, размещенного в корпусе 1 вращающегося смесителя; центральная часть смесителя выполнена в виде цилиндра.

Работает смеситель следующим образом. После загрузки компонентов закрывают крышку загрузочного люка, при этом ее внутренняя поверхность становится частью внутренней цилиндрической поверхности цилиндрического корпуса 1. Смеситель включают, и компоненты совершают сложное движение вдоль корпуса смесителя за счет наклона корпуса и наклонного днища, а перфорированные лопасти 2 перемешивают компоненты, перенаправляя движение от лопасти к следующей лопасти. Часть материала проходит сквозь отверстия в лопастях, что усложняет движение материала внутри корпуса.

УДК 621.87  
АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТОДИК РАСЧЁТА  
ГЛАВНЫХ БАЛОК МОСТОВЫХ КРАНОВ

А. А. БОБРОВ

Научный руководитель И. В. ЛЕСКОВЕЦ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Современная краностроительная промышленность движется по пути снижения массы металлических конструкций для удешевления изготавливаемой продукции, а следовательно, и её конкурентоспособности на рынке [1, 2]. Это относится и к мостовым кранам, в частности к пролётной балке, т. к. она является наиболее металлоёмкой частью крана. Снижение массы и, в свою очередь, сохранение жёсткости обеспечивается применением оптимальных параметров сечения главной балки, таких как высота и ширина профиля, площадь и форма поперечного сечения, сечения её элементов и т. д., по критериям прочности, устойчивости, усталостной выносливости. Существующие методики расчёта для определения оптимальных параметров или поверочных расчётов устарели с развитием электронно-вычислительной техники и САПР.

Опыт применения зарубежными и отечественными производителями крановой техники комплексов программ, основанных на методе конечных элементов, таких как ANSYS, LS-DYNA и др., показал, что данный метод позволяет предсказать с довольно высокой точностью поведение конструкции с заданными комбинациями нагрузок, выявить новые закономерности, что дает возможность, в свою очередь, наиболее полно использовать материал металлоконструкции и в целом ускорить процесс создания новой техники, а также отвечать данной технике современным стандартам качества и другим нормам.

Для создания металлических конструкций облегчённого веса и рациональных конструктивных форм с широким применением листовых элементов требуется совершенствование существующих и создание новых методов расчёта, в частности, с применением прогрессивного конечно-элементного анализа.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гохберг, М. М.** Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / М. М. Гохберг. – Москва: Машиностроение, 1969. – 520 с.
2. **Абрамович, И. И.** Козловые краны общего назначения / И. И. Абрамович, Г. А. Котельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1983. – 232 с.: ил.

УДК 658.512.22  
 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ  
 В CAD/CAM/CAE-СИСТЕМЕ NX ПОД УПРАВЛЕНИЕМ  
 PLM-СИСТЕМЫ TEAMCENTER

Н. Э. БОГДАНОВ, М. С. РЫСИКОВ

Научный руководитель С. Ю. ЛОЗОВАЯ, д-р техн. наук, проф.  
 Белгородский государственный технологический  
 университет им. В. Г. Шухова  
 Белгород, Россия

Лабораторная установка вибрационной мельницы относится к устройствам для тонкого помола различных материалов и может быть использована в промышленности производства строительных материалов.

Задача данной разработки заключается в уменьшении объёма застойных зон в помольной камере, предотвращении сегрегации мелющих тел различного диаметра и интенсификации их движения.

При создании вибромельницы применяется метод проектирования «сверху-вниз». На основе спецификации вибрационной мельницы в системе Teamcenter при помощи приложения «Менеджер структуры» создана структура изделия, а при помощи модулей «Моделирование», «Сборки», «Расширенная симуляция» и «Черчение» системы NX – электронно-цифровая модель изделия (рис. 1).

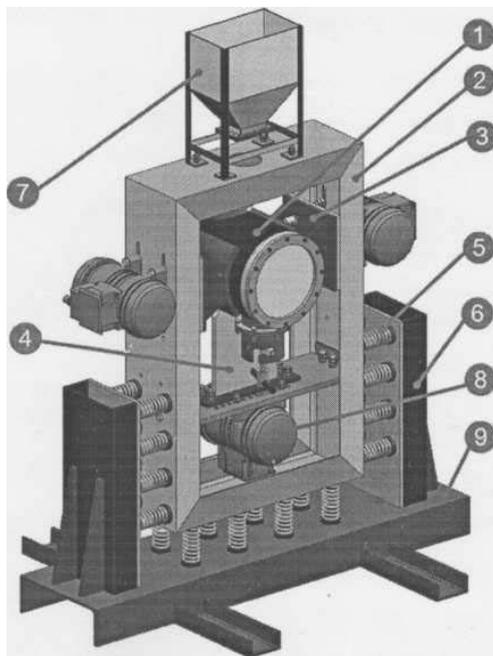


Рис. 1. Лабораторная установка вибрационной мельницы, спроектированная в CAD/CAM/CAE-СИСТЕМЕ NX: 1 – помольная камера; 2 – опорная рама; 3 – боковой кронштейн; 4 – нижний кронштейн; 5 – блок опорный; 6 – опора боковая; 7 – бункер; 8 – вибровозбудитель; 9 – швеллер

УДК 629.113.012

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВОГО ЦИКЛА ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

В. А. ДАЛИМАЕВ, И. А. ДАЛИМАЕВ

Научный руководитель О. В. ЛЕОНЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Процесс разработки конструкций карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности связан с множеством особенностей, которые необходимо учитывать на стадии проектирования. К ним можно отнести: литосварную конструкцию рамы карьерного самосвала, специальные типы сварных соединений, разный тип используемого проката и т. п., что в итоге оказывает существенное влияние на параметры многоциклового усталости конструкции.

Использование специального испытательного оборудования, имитирующего цикл нагружения рамы карьерного самосвала г/п больше 300 т, представляется затруднительным ввиду его уникальности и стоимости. Поэтому видится актуальной и перспективной задача создания валидированного базового цикла карьерного самосвала.

Научная гипотеза состоит в том, что базовый цикл должен включать все рабочие и транспортные операции карьерного самосвала применительно к разрезу/карьеру по добыче полезных ископаемых. Универсальность базового цикла нагружения должна описывать отличительные операции к условному карьере, а именно «цикл Спуск – Загрузка – Подъем – Выгрузка». Используя современные аппаратные и программные средства в области имитационного моделирования, а также знания о поведении сварных соединений карьерного самосвала на базе FAT-классов, можно с помощью базового цикла прогнозировать усталостную долговечность элементов конструкций карьерного самосвала.

Варьируя параметрами базового цикла применительно к разрезу/карьеру по добыче полезных ископаемых, можно с заданной точностью предполагать отказы в гарантийный и постгарантийный период конструкций и принимать своевременные действия на стадии проектирования и изготовления.

УДК 625.08

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОПРИВОДА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА

Е. В. ЗАРОВЧАТСКАЯ, В. В. КУТУЗОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

С ростом потребности в высокопроизводительных строительных и дорожных машинах и требований по увеличению показателей надежности все более значимой становится проблема снижения эксплуатационных затрат и уменьшения всех видов простоев, а следовательно, и уменьшения величины упущенной экономической выгоды.

Существующие методики организации работы машин в данной области не дают в полной мере обеспечить проведение планового обслуживания техники, которое позволяло бы запланировать текущий ремонт гидропривода в целом или замену отдельных сборочных единиц, ссылаясь на их фактическое состояние, что дало бы возможность скорректировать величины технико-экономических параметров экскаватора.

В связи с этим предлагается методика [1, 2], позволяющая проанализировать состояние гидросистемы через ее общее КПД и КПД отдельных элементов. Для этого необходимо производить расчет технико-экономических показателей и сравнивать стоимость потерь производительности экскаватора с затратами на проведение текущего или капитального ремонта гидросистемы. Такое сравнение увеличит этап эксплуатации жизненного цикла техники и даст возможность оптимизировать расходы на содержание.

Использование такой методики позволит усовершенствовать действующую систему по обслуживанию и ремонту экскаваторов и увеличить значения технико-экономических показателей на протяжении всего этапа их эксплуатации.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обеспечение работоспособности гидропривода технических средств / А. Н. Максименко, И. В. Лесковец, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, Е. В. Заровчатская // Главный механик. – 2013. – № 8. – С. 11–18.

2. **Заровчатская, Е. В.** Проблемы повышения эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин / Е. В. Заровчатская, В. В. Кутузов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–19 апр. 2013 г. / Беларус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2013. – С. 15.

УДК 621.926  
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ LS-DYNA ПРИ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЦЕПНОГО АГРЕГАТА

В. А. ПОТАПОВ

Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При проектировании рабочих органов цепного агрегата, конструкция которого описана в [1], необходимо не только учитывать накопленный опыт создания подобных агрегатов, но и применять современные методы проектирования принципиально нового рабочего оборудования.

Для этих целей планируется использовать программу LS-DYNA.

LS-DYNA – многоцелевая программа конечно-элементного анализа. Применяется в пакетах ANSYS, MD NASTRAN, MEDINA.

Программа предназначена для решения трёхмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твёрдого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса и др. [2].

Важной особенностью данной программы для решения задачи создания рабочих органов цепного агрегата является наличие в библиотеке моделей свойств материалов грунта, а также наличие возможности создания специальных моделей свойств материала.

Возможность создания специальных моделей свойств материалов позволит создать адекватную модель перерабатываемого материала, что существенно расширит возможность моделирования процессов взаимодействия рабочих органов с различными материалами.

По нашему мнению, в программе LS-DYNA существует возможность проектирование и выбора оптимальных форм рабочих органов цепного агрегата и виртуального проведения технологических экспериментов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сиваченко, Л. А.** Многофункциональный технологический агрегат с цепным рабочим оборудованием / Л. А. Сиваченко, В. А. Потапов, Т. Л. Сиваченко // Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 20–21 сент., 2018 г. / БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2018. – С. 210–215.

2. LS-DYNA [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энцикл. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LS-DYNA>. – Дата доступа: 09.09.2019.

УДК 658.512.22

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СМЕСИТЕЛЯ ШНЕКОВОГО ТИПА  
В CAD/CAM/CAE-СИСТЕМЕ NX ПОД УПРАВЛЕНИЕМ  
PLM-СИСТЕМЫ TEAMCENTER

П. С. САМСОНОВА, П. А. ХАХАЛЕВ, Н. М. ЛОЗОВОЙ  
Научный руководитель С. Ю. ЛОЗОВАЯ, д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова  
Белгород, Россия

Для построения электронно-цифровой модели смесителя шнекового типа использовался метод проектирования «сверху-вниз», для этого создана спецификация смесителя и на её основе в системе Teamcenter с помощью приложения «Менеджер структуры» создана структура изделия.

В модуле «Моделирование» системы NX была построена модель смесителя шнекового типа (рис. 1).

Смеситель шнекового типа состоит из рамы, разгрузочного устройства, конической смесительной камеры, крышки, привода, водила и шнека. Смесительная камера устанавливается на сварную раму и фиксируется на ней болтовыми соединениями. Сверху смесительная камера закрывается крышкой, на которой установлены загрузочные патрубки и рама под привод мешалки. Снизу к смесительной камере присоединяется разгрузочное устройство шибера типа.

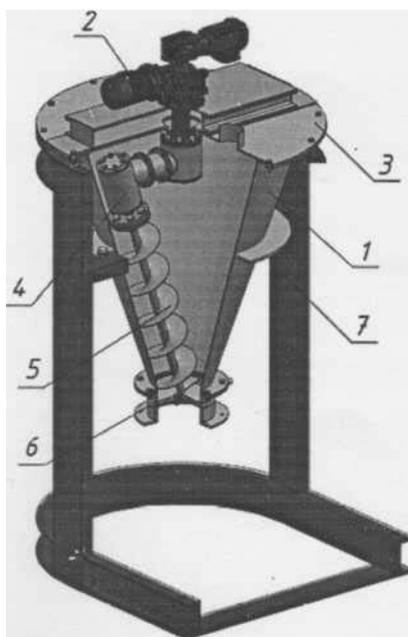


Рис. 1. Электронно-цифровая модель смесителя шнекового типа: 1 – коническая смесительная камера; 2 – привод; 3 – крышка; 4 – водило; 5 – шнек; 6 – разгрузочное устройство; 7 – рама

УДК 621.86

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В. И. ТАРИЧКО

Научный руководитель И. А. ЛАГЕРЕВ, д-р техн. наук, проф.

АО «Брянский автомобильный завод»

Брянск, Россия

При разработке математических моделей подвесных канатных дорог необходимо учитывать особенности конструкции их канатной системы (рис. 1), состоящей из совокупности несущих (Н) и тяговых (Т) канатов. Несущие канаты воспринимают весовые нагрузки со стороны подвесных кабин (подвешенных на захватах грузов). Тяговые канаты приводят кабины или грузы в движение. Также широкое распространение получили комбинированные несуще-тяговые канаты (НТ). Указанные канаты могут быть кольцевыми (Тк, Нк, НТк) и линейными (Тл, Нл, НТл).

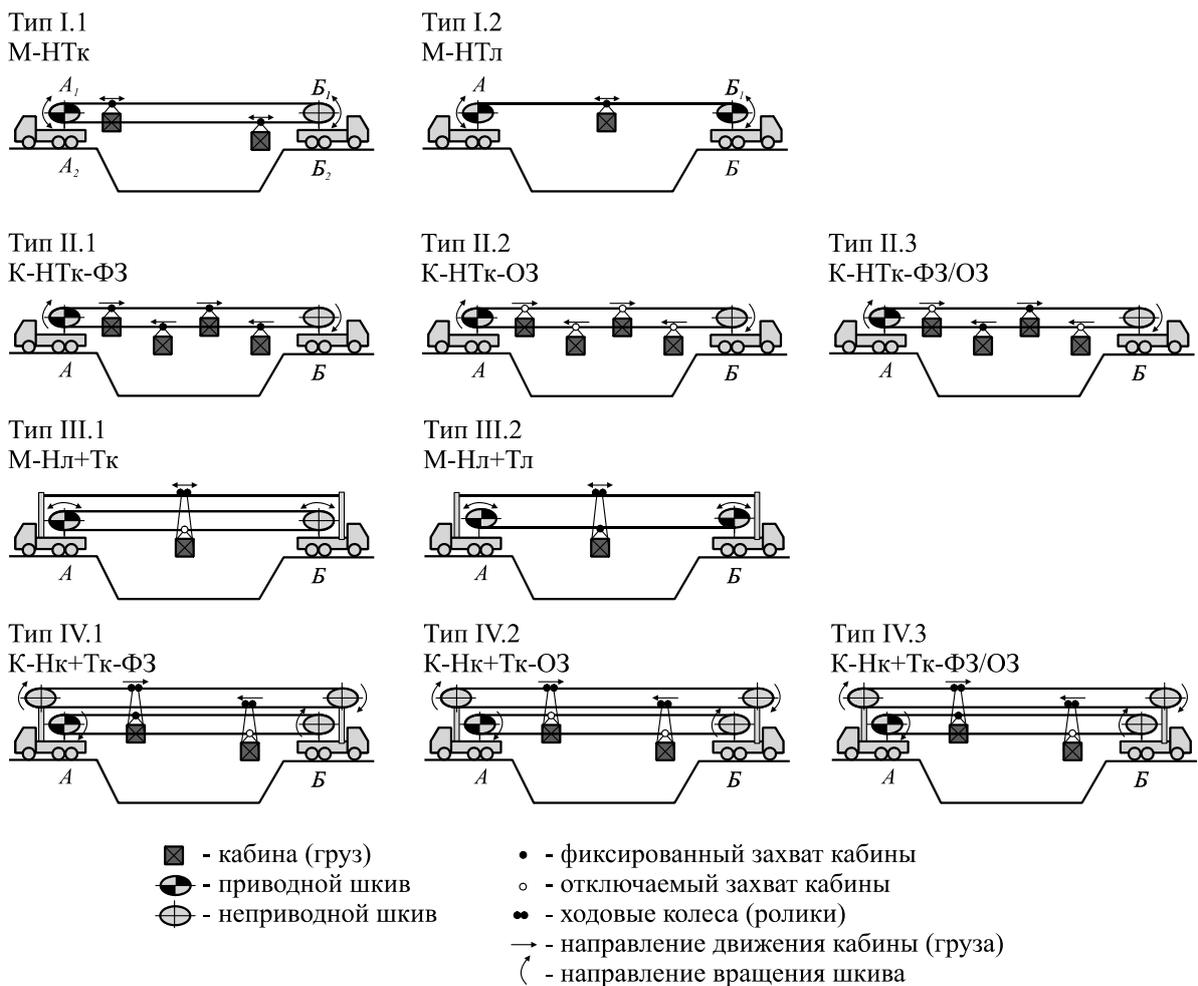


Рис. 1. Типы канатных систем подвесной канатной дороги

УДК 621.926.3

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Т. А. ХАХАЛЕВА, И. С. БОРДУНОВ

Научный руководитель Ю. М. ФАДИН, канд. техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова  
Белгород, Россия

В настоящее время наиболее широкое применение в промышленности строительных материалов получили горизонтальные валковые мельницы (ГВМ). Они применяются для помола материалов, имеющих низкую и среднюю прочность. ГВМ имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с другими видами мельниц, а именно:

- незначительный расход энергии;
- возможность быстрой переналадки с одного типа производства на другой;
- небольшие габаритные размеры;
- низкий износ мелющих элементов (валков);
- низкий уровень шума (ниже 85 дба на расстоянии 1 м);
- высокое качество готовой продукции.

Как показали исследования, ГВМ потребляют на 35...70 % меньше энергии, чем трубные шаровые мельницы, и на 15...25 % меньше, чем вертикальные валковые, имеющие такую же производительность (рис. 1).

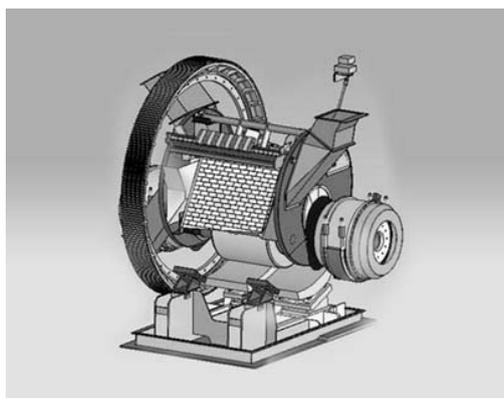


Рис. 1. Горизонтальная валковая мельница «HOROMILL»

Помол в ГВМ происходит путем сжатия материала между цилиндрическим корпусом и валом. В результате образуется так называемая критическая зона, отличающаяся повышенным давлением, равным 500...800 бар. Таким образом, на материал действует нагрузка, в несколько раз превышающая его предел прочности, что и приводит к измельчению. Это давление создается с помощью гидроцилиндров и боковых рычагов.

УДК 621.9

## ШАРОВАЯ БАРАБАННАЯ МЕЛЬНИЦА С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ФУТЕРОВКОЙ

А. А. ШИШЛАКОВ, Д. А. ШАПОВАЛОВ

Научный руководитель В. С. БОГДАНОВ, д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова  
Белгород, Россия

Бронефутеровка мельницы (рис. 1) содержит закрепленные в корпусе 1 мельницы кольцевыми рядами бронеплиты 2 с перфорированными лопастями 3, загрузочную цапфу 4 и бронеплиты 5 со сплошными лопастями 6, наклоненными в сторону разгрузочной цапфы 7. В следующем кольцевом ряду лопасти наклонены навстречу лопастям предыдущего ряда. Сплошная лопасть 8, установленная на бронеплите 9, наклонена навстречу перфорированной лопасти 3. Сплошная лопасть 10, установленная на бронеплите 11, наклонена от сплошной лопасти 6 и направлена в сторону загрузочной цапфы 4. Между рядов бронеплит с наклонными лопастями установлены гладкие бронеплиты 12. Оси 13 отверстий 14 в наклонных лопастях 3 расположены вертикально, независимо от угла  $\alpha$  наклона перфорированных лопастей. В мельнице осуществляется интенсивное поперечно-продольное движение мелющих тел и внутримельничная классификация измельчаемого материала.

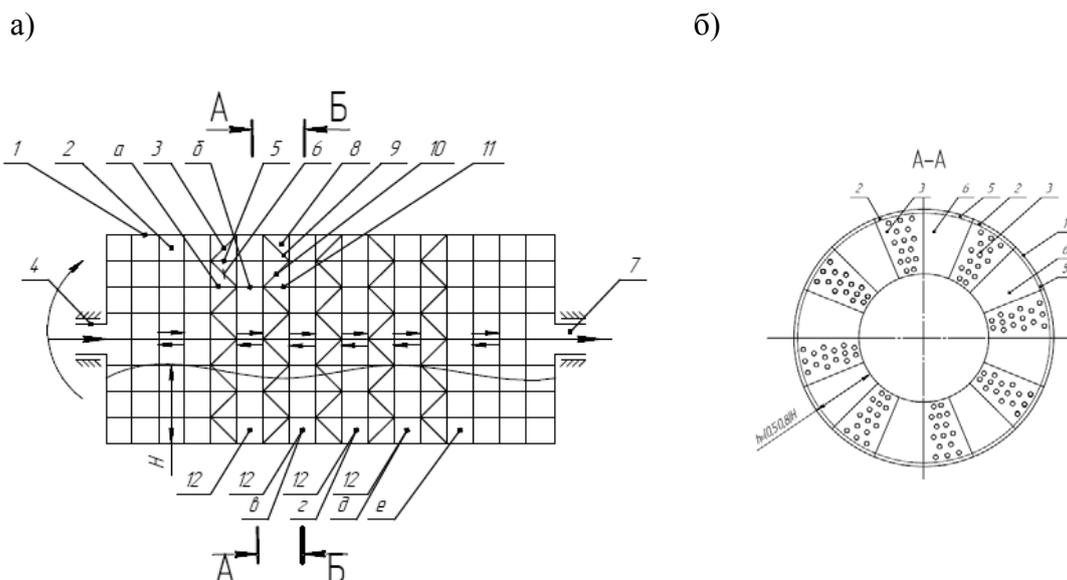


Рис. 1. Продольное сечение предлагаемой конструкции: а – продольное сечение; б – сечение А–А

УДК 629.114.2  
 ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ ТЯГАЧА С ПРИЦЕПНЫМ  
 ЗВЕНОМ ПУТЕМ ПРЕВЕНТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ МОМЕНТА  
 КОЛЕСАМ ПРИЦЕПНОГО ЗВЕНА

С. Ю. БИЛЫК

Научный руководитель И. С. САЗОНОВ, д-р техн. наук, проф.  
 Белорусско-Российский университет  
 Могилев, Беларусь

На наш взгляд, источником информации автоматической системы превентивной передачи момента колесам прицепных звеньев при буксовании колес тягача наилучшим образом подходит источник информации, выдающий электрический сигнал, пропорциональный силе в сцепке тягача с прицепным звеном, так как эта сила характеризует касательные силы, возникающие в контакте ведущих колес тягача с опорной поверхностью.

Для теоретического обоснования поставленной цели была разработана математическая модель динамики разгона тягача с прицепным звеном.

