

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российский фонд фундаментальных исследований
**ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю. А.»**
Министерство промышленности и энергетики Саратовской области
Институт проблем точной механики и управления РАН
Саратовский научный центр РАН
ФГУП «Базальт» корпорации РОСАТОМ, г. Саратов
ОАО НПП «Контакт»
ОАО «КБ Электроприбор»
ОАО «Завод автономных источников тока»
ФГУП «НПЦАП им. академика Н. А. Пилюгина» – ПО «Корпус»
ООО «Неофлекс»
ОАО «СЭПО»
ОАО «Саратовский агрегатный завод»
НПП «Нитрид»
ООО «Маяктрансэнерго», г. Пенза
ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти
ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко», г. Заречный
НПЦ «Электронные системы»
ОАО «Алмаз»
НПК ПО «Тантал»
ОАО ЭОКБ «Сигнал» им. А. И. Глухарёва

ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО 2014

**СБОРНИК ТРУДОВ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

30 июня-1 июля 2014 г.

Том 1

Саратов 2014

УДК 621.9,629.1
ББК 34
И 62

Редакционная коллегия:

Доктор технических наук, профессор Бекренев Н.В. (общая редакция), доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Института проблем точной механики и управления РАН (ИПТМУ РАН) Панкратов В. М., действительный член Академии навигации и управления движением Российской Федерации, действительный член Академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, доктор технических наук, профессор Большаков А.А., доктор технических наук, профессор Боровских В.Е., доктор технических наук, профессор Игнатьев А.А., доктор технических наук, профессор Захаров О.В., кандидат технических наук, доцент Боровских У.В.

И 62 ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО 2014: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. / под ред. Н.В. Бекренева и У.В. Боровских. – Саратов: Издательский дом «Райт-Экспо», 2014. – Т.1. – 332 с.
ISBN 978-5-4426-0032-2

В сборнике публикуются избранные труды участников II Международной научно-практической конференции «ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО 2014», состоявшейся в июне-июле 2014 г. в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А.

Представленные материалы отражают современные подходы к методам оптимального конструирования и моделирования динамически нагруженных элементов технологических и транспортных машин, приборов, современных инструментов, повышению энергоэффективности технических систем. Представлены материалы исследований в области автоматизации проектирования различных технических систем, их диагностики, управления сложными технологическими процессами с применением интеллектуальных систем.

Сборник ориентирован на специалистов, занимающихся разработкой современных методов проектирования новой технологической, транспортной и энергетической техники с применением компьютерных технологий, разработкой средств автоматизации процессов и машин.

Тезисы и доклады рецензированы и отрецензированы Программным комитетом конференции. Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ № 14-08-06045)

УДК 621.9,629.1
ББК 34

ISBN 978-5-4426-0032-2

© Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю. А., 2014
© Коллектив авторов, 2014

Секция 1

**Машиноведение, транспортное
и энергетическое машиностроение**

**РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СВАРНОГО
ЛОНЖЕРОНА ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ
ПОЛУПРИЦЕПОВ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЛАТФОРМ**

С.В. Буханов, А.О. Сурин, А.А. Захаров

Науч. рук. В.Е. Боровских

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998635; E-mail: tmm@sstu.ru

Рассматривается вопрос о совершенствовании рамных конструкций с целью снижения массы, рационального использования сечений и увеличения их долговечности. Предлагается специальный прокатный профиль для производства составных двутавровых балок, используемых в рамах несущих систем грузовых вагонов и лонжеронов автомобильных полуприцепов.

Ключевые слова: рамные конструкции, несущие системы, концентрация напряжений, напряжения в сварном шве, механические характеристики материалов.

**OPTIMAL DESIGN DEVELOPMENT OF WELD JOINT SIDE
MEMBER HEAVILY LADEN SEMITRAILER BEARING SYSTEMS
AND RAILWAY PLATFORMS**

S.V. Buxanon, A.O. Surin, A.A. Zaxarov

Curator V.E. Borovskih

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

We consider the question of improving frame structures to reduce weight, the rational use of sections in order to increase their longevity. We propose a special rolling profile for production of composite I-beams used in frames support systems of freight cars and car trailers girder.

Keywords: frame structure, bearing system, stress concentration, stresses in the weld seam, mechanical properties of materials.

Известно, что автомобильные компании и поставщики оборудования затрачивают значительные средства на научные исследования по снижению расхода топлива двигателей. С этой целью они совершенствуют конструкции, усложняют систему зажигания, а также организуют подачу воздуха в двигатель при помощи турбонагнетателя. Однако, в настоящее время усилия в этих направлениях практически не дают желаемых результатов и, кроме того, это приводит к усложнению и удорожанию оборудования и, не в меньшей мере, усложняет технологию изготовления. Эффективной мерой по снижению расхода топлива является

уменьшение массы механических частей и оборудования, что, в свою очередь, снижает инерционные силы сопротивления, возникающие при ускорении поступательного и вращательного движений, а также приводит к уменьшению сопротивлений качению и подъему. Важное место в вопросе снижения массы конструкции имеет конфигурация элементов конструкций автомобилей. Из практики проектирования автомобилей известно, что с увеличением массы какой-либо его части одновременно увеличивается масса поддерживающих её элементов и, наоборот, с уменьшением массы какой-либо части автомобиля можно значительно снизить массу других деталей. Кроме того, установка более лёгких систем (например, меньшего двигателя) в одном месте может автоматически привести к изменениям (уменьшению размеров тормозных механизмов) в другом месте. Таким образом, существует своего рода цепная реакция: как один из примеров – облегчение конструкции кузова обуславливает уменьшение размеров колёс. Следовательно, важное значение при проектировании конструкции в целом имеет сам этап проектирования.

Металлоемкость машин на современном этапе снижают путём совершенствования конструкций (повышение точности расчетных методов оценки нагрузок и прочности, применение современных методов ускоренных испытаний, создание конструкций новых принципов действия и др.), внедрения прогрессивных малоотходных и упрочняющих технологий, замены материалов деталей. Правильный выбор материалов — задача оптимизации по большому числу критериев. При замене традиционных материалов прогрессивными должно выполняться условие: величина коэффициента замены материала (отношение норм расхода заменяемого и заменяющего материалов) должна быть больше 1. Ориентация на применение наиболее дешёвых материалов препятствует не только снижению металлоемкости, но и повышению ресурса машин. Себестоимость продукции, вопреки распространенному мнению, не может рассматриваться как единственный показатель эффективности производства. Имеется немало примеров сочетания низкой себестоимости машин с чрезмерными затратами на избыточную массу и поддержания их в работоспособном состоянии и наоборот. Вследствие этого эффективность машин необходимо оценивать системно — с учетом всех затрат на создание, производство и обеспечение работоспособности за срок службы, отнесённых к единице выполняемой работы. Подобный подход предусмотрен ГОСТ 27782-88.

С целью снижения металлоемкости в последние годы большое внимание уделяется вопросам разработки конструкций несущих систем и узлов автомобилей с позиции минимальной металлоемкости и рационального использования прочностных свойств материала элементов рамы и узлов автомобиля. В качестве материалов, предназначенных для

изготовления рам и корпусов транспортных машин, применяются различные стали. Выбор той или иной стали диктуется рядом соображений, основные из которых определяются эксплуатационными и технологическими требованиями. С точки зрения удовлетворения эксплуатационным требованиям, сталь должна обеспечивать конструкциям несущих элементов необходимую прочность в течение всего времени эксплуатации, должна давать возможность изготовления рамных и корпусных конструкций с применением современных методов производства деталей и их сборки. Так, сталь должна допускать холодную и горячую гибку, т.е. обладать достаточной пластичностью, иметь стабильные механические характеристики, а для сварных конструкций необходимо иметь свойство хорошей свариваемости и т.д. В данной работе предлагается специальный прокатный профиль для производства составных двутавровых балок, используемых в рамах несущих систем грузовых вагонов и лонжеронов автомобильных полуприцепов.

Поставленная задача решается созданием специальной полосы, имеющей Т-образное сечение (рис.1).

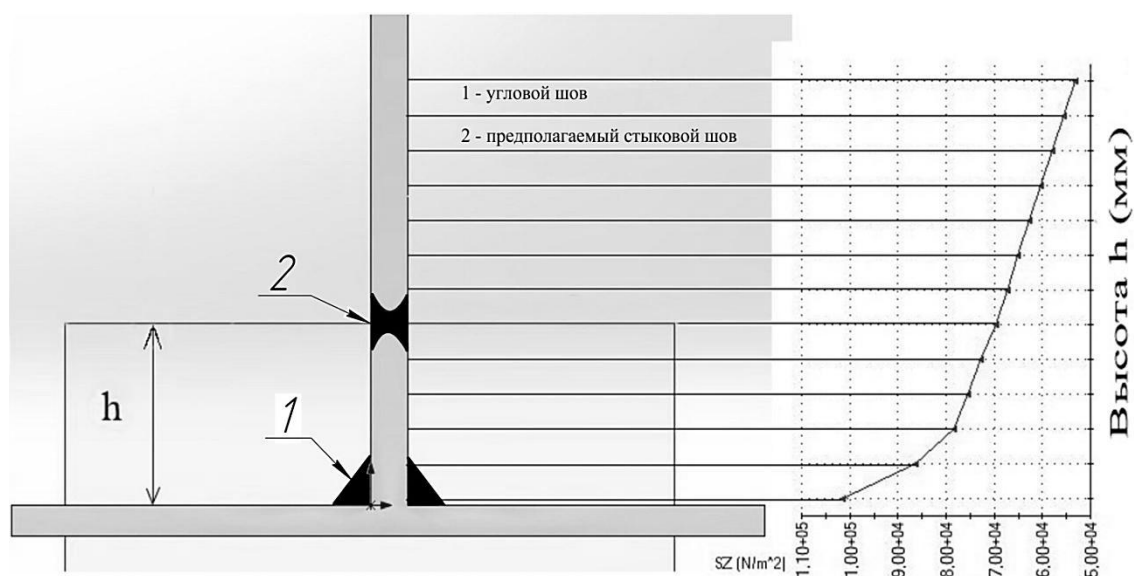


Рис. 1. Величины нормальных напряжений в двутавре при чистом изгибе

Такая полоса позволяет уйти от угловых сварных швов в месте крепления стенки двутавра к полке и перейти к стыковому шву. Предлагаемая конструкция двутавра позволяет увеличить величину предела выносливости сварного соединения. В качестве примера рассмотрим два варианта конструкции двутавра. Первый вариант – полоса непосредственно соединена с полками угловыми сварными швами с полным проваром. Во втором варианте предлагаемый профиль с $h \approx 50$ мм соединён со стенкой стыковым сварным швом. Сравнение по числам циклов нагружения до разрушения выполнено в предположении, что величины амплитудных напряжений в местах сварки, вычисленные по

Мизесу, соответственно равны: угловой шов – $\sigma_V = 50$ МПа, стыковой шов – $\sigma_V = 30$ МПа (рис. 1). Предел выносливости стыкового шва для стенки примем – $\sigma_{-1} = 204$ МПа [1]. Допускаемое напряжение: стыковой шов ($m=4$; $K_\sigma=1$; $S=1$; $\sigma_{-1g}=163$ МПа); угловой шов ($m=4$; $K_\sigma=2$; $S=1,25$; $\sigma_{-1g}=82$ МПа), тогда число циклов до разрушения на базе равно ($N_{баз} = 10^7$); стыковой шов $N_{ц.э} = 871 \cdot 10^7$; угловой шов $N_{ц.э} = 7 \cdot 10^7$.

К тому же, увеличение долговечности конструкции технологическими методами (снятие превышения сварного шва, снижение остаточных сварных напряжений) значительно проще для стыкового шва, чем для углового.

В дальнейших исследованиях предполагается обосновать высоту стенки профиля h , учитывая, что данная полоса будет изгибаться в районе «гусы» в автомобильных полуприцепах и в районе тележек грузовых вагонов.

Выполненное исследование показало, что предлагаемое сечение профиля полосы при прочих равных условиях выдерживает большее число циклов нагружения по сравнению с традиционной конструкцией. Поэтому с целью внедрения предлагаемого профиля в производство должны быть выполнены исследования вопросов прочности, жесткости, долговечности и технологичности.

Список литературы

1. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1991.- 319 с.

УДК (621.311:621.039):621.165

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ОТБОРОВ ПАРА ОТ АЭС В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В.А. Хрусталева, В.М. Сучков

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

E-mail: dante92@bk.ru

Рассматривается эффективность использования атомных электрических станций не только для электроснабжения, но и для теплоснабжения. В результате это обеспечит сокращение более дорогого органического топлива на выработку тепла. Приведены расчеты, подтверждающие эффективность теплоснабжения от АЭС.

Ключевые слова: нерегулируемый отбор пара, теплофикационная установка, теплоснабжение, атомная электрическая станция.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS UNREGULATED SELECTION STEAM FROM NPS IN THE HEATING SYSTEM

V.A. Chrustalev, V.M. Suchkov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The article presents the efficiency of the use nuclear power station not only for electricity, but also heat supply. As a result of it will reduce more expensive organic fuel to produce heat. The calculations confirm the efficiency the heating system from NPS.

Keywords: unregulated selection steam, heating unit, heat supply, nuclear power station.

При использовании ядерного топлива только для выработки электрической энергии им можно заменить в России даже в достаточно отдаленной перспективе менее 20% органического топлива. В настоящее время около 1/3 расходуемого топлива идет на выработку теплоты, в связи с чем очевидна целесообразность вытеснения органического ядерным топливом и в этой области.

Одним из средств повышения рациональности использования топлива и, в частности эффективности турбоустановок, является комбинированная выработка ими электрической и тепловой энергии. На многих современных ТЭС предусматриваются периодические отборы пара от турбин на собственные технологические нужды электростанции: пуск соседнего энергоблока, разогрев или размораживание топлива, получение добавки конденсата с помощью испарительной установки и т. д. Потребность АЭС в паре для удовлетворения технологических нужд, особенно на одноконтурных АЭС, является практически постоянной: пар из турбинных отборов используется для бойлера ПГ и других специальных нужд ЯППУ, для получения «чистого» пара в испарительных установках и т. п., а кроме того, требуются более или менее продолжительные временные отборы пара. Все отечественные АЭС имеют отборы пара на отопление собственно электростанции и пристанционного поселка.

Отрицательные стороны имеет во многих случаях и строительство для целей теплоснабжения специальных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), заметно уступающих по экономичности конденсационным станциям в периоды, когда их тепловые нагрузки на единицу электрической мощности становятся малыми. Размещение современных мощных ТЭЦ на органическом топливе требует больших площадей. Они ежедневно потребляют тысячи тонн условного топлива, поэтому требуется установка сложного и дорогостоящего оборудования по обеспечению чистоты воздушного бассейна, очистке загрязненных стоков, сооружение дымовых труб. По этим причинам размещение новых ТЭЦ в непосредственной

близости от потребителя теплоты в городах на неэкологичном топливе практически невозможно.

Расчет оценки эффективности теплоснабжения от АЭС вёлся на базе двух блоков реактора ВВЭР-1000 с турбоустановкой К-1000-60/1500.

Для начала производился расчет теплофикационной установки одного блока (тепловой мощностью 232 МВт) на потерю электрической мощности от количества отбираемой теплоты на теплофикацию (рис. 1).

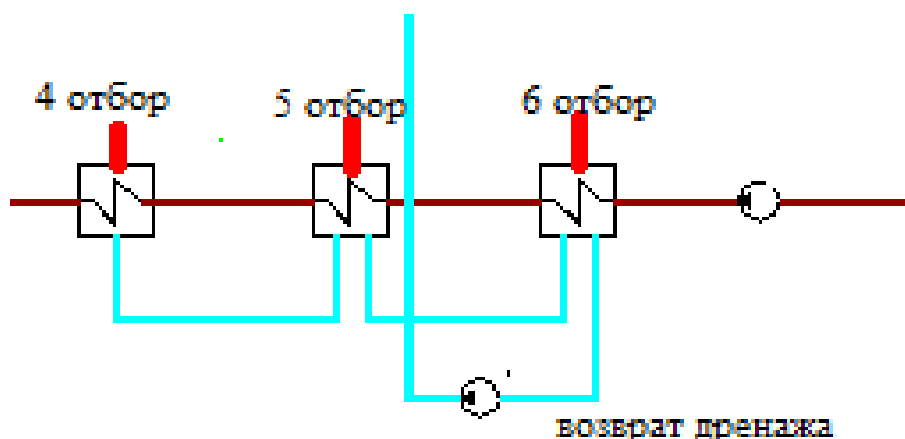


Рис.1. Схема теплофикационной установки К-1000-60/1500

Для графика теплосети 150-70 нашли давление в отборах 4, 5, 6 (условно приняли равномерный подогрев сетевой воды), после чего построили процесс расширения пара в ЦНД и определили энтальпии отборов (табл. 1).

Таблица 1. Параметры отборов

	h пара	h дренажа
4-й отбор	2836	654,9
5-й отбор	2740	551,4
6-й отбор	2560	384,45
hk	2212	

Так как тепловую мощность мы задаем (в зависимости от этого включаем 6-й, 5-й или 4-й отборы), то определяем относительный расход пара по формуле:

$$\alpha_i = \frac{Q}{h_i - h_{др i}} ; \quad (1)$$

$$\alpha_6 = \frac{Q}{h_6 - h_{др 6}} = \frac{50}{(2560 - 384,45)} = 0,02298 .$$

Аналогичный расчет проводим и для остальных заданных тепловых мощностей, результаты которых сведем в таблицу 2.

Таблица 2. Относительные расходы пара в отборах

α_4				0,030567	0,038205
α_5		0,022846	0,034268	0,030462	0,038075
α_6	0,022983	0,022983	0,034474	0,030645	0,038303
Q, МВт	50	100	150	200	250

Определим потерю мощности в каждом из отборов:

$$\Delta N_6 = 11,69 \text{ МВт.} \quad (2)$$

Остальной расчет сведем в таблицу 3.

Таблица 3. Потеря мощности в отборах (150-70)

Q, МВт	50	100	150	200	250
6-й отбор	11,69008389	11,69008	17,53513	15,58756	19,48269
5-й отбор		17,63092	26,44638	23,50907	29,38369
4-й отбор				27,87898	34,84559

Проведем аналогичный расчет для температурного графика 170-90, в таблицу 4 сведем результаты расчета потери мощности в каждом из отборов.

Таблица 4. Потеря мощности в отборах(170-90)

Q, МВт	50	100	150	200	250
6-й отбор	16,39809	16,39809	24,59714	21,86522	27,32906
5-й отбор		19,95217	29,92825	26,60422	33,25228
4-й отбор				31,53418	39,41417

На основании полученных расчетов составляем график (рис. 2).

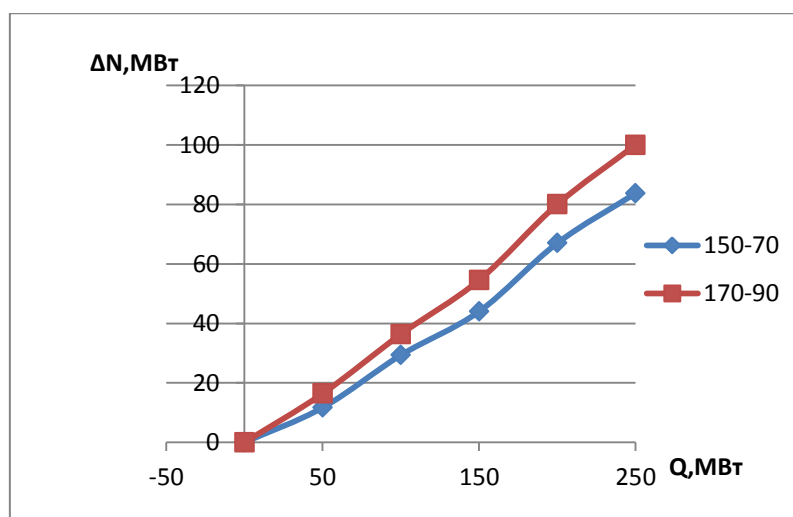


Рис. 2. График зависимости потери электрической мощности от тепловой мощности отборов

Далее по данным [2] строили график тепловых нагрузок города Саратова (150-70). По нему определили годовую недовыработку электрической энергии и количество отпущенной теплоты.



Рис. 3. Годовой график тепловой нагрузки 1 блока для графика 150-70

Потеря электрической мощности и выработка тепловой энергии для города Саратова: $\Delta \mathcal{E} = 187700 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$; $Q_{\text{год}} = 754012 \text{ Гкал/год}$.

Для того чтобы показать эффективность теплоснабжения от АЭС для каждого из графиков теплосети, сравним по некоторым технико-экономическим показателям (ЧДД, ИД и СО) несколько вариантов расчета:

- 1) АЭС+РК и АЭС с нерегулируемыми отборами пара без компенсации годовой недовыработки электроэнергии;
- 2) АЭС+РК и АЭС с нерегулируемыми отборами пара+ПГУ КЭС с учетом годовой недовыработки электроэнергии.

Также необходимо поставить эти проекты в равные условия:

- 1) число часов использования должно быть одинаковым;
- 2) годовые выработки тепловой и электрической энергии в проектах должны быть равными.

Исходные данные взяты в соответствии с прогнозными показателями. Результаты расчетов по каждому из вариантов покажем в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Сравнение технико-экономических показателей проектов
1-го варианта

Показатель	Цена на газ, руб/м ³	150-70	
		АЭС+РК	АЭС с отборами пара
Чистый дисконтированный доход	4000	177650	193065
	4500	174572	193065
	5000	171491	193065
Индекс доходности	4000	1,816	1,8583
	4500	1,802	1,8583
	5000	1,79	1,8583
Срок окупаемости	4000	18,14	17,89
	4500	18,23	17,89
	5000	18,32	17,89

Таблица 6. Сравнение технико-экономических показателей проектов
2-го варианта

Показатель	Цена на газ, руб/м ³	150-70	
		АЭС+РК	АЭС с отборами пара+ПГУ КЭС
Чистый дисконтированный доход	4000	181144	191429
	4500	178066	190493
	5000	174963	189549
Индекс доходности	4000	1,8109	1,8353
	4500	1,7971	1,8312
	5000	1,7832	1,8271
Срок окупаемости	4000	18,17	18,02
	4500	18,26	18,04
	5000	18,35	18,07

Выводы

1. Из полученных технико-экономических показателей следует, что более целесообразно использовать отпуск тепла из нерегулируемых отборов АЭС взамен дополнительного сооружения районных котельных на газе. Получаемый эффект вырастает с повышением цены на газ.

2. Использование АЭС с отпуском тепла сокращает количество вредных выбросов в атмосферу и уменьшает расход природного газа. Это положительно влияет на экономику страны за счет экспорта газа, а также сокращения вредных выбросов в атмосферу.

Список литературы

1. Болдырев В.М. Почему не внедряется экологически чистая и топливосберегающая атомная теплофикация? / В.М. Болдырев // Промышленные Ведомости. – 2011. – № 3-4.

2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. пособие/ Е.Я. Соколов.-М.: Издат. дом МЭИ, 2009.– 472 с.

УДК 629.113.001.2. 401.7

ОЦЕНКА УРОВНЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДРАМНИКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Д.В. Воронин, В.Е. Боровских

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998635; E-mail tmm@sstu.ru

При эксплуатации подрамников машин разрушения их конструкции наблюдаются редко. С целью установления истинного характера напряженно-деформированного состояния элементов подрамника был

выполнен численный эксперимент. Основной задачей эксперимента являлось определение касательных напряжений в сечениях, подверженных разрушениям.

Ключевые слова: подрамник автомобиля, разрушение, численный эксперимент, нормальные, переменные, касательные, эквивалентные напряжения

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF TANGENTIAL STRESSES IN THE CROSS SECTIONS OF THE ELEMENTS OF THE SUB-FRAME OF THE VEHICLE

D.V. Voronin, V.E. Borovskih

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

When using stretchers machines observed rare cases of destruction. In order to establish the true nature of the stress-strained state of the stretcher was carried out numerical experiment. The main objective of the experiment was to determine the shear stresses in the sections exposed destruction.

Keywords: car subframe, destruction, numerical experiment, normal variables tangents equivalent stress

В троллейбусе нагрузка от пневмоэлементов задней подвески на несущую систему передается через подрамник (рис. 1). Подрамник представляет собой цельносварную металлоконструкцию, выполненную из гнутых профилей. Рама подрамника представляет собой конструкцию из продольных и поперечных сечений балок. На этапах доработки элементов конструкции подрамника было исследовано напряженно-деформированное состояние элементов подрамника в условиях, приближенных к эксплуатационным. Для численного эксперимента были выбраны сечения элементов подрамника, в которых напряжения могли достигать значительной величины при эксплуатации.

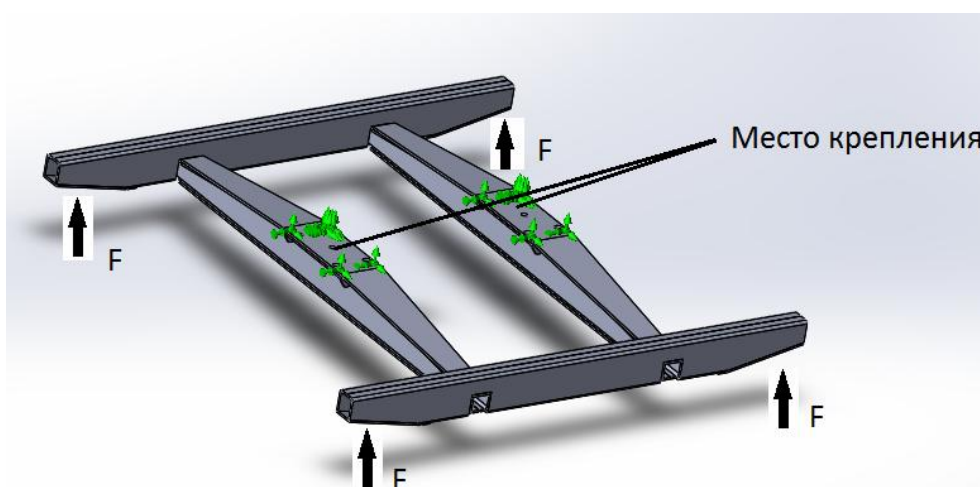


Рис. 1. Общий вид подрамника и схема его нагружения при статических испытаниях

Схема наклейки тензодатчиков (частичная) для фиксации амплитудных напряжений при движении машины представлена на рис. 2.

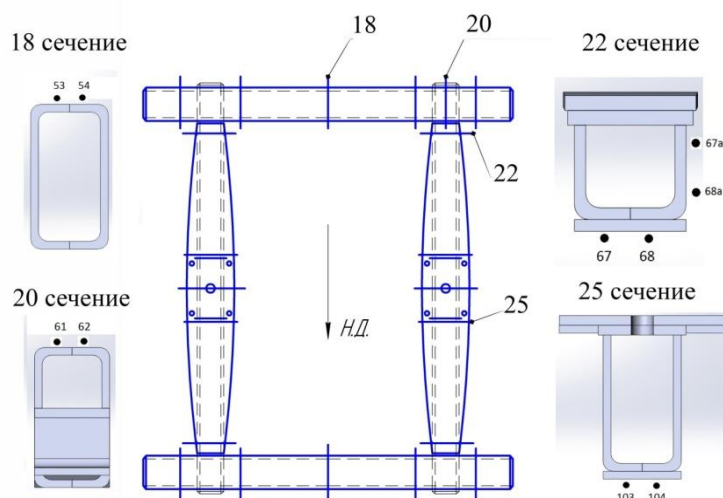


Рис. 2. Схема расклейки тензодатчиков на элементах подрамника

Испытания проводились по программе, разработанной в НАМИ, нагрузка в машине принята равной номинальной $=60$ кН. Результаты испытаний (частично) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Величины амплитудных напряжений в сечениях элементов подрамника (рис.1).

