

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СЕЗОННОДЕЙСТВУЮЩЕГО ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Целью исследования является решение проблемы сохранения состояния вечномёрзлых грунтов в условиях северного строительства. Для поддержания вечной мерзлоты используют термостабилизаторы грунта. Данная работа посвящается исследованиям динамики температурного режима грунта вокруг термостабилизатора в зимнем и летнем режиме эксплуатации для климатической зоны юга Западной Сибири. Экспериментально получены температурные поля грунта вокруг термостабилизатора. Расчетные результаты подтверждены экспериментальными исследованиями. Для оценки работы испарительной зоны термостабилизатора введен новый параметр объемного теплосодержания, который учитывает в себе не только объем замороженного грунта, но и температурный уровень. Спроектирована перспективная конструкция комбинированного устройства для заморозки грунта.

Ключевые слова: термостабилизация грунта, температурные поля, сезоннодействующее охлаждающее устройство (СОУ), льдогрунтовый массив, мерзлый грунт.

I. Введение. В группе изобретений, относящихся к воздушным термостабилизаторам (ТС), основными направлениями являются усовершенствование устройств с естественной циркуляцией воздуха и, в частности, конфузоров для создания ветрового напора, устройств для улучшения самотяги и т.п.

Наибольшее число изобретений посвящено усовершенствованию парожидкостных ТС, и направлены они в основном на усложнение конструкции с целью устранения их чувствительности к вертикализации, увеличения глубины замораживания и улучшения их теплопередающих свойств.

Значительно меньше авторских свидетельств, направленных на улучшение свойств жидкостных ТС. В основном они направлены на создание вынужденной циркуляции теплоносителя с помощью различных типов двигателей, а также на ликвидацию летней циркуляции теплоносителя.

На основании патентного поиска выявлено:

1. Для замораживания грунтов идет поиск в разработке конструкций парожидкостных и жидкостных коаксиальных ТС, причем предпочтение отдается первым ввиду более достаточной надежности и работоспособности конструкции.

2. Продлению срока сохранения грунтовыми массивом отрицательных температур способствует изоляция льдогрунтового массива от летних теплопотоков, а также защита наружных теплообменников (ТО) от солнечной радиации с помощью экранов.

3. Использование ТС в комбинации с емкостями для аккумуляции зимнего холода (так называемые зероторы) способствуют продлению срока действия охлаждающей системы.

II. Постановка задачи. Общим для всех сезоннодействующее охлаждающее устройство (СОУ) является то, что при работе охлаждающего устройства вокруг его заглубленной части образуется столб мерзлого грунта, диаметр которого со временем увеличивается. Скорость его роста зависит от величины потока тепла, отводимого теплообменником в атмосферу, и потока, поступающего от охлаждаемого (замораживаемого) грунта к СОУ. В периоды включения СОУ происходят повышение температуры мерзлого массива и даже его частичное оттаивание [1, 2].

При исследовании теплового режима СОУ возникает задача определения нестационарного температурного поля в окружающем грунте при заданной интенсивности отвода тепла, т.е. при использовании СОУ определенного типа и конструкции. Вторая задача, называемая обратной, сводится к нахождению величины теплового потока, который необходимо отвести из грунта для обеспечения заданного распределения температур в нем [3].

В качестве исходных данных для решения прямой задачи принимаются математические характеристики района строительства (температура воздуха, скорость ветра, солнечная радиация), начальная температура грунта, его теплофизические параметры, конструктивные характеристики СОУ. Сложность состоит в том, что здесь, по существу, протекают два взаимосвязанных процесса: промерзание (оттаивание) грунта при взаимодействии с охлаждающим устройством и атмосферой (внешняя задача) и теплоперенос в СОУ (внутренняя). Таким образом, необходимо рассматривать задачу

как совместную для системы грунт — СОУ — атмосфера.

Эксперименты проводились на образце индивидуального термостабилизатора грунта ТК 32/6М5 А-01.

Исследование динамики изменения температуры в грунтовом массиве и термосае осуществляется путём непосредственных измерений через систему электрических цифровых термометров, расположенных снаружи на корпусе термоса и на измерительных штангах.

Анализ динамики теплопритоков осуществляется на основании непосредственных измерений тепловых потоков датчиками, расположенных на наружной поверхности грунтового ТО и в термометрических колоннах, а также расчётно по результатам измерений температуры.

III. Результаты исследования. В ходе трехлетних испытаний были получены результаты, анализ которых показывает, что теплопередающие свойства термостабилизатора существенно зависят от условий теплообмена как в окружающей среде, так и в грунте, в процессе развития ледогрунтовой массы, и неразрывно связаны между собой. Взаимодействие всех этих процессов обуславливает закономерности формирования ледогрунтовых аккумуляторов холода в грунте [4].

Замораживаемый грунт имеет неоднородную геологическую структуру. Сложную структуру представляет замораживаемый массив даже в пределах одного геологического слоя. Процессы теплопере-

дачи сопровождаются различными физико-химическими явлениями. Затруднительно детально осуществить математическую постановку задачи в полном объеме, даже с помощью современных вычислительных средств (рис. 1, 2).

В обход упомянутых трудностей, в теоретических работах, посвященных вопросам искусственного замораживания грунтов, принимается ряд допущений, основным из которых является однородность и изотропность состава грунта в рассматриваемом массиве [5].

Радиус замораживания вокруг индивидуального термостабилизатора определяется с целью обоснования диаметра испарительной части термостабилизатора для конкретной местности. Кроме того, по результатам этого расчета делается подбор количества термостабилизирующих колонок.

Таблица расчетов с учетом поправки на опытные данные имеет вид (табл. 1).

Из диапазона этих данных выберем температуру испарительной части -20°C (т.к. температура наиболее холодного месяца -22°C). Продолжительность безморозного периода 98 дней, устойчивых морозов 156 дней.

Солнечная радиация влияет на конденсаторную часть. Действие солнечной радиации может осуществляться на горизонтальную и вертикальную поверхности.

Повышение температуры конденсатора на $3,95^{\circ}\text{C}$ приведет к сокращению работы термостабилизатора в активном периоде на 50 дней (в зимний период

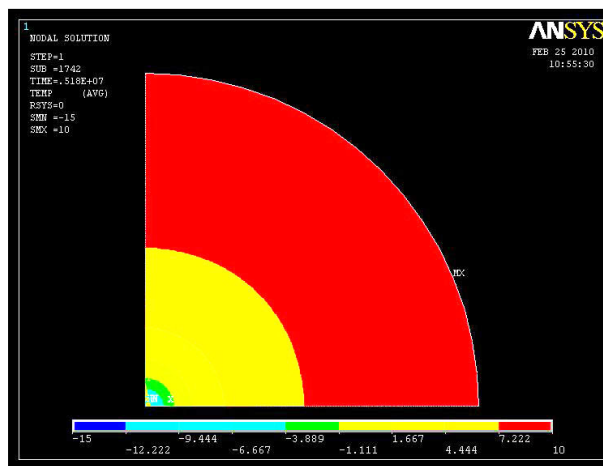


Рис. 1. Вид вывода результатов в ANSYS

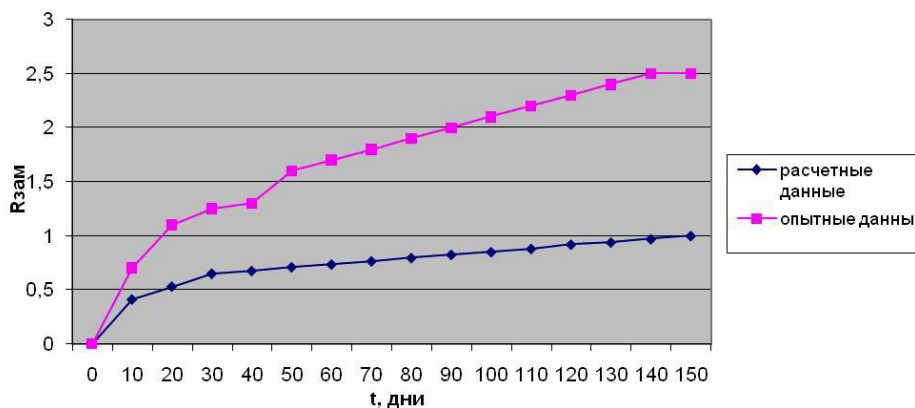


Рис. 2. Сравнение расчетных и опытных данных

Диаметр испарителя, мм	38				
Температура грунта	7°C				
Температура окружающего воздуха	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C
Время заморозки, дни	Радиус замороженной зоны, м				
0	0	0	0	0	0
10	0,8125	0,99375	1,0625	1,15	1,25
20	0,95625	1,175	1,3625	1,4375	1,54375
30	1,0625	1,325	1,54375	1,6125	1,7625
40	1,175	1,475	1,6875	1,7625	2,025
50	1,2875	1,58125	1,8	1,95	2,16875
60	1,4	1,65	1,95	2,1	2,3125
70	1,475	1,7625	2,1	2,275	2,425
80	1,5125	1,875	2,20625	2,35	2,575
90	1,58125	1,9875	2,3125	2,5	2,6875
100	1,6125	2,0625	2,4	2,575	2,7575
110	1,65	2,1375	2,4625	2,6875	2,9
120	1,6875	2,16875	2,5	2,7575	2,975
130	1,725	2,20625	2,5375	2,77875	3,0125
140	1,7625	2,25	2,575	2,83125	3,0875
150	1,8	2,275	2,6125	2,86875	3,125

при повышении температуры конденсатора от -20°C до -15°C). Соответственно, за зимние месяцы возможна заморозка на 1,8 метра. Этого недостаточно для образования единого массива.

Для решения этой проблемы спроектировано перспективное комбинированное устройство для заморозки грунта [6], общий вид которого показан на рис. 3.

Спроектированное перспективное устройство включает в себя трубу, выполненную в виде термоса 1, состоящую из испарителей 2 и 3, заполненных хладагентом, конденсатора 4, состоящего из конденсаторных зон А и В. Вокруг конденсаторной зоны А расположен трубопровод 5, выполняющий роль испарителя и изготовленный в виде трубки эллиптического сечения, плотно навитой на термоса 1. Вокруг трубопровода 5 смонтирована оболочка с теплоизоляцией 6 для уменьшения теплопритоков от грунта к зоне А. Термоса 1, помещенная в грунт на глубину L , содержит испаритель 2, который через промежуточную трубу 7 соединен с воронкой 8. Воронка 8 расположена на расстоянии L_2 от конденсаторной зоны А и выполнена

с трапецевидными отверстиями и бортиком таким образом, чтобы бортик был направлен в сторону движения пара для сбора испаряющихся паров и поступления их в зоны конденсации А или В и во избежание попадания хладагента в отверстия. Дополнительный испаритель 3 с воронкой и промежуточной трубой выполнен из теплоизоляционного материала в виде стакана и заполнен хладагентом. Дополнительный испаритель выполнен внутренним диаметром D_2 , в нижней части которого выполнено отверстие для размещения в нем промежуточной трубы наружным диаметром d и внутренним диаметром D_3 . Нижняя часть промежуточной трубы под углом 90° выведена в дополнительный испаритель в зону испарителя H_2 , расположенную между внутренним диаметром термоса D_1 и внутренним диаметром испарителя D_2 , где $D_3 < d$, $D_2 < D_1$.

Воронка 10 расположена в верхней части промежуточной трубы на расстоянии L_1 от зоны А и выполнена с трапецевидными отверстиями и бортиком таким образом, чтобы бортик был направлен в сторону движения пара для сбора испаряющихся паров и поступления их в зоны конденсации

Устройство для аккумуляции холода

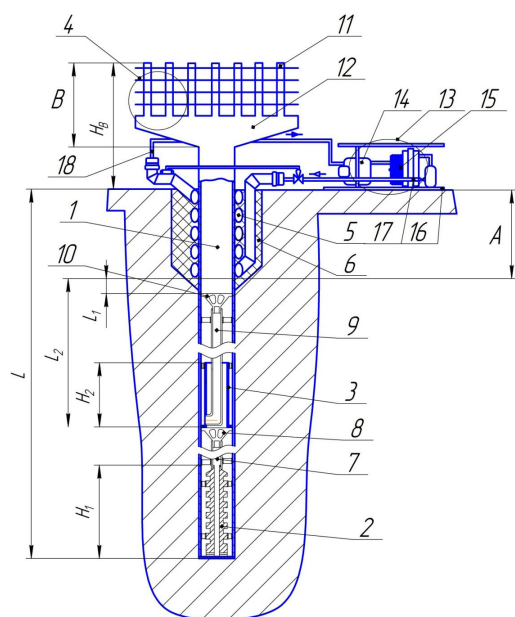


Рис. 3. Общий вид перспективного комбинированного устройства

А или В и во избежание попадания хладагента в отверстия [7].

IV. Выводы. Включение в состав транспортных участков термостабилизаторов дополнительных теплоотводящих элементов позволяет обеспечить функционирование термостабилизаторов в период года с положительными температурами атмосферного воздуха за счет циркуляции в них промежуточного хладагента, охлаждаемого холодильной машиной. Тем самым обеспечивается непрерывный (круглогодичный) режим работы.

Спроектированное и исследованное перспективное комбинированное устройство заморозки грунта обладает рядом преимуществ, таких как адаптация устройства для локальной заморозки участков грунта; обеспечение заморозки грунта на протяжении всего срока эксплуатации; повышение скорости за-

морозки грунта; снижение металлоемкости и энергозатратности.

Библиографический список

1. Kutvitskaya, N. B. Design of Beds and Foundations of Infrastructure for Oil-Gas Condensate Fields Under Complex Frozen-Soil Conditions / N. B. Kutvitskaya, M. A. Minkin // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2014. — Vol. 51, Is. 1. — Pp. 36–41.
2. Ibragimov, È. V. Development of and experience with installation of soil thermostabilizers with use of directed inclined boring / È. V. Ibragimov [et al.] // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2013. — Vol. 50, Is. 2. — Pp. 71–75.
3. Zhou, Y. Approximate solution for the temperature field of 1-D soil freezing process in a semi-infinite region / Y. Zhou, G. Zhou // Heat and Mass Transfer. — 2013. — Vol. 49, Is. 1. — Pp. 75–84.
4. Бучко, Н. А. Искусственное замораживание грунтов / Н. А. Бучко, В. А. Турчина. — М.: Информэнерго, 1978. — 68 с.
5. Пьянков, С. А. Механика грунтов / С. А. Пьянков, З. К. Азизов. — Ульяновск: УлГТУ, 2008. — 103 с.
6. Гапеев, С. И. Укрепление мерзлых оснований замораживанием / С. И. Гапеев. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1984. — 165 с.
7. Пат. 108051 РФ, МПК F02D3/115. Устройство для аккумуляции холода / Максименко В. А., Евдокимов В. С., Костин А. М., Губанов А. С.; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. — № 2011115576/03; заявл. 20.04.2011; опубл. 10.09.2011.