**Получено дифференциальное уравнение поступательного движения тракторного поезда без активизации колес прицепного звена**

$$\ddot{x}_{\text{поезд}} = \frac{(\varphi_{\text{сц1}} + \varphi_{\text{сц2}} - \Psi)}{m_{\text{тр}} + m_{\text{пр/пол}}} \cdot G_{\text{тр}} - P_{\Sigma\Psi}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{\text{сц1}}, \varphi_{\text{сц2}}$  – коэффициент сцепления ведущих колес трактора и полуприцепа с опорной поверхностью;  $\Psi$  – суммарный коэффициент сопротивления движению трактора с прицепом/полуприцепом.

Получено дифференциальное уравнение движения тракторного поезда с учетом активизации колес полуприцепа

$$\ddot{x}_{\text{поезд}} = \frac{(\varphi_{\text{сц1}} + \varphi_{\text{сц2}} - \Psi)}{m_{\text{тр}} + m_{\text{пр/пол}}} \cdot [G_{\text{тр}} - P_{\Sigma\Psi}]. \quad (2)$$

**Полученные результаты.**

Разработан алгоритм превентивной передачи момента колесам прицепных звеньев, основанный на идентификации отрицательного знака производной от сил в сцепке.

## Выводы

1. На основе экстраполяции регуляторной характеристики дизельного двигателя получена формула изменения фактически реализуемых колесами трактора моментов с опорной поверхности, зависящих по условиям их сцепления ведущих колес тягача, позволяющая определить момент начала скольжения ведущих колес, необходимый для моделирования алгоритма превентивной передачи момента колесам прицепного звена.

2. Анализ результатов натурных испытаний тягача (RenaultLaguna) с одноосной тележкой подтвердил, что алгоритм превентивной передачи момента колесам прицепного звена осуществляет включение привода колес прицепного звена (одноосная тележка) при буксовании ведущих колес тягача, идентифицируемого отрицательным знаком производной от сил в сцепке тягача по времени.

УДК 621.43

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ФОРСУНОК COMMON RAIL (CR)А. И. КРЕЗ, Л. Г. ДОКОНОВ  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

С момента своего появления в серийном производстве в 1997 г. и до настоящего времени аккумуляторные топливные системы Common Rail (CR) находятся в процессе постоянного конструктивного совершенствования. Причем технический уровень топливной аппаратуры такого типа оценивается по техническому уровню применяемых в ней топливных форсунок.

В настоящее время фирмой Robert BOSCH ведется серийный выпуск уже третьего поколения топливной системы CR, отличительной особенностью которой является применение пьезоэлектрического преобразователя в цепи управления иглой форсунки. Такая форсунка характеризуется наличием устойчивого многофазового впрыскивания топлива, минимальными порциями предварительного впрыскивания, возможностью короткого промежутка времени между предварительным и основным впрыскиванием и компактным конструктивным решением. Важно отметить также, что, по сравнению с электромагнитной форсункой, форсунка с пьезоприводом имеет меньший расход топлива на управление и, следовательно, обладает большим КПД.

Указанные преимущества пьезофорсунки достигнуты путем реализации в ней достаточно сложной гидравлической схемы, которая характеризуется наличием нескольких, связанных между собой и оказывающих взаимное влияние, гидродинамических каналов, полостей и динамических звеньев. Сложность конструкции определяет и сложную взаимосвязь процессов, происходящих в работающей форсунке. Это приводит к тому, что такая гидродинамическая система имеет узкий диапазон значений своих конструктивных параметров, которые определяют как оптимальную работу форсунки, так и её работоспособность в принципе. Именно сохранение набора значений данных параметров (длин, сечений каналов, объемов полостей, масс и жесткостей подвижных элементов и др.) является основной задачей при разработке технологии восстановительного ремонта электрогидравлических пьезофорсунок.

Основными составляющими частями пьезофорсунки CR BOSCH являются пьезоэлектрический преобразователь (пьезоэлемент), гидравлическая передача (гидрокомпенсатор), управляющий клапан с дроссельной

пластинкой и распылитель, которые собраны в едином корпусе и затянуты гайкой.

Самым быстроизнашивающимся узлом пьезофорсунки CR BOSCH является управляющий клапан.

В процессе эксплуатации дефекты (промоины) в первую очередь появляются на запорных конусах клапанной пластинки и грибка. Последнее приводит к нарушению герметической плотности форсунки и, как следствие, к изменению параметров её работы и в конечном итоге к потере работоспособности.

Способом восстановления герметической плотности управляющего клапана является взаимная притирка грибка с клапанной пластинкой. Данный способ самый простой и дает хороший результат, но только в случае незначительных износов клапана. При больших износах притирка названных деталей существенно меняет геометрию запорных конусов, т. е. увеличивается площадь контакта грибка с пластинкой, в результате чего уменьшается удельное давление в зоне контакта запорных конусов, повышается гидравлическое сопротивление клапана и, как следствие, изменяются параметры работы самой форсунки, даже в случае коррекции толщины клапанной пластинки для нормализации величины хода клапана. В частности, на максимальных режимах форсунка может не доливать или вообще прекращать работать.

Для корректного ремонта необходима отдельная обработка грибка и клапанной пластинки с последующей корректировкой толщины пластинки для восстановления нормального хода клапана.

Вторым проблемным местом форсунки являются запорные конуса распылителя.

«Болезнью» названных форсунок является образование капель на распылителе во время работы форсунки и в статике, когда двигатель не работает, а в рампе находится топливо под давлением. Многие «мастера» уже поняли, что данный дефект устраняется банальной притиркой конуса иголки к корпусу распылителя, но надо иметь в виду, что примитивная притирка непременно скажется на параметрах работы форсунки, т. е. изменятся «наливы» и может вообще исчезнуть предварительный впрыск топлива. Поэтому названная «притирка» – операция очень тонкая и в обязательном порядке требует последующей корректировки профиля конуса иголки.

Анализ износа деталей пьезофорсунок Common Rail BOSCH дает основание утверждать, что эти форсунки можно ремонтировать не методом замены их изношенных деталей, а путем восстановления геометрии изношенных поверхностей деталей форсунки.

УДК 629.362  
МОБИЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПОСЛЕ ДТП  
В РАМКАХ СУДЕБНОЙ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Д. И. ЛЕБЕДЕВ

Научный руководитель В. Д. РОГОЖИН, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современном мире автомобиль является самым популярным видом транспорта, но в свою очередь и самым небезопасным. По данным статистического комитета Республики Беларусь «Белстат», за 2018 г. по Республике Беларусь (далее – РБ) было зафиксировано 3399 случаев ДТП, из них 549 человек погибло, 3680 человек получили ранения [1]. Каждое шестое ДТП было с летальным исходом.

Немаловажную роль в расследовании обстоятельств ДТП играет судебная автотехническая экспертиза. Согласно [2] судебная автотехническая экспертиза проводит: исследование технического состояния транспортных средств для установления исправности и выходных параметров систем, агрегатов, узлов, влияющих на безопасность дорожного движения; характера, причин и времени возникновения неисправностей; возможности обнаружения неисправности до момента наступления ДТП; установление причинной связи между обнаруженной неисправностью и событием происшествия; обстоятельств, связанных с техническим состоянием транспортных средств, которые способствовали или могли способствовать возникновению ДТП.

Для проведения качественной и объективной экспертизы необходимо использовать не только методики проверки [3], но и современное диагностическое и измерительное оборудование, слесарный инструмент, аппаратуру фото- и видеофиксации. В большинстве случаев транспортные средства после ДТП сильно повреждены и доставить их в лабораторию для исследования не представляется возможным. Для исследования технического состояния транспортного средства эксперт (эксперты) выезжает на место хранения транспортного средства. Основной вопрос, интересующий орган, ведущий расследование ДТП, – влияло ли техническое состояние рулевого управления, тормозной системы, шин колес и внешних световых приборов на механизм развития ДТП. В соответствии с заданным вопросом эксперт проводит исследование в отношении узлов и

агрегатов транспортного средства согласно [3].

Для проведения исследования необходимо использовать мобильное оборудование, позволяющее сохранить метрологические характеристики такие же как, у стационарного. Для проверки эффективности торможения применяется прибор «Эффект 02». В случае, если исследование эффективности торможения дорожным методом невозможно, проверка производится путем вывешивания колес ТС и путем воздействия на орган управления срабатывания тормозных механизмов. В случае излома магистральной тормозной трубки, работоспособность механизма проверяется путем подвода сжатого воздуха к тормозному механизму колеса. Для определения суммарного люфта в рулевом управлении применяется прибор ИСЛ-401. Контроль затяжки и фиксации резьбовых соединений проводится органолептическим методом. Для исследования шин колес ТС применяется монтажный стенд «Ш 514 М 1» либо аналог; для проверки параметров внешних световых приборов – прибор «СКО-СВЕТ-А». Также в процессе исследования используется различный слесарный инструмент, подъемное и вспомогательное оборудование. Некоторое оборудование (компрессорная установка, монтажный стенд «Ш 514 М 1» и т. д.) весьма габаритное, логично будет использовать соответствующее транспортное средство для доставки оборудования и инструмента к месту проведения исследования. Предлагается ТС с колесной формулой 4 × 2 и объемом грузового отсека 17 м<sup>3</sup>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие в них по областям и г. Минску в 2018 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/pravonarushe-niya/grafiki\\_diagrams/dorozhno-transportnye-proisshestviya-i-postradavshie-v-nih-po-oblastyam-i-g-minsku](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/pravonarushe-niya/grafiki_diagrams/dorozhno-transportnye-proisshestviya-i-postradavshie-v-nih-po-oblastyam-i-g-minsku). – Дата доступа: 13.09.2019.

2. Автотехническая экспертиза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sudexpert.by/sudebnye-ekspertizy/avtotekhnicheskaya-ekspertiza.html>. – Дата доступа: 04.02.2019.

3. **СТБ 1641–2006.** Транспорт дорожный. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки. – Минск: Госстандарт, 2006. – 39 с.

УДК 629.113  
ПУТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ  
СИДЕНЬЯ ВОДИТЕЛЯ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Г. С. МИГУРСКИЙ

Научный руководитель В. А. КИМ, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Виброзащитные системы (ВС) колесных машин в основном включают упругие и диссипативные элементы, которые обладают линейными характеристиками. Поэтому они не могут в полной мере обеспечить требования, предъявляемые к ним, например виброзащита сиденья водителя колесной машины. В связи с этим в настоящее время применяют активные виброзащитные системы (АВС) – системы автоматического управления, изменяющие характеристики упругого и диссипативного элемента ВС.

В качестве источников информации современные АВС систем поддрессоривания сиденья водителя используют датчики измерения ускорения сиденья водителя. При этом осуществляется регулирование исполнительными механизмами, изменяющее характеристики подвески сиденья, при которых происходит изменение частот собственных колебаний. Критерием формирования сигналов управления является заданное значение среднеквадратичного ускорения сиденья водителя, которое определяется на некотором интервале времени. Очевидно, что при таком регулировании может произойти ошибка в идентификации условий колебаний, особенно при случайных возмущениях. Введение в систему обратной связи управления по внешнему воздействию представляет собой очень сложную техническую задачу.

Нами предлагается принцип функционирования АВС на силовом анализе, который в качестве критерия формирования сигналов управления предлагает использовать заданное пороговое значение второй производной от скорости изменения сил в опорах подвески по времени, в отличие от критерия, предлагаемого Н. П. Амельченко [1]. В [1] в качестве критерия формирования сигналов управления АВС предлагается заданное значение первой производной от силы в опоре подвески по времени (тангенса угла наклона прямой, характеризующей скорость нарастания силы, в опоре подвески).

Предлагаемый способ регулирования представляет собой управление АВС с прогнозом, в отличие от существующих методов АВС, основанных на использовании кинематических параметров колеблющихся масс.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амельченко, Н. П. Подвеска сиденья водителя колесного трактора: [монография] / Н. П. Амельченко, В. А. Ким. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – 169 с.

УДК 629.113  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ ВЕЛОСИПЕДА «АИСТ»

М. Л. ПЕТРЕНКО, А. В. ЮШКЕВИЧ

Научный руководитель А. С. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Количество велосипедов на дорогах Республики Беларусь постоянно растет. Так, в городе Минске их количество приближается к количеству автомобилей, появляются их различные модификации и идет увеличение возможной скорости движения велосипедов.

Низкая устойчивость при малых скоростях движения, опрокидывание на бок, скольжение и возможность возникновения кувырка вперед при торможении требуют создания следящих систем управления процессом торможения.

Создание конкурентоспособной продукции, производимой в Республике Беларусь, выявляет необходимость в разработке современных систем управления и новых источников информации о силовых факторах, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Для управления процессом торможения велосипеда «АИСТ» требуется разработка следящей системы, являющейся недорогой в производстве и применяющей алгоритм управления, основанный на анализе знаков производных сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

В основе разрабатываемой системы следящего управления торможением закладываются источники информации, отслеживающие величину тормозных сил и величину нормальной реакции в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Отслеживание величины тормозных сил в пятне контакта колеса с дорогой позволяет получать информацию, характеризующую состояние сцепления колеса с опорной поверхностью и повышающую скорость выработки управляющего сигнала системой управления.

Разработаны новые источники информации, характеризующие состояние сцепления колес с опорной поверхностью, – это тормозные силы в пятне контакта колес с опорной поверхностью, позволяющие создать эффективный алгоритм управления торможением, основанный на анализе знаков производных сил.

Новые источники информации, измеряющие силы в пятне контакта сил с опорной поверхностью позволят создание электронных антиблокировочных систем велосипедов с электрическим двигателем.

УДК 629.113

ПРОТИВОБУКСОВОЧНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А. В. ЮШКЕВИЧ, М. Л. ПЕТРЕНКО, А. С. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Н. П. АМЕЛЬЧЕНКО

Белорусский государственный университет информатики

и радиоэлектроники

Минск, Беларусь

Противобуксовочные системы, устанавливаемые на мотоцикл, свою конструкцию и принцип действия получили из развития таких систем на автомобилях, чем обусловлены их алгоритмы управления, действующие на основе кинематических параметров. Производители мотоциклов довольно часто совмещают систему АБС и ПБС. Такие действия связаны с работой ПБС на основе источников информации от датчиков частоты системы АБС.

Практическая реализация алгоритмов управления системой ПБС на основе коэффициента относительного скольжения приводит к необходимости определения зависимостей динамического радиуса качения колеса или коэффициента сопротивления качению от вертикальной нагрузки, значения давления воздуха в шинах колеса, степени износа протектора шины, типа дорожного покрытия. Все вышеуказанное затрудняет алгоритм управления и усложняет систему ПБС в постоянно изменяющихся условиях дорожного движения.

Алгоритмы управления существующих ПБС работают на основе кинематических параметров, получаемых от датчиков частоты вращения системы АБС. Усовершенствование существующих ПБС мотоцикла и их алгоритмов управления в своей основе пошло по пути усложнения алгоритмов управления и использования дополнительных датчиков, что в свою очередь влечет за собой увеличение стоимости самой системы в целом.

Для решения поставленной задачи, направленной на повышение безопасности, управляемости и устойчивости движения мотоцикла, был разработан стендовый макет ПБС, который функционирует на основе алгоритма управления от величины фактически реализуемого тягового момента на колесе в пятне контакта с опорной поверхностью. Разработанный макет ПБС в перспективе может заменить существующую ПБС, функционирующую на кинематических источниках информации.

Для реализации разработанного алгоритма управления ПБС были выявлены методы измерения значений величины фактически реализуемого тягового момента на колесе в пятне контакта с опорной поверхностью.

УДК 625.8  
К ВОПРОСУ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОТРАЖЕННОГО  
ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

Научный руководитель Я. Н. КОВАЛЕВ, д-р техн. наук, проф.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

На асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог в течение срока эксплуатации неизбежно возникают трещины, число которых постоянно увеличивается, а расстояние между ними уменьшается – асфальтобетонное покрытие из сплошного становится трещиновато-блочным. Этот процесс обусловлен старением битума в составе асфальтобетона из-за действия комплекса атмосферных факторов и природы самого вяжущего. При рассмотрении вариантов капитального ремонта необходимо обращать серьезное внимание на характер и причины появления существующих на покрытии трещин. При перекрытии трещиновато-блочного покрытия другим или другими слоями асфальтобетона на последних всегда будут появляться отраженные трещины, полностью копирующие нижележащие.

Выбор конструкции, материала и технологии ремонта необходимо осуществлять исходя из условия минимизации затрат как строительного периода, так и эксплуатационного. Например, установлено, что с увеличением толщины нового слоя число отраженных трещин снижается, однако затраты на его устройство велики. Наиболее эффективным из существующих является вариант с использованием геосинтетических материалов. Армирующие сетки препятствуют отраженному трещинообразованию и повышают прочностные показатели дорожной одежды. Однако применение геосинтетических материалов при ремонте дорог всех категорий нецелесообразно. Для местных дорог необходимо использовать более дешевые варианты, причем из материалов белорусского производства. Таким материалом может стать дисперсно-армированный мелкозернистый или песчаный асфальтобетон. В конструкции дорожной одежды слой из такого асфальтобетона теоретически способен выполнять две функции: выравнивающего слоя и трещиноперерывающей прослойки. Наиболее наукоемкий этап исследований в данном направлении – это этап приготовления асфальтобетонной смеси, т. к. эффективность дисперсного армирования напрямую зависит от степени равномерности распределения волокна по объему асфальтовяжущего. При этом чем меньше размер зерен минеральной части асфальтобетона, тем большее влияние на его прочность на разрыв будет оказывать дисперсное армирование.

УДК 625.7

ОСОБЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
С ГРУНТОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

О. И. БРОДОВА, Т. А. ПОЛЯКОВА, А. М. СЕРГЕЕВА, Д. Н. ТКАЧЕВ

Научный руководитель Т. А. ПОЛЯКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Немаловажное место в транспортной системе любого государства занимают автомобильные дороги общего пользования, протяженность которых в Республике Беларусь составляет около 87000 км. Из них порядка 12000 км не имеют твердого покрытия, являются грунтовыми. Они представляют собой довольно простое сооружение и применяются в случаях ограниченности средств или ввиду нецелесообразности повышения капитальности.

Автомобильные дороги такого типа связывают обычно небольшие сельские населенные пункты, обеспечивают проезд к садоводческим товариществам, являются внутрихозяйственными дорогами СПК, специальными служебными и патрульными вдоль инженерных коммуникаций и сооружений и т. д.

Расчетная интенсивность движения составляет до 25 ед./сут. Они обеспечивают проезд автомобилей, сельскохозяйственной и специальной техники. Для них характерна низкая стоимость строительства, технологическая простота выполнения работ, доступность используемых материалов. В то же время происходит значительное снижение скорости автотранспорта, что приводит к увеличению себестоимости перевозок.

К проблемам данного типа покрытий автомобильных дорог можно отнести низкую несущую способность, быстрое снижение ровности в продольном и поперечном профилях из-за образования деформаций, затрудненный проезд во время распутиц, сильную пылимость в летний период, трудности при осуществлении летнего и зимнего содержания [1].

Для повышения эффективности использования грунтовых дорог необходимо шире применять современные материалы, позволяющие улучшать эксплуатационные качества покрытий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова, Т. А. О проблемах организации движения в зимний период / Т. А. Полякова, Д. Н. Ткачев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 284.

УДК 625.7

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ ДОРОГ

О. И. БРОДОВА, А. М. СЕРГЕЕВА, Т. А. ПОЛЯКОВА, А. А. МОРГУНОВ  
Научный руководитель А. М. СЕРГЕЕВА  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Протяженность автомобильных дорог общего пользования с грунтовым покрытием в Беларуси приближается к 12000 км, что составляет 13 % от всей сети дорог.

Для обеспечения качества грунтовых дорог используют такие материалы, как легкие суглинки и супеси, делают канавы для стока воды. Но, несмотря на принимаемые проектные решения, на этих дорогах быстро происходит снижение таких эксплуатационных качеств, как прочность, ровность, сцепление, изменение продольного и поперечных профилей [1].

С целью улучшения данных качеств применяют следующие мероприятия:

- контроль требуемого по нормативным документам уплотнения материала конструктивного слоя;
- доведение грунтовой смеси до оптимального гранулометрического состава, укрепленного добавками из различных материалов;
- укрепление грунта покрытия цементом, битумной эмульсией, каменными материалами, твердыми отходами промышленных предприятий и специальными добавками.

Указанные мероприятия улучшают эксплуатационные параметры грунтовых автомобильных дорог, но не гарантируют поддержание их на должном уровне в течение длительного периода времени. Поэтому дальнейшие исследования в области повышения качества грунтовых дорог будут направлены на поиск более действенных способов, которые позволят обеспечить автомобилистам комфортные условия движения без дополнительного снижения скорости.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сергеева, А. М.** Особенности обеспечения защиты откосов дорожного полотна / А. М. Сергеева, Д. Н. Ткачѳв, А. А. Моргунов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2019. – С. 295.*

УДК 631.358.42

ТЕПЛИЦА НА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ С МЕХАНИЧЕСКОЙ  
РЕГУЛИРОВКОЙ ИХ ПОЛОЖЕНИЯ

Т. А. ДОВБУШ, А. Д. ДОВБУШ

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
Тернополь, Украина

Б. О. ПАРАСЮК

Луцкий национальный технический университет  
Луцк, Украина

Рациональное использование солнечной энергии в закрытых помещениях может быть достигнуто путем изготовления оградительных стенок энергосберегающих теплиц с периодическим чередованием солнечных панелей и прозрачных окон, изготовленных из обычного стекла либо оргстекла. В этом случае солнечная энергия благодаря солнечным панелям накапливается в аккумулирующих устройствах, а солнечные лучи через прозрачные окна способствуют вегетации растений внутри теплиц [1]. Также проводятся новые исследования, связанные с отводом боковых стенок теплиц, например, пирамидальной формы, предварительные результаты которых изложены в [2].

Для улучшения энергоэффективности разработана теплица на солнечных панелях, наклонная крыша и боковые стенки которой выполнены с периодическим чередованием солнечных панелей и прозрачных окон. Наклонная крыша установлена на каскаде вертикальных опор, на которых крепятся гидроцилиндры. С другой стороны они связаны с боковыми стенками, что обеспечивает их проворачивание относительно боковых поверхностей наклонной крыши.

В закрытом положении теплица функционирует в ночное время суток, а также при ветреной и ненастной погоде. Во время солнечной и безветренной погоды сенсорный прибор подает сигнал на коммутатор, который с помощью дополнительных механизмов обеспечивает работу гидроцилиндров и, соответственно, проворачивание боковых стенок в положение для максимального поглощения солнечной энергии.

При неблагоприятном изменении внешних условий осуществляется обратный процесс закрытия одной либо нескольких боковых стенок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Організаційно-економічний механізм енергозбе-реження: [монографія] / Ю. В. Дзядикевич, В. Я. Брич, В. В. Джеджула, Р. Б. Гевко. – Тернопіль: ТНЕУ, 2018. – 154 с.
2. Напрямки використання енергії пірамід / Р. Б. Гевко, Ю. В. Дзядикевич, І. С. Брошак, І. Г. Ткаченко // Вісн. Інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 135–140.