Условия эксплуатации \ № датчика	Амплитудные напряжения, МПа							
	62	61	54	53	68	67	103	104
Наезд двумя колесами	52,8	39,2	39,7	36,6	-	-	92	61,3
Наезд правым бортом	28,16	32,7	165	18,7	39,4	37,7	60	64,2
Наезд левым бортом	38,72	39,2	21,2	19,7	36,6	35,3	26	30,6
Торможение	9,68	35,9	11,8	11,9	22,5	16,5	16	9,4
Ж.д. переезд	33,44	39,2	23,6	28,2	26,8	23,6	28	30,6
Хороший асфальт	10,56	13,1	7,1	7	8,5	37,7	12	9,4
Плохой асфальт	26,4	36,9	27,1	28,2	31	37,7	40	30,6
Ж.д. переезд	19,36	22,9	18,9	10,9	19,77	21,3	36	47,1
Торможение	13,2	9,6	14,1	11,3	19,7	18	10	9,4

Как показал эксперимент, уровень величин амплитудных напряжений в сечениях элементов подрамника в эксплуатационных условиях не велик. Так, при движении по асфальту «хорошему» (скорость 40 км/ч), максимальная амплитуда не превышает $\sigma_{a \max} = 37,7$ МПа, по разбитому асфальту $\sigma_{a \max} = 40$ МПа. Средние значения амплитуд напряжений не превышают $\sigma_{a \text{ ср}} = 38,85$ МПа. В то же время величина предела выносливости для Стали 3 равна:

$$\sigma_{-1} = (0,55 - 0,0001\sigma_{\text{вп}})\sigma_{\text{вп}} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{вп}} = (370 - 470) \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1q} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma[s]}} = 63,3 \text{ МПа} - \text{максимально допускаемые напряжения.} \quad (2)$$

Однако, как показал опыт эксплуатации, редкие разрушения элементов подрамника в эксплуатации наблюдались. С целью установления истинного характера напряженно-деформированного состояния элементов подрамника был выполнен численный эксперимент. Расчетная схема представлена на рис. 3.

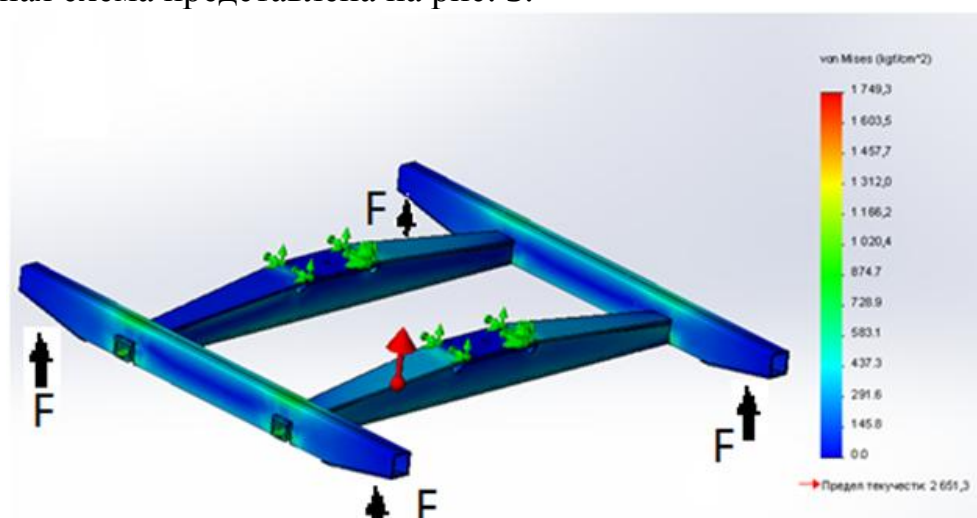


Рис. 3. Величины напряжений в элементах подрамника при нагружении последнего постоянной нагрузкой $F = 60 \text{ кН}$

Основной задачей эксперимента являлось определение касательных напряжений в сечениях, подверженных разрушениям. Величины касательных напряжений в этих сечениях даны в табл. 2.

Таблица 2. Величины касательных и эквивалентных напряжений в сечениях элементах подрамника

Позиция			Величина напряжения, МПа	
№ сечения	№ датчика		касательного	эквивалентного
Экспериментальные	18	53	0,234	46,814
		54	1,144	47,686
	20	61	0,34	24,186
		62	0,715	32,960
	22	67	1,244	29,685
		68	4,021	33,701
	25	103	0,165	19,794
		104	0,204	33,960
Расчетные	22	67a	68,295	136,826
		68a	62,842	126,660

Эквивалентные напряжения рассчитаны по зависимости:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_i^2} \quad . \quad (3)$$

Анализируя данные табл. 2, можно отметить, что эквивалентные напряжения в сечении 22 для тензоточек 67а и 68а значительно больше допускаемых эквивалентных напряжений. Для снижения уровня последних следует изменить конструкцию узла - сопряжение лонжерона с поперечной балкой, с целью увеличения момента сопротивления на кручение.

Список литературы

1. ГОСТ 380-94 - Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
2. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т./ В.И. Анурьев; -5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1979.- Т.1.-728 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе. Эксплуатационная нагруженность пассажирских транспортных средств автобусов и троллейбусов. № Г.р. 01820071444, инв. № 02830083350. – 78 с.

УДК 656.113

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РАБОТЕ НА СМЕШАННОМ ВИДЕ ТОПЛИВА

О.Г. Гелашвили

ГТУ, г.Тбилиси, Грузия

Тел. (+99532)2364035; (+99532)599 92 22 23;

E-mail: gelashviliotari@mail.ru

Обоснована целесообразность применения газового топлива на дизельных автомобилях, показаны перспективные пути перевода дизелей на газодизельный процесс и приведены результаты экспериментальных испытаний газобаллонных автомобилей. Установлено, что газодизель с модернизированной системой топливоподачи имеет в среднем на 24 % меньшую суммарную токсичность, чем дизель. Разработан метод определения количества выбрасываемых автомобилем вредных веществ от параметров автомобиля и его двигателя, позволяющий определить токсичность конкретного автомобиля, использующего конкретное топливо в эксплуатации.

Ключевые слова: автомобиль, дизель, двигатель, сжиженный нефтяной газ, сжатый природный газ, методика, модель, транспорт, топливо, токсичность, экономичность.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF ROLLING STOCK AT OPERATION ON MIXED FUEL

O. G. Gelashvili

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

In the paper is grounded the suitability of gaseous fuel application for diesel vehicles, are shown promising ways to diesel's transfer to gas-diesel process and are stated results of experimental tests of gas-cylinder vehicles. Is defined that gas-diesel engine with upgraded fuel supply system has on average 24% lower total toxicity than diesel. The method for determining of amount of vehicle harmful substances due of the vehicle and its engine parameters, allowing determining the toxicity of particular vehicle that uses a particular fuel to operate is developed.

Keywords: car, diesel, engine, liquefied petroleum gas, compressed natural gas, technique, model, transport, fuel, toxicity, economy.

Как показывают исследования, в мировом масштабе более 50% пассажирских и грузовых перевозок приходится на автомобильный транспорт. Поэтому эффективность и бесперебойность его работы приобретают исключительно важное значение. Однако, автомобильный транспорт относят к числу наиболее энергоемких отраслей, для которого энергетическая составляющая в структуре цены транспортных услуг составляет 40-50 %. Выполненные нами исследования показали, что в условиях автотранспортных фирм (АТФ) любые мероприятия, направленные на эффективное и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов, и в первую очередь, нефтепродуктов, имеют важное хозяйственное и социально-экономическое значение, так как в этом заложены значительные снижения себестоимости перевозок, повышения эффективности и экологичности автомобилей. Эта проблема особенно актуальна в настоящее время, поскольку развитие автомобильного транспорта сопровождается значительным ростом потребления нефтепродуктов и заметным загрязнением окружающей среды. Это вместе с вышеуказанным создает глобальные проблемы необходимости повышения топливной экономичности и экологичности автомобильного транспорта. Для решения проблемы бесперебойного обеспечения автомобильного транспорта топливом приобретают актуальность исследования, направленные на сокращение расхода топлива путем совершенствования нормирования и учета, повышение качества применяемых топлив, а также разработку технических средств, обеспечивающих контроль расхода топлива и его экономию при эксплуатации автомобилей. Имеется большое количество работ, в которых рассмотрены вопросы влияния конструктивных, дорожных, транспортных

и природно-климатических условий на эффективность автомобилей. Однако, исследование подвижного состава при работе на смешанном виде топлива является актуальным и представляет большой как теоретический, так и практический интерес.

В настоящее время наиболее перспективным путем комплексного решения указанных проблем для грузовых дизельных автомобилей является перевод дизелей на газодизельный процесс. Установлено, что перевод автомобильных двигателей на газовое топливо сопровождается снижением его мощности на 5-15 %, однако, применение газового топлива в широких масштабах позволяет снизить эксплуатационные транспортные расходы, а также улучшить технико-экономические и экологические показатели. Во многих странах мира приняты и успешно реализуются программы применения таких альтернативных видов топлива, как сжиженный нефтяной (СНГ) и компримированный (сжатый) природный (СПГ) газ. Положительный опыт эксплуатации газодизелей обеспечил частичное решение проблем снижения расхода топлива и выброса вредных веществ замещением жидкого моторного топлива газом.

Наиболее актуальным направлением развития газобаллонных автомобилей (ГБА) на сегодня является создание систем питания нового поколения, оснащенных элементами микропроцессорной техники для управления процессами, с целью эффективного сгорания топлива, удовлетворяющих повышенные требования к топливной экономичности, токсичности и дымности отработавших газов газодизелей. Исходя из вышеуказанного, в настоящее время, с точки зрения повышения топливно-экономических и экологических показателей, актуальным является развитие существующих теоретических положений для оптимизации процессов топливоподачи, смесеобразования и сгорания газодизеля, совершенствование теории топливоподачи и рабочего процесса газодизеля, а также разработка технических средств их реализации с целью повышения топливной экономичности и экологической безопасности.

Для решения указанной проблемы необходимо создание теории и проведение экспериментальных исследований, позволяющих оптимизировать выходные параметры рабочих процессов (РП) систем питания и самого двигателя при работе на газовом и газодизельном топливах.

Для разработки опытной системы питания газодизеля в качестве базы были выбраны газодизельные автомобили семейства КамАЗ.

Топливная аппаратура газодизельных двигателей максимально унифицирована с аппаратурой базовых дизелей. Однако, нами в принципиальной схеме опытной газодизельной системы питания размещен экспериментальный подогреватель, который выполнен в виде отдельного узла и расположен на правом лонжероне рамы автомобиля.

Лабораторно-дорожные испытания газобаллонного автомобиля КамАЗ с экспериментальным и серийным испарителями проводились с полной нагрузкой.

Средний выбег автомобиля КамАЗ перед началом испытаний и в конце их проведения составлял в среднем 720 м, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии трансмиссии автомобиля.

Расход газа в процессе испытаний приводился к нормальным условиям (760 мм рт.ст. и 20 °С).

Результаты сравнительных испытаний газобаллонного автомобиля КамАЗ с экспериментальным и серийным подогревателями приведены в табл.1.

Таблица 1. Расход газа дизелем в различных условиях эксплуатации

Дорожные условия	Экспериментальный подогреватель		Серийный подогреватель	
	расход газа, кг/100 км	скорость, км/ч	расход газа, кг/100 км	скорость, км/ч
Городские условия эксплуатации	24,8	36,5	25	40
Загородное шоссе с асфальтобетонным покрытием	24	67	24,4	66,5
Грунтовая дорога	26,5	49,5	27	48,5

Как следует из табл. 1, конструкция испарителя практически не влияет на расход и скорость движения автомобиля в различных условиях эксплуатации. Как показывают результаты испытания, показатели тягово-скоростных качеств автомобилей КамАЗ с различными испарителями практически одинаковы.

Кроме экономических характеристик, проводились контрольные заезды автомобиля со скоростями движения, равными 60-80 км/ч. Расход газа при контрольном заезде определялся путем полного выжигания газового баллона вместимостью 22,4 л. Баллон до и после выполнения заездов взвешивался. Результаты контрольных заездов свидетельствуют о том, что конструкция испарителя не влияет на расход топлива.

Минимально устойчивая скорость движения газодизельного автомобиля с серийным испарителем составляла 20,42 км/ч, а с малогабаритным – 20,45 км/ч. Это свидетельствует о том, что конструкция испарителя не влияет на минимально устойчивую скорость движения.

Испытания газобаллонного автомобиля КамАЗ с различными конструкциями испарителей проходили также на шоссе с асфальтобетонным покрытием и в городских условиях эксплуатации. Расход газа определялся методом полного выжигания газа из баллона и заправки его до контрольного отверстия, а дизельного топлива (ДТ) –

методом долива до полного бака. Полезная вместимость газового баллона составляла 170 л. Запас хода автомобиля с различными испарителями был практически одинаков и в среднем составлял 410 км в условиях движения по шоссе и 390 км в условиях городского движения. Скоростные свойства автомобиля с различными конструкциями испарителей приведены в табл. 2.

Таблица 2. Скоростные свойства автомобиля

Параметры	Автомобиль с экспериментальным испарителем		Автомобиль с серийным испарителем	
	Газ+ДТ	ДТ	Газ+ДТ	ДТ
Максимальная скорость, км/ч	94,3	94,9	94,4	95,0
Время разгона на пути: 400 м 1000 м	34,4	32,5	35,5	32,7
	66,3	63,0	68,3	63,6
Время разгона до скорости 60 км/ч	31,6	27,8	32,5	27,9

Состав ОГ практически одинаков для обоих типов испарителей СПГ и не превышает требование содержания СО не более 1,5 % и СН не более 3000 ppm.

Таким образом, комплексно рассмотрена одна из важнейших научно-технических и социально-экономических проблем – повышение экологичности и топливной экономичности автомобильного транспорта, основанное на обеспечении эффективности использования газа в качестве автомобильного топлива. В работе обоснована целесообразность применения газового топлива на дизельных автомобилях, показаны перспективные пути перевода дизелей на газодизельный процесс и приведены результаты экспериментальных испытаний газобаллонных автомобилей. Установлено, что газодизель с модернизированной системой топливоподачи имеет в среднем на 24 % меньшую суммарную токсичность, чем дизель. На основе анализа результатов стендовых и дорожных испытаний газодизеля КамАЗ с опытной и серийной системой питания установлено, что опытный газодизель при работе в газодизельном режиме по сравнению с дизельным режимом обеспечивает более высокие приемистость, топливную экономичность (по удельному расходу ДТ и ДТ+СПГ) и содержание CO_2 в отработавших газах, обусловленные более совершенным сгоранием топлива (в газодизельном режиме), а также опытный газодизель обеспечивает замещение ДТ газом (СПГ) в среднем на 32%. Следовательно, при одной заправке (сжиженным газом и дизельным топливом) запас хода автомобиля КамАЗ в газодизельном режиме работы по сравнению с дизельным увеличивается в среднем на 300 км.

Список литературы

1. Боксерман Ю. И. Перевод транспорта на газовое топливо / Ю.И. Боксерман [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 220 с.
2. Морев А.И. Опыт применения газового топлива за рубежом / А.И. Морев, В.И. Ерохов. – М.: ЦБНТИ Минавтотранс РСФСР, 1990. – Вып. 9. – 50 с.
3. Гелашвили О.Г. Токсичность отработанных газов и дымности газодизеля / О.Г. Гелашвили // Транспорт. – 2001. – № 1. – С. 20-21.
4. Гелашвили О.Г. Теоретический анализ процесса сгорания газодизельных смесей / О.Г. Гелашвили, В.И. Ерохов, Д.С. Иосебидзе // Транспорт. – 2001. – № 2. – С. 19-20.
5. Гелашвили О.Г. Разработка аналитической модели определения экономичности и токсичности дизельных автомобилей / О.Г. Гелашвили // Проблемы прикладной механики. – 2004. – №1(14). – С. 22-26.
6. Гелашвили О.Г. Исследование возможности повышения экологических показателей газодизеля / О.Г. Гелашвили // Транспорт. – 2006. – № 1. – С. 15-17.
7. Гелашвили О.Г. Определение расхода топлива автомобиля по фазам движения / О.Г. Гелашвили // Проблемы прикладной механики. – 2003. – №3(12). – С. 76-78.

УДК 621.643

СОЕДИНЕНИЕ ГЛАДКИХ ТРУБ

А. А. Гильман

*СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
Тел. (8453) 55-80-88; E-mail alabgil@rambler.ru*

Разработаны устройства для соединения гладких труб из различных материалов между собой и с трубопроводной арматурой.

Ключевые слова: трубопровод, муфта, заглушка.

SMOOTH PIPES CONNECTION

A. A. Gilman

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Devices for connecting smooth pipes of different materials together and with pipe fittings were developed.

Keywords: pipe-line, coupling, plug.

При сооружении трубопроводов из гладких стальных труб с внутренним покрытием, из армированных полимерных, многослойных труб, труб из несвариваемых материалов, возникают проблемы при соединении труб или соединении труб с трубопроводной арматурой. Материал труб либо нельзя сварить, либо при сварке разрушаются покрытие или связи между основным полимерным материалом трубы и армирующей трубу сеткой. По этой же причине невозможно использовать приварные фланцевые соединения. В этих случаях используют муфты различных конструкций.

Так, например, при сооружении в Ливии трубопровода длиной 1600 км из гладких труб диаметром 4 м (см. рис. 1) использовались муфты фирмы Viking Johnson.



Рис. 1

Труба из несвариваемого материала

В СГТУ разработан ряд устройств, защищенных патентами, которые предназначены для соединения гладких труб из любого материала. Принцип действия этих устройств основан на разделении механизма герметизации стыка и механизма фиксации устройства на трубе.

Герметизация стыка во всех устройствах осуществляется с помощью эластомерной герметизирующей прокладки, сжимаемой различными способами в замкнутом пространстве между корпусом устройства и трубой.

Фиксация устройства на трубе в разных конструкциях различная. Так, в конструкциях «Муфта для соединения гладких труб», патент RU 2298718, и «Устройство для соединения пластмассовых труб с металлическими и арматурой», патент RU 2303189, на корпусе муфты имеется кольцевой выступ, в котором размещаются крепежные элементы в виде радиально расположенных винтов, устанавливаемых равномерно по окружности. На внешней поверхности труб установлены втулки с прорезями, образующими деформируемые лепестки, которые врезаются в тело труб при закручивании винтов.

В устройстве «Трубная муфта», патент RU 2330207, закрепление труб производится стальными разрезными кольцами с внутренней расточкой и торцевыми прорезями, изготовленными из более твердого материала, чем материал труб. Сжатие разрезных колец происходит под действием радиально размещённых винтов.

В конструкции «Устройство для монтажа труб», патент RU 2352849, фиксация устройства на трубе осуществляется с помощью разрезного кольца, расположенного внутри корпуса устройства и изготовленного из более твёрдого материала, чем материал трубы [1]. Наружная поверхность разрезного кольца выполнена в виде конуса или полусферы, а на внутренней поверхности нанесены заострённые радиальные выступы, которые при сжатии кольца вдавливаются в тело трубы, что используется для закрепления трубы. Разрезное кольцо сжимается втулкой с внутренней конической поверхностью, которая перемещается при затяжке болтов, расположенных равномерно в осевом направлении. Схематически устройство для монтажа труб, выполненное в виде муфты, приведено на рис. 2.

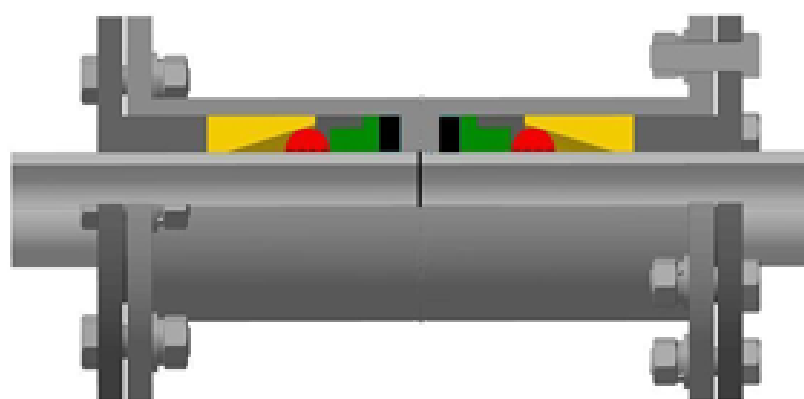


Рис. 2.

Схема устройства для монтажа в виде муфты

При применении устройств к тонким трубам внутрь конца труб дополнительно вставляется подпорная втулка, представляющая собой металлическую цилиндрическую вставку, усиливающую жесткость конструкции при закреплении трубы.



Рис. 3.

Определение усилия фиксации

Были проведены испытания устройства для монтажа труб, выполненного в виде фланца с заглушкой. Испытания проводились для определения осевого усилия фиксации устройства на трубе из полиэтилена РЕ-80 наружным диаметром 63,5 мм и толщиной стенок 7 мм и на герметизацию соединения. Определение осевого усилия фиксации устройства на трубе проводилось на универсальной испытательной машине УММ-5. При нагрузке 20 кН, соответствующей давлению транспортируемой среды 100 бар, полимерная труба начала

разрушаться, а устройство не сдвинулось (см. рис. 3). Испытание устройства на герметичность проводилось на специальном стенде. При давлении 39 бар произошло разрушение трубы (см. рис. 4), а нарушения герметичности не обнаружено.

При испытании на герметичность гладкой трубы «ИЗОПРОФЛЕКС-А» размера 63/110 при давлении 63,5 бар произошло разрушение трубы, а нарушения герметичности обнаружено не было.

Использование предложенных устройств позволяет с помощью простых монтажных операций, связанных с затягиванием болтов, осуществить соединение труб, замену поврежденного участка трубы, присоединить трубу к арматуре. При этом достигается защита внутренних элементов устройств от воздействия транспортируемой среды.

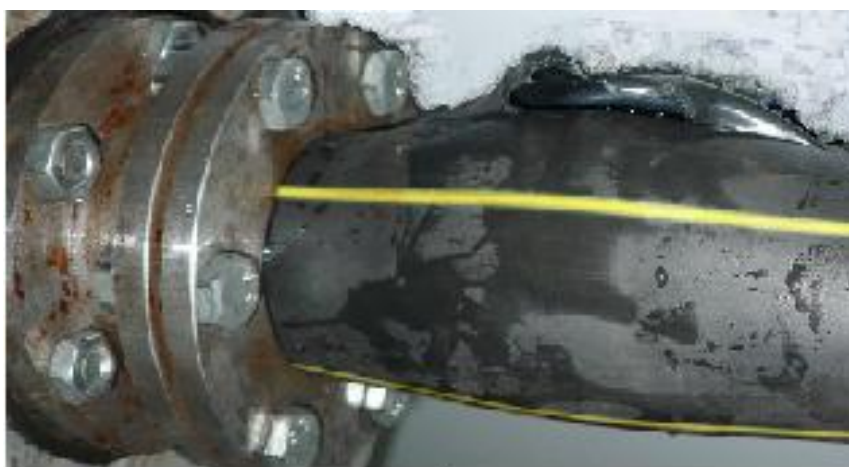


Рис. 4.
Испытание трубы из РЕ-80

Так, например, чтобы заменить изношенный участок трубы, достаточно его вырезать, на его место поместить отрезок новой трубы с надвинутыми на него с двух сторон устройствами, затем их частично надвинуть на концы обрезанных труб трубопровода и, закрутив болты, надёжно закрепить и загерметизировать оба соединения.

Предлагаемые устройства могут применяться для создания муфт для соединения гладких труб как из одинаковых, так и из разных материалов. Возможно создание заглушек для труб, фланцев и других элементов трубопроводной арматуры.

Список литературы

1. Пат. RU 2352849 С1 Российской Федерации. МПК F16L21/00. Устройство для монтажа труб / Гильман А. А., Емцев Е. П., Гамаюнов Г. К.; Заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет (ГОУ ВПО СГТУ) (RU) № 2352849. Заявл. 03.12.2007. Оpubл. 20.04.2009. Бюл. № 20.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОПРОФИЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

У.В. Боровских, В.Е. Боровских

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
тел. (8452)998635; e-mail: ulyana.borovskih@gmail.com

Для обеспечения качества дорожного полотна (условие его ровности) встает вопрос о методе оценки его микропрофиля. При эксплуатации транспортных средств, для оценки вибронагруженности пассажиров и оценки ресурса самих транспортных средств, большое значение имеют точности расчета вероятностно-статистических характеристик микропрофилей дорог, возможность использования единого метода их расчета и фиксирования высот неровностей дорожного полотна.

Ключевые слова: параметры микропрофиля, оценка ресурса, возмущающая функция, статистические характеристики, транспортное средство, напряженно-деформированное состояние, динамическая система.

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF ROADS MICROPROFILE

U.V. Borovskih, V.E. Borovskih

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

There is a problem of definition the quality of road microprofile to ensure its quality (the flatness of road). During the operation of vehicles on the road for the estimation of vibratory load on passengers and estimation of the durability of the vehicle itself the highest influence have the precision of calculation of probabilistic statistical characteristics road microprofile, possibility of using uniform method of them calculation and receiving the heights of irregularities of the roadway.

Keywords: microprofile parameters, resource assessment, the perturbing function, the statistical characteristics of the vehicle, the stress-strain state, the dynamical system.

Внимание учёных, уделяемое исследованию микропрофилей как автомобильных, так и грунтовых дорог, не снижается с течением времени, а в последнее время интерес к параметрам микропрофилей, по нашему мнению, возрос. Объясняется это внедрением в практику расчётов несущих систем машин на прочность современных программных комплексов. Это, в свою очередь, позволяет выполнять оценку ресурса наиболее нагруженных элементов конструкции уже на стадии

проектирования. Но такая оценка возможна только в том случае, если известна внешняя возмущающая функция - микропрофиль дороги, на которой эксплуатируется транспортное средство.

До настоящего времени не существовало единого подхода к оценке параметров микропрофиля и, соответственно, к заданию его статистических параметров. Однако эта проблема была решена и представлена нами в работе [1]. В других работах исходный микропрофиль, полученный только топографическим методом, принимался за основу и по его статистическим параметрам выполнялись расчёты на прочность и плавность хода автомобилей [2], но при этом не учитывались ни собственная частота транспортного средства, ни его скорость движения.

Результатом предложенной методики в работе [1] явилось то обстоятельство, что для каждой скорости движения машины и её собственной частоты должен быть «свой» микропрофиль. Этот микропрофиль рассчитывается по исходному, используя при этом исключение длин волн, не оказывающих влияния на напряжённо-деформированное состояние элементов рассчитываемой конструкции.

В данной работе представлены некоторые результаты по разным микропрофилям, зафиксированные топографическим методом при различной длине волн сглаживания в зависимости от скорости движения машины и низшей её собственной частоты. Весь возможный диапазон рассчитанных микропрофилей был принят для скоростей (10-120) км/ч и частот (0,5-5) Гц.

Как известно, исходными статистическими параметрами случайного процесса изменения высот неровностей микропрофиля являются дисперсия и коэффициенты корреляционной и аппроксимирующей функций α и β . Обработка исходного микропрофиля асфальта «разбитого» дана на рис.1.

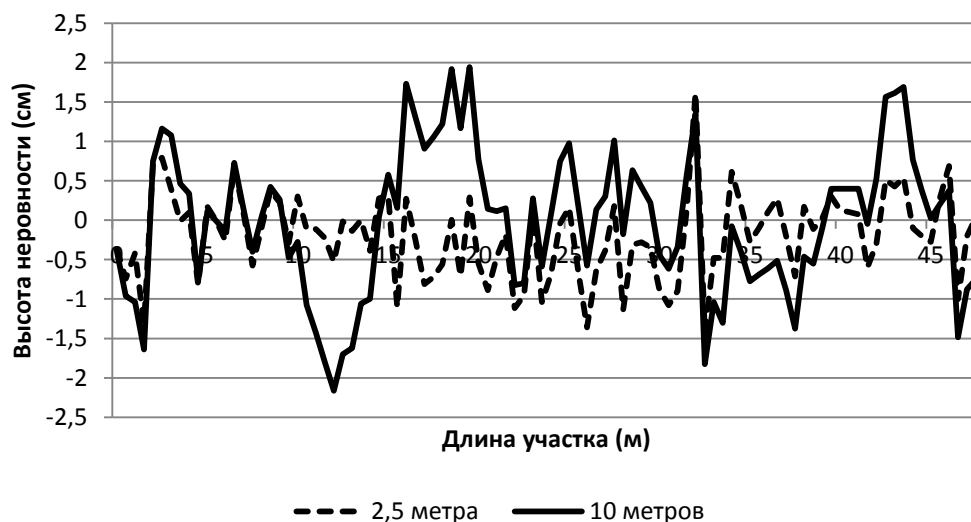


Рис. 1. Фрагмент асфальтового покрытия сглаженного с длинами $l=2,5$ м и $l=10$ м

Нормированные корреляционные функции этого участка представлены на рис. 2, а параметры аппроксимирующей их зависимости – на рис. 3.