ЕВДОКИМОВ Владимир Сергеевич, аспирант кафедры холодильной и компрессорной техники и технологии.

Адрес для переписки: omgtu_evdokimov@mail.ru

МАКСИМЕНКО Василий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры холодильной и компрессорной техники и технологии.

Адрес для переписки: maxw52@mail.ru

НИКОЛАЕВ Владимир Сергеевич, студент гр. ВК-510 нефтехимического института.

Адрес для переписки: antvld358@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.01.2015 г.

© В. С. Евдокимов, В. А. Максименко, В. С. Николаев

Книжная полка

621.83/М79

Моргунов, А. П. Технология производства зубчатых колес : учеб. электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / А. П. Моргунов, И. В. Ревина. — Омск : ОмГТУ, 2014. — 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Приведены основные сведения о типах зубчатых передач, применяемых в машиностроении. Рассмотрены методы изготовления заготовок зубчатых колес. Особое внимание уделено принципам построения технологических процессов обработки зубчатых колес. Изложены методы контроля зубчатых колес и передач. Подробно рассмотрены технологические методы изготовления цилиндрических, конических и червячных колес, а также цилиндрических и глобоидных червяков. Дается описание способов нарезания и отделки зубьев, применяемого оборудования и инструмента. Предназначено для студентов специальностей 120100 «Технология машиностроения», 120200 «Металлорежущие станки и инструменты» и других, изучающих дисциплины «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения», «Технология приборостроения»; также может быть использовано аспирантами и инженерно-техническими работниками машиностроительных и приборостроительных предприятий.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ И ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ТРУБОПРОВОДА НА ТОЧНОСТЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В статье рассматривается диагностирование скрытых дефектов в трубопроводе с целью повышения качества диагностирования магистральных нефтепроводов, а также влияние деформаций трубопровода на точность замеров.

Ключевые слова: экологическая безопасность, трубопровод, дефекты, дефектоскоп, пьезоэлектрический преобразователь.

Особую остроту для России по известным причинам имеет проблема надежности и экологической безопасности систем магистрального транспорта нефти и нефтепродуктов.

Трубопроводы работают под большим давлением, в сложных условиях, под действием изменяющихся нагрузок со стороны грунтов, температур, влажности; испытывают коррозионное воздействие со стороны транспортируемых продуктов и окружающей среды.

В процессе длительной эксплуатации появляются и развиваются разнообразные дефекты. При нарушении герметичности происходит значительный по объему выброс продуктов перекачки. Это не только причиняет материальный ущерб в связи с потерями продукта перекачки, затратами на ликвидацию аварий, штрафными санкциями, но и приводит к загрязнению окружающей среды, создает предпосылки для возникновения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера.

Наращивать капитальный ремонт только на основе существующей технологии сплошного ремонта невозможно даже по чисто экономическим соображениям. Поэтому в настоящее время наиболее распространенным методом становится метод выборочного ремонта на базе внутритрубной диагностики и других современных технологий и технических средств неразрушающего контроля [1].

Целью работы является повышение качества диагностирования дефектов в трубопроводе путем выявления скрытых дефектов и анализа влияния деформаций трубопровода на точность замеров.

На первой стадии был проведен эксперимент нахождения теневого дефекта в шве ультразвуковым методом. Для чего был подготовлен образец листовой стали марки 20 толщиной 22 мм со сварным швом (рис. 1).

Параметры дефектов:

— расстояние между дефектами 1–2, 2–3, 4–6, 6–5 равняются 10 мм, 15 мм, 20 мм, 30 мм соответственно.

— глубина дефектов 1, 3, 4, 5 являются максимально возможными для толщины данного образца, чтобы исключить прохождение ультразвуковых волн над дефектами и составляют 20 мм, диаметр дефектов — 6 мм.

— глубина дефектов 2, 6 составляет 16 мм, диаметр — 3 мм.

Измерения проводились при помощи дефектоскопа ультразвукового УСД 60 с наклонным пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) П121 — 5-65-АМ № 22383.

Калибровка УСД-60 и ПЭПов осуществлялась на стандартных образцах в соответствии с нормативными документами ГОСТ 14782-86 (Контроль неразрушающих методов. Соединения сварные. Методы ультразвуковые) [2].

Методика нахождения теневого дефекта.

При исследовании шва на наличие дефектов пользуемся методикой, описанной в РД 19.100.00-КТН-001-10 (Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов) [3]. В случае обнаружения околошовных дефектов следует произвести измерение параметров дефектов, но, как мы видим из рис. 2, есть вероятность наличия дефекта в тени найденного дефекта.

Теневой дефект может быть обнаружен при измерении границ околошовного дефекта, т.к. ультразвуковая волна распространяется неоднородно, то под определенным углом α часть волны падает на границу околошовного дефекта, а часть падает на теневой дефект. В этом случае наблюдается эхосигнал двух дефектов (рис. 3).

Угол α обратно пропорционален расстоянию между дефектами (чем больше расстояние, тем меньше угол α), а также прямо пропорционально размеру околошовного дефекта (чем больше дефект, тем больше угол α). Схематично изображено на рис. 4.

Зависимость угла α от расстояния между дефектами и размерами дефектов определяется в каждом



Рис. 1. Образец листовой стали с искусственными дефектами

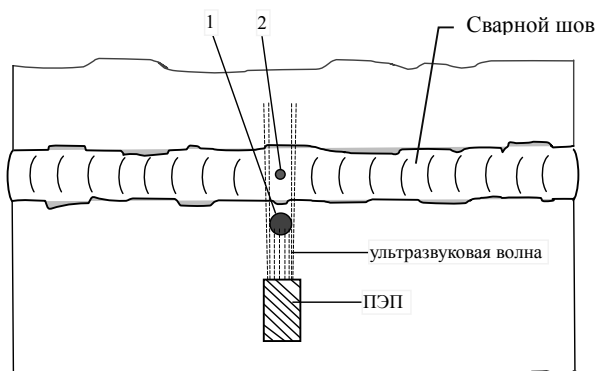


Рис. 2. Схема расположения теневого дефекта: 1 — околошовный дефект; 2 — теневого дефект



Рис. 3. Эхо-сигналы дефектов: I — эхо-сигнал от околошовного дефекта 4; II — эхо-сигнал от околошовного дефекта 6.

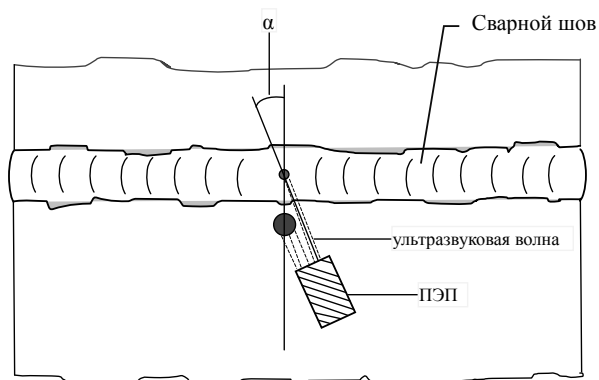


Рис. 4. Схема нахождения теневого дефекта

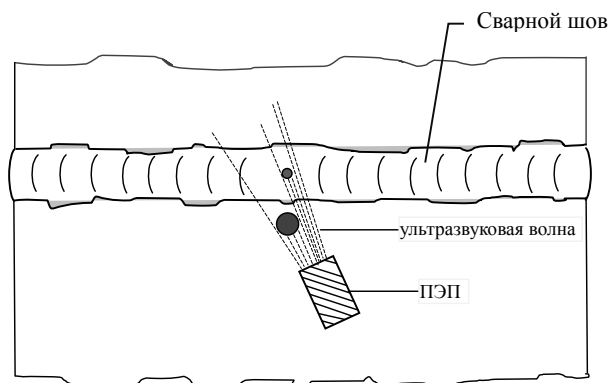


Рис. 5. Схематическое изображение неоднородности распространения ультразвуковой волны



Рис. 6. Образцы листовой стали



Рис. 7. Образец с искусственно нанесенными дефектами



Рис. 8. Установка в сборе:
1 — микрометр лабораторный;
2 — образец № 6; 3 — ПЭП

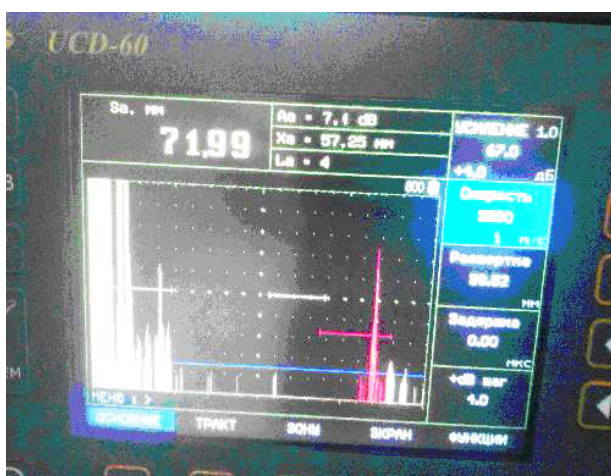


Рис. 9. Показания дефектоскопа
в спокойном состоянии металла



Рис. 10. Показания дефектоскопа
в момент напряженного
состояния металла

конкретном случае. Для случая с данным образцом угол α составлял от 25° до 35° , т.к. ультразвуковая волна из ПЭП распространяется неоднородно, а также вследствие дифракции волны в металле (рис. 5).

Для проведения второй части эксперимента, которая состоит в определении зависимости прохождения ультразвуковой волны от приложенного давления на нефтемагистраль, был подготовлен образец № 6 листовой стали марки 20 (рис. 6, 7).

Для создания напряженного состояния металла использован пресс ДМ 1096 (рис. 8). Одновременно производим измерение деформации пластины (прогиб) с помощью микрометра лабораторного и следим за изменением сигнала дефектоскопа. В измеряемой дефектоскопом области находится один из искусственно нанесённых дефектов.

В ходе эксперимента мы получаем зависимость сигнала дефектоскопа от напряженного состояния металла нефтепровода. На рис. 9 мы видим показания дефектоскопа в спокойном состоянии металла (до деформации), а на рис. 10 показания дефектоскопа в момент максимального прогиба пластины на 100 мкм и, следовательно, напряженного состояния металла.

В результате проведение эксперимента, наблюдается изменение показаний на 0,1 dB. Принимая во внимание тот фактор, что чувствительность данного дефектоскопа невысока, то данными изменениями можно пренебречь.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Метод ультразвукового диагностирования позволяет выявить теньевые дефекты трубопровода.
2. Деформированное состояние трубопровода не влияет на точность диагностирования дефектов.

Библиографический список

1. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля : учеб. пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. — Владивосток : ДВГТУ, 2007. — 243 с.
2. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающих методов. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. — Введ. 1988-01-01. — М. : Стандартинформ, 2005. — 27 с.
3. РД 19.100.00-КТН-001-10. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.twirpx.com/file/637127> (дата обращения: 10.12.2014).

ЛАРИОНОВ Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры сервиса и технологий изделий легкой промышленности Омского государственного института сервиса. Адрес для переписки: ks.larionov@gmail.com

МЕРКУЛОВ Василий Васильевич, магистрант гр. ИЗМ-613 факультета элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета, кафедра промышленной экологии и безопасности.

Адрес для переписки: mvv055@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.12.2014 г.

© К. С. Ларионов, В. В. Меркулов

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ПРЕДЕЛОВ ФОРСИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ К ВЫБРОСАМ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ

На примере перспективных дизелей семейства Т, разрабатываемых ООО «ЧТЗ-Уралтрак», проиллюстрирована методика расчетной оценки влияния различных факторов на экологические параметры и пределов форсирования, ограниченных допустимыми значениями этих параметров. Выполненные расчеты показали, что при условии применения конструктивных мероприятий, направленных на снижение тепломеханической напряженности и токсичности отработавших газов, принципиально возможно повысить уровень форсирования перспективных дизелей ООО «ЧТЗ-Уралтрак» семейства Т с 14,5 до 34 кВт/л (при частоте вращения 2400 мин⁻¹) и довести его до уровня лучших зарубежных аналогов.

Ключевые слова: дизельный двигатель, форсирование, литровая мощность, тепломеханическая напряженность.

Дизели отечественного производства существенно отстают от зарубежных аналогов по одному из важнейших параметров, характеризующих технический уровень — литровой мощности (рис. 1). Повышение литровой мощности является одной из актуальных задач отечественного двигателестроения, однако при форсировании необходимо обеспечить соответствие требованиям стандартов к выбросам вредных веществ с отработавшими газами. На примере перспективных дизелей семейства Т, разрабатываемых ООО «ЧТЗ-Уралтрак», проиллюстрирована методика расчетной оценки влияния различных факторов на экологические параметры и пределов форсирования, ограниченных допустимыми значениями этих параметров.

В качестве исходного варианта принят режим номинальной нагрузки дизеля 4Т371, как наиболее форсированный (14,5 кВт/л). Рассматривались варианты повышения литровой мощности за счет

увеличения цикловой подачи топлива и воздуха, а также частоты вращения коленчатого вала. Оценивалась эффективность мероприятий, связанных с оптимизацией рабочего цикла, по снижению выбросов вредных веществ с отработавшими газами и тепломеханической напряженности деталей, образующих камеру сгорания. При этом динамическая нагруженность деталей двигателя не оценивалась.

Был проведен численный многофакторный эксперимент методом D-Optimum, в ходе которого варьировались параметры: цикловая подача топлива — 8 расчетных точек, частота вращения коленчатого вала — 7 точек и степень повышения наддува — 11 точек, всего было рассчитано 616 вариантов (табл. 1). В ходе расчета использовалась ранее разработанная математическая модель [1–2]. Температура воздуха во впускном коллекторе, давление и температура отработавших газов в выпускном коллекторе рассчитывались по известным зависимостям (см., например, [3]). В табл. 2 приведены максимальные значения ограничивающих (рассчитываемых) параметров.

Основные результаты расчета (при исходном значении степени наддува $\pi_k = 1,6$) приведены на рис. 2 и 3. Математическая обработка результатов численного многофакторного эксперимента показала, что выбранные ООО «ЧТЗ-Уралтрак» конструктивные и регулировочные параметры дизелей типа 4Т371 и 6Т370 близки к оптимальным. Резерв форсирования при исходных ограничивающих параметрах практически отсутствует, поэтому необходимы дополнительные конструктивные мероприятия по минимизации негативных последствий повышения литровой мощности.