УДК 625.8

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ  
СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ  
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

В. А. ДУДОРГА

Научные руководители П. В. КОВТУН, канд. техн. наук, доц.,

Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Восстановление работоспособности нежестких дорожных одежд на местных дорогах Беларуси сопряжено с некоторыми трудностями. Значительное число дефектов (заплаты, выбоины, частые трещины, сетка трещин, разрушение кромки и т. д.) приводит к необходимости использования такой технологии ремонта, которая позволит восстановить сплошность слоев покрытия и его геометрические параметры при минимальных экономических затратах. Технология холодной регенерации дает возможность применять существующий материал слоев покрытия и не предполагает нагрев асфальтогранулята.

Эффективность применения технологии ремонта дорог должна оцениваться не только по фактическим затратам на выполнение различных видов ремонтных работ, но и по затратам на последующие содержание и ремонты в долгосрочной перспективе. Для такого рода оценки требуется четкая формулировка понятия отказа дорожной одежды и вида характерного дефекта. Даже наличие сплошной сквозной трещины в монолитных слоях покрытия (нарушение сплошности, разрыв) не оказывает существенного влияния на движение транспортных средств по дороге, в то время как для любой другой конструкции подобный дефект приводил бы к мгновенному разрушению.

Для регенерированных слоев критерием отказа должно стать появление и прораствание до поверхности покрытия усталостной трещины. Основным недостатком асфальтогранулята является неоднородность и неравнопрочность его зерна по объему. При увеличении объема асфальтогранулята в составе асфальтобетонной смеси его показатели усталостной долговечности стремительно снижаются.

Обеспечение относительно высоких показателей усталостной долговечности для регенерированных слоев достаточно затруднительно. Из наиболее простых методов можно отметить только дисперсное армирование, эффективность которого напрямую зависит от крупности зерен минеральной части и вида вяжущего. Оптимальным вариантом является холодная регенерация мелкозернистых смесей на мобильном АБЗ с применением комплексного вяжущего (цемент и эмульсия) и дисперсных волокон.

УДК 621.926  
К ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРУЖИННОЙ МЕЛЬНИЦЫ  
ДЛЯ СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ

И. М. ДЫДЫШКО

Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современных производственных процессах различных отраслей промышленности используется сырье тонкого и сверхтонкого измельчения. Потребность в таком сырье привела к необходимости создания измельчителей для получения продуктов сверхтонкого помола. Одним из новых видов измельчителей является разработанная пружинная мельница. Её конструкция дает возможность реализации процесса сверхтонкого помола.

Основной отличительной особенностью разработанной пружинной мельницы для сверхтонкого помола материалов является использование в качестве дополнительной загрузки в ее рабочую камеру мелких мелющих тел (шарики) диаметром 0,5 мм и менее. За счет этого обеспечивается создание повышенных контактных напряжений в рабочих зонах между витками пружинного рабочего органа, которые обжимают мелющие тела, что приводит к образованию большей части частиц наноразмерной крупности.

При вращении пружинного рабочего органа мелющие тела загружаются совместно с материалом, обеспечивая тем самым равномерное распределение мелющей загрузки в рабочей камере. Подобный подход позволяет повысить энергонапряженность процесса помола до величины 3...5 кВт/дм<sup>3</sup>. Мелющие тела для их использования в пружинной мельнице должны быть изготовлены из высокопрочных материалов, хорошо работающих в режиме ударных нагрузок, например, быстрорежущей стали и подобных материалов. В процессе экспериментальных исследований установлено, что загрузка мелких мелющих тел приводит к наклёпу на боковых поверхностях пружинного рабочего органа, тем самым повышается его износостойкость и прочность при циклическом нагружении и, как следствие, увеличивается ресурс работы пружинной мельницы.

Проведенный комплекс поисковых исследований дает основания считать, что пружинная мельница с мелющей загрузкой мелкими мелющими телами является эффективным средством для сверхтонкого помола и получения наноструктурных продуктов различного технологического назначения.

УДК 624.131  
ИССЛЕДОВАНИЯ ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИБОРОМ RD8100

Е. А. ЗУБКОВ

Научные руководители Е. А. ШАРОЙКИНА, И. В. ГОМЕЛЮК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При строительстве и обустройстве дворовых территорий возникает ряд проблем, связанных с существующими коммуникациями (возможные повреждения линий электропередач, существующих трубопроводов, кабелей электросвязи и т. д.). Избежать этих проблем можно при помощи трассопоискового локатора RD8100, который является устройством для нахождения и инспекции состояния подземных коммуникаций. Работа локатора основана на поиске электромагнетизма, возникающего вокруг объектов из металла, кабелей и подземных коммуникаций. За счет ферритовых антенн устройство обнаруживает коммуникации по электромагнитным полям, возникающим в них. Катушка магнитной антенны приводится в действие при соответствующей частоте сигнала, подобранного инженером в рабочей области создаваемых сигналов, показывая на дисплее локатора возвращаемый сигнал. Данное устройство предназначено для инженеров строительной отрасли, ЖКХ, геодезистов. Прибор максимально прост в использовании: нужно пройти по предполагаемому месту расположения трасс, а также коммуникаций. Устройство мгновенно устанавливает наличие искомых объектов, указывая глубину их залегания, позволяя вместе с тем выявить дефекты.

В процессе работы можно отмечать необходимые точки, кроме этого, устройство ежесекундно фиксирует все данные по прибору во включенном состоянии.

Прибором были проведены исследования внутреннего двора учебного корпуса № 6 Белорусско-Российского университета, строительного факультета, в результате которых были найдены электрические кабели фонарных столбов и кабель ТВ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по использованию трассопоискового прибора RD8100 Radiodetection [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [www.radiodetection.com](http://www.radiodetection.com). – Дата доступа: 05.05.2019.
2. Описание прибора на сайте магазина RD8100 Radiodetection [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [www.pergam.by](http://www.pergam.by). – Дата доступа: 05.05.2019.

УДК 528.5:69  
ГЕОРАДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ГОЛУБОЙ КРИНИЦЫ

О. О. КАЛАЧ, Е. А. ЗУБКОВ

Научные руководители Е. А. ШАРОЙКИНА, И. В. ГОМЕЛЮК

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Перед проведением земляных работ, строительства коммуникаций, зданий и сооружений желательно исследовать грунтовые условия территории.

Целью работы было использование георадара для изучения грунтовых условий и поиска коммуникаций на комплексе «Голубая Криница» Славгородского района, обработка и интерпретация результата.

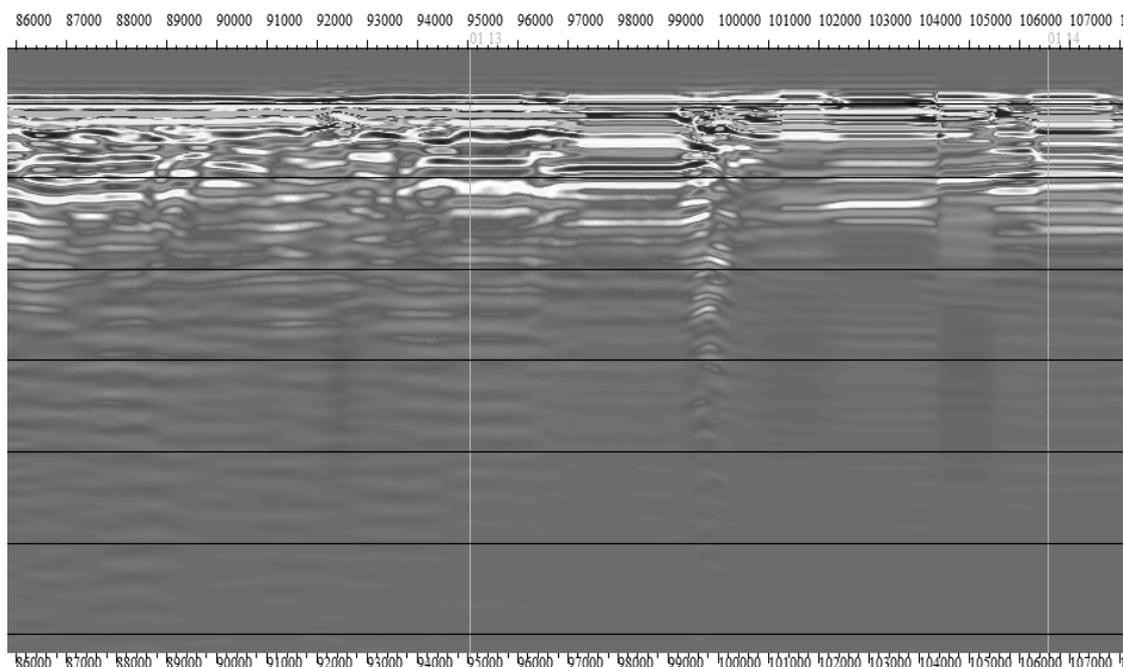
Был использован георадар «ОКО-3».

Результаты представлены в виде радарограммы.

Интерпретирован результат в программе GeoScan 32. По профилю выделены типы грунтов, найден уровень грунтовых вод.

**Выводы**

1. В результате исследования получена и интерпретирована радарограмма, позволяющая рассмотреть структуру грунта в области источника.
2. Инженерных сетей не обнаружено.
3. Имеющегося антенного блока с разрешением 30 см достаточно для сканирования подобных объектов.
4. Увеличение проводимых объемов работ позволит получить более точный результат, необходимо дополнительное сканирование.



УДК 691.32.001.5

## ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕТОНА

В. И. КИРЮШИНА

Научный руководитель А. А. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Основной вид коррозии бетона железобетонных элементов и конструкций – карбонизация, которая вызывает его нейтрализацию, вследствие чего бетон теряет защитные свойства по отношению к стальной арматуре. При карбонизации бетона изменяется содержание карбонатной составляющей. Увеличение карбонатной составляющей вызывает изменение структуры цементного камня, в результате чего происходит деградация и снижение защитных свойств бетона [1].

Исследование карбонизации бетона выполняется на основе определения карбонатной составляющей (КС), которая является показателем количественного содержания карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых долях и его влияния на изменение показателя рН, выступающего основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты под воздействием внешней среды.

Определение показателя КС (химический анализ бетона) – универсально и позволяет с высокой степенью точности провести анализ коррозионных свойств различных бетонов на основании разработанных методик [1], значительно повысить объективность оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций и выбора мероприятий по их восстановлению.

Выполнение химического анализа бетона актуально при возобновлении строительства объектов после длительного срока отсутствия работ, детальном обследовании железобетонных элементов, эксплуатирующихся в атмосферных условиях, анализе причин коррозии стальной арматуры при отсутствии явных признаков агрессивной среды, расследовании причин создания аварийных ситуаций и аварий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона: [монография] / А. А. Васильев. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 69.001.5  
ВОЗМОЖНОСТИ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ

А. В. КОЛЯДА, А. М. ГОЛУШКОВ

Научный руководитель О. В. ГОЛУШКОВА, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь активно внедряется информационное моделирование зданий и сооружений. Согласно принятым нормативным документам к 2022 г. должен быть осуществлен переход к BIM-технологиям при возведении всех объектов за счет средств республиканского бюджета.

Архитекторы в технологиях BIM-моделирования зданий являются основным звеном, представляющим направление проектирования. Другие проектировщики: конструкторы, сметчики, инженеры, проектировщики инженерных сетей и благоустройства наполняют архитектурную идею своими частями и в результате их совместной работы возникает комплексный проект, который должны воплотить строители.

Сложность следующего этапа заключается в решении организационно-технологических задач по реализации данного проекта в натуре:

- календарное планирование с автоматизированным подсчетом объемов работ, количества строительных материалов и оптимальными сроками возведения объекта;
- рациональная поставка и использование материально-технических ресурсов;
- взаимоувязка большого количества исполнителей;
- расчленение здания на захватки;
- расположение бытового городка на строительной площадке;
- организация безопасного производства работ.

Для решения этих задач используется визуальное планирование. 3D-модель здания позволяет наглядно представить варианты решения этих задач и поддерживает возможность согласованной работы в рамках проекта.

Учитывая, что строительный процесс обладает высокой степенью динамичности, данные технологии дают возможность быстро и без особых затрат вносить изменения в проект на стадии строительства, значительно сокращая время на дополнительные согласования. BIM помогает контролировать сроки, сокращать стоимость строительства, снижает количество ошибок в подсчете объемов и расхода материалов, минимизирует риски.

УДК 624.012.45:69

## ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Ю. Н. КОТОВ

Научный руководитель С. Д. СЕМЕНЮК, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

К каждому зданию или сооружению в зависимости от ряда факторов, таких как назначение, проектная долговечность (нормативный срок эксплуатации), материалы, из которых изготовлены отдельные конструкции и части строения, технологический процесс, влияние окружающей среды и т. п., предъявляются конкретные требования (параметры) для выполнения зданием (сооружением) функционального назначения на проектный срок эксплуатации. Все эти требования определяются на стадии проектирования и составляют совокупность показателей эксплуатационной пригодности (ПЭП). Комплекс ПЭП для конкретного здания или сооружения создает область качества. Представим область качества А (рис. 1, а) в виде  $n$ -мерного пространства, векторами которого являются отдельные параметры, т. е. показатели эксплуатационной пригодности первой группы.

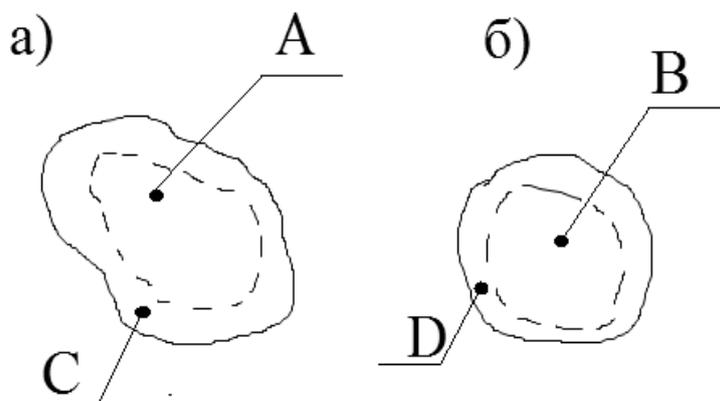


Рис. 1. Графическое отображение технического состояния: а – по первой группе ПЭП; б – по второй группе

На рис. 1, б показана  $m$ -мерная область качества В для показателей эксплуатационной пригодности второй группы. Для отдельных конструкций области А и В практически полностью отвечают требованиям первой (область А) и второй (область В) групп предельных состояний. В область А входят показатели эксплуатационной пригодности, превышение которых приводит к полной непригодности к эксплуатации или к полной либо частичной потере несущей способности здания (сооружения). Область В

складывают ПЭП, превышение которых затрудняет нормальную эксплуатацию конструкций или здания (сооружения) в целом или уменьшает долговечность зданий в сравнении с периодом эксплуатации, который предусматривался.

Области С и D на приведенном рисунке создаются совокупностью радиус-векторов, каждый из которых описывает один из показателей эксплуатационной пригодности в тот или иной промежуток времени, соответственно, для ПЭП первой и второй групп. Поскольку области С и D являются переменными величинами, то в любой момент времени они будут иметь другое значение. Как правило, через физический износ материалов и конструкций, составляющих здание (сооружение), данные изменения носят деградационный характер, т. е. с течением времени показатели эксплуатационной пригодности ухудшаются. Вследствие этого размеры областей С и D уменьшаются, а границы приближаются к границам области качества, соответственно, А и В.

Во время эксплуатации, как правило, влияние внешней среды не изменяется, а параметры конструкций зданий и сооружений теряют своё качество, приближаясь в будущем к наименее допустимым характеристикам, что в свою очередь переводит отдельную конструкцию и строение в целом к другому, более худшему техническому состоянию. Пересечение границей области D границу области В означает, что отдельные конструкции, здание или сооружение в целом не могут нормально эксплуатироваться в дальнейшем. Пересечение границы области А границей области С свидетельствует, что отдельная конструкция, здание или сооружение в целом находится в аварийном состоянии. Показатели эксплуатационной пригодности, которые создают n- и m-мерные области А и В, носят случайный характер.

Явление перехода с одного технического состояния в другое (подразумевается процесс ухудшения состояния), собственно говоря, отказ системы, осуществляется тогда, когда один или несколько одновременно ПЭП выходят за пределы допустимого значения. Под показателями эксплуатационной пригодности надо понимать такие параметры, которые устанавливаются для системы, подверженной эксплуатации. Для каждой конструкции в зависимости от её функционального назначения устанавливаются несколько таких показателей. Рассмотрим обычный железобетонный элемент, например балку. Для нее назовем следующие показатели эксплуатационной пригодности: прочность (нормального сечения, наклонного сечения на действие поперечной силы, по наклонному сечению на действие изгибающего момента); деформативность (ограничение прогибов при углах поворота); трещиностойкость (возникновение трещин и ширины их раскрытия). При этом рассматриваются как нормальные, так и наклонные трещины, стойкость против воздействия окружающей среды (конструктивная или внешняя защита от агрессивных воздействий) и т. п.

УДК 624.072  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ АРМАТУРЫ  
НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Е. Н. КРАНТОВСКАЯ, Н. Н. ПЕТРОВ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Одесса, Украина

Ю. А. МЕЛЬНИК

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

До появления первых нормальных трещин над средней опорой и под сосредоточенным грузом рабочая арматура и защитный слой деформируются совместно. Относительные деформации арматуры и бетона – в пределах  $15...38 \cdot 10^{-5}$ . После появления трещин относительные деформации растянутого бетона снижаются, что свидетельствует о выключении его из работы, а относительные деформации растянутой арматуры увеличиваются. При этом величина приращений деформаций продольной арматуры зависит от количества арматуры. Экспериментально получены адекватные математические модели [1 и др.]

$$\hat{Y}\epsilon_{s,оп}^{0,95F_u} = (250,7 + 12,2X_2 - 12,6X_5 - 13,1X_5^2) \cdot 10^{-5},$$

$$\Sigma = 4739,0; \sigma = 13,5; \nu = 5,4 \%; \quad (1)$$

$$\hat{Y}\epsilon_{s,гп}^{0,95F_u} = (57,3 + 100,8X_1 - 13,9X_4 + 14,1X_5 + 70,4X_1^2 - 8,3X_5^2 - 14,5X_1X_4 + 13,6X_1X_5) \cdot 10^{-5},$$

$$\Sigma = 1149; \sigma = 6,5; \nu = 11,6 \%. \quad (2)$$

Согласно (1), на увеличение относительных деформаций продольной растянутой арматуры перед разрушением существенно влияют факторы  $X_2$  (класс бетона) и  $X_5$  (количество верхнего продольного армирования) при среднем значении  $\epsilon_{s,оп} = 250,7 \cdot 10^{-5}$ : с увеличением  $X_2$  от C12/15 до C30/35 – на 9,7 %; с уменьшением  $X_5$  от 0,0199 до 0,0101 – на 10 %. Согласно (2), увеличение относительных деформаций под грузом перед разрушением, при среднем значении  $\epsilon_{s,гп} = 57,3 \cdot 10^{-5}$ : с увеличением относительного пролета среза  $a/h_0$  от 1 до 3 – на 352 %; с уменьшением нижнего продольного армирования  $\rho_F$  от 0,0199 до 0,0101 – на 48,5 %; с увеличением верхнего продольного армирования  $\rho'_F$  от 0,0101 до 0,0199 – на 49,2 %. Перед разрушением балок напряжения в продольной арматуре в сечениях над опорами, а в некоторых балках и под грузами близки или достигают предела текучести.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Improved engineering method for calculating the strength of the supporting areas of reinforced concrete elements / O. Krantovska, M. Petrov, L. Ksonshkevych, S. Synii, P. Sunak // Transbud-2018, MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230, 02014. – P. 1–9.

УДК 693.55  
 ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ  
 СМЕСЕЙ НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ВЯЖУЩЕМ

Л. Н. КСЁНШКЕВИЧ, И. В. БАРАБАШ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
 Одесса, Украина  
 П. О. СУНАК  
 Луцкий национальный технический университет  
 Луцк, Украина

Технология приготовления бетонных самоуплотняющихся смесей совершенствуется в следующих направлениях: модернизация существующих типов смесительных установок и создание новых типов смесителей; поиск оптимальной последовательности загрузки и перемешивания компонентов бетонной смеси; разработка комплексных методов, которые совмещают в себе интенсивные способы приготовления предварительным разогревом бетонной смеси; введение активных минеральных добавок, направленно регулирующих свойства растворных и бетонных смесей и скорость их затвердевания.

Активация тонкодисперсных компонентов бетонной смеси (портландцемент, микрокремнезём) осуществлялась в высокоскоростном смесителе (трибоактиваторе), кинематическая схема которого изображена на рис.1. Предложенная конструкция трибоактиватора предусматривает реализацию в одном аппарате двух технологических процессов: 1 – механоактивация частиц минеральных вяжущих; 2 – смешивание компонентов вяжущих.

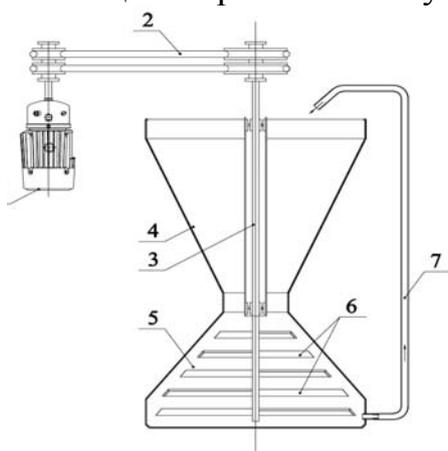


Рис. 1. Кинематическая схема трибоактиватора:

- 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача;  
 3 – приводной вал; 4 – загрузочный бункер;  
 5 – активная зона трибоактиватора; 6 – лопасть;  
 7 – гибкий шланг

Применение методов механоактивации с одновременным использованием активной минеральной добавки (микрокремнезёма) в сочетании с суперпластифицирующей добавкой и полипропиленовой фиброй позволит улучшить свойства твердеющих и затвердевших систем путем изменения их структуры за счет использования рациональных исходных составов и при технологически заданных режимах переработки.

УДК 656.11  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ  
НА Т-ОБРАЗНЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ

В. В. КУТУЗОВ, Р. С. ДЕМИДЕНКО, Е. А. ЗУБКОВ  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Обеспечение организации и безопасности дорожного движения является важной задачей дорожных организаций, занимающихся эксплуатацией автомобильных дорог и улиц населенных пунктов. Для сокращения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) проводятся мероприятия по мониторингу ситуации на дорогах, а также при необходимости применяются мероприятия, связанные с совершенствованием организации дорожного движения. Одним из способов улучшения ситуации на дороге является применение метода математического имитационного моделирования, на основании которого принимаются управленческие решения по организации дорожного движения [1, 2].