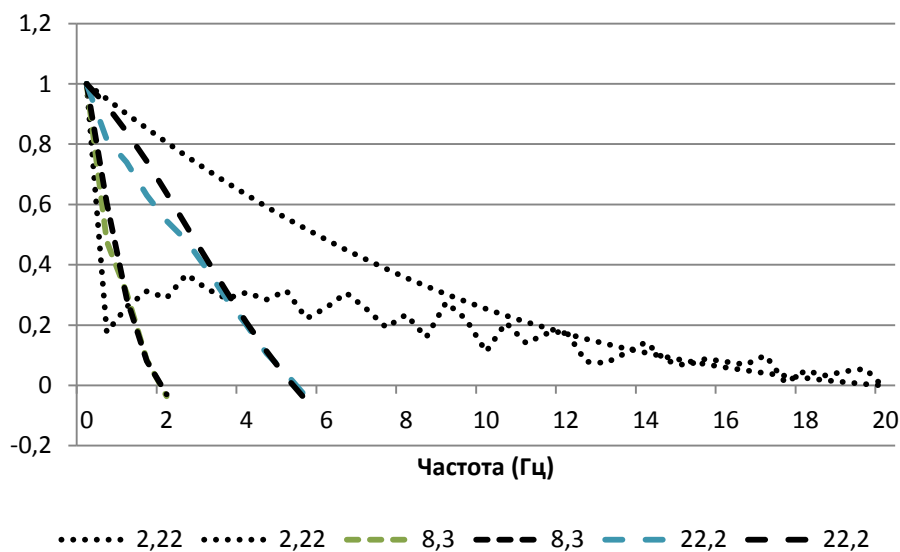


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции асфальта «разбитого» для разных длин сглаживания

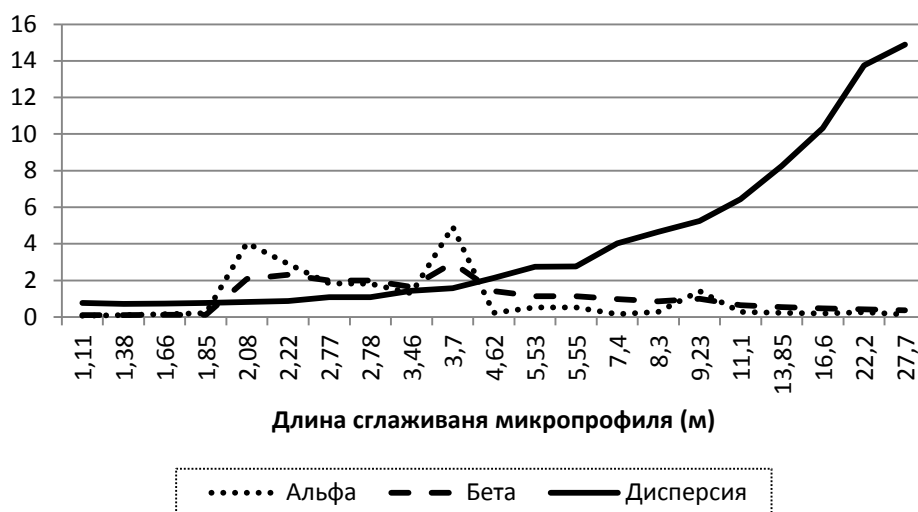


Рис. 3. Параметры аппроксимирующей и корреляционной функций α и β микропрофиля асфальта «разбитого»

Таким образом, по методике [1] можно обработать любой исходный микропрофиль дороги и получить параметры корреляционной функции и соответственно спектральную плотность высот неровностей микропрофиля для расчёта спектральной плотности напряжений при оценке ресурса элемента несущей системы транспортного средства.

Список литературы

1. Дмитриченко С.С. Метод оценки статистических характеристик микропрофилей дорог / С.С. Дмитриченко, В.Е. Боровских, В.А. Колокольцев // Вестник машиностроения. – 1981.– №4. – С. 17-21.

2. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и плавность хода/ Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972.– 392 с.

УДК 621.9

**НОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ИЗДЕЛИЙ
МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РАЗНОВЫСОТНОСТИ ВЫСТУПОВ И РАЗНОГЛУБИННОСТИ
ВПАДИН В РАЗВИТИЕ ГОСТ 2789-73**

Ж.Н. Кадыров¹, А.В. Кочетков², Л.В. Янковский²

¹ *Казахский университет путей сообщения,
г. Алматы, Республика Казахстан*

² *Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, e-mail: soni.81@mail.ru;*

Рассматриваются вопросы совершенствования методов нормирования шероховатых поверхностей изделий машиностроения. Предлагается дополнительно использовать параметры разнорысотности активных выступов и разнорыбочности впадин шероховатости и их знаменосередование. Дополнительно к методическому обеспечению государственного стандарта ГОСТ 2789-73 предлагается использовать способ оценки среднеквадратического отклонения разнорысотности шероховатости через показания десяти измерений активных выступов.

Ключевые слова: шероховатые покрытия, разнорысочность, геометрия, машиностроение, выступы, впадины.

**RATIONING OF ROUGHNESS OF PRODUCTS OF MECHANICAL
ENGINEERING ON THE BASIS OF INDICATORS OF DIFFERENT
HEIGHT OF LEDGES AND DIFFERENT DEPTH OF HOLLOWES IN
GOST 2789-73 DEVELOPMENT**

Zh.N. Kadyrov¹, A.V. Kochetkov², L.V. Yankovsky²

¹ *Kazakh University of Means of Communication, Almaty*

² *Perm National Research Polytechnical University*

Questions of improvement of methods of rationing of rough surfaces of products of mechanical engineering are considered. It is offered to use in addition parameters of different height of active ledges and different depth of hollows of a roughness and their alternation of signs. In addition to methodical providing state standard of GOST 2789-73 it is offered to use a way of an assessment of a mean square deviation of different height of a roughness through indications of ten measurements of active ledges.

Keywords: rough coverings, different height, geometry, mechanical engineering, ledges, hollows.

Введение. Актуальность темы исследования. Изучение триботехнических параметров и их функциональных связей с шероховатостью изделий на протяжении длительного периода происходило во многих областях науки и техники. В основном проблема изучается в узких направлениях, причем с семидесятых годов прошлого века серьезных обобщений не проводилось.

Данная тематика актуальна не только для дисциплины «Технология машиностроения», где она прорабатывается традиционно, но она также важна для тематики производства стали, проката, технологии трубной и метизной подотраслей, проблем металловедения и термической обработки.

Формируемую металлическую поверхность изделия машиностроения следует рассматривать как один из основных конструктивных элементов. Эксплуатационные качества изделия во многом зависят от свойств шероховатости поверхности, как важнейшего показателя ее состояния, важнейшими физико-техническими параметрами которого являются трение покоя (срыва), скольжения, верчения, качения, перспективно исследование коэффициента сцепления и коэффициента сопротивления движения поверхности катящемуся объекту (например, шару, ролику, резиновому колесу).

Степень шероховатости поверхности является ключевым фактором свойств, влияющим на триботехнические характеристики. С увеличением шероховатости поверхности возрастают коэффициенты сцепления и сопротивления движению. Анализируя динамику изменения параметров шероховатости в процессе эксплуатации готового изделия, можно устанавливать характеристики износа и долговечности поверхностного слоя. Например, уровень звука характеризуется силой звука, которая пропорциональна квадрату амплитуды и квадрату частоты колебательного процесса в зоне контакта. В свою очередь, амплитуда колебаний зависит от глубины впадин шероховатости (R_{cp}), частота колебаний зависит от шага шероховатости (S_{cp}) и скорости движения, поэтому для снижения уровня звука от движения, с увеличением расчетной скорости, необходимо стремиться к более плотной структуре шероховатости. Увеличение степени плотности структуры поверхности приводит к снижению частоты колебаний звука от высокого к низкочастотному диапазону, а коэффициент сопротивления движения несколько возрастает.

Постановка задачи исследования. Анализ нормативных документов.

Как известно, шероховатость поверхности есть геометрическая совокупность неровностей относительно базовой плоскости покрытия. Параметры, используемые для оценки степени шероховатости покрытий, определяются по ГОСТ 2789-73 [1]. Шероховатость образовавшейся поверхности также может быть определена с помощью его более ранних

редакций 1945 и 1959 годов [2]. Следует обратить внимание на основной способ определения параметров шероховатости, используемый в технологии машиностроения [3]. В нем измерение шероховатости производится контактным способом при помощи профилометра, игла которого с заданным радиусом закругления движется по поверхности покрытия с постоянной скоростью. Количественное значение средних квадратичных отклонений определяется по шкале электроизмерительного прибора.

Эта особенность способа основана на положениях ГОСТ 2789-45 (использование средних квадратичных отклонений для точек профиля), следует заметить, что диаметр закругления указан в 5 раз (15 мкм вместо 3 мкм ширины рисок) большим требуемого по условиям измерения. Фактически закругление иглы огибает шероховатую поверхность по высотам выступов. Это позволило в технологии машиностроения при измерении шероховатости определять величину, устойчиво коррелирующую с изменением параметров трения (покоя, качения, скольжения, вращения, сцепления, сопротивления движению).

Простейшим параметром, характеризующим качество шероховатой поверхностной обработки (шероховатости поверхности), является наибольшая высота выступа $H_{\max}$, представляющая собой расстояние между высшей и низшей точками профиля выбранного участка поверхности. Однако этот показатель считается нехарактерным из-за значительного искажения геометрии поверхности отдельными глубокими рисками. Поэтому уже с 1945 г. использовался ГОСТ 2789-45, в котором в качестве показателя чистоты (шероховатости) поверхности применялось среднее квадратичное отклонение ее неровностей. Следует еще раз отметить, что метрологическая база профилометров фактически привязана к ГОСТ 2789-45 еще с 1945 года – к измерению статистического инварианта среднеквадратического отклонения.

Объективные способы оценки шероховатости поверхностей могут быть разделены на две группы: способы, дающие такое изображение профиля поверхности, которое позволяет получить расчетным путем численный показатель степени шероховатости; способы, позволяющие оценивать шероховатость поверхности в виде некоторого суммарного (интегрального) численного показателя, находящегося в закономерной зависимости от изменения геометрии шероховатости. В зависимости от способов приборы для измерения шероховатости делятся на два основных типа: для непосредственного измерения шероховатости поверхности и для косвенного определения шероховатости поверхности. При непосредственном измерении часто используют профилометр [4]. С помощью портативного профилометра возможно определять среднюю глубину впадин шероховатости, шаг шероховатости и средний диаметр элементов шероховатости

С 1959 г. в СССР действовала стандартная оценка шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-59. Для оценки геометрии поверхности были установлены два параметра: среднее арифметическое отклонение профиля (R_a) - среднее значение расстояний точек измеряемого профиля от его средней линии и высота неровностей (R_z) - среднее расстояние между находившимися в пределах базовой длины пятью высшими и пятью низшими точками впадин, измеренное от линии, параллельной средней линии.

ГОСТ 2789-73 [1] был введен взамен ГОСТ 2789-59, в мае 1980 г. было введено Изменение № 1. Стандарт распространяется на шероховатость поверхности независимо от материала и способов изготовления или получения поверхности.

Требования по шероховатости устанавливаются исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких) и базовых длин, на которых происходит определение параметров. Для номинальных числовых значений параметров шероховатости должны устанавливаться предельные отклонения, которые выбираются из ряда 10, 20, 40 в процентах от номинальных. В качестве параметров шероховатости выбираются среднее арифметическое отклонение профиля, высота неровностей по десяти точкам, наибольшая высота профиля, средний шаг неровностей, средний шаг местных выступов профиля, относительная опорная длина профиля. Параметры шероховатости (один или несколько) выбираются из приведенной номенклатуры: R_a - среднее арифметическое отклонение профиля; R_z - высота неровностей профиля по десяти точкам; R_{max} - наибольшая высота профиля; S_m - средний шаг неровностей; S - средний шаг местных выступов профиля; t_p - относительная опорная длина профиля, где p - значения уровня сечения профиля. Параметр R_a является предпочтительным.

Вполне очевидно, что увеличение конкретной высоты (средней или максимальной) неровностей не приведет к изменению условий, которые вызовут изменение измеряемых параметров трения. Встает задача поиска такого геометрического параметра шероховатой поверхности, изменение которого будет существенно более коррелироваться с изменением коэффициентов трения. При назначении параметров шероховатости необходимо учитывать, что на изменение коэффициента сцепления влияет не только изменение средней высоты выступов и средней глубины впадин шероховатостей, но и **изменение разброса (диапазона или статистического распределения) высот выступов**. Данный подход соответствует методам оценки риска, применение которых устанавливается Федеральным законом «О техническом регулировании» в

части разработки технических регламентов с учетом оценки риска причинения вреда.

Предложение. Методы решения проблемы. Для оценки типа шероховатости покрытий в практических целях достаточно определять следующие основные характеристики шероховатых структур: среднюю глубину впадин (высоту выступов); средний шаг шероховатости; плотность шероховатости; а также дополнительно отдельно разброс (дисперсию) высот активных контактирующих выступов и впадин (разноглубинность и разновысотность).

В ряде случаев шероховатость поверхности изделия может характеризоваться глубокими рисками (трещинами), профиль поверхности содержит высокий уровень случайной составляющей. При определении площади поверхности контакта целесообразно использовать метод статистического моделирования. Практически временной ряд складывается из четырех составляющих: кусочно-линейного тренда (систематической составляющей), периодической составляющей и колебаний относительно тренда с большей или меньшей регулярностью (коррелированные составляющие), собственно случайной составляющей. Обычно анализируются графики профилограммы и распределение количества вершин выступов шероховатости по высоте. Под вершиной идентифицируется фрагмент профиля с вершиной, возвышающейся по отношению к базовой линии (к основанию).

Более сложна задача определения параметров периодической составляющей для регулярного рельефа. Анализ многих типовых диаграмм и фотографий шероховатых поверхностей показал наличие этих периодических составляющих, имеющих различную ориентацию, разные масштабы, структуру, длины и амплитуды периодов. В этих условиях применение гармонического анализа не всегда эффективно. Существуют современные средства исследования подобных сложных структур. К их числу относится программный комплекс «Катерпиллар-SSA», позволяющий осуществить базисный анализ путем разложения по временной или размерной координате.

Численными характеристиками распределения высот выступов, изображенного в виде кривой распределения или записанного в виде закона распределения, являются положение центра группирования отклонений высот выступов, мера рассеяния случайной величины относительно центра группирования отклонений. Если на рассеивание размеров действует одновременно большое количество факторов и ни один из них не оказывает какого-то особого воздействия, то порождаемые отклонения от центра группирования не противоречат закону нормального распределения. Часты случаи, когда из общей массы действующих факторов выделяется один, влияние которого превалирует над влияниями всех остальных, вызывая изменение закона отклонений случайной

величины. При этом возможны ситуации непротиворечия различным статистическим законам.

В общем случае анализируются величина поля рассеивания, среднее значение отклонений, коэффициент относительного рассеивания, коэффициент относительной асимметрии кривой распределения, величина систематической ошибки.

Стандартная процедура обработки результатов измерения в виде числовых рядов предполагает автоматическое исключение случайных выбросов, построение диаграмм и оценку параметров распределений, проверку статистических гипотез, оценку стационарности параметров, определение среднего арифметического, дисперсии, автокорреляционной функции, спектральной плотности, выделение долей детерминированной, коррелированной и собственно случайной составляющих, кроме того, определяется контур плавных границ полосы рассеивания экспериментальных точек.

Проводится выбор вида математической модели для аппроксимирующих функций, строятся частные и обобщенная математические модели, проводится проверка их адекватности. Определяется доля объясненной дисперсии для моделей и выбирается лучшая из них [3]. Допустимо полагать, что поверхность выделенного элемента шероховатой поверхности представляется в виде модели последовательно расположенных элементарных профилей, которые имеют вид плоских кривых в вертикальном поперечном сечении. Их огибающая учитывает разновысотность выступов.

Предлагается для анализа шероховатых поверхностей различной природы применение модернизированного **теоретико-вероятностного подхода**, ранее предложенного для абразивной обработки профессором А.В.Королевым [5]).

Величина расстояния уровня скалывания активных зерен от наиболее выступающих вершин называется разновысотностью активных зерен. Она соответствует глубине залегания половины из всех выступающих над вяжущим вершин зерен, измеренной от вершины наиболее выступающего зерна, если бы функция распределения в начальной части была справедлива для всего слоя выступающих зерен. Показано, что она имеет вероятностную природу. Однако под разновысотностью профессор А.В. Королев понимал параметр, привязанный к системе координат изделия машиностроения. Более перспективно же использование статистических инвариантов, которыми являются дисперсия разброса активных контактирующих выступов и впадин шероховатости.

В общем случае можно считать, что шероховатая поверхность является стационарным нормальным случайным полем, обладающим свойством эргодичности, регулярным и однородным. Более сложна задача

определения параметров периодической составляющей для регулярного рельефа. Анализ многих типовых диаграмм и фотографий шероховатых поверхностей и слоев с сохранившимися свойствами показал наличие этих периодических составляющих, имеющих различную ориентацию, разные масштабы, структуру, длины и амплитуды периодов.

Обработка полученной информации осуществляется расчетом по ряду значений шероховатости или автоматизированным способом с помощью разработанной программы «Шероховатость 2008» [3-5].

Также разработаны новые параметры для оценки качества геометрии шероховатости: знакочередований и числа последовательных повторений знаков высот активных выступов шероховатости покрытия.

Учет только максимального числа одинаковых знаков для ряда сочетаний знаков не всегда является оптимальным по критерию использования получаемой информации и не может обеспечить достижения цели контроля качества. Во многих случаях более приемлемым представляется введение числа знакочередований в сочетании знаков скользящей выборки, а также коррелированность последовательности знаков. Данный параметр близок по своей статистической природе к контрольным картам, применяемым в системах менеджмента качества.

Например, прием достаточным для задач диагностирования объем скользящей выборки равным четырем, из-за того, что сочетания знаков соответствуют основным состояниям коррелированности процесса (оценка нормированного коэффициента корреляции равна -1; -0,5; 0,5; +1). Если рассмотреть совокупность случайных вариантов положительных и отрицательных знаков отклонений высот активных выступов шероховатости от любой условной (сигнальной) границы, например, средней линии высот активных выступов, то с помощью сочетания знаков можно определить максимальное количество одинаковых знаков и количество знакочередований S_{n-1} . При этом в рассматриваемой выборке из четырех знаков эти параметры различны: $S_{n-1} = 0, \dots, 3$.

Параметры всех возможных схем чередований знаков отклонений в выборке из четырех знаков, а также соответствующие им значения коэффициентов a_n приведены в табл. 1. Оценка нормированного коэффициента корреляции может вычисляться по нескольким предыдущим знакам отклонения высоты активных выступов от средней линии.

Параметр, учитывающий количество знакочередований, является более информативным, чем максимальное число одинаковых знаков. Из шести возможных схем чередований знаков в выборке из четырех знаков (табл. 1) в трех из них: в схемах с S -, V - и H -образными чередованиями знаков для одного и того же числа одинаковых знаков $M=2$, количество

знакочередований изменяется от одного до трех. В качестве критерия адаптации был выбран нормированный коэффициент корреляции соседних высот активных выступов шероховатости. Графическое обобщение сочетаний знаков высот активных выступов шероховатости приведено в табл. 2.

Таблица 1. Оценка нормированного коэффициента корреляции для различных сочетаний знаков (выборки из четырех знаков)

№ схемы	Графическое представление	Наименование схемы	Число знакочередований	Число одинаковых знаков	Оценка коэффициента корреляции
1		«-» - образная	0	4	1,0
2		«Г»- образная	1	3	0,5
3		«S»- образная	1	2	0,5
4		«v̂» - образная	2	3	- 0,5
5		«v» - образная	2	2	- 0,5
6		«И» - образная	3	2	- 1,0

Аналогично можно продолжить рассмотрение сочетаний знаков и для выборки из пяти и более знаков выступов активных выступов шероховатости.

Таблица 2. Типовые сочетания знаков для различных выборок

Два выступа						
Три выступа						
Четыре выступа						
Статистическая взаимосвязь	Нет чередования	Есть корреляция	Декоррелированность	Есть корреляция	Есть корреляция	Есть корреляция

Учет информации о знакочередовании знаков высот активных выступов позволяет для декоррелированной выборки определять площадки сцепления, а для коррелированной – площадки скольжения и переходные состояния [4].

Критерий диагностирования или качества устройства шероховатого покрытия будет определяться отсутствием корреляции в последовательности знаков, когда случайная последовательность знаков будет декоррелирована. Оценка коэффициента корреляции соседних знаков проводится с помощью корреляции типа «знак-знак» [6]:

$$\hat{\rho}_{X_{n-1}^*}(1) = \cos \pi \frac{S_{n-1}}{m-1}, \quad (1)$$

где m - размерность скользящей выборки (не меньше двух); S_{n-1} - число знакочередований.

Формализуем зависимость для $N = 4$:

$$S_{n-1} = 1,5 - 0,5 \cdot \sum_{l=n-3}^{n-1} (\text{sign} X_l^* \cdot \text{sign} X_{l-1}^*), \quad (2)$$

где N - объем скользящей выборки; S_{n-1} - число знакочередований в скользящей выборке; n – номер текущего цикла измерения.

Аналогично можно продолжить рассмотрение сочетаний знаков и для выборки из пяти и более знаков выступов активных выступов шероховатости. Могут быть использованы выражения для числа знакочередований и корректирующего приращения для разных объемов (3-5) текущей выборки, разработанные В.В.Ермолаевой и А.В.Чвановым:

$$S_{n-1} = -0,5 + \frac{N}{2} - 0,5 \sum_{i=n-(N-1)}^{n-1} \text{sign} X_i^* \cdot \text{sign} X_{i-1}^*, \quad 3 \leq N \leq 5, \quad (3)$$

где N - объем скользящей выборки; S_{n-1} - число знакочередований в скользящей выборке.

Аналогично методическому обеспечению государственного стандарта ГОСТ 2789-73 предлагается использовать способ оценки среднеквадратического отклонения разновысотности и разноглубинности шероховатости через показания десяти измерений активных выступов и десяти выступов на основе формул:

$$\bar{X}_\sigma = \frac{\sum_{i=1}^5 X_{i\text{верх}} - \sum_{i=1}^5 X_{i\text{нижн}}}{5}, \quad \bar{Z}_\sigma = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_{i\text{верх}} - \sum_{i=1}^5 Z_{i\text{нижн}}}{5}, \quad (4)$$

где $\overline{X}_\sigma$ - оценка среднеквадратического отклонения разновысотности активных выступов; $X_{i\text{верх}}, X_{i\text{нижн}}$ - результаты измерений пяти верхних и пяти нижних выступов; $\overline{Z}_\sigma$ - оценка среднеквадратического отклонения разноглубинности впадин; $Z_{i\text{верх}}, Z_{i\text{нижн}}$ - результаты измерений пяти верхних и пяти нижних впадин.

В развитие идей А.В.Чванова и В.В.Каменева предлагается использование нового параметра – числа знакопеременований выступов или впадин шероховатости относительно их средних линий (как оценки их автокорреляции). Учет информации о знакопеременовании позволяет оценить декорреляцию – достижение требуемого качества геометрии шероховатой поверхности [4].

В развитие идей В.В. Ермолаевой предлагается введение нового параметра относительного числа знакопеременований. Вполне понятно, что главным недостатком используемого ранее числа знакопеременований в конкретной выборке было ограничение в применении объемом выборки. Каждое число знакопеременований использовалось для конкретного объема выборки. Также проводился анализ другого числа знакопеременований: $S_{\text{отн}} = S/S_{\text{max}}$, где S_{max} – максимальное число знакопеременований на данной выборке; $S_{\text{отн}}$ – относительное число знакопеременований по максимальному числу знакопеременований. Проводилось сравнение двух способов нормирования.

Оказалось, что значение относительного числа знакопеременований по объему выборки лежит в диапазоне $[0;b]$, где b меньше 1, а относительное число знакопеременований по максимальному числу знакопеременований лежит в диапазоне $[0;b]$, где b равно 1. В дальнейшем рекомендуется применять для задач управления относительное число знакопеременований по их максимальному значению.

Проведено комбинаторное моделирование различных объемов текущих выборок для их визуального представления и оценки их статистических параметров декоррелированности. Выборка представляет собой последовательность бинарных событий вида «+» «-» (0 или 1, -1 или 1). Ранее подробно В.В. Ермолаевой и А.В. Чвановым было исследовано комбинаторное представление выборки объемом 4. Ю.Э. Васильевым и В.В. Каменевым был исследован объем выборки, равный 5.

Компьютерное моделирование. Возникла задача проводить оценку статистических характеристик переменной выборки не только объема 4 и 5, но и 6 и 7. Такая задача усложнилась и потребовала её автоматизации. С учетом того, что данная формула относится к непрерывной функции, а

значения высот выступов и глубин впадин есть числовые ряды, синтезированы формулы для расчета числа знакопеределаний:

$$z_i = \prod_{i=1}^{n-1} \text{sign}(x_i - u) \text{sign}(x_{i+1} - u), f_i = \frac{z_i + 1}{2},$$

$$y_j = l - \sum_{i=j}^{j+l-1} f_i,$$
(5)

где x_i - дискретное значение высоты выступа или глубины впадин; z_i, f_i - служебные параметры; y_j - число знакопеределаний.

Был составлен автоматизированный программный модуль, позволяющий организовать комбинаторику с визуальным представлением расчета выборок объема до 7 и более, в случае необходимости и обоснования её информационности. Отсутствие информационности в выборке объема 8 объясняется значением автокорреляционной функции, близкой к 0.

Программный комплекс был реализован в программной среде Visual C++. Автоматический тренажер комбинаторики и расчета статистических характеристик для выборки от 1 до 6 (пример задания объема выборки равным 6 представлен на рис.1).

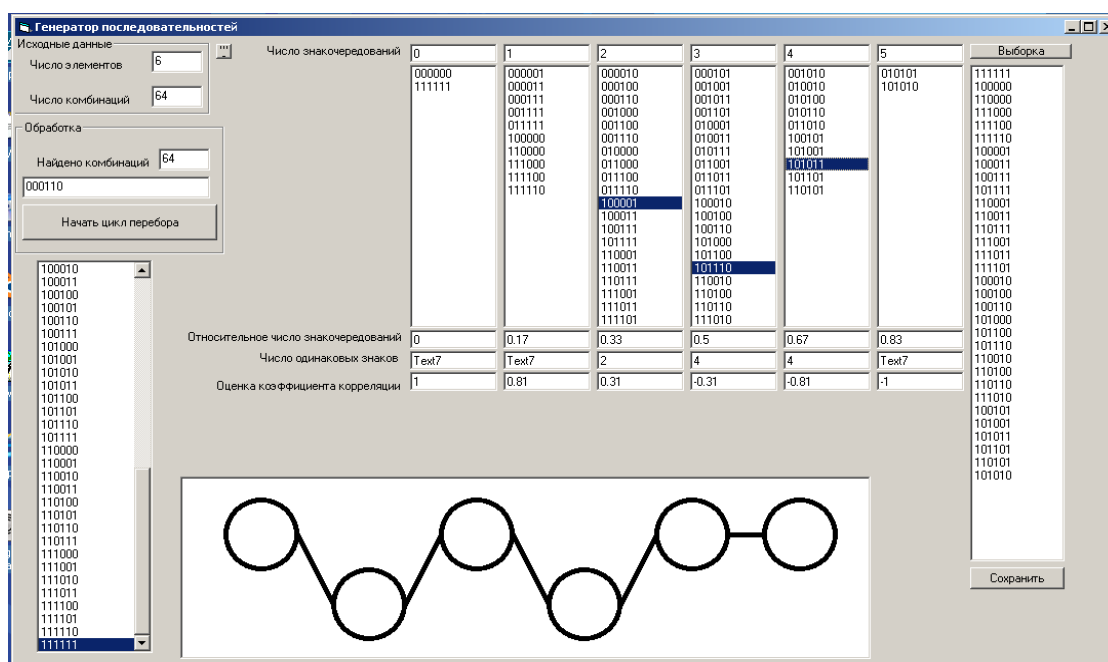


Рис. 1. Автоматический тренажер комбинаторики и расчета статистических характеристик для выборки объема 6

Результаты работы тренажера по расчету статистических характеристик декоррелированности представлены в табл. 3.