Анализ результатов численного многофакторного эксперимента с ограничением только по удельному

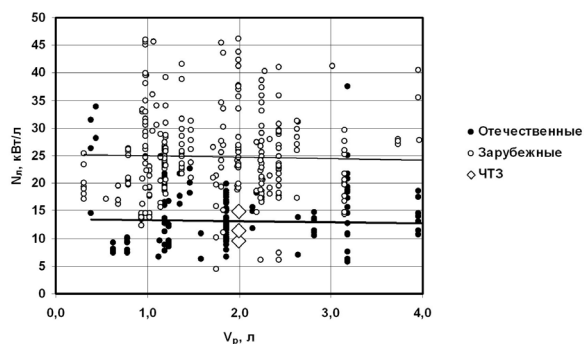


Рис. 1. Удельная литровая мощность дизелей типа 4Т371, 6Т370, их отечественных и зарубежных аналогов

Таблица 1
Исходные данные (варьируемые параметры)
для численного эксперимента

Независимые параметры			Зависимые параметры ($f(\pi_k)$)		
q_t , мг	n , мин ⁻¹	π_k	T_k , К	P_t/P_0	T_t , К
60	1600	1,0	293	0,95	750
80	2000	1,2	315	1,14	790
100	2400	1,4	335	1,33	839
120	2800	1,6	353	1,52	885
140	3200	1,8	369	1,71	927
180	3600	2,0	385	1,90	966
220	4000	2,4	414	2,28	1038
240	-	2,8	440	2,66	1103
-	-	3,2	463	3,04	1162
-	-	3,6	485	3,42	1217
-	-	4,0	506	3,80	1269

Таблица 2
Предельные значения ограничивающих (рассчитываемых) параметров
для одноцилиндрового отсека

Параметр	Предельное значение	Источник требований
g_e , г/кВт·ч	218	Рекомендации ГОСТ 20000
g_{NOx} , г/кВт·ч	9,0	Требования ГОСТ Р 41.96-2005, с учетом коэффициентов весомости
g_{PM} , г/кВт·ч	0,3	

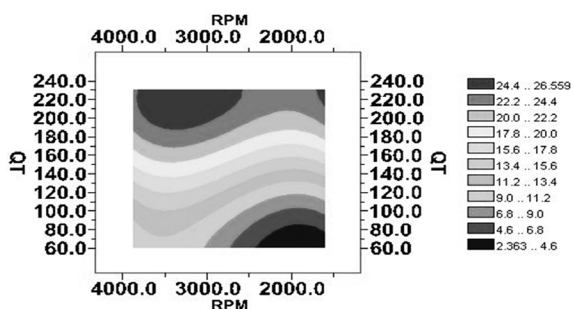


Рис. 2. Зависимость удельных выбросов оксидов азота (g_{NOx} , г/кВт·ч) от частоты вращения коленчатого вала (RPM , мин⁻¹) и цикловой подачи топлива (QT , мг) при $\pi_k=1,6$

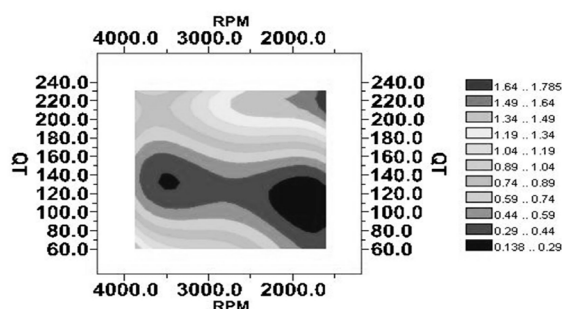


Рис. 3. Зависимость удельных выбросов твердых частиц (g_{PM} , г/кВт·ч) от частоты вращения коленчатого вала (RPM , мин⁻¹) и цикловой подачи топлива (QT , мг) при $\pi_k=1,6$

расходу топлива показывает, что при частоте вращения коленчатого вала 2000 мин⁻¹ возможно достижение мощности 70 кВт/цилиндр (35 кВт/л), при этом существенно (в четыре раза) возрастут удельные выбросы оксидов азота (в 4 раза). Увеличение частоты вращения позволит повысить цилиндковую мощность с шагом 20...25 кВт/1000 мин⁻¹, при этом удельные выбросы оксидов азота увеличатся в 6 раз. Исходя из полученных зависимостей и характеристик зарубежных аналогов, предложено в качестве предела форсирования выбрать режим, обеспечивающий значение литровой мощности 34 кВт/л (рис. 4):

- $\varphi_{inj}=16,6$ град. ПКВ до ВМТ,
- $n=2400$ мин⁻¹,
- $\pi_k=2,8$.

Однако для выбранного режима необходимо применение дополнительных конструктивных мероприятий, обеспечивающих снижение удельных выбросов вредных веществ до требований стандартов. Эти мероприятия были обоснованы в ходе

дальнейших расчетов. При выбранных значениях варьируемых параметров и фиксированных значениях прочих параметров оценивались влияние на характеристики двигателя давления впрыска (рис. 5), частичной рециркуляции отработавших газов (рис. 6), степени сжатия (рис. 7).

Рециркуляция отработавших газов является наиболее эффективным из рассмотренных мероприятий, ее применение позволит снизить удельные выбросы оксидов азота на 30...50 %, твердых частиц — в 2...5 раз, в зависимости от режима нагружения. Рециркуляция может обеспечить соответствие как исходного, так и форсированного варианта двигателя требованиям НТД к выбросам дисперсных частиц, однако для выполнения норм по NO_x для форсированного варианта необходимы дополнительные конструктивные мероприятия, например, каталитический нейтрализатор, который позволяет снизить выбросы оксидов азота на 90 % (в 10 раз), СО и СН — на 80 % (в 5 раз). Снижение степени сжатия позволяет уменьшить удельные

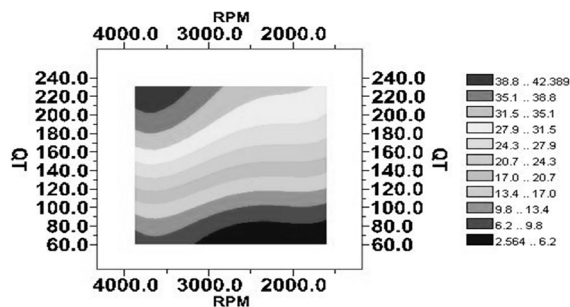


Рис. 4. Зависимость эффективной мощности (N_e , кВт) от частоты вращения коленчатого вала (RPM, мин⁻¹) и цикловой подачи топлива (QT, мг) при $\pi_k=2,8$

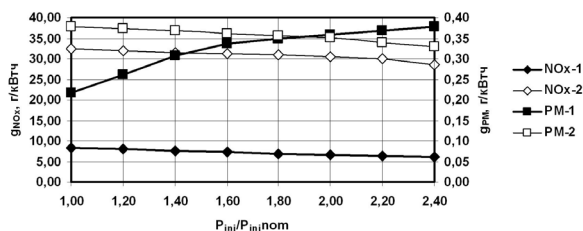


Рис. 5. Зависимость удельных выбросов оксидов азота (NO_x) и дисперсных частиц (PM) от давления впрыска топлива: 1 — исходный, 2 — форсированный вариант

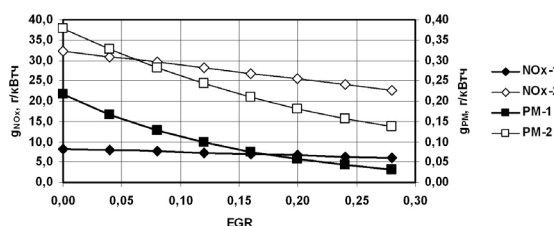


Рис. 6. Зависимость удельных выбросов оксидов азота (NO_x) и дисперсных частиц (PM) от доли рециркулирующих отработавших газов: 1 — исходный, 2 — форсированный вариант

выбросы оксидов азота примерно в 2,5 раза, но в 2 раза возрастают выбросы твердых частиц. Одновременно снижаются механические нагрузки на детали двигателя, при этом значение цилиндровой мощности (в рассматриваемом диапазоне степеней сжатия) уменьшается только на 10 %. Максимальная температура рабочего цикла снижается

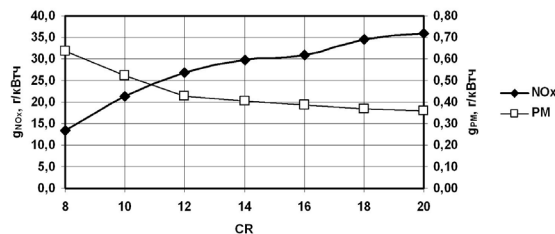


Рис. 7. Зависимость удельных выбросов оксидов азота (NO_x) и дисперсных частиц (PM) от степени сжатия (CR)

примерно на 150 K, а температура деталей, образующих камеру сгорания, — на 200 K.

Таким образом, выполненные расчеты показали, что при условии применения конструктивных мероприятий, направленных на снижение тепломеханической напряженности и токсичности отработавших газов, принципиально возможно повысить уровень форсирования перспективных дизелей ООО «ЧТЗ-Уралтрак» семейства Т с 14,5 до 34 кВт/л (при частоте вращения 2400 мин⁻¹) и довести его до уровня лучших зарубежных аналогов. Без применения каталитического нейтрализатора можно повысить уровень форсирования до 25 кВт/л (при исходной частоте вращения 2000 мин⁻¹), что соответствует среднему уровню зарубежных аналогов.

Библиографический список

1. Малозёмов, А. А. Математическая модель двигателя на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов / А. А. Малозёмов // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин : науч. вестник. — 2006. — № 18. — С. 8–15.
2. Малозёмов, А. А. Математическое моделирование химической кинетики образования токсичных веществ в дизеле балансов / А. А. Малозёмов // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин : науч. вестник. — 2006. — № 18. — С. 3–8.
3. Heywood, J. B. Internal combustion engine fundamentals / J. B. Heywood. — USA : McGraw-Hill Inc., 1988. — 930 p.

ОМЕЛЬЧЕНКО Евгений Алексеевич, заместитель начальника кафедры вождения.

ФАДЕЕВ Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ремонта БТ АТ.
Адрес для переписки: dima11780@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 10.11.2014 г.

© Е. А. Омельченко, Д. Ю. Фадеев

Книжная полка

621.01/В41

Вивденко, Ю. Н. Теплофизика процессов в технологических системах : учеб. электрон. изд. локального распространения : конспект лекций / Ю. Н. Вивденко, С. А. Резин. — Омск : ОмГТУ, 2014. -1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

В соответствии с требованиями ГОС изложены основные представления, понятия и закономерности тепловых процессов в технологических системах. Приведены сведения о регулировании тепловых характеристик в технологических системах разного назначения. Для студентов вузов специальности 050100 «Технология машиностроения».

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рассматривается адаптивная система автоматического управления многосвязным объектом с блоком адаптации, построенным с использованием методов нечеткой логики. Рассмотрены постановка задачи, метод ее решения и результаты исследования системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, нестационарный объект управления, нечеткий регулятор.

Одной из основных задач мехатроники является создание интеллектуальных технологий управления, которые основаны на обработке постоянно меняющихся экспертных знаний об объекте управления. К интеллектуальным технологиям, в частности, относятся системы нечеткой логики [1].

Интеллектуализация современных сложных технических систем позволяет «свести к минимуму непосредственное участие человека в реальном функционировании техники» [2]. Чтобы замена человека автоматикой была полноценной, необходимо максимальное использование при управлении знаний и опыта человека-эксперта, что обеспечит техническое освоение творческих (креативных) способностей человека.

Рассмотрим возможности построения адаптивной системы управления многосвязным нестационарным объектом с использованием сформулированных выше принципов. Объект управления характеризуется управляемыми выходами $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ и входами управления $U(u_1, u_2, \dots, u_n)$.

Заданное состояние объекта определяется уставками $Y_3(y_{31}, y_{32}, \dots, y_{3n})$. Нестационарность объекта управления заключается в зависимости динамических параметров объекта управления от внешних параметров окружающей среды $G(g_1, g_2, \dots, g_m)$ и в необходимости смены уставок параметров процесса Y_3 при изменении параметров внешней среды в целях оптимизации управляемого процесса. Детерминированное описание названных связей, как правило, отсутствует, однако имеется практический опыт управления объектами у специалистов-технологов. Этот опыт составляет базу экспертных знаний.

Пусть для каждой координаты y_i вектора выходов объекта управления имеется контур регулирования, обеспечивающий

$$Y_i(t) = y_{si}(t),$$

тогда базу экспертных знаний можно сформулировать в виде правил следующего вида:

*ЕСЛИ параметры окружающей среды G ,
ТО уставки для контуров регулирования Y_3 ,
настройки регулятора K ,*

где $K(k_{n1}, k_{u1}, k_{g1})$ — коэффициенты усиления пропор-

ционального, интегрального и дифференциального каналов i -го ПИД-регулятора.

Стратегия управления определяется набором подобных правил, при составлении которых учитывается оптимальность функционирования объекта управления по комплексу показателей. При этом формирование целевых функций критерия оптимальности функционирования в явном виде часто невозможно.

В приведенном правиле заключение состоит из двух частей. Первая часть определяет эффективность функционирования объекта в целом и его адаптацию к изменяющимся условиям, вторая — качество процессов автоматического управления. Обсуждая адаптивность системы автоматического управления, ограничимся усеченными правилами в следующем виде:

*ЕСЛИ параметры окружающей среды G ,
ТО уставки для контуров регулирования Y_3*

Для построения системы управления на основе описанных принципов необходимо решить задачу фазификации описаний параметров внешней среды и управления; сформулировать базу правил на основе систематизации экспертных знаний; выполнить инференц-процедуру и осуществить дефазификацию для выходов системы управления.

Ожидаемым результатом управления с использованием такой системы является автоматическая адаптация выходов объекта управления при изменении параметров внешней среды, что обеспечивает оптимальность функционирования объекта управления в конкретных условиях.

Задача решена для управления процессом промышленного выращивания грибов в зарытых помещениях. Для этого процесса характерны множественные связи между выходными величинами процесса и внешними влияющими факторами. Эти связи можно учесть, рассматривая многосвязную систему автоматического регулирования. Общая схема автоматизации процесса выращивания грибов представлена на рис. 1.