Анализ ДТП в Республике Беларусь показывает, что их большая часть случается на перекрестках. Для разработки мероприятий по снижению ДТП и увеличения их пропускной способности было проведено имитационное моделирование транспортных потоков на них. В качестве исследуемого объекта был выбран Т-образный перекресток. Т-образные перекрестки широко распространены как в городе Могилеве, так и по Беларуси и миру в целом. При моделировании рассматривался вариант без включения пешеходных потоков, т. к. они не оказывают существенного влияния. В качестве исходных данных брались типовые схемы вариантов перекрестков, интенсивности транспортных потоков. Разрабатывалась имитационная модель, по которой осуществлялось вариантное моделирование. На основании моделирования выявлялись ситуации ухудшения дорожного движения и предлагались варианты их устранения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Демиденко, Р. С.** Имитационное моделирование транспортных потоков в районе первого корпуса Белорусско-Российского университета в AnyLogic / Р. С. Демиденко, Е. А. Зубков // 55-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф., Могилев, 3–4 мая 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 49.
2. **Янушик, А. В.** Имитационное моделирование транспортных потоков в г. Могилеве в AnyLogic / А. В. Янушик, А. И. Смагула // 55-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф., Могилев, 3–4 мая 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 220.

УДК 625.7

## ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В. В. КУТУЗОВ, А. С. ЛИТВИНЧУК

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

При эксплуатации автомобильных дорог постоянно осуществляют оценку их технического состояния посредством диагностирования. В соответствии с требованиями ТКП 604–2017 и ТКП 271–2010 диагностирование дорог проводят 2 раза в год (весной и осенью). Одним из важных контролируемых показателей является дефектность автомобильных дорог. Основные дефекты автомобильной дороги: выбоины, трещины, колеи, разрушения покрытия и многие другие.

В настоящее время диагностика осуществляется путём фактического осмотра дорог людьми. Временные затраты на диагностику одной дороги могут составить от одного до нескольких дней. С учётом того, что в каждой дорожной организации под контролем находится несколько десятков автомобильных дорог, то продолжительность диагностики всех дорог может составить около месяца. За такой длительный промежуток времени дорога может больше разрушиться, а ремонт будет проводиться не вовремя, вследствие чего транспорт, проезжающий по данной дороге, будет быстрее выходить из строя.

На сегодняшний день существуют технологии и методы диагностики автомобильных дорог с высокой производительностью, например мобильные передвижные диагностические лаборатории. Они позволяют контролировать параметры дороги и с высокой точностью. Существенный недостаток таких лабораторий – высокая стоимость, как следствие, дорожные организации не в состоянии приобрести их. Кроме передвижных лабораторий, в последнее время в мире начали появляться специальные недорогие регистраторы на базе технологий компьютерного зрения для определения объектов на дороге, в том числе и дефектов. Технология работы таких устройств и программ на основе компьютерного зрения заключается в том, что идет анализ контролируемых объектов на изображениях или в видеопотоке. Алгоритмы с основой элементов компьютерного зрения совместно с нейронными сетями и искусственным интеллектом анализируют изображения и видеопоток, определяя и классифицируя необходимые объекты. Распознаваемые объекты устанавливаются заранее путем обучения программ, используя технологии машинного обучения на базе подготовленных библиотек изображений дефектов дорог.

УДК 697.7

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ

Н. В. ЛОБИКОВА

Научные руководители С. Д. ГАЛЮЖИН, канд. техн. наук, доц.,

О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Высокое качество воздуха в помещениях влияет во многом на здоровье людей и уровень производительности труда, дает социальный и экономический эффекты [1]. Соответственно, требования, предъявляемые к качеству систем обеспечения микроклимата помещений, постоянно возрастают при проектировании и строительстве зданий. Применение таких эффективных систем вызывает рост единовременных и текущих эксплуатационных затрат. В странах ЕС затраты энергоресурсов на систему вентиляции достигают до 60 % общего энергопотребления здания. Применение современных эффективных систем вентиляции при новом строительстве и проведении работ по модернизации существующих объектов должно быть экономически обосновано. Одно из перспективных направлений повышения энергоэффективности системы вентиляции – использование в них теплонасосного оборудования. Тепловые насосы в Республике Беларусь на сегодняшний день мало распространены из-за высоких цен на приобретение, монтаж инновационного оборудования и низких, по сравнению с европейскими, цен на газ [2]. Снижение потребляемой мощности отопительного оборудования путем утилизации теплоты дает возможность минимизировать стоимость эксплуатации таких устройств. Схема установки системы вентиляции в этом случае включает тепловой насос, состоящий из компрессора, конденсатора и испарителя. Потоки теплого удаляемого загрязненного воздуха и приточного холодного воздуха обмениваются теплом в рекуператоре.

Применение теплового насоса в системе вентиляции оказывает значительное влияние на экономические аспекты эксплуатации здания.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобикова, Н. В.** Инновационные подходы к повышению энергоэффективности вентиляционных систем зданий / Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин // Новое в науке и образовании: тез. докл. Междунар. ежегод. науч.-практ. конф. Еврейского ун-та. – 2019. – С. 30–32.
2. **Галюжин, С. Д.** Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов / С. Д. Галюжин, Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С. 88–101.

УДК 697.7

СОЛОМЕННЫЕ СТЕНЫ КАК ЧАСТЬ АРХИТЕКТУРНОГО  
КОМПЛЕКСА ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОГО ЗДАНИЯ

Н. В. ЛОБИКОВА

Научные руководители А. В. ЩУР, д-р биол. наук, доц.,

О. М. ЛОБИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Достижение энергонезависимости является одной из важнейших задач современности как для Беларуси, так и для остального мирового сообщества. Для энергонезависимости здания необходимо не только обеспечить производство достаточного количества энергетических ресурсов для функционирования всех внутренних систем, но и минимизировать потери произведенной энергии [1].

В условиях средних широт особенно остро стоит проблема потерь тепловой энергии в отопительный период через ограждающие конструкции. Следует заметить, что архитектурный комплекс является благодатной средой для интеграции современных строительных материалов и технологий проектирования, служащих, в том числе для обеспечения максимального энергосбережения здания. Существенно снизить уровень теплопотерь, а соответственно, и уровень энергопотребления позволяют энергоэффективные конструкции стен, что в совокупности с возможностью самостоятельного производства энергии дает возможность создавать полностью автономные здания и сооружения [2].

В ходе оценки различных конструкций стен с точки зрения сопротивления теплопередаче высокие показатели были выявлены у каркасных стен с использованием спрессованных соломенных блоков в качестве утеплителя. Такие стены также можно считать выгодным решением исходя из низкой, в сравнении с прочими, стоимости возведения  $1 \text{ м}^2$  и коротких сроков возведения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щур, А. В.** Направления снижения зависимости от традиционных источников теплоснабжения в Республике Беларусь / А. В. Щур, Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Рязань, 2018. – Ч. 2. – С. 446–452.

2. **Лобикова, О. М.** Повышение энергоэффективности жилых зданий: проблемы, опыт решения / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Россия: тенденции и перспективы развития. – Москва, 2018. – С. 351–353.

УДК 625.8  
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ  
ЛИКВИДАЦИИ КОЛЕЙНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д. Ю. МАКАЦАРИЯ

Могилевский институт МВД Республики Беларусь

В. В. КУТУЗОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В процессе ежедневной эксплуатации автомобильных дорог под воздействием энергии солнца, ветра, осадков, а также движущихся транспортных средств происходит износ дорожной одежды. Наиболее распространенным ее видом, широко используемым на территории нашей страны, является асфальтобетонное дорожное покрытие. Уровень безопасности дорожного движения – одна из важнейших характеристик автомобильной дороги. Однако в процессе износа дорожных одежд возникает проблема поддержания его значения в допустимых пределах безаварийной эксплуатации.

Под воздействием внешних факторов износ асфальтобетонного дорожного покрытия проявляется в форме дефектов и разрушений. Одним из дефектов, влияющих на снижение уровня безопасности дорожного движения, является колейность. Движение по дорогам, имеющим колею, небезопасно. Управляемость автомобилем снижается как при движении по колее, так и при преодолении данного препятствия. Необходимо искать эффективные способы повышения безопасности дорожного движения в таких условиях. В краткосрочной перспективе выходом из сложившейся ситуации может послужить изменение скоростных режимов движения транспортных средств. Однако введение ограничения скорости позволит лишь временно решить данную проблему.

В условиях роста дорожного трафика и увеличения интенсивности дорожного движения, а также с учетом долгосрочной перспективы необходимо проводить ремонт асфальтобетонного дорожного покрытия. Эффективно ликвидировать дорожную колейность позволяют дорожные фрезы. После использования данных машин восстанавливается ровность дорожного покрытия, что повышает безопасность дорожного движения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макацария, Д. Ю. Эффективные способы ремонта автомобильных дорог и снижения дорожной аварийности / Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев, 2018. – С. 140.

УДК 691.32-033.33  
ПРОБЛЕМА ВЛИЯНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ  
НА ПРОЧНОСТЬ ЛЁГКИХ БЕТОНОВ

И. В. МОРОЗОВ

Научный руководитель С. Д. СЕМЕНЮК, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Известно, что железобетон – своего рода композитный материал, работающий за счёт совместной работы арматуры и бетона. Наиболее эффективная совместная работа достигается только при высоком уровне сцепления всех материалов. Без этой связи график  $R_c$  будет вести себя точно так же, как и простой бетонный неармированный элемент, разрушаясь при относительно небольшой растягивающей нагрузке.

Существует ряд исследований о зависимости величины связи бетона и арматуры от диаметра стержня, толщины защитного слоя бетона и других проектных характеристик, а также исследования С. А. Миронова, О. Каяли, Р. Йоманс (2000), Хуссейн (2010), в ходе которых уточнили влияние этих факторов на прочность связи для обычных бетонов. Однако для лёгких бетонов не удалось найти расчётную модель, подтверждённую опытами, и, чтобы разобраться с этим вопросом, были изучены работы Е. Санчак (Турция, 2011), М. Джамал, А. Чариф (Саудовская Аравия, 2017), а также ACI 318-08 и ряд других источников. Теоретические зависимости дают линейную зависимость прочности сцепления материалов с квадратным корнем прочности на сжатие. Однако эксперименты показывают, что это не совсем так.

Исходя из анализа экспериментальных данных, найденных в приведённых источниках, можно сделать вывод, что при размере образца в 150 мм прочность сцепления растёт с увеличением прочности бетона на сжатие. В свою очередь, увеличение диаметра стержня уменьшает исследуемый показатель. Далее были проведены анализ экспериментальных данных и сравнение с теоретическими результатами, получаемыми согласно методике EUROCODE 2. Теоретические результаты вычисления прочности сцепления бетона и арматуры оказались меньше экспериментальных, причём с увеличением диаметра стержня разница (в процентном соотношении) росла. Это означает, что расчёт данной величины следует производить с осторожностью и есть определённая мотивация для проведения эксперимента.

УДК 691.328.3  
УЧЕТ РАСЧЕТНОЙ ПЛОТНОСТИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА  
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

Ю. Г. МОСКАЛЬКОВА  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Особенностью легких бетонов (в частности, керамзитобетона) является то, что их деформативные характеристики значительно отличаются для бетонов различной плотности. Согласно Еврокоду к легким относятся бетоны с плотностью от 800 до 2000 кг/м<sup>3</sup>. На постсоветском пространстве традиционно принято к легким относить также бетоны с плотностью до 2200 кг/м<sup>3</sup>. Поскольку невозможно для каждого конкретного замеса в производственных условиях точно определить плотность легкого бетона, в Еврокоде введены классы плотности (1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0), в соответствии с которыми назначаются соответствующие расчетные значения плотности  $\rho$ . Оценка среднего секущего модуля  $E_{lcm}$  (основная характеристика деформативности) получается путем умножения  $E_{cm}$  на поправочный коэффициент  $\eta_E$ , который учитывает класс плотности бетона и определяется исходя из значений расчетной плотности  $\rho$ : вводится параметр  $(\rho/2200)$ , где  $\rho$  – в кг/м<sup>3</sup>.

При этом для оценки деформативности легкого бетона и особенностей его работы под нагрузкой не менее важны такие характеристики, как относительные значения границ микротрещинообразования, поскольку эти показатели позволяют судить об области деформирования, которая будет соответствовать заданному уровню нагрузки.

В Белорусско-Российском университете в рамках государственной программы научных исследований были испытаны несколько серий стандартных опытных образцов, изготовленных из керамзитобетона с применением сырьевых материалов белорусского производства. Экспериментальные исследования проводились для керамзитобетона разных классов по прочности на осевое сжатие и различных классов плотности. Испытания опытных цилиндров и призм осуществлялись в лабораториях Белорусско-Российского университета и Брестского государственного технического университета.

По результатам обработки опытных данных был введен эмпирический коэффициент  $k_{cl}$ , позволяющий скорректировать расчетные относительные значения границ микротрещинообразования для керамзитобетона. С целью гармонизации с положениями Еврокода определение данного коэффициента основано на значении  $(\rho/2200)$ .

УДК 625.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А. В. ПАШКЕВИЧ, С. Д. ФРОЛОВ

Научный руководитель Д. Ю. МАКАЦАРИЯ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Ежегодно количество инноваций в дорожной отрасли увеличивается. В процессе организации производства работ при ремонте автомобильных дорог необходимо стремиться сократить продолжительность работ, выполняемых дорожными рабочими, и время эксплуатации машин и механизмов. При этом нужно обеспечить увеличение производительности и качества проведения работ при строительстве и дальнейшей эксплуатации автомобильных дорог. Данные вопросы весьма актуальны в дорожной отрасли нашей страны. Одним из вариантов увеличения производительности и обеспечения качества при строительстве дорог является использование новой органоминеральной смеси (ОМС).

В настоящее время при строительстве дорог на территории нашей страны широко используется основание, которое изготавливается в форме корыта, далее укладывается подстилающий слой. При высоких температурах воздуха предварительное уплотнение данного слоя осуществляется путем поливки основания водой. Затем укладывается песчанно-гравийная смесь (ПГС) также с предварительной укаткой, щебеночная смесь оптимального состава (ЩОС-7). Повышенное количество материалов, используемых в данной конструкции, приводит к росту финансовых и временных затрат, увеличивается срок строительства. Для реализации описанной технологии используются комплекты машин, реализующие процессы при устройстве основания из подстилающего слоя, ПГС, ЩОС, включающие следующее: автогрейдер, комплекс катков, погрузчик, водовозка и т. д.

Одним из современных направлений является использование ОМС (органоминеральной смеси) в дорожной отрасли. Она имеет особый состав, включающий следующие компоненты: асфальтогранулят, щебень мелкой фракции, цемент марки 300...600, битумная эмульсия и вода. Комплект машин при устройстве ОМС включает в себя асфальтоукладчик и комплекс катков. При этом ОМС – смесь более прочная, долговечна, а также быстрее в устройстве и более экономична.

В связи с этим использование органоминеральной смеси является перспективным направлением снижения затрат времени и материалов при строительстве автомобильных дорог.

УДК 691.32

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ  
ПЛАСТИКОВЫМИ ОТХОДАМИ

В. А. РЖЕВУЦКАЯ

Научный руководитель С. Д. СЕМЕНЮК, д-р техн. наук, проф.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Пластиковые отходы в настоящее время представляют серьезную экологическую угрозу для современного мира. Переработка пластиковых отходов для производства новых материалов, таких как наполнитель для бетона, может быть одним из лучших решений для его утилизации, учитывая при этом экономические и экологические преимущества. Многие исследования, опубликованные в последние годы, показывают, что использование переработанных пластиковых наполнителей и волокон в качестве частичной замены наполнителей приобретает значительные интересы у многих исследователей.

Введение пластикового наполнителя может существенно улучшить некоторые свойства бетона, так как пластик обладает высокой прочностью, хорошими характеристиками истирания, низкой теплопроводностью и высокой теплоемкостью, он значительно легче, чем природный наполнитель, и, следовательно, его включение снижает плотность получаемого бетона. Использование измельченных пластиковых отходов в бетоне может снизить собственный вес бетона.

Однако включение данного модификатора имеет несколько негативных факторов. Прочностные свойства и модуль упругости бетона, содержащего различные типы пластиковых наполнителей, ниже, чем бетона, содержащего только природный наполнитель. Снижение прочности связи между пластиковыми отходами и цементной пастой, снижение гидратации цемента из-за гидрофобной природы пластика являются причинами плохих механических свойств модифицированного бетона. Химическая обработка пластика и покрытие пластика шлаковыми и песчаными порошками может улучшить взаимодействие между цементной пастой и пластиковым наполнителем.

Анализируя многие исследования по данной тематике, можно сделать вывод, что процесс увеличения прочности на сжатие легкого бетона, содержащего все типы полиэтилентерефталат-наполнителей, аналогичен обычному бетону. Ранний прирост прочности на сжатие (первые семь дней) относительно прочности, определенной после 91 дня твердения легких бетонов, содержащих полиэтилентерефталат-наполнитель, выше, чем для обычного бетона. Следует также отметить, что внедрение полиэтилентерефталат-наполнителя в бетон повышает вязкость.

УДК 539.3

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ШАРНИРНОМ  
УЗЛЕ ОПИРАНИЯ БАЛКИ

П. Д. СКАЧЁК

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Рассматриваются шарнирные узлы опирания балок на стену. Задачами расчета являются: определить область контакта; построить поверхности контактных напряжений и вертикальных перемещений при различных показателях гибкости; установить зависимость между максимальным изгибающим моментом в балке от размеров контактной зоны.

Принимаются следующие допущения:

- для балки справедливы гипотезы изгиба;
- стены моделируются в виде упругого четвертьпространства;
- связи Б. Н. Жемочкина принимаются односторонними, работающими только на сжатие;
- в зоне контакта не учитываются касательные напряжения.

На расчетной схеме балка изображается ее продольной осью. Расчет выполняется методом Б. Н. Жемочкина. Для этого область контакта разбивается на прямоугольные участки (участки Б. Н. Жемочкина). Предполагается, что контакт балки и стен осуществляется через жесткие односторонние связи, устанавливаемые в середине каждого участка Б. Н. Жемочкина. Принимается, что усилия в связях Б. Н. Жемочкина вызывают равномерное распределение контактных напряжений по участку Б. Н. Жемочкина.

В середине пролета балки вводится условное защемление, препятствующее вертикальному перемещению и угловым перемещениям относительно осей  $X$  и  $Y$ . Полученная статически неопределимая система считается смешанным методом строительной механики, где за основные неизвестные принимаются усилия в связях Б. Н. Жемочкина и перемещения во введенном защемлении.

По расчетной схеме составляется система линейных алгебраических уравнений смешанного метода строительной механики, которая решается матричным методом. В результате имеем найденный вектор-столбец неизвестных, в котором первые  $2n$  ( $n$  – количество участков Б. Н. Жемочкина в одном узле) компонент – усилия в связях Б. Н. Жемочкина, а оставшиеся три компоненты – перемещения во введенном защемлении. Далее организуется итерационный процесс удаления растянутых стержней.

По картине оставшихся связей Б. Н. Жемочкина судят о фактической области контакта балки и стен. Для построения поверхности напряжений равномерно распределяют найденные усилия по соответствующему участку Б. Н. Жемочкина.

УДК 621.926

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДОЛОМИТА В ВИБРОВАЛКОВОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ

Л. Л. СОТНИК

Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Научный руководитель Л. А. СИВАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Процесс измельчения в вибровалковом измельчителе описывается полученными ранее уравнениями регрессии [1], используя которые можно провести оптимизацию процесса.

Определение рациональных режимов работы вибровалкового измельчителя сводится к анализу функций отклика приведенной производительности, потребляемой мощности, степени измельченности и удельного расхода электроэнергии от каждого из варьируемых параметров:

$$Q_{\text{пр}}, N, E_{\text{изм}} = f(n_{\text{эк}}, K_v, e) \text{ и } q = f(Q_{\text{пр}}, N).$$

Причем к каждой из вышеприведенных функций отклика предъявляются определенные требования, характеризующие процесс измельчения: для приведенной производительности  $Q_{\text{пр}}$  и степени измельченности  $E_{\text{изм}}$  – максимальное значение; для потребляемой мощности  $N$  и удельного расхода электроэнергии  $q$  – минимальное значение. На рис. 1 представлены оптимальные параметры измельчения доломита. Таким образом, проведенный анализ зависимостей функций отклика от варьируемых факторов позволил определить рациональные конструктивно-технологические параметры вибровалкового измельчителя для доломита:  $e = 2$  мм;  $n_{\text{эк}} = 800 \dots 1800$  об/мин;  $K_v = 0,8 \dots 0,9$ .

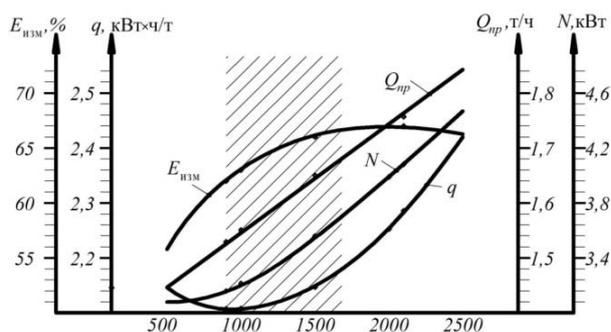


Рис. 1. Оптимальные параметры процесса измельчения доломита

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотник, Л. Л. Исследование влияния отдельных факторов на степень измельченности в вибровалковом измельчителе методом математического планирования эксперимента / Л. Л. Сотник, Л. А. Сиваченко // Горная механика и машиностроение. 2018. – № 1. – С. 30–36.

УДК 624.012.04  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ФИБР С БЕТОНОМ

П. О. СУНАК

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

Л. Н. КСЁНШКЕВИЧ, Е. Н. КРАНТОВСКАЯ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Одесса, Украина

Прочность сцепления фибры с бетоном – главный фактор, обеспечивающий совместную работу фибр и матрицы. Он зависит от сил зацепления бетона за образованные периодическим профилем выступы фибр, от сил трения и склеивания между фиброй и бетоном, от длины зоны анкеровки фибр, от марки цемента, водоцементного отношения, ориентации фибр, возраста и класса бетона.

Проведенные исследования показывают, что прочность сцепления фибры с бетоном растет аналогично росту прочности самого бетона. Наиболее интенсивно это происходит в первые 28 сут схватывания. Для старого сталефибробетона данную характеристику можно считать постоянной.

С уменьшением длины анкеровки фибр вдвое прочность сцепления фибры с бетоном возрастает в 1,5...2 раза. Короткие фибры, которые меньше группируются при перемешивании сталефибробетонной смеси и могут быть использованы при повышенных коэффициентах армирования, являются более эффективными, чем длинные.

Прочность сцепления фибры с бетоном определяет их анкеровку в конструкции. Напряжения, возникающие при выдергивании фибр из бетона, зависят от его прочности, от отношения длины фибры к ее диаметру, от коэффициента армирования и от вида поверхности фибры. Между напряжениями в фибрах и вышеперечисленными факторами существует прямопропорциональная зависимость. Профилированные фибры имеют в 1,5...2,5 раза более высокую прочность анкеровки, чем гладкие. С увеличением коэффициента армирования в 4 раза, при одинаковой относительной длине заделки фибры, напряжение в профилированных фибрах снижается на 70 %.