Новым научным результатом стало уточнение относительного числа знакопеределаний, ранее предложенного Ю.Э. Васильевым и В.В.

Каменевым. Модернизация заключается в приведении не к объему текущей выборки, а к максимально возможному числу знакочередований.

Таблица 3. Результаты работы автоматизированного тренажера по расчету статистических характеристик декоррелированности

Комбинация	Число знакочередований	Относительное число знакочередований, приведенное к максимально возможному	Относительное число знакочередований	Число одинаковых знаков	Оценка коэффициента корреляции
111111	0	0	0	6	1
100000	1	0,2	0,17	5	0,81
110000	1	0,2	0,17	4	0,81
111000	1	0,2	0,17	3	0,81
111100	1	0,2	0,17	4	0,81
111110	1	0,2	0,17	5	0,81
100001	2	0,4	0,33	4	0,31
100011	2	0,4	0,33	3	0,31
100111	2	0,4	0,33	4	0,31
101111	2	0,4	0,33	5	0,31
110001	2	0,4	0,33	3	0,31
110011	2	0,4	0,33	4	0,31
110111	2	0,4	0,33	5	0,31
111001	2	0,4	0,33	4	0,31
111011	2	0,4	0,33	5	0,31
111101	2	0,4	0,33	5	0,31
100010	3	0,6	0,5	4	-0,31
100100	3	0,6	0,5	4	-0,31
100110	3	0,6	0,5	3	-0,31
101000	3	0,6	0,5	4	-0,31
101100	3	0,6	0,5	3	-0,31
101110	3	0,6	0,5	4	-0,31
110010	3	0,6	0,5	3	-0,31
110100	3	0,6	0,5	3	-0,31
110110	3	0,6	0,5	4	-0,31
111010	3	0,6	0,5	4	-0,31
100101	4	0,8	0,67	3	-0,81
101001	4	0,8	0,67	3	-0,81
101011	4	0,8	0,67	4	-0,81
101101	4	0,8	0,67	4	-0,81
110101	4	0,8	0,67	4	-0,81
101010	5	1,0	0,83	3	-1

Разработан программный модуль оценки статистических параметров шероховатости, результаты работы которого представлены на рис. 2.

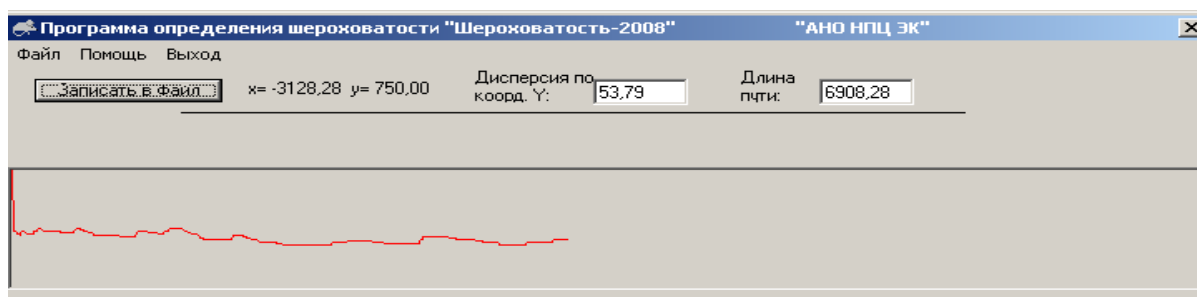


Рис. 2. Программный модуль оценки статистических параметров шероховатости

Выводы

1. Попытка интерпретации государственного стандарта на шероховатые поверхности вариантов 1945, 1959, 1973 годов показала обоснованность многолетнего применения профилометра с диаметром иглы, большим ширины впадин шероховатости. Фактически определяется среднеквадратическое отклонение разброса выступов шероховатой поверхности. При этом способ измерения обеспечивает значимую корреляцию с параметрами трения. Данный параметр обладает свойством инвариантности к выбираемому уровню отсчета при определении шероховатости поверхности.

2. Предлагается дополнить ГОСТ 2789-73 дисперсией, статистическим распределением разброса высот активных контактирующих выступов и глубин впадин шероховатости изделия машиностроения, а также их числом знакочередований.

3. Число знакочередований, как оценка автокорреляционной функции шероховатости поверхности изделия, позволяет определить участки с повышенными и пониженными триботехническими параметрами.

Список литературы

1. ГОСТ 2789-73 (СТ СЭВ 638-77). Шероховатость поверхности. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1980.
2. Задачи совершенствования положений государственного стандарта на шероховатые поверхности / А.В. Кочетков, А. В. Королев, А. А. Королев, Р. Н. Абуталипов // Динамика технологических систем (ДТС-2004): материалы науч.-техн. конф. – Саратов: СГТУ, 2004. – С. 230 - 232.
3. Мокиенко Н. И. Слесарное дело с основами материаловедения / Н.И. Мокиенко; Изд. 5-е. – М.: Высшая школа, 1973. – 464 с.
4. ГОСТ на шероховатые поверхности нуждается в улучшении / А. В. Кочетков, М. Л. Ермаков, Н. Е. Кокодеева, С. П. Аржанухина // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 12. – С. 32 - 34.
5. Королев А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 192 с.
6. Невельсон М. С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках / М.С. Невельсон. – Л.: Машиностроение, 1982. – 182 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ДИНАМИКЕ СТАНКОВ

А.А. Игнатьев, В.В. Коновалов, А.В. Морозова
СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Рассмотрено решение уравнений динамических процессов в станке в форме автокорреляционных функций, передаточной функции на основе оценки по максимальному запасу устойчивости динамической системы.

Ключевые слова: токарный станок, динамическая система виброакустических колебаний, автокорреляционная функция, передаточная функция, запас устойчивости режима резания.

THE APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN THE DYNAMICS OF MACHINES

A.A. Ignatyev, V.V. Konovalov, A.V. Morozova
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Considered decision of equations of dynamic processes in the machine in the form of autocorrelation functions, the transfer function is based on the maximum stock of the stability of a dynamic system.

Keywords: lathe, dynamic system of vibro-acoustic oscillations, autocorrelation function, transfer function, stability margin of cutting modes.

При высокоточной обработке деталей в машино- и приборостроении важную роль играют виброакустические колебания (ВА) в динамической системе (ДС) станков, оказывающие влияние на формирование макро- и микрогеометрических параметров точности деталей и физико-механические характеристики их поверхностного слоя [1, 2].

Анализируя реальные процессы при резании, в том числе ВА колебания ДС, следует рассматривать для них ряд отличительных качественных признаков, объединенных в пары: детерминированность – стохастичность, стационарность – нестационарность, линейность – нелинейность. Указанные признаки необходимы для первоначального анализа процесса при выборе его математической модели [3 – 5].

Применение статистических методов исследования колебаний механических систем существенно расширяет возможности описания и анализа реальных колебательных систем, в том числе ДС станков, в которых существуют как детерминированные, так и стохастические колебания [1, 5, 6].

Учет стохастических свойств процессов резания на практике характеризуется совершенствованием их теоретических основ и более

широким использованием в условиях реального производства. В то же время выявились определенные трудности методического обоснования по применению стохастических методов анализа и алгоритмического обеспечения при обработке данных измерений на ЭВМ. Так, например, в работах [7, 8] основное внимание уделено разработке и обоснованию применимости статистических методов обработки вибросигналов, регистрируемых при обработке на станках, однако алгоритмическое обеспечение весьма специфично и требует более детального физического обоснования.

В приложении к станкам весьма актуальной является задача идентификации ДС, то есть построение ее математической модели на основе экспериментального исследования и анализа реальных процессов при резании. Известно, что далеко не всегда достаточно полное и точное описание реальных объектов может быть построено на основе прямого физического анализа [3]. При этом наиболее достоверная информация формируется из результатов наблюдений за станком во время его нормального функционирования [2, 6].

При идентификации колебательных систем можно выделить два класса задач, а именно: качественную и полукачественную идентификацию [3]. Под качественной идентификацией для станков следует понимать распознавание типа ДС и (или) действующих в них стохастических возмущений на основе статистического анализа процессов в системе. Под полукачественной идентификацией для станков следует понимать нахождение тех или иных параметров, определяющих состояния ДС, например, запаса устойчивости, т.е. параметра, характеризующего степень близости системы к границе области устойчивости [3, 5].

Этап количественной оценки процессов со стохастической составляющей включает выбор и обоснование математической модели и определенных допущений при ее построении. На этом этапе осуществляется статистическая обработка большого массива информации, полученного при измерении той или иной физической величины, адекватно характеризующей процесс резания.

В общем случае модель ДС станка является нелинейной и нестационарной, однако, если рассматривать ее за время обработки одной детали (несколько десятков секунд), то указанными свойствами можно пренебречь, то есть рассматривать систему как линейную, что, как показали исследования [5], является вполне адекватным. В этом случае модель ДС можно идентифицировать по стохастическим характеристикам ВА колебаний в виде передаточной функции замкнутой системы $W_3(p)$ на основе регистрации ВА колебаний при различных значениях параметров режима резания, последующего вычисления автокорреляционной функции

$K(\tau)$ (АКФ) и определения передаточной функции из формулы, обоснованной в работе [9]:

$$W_3(p)W_3(-p) = K(p) + K(-p),$$

где $K(p)$ – изображение по Лапласу АКФ $K(\tau)$.

На основе идентифицированной $W_3(p)$ вычисляется запас устойчивости ДС при различных значениях скорости вращения шпинделя, подачи инструмента и т.п., что позволяет путем сопоставления с результатами контроля качества деталей установить целесообразный режим обработки, обеспечивающий высокую производительность и сохранение заданных значений геометрических параметров точности и физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей как при шлифовании, так и при точении [5, 10].

Для используемых подач резца получены различные АКФ, что свидетельствует о нелинейности ДС при резании. Однако для каждой подачи АКФ близки по виду, т.е. ДС можно рассматривать как линеаризованную и вычислить по АКФ с использованием соотношений передаточную функцию замкнутой ДС $W_3(P)$. Далее, из каждой $W_3(P)$ вычисляется АЧХ, типичный вид которых приведен на рис. 1.

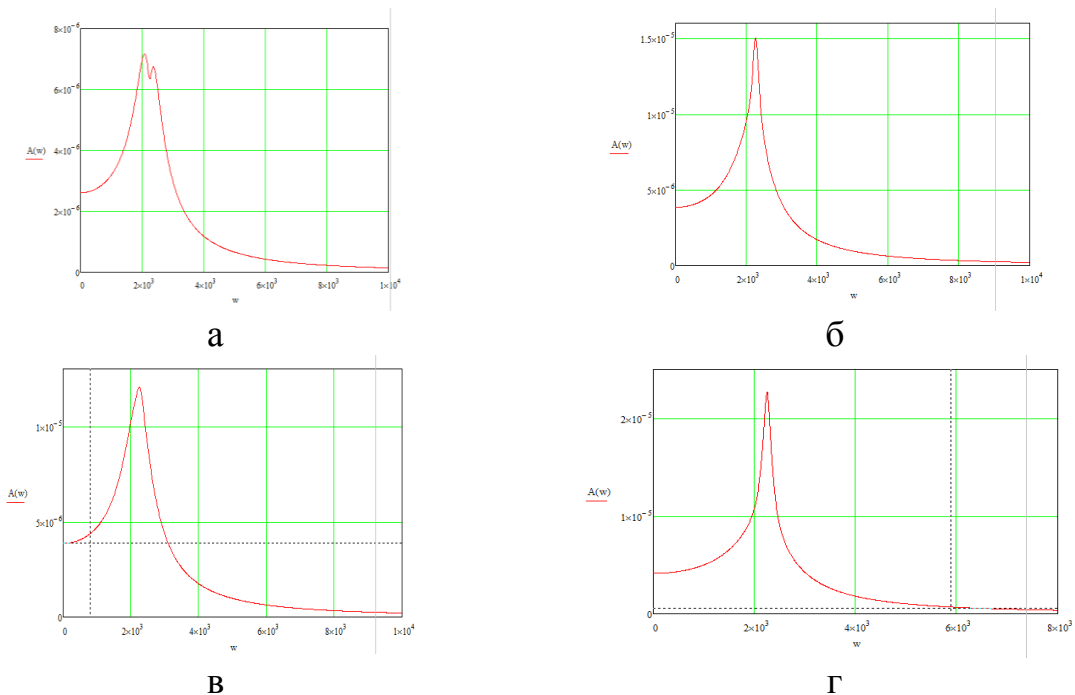


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики ДС на подачах:
а=0,2 мм/об; б=0,4 мм/об; в=0,5 мм/об; г=0,6 мм/об

Затем вычисляется показатель колебательности M_{max} , характеризующий запас устойчивости ДС при резании. Результаты измерений, приведенные на рис. 2, показывают, что подача резца 0,6 мм/об является недопустимой из-за снижения запаса устойчивости ДС (повышение показателя колебательности) и повышения волнистости поверхности колец.

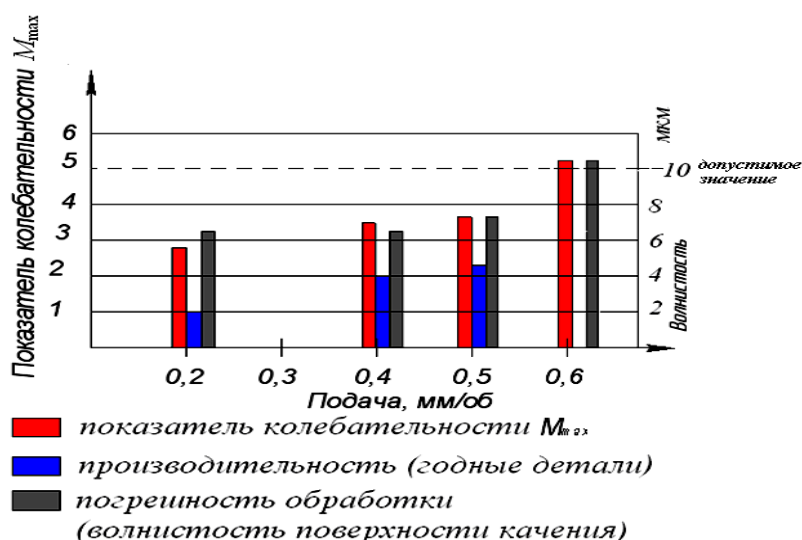


Рис. 2. Соотношение исследуемых показателей при точении колец резцом Т5К10

Количество измерений при каждой подаче – 9

Среднее квадратическое отклонение измерений волнистости – не более 0,5 мкм

СКО M_{max} – не более 0,4

Рекомендуемой подачей является 0,5 мм/об, которая превышает используемую 0,4 мм/об на данном станке в производственных условиях на 25%, т.е. производительность обработки повышается на 25%.

Так же проводятся экспериментальные исследования ДС на токарном станке HASS ст-40, операция «Твердое точение».

Были использованы инструмент резец A50T-DDUNR, пластина CBNDNGA150412S01010AWH7015 и выбраны режимы обработки $S=140$ м/мин, $f=0,09$ мм/об, T маш. – 1,33 мин.

Таким образом, экспериментально-аналитическое определение передаточной функции замкнутой ДС станка позволяет определить рациональный режим точения колец подшипников, обеспечивающий повышение производительности с сохранением заданных параметров точности обрабатываемых поверхностей качения колец подшипников.

Список литературы

1. Попов В.И. Динамика станков / В.И. Попов, В.И. Локтев. – Киев: Техника, 1975. – 136 с.
2. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А.Игнатьев, М.В.Виноградов, В.В.Горбунов и др. – Саратов: СГТУ, 2004. – 124 с.
3. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний / М.Ф. Диментберг. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
4. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д.Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
5. Игнатьев А.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков / А.А.Игнатьев, В.А.Каракозова, С.А.Игнатьев. – Саратов: СГТУ, 2013. – 124 с.

6. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч.3 / Б.М.Бржозовский, А.А.Игнатьев, В.А.Добряков, В.В.Мартынов. – Саратов: СГТУ, 1994. – 156 с.

7. Бржозовский Б.М. Мониторинг динамики резания материалов по свойствам сопровождающих его колебаний / Б.М.Бржозовский, И.Н.Янкин, Д.А.Хайров // Научные технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: материалы 4-й Междунар. конф. – Рыбинск: РГТУ, 2012. – С.154-158.

8. Оптимизация процесса эксплуатации металлорежущих станков на основе автоматизированной оценки их состояния по интегральным параметрам вибросигналов / Б.М.Бржозовский, В.В.Мартынов, М.Б.Бровкова, С.В.Свиридов // Научные технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: материалы 4-й Междунар. конф. – Рыбинск: РГТУ, 2012. – С.159-164.

9. Складович А.Н. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем / А.Н.Складович. – М.: Наука, 1965. – 457 с.

10. Игнатьев А.А. Идентификация динамической системы по автокорреляционной функции виброакустических колебаний / А.А.Игнатьев, В.В.Коновалов, С.А.Игнатьев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – №4 (60). – С.130-133.

УДК 537.534,620.170.172(075.8)

ИЗНОС И ПРОВОДИМОСТЬ СКОЛЬЗЯЩИХ КОНТАКТОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КОММУТАТОРОВ, ПЕРЕДАЮЩИХ СИГНАЛЫ ПОДВИЖНЫМ ОБЪЕКТАМ

В. Г. Куранов, В.В. Куранов, А.С. Антохин
СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Рассматривается проблема надежности вращающихся коммутаторных устройств, методика и аппаратура её исследования и повышения.

Ключевые слова: вращающееся коммутаторное устройство, трибоокисление, динамика контактирования.

A WEAR AND A CONDUCTIVITY OF THE SLIDING CONTACT MULTICHANNEL SWITCHES THAT TRANSMIT SIGNALS TO MOVING OBJECTS

V.G. Kuranov, V.V. Kuranov, A.S. Antohin
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Considers the problem of reliability of rotating commutator device, a method and equipment for her research and improvement.

Keywords: rotary multichannel switch, tribooxidation, contact dynamic.

Исследования выполнены по просьбе предприятия, где имели место «сбои» в коммутаторах ВКУ при шестикратном резервировании контактных элементов; их причины были неизвестны, а меры по устранению неэффективны.

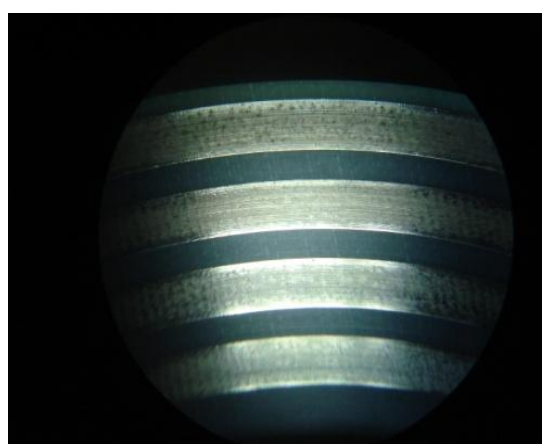
I. Особенности конструкции и технологии ВКУ

Контактная пара: $[(\text{Ni}+\text{V})\text{Зл}0,5+(\text{БрБ-2})\text{Зл}0,5]$ размещена внутри корпуса, состоящего из двух симметричных половин цилиндрической формы. Неподвижная часть: щетки лепесткового типа (БрБ-2)Зл0,5 закреплены по 24 шт. на каждой половине корпуса (по 6 шт. на каждый из 8 каналов управления).

Подвижная часть имеет форму диска с концентрическими контактными дорожками, по 4 дорожки на каждой стороне; вращается относительно вертикальной оси подшипника скольжения, закреплённого в двух половинах корпуса. Контактные слои на контактных дорожках получены электрохимическим осаждением $(\text{Ni}+\text{V})\text{Зл}0,5$, рис.1.



а



б

Рис. 1. Контактные элементы ВКУ : а - щетки лепесткового типа; б-контактные дорожки

Для снижения активации окислительного износа пластической деформацией, вызывающего сбои в скользящих контактах (СК), деформационное упрочнение щёток (БрБ-2) заменено термическим, а контактные дорожки из металлов $(\text{Ni}+\text{V})$ имеют высокую твёрдость в исходном состоянии ($H_m = 70\text{HRC}$). Для повышения надёжности контактирования контактные элементы (щетки) резервированы по 6 шт. на каждой контактной дорожке, поверхности которых дополнительно защищены от атмосферных окислителей тонким слоем золота ($\sim 0,5$ мкм).

II. Методика и аппаратура

При исследовании динамики контактирования и износа для исключения влияния случайных сбоев использовались методика и аппаратура для регистрации скачков R_k , превышающих выбранные пределы по амплитуде $\Delta R_{\text{эо}}$ и длительности, так, чтобы исследуемый процесс наблюдался в чистом виде [1].

Для количественной оценки различных факторов использовались статистические критерии – аналоги стандартных характеристик надёжности:

1. $K_n(t)$ – коэффициент проводимости, аналог вероятности безотказной работы

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad K_n(t) = \frac{T_{\text{ц}} - \sum_1^n \Delta t_{\text{эо}}}{T_{\text{ц}}},$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность выбранного цикла, аналог объёма выборки N_0 ;

$T_o = \sum_1^n \Delta t_{\text{эо}}$ – суммарная длительность сбоев (отказов) за время испытаний, аналог числа отказов $n(t)$.

2. $\lambda_c(t)$ – интенсивность нарушения контактирования (сбоев), аналогичная интенсивности отказов $\lambda(t)$

$$\lambda_c(t) = \frac{\sum_1^k \Delta t_{\text{эо}}}{t_{\text{эо}}(T_{\text{ц}} - \sum_1^m \Delta t_{\text{эо}} - \frac{1}{2})} (r^{-1}), \quad \lambda(t) = \frac{n(t)}{\Delta t * N_{\text{ср}}},$$

где $\sum_1^k \Delta t_{\text{эо}}$ – суммарная длительность сбоев на k -м промежутке;

$\sum_1^m \Delta t_{\text{эо}}$ – суммарная длительность сбоев, предшествующих k -му промежутку; Δt – длительность исследуемого промежутка;

$T_{\text{ц}} - \sum_1^m \Delta t_{\text{эо}} - \frac{1}{2}$ – средняя длительность элементарных контактов, оставшихся исправными внутри k -го промежутка, аналог $N_{\text{ср}}$.

3. $\Delta t_{\text{ср}} = \sum_1^m \Delta t_{\text{эо}}$ – средняя длительность сбоев.

III. Механизм износа СК в серийных ВКУ (предварительные результаты исследования)

Износ контактной пары $[(\text{Ni}+\text{В})\text{Зл}0,5+(\text{БрБ-2})\text{Зл}0,5]$ начинается с возникновения схватывания мягких слоёв золота и его переноса со щёток на контактные дорожки в сторону более твёрдых металлов (Ni+В) (Бор занимает второе место по твердости после алмаза: 3500 кг/м^3), где частицы золота быстро разрушаются и сдвигаются с контактных дорожек.

Особенность механизма схватывания в СК ВКУ состоит в том, что из-за малой толщины защитного слоя мягкого золота ($<0,5 \text{ мкм}$) схватывание не ограничивается этим слоем, а проникает вглубь основы (БрБ-2), где образуются вырывы металла (рис. 2) и возникает перенос на контактные дорожки (Ni+В).

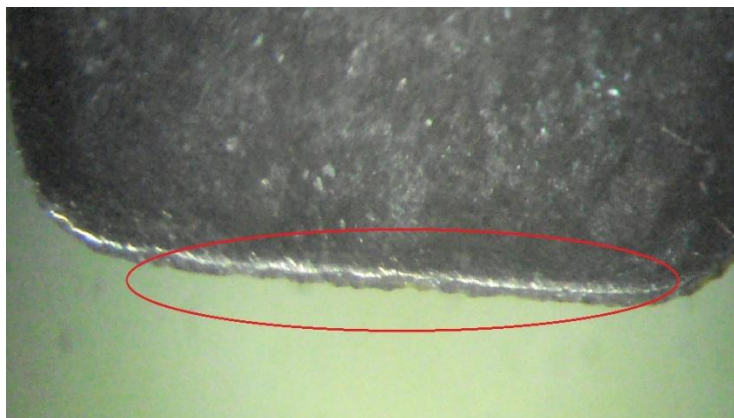


Рис. 2. Увеличенное фото щётки с вырывами

После износа и разрушения слоёв золота и обнажения поверхностей благородных металлов износ переходит в механохимический (окислительный). Его интенсивность оказывается особенно заметной на щётках, находящихся под воздействием более твёрдого контртела (Ni+В), где следы схватывания быстро сглаживаются и возникают вторичные структуры окислительного износа – рыхлые неустойчивые окислы меди. Они легко разрушаются, сдвигаются с контактной поверхности и практически не вызывают сбой в работе ВКУ (рис. 3).



Рис. 3. Контактная поверхность щётки БрБ-2 при окислительном износе

На контактных дорожках, несмотря на их высокую твердость и взаимодействие с более мягкими щётками (Брб-2), но расположенными (6 шт.) на одной линии, микропластические деформации, вызывающие активацию не только твёрдых покрытий, но и компонентов среды (кислород, вода, азот, углерод и др.), всё же имеют место, что и является главной причиной возникновения очень прочных и твёрдых диэлектрических вторичных структур, являющихся главной причиной сбоев в СК ВКУ окислов: Ni, В, Б, Cu и др., а возможно, и нитридов бора, который соединяется с азотом и без трения (при 900° С), а его нитрид BN является хорошим изолятором и имеет твёрдость, близкую к алмазу (рис. 4).

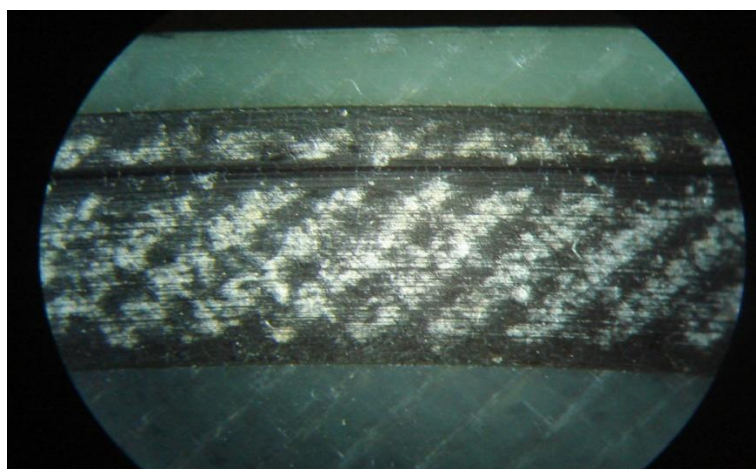


Рис. 4. Диэлектрическая структура на поверхности дорожки

Устойчивость диэлектрических структур на контактных дорожках оказывается настолько высокой, что систематические сбои не исчезают при 6- кратном резервировании щёток.

Существенное влияние на нарушение равновесия переноса и возникновение сбоев в СК оказывает неравенство градиентов механических свойств контактирующих материалов, где твёрдость покрытия контактных дорожек (Ni+В)Зл0,5 значительно выше, чем щёток (БрБ-2)Зл0,5.

IV. Аналогичное явление с возникновением схватывания с односторонним переносом и нарушением проводимости наблюдалось в ранее исследуемой нами контактной паре [ЛС-53 Cr9 (ламель) + БрБ-2Cr9 (щётка)].

Износ, как и в ВКУ, начинался с возникновения схватывания и переноса слоя серебра с ламели (ЛС-59) Cr9, где образовывался и разрушался нарос, а на ламели обнажалась поверхность неблагородного металла с переходом схватывания в «трибоокисление» и имело место

возникновение сбоев СК. Исследования показали, что причиной отказов такого рода является неравенство градиентов механических свойств между покрытиями Cr9 и основами: Cr9 на щётке и ЛС-59 на ламели:

$$\left. \begin{array}{l} \text{На ламели: } \sigma_{\text{лат}} / \sigma_{\text{ср}} = 3; \text{ НВ}_{\text{лат}} / \text{НВ}_{\text{ср}} = 6,4 \\ \text{На щётке: } \sigma_{\text{лат}} / \sigma_{\text{ср}} = 7,7; \text{ НВ}_{\text{лат}} / \text{НВ}_{\text{ср}} = 16 \end{array} \right\} \frac{\partial M_{\text{щет}}}{\partial Z} \gg \frac{\partial M_{\text{лам}}}{\partial Z} \text{ в 2 раза.}$$

Для восстановления равновесия переноса неокисляющегося серебра между ламелью и щёткой и устранения таким образом сбоев в СК материал ламели ЛС-59 заменен на твёрдую БНТ-47, близкую по твёрдости и по прочности к БрБ-2. После такой замены было восстановлено равновесие микропереноса и устранены сбои в СК без резервирования контактных элементов.