На рисунке приняты следующие обозначения: РТ, РМ, РQ — регуляторы температуры, влажности и концентрации углекислого газа; ИМТ, ИММ,

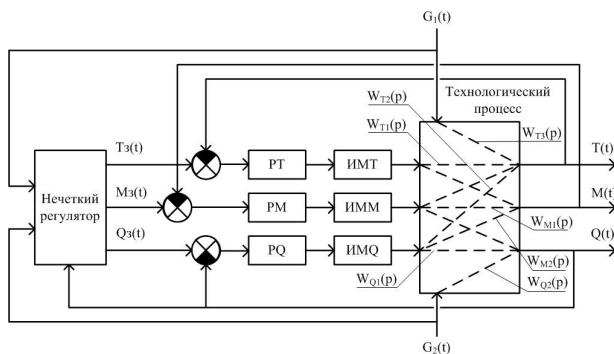


Рис. 1. Нечеткая адаптивная система управления

ИМQ — исполнительные механизмы контуров управления; $W_{T1}(p)$ — передаточная функция объекта управления для изменения температуры; $W_{T2}(p)$ — передаточная функция для изменения температуры воздуха и расхода свежего воздуха; $W_{T3}(p)$ — передаточная функция для изменения внутренней и наружной температур; $W_{M1}(p)$ — передаточная функция для изменения влажности воздуха; $W_{M2}(p)$ — передаточная функция для изменения влажности воздуха и расхода свежего воздуха; $W_{Q1}(p)$ — передаточная функция для изменения концентрации углекислого газа и расхода свежего воздуха; $W_{Q2}(p)$ — передаточная функция для изменения внутренней и наружной концентрации углекислого газа; $G_1(t)$ — изменение наружной температуры воздуха; $G_2(t)$ — изменение концентрации углекислого газа во внешней атмосфере.

Технологический процесс выращивания грибов протекает в закрытом помещении и характеризуется температурой воздуха $T(t)$ в помещении, влажностью воздуха $M(t)$ и содержанием углекислого газа $Q(t)$. Сочетание перечисленных параметров, в основном, определяет объем и качество выращиваемой продукции, а также энергетические затраты на осуществление процесса.

Накопленный опыт показывает, что при изменении внешних условий (внешняя температура $T_{out}(t)$ и содержание углекислого газа в атмосфере) для получения оптимального результата по комплексу показателей — «выход продукции, ее качество и суммарные энергозатраты на процесс» необходимо изменять сочетание режимов T_3 , M_3 , Q_3 . Причем аналитическое описание этой связи не представляется возможным. Но при этом на основании накопленного опыта можно сформулировать правила управления по описанному выше шаблону.

Для реализации правил управления в системе используется нечеткий регулятор (см. рис. 1), осуществляющий изменение уставок регуляторов параметров технологического процесса при изменении внешних возмущений от окружающей среды.

На вход нечеткого регулятора поступает информация о состоянии внешней среды: значение температуры воздуха внешней среды T_{out} (возмущение $G_1(t)$) и значение концентрации углекислого газа внешней атмосферы Q_{out} (возмущение $G_2(t)$). Сигналы информации формируются соответствующими датчиками.

Значения перечисленных физических величин подвергаются фазификации в соответствии с принятыми лингвистическими переменными:

— «Наружная температура» (bn — температура заниженная; n — температура пониженная; z — температура номинальная);

Таблица 1

$Q_{out} \backslash T_{out}$	bn	n	z
z	sn/z/p	z/z/z	sp/sn/n
p	sn/z/bp	z/z/sp	sp/sn/sn

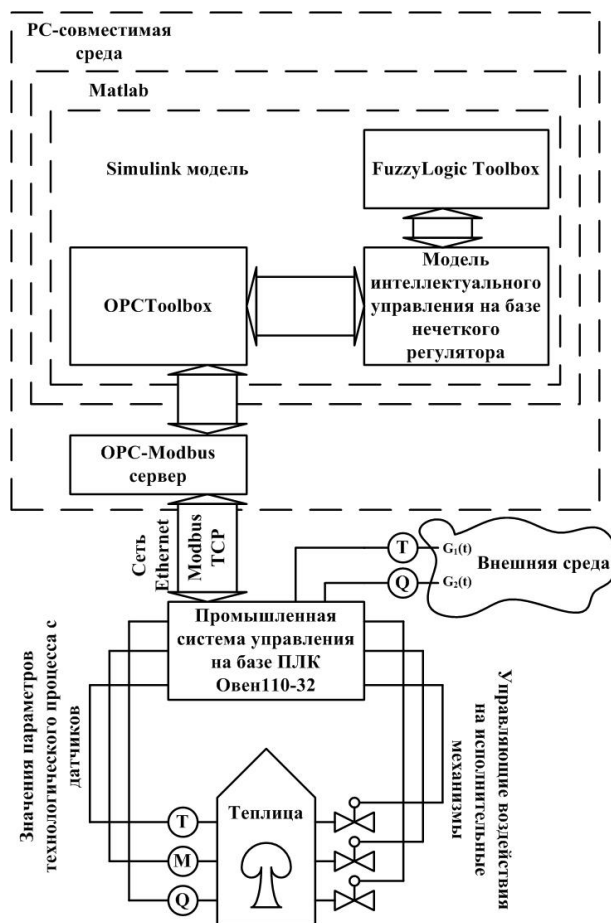


Рис. 2. Структура адаптивной системы нечеткого управления

— «Наружное содержание углекислого газа» (z — содержание CO_2 номинальное; p — содержание CO_2 повышенное).

Для описания связи между лингвистическими и физическими величинами разработаны функции принадлежности [3].

Выходами модели нечеткого регулятора являются лингвистические переменные:

— $T_3(t)$ — «режим температуры» (sn — немного пониженное значение; z — номинальное значение; sp — немного повышенное значение);

— $M_3(t)$ — «режим влажности» (sn — немного пониженное значение; z — номинальное значение);

— $Q_3(t)$ — «режим концентрации CO_2 » (n; sn — немного пониженное значение; z — номинальное значение; sp — немного повышенное значение; p — повышенное значение; bp — значительно повышенное значение).

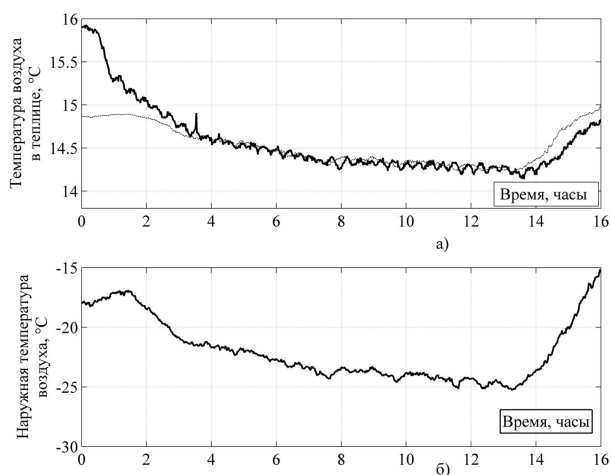


Рис. 3. Экспериментальные графики изменения температуры:
а) температура воздуха в теплице;
б) температура воздуха снаружи

Нечеткий вывод осуществляется с использованием разработанной базы правил нечеткого регулятора, представленной в табл. 1.

В верхней строке и первом столбце таблицы указаны термы лингвистических переменных «наружная температура» $T_{out}(t)$ и «наружная концентрация CO_2 » $Q_{out}(t)$. В ячейках таблицы указаны сочетания нечетких значений уставок регуляторов соответствующих параметров.

После выполнения дефазификации нечетких значений нечеткий регулятор формирует уставки по трем каналам: режим температуры (T_3), режим влажности (M_3) и режим концентрации CO_2 (Q_3), определяющие режимы технологического процесса. Моделирование описанной системы в MATLAB подтвердило ожидаемые свойства системы [4].

Система управления реализована в соответствии со структурой, приведенной на рис. 2. Параметры технологического процесса регулируются программируемым контроллером Овен110-32, на базе которого реализованы ПИД-регуляторы. Данные о параметрах технологического процесса и о параметрах окружающей среды от контроллера поступают в компьютер верхнего уровня управления, имеющий программное обеспечение для реализации нечеткого регулятора.

Передача данных производится по локальной сети на OPC-Modbus сервер, функционирующий на компьютере. Используется протокол Modbus TCP. Нечеткий регулятор реализован в виде Simulink модели в MATLAB. Для передачи данных модели в среду MATLAB применен пакет расширение Simulink OPC Toolbox.

На основании полученных от программируемого контроллера данных Simulink модель нечеткого регулятора формирует уставки для контуров регулирования и через OPC-сервер передает

их промышленному контроллеру. Результатом управления является автоматическое установление оптимальных технологических параметров процесса, в наибольшей степени соответствующих конкретным условиям функционирования и дальнейшее автоматическое поддержание этих режимов при стабильности условий функционирования.

Исследования системы выполнены в производственных условиях. На рис. 3 в качестве примера представлен график переходного процесса для температуры $T(t)$ в сравнении с графиком изменения температуры наружного воздуха. Можно видеть, что технологический процесс автоматически подстраивается под температурные условия функционирования и система проявляет свойство адаптации. Эти свойства системы подтвердили и другие результаты исследований.

Таким образом, описанная система нечеткого управления является адаптивной и позволяет повысить уровень автоматизации управления за счет автоматизации интеллектуальных функций технолога, ведущего процесс в условиях использования обычного многоканального регулирования процесса. Поскольку база правил нечеткого регулятора включает только тщательно отобранные и проверенные опытом правила, то система управления реализует уровень управления, соответствующий, по меньшей мере, среднему квалификационному уровню технолога.

Библиографический список

1. Шелобаев, Е. В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники / Е. В. Шелобаев ; под ред. С. А. Козлова // Современные технологии. — СПб. : СПбГИТМО-ТУ, 2001. — С. 46–67.
2. Концепция мехатронные технологии в микророботостроении / В. А. Лопатина [и др.]. — URL: http://www.energia.ru/ru/news/news-2011/public_07-21.pdf (дата обращения: 12.12.2014).
3. Пешко, М. С. Задача фазификации параметров процесса вегетации при построении нечеткого регулятора / М. С. Пешко, А. В. Федотов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2013. — № 2(120). — С. 290–293.
4. Пешко, М. С. Моделирование нечеткого регулятора технологического режима процесса вегетации / М. С. Пешко, А. В. Федотов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2013. — № 2(120). — С. 294–298.

ПЕШКО Михаил Сергеевич, ассистент кафедры автоматизации и робототехники.

Адрес для переписки: necheat@mail.ru

ФЕДОТОВ Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры автоматизации и робототехники.

Адрес для переписки: avfedotov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.12.2014 г.

© М. С. Пешко, А. В. Федотов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА МЕХАНИЗМА ПОДВЕСКИ МНОГОЦЕЛЕВОЙ МОБИЛЬНОЙ ГУСЕНИЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ И РАЗГРУЗКА ОСНОВНОЙ ЕЁ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Проведено стендовое испытание на основе спектроанализатора «Диана-2М» для выявления ударных импульсов в соединении направляющая втулка — шток амортизатора с последующей целью прогноза ресурса работы гидравлических амортизаторов в целом.

Ключевые слова: гидравлический амортизатор, направляющая втулка, боковая динамическая реакция штока, величина зазора, ресурс, интенсивность ударного импульса.

Разработка систем диагностики состояния технических объектов является актуальной задачей, поскольку подобные системы позволяют оперативно и точно без разборки объекта определить работоспособность и ресурс агрегатов, межагрегатных связей, узлов и элементов механизмов современных машин. Подобные системы разрабатывают на основе фундаментальных закономерностей механики, содержащиеся, например, в [1–9].

В качестве объекта диагностики нами выбрано ресурсопределяющее для всей подвески многоцелевой гусеничной машины соединение штока с направляющей втулкой гидравлического амортизатора. В конструкцию шасси многоцелевой мобильной гусеничной платформы (на примере объекта 219) входит телескопический гидравлический амортизатор, установленный под значительным углом к вертикали и при преодолении препятствий амортизатор, совершающий угловое движение с ускорением, которое порождает инерционный момент:

$$M_{ин} = -J \cdot \Sigma, \quad (1)$$

где J — момент инерции амортизатора относительно точки его связи с балансиром опорного катка,

Σ — угловое ускорение углового движения, которое достигает больших значений даже при движении по ровной трассе из-за звенчатого строения беговой дорожки гусеницы.

Инерционный момент воспринимается узлами крепления амортизатора через реакции штока с направляющей втулкой и соединения поршня-вытеснителя с корпусом.

Боковая реакция штока с направляющей втулкой определится как:

$$F = M_{ин}/h, \quad (2)$$

где h — переменное расстояние между подвижными соединениями штока и поршня-вытеснителя с корпусом амортизатора.

Боковая динамическая реакция штока с направляющей втулкой и является причиной интенсивного износа этого соединения, причем наличие зазора в соединении и его перекадка вызывают ударный характер этой реакции, величину которой можно оценить, используя соотношение закона сохранения импульса, а именно:

$$m\Delta V = F \Delta t, \quad (3)$$

где m — приведенная масса ударника;

ΔV — скорость соударения;

Δt — время соударения.

Приняв в первом приближении $m = 20$ кг, $\Delta V = 5$ м/с, $\Delta t = 10^{-4}$, получим:

$$F = \frac{m\Delta V}{\Delta t} = \frac{20 \cdot 5}{10^{-4}} = 10^6 \text{ Н или } 10^5 \text{ кгс}, \quad (4)$$

или 100 тс, что свидетельствует о высокой нагруженности подвижного соединения и объясняет до-ресурсный выход его из эксплуатации.

Нами поставлена и решена задача экспериментального установления связи между величиной зазора в соединении штока с направляющей втулкой и интенсивностью ударного импульса в этом соединении, причем ударный импульс фиксируется датчиками диагностической системы, установленными в непосредственной близости к соединению. Замеряя интенсивность ударного импульса без трудоемкой разборки соединения, можно определить величину зазора, а следовательно, остаточный ресурс амортизатора и подвески машины в целом. Ясно, что с увеличением зазора скорость соударения V растет, растет и величина ударного импульса.