На прочность сцепления фибры с бетоном влияет угол наклона фибр к линии действия выдергивающей силы. При угле наклона до 45 град фибры выдергиваются из бетона при разрушении образца. С увеличением угла от 45 до 60 град разрушительная сила растет. Дальнейшее увеличение угла наклона ведет к уменьшению разрушительной силы и к выкалыванию бетона при разрушении образца.

УДК 728.1.011.28.004.62

## РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

М. М. СЫС

Научный руководитель А. А. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Расчет остаточного ресурса зданий и сооружений производится с целью определения периода, в течение которого эксплуатация зданий и сооружений будет соответствовать требованиям безопасности и по истечении которого необходимо принимать решение о проведении капитального ремонта или о сносе здания.

Наиболее объективную оценку остаточного ресурса здания дают методики, основанные на экспертных оценках. Значимость конструкций принимается экспертами исходя из собственного опыта, знаний и субъективной оценки.

В соответствии с [1] оценка остаточного ресурса зданий и сооружений осуществляется по результатам общего обследования конструкций. Данная методика вводит коэффициенты значимости строительных конструкций, определяемые следующим образом: для плит перекрытия и покрытия  $\alpha = 2$ ; балок –  $\alpha = 4$ ; ферм –  $\alpha = 7$ ; колонн –  $\alpha = 8$ ; несущих стен и фундаментов –  $\alpha = 3$ ; прочих конструкций –  $\alpha = 2$ . Однако при назначении коэффициентов не учитывается высота здания, количество пролетов, наличие крановой нагрузки и т. д. Одинаковую значимость имеют колонны крайнего и средних рядов, воспринимающие разные нагрузки.

Для объективного расчета остаточного ресурса каркасных зданий необходимо совершенствование системы назначения коэффициентов значимости и разработка методики, учитывающей изменение интенсивности износа в процессе эксплуатации объектов строительства.

Коэффициенты значимости элементов (конструкций) необходимо назначать на основании экспертных оценок, учитывающих не только воспринимаемые нагрузки, но и социально-экономические последствия разрушения отдельных элементов (конструкций), характера разрушения (разрушения с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенного хрупкого разрушения) и влияния разрушения на возможность обрушения соседних конструкций.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Добромыслов, А. Н.** Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам / А. Н. Добромыслов. – Москва: ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, 1989. – 88 с.

УДК 624.072.21.7  
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ МОДЕЛЯМИ  
В AUTODESK REVIT С ПОМОЩЬЮ ПРИЛОЖЕНИЯ DYNAMO

В. С. ТУМАРЕВА

Научный руководитель О. В. КОЗУНОВА, канд. техн. наук, доц.

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

В работе предлагается исследовать среду визуального программирования на примере различных информационных моделей зданий и сооружений в программе Autodesk Revit. Рассматривается пример классического моделирования строительных объектов в Autodesk Revit (исключительно инструментами Revit) в сравнении с примером информационного моделирования объектов с помощью приложения Dynamo.

Уровень сложности современных инженерных задач подводит к тому, что человечество находится на пороге эпохи BIM-проектирования, когда требуются принципиально новые информационные технологии в строительстве.

Dynamo – это приложение для Revit, представляющее среду визуального программирования для создания и запусков в адаптированной для инженера (не программиста) форме.

В последнее время приложение Dynamo набирает все большую популярность среди разработчиков информационных моделей зданий. Это приложение сочетает в себе качества как редактора по моделированию с помощью заданного алгоритма (как и плагин Grasshopper для программы Rhino), так и инструмента по работе с BIM-моделями, который позволяет расширить базовый функционал программы Revit и автоматизировать свою работу на различных этапах проектирования и разработки информационных моделей зданий.

*Решение практических задач и их автоматизация.* В работе необходимо рассмотреть различные возможности Dynamo, которые помогут оптимизировать процесс проектирования, а также рассмотреть внедрение данной программы на предприятии.

Как показывает опыт использования визуального программирования в западных странах, где данный метод широко применяется, внедрение приложения Dynamo на предприятии позволит значительно сократить сроки проектирования и, следовательно, уменьшить расходы на реализацию проекта.

УДК 624.072.21.7  
К РАСЧЁТУ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК  
НА ВИНКЛЕРОВСКОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

К. ШЕР МОХАММАД

Научный руководитель О. В. КОЗУНОВА, канд. техн. наук, доц.  
Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

Научный консультант С. В. БОСАКОВ, д-р техн. наук, проф.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В работе предложена методика расчета системы перекрестных балок на упругом основании Винклера под действием внешней нагрузки и ее численная реализация в прикладном пакете «Mathematica». Методика базируется на методе перемещений, основная система которого представляет собой совокупность однопролетных и консольных балок на основании Винклера. В этом случае система перекрестных лент заменяется на систему перекрестных балок на упругом основании, и последняя является расчетной моделью.

Метод перемещений для расчета балки на упругом основании предложил использовать Д. С. Пащевский [1]. Его в традиционной постановке без учета трения на контакте балки с основанием предлагается применять для расчета системы перекрестных балок [2] на основании Винклера.

В методе перемещений элементом основной системы является однопролетная балка с различными опорными закреплениями. Для расчета плоской рамы по методу перемещений в различных учебниках и справочниках составлены таблицы реактивных усилий в однопролетных балках от единичных смещений опор и внешней нагрузки.

В основной системе метода перемещений для системы перекрестных балок (а это тоже плоская рама) на упругом основании ее элементом также является горизонтальная однопролетная балка на основании Винклера с различными опорными закреплениями под действием вертикальной нагрузки.

В работе приведены постановка, алгоритм и результаты расчета простых балок на винклеровском основании с жесткими закреплениями.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пащевский, Д. П.** Применение метода деформаций к расчету балки на упругом основании / Д. П. Пащевский // Исследования по теории сооружений. – 1954. – С. 249–256.
2. **Симвулиди, И. А.** Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И. А. Симвулиди. – Москва: Высшая школа, 1987. – 576 с.

УДК 005.6

## АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ВОДОЛАЗА

О. С. КОНОНЕНКО, Т. А. ЛЕВИНА

Научный руководитель О. Б. БАВЫКИН, канд. техн. наук, доц.  
Московский политехнический университет  
Москва, Россия

Известно, что в различных областях деятельности человека применяются водолазные погружения. Одной из основных задач обеспечения безопасности водолаза является снижение вероятности его переохлаждения. Для решения упомянутой задачи используется специальное водолазное снаряжение.

Можно выделить два типа водолазного снаряжения: с пассивной и активной теплозащитой. Первый вариант не в состоянии защитить человека от замерзания. Вследствие этого используются различные варианты активной защиты. В табл. 1 представлены выявленные недостатки таких систем.

Табл. 1. Анализ недостатков систем активной теплозащиты водолаза

Разновидность активной защиты	Недостатки
Водобогрев	Высокая стоимость системы. Неравномерный нагрев человека. Система сложна в управлении
Химический обогрев	Малое время обогрева. Высокая стоимость системы
Электрообогрев	Недостатки зависят от используемого электронагревателя

По табл. 1 видно, что химический обогрев использовать нецелесообразно. Для выбора оптимальной системы из оставшихся можно применить анализ рисков. Варианты его проведения изложены в нормативном документе ГОСТ Р 54124–2010 *Безопасность машин и оборудования. Оценка риска*.

УДК 621.3  
ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ  
МОДУЛЯЦИИ МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

К. Н. РОМАНЕНКО, О. А. КАПИТОНОВ  
Научный руководитель А. С. ТРЕТЬЯКОВ  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) являются относительно молодым направлением в развитии современной преобразовательной техники.

Основной характеристикой МПЧ является то, что напряжение на двигатель подается напрямую из сети без промежуточного звена постоянного тока. Внутри МПЧ – девять двунаправленных ключей, которые подключают фазу с питания напрямую на фазу двигателя. При работе этих ключей МПЧ способен преобразовывать напряжение из сети в переменное напряжение заданной амплитуды и частоты.

Метод пространственно-векторной модуляции (ПВМ) появился как альтернатива скалярным методам модуляции и по настоящее время используется в классических схемах преобразователей частоты.

В теории ПВМ основную роль играет такое понятие, как пространственный вектор, представляющий собой трехфазную векторную систему на комплексной плоскости. Управление подразумевает в каждый период времени получить требуемое расположение вектора на комплексной плоскости.

Выделяют два основных метода – метод прямой и метод косвенной ПВМ. В основе обоих методов лежат эквивалентные схемы МПЧ, сочетающие выпрямитель и инвертор, с помощью условного звена постоянного тока. Выпрямитель и инвертор имеют непосредственную связь с помощью мнимого звена постоянного тока и изначально обеспечивают двунаправленное протекание энергии благодаря симметричности. Использование подобного разделения даёт возможность для управления МПЧ использовать хорошо известные алгоритмы пространственно-векторной модуляции для выпрямителя и инвертора.

В основе метода косвенной ПВМ лежит контроль над вектором тока на входе и вектором напряжения на выходе на основе параметров мнимого звена постоянного тока.

Алгоритм прямой пространственно-векторной модуляции дает абсолютный контроль над вектором тока на входе и вектором напряжения на выходе.

УДК 621.9

## ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ

Н. А. РЫБАКОВ, В. В. ВОРОБЬЁВ

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Конструктивными элементами электрического автомобиля являются: аккумуляторная батарея, электродвигатель, трансмиссия, бортовое зарядное устройство, инвертор, преобразователь постоянного тока, электронная система управления.

Тяговая аккумуляторная батарея обеспечивает питание автомобиля; используется литий-ионная аккумуляторная батарея, которая состоит из соединённых последовательно модулей. В качестве электродвигателя устанавливают трехфазные синхронные (асинхронные) электрические машины переменного тока мощностью от 15 до 200 кВт и более. В сравнении с двигателем внутреннего сгорания тяговый электродвигатель имеет более высокую эффективность и меньшие потери энергии. В конструкции электромобилей используется несколько электродвигателей, которые приводят отдельные колеса, что значительно повышает тяговую мощность транспортного средства. Современный тяговый электропривод автомобиля предъявляет повышенные требования к основным параметрам и показателям электрооборудования. В системе управления тяговым электроприводом автомобиля значимое место занимает электроника, роль которой повышается с интеграцией электронных и механических элементов. Основными преимуществами электродвигателя являются: реализация максимального крутящего момента во всем диапазоне скоростей; возможность работы в двух направлениях без дополнительных устройств; простота конструкции, воздушное охлаждение; возможность работы в режиме генератора.

Инвертор преобразует высокое напряжение постоянного тока аккумуляторной батареи в трехфазное напряжение переменного тока, необходимое для питания электродвигателя.

Преобразователь постоянного тока обеспечивает зарядку дополнительной аккумуляторной батареи, которая используется для питания различных потребителей электроэнергии.

Электронная система управления выполняет следующие функции: управление высоким напряжением, регулировка тяги, обеспечение оптимального режима движения, управление плавным ускорением, управление рекуперативным торможением, контроль использования энергии, оценка состояния заряда аккумуляторной батареи, безопасность движения и др.

УДК 621.9  
СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Н. А. РЫБАКОВ, В. В. ВОРОБЬЁВ

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Современные источники питания, новые технологии и новые материалы, применяемые в производстве современных источников тока для электромобилей: свинцово-кислотные аккумуляторы новых поколений, литий-ионные батареи, топливные элементы, нано-технологии, нано-аккумуляторы, спин-аккумуляторы, никель-кадмиевые и никель-железные аккумуляторы.

Свинцово-кислотные аккумуляторы производят в следующих вариантах: стартерные, стационарные, тяговые и авиационные. Электроды свинцово-кислотных батарей бывают в следующих исполнениях: поверхностные, коробчатые, панцирные, а также намазные.

Никель-кадмиевые и никель-железные батареи схожи в характеристиках и конструкции. Никель-железные батареи большой ёмкости применяются в тяговых батареях, они характеризуются повышенным саморазрядом и низким током разряда. Электроды никель-кадмиевые и никель-железных аккумуляторов бывают ламельными и безламельными, трубчатыми и таблеточными.

Литий-ионные аккумуляторы – наиболее перспективный источник тока. Отрицательный электрод литий-ионного аккумулятора производят из углеродных материалов. В данном типе аккумулятора в качестве отрицательного электрода используются не металлический литий или его сплавы с другими металлами, а интеркаляционное соединение углерода с литием. Для достаточно высокого напряжения аккумулятора в качестве активного материала используются: литированные оксиды кобальта, марганцевая шпинель, литированный фосфат железа и также мульти-оксиды (смешанные оксиды).

Топливный элемент – устройство, которое напрямую преобразует химическую энергию топлива в электрическую в процессе электрохимической реакции в отличие от традиционных технологий, при которых используется сжигание твердого, жидкого или газообразного топлива и происходит «механическое» преобразование энергии.

С практической точки зрения топливный элемент отдаленно напоминает обычную гальваническую батарею.

УДК 621.9

## КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Н. А. РЫБАКОВ, В. В. ВОРОБЬЁВ

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Тяговым электроприводом с однотипной энергетической установкой является привод электромобиля, содержащий в составе силовой цепи источник энергии, электродвигатель и механическую трансмиссию. Преобразовательное, электродвигательное и передаточное устройства тягового электропривода электромобиля по своему функциональному назначению подобны аналогичным устройствам автомобиля с ДВС. Конструктивное исполнение тягового электропривода электромобиля может состоять из следующих вариантов:

- тяговый электропривод, состоящий из коробки передач и дифференциала;
- тяговый электропривод, состоящий из электродвигателя, неподвижной передачи и дифференциала, объединенных в единую конструкцию;
- тяговый электропривод, в котором механический дифференциал отсутствует и заменен двумя двигателями. Каждый из них вращает одно колесо и обеспечивает различные скорости;
- тяговый электропривод, состоящий из электродвигателя, неподвижной передачи и дифференциала, объединенных в единую конструкцию;
- тяговый электродвигатель, встроенный непосредственно в колесо, имеющий название «мотор-колёсный» привод;
- тяговый электропривод, в котором полностью отсутствует механическая передача между электродвигателем и ведущим колесом, и ротор электродвигателя непосредственно связан с ведущим колесом. Изменение скорости электродвигателя эквивалентно изменению скорости колеса и скорости транспортного средства. Данное расположение требует, чтобы у электродвигателя был высокий вращающий момент.

Современный тяговый электропривод автомобиля предъявляет повышенные требования к основным параметрам и показателям электрооборудования. Значительное место в системе управления ТЭА занимает электроника, роль которой повышается с интеграцией электронных и механических элементов.

УДК 621.3  
РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ СКОРОСТИ  
БЕЗДАТЧИКОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СИСТЕМЕ «ПЧ – АД»

А. С. ТРЕТЬЯКОВ, О. А. КАПИТОНОВ

Научный руководитель Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

В настоящее время самыми распространенными регулируемые электроприводами переменного тока являются асинхронные электропривода по системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Современные преобразователи частоты обладают рядом современных технологий, энергосбережением, и могут работать как с датчиком скорости (энкодером), так и без него (так называемое бездатчиковое управление).

Для того, чтобы реализовать контроль скорости при отсутствующем датчике скорости (энкодере), необходим особый математический аппарат, который будет на основании входных токов и напряжений на двигателе восстанавливать точную форму угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя. Этот аппарат носит имя «наблюдатель состояния».

Наблюдатель состояния – это модель, подключенная параллельно к объекту управления и получающая непрерывную информацию об изменениях регулирующего воздействия и регулирующей величины. Существует много научных работ, на базе которых реализуются различные виды наблюдателей.

В ходе работы над исследованием тепловентиляционных и электромагнитных режимов общепромышленного трехфазного асинхронного электродвигателя был получен адаптивный наблюдатель состояния, который восстанавливает точную форму скорости и момента, с большой точностью для своей работы идентифицирует параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя, наблюдает и корректирует поведение активных сопротивлений фазы статора и ротора.

Работает наблюдатель следующим образом. Сначала с помощью преобразователя частоты формируется сигнал постоянного тока, который подается на две фазы. Далее по опыту амперметра-вольтметра определяется активное сопротивление фазы статора в холодном состоянии. После этого проходит идентификация остальных параметров схемы замещения, которые передаются в математический аппарат восстановления формы скорости и момента. Оригинальность разработки заключается в контроле активных сопротивлений статора и ротора в функции температуры.

УДК 621.372.8:535  
 ВОЛНОВОДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТРУКТУРЫ  $ZrO_2-SiO_2-Si$

С. А. БАГУЦКИЙ, Е. В. ЕРМАКОВА, А. В. ЯНУКОВ

Научный руководитель С. О. ПАРАШКОВ, канд. физ.-мат. наук  
 Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Е. А. ЧУДАКОВ

Научный руководитель А. Б. СОТСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, проф.

Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова  
 Могилев, Беларусь

Туннельное возбуждение волноводных мод посредством призмы связи потенциально является одним из наиболее эффективных методов оптического контроля параметров тонких пленок и слоистых сред. Однако практическая реализация этого метода сталкивается с рядом технологических ограничений. В докладе рассматриваются соответствующие проблемы и сообщается об их успешном преодолении, результатом которого стало создание автоматизированной установки волноводной спектроскопии.

Механическая часть установки и результаты исследования на ней слоистой структуры  $ZrO_2-SiO_2-Si$  представлены на рис. 1.

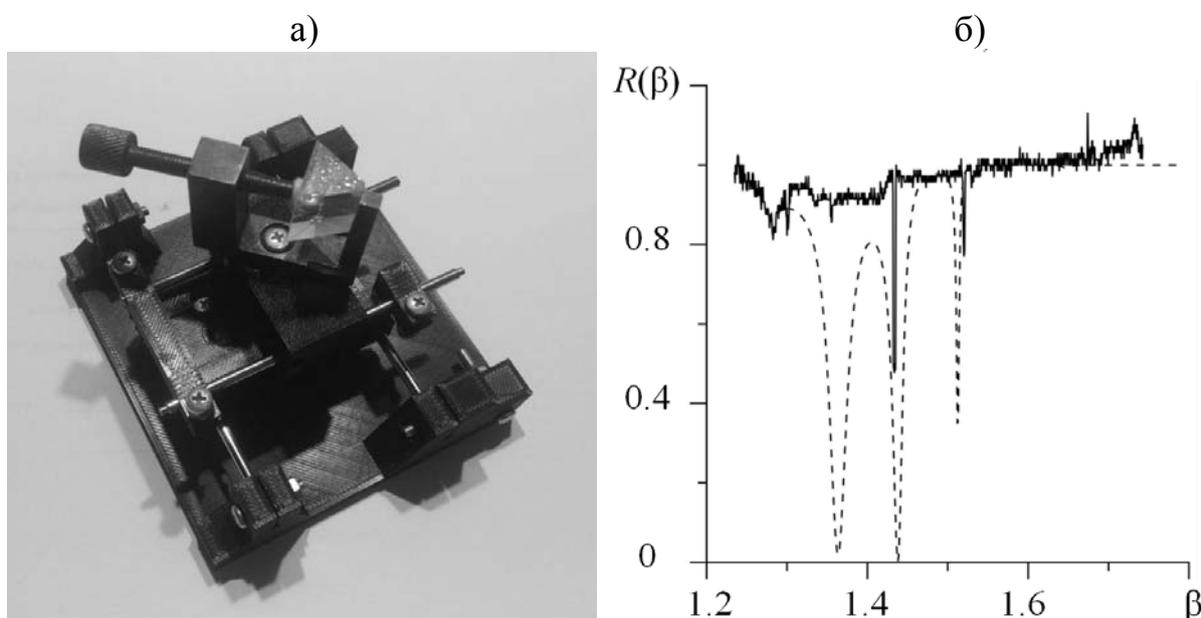


Рис. 1. Двухкоординатный стол экспериментальной установки (а) и угловой спектр отражательной способности структуры  $ZrO_2-SiO_2-Si$  (б) (сплошная кривая – эксперимент, штриховая кривая – расчет)

УДК 681.7.068

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д. Ю. БЕЛОНОГИЙ

РУП ПО «Беларуснефть» – ПУ «Нефтебурсервис»

А. А. МАРКАВЦОВ

Научный руководитель О. В. ХОЛОДИЛОВ, д-р техн. наук, проф.

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

В практике УЗ-контроля наибольшее применение получили контактные преобразователи (рис. 1), в которых выводы контактов припаиваются, либо приклеиваются специальным клеем.

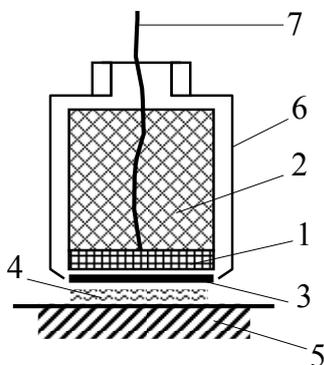


Рис. 1. Контактный преобразователь:  
1 – пьезопластина; 2 – демпфер; 3 – протектор;  
4 – слой контактной жидкости; 5 – объект контроля;  
6 – корпус; 7 – вывод контакта пьезопластины;  
8 – призма; 9 – разделительный экран

В настоящее время нашел применение электропроводящий клей, содержащий хромо-алюмофосфатное связующее, гидроокись алюминия и графит.

Недостатком этого электропроводящего клея являются низкие физико-механические свойства.

Нашей целью была разработка состава с повышенными физико-механическими свойствами, химической стойкостью и совместимостью компонентов на основе дешевого и доступного сырья.

Поставленная задача достигается тем, что для изготовления клея используются графит, поливинилбутираль, графит и этиловый спирт. Было установлено, что оптимальное сочетание прочности и электрических свойств разработанного материала достигается при содержании поливинилбутираля 15...21 %, графита 18...23 %, остальное – этиловый спирт.

При таких составах предлагаемые нами композиции клея превосходят известный по физико-механическим свойствам. Так удельное электрическое сопротивление известного клея составляет  $\geq (1...4) \cdot 10^{-1}$  Ом·см, тогда как в аналогичных условиях для образцов разработанной нами композиции не превышает  $(8...10) \cdot 10^{-2}$  Ом·см. Предел прочности при нормальном отрыве для образца известного клея составляет  $\leq 4$  МПа, тогда как в аналогичных условиях для образцов из предлагаемой композиции она составляет 50...70 МПа.

Разработанный нами электропроводящий клей обладает хорошими физико-механическими характеристиками, что свидетельствует о высокой эффективности и промышленной применимости созданного материала.

УДК 662.99

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКИХ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В. П. БЕРЕЗИНА

Научный руководитель М. В. ПАВЛОВ, канд. техн. наук, доц.  
Вологодский государственный университет  
Вологда, Россия

Термокраска активно применяется в качестве теплоизоляционного материала в различных сферах строительства: для утепления различных ограждающих конструкций зданий и сооружений, наружных и внутренних инженерных сетей и их элементов [1, 2]. Ключевым теплофизическим свойством термокраски является коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), который производители материала, как правило, «занижают». Для определения фактического значения данного параметра в натуральных и лабораторных условиях на кафедре «Теплогазоводоснабжение» Вологодского государственного университета развернута работа по разработке и апробации тепловых методов и средств контроля теплопроводности теплоизоляционной краски российского производства [3, 4].