Подобный подход к восстановлению равновесия микропереноса и проводимости СК можно было использовать и в ВКУ, заменив материалы контактных дорожек и увеличив толщину защитного слоя золота. Но ВКУ существенно отличается от простейшей контактной пары ЛС-59Cr9+БрБ-2Cr9 сложностью конструкции и технологии, размерами, режимом и условиями, что требует больших затрат на его модернизацию. Потому был использован другой подход, заимствованный из открытого нами явления «фрикционной непроводимости» (ФН), которое могло быть устранено защитой токопроводящего слоя от атмосферных окислителей тонкой плёнкой фрикционного полимера (ФП) или фрикционного покрытия трибометаллокерамики (ТМК).

Но в платиновых СК плёнка ФП возникает благодаря каталитической активности самих платиновых металлов. В других контактных материалах для этого требуется введение катализаторов извне. Поэтому для этих целей были использованы готовые присадки ТМК, содержащие катализаторы, широко применяемые для восстановления изношенных поверхностей трущихся деталей.

V. В рекламных проспектах на ТМК отмечается, что высокоэффективные покрытия формируются самостоятельно, независимо от матричного металла. Измерения микротвёрдости показали, однако, что на твёрдых металлах формируются более твёрдые покрытия, а на мягких – более мягкие.

Следовательно, участие матричного металла в формировании фрикционных покрытий ТМК имеют место. Участие металла в формировании ТМК подтверждается также измерениями скачков R_k по нашей методике, где скачки ΔR_k , превышающие R_k чистых металлов, имеют место только во время приработки (порядка 40 мин), после чего проводимость полностью восстанавливается и сохраняется длительное

время, но временно ухудшается после перерывов в работе за счёт остатков активированных окислителей, накопленных при пластической деформации и хранении в окислительных средах (рис. 5).

При этом плотность фрикционного покрытия ТМК оказывается недостаточной для подавления диффузии окислителей и образования диэлектрических плёнок окислов, вызывающих сбои в СК, недопустимые в ВКУ.

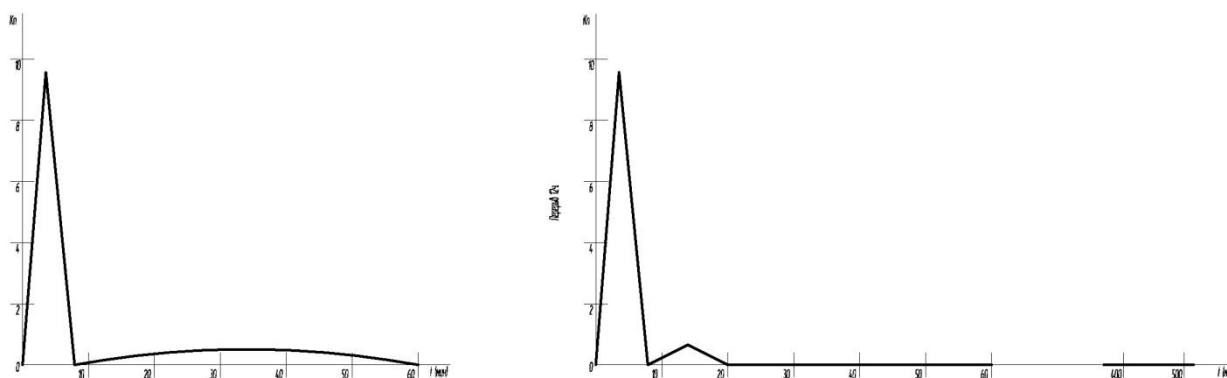


Рис. 5. Интенсивность скачков R_k с присадкой ТМК в подшипнике из стали ШХ-15 ($I=15$ мА, $\Delta R_{\text{зо}}=10$ Ом, $t_{\text{зо}} \geq 0,1$ мс)

Решение этой новой проблемы найдено в механизме явления «трибоцементации», возникающей при доводке шаров подшипников из стали ШХ-15. В условиях, благоприятных для окислительного износа, поверхность шаров остаётся зеркальной, без следов окисления, которое подавляется при взаимодействии с углеродом, содержащимся в неограниченном количестве в массивных доводочных дисках из чугуна СЧ-34.

VI. В изделиях ВКУ, для подавления трибоокисления, использованы специальные притиры с высоким содержанием углерода. Результаты испытаний подтвердили высокую эффективность предложенного способа доводки. Сбои при регистрации скачков R_k по уровню $\Delta R_{\text{зо}} \geq 1$ Ом и длительностью $\Delta t_{\text{зо}} \geq 1$ мс полностью отсутствовали в течение нескольких часов испытаний, в том числе не возникали после кратковременных остановов и перерывов в работе, а износ щёток находился в пределах исходной шероховатости, полученной после приработки.

Список литературы

1. Куранов В.Г. Фрикционная непроводимость слаботочных контактов / В.Г. Куранов. – Саратов: СГТУ, 1996. – 84 с.
2. Куранов В.Г. Сверхпроводимость и безызносность слаботочных контактов / В.Г. Куранов, В.В. Куранов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – №1. – С. 34-38.

**ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ
НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ
ПО ДИСЦИПЛИНАМ ЦИКЛА «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА»**

Т.П. Морозова, И.А. Челышева

ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Энгельс, Россия

Тел. (8453) 55-35-53; e-mail etingig@mail.ru

Рассмотрены различные аспекты преподавания дисциплин цикла «Инженерная графика» для целенаправленного формирования профессиональных качеств личности будущего специалиста и его готовности к самостоятельной учебной и производственной деятельности. Предложен вариант преподавания этих дисциплин, обеспечивающий непрерывность и последовательность их изучения в техническом вузе.

Ключевые слова: инженерная графика, графические дисциплины, электронная рабочая тетрадь, деловая игра.

**FORMATION AND DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL
SKILLS BY STUDENTS OF TECHNICAL COLLEGES IN THE
DISCIPLINES CYCLE «ENGINEERING GRAPHICS»**

T.P. Morozova, I.A. Chelysheva

*Engels Technological Institute (a branch) of Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov, Russia*

This research proves the various aspects of teaching disciplines cycle «Engineering Graphics» for the purposeful formation of professional skills of the future specialist and ready for independent study and work. The variant proposed of the teaching of these disciplines, ensuring continuity and consistency of their study in a technical college.

Keywords: engineering graphics, graphics discipline, electronic workbook, a business game.

Современная система двухуровневой подготовки выдвигает новые требования к выпускникам технических вузов, получающих квалификацию бакалавра или магистра. Будущие инженеры и конструкторы должны обладать такими профессиональными компетенциями как профессиональная грамотность, способность разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, участие в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам и другим нормативным документам, умение творчески подходить к выполняемой

работе, умение ориентироваться в конструкторской и технологической документации, умение пользоваться компьютерными системами автоматизированного проектирования, готовность к постоянному самообразованию, саморазвитию и принятию творческих решений.

Однако при переходе системы высшего образования на Федеральные образовательные стандарты третьего поколения объем часов на изучение начертательной геометрии, инженерной и машинной графики сократился. В связи с этим, перед преподавателями данных дисциплин встал вопрос об оптимизации учебного процесса, который повлек за собой пересмотр учебных программ, изменение концепции проведения аудиторных занятий в целом и самостоятельной работы студентов в частности, поиск новых методов преподавания и контроля.

В привычных для нас традиционных методах преподавания этих дисциплин сначала излагается некоторый объем учебного материала, а затем предлагаются задания для его закрепления. Развитие творческого мышления стимулируют проблемные методы обучения, когда учащийся с самого начала ставится перед проблемой, решение которой выполняется им самостоятельно или с помощью преподавателя [1].

Одной из наиболее эффективных форм интерактивного обучения являются деловые игры с конкретными ситуациями, которые могут возникнуть в профессиональной деятельности будущего специалиста. Деловые игры позволяют студентам соединить полученные теоретические знания и приобретенные практические компетенции, нести ответственность за принятые самостоятельно решения, учат качественно выполнять свои должностные обязанности. В процессе обучения с помощью деловых игр повышается интерес к занятиям, изменяется самооценка студентов, повышается познавательная функция, изменяются взаимоотношения между студентами и преподавателем. Преимущество деловых игр состоит в том, что, взяв на себя ту или иную роль, участники игры вступают во взаимоотношения друг с другом. В результате создается конфликтная ситуация, которая сопровождается естественной эмоциональной напряженностью. Во время деловой игры студенты, имитируя деятельность того или иного должностного лица, на основе анализа данных ситуаций учатся принимать решения.

Опыт преподавания инженерных дисциплин показал, что наибольший интерес у студентов вызывает самостоятельная работа, в которой студент может проявить себя, почувствовать свою интеллектуальную состоятельность [2]. Цель такой работы – развитие умений анализировать и решать сложные проблемы графической, конструкторской и технологической направленности, приобретение опыта сотрудничества, приближенного к реальным производственным условиям, где каждый специалист несет ответственность за определенный вид работ.

При изучении тем модуля «Виды конструкторской документации» на кафедре применяются игровые технологии для частичного воссоздания условий, приближенных к реальному производству. Например, при разработке чертежа общего вида студенты работают в группах. Одни выступают в роли разработчиков, а другие – нормоконтролеров. Задача студентов, выступающих в роли нормоконтролеров студенческих работ – проверить грамотность выполнения чертежей с точки зрения соблюдения требований стандартов ЕСКД.

Такая деловая игра развивает навыки делового общения в группе, способствует повышению интереса к изучаемому предмету, развивает навыки работы с технической документацией и справочной литературой, а главное – способствует принятию самостоятельных решений и ответственности за них. Кроме того, студенты учатся грамотно излагать свои мысли и общаться на профессиональном уровне, как с преподавателем, так и между собой. Таким образом, у студентов вырабатываются такие профессиональные компетенции как способность организовывать работу малых коллективов исполнителей и способность осуществлять деятельность, связанную с руководством действиями отдельных сотрудников, умение оказывать помощь подчиненным.

Современный учебный процесс направлен не только на формирование у студентов графической грамотности, но и на освоение новых информационных технологий. Для полноценного формирования графической культуры студентов в современных условиях нельзя обойтись без использования компьютерных технологий в учебном процессе.

При этом встает вопрос соотношения применения традиционных составляющих учебного процесса и новых информационных технологий. Информационные технологии в образовании необходимо применять в тех случаях, когда это дает реальные преимущества перед традиционными формами обучения. Преподавателями кафедры были разработаны и введены в учебный процесс курса инженерной графики задания в электронном виде (в графическом редакторе «Компас-3D») по выполнению чертежей с использованием элементов конструирования.

Разрабатывая и выбирая расчетно-графическое задание, преподаватель анализирует и распознает необходимые для решения приемы творческой деятельности, учитывает знания студентов и мысленно выстраивает ряд ситуаций, которые входят в алгоритм решения. Одним из основных средств обучения графическим дисциплинам является разработанная преподавателями кафедры на основе учебного пособия электронная рабочая тетрадь, содержащая графические условия предлагаемых задач, методику и примеры выполнения заданий (пример одного задания из рабочей тетради приведен на рис.1).

Применение в процессе обучения электронной рабочей тетради способствует усвоению студентами специальных терминов и понятий, приобретению практических умений и навыков, формированию у обучающихся самоконтроля, развитию пространственного мышления. Кроме того, она дает возможность преподавателю постоянно контролировать процесс обучения и уровень усвоения материала. Наблюдая за поведением студентов, можно заметить, что, находя самостоятельное решение графической задачи, учащиеся испытывают чувство удовлетворения результатами собственного творчества, что привлекает их к предмету, возбуждает интерес, создает заинтересованность в занятиях.

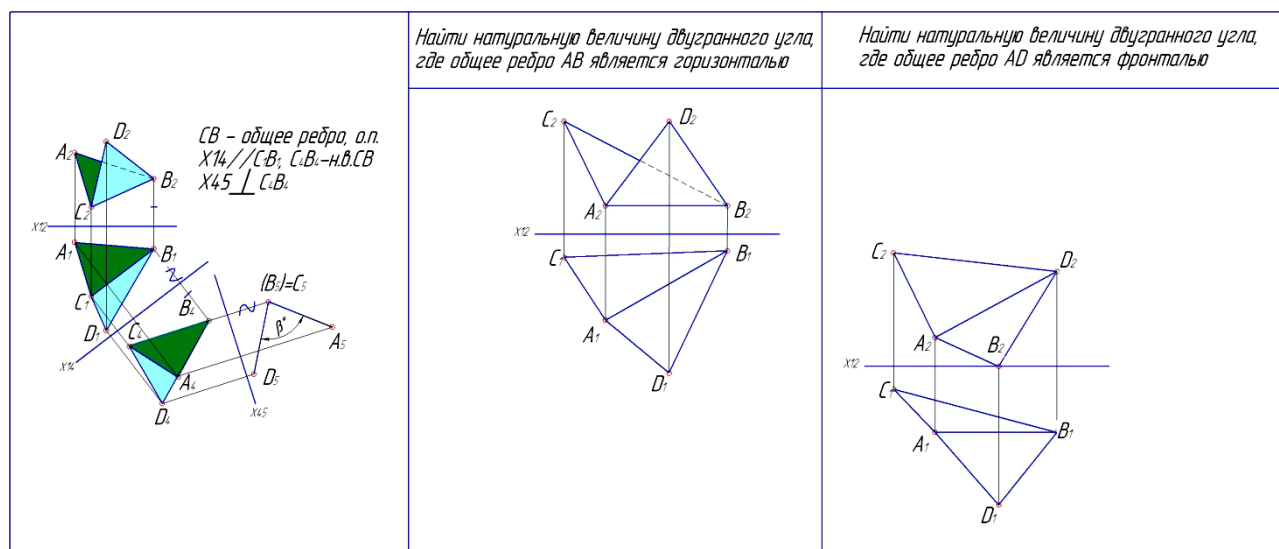


Рис. 1. Один из примеров задач электронной рабочей тетради на нахождение натуральной величины двугранного угла методом замены плоскостей проекций

В целом, преподавание дисциплины организовано таким образом, чтобы обеспечить самостоятельное усвоение студентами учебного материала, выполнение индивидуальных графических заданий и сдачу отчетностей преподавателю. Использование информационных технологий как средства поддержки самостоятельной работы студентов дает возможность заинтересовать их, воспитывает информационную культуру, обеспечивает обратную связь, предоставляет возможность проведения дистанционных консультаций, а также позволяет почерпнуть необходимую информацию из электронных библиотек.

Таким образом, реализация компетентного подхода с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся привела к широкому использованию в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий, таких как деловые игры, разбор конкретных ситуаций, а также использование компьютерных технологий при обучении и контроле знаний обучающихся.

Список литературы

1. Чопова Н.В. Экспериментальная модель преподавания инженерной графики в системе формирования профессиональных качеств личности будущего специалиста при обучении в техническом ВУЗе / Н.В. Чопова // Вестник ТГПУ. – 2011. – Вып. 2 (104). – С. 105-110.

2. Жуйкова О.В. Организация самостоятельной работы студентов технического вуза при изучении графических дисциплин / О.В. Жуйкова // Знание. Понимание. Умение. – 2013. – №2. – С. 288-293.

УДК 621.43

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Б.А. Мырзахметов¹, Ж.Н. Кадыров², А.В. Кочетков³

¹Казахский национальный технический университет
им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

²Казахский университет путей сообщения, г. Алматы

³Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Рассматриваются причины ухудшения параметров двигателей с газотурбинным наддувом строительно-дорожной машины на переходных процессах. Предлагается система кратковременной подачи дополнительного воздуха на начальной стадии переходного процесса и приведены результаты экспериментальных исследований по оценке ее эффективности.

Ключевые слова: двигатель, переходной процесс, строительно-дорожная машина, наддув, динамические свойства.

INFLUENCE OF ENGINE DINAMICAL QUALITIES ON TECHNOLOGICAL INDEX OF ROAD-BUILDING MACHINE

B.A. Mirzaxmetov¹, G.N. Kadirov², A.V. Kothetkov³

¹Kazakh National Technical University K.I. Satpaeva
Almaty, Republic of Kazakhstan

²Kazakh University of Means of Communication, Almaty

³Perm National Research Polytechnical University

This work is concerned about the badly going causes of engine features with gas-turbine whiff on the transitional processes of road-building machine.

Transitory system giving/ additional at the first stage of transitional process is proposed and the results of experimental searchings are also given by the mark of it's efficiency.

Keywords: engine, transitional process, construction and road car, pressurization, dynamic properties.

Характерными режимами работы дизельного привода строительно-дорожной машины (СДМ) являются резкие изменения частоты его вращения, связанные с изменениями внешней нагрузки при выполнении технологических операций. При этом из-за присущей регулятору подачи топлива инерционности он срабатывает с некоторым запаздыванием. Поэтому количество подаваемого в цилиндры топлива часто отличается от того количества, которое соответствует оптимальному при установившейся нагрузке.

Быстрое чередование положительных и отрицательных ускорений коленчатого вала может привести к эффекту «перерегулирования», когда отставание реакции регулятора станет настолько значительным, что он будет уменьшать подачу топлива при уже начавшемся возрастании нагрузки. Результатом этого является резкое снижение эффективных показателей двигателя, ухудшение эксплуатационно-технических показателей СДМ в целом [1].

Дополнительное отрицательное влияние оказывает рассогласование аэродинамических характеристик систем воздухообеспечения с гидродинамическими характеристиками топливоподачи. Особенно это заметно на двигателях с газотурбинным наддувом (ГТН), что связано с инерционностью его ротора и наличием между ними лишь газодинамической связи. Например, на режиме разгона транспортного средства или увеличении внешней нагрузки СДМ при выполнении определенных технологических операций требуется быстрое наращивание двигателем мощности для преодоления нагрузки.

При резком увеличении топливоподачи турбокомпрессор вследствие присущей ему инерционности не в состоянии, в соответствии с законом топливоподачи, почти мгновенно набрать обороты и увеличить подачу воздуха в цилиндры. Связанный с этим недостаток воздуха в цилиндрах в рассматриваемый период становится причиной ухудшения параметров рабочего процесса, ухудшения условий сгорания топлива и снижения экономичности (пережога топлива), роста дымности и токсичности отработавших газов и, в конечном итоге, снижения его стартовой мощности [2,3]. Это приводит к затягиванию выполнения технологических операций СДМ. Снижение динамических свойств двигателей с ГТН при разгоне и набросе нагрузки, особенно в начальной стадии переходного

процесса, становится причиной снижения производительности двигателей.

Уменьшить рассогласование режимов топливоподачи и воздухообеспечения на переходных процессах двигателей с газотурбинным наддувом можно различными путями, например:

- снижением момента инерции ротора турбокомпрессора;
- применением импульсного наддува (целесообразно при одноступенчатом наддуве);
- использованием соответствующей системы топливоподачи (двухфазной или ступенчатой подачи топлива);
- регулировкой системы охлаждения наддувочного воздуха и др.

Однако эти рассмотренные способы не обеспечивают кардинального сокращения времени рассматриваемых переходных процессов и требуют конструктивных изменений.

Наиболее приемлемым способом, не требующим коренной модернизации непосредственно двигателя, является подкрутка турбокомпрессора в начальной стадии переходного процесса. Она может быть осуществлена следующими способами.

Путем кратковременной подачи дополнительного воздуха в начальной стадии переходного процесса либо на вход компрессора, либо непосредственно к цилиндрам двигателя. Для получения сжатого воздуха необходимо наличие компрессора, воздушного ресивера или эжектирующего устройства. Данный способ легко осуществим в транспортных двигателях, оборудованных системой воздухопуска или воздушными тормозными системами, которые уже комплектуются всеми необходимыми элементами и требуют минимальных конструктивных изменений.

Как показывает опыт, применение данного способа наиболее эффективно на режимах трогания и разгона транспортного средства [1,2]. Оно позволяет существенно сократить время разгона транспортного дизеля, форсированного газотурбинным наддувом, на 25-35%, снизить дымность отработавших газов и расход топлива на неустановившихся режимах.

В таблице 1 [2] приведены данные об эффективности различных способов подачи дополнительного воздуха при мгновенном набросе нагрузки. Видно, что наиболее эффективна подача воздуха непосредственно в цилиндры или с использованием эжектирующих устройств.

Осуществление рассматриваемого способа может быть связано с необходимостью установки дополнительного компрессора, увеличением расхода воздуха из баллонов пусковой или тормозной системы транспортной машины. Это может привести к трудностям по обеспечению

повторных переходных процессов (особенно при частых их повторениях в условиях эксплуатации).

Таблица 1. Эффективность различных способов подачи дополнительного воздуха при мгновенном набросе нагрузки

Дизель	Подача воздуха	Без подачи		С подачей	
		дополнительного воздуха			
		Т _п , с	δ _п , %	Т _п , с	δ _п , %
ДН20,7/2 х 25,4	В цилиндры	14,7	15,1	7,5	13,2
ЧН 26/26	Во впускной коллектор	6	12,3	3	3,4
ЧН 15/18	С использованием эжектирующих устройств	6	8	2,4	6
ЧН 27/27	Из пусковых баллонов на колесо компрессора	20	20	11	10
Т _п , с – длительность переходного процесса; δ _п , % - заброс частоты вращения вала двигателя.					

Для оценки эффективности способа кратковременной подачи дополнительного воздуха в начальной стадии переходного процесса на эксплуатационно-технические и экологические показатели разработана система «Старт» для кратковременного форсирования дизельного двигателя 6ЧН12/14 фронтального погрузчика, мощностью 132 кВт с газотурбинным наддувом ($P_k=0,23$ МПа), схема которой представлена на рис. 1.

Количество сжатого воздуха и номинальное давление в дополнительном резервуаре 1 определяется исходя из литража двигателя, частоты смены режимов и их длительности. От этих же факторов зависит и производительность воздушного компрессора 2 пневмосистемы.

Система «Старт» работает следующим образом (см. рис.1). В момент наброса нагрузки открывается электромагнитный клапан 5 и воздух из резервуара 1 поступает на съемные эжекторы 3, установленные после турбокомпрессора. Управление электромагнитным клапаном 5 осуществляется согласующим устройством 6 в зависимости от ускорения вращения вала двигателя (Δn), положения и ускорения перемещения рейки топливного насоса (Δj) педалью 7 и давления в коллекторе (P).

При набросе нагрузки оператор нажимает педаль перемещения рейки топливного насоса, датчик измерения углового положения педали (ω) передает сигнал на блок согласования сигналов, в котором в зависимости от величин Δn , P вырабатывается сигнал на величину открытия клапана 5. При n , $P = \text{const}$ клапан находится в закрытом положении.

Таким образом, количество и время подачи дополнительного воздуха будет определяться величиной ускорения коленчатого вала и давлением во впускном коллекторе, которое должно находиться на уровне, обеспечивающем оптимальные условия сгорания топлива в цилиндрах двигателя независимо от режимов внешней нагрузки.

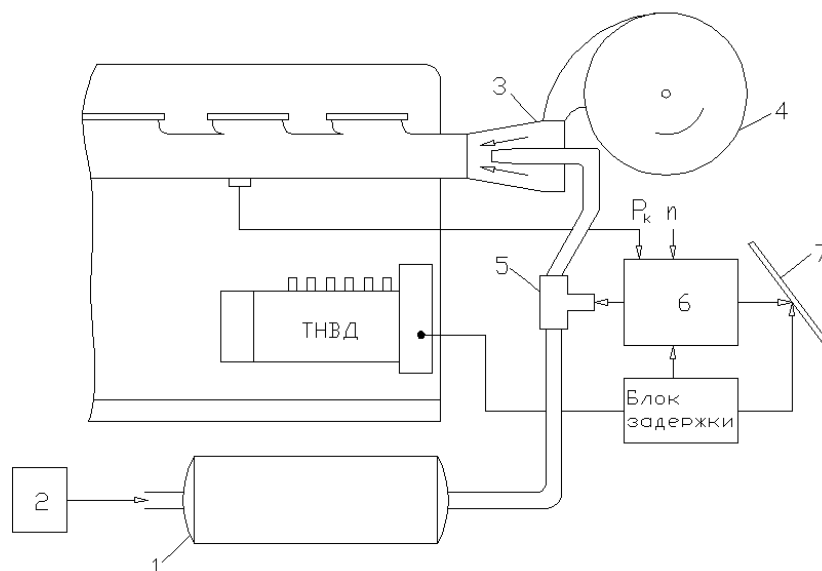


Рис. 1. Система «Старт» для кратковременного форсирования двигателя при набросе нагрузки:

1 – воздушный резервуар; 2 – компрессор; 3 – эжектор; 4 – турбокомпрессор;
5 – электромагнитный клапан; 6 – блок согласования; 7 – педаль ТНВД

Конструкция эжектора была разработана для данной системы и представлена на рис. 2.

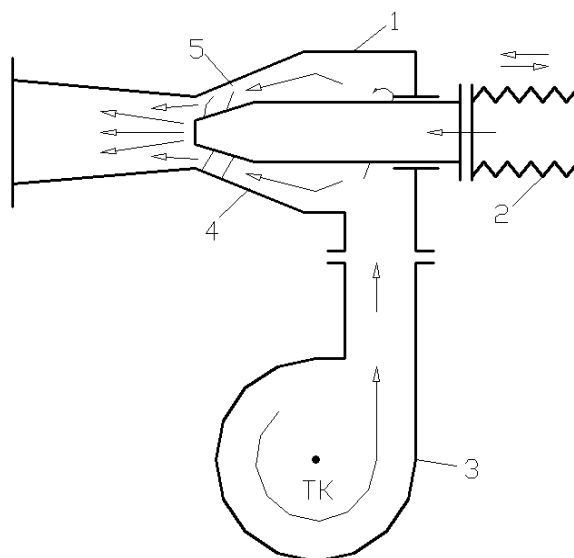


Рис. 2. Конструкция эжектора:

1- высоконапорное сопло; 2- сильфон; 3 - компрессор; 4- корпус эжектора;
5- кольцевая щель с винтовыми направляющими лопатками камеры смешения

Она несколько отличается от традиционных конструкций. При набросе нагрузки включается система «Старт» и сжатый воздух от

пневмосистемы подводится к высоконапорному соплу эжектора 1 через сиффон 2. Сиффон позволяет перемещаться соплу относительно корпуса 4 в зависимости от подаваемого давления, тем самым меняя коэффициент эжекции. Коэффициент упругости сиффона подбирается исходя из номинального давления в высоконапорном сопле. Подсасываемый воздух от компрессора 3 подается по периметру кольцевого пространства 5 через направляющие винтовые лопатки, создавая разрежение после компрессора.

Закручивание потока воздуха спиральными винтовыми направляющими лопатками увеличивает дальность импульса волны давления в коллекторе и «запирает» попадание обратного (отраженного) импульса волны давления на лопатки компрессора.

Расход воздуха из воздушных резервуаров контролировался по падению давления и оценивался по известному уравнению состояния газов $PV = mRT$.

Размещение эжекторов после ТК вызвано тем, что подача воздуха в эжектор приведет к понижению давления после компрессора и связанному с этим снижению потребляемой мощности колеса турбины. Это значительно сократит время набора ТК оборотов, соответствующих цикловой подаче топлива. Принудительная же подача воздуха непосредственно во впускной коллектор и цилиндры двигателя исключала фактор инерционности ротора ТК в этот период.

Предварительные результаты испытаний представлены на рис. 3.