В состав испытательного стенда входит кинематический возбудитель сложного движения амортизатора, который имеет эксцентриковый привод движения точки крепления штока амортизатора, а в перспективе роль такого возбудителя будет выполнять непосредственно подвеска многоцелевой



Рис. 1. Стенд-имитатор инерционного нагружения направляющей втулки штока гидравлического амортизатора с вибронализатором «Диана 2М»: 1 — токарный станок; 2 — план-шайба; 3 — анализатор вибраций «Диана-2М»; 4 — пьезоакселерометры; 5 — гидравлический амортизатор



Рис. 2. Имитация износа направляющей втулки

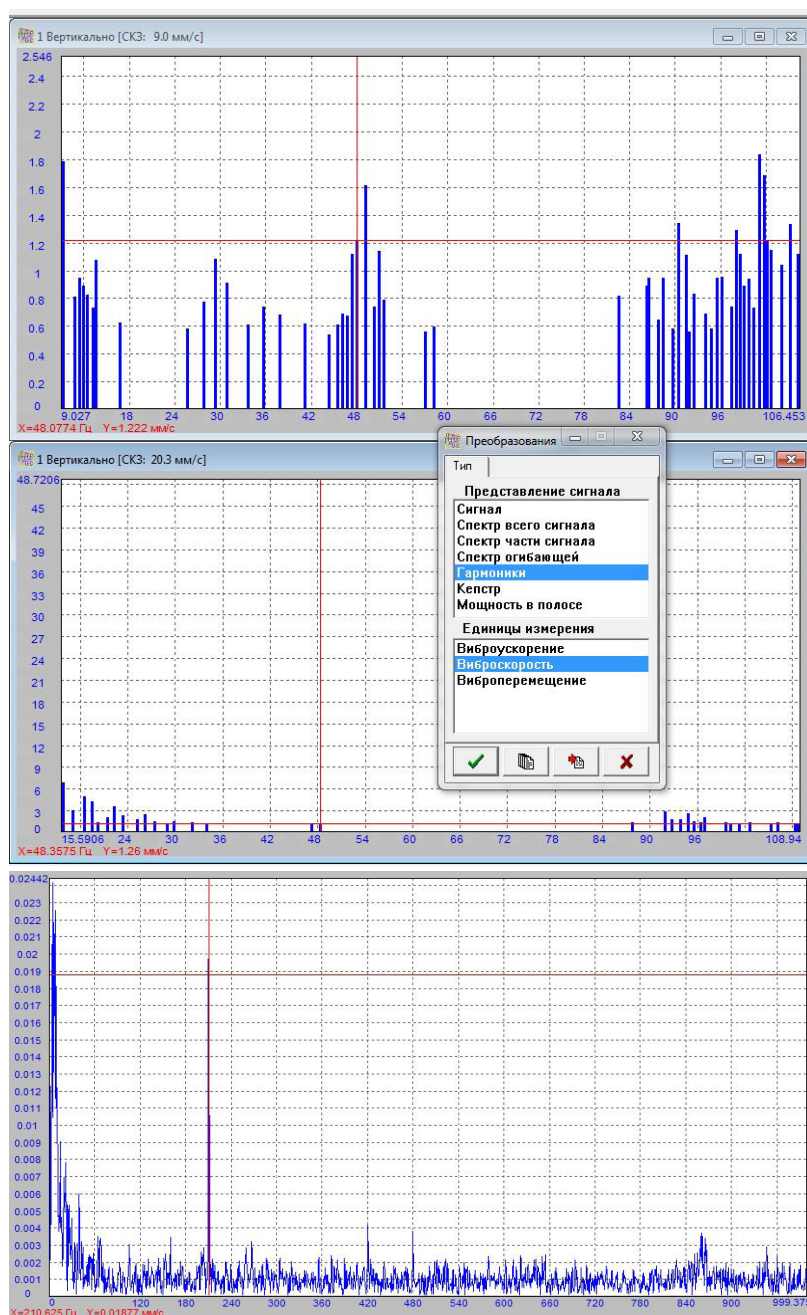


Рис. 3. Спектр частот в системе «Атлант»

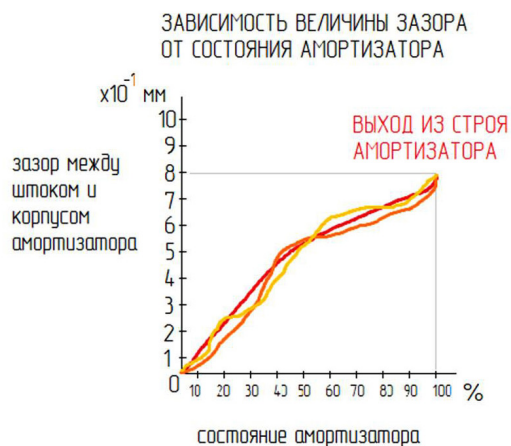


Рис. 4. Зависимость величины зазора от состояния амортизатора

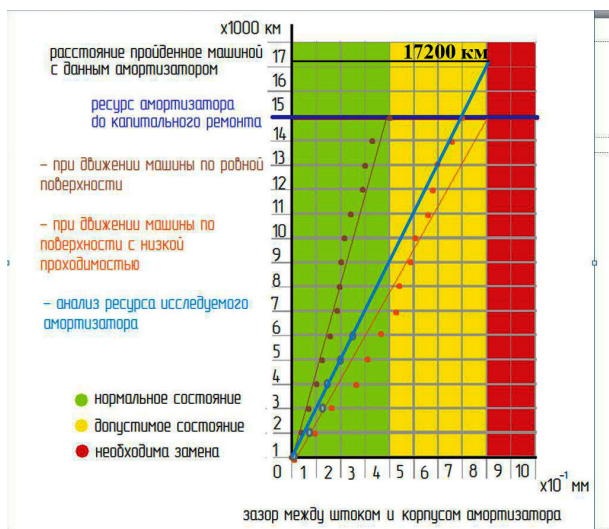


Рис. 5. Зависимость величины зазора между штоком и корпусом амортизатора от расстояния, пройденного машиной

мобильной гусеничной платформы, измерительная часть стенда состоит из элементов двухканального анализатора вибраций «Диана 2М», снабженного виброакселерометрами пьезоэлектрического типа, устанавливаемыми на корпусе амортизатора близко к зоне направляющей втулки (рис. 1).

Испытания проводились для пяти вариантов сопряжений направляющая втулка — шток гидравлического амортизатора. Для каждого варианта выполнялась имитация увеличения износа через 0,2 мм (рис. 2). Имитация скорости составляла 20, 30, 40, 50, 60 и 70 км/час.

Регистрация вибросигналов виброускорения по двум измерительным каналам в выбранном частотном диапазоне сохраняется и с помощью программного обеспечения «Атлант», включающего в себя набор функций для проведения различных преобразований вибросигналов и их просмотра, выдается в нужном виде на экран монитора. Так, на рис. 3 представлен полученный с вибродатчика сигнал после проведения амплитудного анализа в частотном спектре от 0 до 1000 Гц. Скорость вращения план-шайбы 60 об/мин, эксцентрик смещен на 10 мм, износ — 0,8 мм.

Для определения зависимости величины зазора от состояния амортизатора было проведено

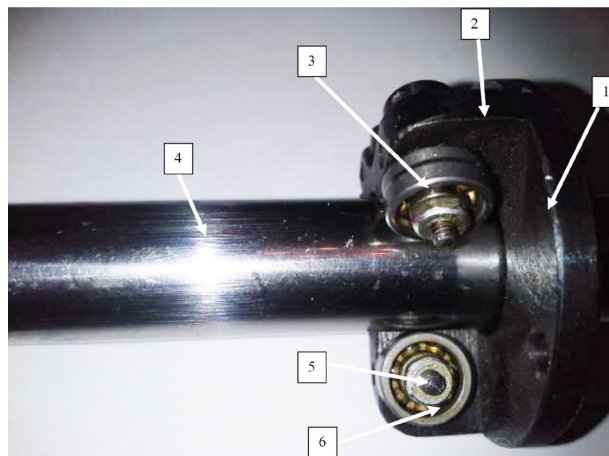


Рис. 6. Фото разгружающего устройства:
1 — основание-кольцо; 2 — кронштейны;
3 — подшипник качения; 4 — шток амортизатора;
5 — болт; 6 — прижимная гайка

множество стендовых испытаний (рис. 4), при которых гидравлический амортизатор работал в различных условиях и при разных режимах работы стенда. Целью эксперимента ставилось доведение исследуемого зазора до предельной величины, при которой амортизатор выходит из строя. Таким образом, было изучено три одинаковых амортизатора, вне зависимости от условий и режимов работы все три амортизатора требовали замены некоторых комплектующих частей при зазоре 0,8 мм. Данная зависимость показывает, что амортизаторы одной марки имеют схожие свойства, которые не зависят от внешних условий. Следовательно, при любых условиях работы амортизаторы придут в негодность при одном и том же зазоре между штоком и корпусом.

Используя данную зависимость (рис. 4), можно сделать вывод, что при эксплуатации многоцелевых мобильных гусеничных платформ в течение определенного срока в приблизительно одинаковых условиях состояние гидроамортизатора напрямую зависит от пройденного машиной расстояния. Учитывая это, были проведены эксперименты. Меняя зазор между штоком и поверхностью направляющей втулки, замерялась интенсивность ударных импульсов на основной частоте 21 Гц, тем самым проводилась тарировка измерительного стенда (рис. 5), и по обратному алгоритму с помощью аппаратного комплекса, установленного непосредственно на рабочей машине, можно теперь оценить износ соединения и прогнозировать его остаточный ресурс или проведение ремонтных работ.

Таким образом, было установлено, что амортизатор исследуемой марки может выйти из строя (зазор между штоком и корпусом амортизатора приблизится к значению 0,8 мм) при пороговом минимуме пройденного расстояния, равном 14000 км, и стопроцентно придет в негодность при пороговом максимуме, равном 23000 км. Следовательно, при замере зазора между штоком и корпусом амортизатора, а также учитывая пройденный машиной километраж, можно проанализировать состояние амортизатора и предугадать момент, когда его будет необходимо заменить.

С целью уменьшения кинетостатической реакции в узле штока и корпуса амортизатора предложено разгружающее устройство (рис. 6), жестко закрепленное в зоне соединения корпуса

со штоком, состоящее из литого основания — кольца и трех кронштейнов, размещенных под углом 120° относительно друг друга и представляющих собой две стойки прямоугольного сечения, в центре которых имеются овальные отверстия для установки в них болтов с подшипниками качения, зафиксированных в отверстиях кронштейнов шайбами с обеих сторон и позволяющих регулировать усилие прижима подшипников к штоку при появлении износа в соединении штока — подшипник.

Испытания показали, что поперечная нагрузка на шток амортизатора с разгружающим устройством значительно меньше в случае, когда применяется амортизатор без него.

Библиографический список

1. Дмитриев, А. А. Теория и расчет нелинейных систем поддрессирования гусеничных машин / А. А. Дмитриев, В. А. Чобиток, А. В. Тельминов. — М.: Машиностроение, 1976. — 207 с.
2. Кобринский, А. Е. Виброударные системы / А. Е. Кобринский, А. А. Кобринский. — М.: Наука, 1973. — 592 с.
3. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. — Изд. 3-е доп. и перераб. — Л.: Машиностроение, 1976. — 320 с.

4. Бидерман, В. Л. Теория удара / В. Л. Бидерман. — М.: Машгиз, 1952. — 76 с.
5. Кобринский, А. Е. Виброударные системы / А. Е. Кобринский, А. А. Кобринский. — М.: Наука, 1973. — 591 с.
6. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. — М.: Наука, 1968. — 560 с.
7. Тарасов, В. Н. Теория удара в строительстве и машиностроении / В. Н. Тарасов [и др.]. — М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2006. — 336 с.
8. Александров, Е. В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е. В. Александров, В. Б. Соколинский. — М.: Наука, 1969. — 199 с.
9. Бабицкий, В. И. К теории виброударных систем / В. И. Бабицкий, М. З. Коловский. — М.: — Машиноведение, 1970. — № 1. — С. 24–30.

РАКИМЖАНОВ Нуржан Есмагулович, начальник научно-исследовательской лаборатории.

ШАМУТДИНОВ Айдар Харисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики. Адрес для переписки: nurjanrakimjanov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.11.2014 г.

© Н. Е. Рахимжанов, А. Х. Шамутдинов

УДК 621.92

**Ю. В. ТИТОВ
Д. С. РЕЧЕНКО
К. К. ГОСИНА
Р. У. КАМЕНОВ
А. Ю. ПОПОВ**

Омский государственный
технический университет

КЛАССИФИКАЦИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ МЕТОДОМ

В статье представлена актуальность получения ультрадисперсных порошков, различные методы их получения, преимущество механических методов, а в частности, использование мельницы тонкого помола, также ее изображение и принцип работы. Система доработана устройством подачи жидкого азота. Механические методы получения порошка невозможны без абразивного инструмента. Их виды, применение и краткое описание представлены в статье. Грамотное применение абразивного инструмента улучшает работоспособность и уменьшает размер получаемого порошка.

Ключевые слова: нанотехнологии, ультрадисперсный порошок, механический метод, абразивный инструмент, высокоскоростной метод, шлифовальные головки.

Исследование свойств, а также получение ультрадисперсных порошков (менее 1 мкм) различных металлов является актуальным разделом современной науки и техники. Во-первых, это обусловлено практической необходимостью создания новых материалов, что в ряде случаев возможно только

с использованием порошкообразных составляющих; во-вторых, проблема изучения очень малых частиц, особенно имеющих размеры порядка 100 нм и менее (нанопорошки), является составной частью более общей фундаментальной области знания, называемой нанотехнологиями [1, 2].



Рис. 1. Система высокоскоростного метода, доработанная системой подачи жидким азотом

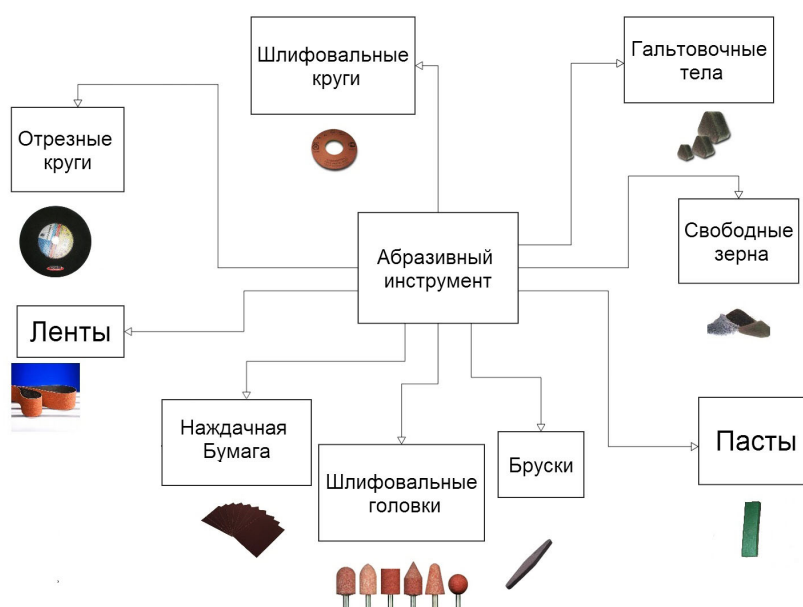


Рис. 2. Классификация абразивных инструментов

Методы получения наноматериалов можно разделить на механические, физические, химические и биологические. Частицы получаемого наноматериала могут иметь хлопьевидную, игольчатую, губчатую и сферическую формы, разделяясь на аморфную или мелкокристаллическую структуру.