По результатам многочисленных исследований констатируем: экспериментальные значения коэффициента теплопроводности российских жидкокерамических теплоизоляционных покрытий превышают данные производителя, как правило, в разы, что способствует увеличению расхода материала и повышает стоимость выполняемых работ [1–4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Березина, В. П.** К исследованию коэффициента теплопроводности сверхтонких теплоизоляционных покрытий / В. П. Березина, Ф. Д. Карпов // Техногенная энергобезопасность и энергоресурсосбережение: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Москва: МИЭЭ, 2018. – С. 99–101.
2. **Карпов, Д. Ф.** Алгоритм комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций по анализу термограмм // Строительные материалы и изделия. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 23–28.
3. **Карпов, Д. Ф.** Тепловые методы и средства контроля теплопроводности термокраски / Д. Ф. Карпов // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С. 61–68.
4. **Карпов, Д. Ф.** Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 7. – С. 57–62.

УДК 685.34.01

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ  
К ПРОИЗВОДСТВУ ОБУВИ

В. Д. БОРОЗНА

Научный руководитель А. Н. БУРКИН, д-р техн. наук, проф.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

На современном этапе экономического развития, характеризующемся ростом требований потребителей и глобализацией рынков, решение задач повышения качества и конкурентоспособности продукции приобретает первостепенное значение. В соответствии со Стратегией «Наука и технологии 2018–2040», одобренной II Съездом ученых Республики Беларусь, перспективным направлением утверждено расширение производства композиционных материалов с заданными функциональными свойствами. Решение этих задач требует разработки научно-обоснованных требований и методик, позволяющих оценивать технологические и эксплуатационные свойства материалов для обуви.

На основе анализа нормативной документации и литературных источников определен набор показателей физико-механических свойств материалов, получаемых одноосным растяжением: толщина, поверхностная плотность, разрывная нагрузка или прочность, относительное удлинение при разрыве, коэффициент равномерности по прочности и по относительному удлинению при разрыве, условная относительная деформация, условный модуль упругости и жесткость [1].

Анализ показателей свидетельствует о том, что сравнивать свойства материалов можно только по одному из них – относительному удлинению при разрыве, но при этом нужно учитывать масштабный фактор, т. е. размеры рабочей части образцов и условия испытаний должны быть одинаковы.

Проведенные исследования свойств материалов показали, что регламентируемые показатели недостаточно информативны, т. к. не позволяют в полной мере оценить способность материалов к сложному технологическому процессу формования верха обуви. Таким образом, есть необходимость во внесении дополнительных легко воспроизводимых и более информативных показателей свойств материалов, оценивающих способность материалов принимать и сохранять форму, а значит быть пригодными к формованию заготовок верха обуви различными способами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркин, А. Н. Анализ технологической пригодности материалов к производству обуви / А. Н. Буркин, В. Д. Борозна // Стандартизация. – 2016. – № 1. – С. 52–56; № 2. – С. 48–51.

УДК 677.017.633

ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. И. ИВАШКО

Научный руководитель Д. К. ПАНКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

В процессе испытания водозащитных текстильных материалов с пористым полимерным слоем на водопроницаемость методом высокого гидростатического давления образец материала находится в напряженно-деформированном состоянии, которое может различаться в зависимости от конструктивных особенностей применяемого средства измерения.

Рекомендованный стандартом прибор обладает существенным недостатком – при подаче высокого гидростатического давления зажатый в зажимном устройстве образец материала деформируется. Происходит прогиб (выпучивание) образца и увеличение его площади, уменьшается толщина, нарушается структура образца, а проникание воды на изнаночную сторону материала происходит в результате появившихся в процессе испытания нарушений структуры: увеличения размера пор, микротрещин. Математическое моделирование условий испытания при использовании стандартного прибора позволило получить формулу (1) для расчета искажения  $\Delta P$  значения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания при проведении испытаний на стандартном приборе:

$$\Delta P = c \cdot \gamma \cdot \left( \frac{c}{d_1} - \frac{1}{\sqrt{d_1^2 - \frac{4h^2}{\pi k r^2}}} \right), \quad (1)$$

где  $\gamma$  – коэффициент перехода к единицам системы СИ,  $\gamma = 1,333 \cdot 10^{-3}$  МПа/см рт. ст.;  $d_1$  – средний диаметр наиболее крупных пор полимерного слоя водозащитного материала, мкм;  $r$  – радиус рабочей зоны измерительной ячейки эталонного прибора, мкм;  $k$  – среднее количество крупных пор на единицу площади образца, мкм<sup>-2</sup> ( $d_1$  и  $k$  определены по результатам сканирующей электронной микроскопии образцов);  $h$  – величина прогиба образца при испытании на стандартном приборе, мкм.

По формуле (1) рассчитано искажение величины давления, при котором происходит проникание воды через материал в стандартном приборе. Показано, что в зависимости от деформационных свойств конкретного материала оно может достигать 25 % от измеряемой величины и обоснованы конструктивные изменения измерительной ячейки стандартного прибора для исключения указанного недостатка.

УДК 620.179.14  
ИЗМЕРИТЕЛЬ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ИМПУЛЬСНЫЙ  
ДЛЯ МАГНИТНОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

З. М. КОРОТКЕВИЧ

Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Измеритель магнитной индукции импульсный (ИМИ–И) применим для контроля качества термообработки и структурного состояния изделий разной формы и длиной до 200 мм из ферромагнитных материалов. Процесс «намагничивание-перемагничивание» образцов осуществляется в проходном преобразователе, магнитная индукция определяется путем интегрирования сигнала с измерительной обмотки преобразователя [1].

С целью повышения точности определения магнитных характеристик по начальной кривой намагничивания, а также для получения замкнутой магнитной петли ИМИ–И был модернизирован. В ранее разработанную схему были введены дроссель и шунт, что позволило уменьшить скорость нарастания намагничивающего импульса на входе и таким образом увеличить передний фронт намагничивающего импульса с 30 до 80 мс при намагничивании полем, близким к техническому насыщению в случае инструментальных углеродистых сталей. Внесение таких схемных решений позволяет увеличить точность определения таких параметров, как начальная и максимальная магнитные проницаемости, которые достаточно широко используются при магнитном контроле.

Применение в измерителе двух пар импульсов намагничивания-перемагничивания позволяет строить замкнутую петлю гистерезиса, что дает возможность использовать новые информативные параметры, такие как площадь и ширина петли гистерезиса, новые полевые характеристики, соответствующие максимуму ширины петли, величины магнитной индукции при этих полях.

Новые магнитные характеристики могут быть использованы в многопараметровом контроле, что повысит точность метода.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прибор для измерения магнитной индукции ферромагнитных стержней в процессе импульсного намагничивания-перемагничивания / З. М. Короткевич [и др.] // Приборостроение–2013: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 нояб. 2013 г. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 70–72.

УДК 629.7  
 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННЫХ  
 БЛОКОВ ПО ДАННЫМ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Д. А. КОРСУН

Научный руководитель А. А. ШЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, доц.  
 Военная академия Республики Беларусь  
 Минск, Беларусь

Время, затрачиваемое на поиск места отказа, составляет не менее 80 % от общего времени ремонта электронных блоков (ЭБ) систем авиационного оборудования. Поиск неисправностей ЭБ производится согласно технологическим картам войскового ремонта, которые предполагают анализ электрических параметров. В свою очередь значительную долю в снижении надежности ЭБ составляют внешние воздействующие факторы (ВВФ), которые при диагностике никак не учитываются. Определить место вероятного отказа ЭБ с учетом режима работы и воздействия ВВФ возможно на основании данных, полученных в результате расчета структурной надежности ЭБ. В данном случае, при расчете показателей надежности учитываются табличные значения коэффициента эксплуатации  $K_3$ , которые носят общий характер и не учитывают индивидуальные особенности эксплуатации конкретных ЭБ авиационного оборудования, что приводит к ошибочным суждениям о показателях надежности.

Степень влияния конкретных ВВФ (температура окружающей среды, атмосферное давление, влажность, уровень вибраций, перегрузки) на техническое состояние ЭБ зависит от значений параметров полета. Например, с увеличением высоты уменьшается атмосферное давление, что усиливает негативное воздействие окружающей среды. Информацию о параметрах полета можно получить из бортовых устройств регистрации полетной информации. На основании полетной информации, полученной по данным объективного контроля, определяется среднее значение степени влияния конкретного ВВФ за полет:

$$K_j = \frac{\sum_{m=1}^n K_j(t_m)}{k},$$

где  $K_j(t_m)$  – степень влияния  $j$ -го ВВФ в момент времени  $t_m$ ;  $m$  – количество моментов регистрации параметра полета;  $k$  – число учитываемых ВВФ.

Таким образом, данные объективного контроля позволяют оценивать реальное воздействие ВВФ в условиях летной эксплуатации при определении показателей надежности ЭБ.

УДК 005.6

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Е. В. КРИВОЗУБОВА, Т. А. ЛЕВИНА

Научный руководитель О. Б. БАВЫКИН, канд. техн. наук, доц.

Московский политехнический университет

Москва, Россия

В последние годы для определения параметров шероховатости поверхности активно используют компьютерные программы. Например, в [1] изложен подход совместного применения планшетного сканера и программы MathCad с целью получения и обработки профилограммы.

Дальнейшим направлением развития упомянутого выше подхода является переход от профильной оценки поверхности к интегральной.

В качестве компьютерной программы для обработки изображений всей поверхности образца подходит программное обеспечение Gwyddion [2]. Оно распространяется бесплатно и разработано специально для работы со сканирующими зондовыми микроскопами. При этом в программу можно загрузить файлы распространенных графических форматов (\*.bmp, \*.tif, \*.jpg).

Методика автоматизированного контроля качества на базе планшетного сканера и программы Gwyddion включает в себя следующие шаги.

1. Установка детали на планшетном сканере.
2. Сканирование поверхности детали с сохранением результатов в графическом файле.
3. Обработка файла в программе Gwyddion.
  - 3.1. Загрузка файла в программу.
  - 3.2. Внесение в окошке программы Gwyddion линейных размеров отсканированного изображения (изначально сканер сканирует все поле формата А4).
  - 3.3. Вычисление в программе Gwyddion параметров шероховатости поверхности.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Яковлев, А. В.** Оценка результатов в системе автоматизированного анализа шероховатости поверхности / А. В. Яковлев, А. Н. Миловзоров // Межвузовский сборник научных трудов МИ ВлГУ. – 2001. – № 5. – С. 42–44.
2. Gwyddion – Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM) data analysis software [Electronic resource]. – Mode of access: gwyddion.net.

УДК 528.8:528.029.67/.69

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛАССИФИКАЦИИ  
КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. В. МЕЛЬНИК, П. В. МАНЬКО

Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки

И. В. БОЯРСКАЯ

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

Процесс решения актуальных научных и важных практических задач с использованием космических изображений, как правило, включает в себя процедуру их классификации. Классификация – это процесс обработки сигналов изображения, результатом которого является категорирование (отнесение) каждого из объектов (пикселей), которые находятся в пределах отснятой сцены, к соответствующему классу. При этом исходят из того, что каждому пикселу мультиспектрального изображения соответствует набор значений спектральных признаков или вектор в спектральном пространстве, размерность которого равна полному числу зональных изображений в составе мультиспектрального снимка. Тогда процесс классификации сводится к распределению по определенному методу (алгоритму) всех точек по классам в соответствии с отражательной способностью (значением спектральной яркости) каждого объекта в одной или нескольких зонах электромагнитного спектра. Любой метод контролируемой классификации предполагает наличие обучающих выборок, такой метод называют еще классификацией с обучением.

На тот случай, когда нет обучающих выборок, и поэтому невозможно получить эталонные спектральные признаки каждого из имеющихся классов, существуют методы и алгоритмы неконтролируемой классификации.

Поэтому за неимением эталонной информации для нужд контролируемой классификации предлагается следующая схема исследования мультиспектральных изображений: мультиспектральное изображение – неконтролируемая классификация ISODATA – дешифрирование материалов ДЗЗ – оптимизация количества классов – неконтролируемая классификация K-Means – определение обучающих выборок – контролируемая классификация. Такая последовательность действий позволит получить точные результаты классификации мультиспектрального изображения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник, О. В. Класифікація лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків / О. В. Мельник, П. В. Манько // Scientific Journal «ScienceRise». – 2018. – № 9 (50). – С. 25–30.

УДК 621.372.8

## ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОЛНОВОДНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ЗОНДА СЛОИСТОЙ СРЕДЫ

С. С. МИХЕЕВ

Научный руководитель А. Б. СОТСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова  
Могилев, Беларусь

Рассматривается терагерцовый волноводный зонд, который представляет собой полый металлический волновод кругового сечения, заполненный сухим воздухом. Такой зонд позволяет доставлять импульсное излучение к локальной области изучаемого объекта и получать отраженный сигнал, содержащий информацию об объекте, которая извлекается методом терагерцовой спектроскопии во временной области (методом TDS).

На примере электродинамической модели кожи в виде двух слоев водного раствора альбумина исследовано влияние влажности эпидермиса на спектры амплитуд отраженных мод зонда и амплитудно-фазовые характеристики импульсов, измеряемые методом TDS. Согласно рис.1, максимальная чувствительность зонда наблюдается при использовании моды  $E_{11}$ , находящейся вблизи отсечки. При более высоких частотах моды  $H_{11}$  и  $E_{11}$  переходят в плоскую волну, которая нормально отражается от слоистой среды, из-за чего чувствительность зонда близка к нулю. Для исключения модовых интерференционных эффектов, затрудняющих обработку детектируемых импульсов, в зонде целесообразно использовать диапазон частот, соответствующий одномодовому режиму работы волновода (область между вертикальными штриховыми линиями на рис. 1).

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант № Ф18Р-143/1).

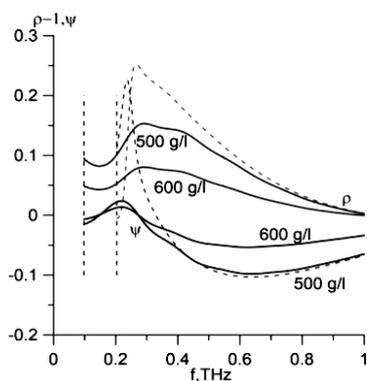


Рис. 1. Чувствительность волноводного зонда к концентрации альбумина в эпидермисе кожи (сплошные кривые – метод TDS при использовании моды  $H_{11}$ , штриховые – TDS для моды  $E_{11}$ , вертикальные штриховые линии – частоты отсечки мод)

УДК 614.8

## ОПЕРАТИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

П. С. ОРЛОВСКИЙ

Научные руководители В. И. ГУМЕНЮК, д-р техн. наук, проф.,

А. В. ЩУР, д-р биол. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Современный уровень технологий требует интенсивного использования радиоизотопов на всех направлениях производства в народном хозяйстве. Соответственно, необходимо осуществлять контроль распространения изотопов на всех этапах жизненного цикла нуклидов. Государственная политика Республики Беларусь в области обеспечения безопасности предусматривает обязательный контроль над распространением и обращением с нуклидными источниками [1, 2]. С целью исполнения действующего законодательства в нашей стране разработано современное оборудование, способное на местности оперативно определять наличие источников радиоактивного излучения, нуклидный состав источников, их происхождение (промышленное, естественное) и формируемую мощность амбиентной дозы. Одним из выпускаемых в республике Беларусь приборов является носимый гамма-спектрометр МКС-АТ6101. Проведение оперативного радиационного контроля с помощью указанного оборудования позволяет принимать необходимые управленческие решения для разработки эффективных мер защиты, направленных на обеспечение нормального качества природной среды и жизнедеятельности человека.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Орловский, П. С.** Прогнозирование риска для жизнедеятельности населения в результате техногенных аварий с выбросами радионуклидов / П. С. Орловский, В. И. Гуменюк, А. В. Щур // Неделя науки Санкт-Петербургского политехнического ун-та: материалы научного форума с международным участием «Высшая школа техносферной безопасности». – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2018. – С. 138–157.

2. **Arlouski, P.** Risks to the population life activity as a result of man-made accident with the emissions of radionuclides / P. Arlouski, V. Gumenyuk, A. Shchur // Abstracts Processing of the Conference Environment knowledge and Policy Innovation between East and West. – Minsk, 2019. – P. 78–80.

УДК 685.34.082

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НИЗА ОБУВИ

А. Н. РАДЮК

Научный руководитель А. Н. БУРКИН, д-р техн. наук, проф.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

В связи с тем, что в настоящий момент применительно к материалам для низа обуви выделяют различные показатели и отсутствуют ТНПА, позволяющие оценивать свойства подошв из синтетических и искусственных материалов, кроме резины, и устанавливающие требования к подобным материалам из отходов, было проведено априорное ранжирование и расстановка приоритетности показателей. Выявлено, что приоритетными показателями являются показатели сопротивления истиранию и сопротивления многократному изгибу [1].

В настоящее время для определения износостойкости подошвенных материалов используют методики проведения исследований на приборах типа Шоппера (ГОСТ 23509–79 *Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности*) и типа Грассели (ГОСТ 426–77 *Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении*). Однако, данные установки и методики не являются универсальными. Поэтому разрабатывались схема и методика для проведения испытаний на приборе, позволяющим получить характеристики истираемости материалов и деталей для низа обуви при скольжении по возобновляемой и невозобновляемой поверхностям на одном приборе с более простой конструкцией. Полученные данные испытаний на истирание образцов сопоставляются с данными, полученными на приборах типа Шоппера и Грассели. В результате выявлено, что график и уравнение тренда сопоставительного анализа имеют зависимость, которая описывается полиномиальной моделью третьей степени с коэффициентом аппроксимации 0,83...0,84 и линейной с 0,71...0,72, что свидетельствует о хорошей связи между полученными результатами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Радюк, А. Н.** Обоснование показателей свойств материалов для оптимизации технологического процесса переработки отходов полиуретана / А. Н. Радюк // Моделирование в технике и экономике: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 23–24 марта 2016 г. – Витебск: Витеб. гос. технол. ун-т, 2016. – С. 148–150.

УДК 634.58  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДРОБЛЕННОГО ГОРОХА С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

М. Д. САМАРИН

Научный руководитель М. Г. КУЛИКОВА, канд. техн. наук, доц.  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

В настоящее время происходит интенсивное развитие пищевой промышленности, вследствие чего возникает необходимость совершенствования используемых методов исследования продукции в производственных лабораториях. Используемые методы не всегда экспрессные, дешевы и просты, вследствие чего может снижаться пропускная способность и общая продуктивность всего предприятия в целом. Именно поэтому необходимо заниматься разработкой и исследованием новых методов исследования продукции.

В основе оптических методов исследования лежит зависимость оптических свойств от среднего размера частиц фракции. Их главным преимуществом является возможность производить измерения быстро и точно, не повреждая образцы, практически любым человеком, т. к. для их воспроизведения не требуется специальных навыков. С помощью этих методов возможно создание различных устройств для контроля степени измельчения зернобобовых культур.

Измерение люминесценции размолов выполнялось на основе аппаратно-программного комплекса, который состоит из многофункционального спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама», компьютера с установленным программным обеспечением «Panorama Pro» и внешней камеры для исследуемых образцов [1].

Были исследованы спектры возбуждения и люминесценции гороха различной степени измельчения, после чего была проведена математическая обработка результатов, состоящая в вычислении определенных интегралов от кривых спектров, физический смысл которых – величина потока люминесценции. Результаты были аппроксимированы линейной функцией, и полученное уравнение зависимости потока люминесценции от среднего размера будет использовано в дальнейшем для создания устройства экспресс-анализа качества измельчения зернобобовых.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беляков, В. М.** Разработка фотолюминесцентного метода определения влажности продукции растениеводства / М. В. Беляков, М. Г. Куликова, М. А. Новикова // Научная жизнь. – 2016. – № 10. – С. 4–11.

УДК 502.211(477.82-751.2)-048.445  
КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ НПП «ПРИПЯТЬ-СТОХОД»  
ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

А. В. УЛЬ, П. В. МАНЬКО

Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки

Ю. А. МЕЛЬНИК

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

Территория Национального природного парка «Припять-Стоход» олицетворяет большинство типичных черт Украинского Полесья, которому присуща значительная лесистость и заболоченность. В структуре земель парка больше болот – 43 %, остальное – леса (35 %), кустарники (16 %) и водный фонд (6 %).

Исходными материалами исследования послужили данные мультиспектрального снимка Sentinel-2 от 10.08.2018 г. На первом этапе неконтролируемая классификация проводилась по алгоритму ISODATA [1] – по ее результатам избрано семь классов, которые четко соответствуют естественным и антропогенным объектам.

На основе определенных по алгоритму ISODATA классов была проведена неконтролируемая классификация по алгоритму K-Means. В результате проведенного статистического анализа распределения пикселей классифицированных изображений было установлено, что в пределах исследуемой территории открытые водоемы составляют 2,09 %, территории, покрытые лесами, – 16,89 %; территории, покрытые молодняком леса и сплошными кустами, – 44,16 %; территории с естественной травяной растительностью – 23,13 %; территории с болотами и болотной растительностью – 9,76 %; а застроенная территория и открытый грунт – 4,90 %.

По результатам проведенного пространственного сравнительного анализа полученных классифицированных изображений и проекта организации природно-заповедной территории НПП «Припять-Стоход» можно утверждать, что для нужд создания и обновления тематических карт состояния природных объектов природно-заповедного фонда, в общем, методы неконтролируемой классификации являются приемлемыми. Однако для выделения детальных естественно-территориальных комплексов необходимо осуществлять контролируемую классификацию с учебными выборками.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник, О. В. Класифікація лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків / О. В. Мельник, П. В. Манько // Scientific Journal «ScienceRise». – 2018. – № 9 (50). – С. 25–30.

УДК 535.2:621.372  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН  
С ВЫРАЖЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ ОКРАСКОЙ

А. В. ШИЛОВ

Научный руководитель А. Б. СОТСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова  
Могилев, Беларусь

Структурная окраска синтетических волокон, используемых в текстильной промышленности, представляет конкурентоспособную альтернативу их окраски с помощью красителей. Структурная окраска волокон может быть достигнута за счет дифракции света в их внутренней области вида двумерного фотонного кристалла [1]. Соответствующие фотонно-кристаллические волокна (ФКВ), образованные периодической системой воздушных каналов циркулярного сечения, были исследованы в [1], где показано, что такой тип каналов при произвольном выборе их размеров и расстояний между ними не позволяет получить контрастную окраску ФКВ.

В докладе исследуются возможности получения выраженной структурной окраски ФКВ за счет поиска оптимальных размеров каналов циркулярного и эллиптического сечений, который производился на основании зонной теории кристаллов и анализа погонных дифференциальных и интегральных сечений рассеяния ФКВ, усредненных для волн ТЕ- и ТМ-поляризации. Для построения сечений рассеяния ФКВ были созданы программы на языке Fortran на основании метода функций Грина и теоремы сложения цилиндрических функций Графа, позволяющих учесть кластерную структуру воздушных каналов ФКВ. Такой учет наличия одинаковых кластеров в диэлектрической матрице оболочки ФКВ позволяет существенно облегчить построение матриц рассеяния ФКВ [1] и рассмотреть большое число каналов субволнового размера. Найденные параметры воздушных каналов позволили увеличить контрастность и монохроматичность спектров сечений рассеяния в несколько раз по сравнению с результатами, представленными в [1].