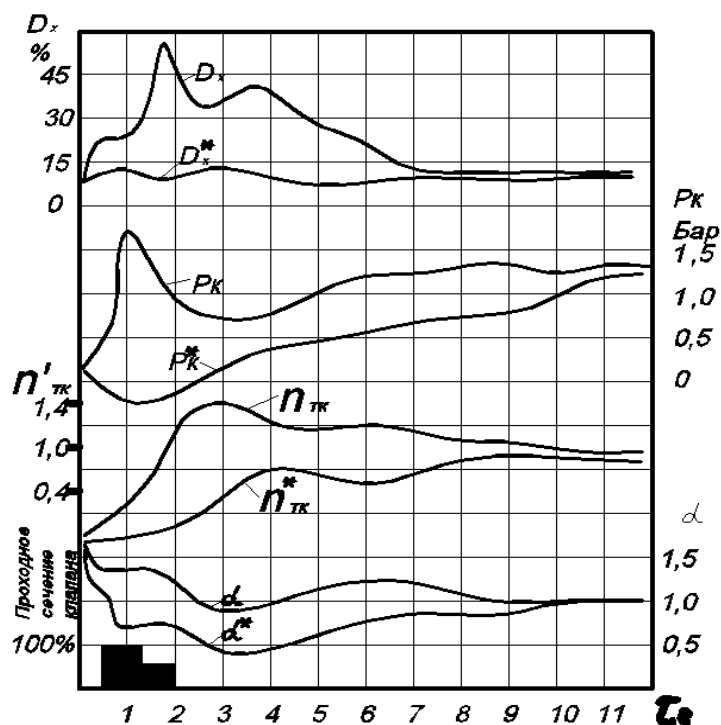


Рис. 3. Характер изменения параметров двигателя и турбокомпрессора при переходном процессе (набросе нагрузки)

Установлено, что данный способ кратковременного форсирования на 25-30% сокращает время разгона дизеля, при этом обеспечивается снижение дымности (D_x) отработавших газов.

При работе дизеля со штатной системой воздухообеспечения на начальной стадии разгона из-за инерционности ротора ТК наблюдается резкое падение давления в коллекторе $P_k < P_{бар}$, которое длится $\approx 2 - 3$ с. Связанное с этим снижение коэффициента избытка воздуха ($\alpha < 1$) восстанавливается до оптимальных значений лишь на седьмой секунде после наброса нагрузки. Длительность набора оборотов турбокомпрессором затягивается. В этот период из-за ухудшения условий воздухообеспечения и сгорания резко возрастают дымность и токсичность отработавших газов. Черный цвет отработавших газов свидетельствует о высокой концентрации сажи. После завершения наброса нагрузки наблюдается заброс частоты вращения вала двигателя на 8,5%.

При подаче дополнительного воздуха во впускной коллектор через эжекторы длительность переходного процесса сократилась с 7 до 3,5 с (т.е. на 50%). Уже через 3 с после начала переходного процесса за счет снижения перепада давления на колесе компрессора и снижения потребляемой им мощности турбины частота вращения ротора ТК стала вдвое больше, чем без этой системы.

Это обеспечило улучшение воздухообеспечения двигателя, качества протекания его рабочего процесса и уменьшило степень падения η . В рассматриваемом случае интенсивная раскрутка ротора ТК начиналась уже через 0,6-0,8 с. Стабильность α свидетельствует о том, что недостаток воздуха в этот период компенсировался дополнительно подаваемым в коллектор воздухом. Кроме того, смешение относительно холодного дополнительно подаваемого воздуха с горячим, после компрессора, приводит к заметному снижению температуры наддувочного воздуха и росту массового наполнения воздухом цилиндров. Таким образом, в период работы системы не требуется промежуточный охладитель наддувочного воздуха. На всех опытах при набросе нагрузки существенной просадки оборотов двигателя не наблюдалось.

Исходя из анализа полученных результатов, можно констатировать:

- установка эжекторов после колеса компрессора между впускными коллекторами более эффективна, нежели подача дополнительного сжатого воздуха на лопатки турбины, т.к. в период набора частоты ротора ТК недостаток воздуха в коллекторе компенсируется воздухом, поступающим от баллонов через эжекторы;

- применение системы подачи дополнительного воздуха в двигателях с газотурбинным наддувом позволяет существенно улучшить параметры двигателя, снизить дымность и токсичность отработавших газов и сократить длительность переходного процесса;

- расход воздуха из баллонов пусковой или тормозной системы не превышает 15% (или ≈ 2 кг) на переходной процесс, поэтому объем воздуха штатной тормозной системы и производительность его компрессора позволяют использовать ее для кратковременного форсирования в период переходных процессов СДМ, но не на транспортных режимах.

Список литературы

1. Багиров Д.Д. Двигатели внутреннего сгорания строительных и дорожных машин / Д.Д. Багиров, А.В. Златопольский. – М.: Машиностроение, 1974. – 214 с.
2. Костин А.К. Эксплуатационные режимы транспортных дизелей / А.К. Костин, К.Б. Ермекбаев. – Алматы: Наука, 1988. – 189 с.
3. Эпштейн А.С. Переменные режимы двигателей с газотурбинным наддувом / А.С. Эпштейн. – М.: Машгиз, 1962. – 207 с.

УДК 629.113.001.2

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛИ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ЧИСЛУ ЦИКЛОВ НАГРУЖЕНИЯ БОЛЬШЕ БАЗОВОГО

А.А. Петров

*СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
Тел.8-987-363-10-79; e-mail DJUDO99@yandex.ru*

Рассмотрены процессы деградации предела выносливости деталей при большом числе циклов нагружения.

Ключевые слова: выборка, снижение предела выносливости, оценка долговечности, уровень амплитудных напряжений.

ON ASSESSMENT OF THE MAGNITUDE OF THE ENDURANCE LIMIT THE NUMBER OF ITEMS SUBJECT TO CYCLES OF LOADING MORE BASIC

A.A. Petrov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The paper considers processes of degradation of the endurance limit of parts for a large number of loading cycles.

Keywords: sample, endurance limit, fatigue limit reduction, durability assessment, the level of peak stress.

На первых этапах проектирования транспортных машин перед конструктором стоит задача обеспечения конструкции требуемого ресурса.

Вопрос о *предельном значении* скалярной меры усталостных повреждений остается дискуссионным и сегодня: многие исследователи указывают на то, что линейная гипотеза нуждается в корректировке [1,3], потому как в общем случае дает завышенную в 5 и более раз (в 5% случаев) неконсервативную оценку ресурса. Однако отличие прогностической оценки от экспериментальной чаще всего вызвано статистическими причинами, обусловленными непрезентативностью выборки. Поэтому прежде чем приступать к разработке модели накопления усталостных повреждений, необходимо обосновать возможность использования линейной гипотезы накопления усталостных повреждений в расчетах на долговечность по критерию многоциклового усталости.

Линейное правило накопления усталостных повреждений основывается на простых физически ясных соображениях: текущее повреждение V_i , в случае программного нагружения, определяется суммой повреждений, вызванных каждым отдельным блоком (в случае непрерывного нагружения получаем аналогичное толкование), т.е.

$$v_n = \sum_i v_i . \quad (1)$$

Простейший способ экспериментальной проверки линейного правила суммирования, по В.В. Болотину [2], состоит в следующем: образец подвергают действию нагрузок с вектором q_1 в течение времени Δt_1 , а затем – нагрузок с вектором q_2 вплоть до отказа. Если линейная гипотеза накопления усталостных повреждений верна, то оставшееся время до отказа Δt_2 должно удовлетворять условию

$$\frac{\Delta t_1}{Y_b(q_1)} + \frac{\Delta t_2}{Y_b(q_2)} = 1, \quad (2)$$

где $Y_b(q)$ – базовая функция, равная ресурсу при фиксированном q .

Другими словами, если линейная гипотеза справедлива, то экспериментальные точки должны ложиться на одну прямую. Однако в действительности наблюдается большой разброс экспериментальных данных [2] (рис.1).

Традиционно предел выносливости принимается постоянным, как бы ни было велико число циклов нагружения детали. В большинстве случаев практики число циклов, которое должна выдержать данная деталь за время ее службы, во много раз превышает 10^7 .

Для примера рассмотрим число циклов, которые должны выдержать детали в эксплуатационных условиях. Каждая вращающаяся деталь, работающая на изгиб при 1000 мин^{-1} , непрерывно в течение года совершает: $1 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 1000 = 5 \cdot 10^8$ циклов. За 5 лет работы она совершит $2,5 \cdot 10^9$ циклов, за 10 лет – $5 \cdot 10^9$, за 20 лет – $10 \cdot 10^9$. Деталь, делающая 3000 мин^{-1} , совершит: за 5 лет $7,7 \cdot 10^9$, за 10 лет – $15 \cdot 10^9$, за 20 лет – $30 \cdot 10^9$

циклов. Эти цифры ясно показывают, что реальное количество циклов, совершаемое деталями, в сотни раз превосходит число циклов, принятое для определения предела усталости [4].

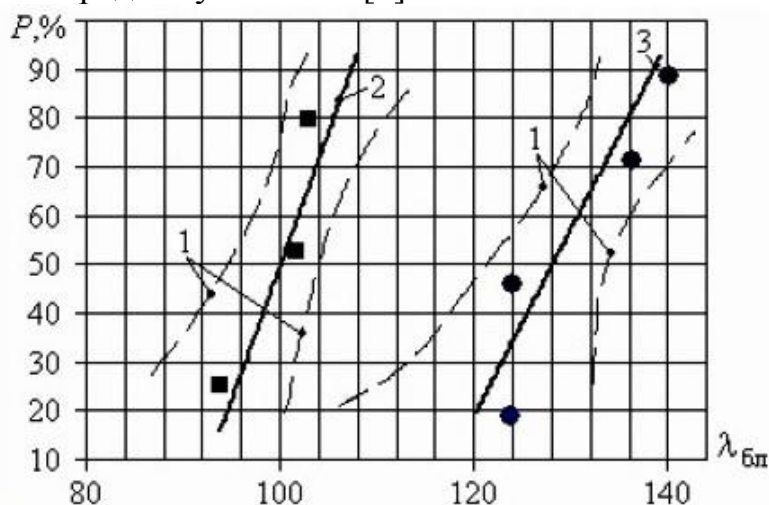


Рис. 1. Функции распределения ресурса (в блоках $\lambda_{бл}$):

1 – доверительные кривые; 2 – распределение ресурса при испытаниях исходным блоком нагружения; 3 – распределение ресурса при испытаниях укороченным блоком нагружения

Поскольку приложенная энергия всегда больше возвращенной энергии при разгрузке на величину площади *петли* гистерезиса, то в материале всегда (даже при относительно малых напряжениях) возникает *микропластическая* деформация, поэтому можно утверждать, что за каждое нагружение расходуется определенная часть работоспособности материала и следует ожидать, что любое относительно малое напряжение при достаточном числе нагружений вызовет исчерпание работоспособности материала и его разрушение [4].

Прямое *экспериментальное* выявление закономерности исчерпания предела выносливости по мере накопления усталостных повреждений для конкретных материалов и конструкции связано с почти непреодолимыми техническими трудностями [3], поэтому теперь, учитывая порог чувствительности по напряжениям, предложенный А.С. Гусевым, и одно из основных следствий континуальной механики повреждаемости сплошных сред (согласно которому в простейшем случае скалярная мера усталостных повреждений пропорциональна площади под кривой, описывающей процесс изменения амплитудных напряжений), примем гипотезу о наличии связи между ω_k - параметром и приращением ординаты деградационного процесса $\Delta\sigma_{-1}^{(k)}$ в виде

$$\omega_k \propto \exp[b \cdot \ln \Delta\sigma_{-1}^{(k)}]_{k=1}^q, \quad (3)$$

где b – некоторая константа.

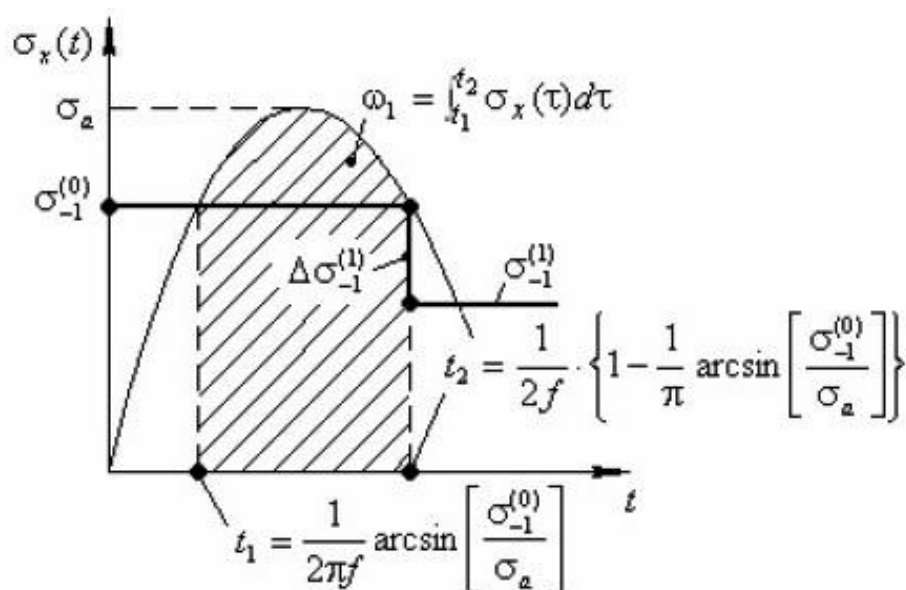


Рис. 2. Пояснение гипотезы о наличии связи между энергией напряжений и приращением ординаты деградационного процесса: σ_a – амплитуда моногармонического нагружения; f – частота нагружения

Представляется разумным еще раз напомнить, что относительно малые напряжения, величина которых ниже предела выносливости (определенного на базе 10^7 циклов), принимают самое непосредственное участие в процессе накопления усталостных напряжений, что подтверждают многочисленные экспериментальные исследования усталостных свойств при программном нагружении: исследования показывают, что относительно малые напряжения влияют на ресурс объекта, однако при этом существует такая минимальная величина (порог чувствительности), ниже которой усталостные повреждения в материале не вызываются.

Согласно Д.И. Беренову, можно принять, что правая ветвь кривой выносливости будет стремиться к пересечению при каком-то большом, но не бесконечном числе циклов. Если принять, что при числе циклов, равном 10^{14} , энергия объекта будет полностью исчерпана усилием от его веса без приложения какой-либо внешней нагрузки, то получим, что из этой точки кривая усталости приблизится к оси абсцисс и будет близка к пересечению с ней.

В табл. 1 приведены результаты опытов по долговечности, полученные С.В. Серенсенем. Приведенные в таблице данные указывают на то, что детали работающих машин, как правило, не достигают числа циклов, равного 10^{14} .

Однако пределы точности обычных расчетов и невозможность точного определения состояния металла, его однородности, концентрации напряжений, зависящей от формы детали, будут значительно больше полученной ошибки [4]. Ошибка в данном случае не будет опасна, так как пойдет в запас прочности.

Таким образом, становится ясно, что точка пересечения лежит дальше 10^{11} циклов (по рекомендации Д.И. Беренова точку пересечения следует принять равной 10^{14}).

Таблица 1. Число циклов до разрушения

Тип детали	Общее число циклов до разрушения
Вагонные оси	$2 \cdot 10^7$
Коленчатые валы стационарных двигателей	$1 \cdot 10^9$
Коленчатые валы автомобильных двигателей	$1,2 \cdot 10^7$
Коленчатые валы авиационных двигателей	$1,8 \cdot 10^7$
Трансмиссионные валы	$4 \cdot 10^8$
Валы паровых турбин	$1,5 \cdot 10^{10}$
Лопатки паровых турбин	$1 \cdot 10^{11}$

Итак, в том случае, когда все ординаты (или большая часть ординат) спектра напряжений лежат ниже предела выносливости, для идентификации материальных параметров феноменологической модели можно рекомендовать модифицированную кривую усталости Д.И. Беренова.

Вывод: несмотря на различные гипотезы снижения пределов выносливости при большом числе циклов нагружения, работа в этом направлении должна быть продолжена.

Список литературы

1. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
3. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучести конструкций при случайных нагрузках / А.С. Гусев. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.
4. Беренов Д.И. Расчеты деталей на прочность. Определение долговечности и динамических усилий / Д.И. Беренов. – Свердловск: Машгиз, 1959. – 216 с.
5. Серенсен С.В. Руководство по определению расчетных характеристик сопротивления усталости деталей машин / С.В. Серенсен, В.П. Когаев. – М.: ВНИИНМАШ, 1971. – 107 с.
6. Подвойский А.О. Аппроксимативная модель прогнозирования оценок усталостной долговечности при нагружении стационарными гауссовскими процессами / А.О. Подвойский, В.Е. Боровских // Вестник машиностроения. – 2013. – №7. – С. 20-27.

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСОВ
ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ АТС
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН ПО ВЕСОВЫМ И ГАБАРИТНЫМ
ПАРАМЕТРАМ**

**Еркин Джалайубеков¹, Ж.Н. Кадыров²,
А.В. Кочетков³, Н.Е. Кокодеева⁴**

¹ *Казахская академия транспорта и коммуникаций,
г. Алматы, Республика Казахстан, erkin.j@mail.ru*

² *Казахский университет путей сообщения, г. Алматы*

³ *Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, soni.81@mail.ru*

⁴ *СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия, kokodeewa@mail.ru*

Статья содержит результаты аналитического обзора в области определения допустимых параметров транспортных средств (в том числе крупногабаритных и тяжеловесных) в Республике Казахстан с учетом безопасности дорожного движения, безопасности транспортных средств и сохранности автомобильных дорог.

Ключевые слова: автотранспортные средства (АТС), закон, риск причинения вреда, габарит, безопасность.

**ANALYSIS EXISTING QUESTIONS OF TECHNICAL REGULATION
IN USAGE AUTOMATIC TELEPHONE STATION BY WEIGHT
AND DIMENSIONS PARAMETERS IN KAZAKHSTAN**

**Erkin Dgalaubekov¹, G.N.Kadirov²,
A.V.Kothetkov³, N.E. Kokodeeva⁴**

¹ *Kazakh Academy of Transport and Communications,
Almaty, Republic of Kazakhstan*

² *Kazakh University of Means of Communication*

³ *Perm National Research Polytechnical University*

⁴ *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia*

This article contains the results of analytical review in determining the acceptable parameters of vehicles (including bulky and heavy) in the Republic of Kazakhstan, taking into account road safety, vehicle safety and the safety of roads.

Keywords: PBX (private branch exchange), the law, the risk of harm, dimension, security.

Постановка задачи. Аналитический обзор вопросов технического нормирования эксплуатации АТС по весовым и габаритным параметрам

для обеспечения безопасности функционирования автомобильного транспорта и сохранности автомобильных дорог проводится на примере государства-участника Таможенного союза – Республики Казахстан (РК).

Пути исследования. Анализ существующего состояния по весовым и габаритным параметрам АТС проводится на основе рассмотрения законодательных актов РК в области технического регулирования и современного нормативно-методического обеспечения по данному вопросу.

Постановлением Правительства РК от 9 июля 2008 г. № 675 принят Технический регламент «Требования к безопасности автотранспортных средств» [1]. Объектами технического регулирования Технического регламента являются механические транспортные средства категорий М1, М2, М3, N1, N2 и N3 с рабочим объемом двигателя более 50 см³ и максимальной конструктивной скоростью более 50 км/ч и прицепы к ним категорий O1, O2, O3 и O4 [1].

В Техническом регламенте используются понятия, установленные Законом РК «О техническом регулировании» [2] от 9 ноября 2004 г., а также указывается следующее [1]:

Причинами возникновения рисков причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу юридических и физических лиц, а также окружающей среде вследствие использования АТС и их компонентов являются: несовершенство конструкции, технологических процессов или систем контроля продукции серийного и массового производства, не позволяющее обеспечить выполнение требований безопасности в отношении введенных в эксплуатацию АТС и их компонентов; снижение показателей безопасности АТС в процессе их эксплуатации; снижение безопасности АТС в связи с недопустимым изменением их конструкции; возникновение повышенной опасности АТС в связи с их неправильной эксплуатацией; загрязнение окружающей среды вредными выбросами АТС в процессе эксплуатации, а также выведенными из эксплуатации и не утилизированными надлежащим образом АТС. Риски, связанные с использованием АТС и их компонентов и зависящие от требований, предъявляемых к конструктивным свойствам и характеристикам АТС, делятся на следующие группы: 1) риск совершения дорожно-транспортного происшествия (ДТП) вследствие несовершенства, отсутствия или технических неисправностей отдельных элементов конструкции АТС; 2) риск совершения ДТП вследствие неспособности водителя выполнять надлежащим образом свои функции по управлению АТС; 3) риск наступления тяжелых последствий в результате ДТП; 4) риск загрязнения окружающей среды при эксплуатации АТС и его последующей утилизации; 5) риск возникновения помех в работе радиопередающих устройств и радиоэлектронной аппаратуры вследствие использования АТС; 6) риск несанкционированного использования АТС;

7) риск поражения электрическим током при использовании электромобилей и троллейбусов.

Снижение описанных рисков до социально приемлемого уровня должно осуществляться: на стадии производства – посредством достижения соответствия требованиям, установленным в отношении вводимых в эксплуатацию АТС и выпускаемых в обращение компонентов; на стадии эксплуатации – посредством достижения соответствия требованиям, установленным в отношении АТС, находящихся в эксплуатации, в том числе при выполнении их технического обслуживания и ремонта, а также при внесении изменений в конструкцию.

Требования к конструктивной безопасности АТС устанавливаются в отношении: 1) предельных значений массовых и габаритных параметров автотранспортных средств; 2) способности конструкции АТС минимизировать травмирующие воздействия на водителя, пассажиров, возникающие в процессе и непосредственно после ДТП, а также возможности эвакуации без применения технических средств водителя и пассажиров АТС после дорожно-транспортного происшествия (Правила ЕЭК ООН № 12; 14; 16; 17; 21; 25; 29; 32; 33; 42-44; 58; 61; 66; 73; 80; 93; 94; 95; 114; 126); 3) способности конструкции АТС во время дорожно-транспортного происшествия минимизировать физическое воздействие на других участников дорожного движения (Правила ЕЭК ООН № 26); 4) обзорности с места водителя внешнего пространства во всех направлениях для принятых в РК условий дорожного движения (Правила ЕЭК ООН № 46; 125); 5) измерения с необходимой точностью и, в необходимых случаях, регистрации параметров движения АТС и информирования о них водителя (Правила ЕЭК ООН № 39; 68; 84; 85; 89). Эксплуатационная безопасность АТС обеспечивается путем проведения периодических технических осмотров АТС и непосредственно на дорогах и улицах уполномоченными на проведение технического осмотра АТС должностными лицами.

Периодические технические осмотры должны проводиться с соблюдением следующих общих принципов: технические осмотры должны проводиться без разборки или снятия какой-либо части АТС; контрольно-диагностическое оборудование и средства измерения должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений, разрешенных для применения на территории РК, иметь сертификаты об утверждении типа средств измерений и установленные документы о поверке; технический осмотр должен проводиться в пределах ограниченного времени. Фактическое время, необходимое для проведения технического осмотра, может изменяться в зависимости от категории и состояния осматриваемого АТС, но не должно превышать 30 мин.

Периодический технический осмотр АТС должен осуществляться визуально, опробованием действия и функционирования компонентов

АТС, а также с помощью средств инструментального контроля компонентов. Разработан перечень характеристик и конструктивных свойств, а также составных частей автотранспортных средств, в отношении которых, с учетом возможных рисков, должны устанавливаться требования безопасности.

Можно отметить методическую близость законов Российской Федерации (Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании») и РК (Закон РК «О техническом регулировании»), в которых основным принципом технического регулирования объявлена разработка технических регламентов с учетом оценки риска и степени причиняемого ущерба. В Законе Российской Федерации № 184-ФЗ от 2002 г. и его изменениях от 2011 г. (№ 255-ФЗ) устанавливается в качестве измерителя требуемого уровня безопасности использование допустимого риска причинения вреда. Даны следующие трактовки понятий «безопасность» и «риск» [3]: безопасность продукции и связанных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее - безопасность) – состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений; риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Анализ Закона РК от 4 июля 2003 года № 476-II «Об автомобильном транспорте» с точки зрения нормативного обеспечения пропуска крупногабаритного и тяжеловесного транспорта позволил выявить следующие основополагающие требования в исследуемом вопросе.

1. Транспортный контроль подразделяется на следующие виды (Статья 19-2) [4]: 1) контроль за проездом АТС по территории РК; 2) инспекторские проверки за соблюдением субъектами предпринимательства на автомобильном транспорте законодательства РК в сфере автомобильного транспорта, международных договоров, ратифицированных Республикой Казахстан, определяющих порядок функционирования автомобильного транспорта, а также лицензионных правил в сфере оказания автотранспортных услуг.

2. Транспортный контроль за выполнением требований разрешительной системы при осуществлении международных автомобильных перевозок в Республике Казахстан на постах производится путем проверки: 1) наличия разрешительных документов на проезд АТС по территории РК; 2) наличия специальных разрешений на движение по автомобильным дорогам РК крупногабаритных и тяжеловесных

транспортных средств, перевозящих неделимый груз; 3) соответствия маршрута следования, установленного для международного сообщения; 4) наличия талонов прохождения контроля, выдаваемых в пунктах пропуска при въезде автотранспортных средств.

3. Транспортный контроль за соблюдением перевозчиками режима труда и отдыха водителей АТС на постах производится путем проверки наличия контрольного устройства режима труда и отдыха водителя (тахографа) и его использования, а также ведения регистрационных листов контроля режима труда и отдыха экипажа.

4. Транспортный контроль за проездом крупногабаритных и тяжеловесных транспортных средств путем проверки фактических весовых и габаритных параметров транспортных средств и определения величины их превышения над допустимыми параметрами, установленными на территории РК, производится с использованием весоизмерительного оборудования стационарного типа или переносных мобильных весов, измерительного инструмента и габаритных рамок.

Порядок выдачи специальных разрешений на проезд отечественных и иностранных крупногабаритных и (или) тяжеловесных АТС по территории РК регламентируется статьей 19-11.

Порядок организации и осуществления перевозок неделимых крупногабаритных и тяжеловесных грузов на территории РК определяется Правительством РК от 19 января 2002 года № 62 «Об утверждении допустимых параметров автотранспортных средств, предназначенных для передвижения по автомобильным дорогам РК (по состоянию на 19.03.2010 г.)».

Проведен анализ правового обеспечения регулирования движения крупногабаритных и тяжеловесных АТС [5, 6]. В соответствии с действующим законодательством РК АТС считается крупногабаритным, если его габариты по длине и ширине (с грузом или без груза) превышают максимальные значения, установленные законодательством для проезда по автомобильным дорогам РК. В связи с этим, движение на автомобильных дорогах крупногабаритных и тяжеловесных транспортных средств (с грузом или без груза) требует решения целого ряда проблем, таких, как, например, обеспечение сохранности дорог, безопасности дорожного движения, создание условий комфортного проезда всем участникам движения, включая водителей этих автомобилей.

Основными нормативно-правовыми актами, регламентирующими проезд отечественных и иностранных крупногабаритных и (или) тяжеловесных АТС по территории РК, являются: Закон РК «Об автомобильном транспорте» [7]; Закон РК «Об автомобильных дорогах» [8]; Правила проезда АТС по территории РК и выдачи разрешительных документов (утверждены постановлением Правительства РК от 31.12.2008 г., №1345); постановление Правительства РК от 19.01.2002 г. №62 «Об

утверждении допустимых параметров автотранспортных средств, предназначенных для передвижения по автомобильным дорогам РК» [9]; Правила организации и осуществления перевозок неделимых крупногабаритных и тяжеловесных грузов на территории РК (утверждены постановлением Правительства РК от 24.01.2005 г. №51) [5]; Правила дорожного движения РК (утверждены постановлением Правительства РК от 25.11.1997 г. №1650); приказ министра внутренних дел РК от 21.02.2002 г. №103 «Об утверждении Инструкции по осуществлению подразделениями дорожной полиции государственного надзора и контроля за соблюдением правил, нормативов и стандартов в сфере дорожной деятельности и совершенствованию организации дорожного движения» (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК от 15.03.2002 г. №1797).

Проезд отечественных и иностранных крупногабаритных и (или) тяжеловесных АТС (с грузом или без груза) по территории республики осуществляется на основании разрешительного документа – специального разрешения на проезд тяжеловесных и (или) крупногабаритных АТС с грузом или без груза, выдаваемого уполномоченным органом в области транспорта после установления маршрута движения и уплаты суммы сбора за проезд АТС по территории РК по ставкам, установленным Налоговым кодексом РК. Ставка сбора за проезд отечественных и иностранных крупногабаритных и (или) тяжеловесных АТС по территории Казахстана определяется в соответствии с методикой, установленной ст. 461 Налогового кодекса.