Перспективу и наибольший интерес представляют механические методы, а именно метод механического измельчения, который применительно к наноматериалам часто называют механосинтезом. Основой механосинтеза является механическая обработка твёрдых веществ [3].

Один из механических методов получения ультрадисперсного порошка — обработка материала высокоскоростным методом (рис. 1), на базе шлифовально-заточного станка ВЗ-326Ф4 с программным управлением системы МАЯК 610. Система доработана подачей жидкого азота на обрабатываемый образец. В качестве мелющего диска исполь-

зуется шлифовальный круг для алмазно-абразивной обработки [3] с абразивными головками.

На сегодняшний день сферы деятельности, в которых абразивный инструмент находит наиболее широкое применение, — это машиностроение, металлургия, строительство, прикладные ремесла, оборонная и другие отрасли промышленности.

С развитием промышленности появились необходимость изобретения материалов для заготовительного производства и окончательной обработки различных металлических и неметаллических материалов. Удовлетворяющие данные запросы материалы, обладающие высокой твердостью и используемые в процессах шлифования, полирования, хонингования, разрезания материалов, называли абразивными [4].

В машиностроении абразивный инструмент используют для обработки заготовки, при помощи механического воздействия различной природы



Рис. 3. Виды связок, используемые в абразивных инструментах

с целью создания по заданным формам и размерам, а также требуемым показателям качества изделия или заготовки для последующих технологических операций.

На сегодняшний день абразивные инструменты разделяют на 9 основных видов, в зависимости от параметров и приспособления (рис. 2).

На качество и работоспособность обработанного изделия напрямую влияют свойства абразивного инструмента, наиболее важными из них являются твердость и износостойкость. Твердость абразивного инструмента характеризуется прочностью связи абразивных зерен между собой. Абразивные инструменты требуемой твердости получают при соответствующей технологии их изготовления: соотношение абразивного зерна и связки, давления при прессовании, температуры и длительности термообработки. Износостойкость инструмента характеризуется свойством материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания [5, 6].

Параметры вышеперечисленных свойств, маркируемые на каждом абразивном инструменте, составляют его характеристику. Свойства абразивных инструментов, помимо абразивного материала и его зернистости, зависят от связки, твердости и структуры. Абразивный инструмент состоит из огромного числа разобращенных режущих элементов, скрепленных между собой связкой (рис. 3).

Для изготовления абразивных инструментов применяют две группы связок: неорганические (керамическая, магнезиальная и силикатная) и органические (бакелитовая, глифталевая и вулканитовая).

Керамическая связка представляет собой многокомпонентную смесь, состоящую из измельченных материалов (огнеупорной глины, полевого шпата). Такая связка отличается высокой огнеупорностью, химической стойкостью и относительно высокой прочностью. Магнезиальная связка состоит из каустического магнезита и хлористого магния, которые при смешивании образуют твердеющую на воздухе массу.

Основным связующим веществом силикатной связки является растворимое стекло (силикат натрия), которое при смешивании с окисью цинка, мелом и другими составляющими позволяет получить инструменты, пригодные для шлифования тонких длинных пластин.

Для изготовления алмазного инструмента применяют органические и металлические связки. При работе кругами на такой связке снижается высота микронеровностей, необходима меньшая сила реза-

ния, меньше выделяется теплоты, но стойкость их ниже по сравнению с кругами на металлических связках.

Из органических связок самая распространенная — бакелитовая. Абразивный инструмент, изготовленный на бакелитовой связке, обладает высокой прочностью и обеспечивает возможность работы при высоких скоростях резания.

Круги на глифталевой связке отличаются повышенной упругостью, как следствие, при работе инструментом на такой связке снижается шероховатость обрабатываемой поверхности [5]. Глифталь представляет собой синтетическую смолу из глицерина и фталевого ангидрида.

Вулканитовая связка обладает повышенной эластичностью, поэтому круги, изготовленные на ней, применимы не только для предварительного шлифования, но и для полирования.

Структуру абразивного инструмента характеризует содержание абразивного материала (%) в единице его объема. Абразивные инструменты имеют номера структуры от 1 до 12. Чем выше номер структуры, тем больше связки и меньше абразива в единице объема инструмента. Структуры 1...4 называют закрытыми (плотными), 5...8 — средними, 9...12 — открытыми.

На сегодняшний день шлифовальные головки нашли широкое применение многих отраслях промышленности и нельзя не заметить, что современные шлифовальные головки помогают достичь высокую производительность и экономически эффективные результаты. Шлифовальные головки являются высококачественным шлифовальным инструментом с длительным сроком службы и высокой степенью съема при шлифовании. Для использования правильно выбранного инструмента при шлифовании — как при финишной обработке, так и при снятии стружки — используются шлифовальные головки различных форм и размеров (как с керамическим соединением, так и с соединением из синтетической смолы) [7].

Шлифовальные головки проектируются и изготавливаются для обработки различных материалов, таких как сталь, стальное литье, инструментальная сталь, чугун, пластик, стекло, керамика. Современные шлифовальные головки используются для эффективной и экономичной грубой обработки, зачистки, подготовки, окончательной обработки сварных швов, а также для снятия заусенцев.

На представленном высокоскоростном методе используются шлифовальные головки маркировки AW 16*20*6 AC4 125/100 B2-01 с оправкой ГОСТ 2447-82 [8]. Получение ультрадисперсного порошка —

актуальная задача, так как применение порошка активно используется в металлургии. В Западно-Сибирском регионе, а в частности в Омской области, очень много литейных цехов, где добавляют порошок при спекании и образовании металла.

Библиографический список

1. Федорченко, И. М. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения : справ. / И. М. Федорченко [и др.] ; отв. ред. И. М. Федорченко. — Киев : Наукова Думка, 1985. — 624 с.
2. Лернер, М. И. Зависимость дисперсности нанопорошков металлов и процесса их агломерации от температуры газовой среды при электрическом взрыве проводников / М. И. Лернер, В. И. Давыдович, Н. В. Сваровская // Физическая мезомеханика. — 2004. — № 7. — Ч. 2. — С. 340–343.
3. Изгородин, А. Наноиндустрия и подготовка специалистов / А. Изгородин, Г. Чистобородов // В мире оборудования. — 2008. — № 5 (80). — С. 9–13.
4. Пат. 55665 РФ, МПК В24Д 17/00. Шлифовальный круг для алмазно-абразивной обработки / Реченко Д. С., Нуртдинов Ю. Р., Попов А. Ю. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. — № 2006111080/22 ; заявл. 05.04.06. ; опубл. 27.08.06., Бюл. № 24. — 2 с.
5. Эфрос, М. Г. Современные абразивные инструменты / М. Г. Эфрос, В. С. Мironюк ; под ред. З. И. Кремня. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987. — 158 с.

6. Кремь, З. И. Современные абразивные инструменты / Под ред. З. И. Кремня. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987. — 158 с.

7. ГОСТ 2447-82. Головки шлифовальные. Технические условия. — М. : Стандарт, 1980. — 12 с.

8. Заявка 2014119229 РФ, МПК В22F 9/00. Устройство для получения металлических порошков / Реченко Д. С., Попов А. Ю., Титов Ю. В., Госина К. К., Каменов Р. У. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т ; приоритет 13.05.2014, № 030364.

ТИТОВ Юрий Владимирович, аспирант кафедры металлорежущих станков и инструментов.

РЕЧЕНКО Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ГОСИНА Ксения Коблановна, студентка группы КМС-322 машиностроительного института.

КАМЕНОВ Ренат Уахитович, студент группы КМС-322 машиностроительного института.

ПОПОВ Андрей Юрьевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой металлорежущих станков и инструментов.

Адрес для переписки: tytin-88@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2014 г.

© Ю. В. Титов, Д. С. Реченко, К. К. Госина, Р. У. Каменов, А. Ю. Попов

УДК 629.113

В. Ю. УСИКОВ

Омский автобронетанковый инженерный институт

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ШИНАХ

Рассматривается перспективное направление повышения проходимости автомобилей многоцелевого назначения, результаты проведенного расчетного эксперимента качения одиночного колесного движителя по деформируемой опорной поверхности в функции от нагрузки, номера прохода и давления воздуха в шине. Приводятся рекомендации по децентрализации регулирования давления воздуха в шинах и результаты проведенных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: автомобили многоцелевого назначения, проходимость, деформируемая опорная поверхность, колесный движитель, система регулирования давления воздуха в шинах.

Характерной особенностью эксплуатации автомобилей многоцелевого назначения (АМН) является их использование по дорогам всех типов, в условиях бездорожья, на местности с различной степенью пересеченности. Бесспорно, что АМН эксплуатируются преимущественно в условиях с развитой дорожной сетью, но в то же время качество дорожного покрытия в пределах нашего го-

сударства — понятие довольно условное, несмотря на существующую стандартизацию, и меняется в соответствии с природно-климатическими условиями и в зависимости от времени года.

Для повышения проходимости автомобиля при движении в сложных дорожных условиях и по бездорожью следует снижать внутреннее давление в шинах, для чего используется конструктивно

предусмотренная система регулирования давления воздуха в шинах [1].

Следствием прямолинейного движения автомобиля по деформируемой опорной поверхности является то, что происходит естественное изменение характеристик опорной поверхности (уплотнение, разрушение грунта и т.д.) при проходе каждого последующего колеса колесного движителя. При этом при последовательном проходе колес идет приращение глубины колеи, вызывающее увеличение сил трения в зависимости от типа грунта и его характеристик и увеличение мощностных потерь на преодоление этого сопротивления [2].

В связи с этим предполагается, что при движении автомобиля по деформируемой опорной поверхности (АОП) имеется необходимость установления давления воздуха в шинах колесного движителя индивидуально для каждого колеса и в зависимости от физико-механических характеристик грунта опорной поверхности, нагрузки, приходящейся на каждое колесо, номера (последовательности) прохода колес в образуемой ими колее.

Специфика условий движения автомобилей многоцелевого назначения предопределяет необходимость учитывать при определении сопротивления качению гистерезисные потери на деформацию шины и потери на деформацию грунта. В этом случае коэффициент сопротивления качению можно представить суммой двух составляющих:

$$f = f_{ш} + f_r, \quad (1)$$

где $f_{ш}$ — коэффициент сопротивления качению шины;

f_r — коэффициент сопротивления деформации грунта.

Влияние конструктивных и эксплуатационных параметров целесообразно выделить в специальные функции. Они могут быть учтены функциональными множителями в виде $k_{ш}$, k_r . И тогда выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$f = k_{ш} \cdot f_{ош} + k_r \cdot f_{ор}, \quad (2)$$

где $k_{ш}$ — функция коррекции коэффициента сопротивления качению шины;

k_r — функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта;

$f_{ош}$ — коэффициент сопротивления качению шины в ведомом режиме с номинальной нагрузкой и давлением воздуха в шине;

$f_{ор}$ — коэффициент сопротивления деформации грунта в ведомом режиме с номинальной нагрузкой и давлением воздуха в шине.

Функции коррекции коэффициентов сопротивления качению шины $k_{ш}$ и деформации грунта k_r могут быть представлены как произведение частных функций коррекции:

$$k_{ш} = k_{шRz} \cdot k_{шpw} \cdot k_{шы} \cdot k_{шv} \cdot k_{шMk}, \quad (3)$$

где $k_{шRz}$ — частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая изменение нагрузки R_z ;

$k_{шpw}$ — частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая изменение воздуха в шине p_w ;

$k_{шы}$ — частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая явление бокового увода шины;

$k_{шv}$ — частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая движение по неровной опорной поверхности;

$k_{шMk}$ — частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая передачу колесом крутящего момента M_k ;

$$k_r = k_{rRz} \cdot k_{rpw} \cdot k_{ry} \cdot k_{rv} \cdot k_{rMk} \cdot k_{rm}, \quad (4)$$

где k_{rRz} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая изменение нагрузки R_z ;

k_{rpw} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая изменение воздуха в шине p_w ;

k_{ry} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая явление бокового увода шины;

k_{rv} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая влияние скорости движения v ;

k_{rMk} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая передачу колесом крутящего момента M_k ;

k_{rm} — частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая номер прохода колеса по грунту.

Коэффициенты сопротивления качению шины $f_{ош}$ и деформации грунта $f_{ор}$ в ведомом режиме с номинальной нагрузкой и давлением воздуха в шине, а также частные функции коррекции коэффициентов сопротивления качению шины $k_{ш}$ и деформации грунта k_r определялись анализом литературных источников [1–3 и др.] и экспериментальных исследований взаимодействия одиночного колесного движителя с различными типами опорных поверхностей. Анализ результатов экспериментального исследования, позволил выявить характер влияния на коэффициент сопротивления качению нормальной нагрузки, давления воздуха, передаваемого крутящего момента, типа опорной поверхности и установить значения соответствующих частных функций коррекции:

$$k_{шRz} = A_{Rz} + B_{Rz} \cdot R_z^2; \quad (5)$$

$$k_{шpw} = A_{pw} \cdot p_w^{B_{pw}}; \quad (6)$$

$$k_{шы} = 1 + \frac{k_y \cdot \delta_y^2}{f_{ош} \cdot R_z}; \quad (7)$$

$$k_{шv} = 1 + \frac{k_v \cdot v^2}{f_{ош}}; \quad (8)$$

$$f_{ор} = A_{ор} \cdot c^{B_{ор}}, \quad (9)$$

$$A_{ор} = 0,11 \cdot \mu^2 - 0,19 \cdot \mu + 0,14; B_{ор} = -0,65 \cdot \mu^2 + 1,27 \cdot \mu - 0,97;$$

$$k_{rRz} = \left(\frac{R_{zi}}{R_{zo}} \right)^{\frac{1}{2 \cdot \mu + 1}}; \quad (10)$$

$$k_{rpw} = A_{rpw} \cdot p_w^{\frac{1}{2} + B_{rpw}}; \quad (11)$$

$$k_{rm} = A_{rm} \cdot n^{B_{rm}}. \quad (12)$$

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая изменение нагрузки R_z :

$$k_{шRz} = A_{Rz} + B_{Rz} \cdot R_z^2, \quad (13)$$

где $A_{Rz} = 0,0024$;

$B_{Rz} = 0,4615$.