Работа выполнена при поддержке гранта МО «Разработка методов расчета и оптимальное проектирование фотонно-кристаллических волокон со структурной окраской» и Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника 1.3.03».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сотский, А. Б.** Моделирование структурной окраски фотонно-кристаллического волокна / А. Б. Сотский, О. А. Бельская, Л. И. Сотская // Оптика и спектроскопия. – 2015. – Т. 118, № 5. – С. 847–854.

УДК 004  
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ  
ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И. П. АКУЛИЧ, С. В. АКУЛИЧ  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

При организации процесса дистанционного зондирования Земли космическими аппаратами (КА) лицо, принимающее решение (ЛПР), действует в рамках большого количества неопределенностей, являющихся неотъемлемой частью процессов принятия решений. ЛПР вынуждено исходить из своих субъективных представлений об эффективности возможных альтернатив и важности различных критериев. Для оказания помощи ЛПР в выборе эффективных вариантов решений применяются системы поддержки принятия решений (СППР).

Для организации противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования разработана компьютерная СППР, предназначенная для повышения эффективности процесса противодействия. Следует отметить возможность ее применения при решении народнохозяйственной задач.

СППР позволяет решать многокритериальные задачи принятия решений с использованием математического моделирования.

Функционирование СППР обеспечивается объединением в единую систему методики, математического и программного обеспечений, базы данных.

Элементами СППР являются:

- база данных СППР;
- модель движения КА, обеспечивающая учет параметров орбиты и движения КА;
- модель формирования зоны обзора, учитывающая различные способы ее формирования в зависимости от режима работы бортовой аппаратуры;
- модель объекта (участка местности), обеспечивающая учет параметров объектов (участка местности), которые предполагаются для просмотра бортовыми средствами КА;
- модуль выработки рекомендаций для принятия решений на организацию дистанционного зондирования Земли.

СППР разработана с учетом методов таких научных дисциплин, как системный анализ, технологии баз данных, исследование операций, теория принятия решений.

УДК 66.011:745.522.2

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В. В. БАРКОВ, А. В. КИЛЬДЮШКИНА

Научный руководитель Е. М. БОРЧИК, канд. техн. наук  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Промышленное предприятие на основе заказов, поступивших на производство продукции (тканей), составляет план производства на месяц, включающий подгруппы тканей, артикулы, рисунки/колориты, план на месяц в тысячах метров погонных.

Пусть процесс производства (ПП) готовой ткани состоит из  $N$  последовательно выполняемых технологических операций  $Op_i, i = 1, \dots, N$ , каждая из которых допускает неоднозначный выбор одного из  $M_i$  допустимых технологических режимов (ТР) обработки продукции, производимых на одном из допустимых видов оборудования.

Для выполнения каждого заказа, указанного в плане производства, ткань должна пройти все необходимые стадии обработки. Вследствие возможности вариации выбора оборудования для обработки ткани (отдельного заказа) можно затратить различное количество времени и ресурсов, что при большом количестве заказов играет важную роль при выполнении плана производства. Для более эффективного (быстрого) выполнения заказа необходимо рассмотреть все возможные варианты обработки ткани с учётом затраченного времени. При этом следует учитывать, что одновременно оборудование может обрабатывать только один артикул, что может привести к появлению простоя заказа, ожидающего обработки на данном оборудовании.

Разработаны математическая модель, позволяющая произвести оценку пропускной способности оборудования в соответствии с планом производства в разрезе времени и исключить из плана заказы, вызвавшие превышение максимально возможной пропускной способности. Разработан метод определения оптимальной последовательности выполнения заказов по плану производства, включающий применение генетического алгоритма и метода динамического программирования по принципу оптимальности Беллмана. На основании созданной математической модели разработано программное обеспечение, позволяющее проверить выполнимость плана производства предприятия с учетом пропускной способности имеющегося оборудования, оптимизировать время выполнения плана производства предприятия, обеспечить эффективное использование имеющегося оборудования.

УДК 004.81  
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТЕКСТОВ

Е. Д. ГУМЕННИКОВ

Научный руководитель И. А. МУРАШКО, д-р техн. наук, доц.  
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Беларусь

Задача автоматической генерации эквивалентных текстов заключается в автоматическом создании текста на основе предоставленного образца, обладающего теми же семантическими и стилистическими свойствами, что и оригинал. Решение подобной задачи может быть полезно во множестве отраслей, таких, например, как разработка чат-ботов, обучающих лингвистических программ. Исходными данными для такой программы служит фрагмент текста – образец. Выходными данными же будет текст, эквивалентный предоставленному, но содержащий другие формулировки.

Решение данной задачи путем применения стандартной рекуррентной сети имеет ограничение, связанное с краткосрочностью памяти сети, в предложенной структуре же семантическая, стилистическая и другая информация о тексте оригинала и генерируемого текста кодируется в виде вектора, что позволяет обучить сеть так, чтобы она предоставляла удовлетворительные результаты.

Для решения данной задачи предлагается система, базирующаяся на применении нескольких рекуррентных нейронных сетей. В начале работы системы исходный текст по слову подается на вход первой сети, также на ее входы подаются выходы предыдущих итераций. Цель данной сети – получить вектор численных значений, характеризующий данный исходный текст. Полученный результат подается на вход простого персептрона, чтобы получить единственное значение, хранящее в себе первое слово сгенерированного эквивалента. Далее вектор-характеристика исходного текста и значение первого слова, полученное от простого персептрона, подаются на вход другой рекуррентной сети. Данная сеть на каждой итерации генерирует очередное слово и вектор-характеристику складывающегося текста. На каждой итерации происходит процесс постобучения, в этом процессе ошибкой будет считаться отклонение полученного вектора характеристик от вектора характеристик исходного текста; если же ошибка велика, начинается процесс постобучения на основе градиентного спуска. После этого итерация повторяется до приемлемого результата. Значения весов нейронов, затронутые постобучением, не сохраняются, они нужны лишь в рамках текущей генерации.

Таким образом, предложенная архитектура превосходит стандартную *RNN*-сеть, сохраняя ее простоту. За счет уменьшения общего количества нейронов достигается улучшение производительности относительно *LSTM*.

УДК 004.8

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

М. Д. ЖЛОБНИЦКИЙ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

Искусственный интеллект – это способность программы или компьютера в целом мыслить, как человек. Особенностью данной сферы является обучение компьютера творческим функциям, которые традиционно считались подвластными лишь человеку.

Особенность исследований в области искусственного интеллекта состоит в том, что в первую очередь происходит изучение умственных способностей самого человека, а потом полученные результаты уже используются в разработке программ и интеллектуальных систем.

Существуют две основные цели, которые преследуют эксперты в области искусственного интеллекта. Первой целью является создание систем, которые могут демонстрировать разумное поведение, т. е. могут объяснять, учиться и даже давать советы. Такие системы принято называть экспертными. Второй целью является создание машины, которой под силу будет вести себя, как человек, т. е. способную думать и понимать.

Существует несколько методов обучения искусственного интеллекта, каждый из которых по-разному может использоваться в образовательных процессах. Метод проб и ошибок основан на бесчисленном количестве экспериментов, а также последующем анализе результатов. Благодаря этому нейронные сети уже сейчас могут точно выдавать ответы на поставленные вопросы и улучшать сочинения.

Метод распределения всех поступающих в сеть данных на истинные и ложные позволяет создавать очень реалистичные данные, что позволяет создавать пейзажи в кино и компьютерных играх. Говоря об образовании, следует отметить, что данное распределение благодаря фильтрации сильно улучшает образовательный контент, избавляя его от некорректных данных.

Распознавание речи является одним из наиболее долгосрочных проектов в обучении искусственного интеллекта. Уже сейчас все крупные организации обзавелись собственными голосовыми помощниками, но всё же их работа до сих пор нестабильна и неидеальна. Благодаря данному проекту искусственный интеллект уже в ближайшем будущем сможет справляться с преподавательскими функциями или помогать людям в изучении языков, становясь их партнёрами по диалогу.

Таким образом, искусственный интеллект уже в ближайшие годы сможет вывести образовательные процессы на новый уровень.

УДК 004.08

## ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

М. Д. ЖЛОБНИЦКИЙ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

В наше время термин «облачные вычисления» применим для абсолютно любого сервиса, функционирующего в сети Интернет.

Данная технология получила право на жизнь благодаря активному развитию аппаратного обеспечения: растут объёмы жёстких дисков и мощности вычислительных машин, всё более и более масштабной становится многоядерная архитектура. Следует также отметить, что не только аппаратное обеспечение с каждым днём становится всё более инновационным, но и сами интернет-каналы стали значительно шире и быстрее за последние годы.

Облачные технологии – это своего рода технологии обработки данных, суть которых состоит в предоставлении компьютерных ресурсов пользователям в виде онлайн-сервисов. Другими словами, у пользователей через сеть Интернет появляется удалённый доступ к различным файлам, приложениям и другим видам информации.

Если сравнивать с традиционным подходом, то в качестве самого большого плюса облачных технологий можно выделить возможность управления гораздо более крупными инфраструктурами, а также возможность обслуживания пользователей из различных групп благодаря лишь одному облаку.

В качестве главного минуса облачных технологий можно выделить полную зависимость безопасности и целостности данных пользователей от владельцев той или иной облачной технологии (провайдеров), что свидетельствует о том, что следует очень ответственно относиться к выбору компании для использования соответствующих инноваций.

В наши дни актуально также использование облачных технологий в образовательных процессах. Ключевой возможностью в этом является совместная работа учащихся и преподавателей университетов над различного рода документами. Так, например, студенты могут разбиваться на группы, делать свою часть работы и отправлять всё в единый облачный файл, к которому будут иметь доступ все остальные участники работы. Такие возможности значительно ускоряют учебный процесс, а также налаживают коммуникацию между учащимися.

Таким образом, облачные технологии сейчас активно используются в образовательных процессах, а через несколько лет, скорее всего, они и вовсе станут незаменимы.

УДК 629.7  
**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ОБУЧЕНИЯ  
 НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ФИГУР ПИЛОТАЖА**

С. А. КОРШАК

Научный руководитель В. Р. ВАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц.  
 Военная академия Республики Беларусь  
 Минск, Беларусь

В [1] приведено решение задачи классификации элементов и фигур пилотажа самолета по структурному описанию последовательности пространственных движений. Для определения класса пространственного движения была применена нейронная сеть (НС) прямого распространения, весовые коэффициенты которой определены методом обратного распространения ошибки. При реализации алгоритма обучения НС одним из важных вопросов является выбор оптимальных значений параметров коэффициентов скорости  $\eta$  и импульса (момента)  $\alpha$ , позволяющих ускорить сходимость алгоритма обучения. Значения данных параметров были определены экспериментально  $\eta = 0,3$ ,  $\alpha = 0,5$  (рис. 1) исходя из условия сходимости алгоритма обучения к локальному минимуму на поверхности ошибок за минимальное количество эпох обучения  $N_{\min}$  [2].

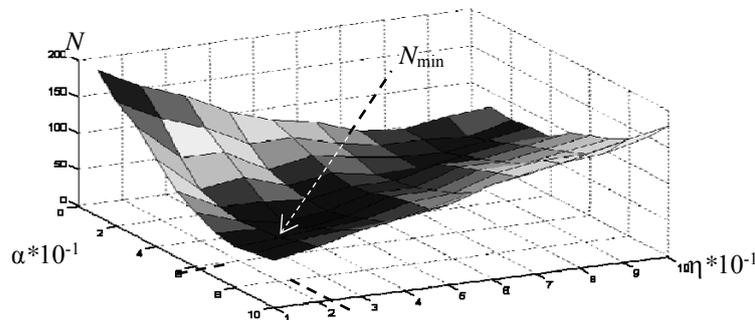


Рис 1. График зависимости количества эпох обучения  $N$  от коэффициентов импульса  $\alpha$  и скорости обучения  $\eta$

В этом случае ошибка обучения  $E = 0,07$ , затраченное время не превысило 40 мин (Intel Core i5, среда моделирования – MATLAB) [1].

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коршак, С. А.** Классификация элементов и фигур пилотажа самолета с использованием комбинирования нейросетевого и синтаксического методов / С. А. Коршак, В. Р. Вашкевич // Вестн. ВАРБ. – 2019. – № 2 (63). – С. 69–79.
2. **Хайкин С.** Нейронные сети / С. Хайкин. – Москва: И. Д. Вильямс, 2006. – 1070 с.

УДК 004.4  
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
АЭРОЗОЛЬНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВАМ РАЗВЕДКИ

Н. Н. НЕБОРСКАЯ

Научный руководитель В. М. БУЛОЙЧИК, д-р техн. наук, проф.  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

Военные специалисты разных стран разрабатывают аэрозольные средства маскировки, которые могли бы использоваться в различных условиях ведения боевых действий. Большое внимание уделяется новым средствам, способным снижать эффективность современного вооружения, оснащенным не только оптическими, но и инфракрасными и радиолокационными устройствами обнаружения и наведения на цель.

Развитие оптических средств разведки противника актуализирует задачу эффективного применения аэрозольных средств маскировки.

Данная задача может быть решена на основе применения математической модели аэрозольного противодействия средствам разведки противника с учетом расположения средств аэрозольной маскировки и их характеристик, а также метеорологической информации. Это позволит с большой точностью выполнить имитацию средств аэрозольного противодействия и прогнозировать последствия их применения. При неправильном выборе местоположения аэрозольных средств маскировки и момента времени их включения объекты маскировки могут быть обнаружены противником.

Для решения поставленных задач может быть использован макет программного комплекса «Волма СЧ», содержащий имитационную модель аэрозольного противодействия оптическим средствам разведки воздушного противника.

Макет модели содержит следующие модули: базу данных технических средств постановки аэрозольных помех; базу данных состояния атмосферы; базу данных обороняемых объектов; базу данных технических средств противника; цифровую карту местности; интерфейсный модуль; модуль отображения данных для цифровой карты местности; модуль документирования процесса моделирования и диагностирования функционирования модели; алгоритмический модуль.

В докладе будет рассмотрен алгоритмический модуль, содержащий блоки расчета и построения трассы движения воздушного противника и расчета зоны формирования и распространения аэрозольного облака с учетом метеорологических параметров и рельефа местности, а также блок обнаружения противником прикрываемых объектов.

УДК 004.6  
ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

Д. С. ОТОРОВ

Научный руководитель И. Е. ПАРФЕНЬЕВА, канд. техн. наук, доц.  
Московский политехнический университет  
Москва, Россия

Информационные технологии являются неотъемлемой частью прогресса. Все большее количество предприятий нуждаются в интеграции информационных технологий в производственные процессы.

Это свидетельствует о том, что рынку необходимо новое видение, которое способно без потери качества ускорить производство, а также снизить стоимость выпускаемой продукции. Четвертая промышленная революция в большей степени направлена на индивидуализацию. Такое решение позволит каждому из нас не выбирать из предложенного, а сосредоточиться на собственных предпочтениях. На сегодняшний день мы научились автоматизировать процессы, устанавливая планку качества и отбраковывать выпускаемую продукцию с различными дефектами. Все это в той или иной степени присутствует на различных предприятиях, но новое видение заключается в другом.

Четвертая промышленная революция стремится выйти за рамки последовательных сценариев в производстве продукции с использованием искусственного интеллекта. Индустрия 4.0 подразумевает также прозрачность жизненного цикла продукции и персонализацию. И то и другое до недавнего времени было недоступно, но увеличивающийся спрос, конкуренция на рынке и возможности передовых компаний сделали это возможным. На сегодняшний день персонализация у лидирующих производителей развита хорошо, чего нельзя сказать о прозрачности. Лишь незначительная часть компаний предоставляет доступ к жизненному циклу продукции, опираясь на централизованную базу данных, остальная часть либо вовсе не располагает такими данными, либо они в закрытом доступе. Централизованное хранение данных обязывает потребителя доверять третьему лицу. Прозрачность подразумевает открытость всего жизненного цикла продукции без возможности изменения данных после добавления за счет децентрализации. Это повышает доверие пользователей к используемой продукции, а также к производителю в целом.

Данный подход в Индустрии 4.0 реализуется с использованием перспективной технологии Blockchain. Технология имеет ряд существенных преимуществ, которые выражаются не только во взаимоотношениях производитель-потребитель, но и на различных этапах производства продукции.

УДК 658.5

## SCRUM-СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ПРИЛОЖЕНИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

О. Г. САВОСТИКОВА

Научный руководитель Т. А. ЛЕВИНА, канд. экон. наук.

Московский политехнический университет

Москва, Россия

Виртуальная реальность (далее VR) незаметно вошла в нашу повседневную жизнь. Обучение, моделирование, рисование, развлечения, бизнес-презентации – все это виртуальная реальность, которая помогает взглянуть на привычные вещи изнутри, погрузиться в объект, картину, игру и т. д. По оценкам экспертов, рынок программного обеспечения (ПО), разработанного для очков виртуальной реальности, вырастет до 5 млрд долл. Разработка ПО для этой популярной технологии требует особого контроля и подхода.

Основная проблема – оценка критериев качества продукции и точное определение требований, которые выдвигает заказчик, т.к. остро стоит вопрос о снижении вероятности ситуации с заказчиком: «Мы не совсем так это видели».

При работе по системе управления SCRUM – согласование визуальных деталей с заказчиком строится короткими «спринтами», после которых ответственными лицами с заказчиком принимается решение, пройден ли этап разработки или его надо переделать. При этом строго фиксированная небольшая длительность «спринта» придает процессу разработки предсказуемость и гибкость. Таким образом, это оптимальный инструмент управления проектами, который несет в себе положительные аспекты: мгновенная переналадка; наглядность применения карты «спринта» с матрицей ответственности.

Подведем итоги. SCRUM – простой и действенный метод управления при разработке визуального ПО. Внедрить и работать просто. Заказчик удовлетворен. Минус – грамотно определить время «спринта» (сначала лучше сделать более сложные вещи) и первостепенные требования (что обязательно, а чем можно пренебречь). Разработка рекомендаций по внедрению и интеграции в СМК по ГОСТ Р ИСО 9001–2015 SCRUM-системы может существенно облегчить управление проектными процессами, продуктом которых является визуальный продукт.

УДК 005.6  
НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д. В. САФРОНОВ

Научный руководитель О. Ф. ВЯЧЕСЛАВОВА, д-р техн. наук, проф.  
Московский политехнический университет  
Москва, Россия

К работе информационного обеспечения выдвигается ряд требований, таких как обеспечение направленности используемой информации, единство информации, оперативность, постоянное совершенствование, эффективность (рациональность), объективность и др. Разберем смысл, заложенный в некоторые из требований. Предприятие в какой-то момент своего развития не справляется с управлением. Обнаруживается недостаток необходимой информации или избыток сложно сопоставимых данных, поступающие из подсистем. Это значит, что одна или несколько локальных систем управления не могут справиться с более развитым предприятием, чем те, для которого была разработана та или иная система.

Чтобы развитие и функционирование предприятия не прекращалось или не замедлялось, необходима комплексная система управления, включающая как старые, так и новые аспекты менеджмента. Под аспектами подразумеваются не только технологические задачи и проблемы постановки менеджмента, но и проблемы совершенствования имеющейся системы или выбора и порядка внедрения более современной информационной системы управления.

Существует несколько вариантов решения таких проблем:

- расширение информационной системы управления путём внедрения новых информационных ресурсов;
- регулярное уточнение приоритетов, целей и задач информационного обеспечения каждого отдела предприятия;
- подготовка и реализация комплексных программ обучения управляющего персонала.

Предприятие решает самостоятельно, по какому пути двигаться в сфере совершенствования своей системы управления после взвешивания своих ресурсов и анализа своих возможностей.

Но всегда предпочтительней профессионально сделанный продукт, который имеет два главных преимущества: сроки выполнения и гарантированная функциональная работоспособность.

УДК 338.47  
ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ВИДОВ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. В. ГАЛКОВСКАЯ, Т. А. ПОДОШЕВКО  
Научный руководитель Т. М. ЛОБАНОВА  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Объектом исследования выступает филиал № 2 «ЦемАвто» Государственного предприятия «Управляющая компания холдинга «Белорусская цементная компания», основной деятельностью которого является перевозка грузов Белорусского цементного завода.

За последние два года филиал № 2 «ЦемАвто» увеличил объём производства на 26,9 %. Наблюдается тенденция роста выручки от реализации товаров, продукции, работ, услуг в 2017 г.

В целях диверсификации видов деятельности предприятия, расширения спектра оказываемых услуг и повышения его финансовой устойчивости было рассмотрено такое мероприятие, как открытие на территории предприятия мойки и станции технического обслуживания крупнотоннажного транспорта.

Для данного мероприятия существует несколько предпосылок. Во-первых, г. Костюковичи не имеет станций ТО и ремонта для таких машин, как самосвалы, и других крупнотоннажных транспортных средств, а также в городе отсутствуют автомойки. Во-вторых, г. Костюковичи находится вблизи границы с Российской Федерацией и через него проходят транзитные потоки в другие населенные пункты. Следовательно, существует объективная потребность в данных услугах и предлагается создать их на базе филиала № 2 «ЦемАвто».

Оценка ожидаемого эффекта от данного мероприятия производилась путём построения дерева решений. На основе экспертных оценок и анализа тенденций на рынке строился оптимистический и пессимистический прогноз спроса на оказываемые услуги, Также были рассмотрены варианты приобретения или аренды оборудования для станции. Предполагаемый доход определялся как математическое ожидание возможных исходов и их вероятностей.

В результате расчётов ожидаемая выручка автомойки за год составит около 19 тыс. р., а СТО – около 37 тыс. р.

Таким образом, мероприятия по расширению перечня оказываемых услуг будут целесообразны и выведут предприятие на новый уровень уже как самостоятельную единицу на рынке автотранспортных услуг.

УДК 652.152

## СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ»

Е. С. ГРУЗНЕВИЧ, Н. В. ТРОЯН

Научный руководитель А. А. КАХРО, канд. экон. наук, доц.  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

Словосочетание «устойчивое развитие» многогранно, однако прежде чем перейти к его сущности, необходимо раскрыть содержание его слагаемых – «устойчивости» и «развития».

В первую очередь было проведено обобщение признаков устойчивости, что позволило выделить наиболее существенные из них: адаптивность и эластичность по отношению к внешним воздействиям; состояние покоя системы – устойчивого равновесия; наличие внешних или внутренних факторов и сил, возвращающих систему к исходному или близкому к исходному состоянию; возможность нормальной работы после нарушения заданного режима без потери прежнего качественного состояния системы; естественная возможность малых отклонений от исходного положения или траектории (как позитивных, так и негативных); отсутствие резких колебаний; длительность сохранения определенного уровня параметров системы; эффективность выполняемых функций.