Порядок выдачи и согласования специального разрешения (контрольного талона), а также организация и порядок проезда крупногабаритных и (или) тяжеловесных АТС по автомобильным дорогам детально регламентируются Правилами организации и осуществления перевозок неделимых крупногабаритных и тяжеловесных грузов на территории РК, утвержденными постановлением Правительства РК от 24.01.2005 г. № 51. Для получения специального разрешения на проезд крупногабаритного и (или) тяжеловесного АТС перевозчик обращается в уполномоченный орган с заявлением установленной формы, которое содержит достоверные сведения о характере и категории груза, весовых и габаритных параметрах АТС с грузом, предполагаемом маршруте движения, сроках перевозки и другую информацию. Предварительно перевозчиком должен быть согласован с согласовывающими организациями маршрут перевозки, указанный в заявлении. При согласовании предлагаемого маршрута перевозки оцениваются несущая способность и пропускная способность автомобильных дорог, дорожных и иных инженерных сооружений по пути следования в части обеспечения безопасности перевозки, сохранности дорог, дорожных и иных инженерных сооружений, необходимости принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности движения на маршруте следования. Для

каждой согласовывающей организации законодательством установлены сроки проведения согласования заявленного маршрута или предоставления перевозчику мотивированного отказа, в частности, на местную перевозку не более чем в трехдневный срок, на межрегиональную и международную перевозку не более чем в пятидневный срок.

Согласно ст. 19-5 Закона об автомобильном транспорте транспортный контроль за проездом крупногабаритных и тяжеловесных транспортных средств осуществляется путем проверки фактических весовых и габаритных параметров транспортных средств и определения величины их превышения над допустимыми параметрами, установленными на территории РК. Контроль проводится с использованием весоизмерительного оборудования стационарного типа или переносных мобильных весов, измерительного инструмента и габаритных рамок [10].

Если АТС с грузом или без груза имеет превышение по габаритам, массе и (или) осевым нагрузкам над установленными допустимыми параметрами, специальное разрешение выдается только в случае перевозки данным автотранспортным средством неделимых грузов, которые при перевозке не могут быть разделены на две или более части без изменения их назначения, чрезмерных затрат или риска их порчи. Статья 38 Закона «Об автомобильном транспорте» запрещает перевозку крупногабаритных и тяжеловесных грузов, за исключением случаев перевозки неделимых крупногабаритных и тяжеловесных грузов. При выявлении проезда крупногабаритного и (или) тяжеловесного АТС с делимым грузом перевозка может быть возобновлена без выдачи специального разрешения, если перевозчик проведет разгрузку автотранспортного средства, для того чтобы привести его в соответствие с установленными законодательством требованиями в отношении допустимых параметров автотранспортных средств, и оплатит сумму сбора за проезд крупногабаритного и тяжеловесного транспортного средства за фактически пройденную часть маршрута.

Предельные значения параметров автотранспортных средств, осуществляющих перевозку крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ) по дорогам РК установлены постановлением Правительства РК от 19.01.2002 г. № 62 «Об утверждении допустимых параметров автотранспортных средств, предназначенных для передвижения по автомобильным дорогам РК». При этом пункт 16 упомянутого правительственного документа предусматривает возможность уменьшения весовых нагрузок на участках дорог с низкой несущей способностью покрытий из-за погодных-климатических условий. Подобное ограничение вводится решением уполномоченного государственного органа. Так, приказом министра транспорта и коммуникаций РК от 19.04.2004 г. № 165-I «Об организации движения АТС по автомобильным дорогам общего пользования республиканского значения РК в весенние периоды»

были введены временные ограничения движения АТС на автомобильных дорогах общего пользования республиканского значения РК с нагрузкой на одиночную ось до 8 т. Однако это ограничение не касается АТС перевозчиков, осуществляющих международные перевозки грузов и пассажиров в соответствии с международными соглашениями, транспортных средств, занятых на мероприятиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также перевозящих скоропортящиеся товары. Данным приказом установлен срок ежегодного действия временных ограничений движения в зависимости от дорожно-климатических зон. Данный приказ утратил силу приказом МТК от 27.04.2012 г. № 210.

Вместе с тем одним из серьезнейших барьеров, с которым сталкиваются водители, осуществляющие международные автомобильные перевозки, является система многократных взвешиваний автопоездов как при пересечении границы, так и на территории Казахстана и других стран СНГ. В целях прекращения сложившейся практики многократно повторяющихся и требующих значительного времени процедур взвешивания АТС странами СНГ 16.04.2004 г. в г. Чолпон-Ате было подписано Соглашение о введении международного сертификата взвешивания грузовых транспортных средств на территории государств – участников СНГ. На территории РК международный сертификат взвешивания введен в 2005 г. постановлением Правительства РК от 06.05.2005 г. №436 [11]. Соглашением устанавливаются жесткие требования к специальным пунктам взвешивания автотранспортных средств, а именно весовое оборудование и участок дороги с установленными весами должны быть аккредитованы уполномоченными на то органами. В целях реализации названного Соглашения автомобильные пункты пропуска были оснащены стационарным контрольно-измерительным оборудованием. Органами транспортного контроля на постах регулярно проводятся метрологические проверки весового оборудования на соответствие установленным требованиям по классу точности и допустимой погрешности.

Проведен анализ документов стран Европы, Центральной Азии, СНГ и Китая по предельно допустимым массам, осевым нагрузкам и габаритам АТС. Самое большое негативное влияние на разрушение дорог оказывает увеличение предельно допустимых осевых нагрузок на АТС. К сожалению, до сих пор в странах ЦА и других странах СНГ не существует стандарта по допустимым весовым параметрам и габаритам АТС.

Проведен анализ вопроса нормирования допустимых масс, осевых нагрузок и габаритов в странах ЦА и СНГ. В СССР за расчетную нагрузку для дорожных одежд всех типов принимали статическое давление колес АТС, нормированных ГОСТ 9314-59 «Автомобили и автопоезда. Весовые параметры и габариты». Согласно стандарту, автомобили и автопоезда, в

зависимости от весовых параметров – осевой массы и полной массы, - подразделялись на две группы: группа А – автомобили и автопоезда, предназначенные для эксплуатации на автомобильных дорогах I и II категорий общей сети СССР, имеющих усовершенствованные капитальные типы покрытий, а также на автомобильных дорогах других категорий и городских дорогах, проезжая часть которых рассчитана на пропуск автомобилей этой группы; группа Б – автомобили и автопоезда, предназначенные для эксплуатации на всех автомобильных дорогах общей сети Союза ССР. Весовые параметры автомобилей и автопоездов не должны были превышать величин, указанных в табл. 1 [12, 13].

При этом допускаются следующие условия: а) увеличение осевой массы для автобусов при заполнении всех мест для сидения и стояния до 11,5 т – по группе А и до 7 т – по группе Б; б) увеличение осевой массы до 6,5 т для автомобилей-самосвалов, выпускаемых на базе двухосных автомобилей группы Б. Автомобили, полуприцепы и прицепы при полной массе более 1,5 т должны иметь колеса с пневматическими шинами, обеспечивающими передачу осевой массы на поверхность дороги со средним удельным давлением не более 6,5 кгс/см² для автомобилей и автопоездов группы А, и не более 5,5 кгс/см² – для группы Б.

Таблица 1. Весовые параметры автомобилей и автопоездов

Наименование весовых параметров	Группа А	Группа Б
1. Осевая масса (нагрузка на дорогу, передаваемая колесами одиночной, наиболее нагруженной оси) в т:		
а) при расстоянии между смежными осями 3 м и более	10,0	6,0
б) при расстоянии между смежными осями менее 3 м	9,0	5,5
2. Полная масса в т:		
а) двухосного автомобиля или прицепа	17,5	10,5
б) трехосного автомобиля или прицепа	25,0	15,0
в) автопоезда в составе тягача с полуприцепом (при общем количестве осей -3)	25,0	16,0
г) автопоезда в составе автомобиля и прицепа или тягача и полуприцепа (при общем количестве осей - 4)	33,0	20,0
д) автопоезда в составе автомобиля и прицепа или тягача и полуприцепа (при общем количестве осей - 5 и более)	40,0	30,0

Габаритные параметры АТС должны были быть: а) наибольший габарит автомобилей и автопоездов (поперечный) устанавливается в форме прямоугольника шириной 2,5 м и высотой 3,8 м; б) в наибольший габарит автомобилей и автопоездов должно вписываться полностью все оборудование автомобилей и автопоездов за исключением боковых зеркал заднего вида, которые могут выступать за пределы наибольшего габарита при условии установки их на откидных кронштейнах; в) при высоте автомобилей, прицепов и полуприцепов более 3,1 м должна быть предусмотрена возможность временного уменьшения их высоты до

пределов, обеспечивающих перевозку по железным дорогам; г) полная длина автомобилей и автопоездов на должна превышать: автомобиля с любым числом осей (без прицепа) – 12,0 м; автопоезда в составе тягача с полуприцепом или автомобиля с одним прицепом – 20,0 м; автопоезда в составе автомобиля с двумя и более прицепами – 24,0 м; д) ограничение по длине не относится к случаям буксирования автомобилей.

При проектировании одежд на городских улицах исходили из расчетных подвижных вертикальных нагрузок для расчета искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Данные о нагрузках даны в табл. 2. Нагрузки от автомобилей группы А использовали при расчетах одежд на дорогах I и II категорий и на дорогах более низких категорий, если по ним предусмотрен пропуск транспортных средств этой группы. На остальных дорогах расчет одежд проводился на автомобили группы Б. Городские скоростные дороги рассчитывались на нагрузки Н-30, магистральные улицы общегородского и районного значения – на Н-10 и Н-30, улицы в жилых кварталах – на Н-10. Одежды улиц с интенсивным автобусным движением рассчитывали на нагрузки группы А.

Таблица 2. Данные о нагрузках

Транспортные средства	Наибольшая нагрузка на одиночную ось, кгс	Среднее давление на покрытие кг/см ²	Расчетный диаметр следа колеса, см	Транспортные средства	Наибольшая нагрузка на одиночную ось, кгс	Среднее давление на покрытие кг/см ²	Расчетный диаметр следа колеса, см
Автомобили: группы А	10 000	6	33	Расчетный автомобиль:	-	-	-
» Б	6 000	5	28	Н-10	9 500	5,5	33
Автобусы: группы А	11 500	6	35	Н-30	12 000	6,0	36
» Б	7 000	5	30	-	-	-	-

В настоящее время в странах СНГ и, естественно, в ЦА действует только один нормативный документ «Соглашение о массах и габаритах транспортных средств, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам государств – участников Содружества Независимых Государств» (Минск, 04.06.99), относящихся к АТС, осуществляющим международные перевозки. Узбекистан до сих пор не ратифицировал это соглашение. При подписании Республика Узбекистан установила согласно данному «Соглашению» свои нормативы по массам седельных автопоездов. Казахстан с 24.12.2003 ввел свои изменения в сторону увеличения относительно допустимых нагрузок сдвоенных и строенных осей прицепов и полуприцепов [14].

В ЕС действует Директива 96/53 от 25 июля 1999 г. устанавливающая максимально разрешенные размеры и массы для определенных

автомобилей, выполняющих рейсы по территории ЕС. Согласно нормативному документу GB 1589-2004, Китайская Народная Республика гармонизировала практически все свои нормативы по предельным осевым нагрузкам и полной массе АТС с упомянутой директивой 96/53 ЕС.

Ограничение масс и осевых нагрузок транспортных средств в России

В разных странах уровень ограничений весовых параметров АТС определяется в первую очередь состоянием дорожной сети и уровнем экономического развития страны при обеспечении оптимального соотношения прибыли, получаемой от автомобильного транспорта, и расходов на строительство, ремонт и реконструкцию автомобильных дорог.

Автомобильные дороги строились на основании принятого в 1960 г. в СССР ГОСТ 9314-59 «Автомобили и автопоезда. Весовые параметры и габариты», которым нормировались полная масса, осевые нагрузки и габариты АТС, выпускаемых автомобильной промышленностью и эксплуатируемых на автомобильных дорогах. Этот стандарт был обязателен для отраслей автомобильной промышленности, автомобильного транспорта и дорожного хозяйства, что позволило в течение 15 лет сохранять от разрушения и совершенствовать сеть автомобильных дорог страны [12, 13].

Приостановка действия стандарта в 1975 г. и полная его отмена в 1979 г. привели к нарушению сложившегося равновесия в дорожном хозяйстве и транспорте; к выпуску и эксплуатации АТС с массами и осевыми нагрузками, не соответствующими нормам проектирования и состоянию дорог. Появление новых типов автомобилей с повышенными массами и осевыми нагрузками явилось одной из важнейших причин преждевременного разрушения автомобильных дорог страны. До 1996 г. допустимые осевые нагрузки и массы АТС регламентировались ведомственными документами, не носящими обязательного характера для перевозчиков грузов автомобильным транспортом. Таким образом, начиная с 1975 г., в России отсутствовал какой-либо нормативно-правовой или межведомственный акт, определяющий значения допустимых параметров АТС, беспрепятственно эксплуатируемых на автомобильных дорогах общего пользования, и обеспечивающий безопасность движения и сохранность автомобильных дорог. В настоящее время в России на межведомственном уровне вопрос максимально допустимых масс и габаритов АТС опосредованно отражен в Приложении 1 к действующей «Инструкции по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации».

Выводы. В результате проведенного анализа законодательных документов РК необходимо разработать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию определения допустимых параметров, а именно: по внесению изменений в нормативно-правовую базу функционирования автотранспорта в части, касающейся нормативов

весовых и габаритных параметров многоосных автомобилей; по унификации допустимых весовых и габаритных параметров АТС со странами, на которые приходится основные транспортные потоки Казахстана (ЕС, ТС, КНР); по маркам и моделям автотранспортных средств, по которым отсутствуют нормы на весогабаритные параметры.

Необходимо в рамках выполнения Закона РК «О техническом регулировании» разрабатывать научно-методическое сопровождение по воздействию многоосных автомобилей на степень разрушения автомобильных дорог, а также по унификации допустимых весогабаритных параметров автомобилей с учетом риска причинения вреда.

Список литературы

1. Технический регламент РК «Требования к безопасности автотранспортных средств».
2. Закон РК от 9 ноября 2004 года «О техническом регулировании».
3. Закон Российской Федерации № 184-ФЗ «О техническом регулировании» 2002 г. и его изменения 2007 г. (№ 65-ФЗ)
4. Закон РК от 7 июля 2006 года «О концессиях».
5. Правила организации и осуществления перевозок неделимых крупногабаритных и тяжеловесных грузов на территории РК, утвержденные постановлением Правительства от 24 января 2005 года № 51.
6. Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации, утв. Минтрансом РФ, МВД РФ и Федеральной автомобильно-дорожной службой РФ 27 мая 1996 г.
7. Закон РК от 4 июля 2003 года № 476-ІІ «Об автомобильном транспорте» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 05.07.2011 г.).
8. Закон РК от 17 июля 2001 года «Об автомобильных дорогах».
9. Постановление Правительства РК от 19 января 2002 года № 62 «Об утверждении допустимых параметров автотранспортных средств, предназначенных для передвижения по автомобильным дорогам РК, установленных на территории РК».
10. Закон РК от 7 июля 2006 года «О концессиях».
11. Соглашение о введении международного сертификата взвешивания грузовых транспортных средств на территориях государств-участников Содружества Независимых Государств (Чолпон-Ата, 16 апреля 2004 года).
12. Акчурина А.Г. Современная автотранспортная техника (тенденции, анализ и прогноз мирового развития) / А.Г. Акчурина.— Алматы: Издательство LEM, 2009. – 392 с.

13. Бекмагамбетов М.М. Автомобильный транспорт Казахстана. Этапы становления и развития / М.М. Бекмагамбетов. НИИТК. – Алматы: ТОО «Print-S». 2003. – 456 с.

14. Рекомендации по законодательному обеспечению развития транспортной инфраструктуры в государствах - участниках СНГ (Приняты на тридцать третьем пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ постановлением № 33-26 от 3 декабря 2009 г.).

УДК 625 7/8

**АНАЛИЗ ТИПОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (АТС)
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ,
ПО КОТОРЫМ ОТСУТСТВУЮТ ВЕСОГАБАРИТНЫЕ НОРМЫ
ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ**

**Еркин Джалайубеков¹, Ж.Н.Кадыров²,
А.В.Кочетков³, Н.Е. Кокодеева⁴**

¹ *Казахская академия транспорта и коммуникаций,
Алматы, Республика Казахстан, erkin.j@mail.ru*

² *Казахский университет путей сообщения, Алматы*

³ *Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, soni.81@mail.ru*

⁴ *СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия, kokodeewa@mail.ru*

Статья содержит результаты аналитического обзора нормативных документов Казахстана и зарубежных стран по предельно допустимым массам, осевым нагрузкам и габаритам АТС.

Ключевые слова: автотранспортное средство, закон, риск причинения вреда, габарит, безопасность, сохранность автомобильных дорог.

**ANALYSIS TYPES OF VEHICLES (ATS) DEPENDING ON THE
NUMBER AND LOCATION OF THE AXES FOR WHICH THERE ARE
MAXIMUM ALLOWABLE WEIGHT AND DIMENSIONAL VALUES**

**Erkin Dgalaubekov¹, G.N.Kadirov²,
A.V.Kothetkov³, N.E. Kokodeeva⁴**

¹ *Kazakh Academy of Transport and Communications,
Almaty, Republic of Kazakhstan*

² *Kazakh University of Means of Communication, Almaty*

³ *Perm National Research Polytechnic University*

⁴ *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia*

The article contains the results of an analytical review of regulatory documents of Kazakhstan and foreign countries on maximum permissible masses, axial loads and dimensions of ATS.

Keywords: motor vehicle law, the risk of harm, size, safety, safety of roads.

Постановка задачи. Аналитический обзор вопросов технического нормирования эксплуатации АТС по весовым и габаритным параметрам для обеспечения безопасности функционирования автомобильного транспорта и сохранности автомобильных дорог проводится на примере государства-участника Таможенного союза – Республики Казахстан (РК).

Пути исследования. Анализ действующих нормативных документов Республики Казахстан и зарубежных стран по предельно допустимым массам, осевым нагрузкам и габаритам АТС проводится с целью обеспечения безопасности функционирования автомобильного транспорта и сохранности автомобильных дорог. Для сравнения в табл. 1 приведены данные об ограничениях весовых параметров АТС, действующие в различных странах мира [1 - 4].

Проанализируем нормативные параметры масс, осевых нагрузок и габаритов АТС для ряда стран. В США и Канаде требования к параметрам полной массы, осевых нагрузок и габаритов АТС несколько разнятся, хотя между этими странами нет границ и АТС свободно перемещается из одного государства в другое, в рамках соглашения НАФТА. В США и Канаде за счет менее низких параметров, установленных на одиночные оси грузовиков, полная масса составляет 16,35 т в США и 17,1 т в Канаде. На одиночную ось, имеющую 4 колеса (это обычно задние оси грузового автомобиля), в США допустима нагрузка 9,07 т, в Канаде 9,1 т. Это - самые низкие в мире допустимые осевые нагрузки. В ЕС на заднюю четырехскатную ведущую ось грузовика или седельного тягача допустима нагрузка в 11,5 т, с учетом того, что ось установлена на пневматическую подвеску. Необходимо заметить, что в СНиП стран ЦА «Автомобильные дороги» допускается нагрузка на заднюю одиночную ось автобусов также 11,5 т, для грузовиков 10 т [1 - 4].

В России перевозки АТС крупногабаритных и тяжеловесных грузов регулируются Инструкцией, разработанной по Постановлению N 962 Правительства РФ от 26 сентября 1995 г. По этой инструкции взимается плата за ущерб, наносимый дорожным сооружениям и автомобильным дорогам от проезда АТС, перевозящих крупногабаритные и тяжеловесные грузы. Допустимая полная масса АТС с пятью осями и более для автомобильных дорог I-IV категорий ограничена 38 т. Позднее для пятиосных и более АТС допустимая полная масса увеличена до 44 т.

Таблица 1. Данные об ограничениях весовых параметров АТС

Страна	Нагрузка, тс, на			Полная масса, т
	одиночную ось	двухосную тележку	трехосную тележку	
1	2	3	4	5
Австрия	10,0	16,0	-	38
Англия	9,3	16,3*	22,9*	38
Бельгия	12,0	-	-	44
Болгария*	10,0	13,0-18,0*	-	38
Венгрия	10,0	16,0	24,0	40
Греция	13,0	19,0	20,0	38
Дания**	10,0	16,0	-	48
Испания	13,0	14,7	-	38
Италия	12,0	-	-	44
Люксембург**	13,0	20,0	-	40
Нидерланды**	11,0	16,0-20,0*	21,0-24,0*	50
Норвегия	10,0	-	-	16
Польша**	-	-	-	42
Португалия	12,0	-	-	40
Румыния**	10,0	16,0	-	38
Словакия**	11,0	11,5-16,0*	-	48
Финляндия	10,0	18,0	-	56
Франция	13,0	21,0	21,0-24,0*	40
Германия**	11,0	16,0-20,0*	-	40
Чехия**	11,0	11,5-18,0*	22,0-24,0*	48
Швейцария	10,0	18,0	-	28
Швеция	10,0	11,0-20,0	21,0-24,0	20-56*
Югославия	10,0	16,0	24,0	40
Рекомендации ЕЭС от 1992 г.	11,5	11,0-20,0	21,0-24,0	40
Украина**	10,0	16,0	22,0	36
Беларусь**	6,0 и 10,0	11,4 и 18,0*	17,1 и 27,0*	36
Казахстан*	6,0 и 10,0	11,4 и 18,0*	17,1 и 27,0*	36
Латвия	10,0	16,0	-	36
Литва**	10,0	16,0	22,0	36
Эстония	10,0	20,0	24,0	40
Молдова**	10,0	16,0	22,0	36
Россия**(проект)	6,0 и 10,0	11,4 и 18,0*	16,5 и 24,0*	30-38*
Соглашение СНГ	10,0	11,0-18,0*	15,0-25,5*	18-44*
* В зависимости от межосевых расстояний для осевых нагрузок или количества осей и вида АТС для общих масс.				
** Взимаются либо государственные дорожные сборы, либо сборы и налоги в зависимости от полных масс, осевых нагрузок и габаритов АТС.				

Для проезда в Азербайджане АТС, перевозящих крупногабаритные и тяжеловесные грузы, необходимо специальное разрешение, которое можно

получить в Государственной дорожной полиции или в Управлении «Yolnagliyyatservi». Оплата производится с АТС, превышающих массу 37 т, за каждый км пробега – от 37 до 41 т взимается 0,15\$, далее через каждые 10 т превышения массы берется определенный повышающийся тариф. Кроме этого, с иностранцев берутся дорожные сборы в зависимости от сроков пребывания и числа осей АТС.

В Белоруссии после ремонта магистральных дорог допустимая полная масса для автопоездов и тягачей увеличена до 44 т. Для проезда АТС, превышающих допустимые параметры, необходимо получить специальное разрешение. Заявление на получение специального разрешения на проезд тяжеловесных и крупногабаритных АТС подается в РУП «Белдорцентр». Проезд по дороге М1/Е30 Брест – Минск - граница Российской Федерации платный для иностранцев в СКВ, для стран СНГ в российских рублях. Если нет двухсторонних соглашений, с иностранцев берутся специальные дорожные сборы за въезд и транзит в зависимости от грузоподъемности.

В Молдове для перевозки негабаритных грузов необходимо получить специальное разрешение, за превышение допустимых параметров по весу и габаритам, нагрузкам на оси оплачивается специальная пошлина. Специальное разрешение выдается Молдавским Агентством по международным автомобильным перевозкам (АМТАИ). За въезд в Молдову и за каждый км пути берутся дорожные сборы, если нет двухсторонних соглашений между странами [1 - 4].

В Германии допустимая полная масса для автопоездов и тягачей с полуприцепами с 5 и 6 осями составляет 44 т. Специальное разрешение на перевозку крупногабаритных и тяжеловесных грузов получают в транспортных органах на пограничных пунктах в тех случаях, когда невозможно разделить груз по техническим причинам. При невозможности отправки груза по железной дороге или по воде в течение большей части пути это влечет за собой избыточные расходы. При пребывании в Германии АТС более 21 дня взимаются сборы.

В Дании при превышении допустимых весовых и габаритных параметров необходимо известить полицию при въезде в страну или в пункте отправления. Допустимая полная масса для автопоездов и тягачей с полуприцепами с 4 осями составляет 38 т, с 5 осями (2+3) – 42 т, (3+2) – 44 т, с 6 осями – 48 т. Дорожные сборы в Дании берут за проезд по мостам и туннелям.

При превышении допустимых параметров по весу и габаритам в Румынии необходимо получить специальное разрешение. Допустимая полная масса для АТС с контейнерами ISO 120 м³ ограничена 44 тоннами. Специальное разрешение можно получить в Администрации Национальных дорог, Министерстве транспорта. Дорожные сборы платятся за км пути.

В Польше заявка на проезд по специальному разрешению подается за 14 дней. При отсутствии заявки взимаются сборы за превышение допустимых параметров. После вступления Польши в ЕС допустимые параметры АТС приведены к европейским стандартам, допустимая полная масса для перевозок сорокафутовых контейнеров ISO увеличена до 44 т. Также в Польше берут специальные дорожные сборы с иностранцев.

Для проезда АТС с крупногабаритными и тяжеловесными грузами в Хорватии требуется специальное разрешение. Допустимая полная масса для автопоездов с пятью осями и более установлена в 40 т, для тягачей с полуприцепами 5/6-осных для перевозки сорокафутовых контейнеров – 44 т. Дорожные сборы берутся в зависимости от полной массы АТС.

В Иране для тягача с полуприцепом с 5 осями (18 колес) допустимая полная масса ограничена 40 т, нагрузка на одинарную ось (с двумя колесами) – 6 т, одинарную ось (с четырьмя колесами) – 13 т. В этой стране есть свои особенности - при превышении допустимой массы часть груза должна перегружаться на иранское АТС, при этом уплачивается штраф. Если груз неделимый, он должен быть перегружен на иранское АТС, при отсутствии АТС для перегрузки, не разрешается ввозить неделимый крупногабаритный или тяжеловесный груз на территорию Ирана. В Иране дорожные сборы с иностранцев не взимаются.

В Турции специальное разрешение для АТС, перевозящих тяжеловесные и крупногабаритные грузы, дают, если нет другой возможности проезда, кроме автодорог, уполномоченные органы - Министерство общественных работ, Национальная дорожная администрация (в столице). Допустимая масса для тягача с полуприцепом при перевозке сорокафутовых контейнеров ISO установлена 44 т. Оплачиваются налоги за въезд и транзит за км пути.

В Монголии максимально допустимая масса грузового автомобиля составляет 16 т, автопоезда – 38 т. До вступления в силу Соглашения между Правительствами Монголии и Белоруссии разрешения на проезд по территории Монголии с белорусских перевозчиков не требуется. Остальным перевозчикам наличие разрешений обязательно.

До сих пор не изучен вопрос влияния на дорожные покрытия осевых нагрузок, если оси АТС снабжены пневмоподвеской. Неровности поверхности дороги в виде волн разной длины (от 1 до 20 м и более), при движении по которым возникают вертикальные колебания автомобиля, увеличивают динамическую составляющую воздействия АТС на дорогу. Естественно, динамическая составляющая осевой нагрузки АТС, влияющая на разрушение автомобильной дороги, при использовании пневмоподвески будет значительно снижена. Использование пневмоподвесок повышает надежность и ходимость всего автомобиля или автопоезда. Наличие пневмоподвески позволяет АТС расширить номенклатуру перевозимого груза. В международных перевозках грузов в

отношении применения АТС существуют ограничения по их весовым и габаритным параметрам [1 - 4].

В ЕС нормативы по допускаемым нагрузкам и габаритным размерам установлены Директивой 96/53 от 25 июля 1996 года. В частности, максимальная длина автопоездов составляет 18,75 м, максимальный вес – 44 т.

В странах СНГ действует нормативный документ «Соглашение о массах и габаритах АТС, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам государств-участников Содружества Независимых Государств», принятый в г. Минске 4 июня 1999. В соответствии с его положениями максимальная длина АТС не должна превышать 20 м, а общий вес – 44 т.