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления качению, учитывающая изменение давления воздуха в шине p_w :

$$k_{upw} = A_{pw} \cdot p_w^{B_{pw}}, \quad (14)$$

где $A_{Rz} = 0,0058$;

$B_{Rz} = -0,7210$.

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая явление бокового увода шины k_y :

$$k_{wy} = 1 + \frac{k_y}{f_{ow}} \frac{\delta_y^2}{R_z^2}. \quad (15)$$

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая влияние скорости движения v :

$$k_{uv} = 1 + \frac{k_v \cdot v^2}{f_{ow}}. \quad (16)$$

Коэффициент сопротивления грунта f_{or} в ведомом режиме с номинальной нагрузкой и давлением воздуха в шине:

$$f_{or} = A_{or} \cdot c^{B_{or}}, \quad (17)$$

где $A_{or} = 0,11\mu^2 - 0,19\mu + 0,14$;

$B_{or} = -0,65\mu^2 + 1,27\mu - 0,97$;

c — параметр, характеризующий начальное сопротивление грунта вдавливанию штампа;

μ — степенной показатель, характеризующий закон изменения сопротивления грунта вдавливанию.

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая изменение нагрузки R_z :

$$k_{rRz} = \left(\frac{R_{z1}}{R_{zo}} \right)^{\frac{1}{2\mu+1}}. \quad (18)$$

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая изменение давления воздуха в шине p_w :

$$k_{rpw} = f_{rpw} \cdot p_w^{\frac{1}{2} + B_{rpw}}, \quad (19)$$

где f_{rpw} — коэффициент сопротивления деформации грунта от давления воздуха в шине;

$B_{rpw} = 0,4615$.

Частная функция коррекции коэффициента сопротивления деформации грунта, учитывающая номер прохода колеса по грунту n :

$$k_{rn} = f_{rn} \cdot n^{B_{rn}}, \quad (20)$$

где f_{rn} — коэффициент сопротивления деформации грунта от номера прохода;

$B_{rn} = -0,6811$.

На основе разработанной математической модели качения одиночного колесного движителя по деформируемому грунту при известных нагрузочных и размерных параметрах, показателях жесткостных характеристик, а также физико-механических параметрах грунта, реализованной с использованием математического пакета Mathcad, проведен расчет влияния давления воздуха в шинах (p_w) на сопротивление качению колеса (f) при последовательных проходах и различных вертикальных нагрузках (R_z).

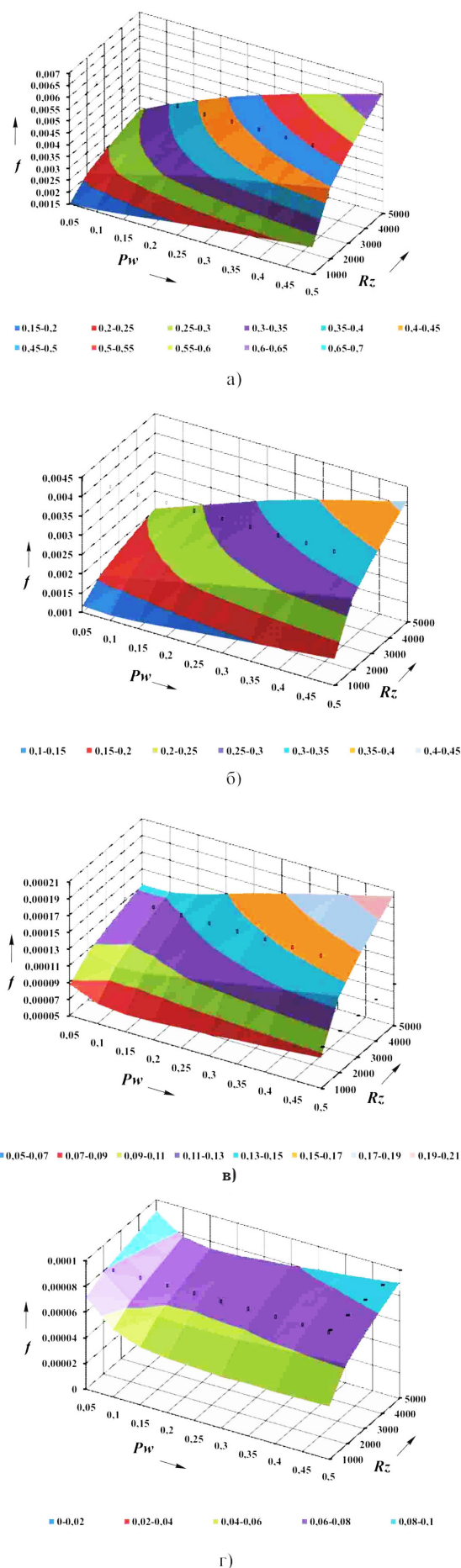


Рис. 1. Зависимости f в функции от R_z , p_w и номера прохода колеса по свежевспаханному суглинку:
(а) — первый проход, (б) — второй проход, (в) — третий проход, (г) — четвертый проход

Таблица 1
Данные расчетного эксперимента для качения одиночного колесного движителя
по свежеспаханному суглинку

Нагрузка на колесо, кг	Номер прохода			
	первый	второй	третий	четвертый
1000	0,05–0,10	0,05–0,10	0,15–0,20	0,30–0,35
2000	0,05–0,10	0,05–0,10	0,10–0,15	0,20–0,25
3000	0,05–0,10	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20
4000	0,05–0,10	0,05–0,10	0,05–0,10	0,15–0,20
5000	0,05–0,10	0,05–0,10	0,05–0,10	0,15–0,20

Таблица 2
Рекомендованные значения давления воздуха в шинах (P_w , МПа) для колес разных осей
АМН при движении по ДОП
в зависимости от приходящейся на каждое колесо нагрузки (R_z , кг)

R_z , кг	Расположение колеса в колесной формуле АМН		
	1	2	3
грунтовая дорога			
1000	0,10–0,15	0,15–0,20	0,15–0,20
2000	0,10–0,15	0,10–0,15	0,15–0,20
3000	0,08–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20
4000	0,08–0,10	0,10–0,15	0,10–0,15
влажная грунтовая дорога			
1000	0,15–0,20	0,20–0,25	0,30–0,35
2000	0,15–0,20	0,20–0,25	0,30–0,35
3000	0,15–0,20	0,15–0,20	0,25–0,30
4000	0,15–0,20	0,15–0,20	0,25–0,30
свежеспаханый суглинок			
1000	0,08–0,10	0,08–0,10	0,15–0,20
2000	0,08–0,10	0,08–0,10	0,10–0,15
3000	0,08–0,10	0,08–0,10	0,10–0,15
4000	0,08–0,10	0,08–0,10	0,05–0,10
влажный речной песок			
1000	0,10–0,15	0,10–0,15	0,15–0,20
2000	0,10–0,15	0,10–0,15	0,15–0,20
3000	0,08–0,10	0,10–0,15	0,10–0,15
4000	0,08–0,10	0,10–0,15	0,10–0,15

Результаты математического моделирования одиночного колесного движителя и проведенного расчетного эксперимента с учетом ограничений и допущений позволили получить зависимости сопротивления его качению в функции от нагрузки, приходящейся на колесо, установленного давления воздуха в шине и номера прохода при качении по деформируемой опорной поверхности с различными типами грунтов. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

Интервалы значений давления воздуха в шине колеса (P_w , МПа), соответствующие минимальному значению коэффициента сопротивления, полученные при проведении расчетного эксперимента, при установленной нагрузке и в зависимости от прохода колеса по свежеспаханному суглинку представлены в табл. 1.

Проведенные испытания АМН КАМАЗ-5350 в штатной комплектации по типичным ДОП, с варьированием нагрузки на колеса осей автомобиля, с установленным давлением воздуха в шинах в соответствии с требованиями нормативно-технической документации завода-изготовителя [4] и рекомендованным по результатам проведенного исследования давлением для колес каждой оси, позволяют

оценить эффективность предлагаемого способа повышения проходимости за счет децентрализации давления воздуха в шинах АМН.

Рекомендованные по результатам проведенного исследования значения давления воздуха в шинах для колес каждой оси АМН при движении в типичных дорожных условиях и вне дорог по характерным ДОП представлены в табл. 2.

Сравнительные результаты проведенных испытаний АМН по определению максимальной силы тяги на крюке при движении по характерным ДОП с давлением воздуха в шинах, соответствующим нормативно-технической документации завода-изготовителя и давлением в колесах каждой оси, рекомендованным по результатам проведенного исследования, представлены на рис. 2 (1 — движение АМН с давлением воздуха в шинах в соответствии с [4], 2 — движение АМН с рекомендованным давлением воздуха в шинах).

Анализ результатов проведенных испытаний позволяет сделать вывод, что использование децентрализации регулирования давления воздуха в шинах при движении по типичным ДОП дает увеличение силы тяги на крюке автомобиля в среднем на 6,1 % (при движении по грунтовой дороге — на 6,6 %,

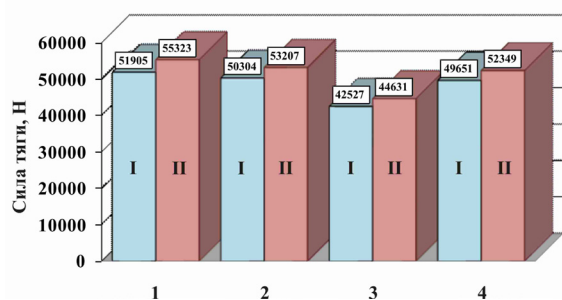


Рис. 2. Результаты проведенных испытаний АМН КамАЗ-5350 по определению максимальной силы тяги на крюке при движении по ДОП
 1 — движение по грунтовой дороге;
 2 — движение по влажной грунтовой дороге;
 3 — движение по свежевспаханному суглинку;
 4 — движение по мокрому речному песку.
 I — давление воздуха в шинах в соответствии с [4];
 II — движение АМН с рекомендованным давлением воздуха в шинах

по мокрой грунтовой дороге — на 5,8 %, при движении по пашне — на 4,9 %, при движении по влажному речному песку — на 7,2 %).

Сравнительные результаты проведенных испытаний АМН по определению расхода топлива при движении по характерным ДОП с давлением воздуха в шинах, соответствующим нормативно-технической документации завода-изготовителя и давлением в колесах каждой оси, рекомендованным по результатам проведенного исследования, представлены на рис. 3 (1 — движение АМН с давлением воздуха в шинах в соответствии с [4], 2 — движение АМН с рекомендованным давлением воздуха в шинах).

Анализ результатов проведенных испытаний позволяет сделать вывод, что использование децентрализации регулирования давления воздуха в шинах при движении по типичным ДОП дает снижение расхода топлива в среднем на 5,4 % (при движении по грунтовой дороге — на 6,1 %, по мокрой грунтовой дороге — на 6,6 %, при движении по пашне — на 4,6 %, при движении по влажному речному песку — на 4,2 %).

Проведенная экспериментальная оценка эффективности повышения проходимости АМН за счет децентрализации регулирования давления воздуха в шинах показала существенное увеличение показателей проходимости.

Использование предлагаемого способа повышения проходимости на автомобиле КамАЗ-5350 за счет децентрализации регулирования давления воздуха в шинах обеспечивает в 1,05–1,07 раза большие значения реализуемой силы тяги на крюке и в 1,04–1,07 раза снижение расхода топлива по сравнению с автомобилем, движущимся с дав-

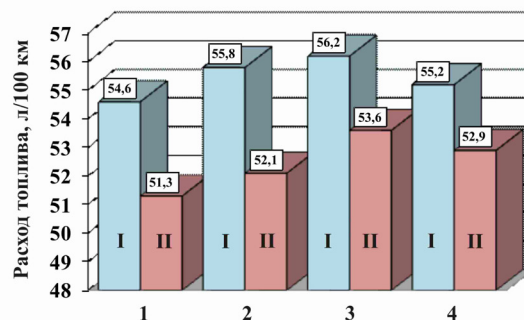


Рис. 3. Результаты определения расхода топлива АМН КАМАЗ-5350 при движении по ДОП
 1 — движение по грунтовой дороге;
 2 — движение по влажной грунтовой дороге;
 3 — движение по свежевспаханному суглинку;
 4 — движение по мокрому речному песку.
 I — давление воздуха в шинах в соответствии с [4];
 II — движение АМН с рекомендованным давлением воздуха в шинах

лением воздуха в шинах в соответствии с требованиями нормативно-технической документацией на машину.

Таким образом, анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод, что использование предлагаемого способа повышения проходимости АМН за счет децентрализации регулирования давления воздуха в шинах обеспечивает автомобилю существенное приращение удельной силы тяги на крюке и снижение расхода топлива при движении по типичным ДОП.

Библиографический список

1. Агейкин, Я. С. Проходимость автомобилей [Текст] / Я. С. Агейкин. — М.: Машиностроение, 1981. — 232 с.
2. Вольская, Н. С. Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. — М., 2008. — С. 370.
3. Петрушов, В. А. Автомобили и автопоезда: Новые технологии исследования сопротивлений качения и воздуха [Текст] / В. А. Петрушов. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008. — 352 с.
4. Автомобили КамАЗ семейства «Мустанг». Руководство по эксплуатации 4350-390230РЭ / Под общ. ред. В. В. Васина. — Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ», 2010. — 118-3 с.

УСИКОВ Виталий Юрьевич, преподаватель кафедры эксплуатации бронетанковой и автомобильной техники.

Адрес для переписки: 174vitus@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2014 г.

© В. Ю. Усиков

УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ

В работе анализируется влияние поверхностного модифицирования резины тугоплавкими металлами: молибденом, вольфрамом и танталом — на истираемость и коэффициент трения по металлу. Показано, что при заданной технологии напыления поверхность представляет собой наноструктурированную пленку. При этом наблюдается улучшение триботехнических и других эксплуатационных свойств резины.

Ключевые слова: резина, тугоплавкие металлы, наноструктурированные покрытия, истираемость, коэффициент трения, шероховатость.

Резинотехнические изделия (РТИ) находят свое применение практически во всех отраслях промышленности. В связи с этим становится очевидной экономической целесообразностью выпуска РТИ с повышенными эксплуатационными свойствами. Создание конкурентоспособной продукции невозможно без разработки материалов и изделий, обладающих высокой сопротивляемостью маслам, высоким температурам, различным видам разрушения и изнашивания. Большинство марок резин характеризуются высокими коэффициентами трения, недостаточной износостойкостью в узлах трения и герметизации [1].