Далее проведен анализ особенностей различных типов развития (индустриального, инновационного, общественно-исторического, научного, территориального) и выделены характеристики, присущие термину «развитие»: преимущественно качественные изменения; позитивная направленность изменений; невозможность возврата к старому состоянию; усложнение целей и задач при переходах к другому состоянию; наличие разнообразных путей реализации целей; наличие гармоничных связей с окружающей средой и между элементами системы; длительность перехода с предыдущего этапа на последующий; сбалансированность и эффективность использования имеющихся ресурсов; расширение возможностей в обновлении и реагировании на переменные окружения; осуществление с помощью решений инновационного характера и стандартных действий, адаптированных под конкретный объект.

Проведенное исследование позволило определить сущность понятия «устойчивое развитие» как процесс непрерывного, целенаправленного и позитивного развития на основе согласованной экономической деятельности, эффективного управления трудовыми ресурсами и охраны окружающей среды с целью оперативного реагирования на изменение внешних и внутренних факторов среды и удовлетворения потребности организации в долгосрочном существовании.

УДК 001.895  
ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Я. В. ЕМЕЛЬЯНЧЕНКО

Гомельский филиал Международного университета «МИТСО»  
Гомель, Беларусь

Ключевым параметром инновационного развития организации является ее инновационная активность. В качестве объекта исследования выбрана Гомельская область. Удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции организациями промышленности Гомельской области в 2018 г. составил 38 %, что превосходит аналогичный показатель по всем остальным областям страны [1]. Сведения об инновационной активности организаций области за 2014–2018 гг. представлены в табл. 1.

Табл. 1. Сведения об инновационно-активных организациях Гомельской области

Показатель	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Отклонение (+/-) 2018 г. от 2014 г.
Количество инновационно-активных организаций, ед.	38	31	36	35	38	0
Доля инновационно-активных организаций в общем числе обследованных организаций, %	14,4	12,7	15,4	15,2	16,8	2,4
Доля отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объеме отгруженной продукции (работ, услуг), %	18,5	11,9	25,9	33,7	38	19,5

В 2018 г. в Гомельской области насчитывалось 38 инновационно-активных организаций, как и пять лет назад. При этом их удельный вес в общем числе обследованных организаций увеличился и составил 16,8 %, что на 2,4 п. п. больше показателя 2014 г. Также возросла и доля отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объеме отгруженной продукции (работ, услуг). За 5 лет данный показатель увеличился с 18,5 до 38 %, т. е. более чем в 2 раза. Таким образом, можно говорить о том, что концентрация усилий организаций Гомельской области по инновационному развитию в 2018 г. была значительно выше, чем 5 лет назад.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наука и инновации [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 05.07.2019.

УДК 338.2  
ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭКОНОМИКИ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М. Д. ЖЛОБНИЦКИЙ  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

В настоящее время можно наблюдать неограниченный рост финансовой системы. Это приводит к активному развитию производств и промышленности в целом. С каждым днём растут границы предприятий, благодаря чему развиваются товарные и рыночные отношения, но это наносит огромный ущерб окружающей среде и экологии в целом.

«Зелёная» экономика – это особая модель экономики, основной идеей которой является представление экономики как зависимого компонента природной среды, частью которой она выступает и в пределах которой существует. Главная цель «зелёной» экономики – развитие производств таким образом, чтобы это не наносило ущерб окружающей среде планеты.

«Зелёную» экономику уже не назвать новшеством, как пример, в большинстве стран Европы данная политика активно применяется в экономической деятельности.

Существует три аксиомы, на которых строится современная «зелёная» экономика: в ограниченном пространстве бесконечно расширять сферу влияния невозможно; существует взаимосвязь между всем, что находится на планете; невозможно удовлетворить бесконечно растущие потребности человека в условиях ограниченности ресурсов окружающей его среды.

Программа UNEP составила список основных принципов «зелёной» экономики. Первым и очень важным принципом является эффективное использование имеющихся ресурсов, не менее важно при этом правильно оценивать природный и социальный капитал. В рамках «зелёной» экономики важна справедливость и объективность, а также согласованность с принципами устойчивого развития.

Говоря о Беларуси, можно выделить следующие принципы, в рамках которых «зелёная» экономика сможет успешно существовать: дальнейшее развитие и поддержка природоохранного законодательства, увеличение сектора органической хозяйственной деятельности, рассмотрение и продвижение проектов, связанных с эко-инновациями, введение определённых мероприятий, связанных с энергоэффективностью в городах Республики Беларусь, а также создание комфортных условий для привлечения различных иностранных инвестиций.

УДК 330.4

СОВРЕМЕННАЯ ФИЛОСОФИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ  
И УСПЕХА В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Д. В. ЛАБУН

Научный руководитель Г. М. НАЛИВАЙКО, канд. экон. наук, доц.  
Барановичский государственный университет  
Барановичи, Беларусь

Развитие цифровой экономики, индустрии 4.0 является ключевой тенденцией развития нового мира в условиях внедрения инноваций и работы нестандартно мыслящих людей. Глобальная цифровизация мировой экономики коренным образом меняет рынки, социально-экономические отношения, способы и возможности ведения бизнеса. Наиболее заметно это проявляется в высокотехнологичных отраслях (IT, телекоммуникации, финансы, торговля), однако в обозримом будущем процессы так называемой цифровой трансформации станут тотальными.

Некоторые считают цифровую трансформацию бизнеса базисом для корпоративной стратегии на ближайшие годы. Таким образом, организациям необходимо выстроить свою информационную систему управления и как следует использовать аналитические модели и приложения для принятия управленческих решений, отвечающих требованиям цифровой трансформации [1].

В настоящее время бизнес-анализ является основой управления компанией во многих развитых странах. Белорусский бизнес также осознает необходимость четкой организации, оценки и контроля своей деятельности. В связи с этим для крупных предприятий, попавших в зону действия цифровой экономики, особое значение приобретает качество и скорость информационно-аналитической поддержки корпоративного управления.

Использование бизнес-аналитики повышает качество и оперативность управленческих решений, а также помогает управлять бизнес-процессами, что приводит к повышению конкурентоспособности организации.

Бизнес-аналитика отличается от ручного анализа показателей в таблицах Excel и вопрос не только в скорости. Бизнес-аналитика представляет собой автоматизацию процесса сбора информации и построения отчетности, в то время как работа с Excel предполагает, что анализируемые данные кто-то должен собрать из всех информационных источников организации, привести к единому шаблону и только потом уже формировать отчетность.

В настоящее время ведущие поставщики бизнес-приложений для корпоративного сектора экономики (IBM, SAS Institute, SAP) предлагают аналитические сервисы и платформы, выполняющие требования экономики 4.0. Таким образом, развитие систем бизнес-аналитики представляет организациям методы, модели и технологии принципиально нового качества – в соответствии с вызовами цифровой экономики [2].

Как показывают результаты исследований, успешное внедрение бизнес-аналитики требует серьезной подготовительной работы и ряда организационных мер в рамках организации в целом. Они включают поддержку руководства, эффективных стратегий управления данными и внедрение аналитической культуры. Без учета этих факторов инвестиции в бизнес-аналитику не принесут ожидаемых результатов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лабун, Д. В.** Бизнес-аналитика: состояние и перспективы развития / Д. В. Лабун // Инновационное развитие экономики и права в контексте формирования национальной безопасности: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 14–15 марта 2019 г. – Барановичи: БарГУ, 2019. – С. 124–126.
2. **Брускин, С. Н.** Методы и инструменты продвинутой бизнес-аналитики для корпоративных информационно-аналитических систем в эпоху цифровой трансформации / С. Н. Брускин // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12, № 3-1. – С. 234–239.

УДК 338.48

## ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ВО ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА

П. Л. МАРИНЕНКО, Т. Н. ИВАНЬКОВА

Научный руководитель Т. В. РОМАНЬКОВА, канд. экон. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

В настоящее время развитию внешнеэкономической деятельности региона способствует внедрение и использование принципов логистики, направленных на оптимизацию затрат и логистическое управление потоками: финансовыми, материальными, информационными, сервисными и кадровыми.

Основными параметрами, характеризующими потоки, перемещаемые при осуществлении внешнеэкономической деятельности, являются:

- источник возникновения потока;
- направление и периодичность движения потока;
- скорость и интенсивность движения потоков.

Логистическое управление потоками внешнеэкономической деятельности приведет к образованию положительного сальдо:

- материального потока (превышение материального потока, выходящего за пределы Могилевской области, над материальным потоком, входящим от внешних поставщиков);
- финансового потока (превышение регионального экспорта над импортом);
- информационного потока (уменьшение числа претензий и рекламаций от зарубежных потребителей; увеличение количества заказов на продукцию товаропроизводителей Могилевской области);
- сервисного потока (превышение потока услуг, оказываемых организациями Могилевской области для удовлетворения спроса внешних потребителей, над потоком услуг, получаемых внутренними потребителями);
- кадрового потока (обеспечение оптимального баланса между входными и выходными потоками).

Таким образом, общий эффект будет выражен в следующем: производстве, ориентированном на внешний рынок; установлении долгосрочных хозяйственных отношений с поставщиками; снижении простоев оборудования; оптимизации запасов сырья, материалов и готовой продукции; повышении качества выпускаемой продукции; оптимизации численности персонала (вспомогательных рабочих); повышении эффективности использования производственной и складской площадей; снижении потерь материальных ресурсов.

УДК 339.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ПРЕДПРИЯТИЯ

М. В. МОРОЗ, Н. В. КОТЕЛЬНИКОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

ОАО «Рогачевский молочноконсервный комбинат» – одно из крупнейших молокоперерабатывающих экспортно-ориентированных предприятий Беларуси. На сегодняшний день на предприятии выпускается более 80 видов продукции, которая широко известна как в Беларуси, так и за ее пределами. Основным внешнеторговым партнёром является Россия, с успехом развиваются торговые отношения с Казахстаном, Украиной, Азербайджаном, Грузией, Узбекистаном и другими странами СНГ.

Основным стратегическим направлением повышения эффективности реализации продукции предприятия на внешний рынок является освоение рынков других стран ближнего и дальнего зарубежья.

Предприятию для продвижения своей продукции на рынки стран Западной Европы предлагается использовать новые тенденции в реализации товаров – система «частная марка» («private label»). Private label – это концепция, предусматривающая производство продуктов одной компанией и использование таких продуктов другой компанией под своим брендом (маркой). Система «private label» является эффективной при больших объемах продаж, что напрямую зависит от уровня развития торговых сетей.

Примером использования такой системы может стать сотрудничество с российской компанией «Вимм Билль Данн». Сгущенное молоко, производимое комбинатом, будет поставляться на рынки дальнего зарубежья под торговой маркой, принадлежащей компании «Вимм Билль Данн» – «Веселый молочник». Для ОАО «Рогачевский МКК» это позволит получать постоянный объём заказов, экономя на рекламе своей продукции и поиске покупателей, а компания «Вимм Билль Данн» имеет выгодный товар, в цену которого не входят маркетинговые расходы. Таким образом, продажа сгущенного молока под чужой торговой маркой позволит сделать товар конкурентоспособным и более доступным по цене для европейского потребителя.

Применение данной стратегии позволит повысить объемы реализации готовой продукции на внешний рынок, завоевать зарубежного потребителя, в большем объеме загрузить производственные мощности, укрепить каналы сбыта, расширить географию реализации продукции, снизить расходы на рекламу и повысить результаты производственной деятельности предприятия.

УДК 332.12

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ  
МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. А. ПОДОШЕВКО

Научный руководитель Т. Г. НЕЧАЕВА, канд. экон. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Привлечение прямых иностранных инвестиций в экономику региона является приоритетным направлением его социально-экономического развития. Динамика привлечения данных инвестиций в Могилевскую область представлена в табл. 1, из которой видно, что в 2018 г. их сумма уменьшилась на 24,1 %. Уменьшение наблюдается в городах и 12 районах области (60,9 %).

Табл. 1. Динамика прямых иностранных инвестиций на чистой основе по районам Могилевской области в 2016–2018 гг.

В тысячах долларов США

Район	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Изменение	
				2017 г. от 2016 г.	2018 г. от 2017 г.
Могилевская область	29 155,5	100 173,0	76 036,9	71 017,5	-24 136,1
В том числе районы:					
Бельничский	0,5	212,4	-20,2	211,9	-232,6
Бобруйский	499,8	1 085,0	593,9	585,2	-491,1
Быховский	2 786,6	909,5	510,2	-1 877,1	-399,3
Глусский	29,9	25,4	6,6	-4,5	-18,8
Горецкий	1 746,9	2 253,1	991,2	506,2	-1 261,9
Дрибинский	-	-	0,4	-	0,4
Кировский	1,6	382,0	24,5	380,4	-357,5
Климовичский	2,6	4,8	13,2	2,2	8,4
Кличевский	0,1	28,2	7,5	28,1	-20,7
Костюковичский	197,8	272,0	105,8	74,2	-166,2
Красницкий	-	-	9,3	-	9,3
Кричевский	140,5	-	920,6	-140,5	920,6
Круглянский	2,6	33,2	26,9	30,6	-6,3
Могилевский	20 446,7	10,1	11 720,6	-20 436,6	11 710,5
Мстиславский	8,2	35 266,7	93,7	35 258,5	-35 173
Осиповичский	2 696,3	153,3	9 798,6	-2 543	9 645,3
Славгородский	400,6	6 280,5	124,6	5 879,9	-6 155,9
Хотимский	-	108,5	2,8	108,5	-105,7
Чаусский	79,2	3,4	736,5	-75,8	733,1
Чериковский	307,7	100,8	17 938,5	-206,9	17 837,7
Шкловский	0,6	380,6	5,5	380	-375,1
г. Могилев	-9 230,7	41,2	38 777,5	9271,9	38 736,3
г. Бобруйск	9 038,0	47 954,2	-6 351,3	38 916,2	-54 305,5

Для решения выявленных проблем необходимо формирование стратегии устойчивого инвестиционного развития области.

УДК 338.2  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Н. Д. РАНЦЕВ, Т. А. БОРОДИЧ

Научный руководитель Т. Г. НЕЧАЕВА, канд. экон. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Транспорт как неотъемлемая часть логистики потребляет около 50 % всех затрат, выделенных на логистику. Таким образом, вопрос правильной и рациональной организации транспортно-логистической деятельности крайне важен для любого предприятия.

Объектом исследования выступает ТРУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги», основным видом деятельности которого является управление перевозками железнодорожным транспортом. Проведенная оценка качества транспортных услуг показала, что уровень потенциала обслуживания находится на высоком уровне, в интервале 8–10 баллов.

По результатам исследования были предложены следующие пути совершенствования его деятельности:

- применение экономико-математических методов и моделей для совершенствования транспортно-логистической деятельности;
- проведение модернизации транспортно-логистической деятельности;
- использование контекстной рекламы как инструмента для привлечения дополнительных клиентов и увеличения объема транспортно-логистических услуг.

В результате предложенных направлений совершенствования был спроектирован план транспортно-логистического центра ТРУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги».

На базе модели системы массового обслуживания были посчитаны основные характеристики и проведена оптимизация параметров склада спроектированного центра.

Проведенные финансовые расчеты по проекту и анализ полученных значений показателей позволяют охарактеризовать проект как высокодоходный; контекстная реклама характеризуется высокой рентабельностью; расчеты модернизации подтверждают целесообразность предложенных решений.

Таким образом, совершенствование транспортно-логистической деятельности отделения, своевременное выявление и устранение отрицательных факторов позволят улучшить финансовые результаты предприятия и его финансовое состояние.

УДК 656:025

## ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА ОБЛАСТНЫХ ГОРОДОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Е. А. СИМАЕВ, Н. А. БОБРОВ

Научный руководитель Т. В. РОМАНЬКОВА, канд. экон. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Транспортная система города Могилева представляет собой взаимодействие различных видов городского транспорта, обеспечивающих перевозку грузов и пассажиров по городу и за его пределами между населенными пунктами. Она имеет сложную структуру (рис. 1).

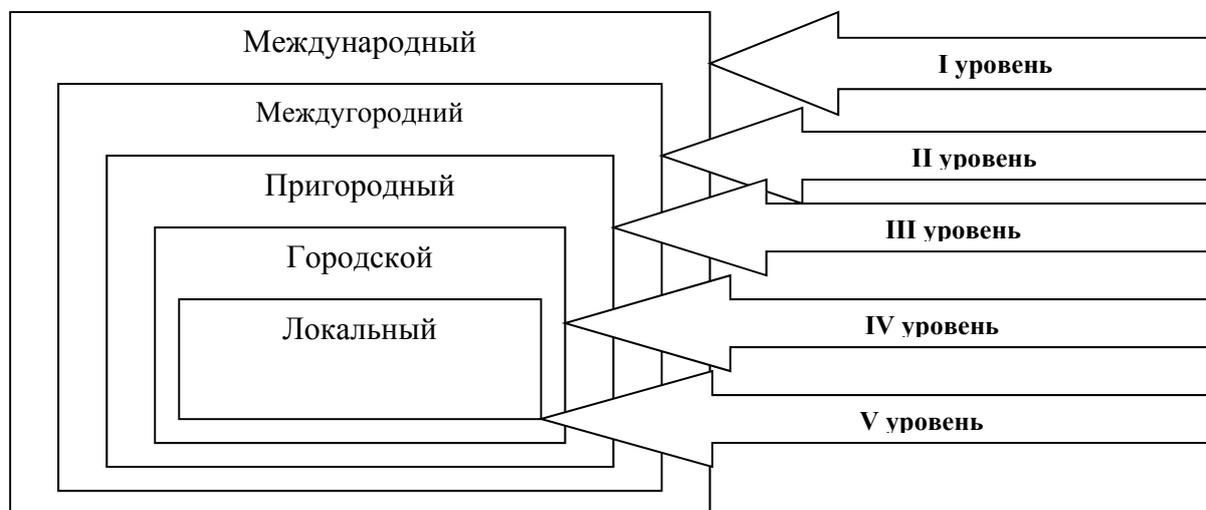


Рис. 1. Структура транспортной системы г. Могилева

Городским транспортом осуществляется перевозка пассажиров автобусами, троллейбусами, электробусами, железнодорожным транспортом (при движении по территории города), внутренним водным транспортом и маршрутными такси.

Исследование удовлетворенности пассажиров уровнем обслуживания городским транспортом г. Могилева позволило выделить основные проблемы и проранжировать их по степени важности:

- 1) низкая пропускная способность отдельных участков главных улиц города и образование заторов в часы пик;
- 2) малая удельная плотность улиц в отдельных районах города;
- 3) отсутствие парковок и мест для стоянки в центре города;
- 4) высокий уровень обеспеченности населения легковым транспортом.

Таким образом, для решения выявленных проблем предлагается: строительство паркингов и парковок в жилых зонах; ограничение движения легкового транспорта в часы пик на отдельных дорогах города; строительство объездных и кольцевых дорог; развитие и строительство городской транспортной сети.

УДК. 68.1.3.06  
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ  
ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ  
СТУДЕНТАМИ ВУЗА

К. С. МАСЛОВА

Научный руководитель М. А. НОВИКОВА  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
Смоленск, Россия

Одной из необходимых компетенций для студента технического вуза является возможность визуализации процесса конструирования детали машины или проектирования сборочного механизма. Поэтому оптимизация процесса визуализации при конструировании детали – одна из актуальных задач для создания и проектирования новых моделей. Усовершенствование процесса развития визуального мышления возможно при конструировании детали. Наиболее практично конструирование модели детали на компьютере с использованием специальных программ, которые помогают студенту связать чертежный образ детали с тем образом, который будет представлен, когда деталь будет изготовлена.

Целью работы было исследование возможностей программ, которые отвечают требованиям стандартов создания 3D-моделей деталей машин, являются удобными и простыми в освоении для студентов, а также отвечают требованиям к развитию визуального мышления студентов. Была выбрана программа Компас-3D, которая отвечает поставленным требованиям. Компас-3D является системой трехмерного проектирования, обладающая большим количеством инструментов, необходимых для освоения основных навыков работы с проектированием детали и позволяющих освоить методики автоматизированного моделирования изделий [1]. Также особенно важна возможность создания конструкторской документации на основе визуализации и моделирования конструкторских деталей. Это способствует созданию изделий любой сложности с высоким показателем точности.

Процесс выполнения модели в программе Компас-3D позволяет моделировать почти любую деталь, а также оценить её технологические характеристики. Таким образом, программа Компас-3D подходит для создания чертежей различного уровня сложности, а также способствует задаче освоения 3D-моделирования студентов и усовершенствования их профессиональных компетенций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блинов, А. О.** Вопросы визуализации в процессе проектирования при изучении общепрофессиональных дисциплин / А. О. Блинов, И. А. Гончарова, М. Г. Куликова // Теоретическая и прикладная механика: Междунар. науч.-техн. журн. – 2019. – № 35. – С. 179–183.

УДК 378:378.115  
ПРОФЕССИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ КАЧЕСТВА ПРЕПОДАВАТЕЛЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

М. А. ШАЛУХОВА, Е. В. МАКАРОВ

Научный руководитель О. П. МАРИНЕНКО, канд. пед. наук, доц.  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Современное высшее образование ориентировано на подготовку высококвалифицированных специалистов и создание условий для их всестороннего развития. Реализация данной задачи предъявляет определенные требования к самому преподавателю, поскольку, несмотря на активное развитие дистанционных форм обучения, роль преподавателя в системе образования остается направляющей. Успешный итог процесса обучения определяется не только используемыми методами, формами и средствами обучения, но и напрямую зависит от личных качеств руководителя образовательного процесса.

Профессионально значимыми качествами являются те, которые влияют на успешность освоения деятельности и ее эффективность. При этом содержание, структура и значимость различных качеств в исследованиях различных авторов (М. Н. Ермоленко, Р. А. Мижерикова, А. В. Торховой, В. Д. Шадрикова и др.) представлены по-разному, что стало основанием для проведения данного исследования.

Весной 2019 г. на базе Белорусско-Российского университета было проведено эмпирическое исследование, которому предшествовал ряд устных опросов для определения наиболее профессионально важных качеств преподавателя. На основании данных опросов была составлена анкета, послужившая инструментарием исследования, в котором приняло участие 206 студентов (9 % от генеральной совокупности – студентов дневной формы обучения).

Анализ результатов анкетирования позволяет сделать вывод, что наиболее важными для студентов технического вуза являются компетентность преподавателя в предметной области и способность эффективно делиться знаниями со студентами: самые высокие суммарные оценки получили способность преподавателя доступно подать материал, знание предмета и ориентирование на использование материала в профессиональной деятельности. Следующими в рейтинге профессионально важных качеств оказались тактичность, уравновешенность, объективность в оценке знаний студентов, умение организовать взаимодействие с аудиторией. Из всех предложенных для анализа качеств наименее значимыми, по мнению опрошенных, являются требовательность, пунктуальность и аккуратность преподавателей, что стало закономерным в связи с тем, что данные качества не так значимы для конечного результата образовательного процесса – его качества.

Научное издание

# **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Материалы Международной  
научно-технической конференции  
молодых ученых  
(Могилев, 24–25 октября 2019 года)

**Авторы несут персональную ответственность  
за содержание предоставленных материалов**

Редакторы: *И. В. Голубцова;*  
*Т. А. Рыжикова;*  
*Е. А. Галковская;*  
*А. Т. Червинская;*  
*А. А. Подошевка*

Компьютерный дизайн *Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 16.10.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 60 экз. Заказ № 651.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.