В последнее время перспективным подходом к улучшению триботехнических параметров и эксплуатационных свойств РТИ является их поверхностное модифицирование, преимуществом которого является возможность обрабатывать уже готовые РТИ без изменения технологии их производства [2]. Одним из перспективных методов в этом направлении является ионно-плазменный метод напыления на поверхность резин нанодисперсных тугоплавких металлов [3]. Для развития и совершенствования методик нанесения защитных покрытий чрезвычайно важно исследовать связь измеряемых триботехнических параметров [4, 5], таких как коэффициент трения, износостойкость, адгезия со структурой и составом поверхностного слоя. Использование новых методов в сочетании с традиционными для РТИ методами испытаний позволяют выявить механизм и характер разрушения модифицированных покрытий, установить связь между структурой поверхности и ее износостойкостью. К сожалению, эта проблема в настоящее время остается недостаточно исследованной.

Целью данного исследования являлось изучение влияния процесса модифицирования на триботех-

нические параметры РТИ, такие как износостойкость и коэффициент трения. В качестве объекта исследования использовали резину на основе каучуков БНКС-28 АМН и Денка PS-40А, а в качестве модификаторов — тугоплавкие металлы: молибден, вольфрам и тантал.

Для формирования покрытий на поверхности резиновых образцов использовали установку магнетронного ионно-плазменного напыления ADVAVAC VSM-200.

Ионную чистку поверхности подложки перед нанесением покрытия производили непосредственно в рабочей камере в течение 10 мин при мощности 100 Вт, давление аргона составляло $(3,3 \div 3,4) \cdot 10^{-1}$ Па. Сам процесс напыления проводили в течение 30 мин в аргоновой среде при давлении $3,3 \div 3,4 \cdot 10^{-1}$ Па, что позволяло получить пленку толщиной 38 нм. Оптимальные значения температур подложки (80, 90 °С) были определены эмпирически, посредством исследования влияния процесса модифицирования РТИ на истираемость и коэффициент трения исходной и модифицированной резины [6].

Сравнительный анализ результатов испытаний резины на истираемость и коэффициент трения (ГОСТ 426-77) по металлической поверхности при температуре напыления 80 и 90 °С приведен в табл. 1.

По результатам испытаний исходной и модифицированной резины достигнуто снижение истираемости по металлическому диску в 2 ÷ 3 раза для образцов, модифицированных металлом Мо, в 1,2 ÷ 2,0 раза — металлом W, в 1,2 ÷ 1,5 раза — металлом Та; коэффициент трения для всех образцов снизился в 1,5 ÷ 1,8 раза по сравнению с исходной резиной. Для коэффициента трения наилучшие результаты получены для резины с покрытием из молибдена. Микроскопические исследования особенностей структуры поверхностного слоя

Результаты испытаний резины, модифицированной металлами Mo, W и Ta по металлической поверхности

Таблица 1

Образцы исходные и напыленные при температуре	Результаты испытаний образцов по металлической поверхности					
	α — истираемость резины, $\text{см}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$			μ — коэффициент трения		
	Mo	W	Ta	Mo	W	Ta
Исходные ¹	0,54	0,57	0,57	0,92	0,80	0,80
при 80 °С	0,20	0,28	0,32	0,62	0,51	0,50
при 90 °С	0,16	0,47	0,45	0,50	0,55	0,43

Примечание: изготовление образцов для испытаний проводили на двух партиях резины, одна из которых применялась для изготовления образцов, модифицированных Mo, вторая — W и Ta.

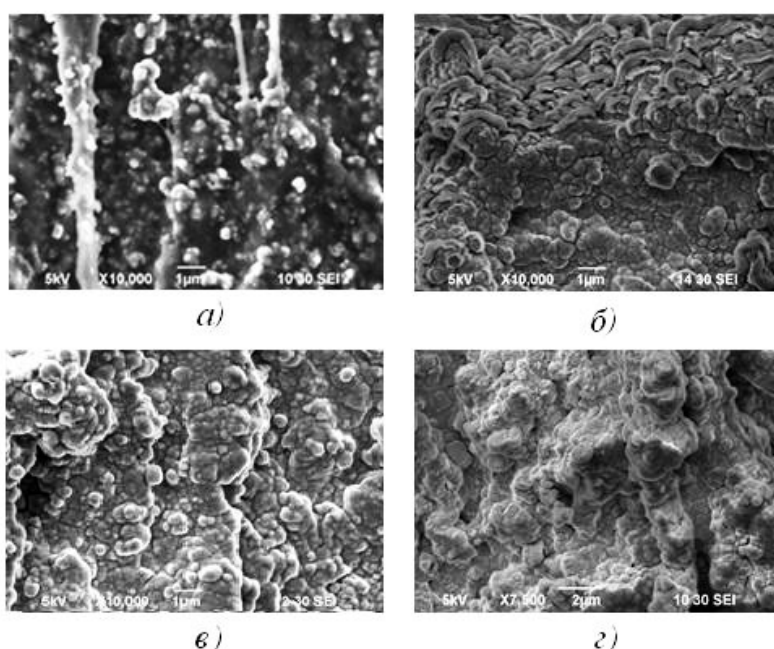


Рис. 1. Микрофотографии поверхности резинового образца до (а) и после напыления металла Mo (б), Ta (в) и W (г)

образцов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM 5700 в режиме высокого вакуума. Тип сигнала — вторичные электроны (SEI). Микрофотографии поверхностей исходной резины до напыления и модифицированной металлами Mo, W и Ta до проведения испытаний на сопротивление истиранию приведены на рис. 1.

Структура и состав поверхностного слоя во многом определяют износ (истираемость), а в дальнейшем и ресурс работоспособности РТИ. Поверхность исходного резинового образца (рис. 1а) содержит большое количество микрошероховатостей, контактирующих при истирании с твердым телом — с металлом. При этом после напыления образцов характер шероховатости поверхности модифицированной резины существенно изменился. На рис. 1б, 1в и 1г представлены микрофотографии поверхности модифицированных металлами Mo, Ta и W, из которых следует различие в структуре покрытий при их формировании.

Для изучения свойств профиля поверхности образцов использовали программу Gwyddion — модульную программу, предназначенную для анализа

полей высот. Шероховатость представляет собой совокупность микронеровностей на поверхности резины или изделия и является одной из основных геометрических характеристик качества поверхностей изделий и оказывает влияние на эксплуатационные показатели. В табл. 2 представлены основные характеристики шероховатости поверхности.

Как следует из таблицы, значения Ra, Rt и Rv поверхности исходной резины находятся выше значений поверхности, покрытой металлами вольфрама и тантала, в несколько раз. Значения Ra, Rt и Rv для исходной резины и с пленкой молибдена находятся практически на одном уровне. Возможно, это связано с особенностями структуры покрытия для данного металла.

Сопоставляя данные шероховатости с результатами по истиранию и коэффициенту трения, можно обнаружить, что для образцов с покрытием Mo наблюдаются наибольшее снижение истираемости и самый высокий коэффициент трения. Значения этих показателей для W и Ta находятся на одном уровне, как и результаты по шероховатости. Снижение этих параметров, по-видимому, являются причиной улучшения триботехнических свойств.

Характеристики шероховатости поверхности

Характеристики	Образцы				
	Исходные	Mo	W	Ta	Mo по металлу
Шероховатость					
Средняя шероховатость (Ra), μm	0,127	0,144	0,061	0,0331	0,0335
Максимальная высота шероховатости, (Rt), μm	1,577	1,445	0,590	0,3229	0,3152
Максимальная глубина впадины шероховатости (Rv), μm	0,812	0,646	0,293	0,1563	0,1538

Таблица 3

Физико-механические показатели исходной и модифицированной Мо

Наименование показателей	Результаты испытаний резины	
	Исходные	Mo
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	3,58	4,70
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	11,83	12,89
Условная прочность при растяжении, МПа	13,83	14,59
Относительное удлинение при разрыве, %	400	390
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	11	7

Одно из условий нанесения покрытий — улучшение одних свойств резины (истираемость и коэффициент трения), необходимо не допустить ухудшения деформационно-прочностных характеристик, т. е. не потерять эластичность резины. Были проведены испытания физико-механических свойств исходной резины и модифицированной металлом Мо по режиму, указанному выше, при температуре напыления 80 °С. Покрытие наносили с одной стороны рабочего участка образцов-лопаток. Испытания проводили по ГОСТ 270-75 по следующим показателям, указанным в табл. 3.

Анализ результатов испытаний физико-механических свойств показал, что нанесение металлического покрытия Мо приводит к незначительному повышению условного напряжения при 300 % удлинении с 11,83 до 12,89 МПа, с уменьшением относительной остаточной деформации после разрыва (11–7 %). Условная прочность при растяжении повысилась с 13,83 до 14,59 МПа, что указывает на улучшение прочностных свойств данной резины, при сохранении практически на одном уровне относительного удлинения (400–390 %). Таким образом, показатели по упругопрочностным свойствам остались практически на одном уровне.

На основании полученных результатов можно сделать выводы, что повышение триботехнических свойств резин возможно за счет:

- формирования пленки или слоя из высокопрочного, износостойкого материала на подложке (поверхности резины) путем подбора соответствующего технологического режима напыления;
- изменения состава поверхностного слоя основного материала вследствие его насыщения ионами металлов;
- формирование структуры поверхности покрытия в нанометровом диапазоне, изучая в даль-

нейшем влияние характеристик профиля покрытия на триботехнические и эксплуатационные свойства.

Одной из важных задач является разработка различных режимов ионно-плазменного модифицирования поверхностных слоев при создании изделий с новыми триботехническими свойствами, при этом одним из направлений исследования является изучение характера влияния параметров поверхностного слоя на эксплуатационные свойства РТИ.

Библиографический список

1. Мур, Д. Трение и смазка эластомеров / Д. Мур ; пер. с англ. Г. И. Бродского. — М. : Химия, 1977. — 264 с.
2. Поляков, П. В. Методы повышения работоспособности РТИ узлов трения, работающих в условиях эксплуатации, близких к экстремальным / П. В. Поляков, А. А. Душко : межвуз. сб. науч. тр. — Волгоград : ВолгГАСА, 2000. — 10 с.
3. Гринберг, П. Б. Технология нанесения наноструктурированных металлопокрытий на резинотехнические изделия / П. Б. Гринберг [и др.] // Вестник Омского университета. — 2012. — № 2 (64). — С. 249–252.
4. Chizhik S. A., Huang Z., Gorbunov V. V., Myshkin N. K. and Tsukruk V. V. Micromechanical properties of elastic polymeric materials as probed by scanning force microscopy // Langmuir 1998, 14, P. 2606–2609.
5. Tsukruk V. V., Sidorenko A., Gorbunov V. V., Chizhik S. A. Surface Nanomechanical Properties of Polymer Nanocomposite Layers // Langmuir 2001, 17, P. 6715–6719.
6. Влияние наноструктурного поверхностного модифицирования на эксплуатационные свойства резин / Е. П. Целых [и др.] // Новые материалы и технологии в машиностроении. — 2014. — № 19. — С. 125–128.

ЦЕЛЫХ Елена Петровна, аспирантка кафедры физики Омского государственного технического университета (ОмГТУ), инженер-технолог 3-й категории

научно-производственного предприятия «Прогресс», г. Омск.

Адрес для переписки: elencelyk@yandex.ru

ПОЛОНЯНКИН Денис Андреевич, кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры физики.

Адрес для переписки: polinjan@mail.ru

РОГАЧЕВ Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физики.

Адрес для переписки: evg-rogachev@yandex.ru

СУРИКОВ Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой физики.

Адрес для переписки: surval@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2014 г.

© Е. П. Целых, Д. А. Полонянкин, Е. А. Рогачев, В. И. Суриков

Книжная полка

621.57/Я60

Январев, И. А. Теплообменное оборудование компрессорных, холодильных, технологических установок и систем кондиционирования : учеб. электрон. изд. локального распространения : конспект лекций / И. А. Январев. – Омск : ОмГТУ, 2014. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены различные виды, классификации, методики расчета, рекомендации по эксплуатации теплообменного оборудования, применяемого в компрессорных, холодильных и технологических установках, а также в системах кондиционирования. Значительное внимание уделено математическому описанию и решению задач комплексной оптимизации систем охлаждения компрессорных установок. В рамках структурного анализа рассмотрены задачи моделирования и методы расчета теплообменных объектов различных уровней: элементов, рядов, комплексов и систем. Студенты могут также познакомиться с новыми программными средствами ANSYS и HYSYS, которые предназначены для расчета отдельных конструктивных решений и теплообменных аппаратов в целом, а также для расчета сложных теплообменных систем. Для студентов, обучающихся по специальностям 150801 «Вакуумная и компрессорная техника физических установок», 140401 «Техника и физика низких температур», 240100 «Химическая технология и биотехнология», 240801 «Машины и аппараты химических производств».

621.9.02/M15

Макаров, В. Ф. Выбор высокоэффективных абразивных инструментов и режимов резания для различных видов шлифования заготовок : учеб. пособие для вузов по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В. Ф. Макаров. – Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 273 с. – ISBN 978-5-94178-294-9.

В учебном пособии представлены современные сведения о различных процессах абразивной обработки. Рассмотрены виды и характеристики абразивных инструментов. Приведены основные принципы выбора характеристик абразивных инструментов и режимов абразивной обработки. Приведены данные о классах точности и неуравновешенности шлифовальных кругов, проверки их прочности и их маркировке.

621.9/Ю74

Юркевич, В. В. Жизненный цикл металлорежущих станков: мониторинг состояния : моногр. / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 551 с. – ISBN 978-5-94178-260-4.

В книге приведено описание методики проведения испытаний технологического оборудования в статистическом состоянии, при работе на холостом ходу и при испытаниях в работе, а также исследовательских испытаний станков. Дана информация по программным испытаниям металлообрабатывающих станков и по программным нагрузочным устройствам. Описана методика измерения траекторий формообразующих узлов, применяемых при этом датчиков, методология измерения и обработка экспериментальных данных с помощью компьютера. Приведена теория и практика построения виртуальной копии детали на основе измерения траекторий формообразования. Описана специфика проведения контроля и диагностики в автоматизированном производстве. Монография предназначена для оказания методической помощи студентам, магистрам и аспирантам ВПО, обучающимся по направлениям подготовки в области техники и технологии, может быть полезна технологам и конструкторам машиностроительных предприятий.

621.1/M69

Болштянский, А. П. Тепловой расчет котельных установок : учеб. электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / А. П. Болштянский, А. Г. Михайлов. – Омск : ОмГТУ, 2014. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Приведены методики теплового расчета котлоагрегатов с выбором и компоновкой основного оборудования. Справочные сведения даны в объеме, необходимом для выполнения курсового проектирования. Учебное пособие предназначено для студентов дневной, заочной и дистанционной формы обучения по специальности 150802 (121100) «Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», а также может быть полезно студентам теплоэнергетических специальностей технических вузов.