В то же время внутри СНГ по внутреннему законодательству стран имеются отличия от нормативов, принятых Минским соглашением. В основном это касается различий в осевых нагрузках автопоездов. В США и Канаде приняты более жесткие весогабаритные нормативы. В КНР параметры автомобилей по допускаемым предельным массам и габаритам гармонизированы в 2004 году с европейскими нормами.

Анализ нагрузок на дорогу от сдвоенных и строенных осевых тележек показывает следующее: а) в странах ЕС допускаются большие параметры нагрузок, начиная с расстояния между осями более 1,2 м, чем в других странах. Наиболее щадящие для дороги нагрузки от спаренных осей установлены в США; б) в ЕС нагрузки на осевые тележки не зависят от количества колес (шин) на оси. Они имеют одинаковые значения как для сдвоенных и строенных осей с односкатными колесами. В странах СНГ эти же параметры меньше примерно на 2 т, а в США и Канаде односкатные оси практически не используются на типовых грузовых автомобилях и автобусах; в) в Республиках Казахстан и Узбекистан нагрузки на дорогу от трехосных осевых тележек с двухскатными колесами превышают параметры, установленные в других странах ЦА и СНГ, и составляют 22,5 т при расстоянии между крайними осями 2,7 м.

При анализе полных масс седельных и прицепных автопоездов (рис. 1) наибольший интерес представляют нормативные значения полных масс пятиосных и шестиосных автопоездов.

На рис. 1, в представлен типовой шестиосный прицепной автопоезд и приведены допустимые массы его звеньев. В действующем в странах СНГ «Соглашении о массах и габаритах АТС, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам стран-участников СНГ» (г. Минск, 04.06.99 г.) максимально допустимая масса для данного автопоезда составляет 44 т, что представляется заниженным. Даже в США, Канаде, где действуют самые жесткие в мире нормы в отношении осевых нагрузок и масс автопоездов (в США установлены на одиночную ось с 4 колесами тах нагрузка 9,07 т, в Канаде 9,1 т, на

сдвоенную ось соответственно 15,42 и 17,0 т при расстоянии между осями от 1,2 до 1,85 м) допустимая предельная масса такого же шестиосного прицепного автопоезда составляет около 48 т. Такое же положение с шестиосным седельным автопоездом (рис. 3, д), где предельная масса для стран СНГ, кроме РУз установлена в 38 т, в Узбекистане – 40 т. В ЕС допустимая полная масса составляет 44 т (Директива 96/53 ЕС), а в Канаде – 44,5 т, при тех же межосевых расстояниях на трехосной тележке полуприцепа [1 - 4].

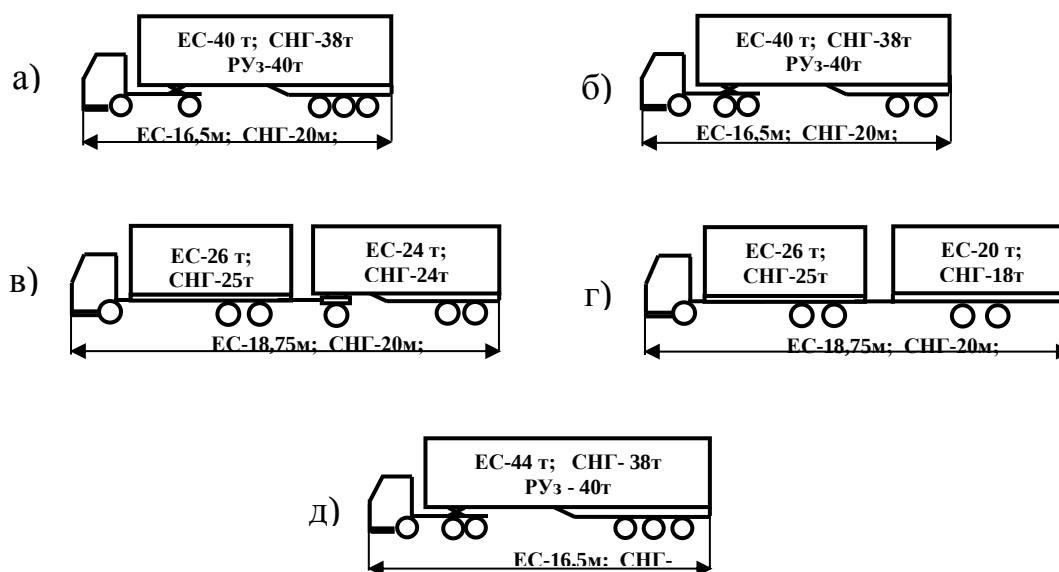


Рис. 1. Существующий типовый ряд автопоездов для перевозок в странах ЕС, ЦА и СНГ

Перегруз АТС запрещен законодательными и нормативно-правовыми актами любой страны. Основными причинами запрета перегруза являются: интенсивное разрушение автодорог; резкое снижение надежности АТС; снижение безопасности перегруженного АТС в критических ситуациях движения (резкое торможение, прохождение крутых поворотов и т.п.).

Разрушение дорог и повышенный износ АТС ведут к расходам государственного бюджета и перевозчика. В то же время нельзя допускать и снижения предельно допустимых норм по массам автопоездов. Низкие значения предельно допустимых масс АТС приводят к существенному возрастанию эксплуатационных затрат перевозчика, повышению транспортной составляющей стоимости товаров, а значит, и общей стоимости товаров, и, вследствие этого, к снижению конкурентоспособности казахстанских перевозчиков. Существенное повышение предельно допустимых значений масс автопоездов приведет к необходимости повышения нормативов расчетных осевых нагрузок при строительстве и реконструкции дорог страны. При изменении предельных величин допустимых масс АТС необходимо найти оптимальный баланс

между изменением затрат на дорожное строительство и изменением эксплуатационных расходов на перевозку.

В связи с вышеупомянутым странам СНГ необходимо пересмотреть «Соглашение о массах и габаритах АТС, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам стран-участников СНГ» (г. Минск, 04.06.99 г.) и разработать научно обоснованный развернутый соответствующий нормативный документ с учетом всех возможных комбинаций используемых в АТС осевых тележек и расстояний между ними. Учитывая, что в Евроазиатском пространстве геометрические и весовые параметры АТС, совершающих международные перевозки, должны быть гармонизированы, рекомендуется за основу нормирования в ЦА и СНГ взять требования, установленные в Директиве 96/53 ЕС. Эксперты ЕЭК ООН, ЕС, АБР, ЭСКАТО предупреждают, что к 2020 г. грузопотоки на автомобильных магистралях по маршрутам Европа-Азия удвоятся, следовательно, необходимо будет повышать грузоподъемность АТС за счет увеличения длины, строительства новых автомагистралей с увеличением допустимой осевой нагрузки до 11,5 т и выше.

В Казахстане в 2006 году введен новый СНиП по автомобильным дорогам, где установлена максимальная нагрузка на одиночную ось 130 кН для автомагистралей международного значения. В Узбекистане также идет пересмотр аналогичных СНиП, где допустимая нагрузка на одиночную ось будет не менее 11,5 т. Китай практически все свои нормативы по предельным осевым нагрузкам и полной массе автопоездов гармонизировал с упомянутой Директивой 96/53 ЕС (нормативный документ GB 1589-2004). В Канаде увеличение полной массы автопоездов происходит за счет увеличения допустимой их длины. Например, для седельного и одноприцепного автопоездов допускается длина до 23 м. Кардинально повысить эффективность перевозок на маршрутах Европа – Азия, где расстояния достигают 5-8 тыс. км, в настоящее время могут только модульные длинномерные большегрузные автопоезда (МДБАП).

С 1998 года скандинавские страны Швеция и Финляндия изменили требования к длине и полной массе автопоездов до 25,25 м и 60 т, сохранив при этом требования Директивы ЕС №96/53 к осевым нагрузкам. Разрешена эксплуатация 2 компоновок автопоездов. Первый автопоезд сформирован из трехосного тягача и пятиосного прицепа, выполненного на базе серийного 3-осного полуприцепа с двухосной подкатной тележкой. Второй седельно-прицепной автопоезд (СПА), где к серийному полуприцепу прицепляется 2-осный прицеп, обычно с центральной осью (рис. 2). В ЕС допустимая длина седельного поезда 16,5 м, прицепного – 18,75 м.

Уже пятый год по специальным разрешениям такие автопоезда совершают международные перевозки из Швеции и Финляндии в Россию

до г. Санкт-Петербурга и до Москвы – практически проходят опытные испытания. Появление автопоездов на международных перевозках ожидалось, но дорожное и транспортное законодательства к этому до сих пор не готовы ни в ЕС, кроме Швеции и Финляндии, ни в странах СНГ. Эти автопоезда имеют полезный объем до 160 м³.



Рис. 2. Седельно-прицепной автопоезд длиной 25,25 м

Идея повышения грузоподъемности автопоездов за счет использования дополнительных прицепов ранее применялась автомобилистами СССР, которые в 1960–1980 гг. весьма активно внедряли в эксплуатации самые различные типы большегрузных многозвенных автопоездов общей длиной до 24 м, которая тогда была установлена нормативными документами. Такие автопоезда формировались по модульному принципу из серийно выпускаемого подвижного состава – грузовых автомобилей, седельных тягачей, полуприцепов и прицепов. В бывших республиках СССР в 70-80-е годы были сформированы более 30 различных типов бортовых и самосвальных седельно-прицепных и 2-прицепных автопоездов, которые использовались на дальних перевозках, в строительстве и сельском хозяйстве [5]. По прогнозам специалистов, через 10 лет только на немецких дорогах доля грузового транспорта возрастет на 70%, а уже к 2015 году объем внутренних перевозок возрастет на 25%, а международных – на 40%. Чтобы разгрузить дороги от транспорта, Европа будет вынуждена переходить на перевозки длинномерными автопоездами до 25,25 м (по примеру скандинавских стран), полной массой до 60 т (рис. 3, а,б). Использование автопоездов позволяет повысить эффективность автоперевозок, сократить расход топлива до 20% и токсичность выхлопных газов на единицу перевозимого груза до 30%.

В 1990-е годы в Европе была разработана концепция модульных систем (EMS), которая позволяет применять на маршрутах большой протяженности два типа большегрузных длинномерных автопоездов, сформированных из типового подвижного состава АТС, вместо трех стандартных, при перевозке одинакового количества груза. Это 60-тонные большегрузные модульные автопоезда, которые стали, по общему мнению автоперевозчиков, весьма удачным решением проблемы наращивания грузопотоков. Отрицательным примером повышения грузоподъемности АТС являются перевозки, которые осуществляют китайские перевозчики в Киргизию, используя трехосные грузовики массой до 60 т или четырехосные – до 80 т. Китайские производители усиливают лонжероны

рамы грузовика или изготавливают их двойными. Они умудряются проезжать и по туннелю в районе перевала Тёо–Ашуу (на высоте 3568 м). Это не разовые поездки, а регулярные.

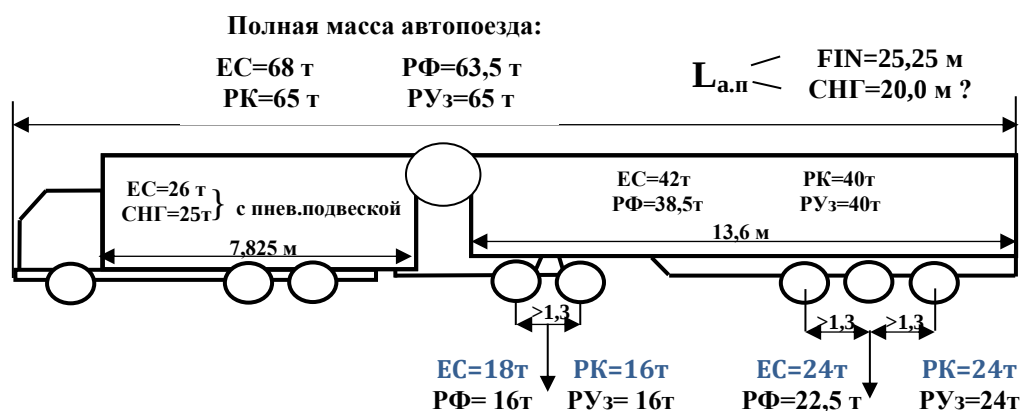


Рис. 3, а. Прицепной МДБАП (первый вариант)

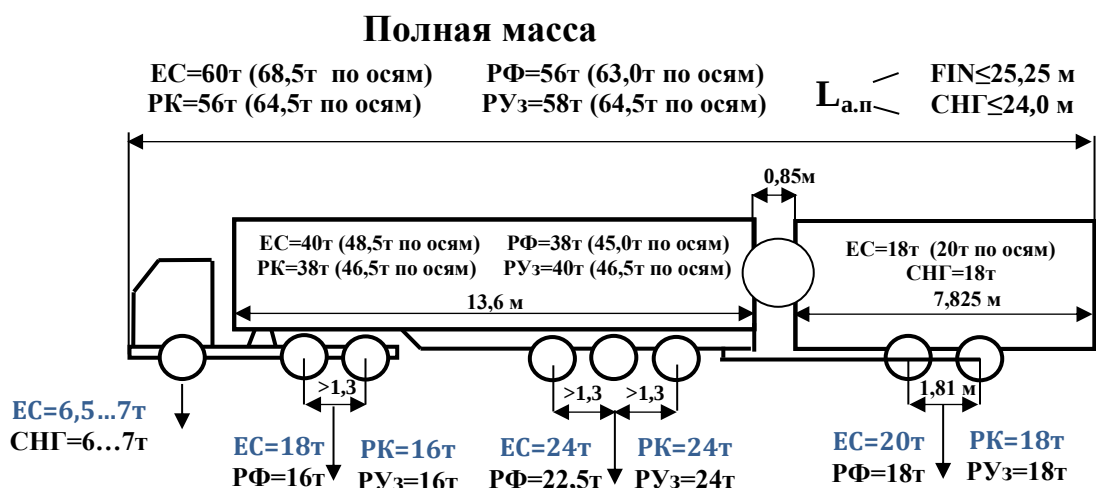


Рис. 3, б. Седельно-прицепной МДБАП (сочлененно-прицепной вариант)

Первыми из тех, кто разрешил использовать на своей территории автопоезда длиной сначала 24, а затем и до 25,25 м, были Финляндия и Швеция. В связи с этим широко известные немецкие фирмы «Кроне», «Шмитц», «Кёгель», «Флиегль» уже давно активно занимаются исследованием и конструированием именно такой прицепной техники, а первые две из названных – небольшими сериями уже выпускают длиннобазные прицепы (рис. 3,а), сконструированные на базе серийного полуприцепа длиной 13,6 м и предназначенные для большегрузного прицепного автопоезда, а также для седельно-прицепного автопоезда

(рис. 3,б), на котором обычно применяется двухосный прицеп с центральной осью, с разрешенной полной массой до 20 т в ЕС и 18 т в СНГ.

В новом автопоезде зачастую используется седельный тягач с низкой установкой седельного устройства (950 мм вместо 1150–1200 мм от уровня земли), что позволяет увеличить объем кузовов полуприцепа и прицепа до 150–160 м³. Рассмотренные большегрузные модульные автопоезда – дело вполне реальное. У всех известных европейских производителей седельных тягачей и грузовых автомобилей в арсенале имеется целый типоряд дизелей мощностью от 420 до 500 кВт (от 570 до 680 л.с.), что обеспечивает удельную мощность АТС от 6,6 до 8 кВт/т, или от 9 до 11 л.с./т. Такие мощности двигателей позволяют оснащенным ими большегрузным автопоездам поддерживать высокую скорость движения, беспрепятственно вливаться в транспортные потоки на автомагистралях, свободно вписываться в стандартный разворотный круг радиусом не более 15 м, предусмотренный для автопоездов в СНиП «Автомобильные дороги» стран СНГ.

Массовое внедрение в странах ЕС, ЦА и СНГ длинномерных автопоездов связано с ограничениями [5]: ограничение по геометрическим и весовым параметрам АТС. В странах ЦА и СНГ еще до сих пор нет нового стандарта, устанавливающего нормативы на весовые параметры и габариты автомобилей и автопоездов. Старый аналогичный ГОСТ 9314-59 был отменен еще в СССР, где полная масса 5-осного седельного или одноприцепного автопоезда допускалась до 40 т, а длина – в 20 м, а с двумя прицепами – 24 м. Страны ЕС также ограничивают длину седельного поезда до 16,5 м, прицепного – до 18,75 м (Директива 96/53 ЕС); существуют ограничения, связанные с требованиями безопасности к конструкции рассматриваемых автопоездов; ограничения, связанные с трудностями приема их на существующих терминалах, в логистических центрах.

Выводы. При массовом внедрении большегрузных автопоездов в международных перевозках потребуется расширение или реконструкция терминалов, организация проездных постов для погрузки, разгрузки МДБАП, мест ожидания и т.п., а также расширение на автомагистралях участков (карманов) для отдыха экипажей или осмотра автопоездов.

МДБАП – это автопоезда для дальних перевозок самого ближайшего будущего, особенно для евро-азиатских перевозок по автомагистралям Великого шелкового пути. В основе реализации проектов по использованию большегрузных длинномерных поездов лежит обеспечение безопасности движения. В эксплуатации они должны формироваться только из подвижного состава (тягачи, прицепы и полуприцепы), имеющего соответствующий сертификат – «одобрение типа АТС», с учетом возможности работы в составе большегрузных автопоездов.

Массовую эксплуатацию представляется целесообразным разрешать только на автомагистралях, имеющих как минимум четыре полосы движения. Обгон длинномерных автопоездов на двухполосной дороге обычного типа другими АТС с выездом на полосу встречного движения очень опасен, а при плотных транспортных потоках – просто невозможен.

Список литературы

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд (Взамен ВСН 46-83) / Гос. служба дор. хоз. Министерства транспорта РФ. – М.: Транспорт, 2001. – 145 с.
2. Бекмагамбетов М.М. Автомобильный транспорт Казахстана. Этапы становления и развития / М.М. Бекмагамбетов. НИИТК. - Алматы: ТОО «Print-S». 2003.- 456 с.
3. Столяров В. В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: в 2 ч. / В. В. Столяров. – Саратов: СГТУ, 1994. – Ч. 1 – 184 с.; Ч. 2 – 232 с.
4. Директива Совета Европейского союза 96/53/ЕС от 25 июля 1996 г., устанавливающая для некоторых АТС, перемещающихся по Сообществу, максимально допустимые габариты при национальных и международных перевозках и максимально допустимый вес при международных перевозках.
5. Веб-сайт BNews.kz «www.bnews.kz».

УДК 629.113.004

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЕЙ КАМАЗ С РАЗДЕЛЁННОЙ СИСТЕМОЙ ВПРЫСКА

И.К. Данилов¹, А.В. Марусин¹, А.В. Марусин²

¹СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел: +7 906 300 8020; E-mail: danilov@sstu.ru

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Тел: + 7 931 255 5919; E-mail: 89030222624@mail.ru

Рассматривается конструкция устройства для оценки полезного перемещения иглы распылителя форсунки автомобиля КамАЗ с топливной аппаратурой разделённого типа. Описано применение данного устройства для диагностирования топливной системы автомобиля как на технологической базе предприятия, так и в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: топливная аппаратура, дизель, форсунка КамАЗ, оптическая система, перемещение иглы.

DEVELOPMENT DIAGNOSIS DEVICE WITH DIESEL KAMAZ SEPARATED SYSTEMS INJECTION

I.K. Danilov¹, A.V. Marusin¹, A.V. Marusin²

¹*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

²*St. Petersburg University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)*

Considered device, its design, to assess the efficiency of the injector nozzle needle movement KamAZ with fuel equipment split type. Use of this device for diagnosing the fuel system of a vehicle as a technological basis of the enterprise and in the field.

Keywords: fuel injection equipment, diesel, injector KamAZ, the optical system, the movement of silt.

Автомобильный транспорт занимает огромный сегмент в структуре грузовых и пассажирских перевозок. Автопарки используют различные виды транспортных средств отечественного производства, но основную часть грузовой техники составляют автомобили семейства КамАЗ, а в пассажирских перевозках преобладающая часть автобусов имеет двигатели данного производителя. При этом подавляющее большинство из них имеют двигатели типа КамАЗ-740, с топливной аппаратурой разделённого типа с механическим или электронным управлением [1]. Топливная система дизеля является сложным и высокотехнологичным узлом двигателя, от её состояния в значительной степени зависят экологические и экономические показатели эксплуатации автомобиля в целом. Для поддержания топливной аппаратуры дизеля в рабочем состоянии необходимо своевременно получать информацию о состоянии отдельных её узлов и деталей. Форсунка – один из важнейших элементов в топливной аппаратуре дизеля, от неё зависят такие параметры топливной системы как своевременный впрыск, распыливание и дозация подачи топлива.

Определить её состояние возможно с помощью устройства для оценки реального хода иглы форсунки. В иностранной литературе и базе патентов на изобретения предложены аналоги, но с их помощью невозможно отследить полный ход иглы, а в силу помех они определяют лишь момент начала её подъёма (см. рис. 1)[2].

Использование предлагаемого устройства позволит значительно сократить стоимость и время диагностирования топливной аппаратуры и форсунок автомобиля КамАЗ. С помощью устройства для оценки реального хода иглы можно определять такие неисправности топливной аппаратуры как нарушение угла опережения впрыска топлива, неточность цикловой подачи, ухудшение распыливания топлива, износ плунжерной пары топливного насоса высокого давления и т.д.[3].

Данные о ходе иглы могут указывать на следующие неисправности:



Рис. 1. Реальное перемещение иглы и сигнал встроенного индуктивного датчика перемещения иглы

Увеличение хода иглы указывает на возможность запаздывания посадки иглы, что, в свою очередь, отрицательно влияет на конечную фазу распыливания топлива и на его расход, определяет возможность прорыва газов в распылитель, что приводит к закоксовыванию сопловых отверстий [4].

Ранний и поздний впрыски топлива характерны при возникновении ошибки регуляровщика при настройке топливной аппаратуры дизеля (при выставлении угла опережения впрыска). Такая ошибка может привести к увеличению расхода топлива, потере мощности двигателя и повышению токсичности газов выпускной системы. Поздний впрыск возможен также и при износе плунжерной пары.

Изменение скорости передвижения иглы форсунки может говорить об износе плунжерной пары ТНВД, потере плотности сопряжения между корпусом форсунки и распылителя, увеличении зазора между корпусом распылителя и иглой, а также о деформации корпуса распылителя при снижении и увеличении цикловой подачи, закоксовывании распылителя форсунки.

Дополнительный впрыск топлива приводит к дымности выпускных газов, закоксовыванию распылителя и увеличению расхода топлива. Причины появления подвпрыскиваний топлива характерны для зависания нагнетательного клапана ТНВД и сужения проходных отверстий распылителя.

Зависание иглы форсунки способствует увеличению угла опережения впрыска топлива, увеличению расхода топлива, дымности выхлопных газов. В этом случае игла теряет подвижность, форсунка работает как открытая, что позволяет цилиндрическим газам проникать в полость распылителя, образуя кокс в его сопловых отверстиях. Зависание иглы может произойти на любых участках её посадки. Это возможно при малой величине диаметрального зазора между распылителем и направляющей, а также при попадании в данное сопряжение твёрдых загрязнителей.

Устройство устанавливается непосредственно в корпус форсунки КамАЗ-740 в верхней части, сохраняя герметичность, как представлено на рис. 2.

Устройство представляет собой систему из оптической пары, конструктивно состоящей из двух функциональных узлов, приёмника и излучателя, и видоизменённой штанги форсунки. В оптической паре бесконтактной системы определения положения иглы форсунки использованы инфракрасный светодиод BIR-BM1331 и фотодиод BPW41N

в качестве излучателя и приёмника соответственно. В систему также включены резисторы R1 для ограничения максимального тока светодиода и R2 для прочтения сигнала на осциллографе. Электрическая схема подключения представлена на рис. 3.

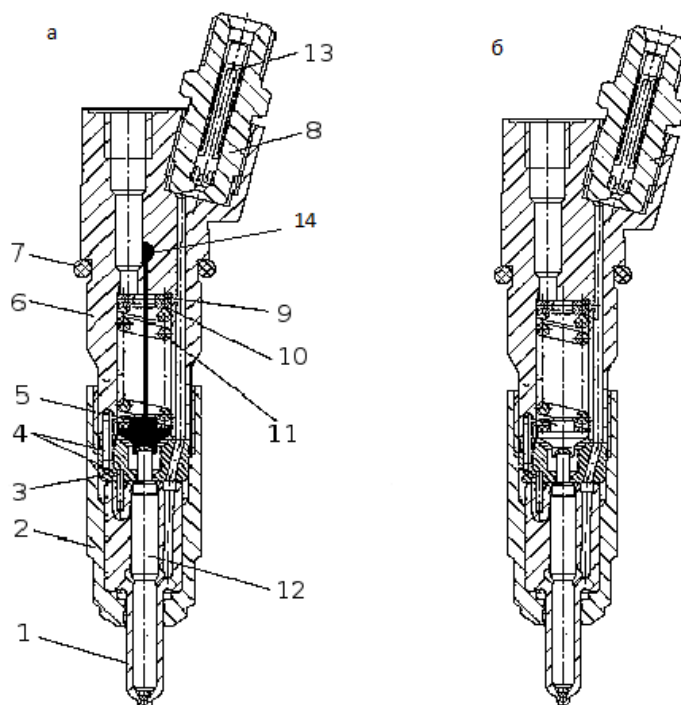


Рис. 2. Форсунка ДВС КамАЗ-740:

а – форсунка с оптической парой и изменённой штангой (затушёвано); б – стандартная:
 1 – корпус распылителя; 2 – гайка распылителя; 3 – проставка; 4 – штифты; 5 – штанга форсунки; 6 – корпус форсунки; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – штуцер форсунки;
 9, 10 – регулировочные шайбы; 11 – пружина форсунки; 12 – игла распылителя;
 13 – щелевой фильтр; 14 – оптическая пара

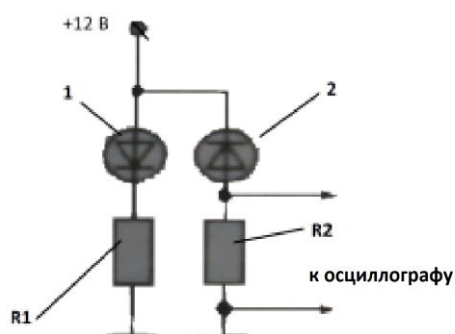


Рис. 3. Электрическая схема устройства оценки полезного перемещения иглы форсунки: 1- излучатель; 2- приёмник

Перемещение иглы форсунки прерывает прямой световой луч, проходящий от излучателя к приёмнику, вызывает изменение тока

фотодиода и, как следствие, уровень падения напряжения на резисторе R2, значения которого фиксируются осциллографом. Установка излучателя и приёмника в корпусе форсунки требует определённой точности, так как необходимо соблюдать их соосность и перпендикулярность к оси движения штанги форсунки. Оптическая пара предназначена для работы в диапазоне частот от 1 до 50 Гц, что соответствует изменению частоты вращения коленчатого вала дизеля и позволяет варьировать длительность управляющего импульса. Питанием может служить любой источник с напряжением от 10 до 60 В, что способствует его подключению к электросистеме автомобиля без дополнительного блока. Изменения штанги форсунки заключаются в технологической припайке к ней штока, который будет перекрывать световой луч светодиода, расположенного в корпусе форсунки (рис. 2). Для того чтобы не менять веса движущихся частей форсунки, возможно изготовление штанги совместно со штоком из высокопрочных композитных сталей. Из вышесказанного следует, что данное устройство может работать от электрической системы автомобилей КамАЗ.

Установка в корпус форсунки оптической пары и замена штанги форсунки не требует дорогостоящих операций. В условиях массового производства применение данного устройства достаточно дёшево и просто в обслуживании. Отказ оптической пары не отразится на работе форсунки, что обеспечивает её работу в штатном режиме.

Таким образом, применение предлагаемого устройства существенно снижает трудоёмкость и стоимость определения отказов и неисправностей топливной аппаратуры дизеля.

Список литературы

1. Данилов Ю.И. Совершенствование планирования эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания / Ю.И. Данилов, А.С. Денисов, И.К. Данилов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – №1 (69). – С. 229-232.

2. Системы управления дизельными двигателями: пер. с нем. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем» 2004. – 480 с.

3. Михайлова Л.Ю. Датчик давления для осциллографирования хода иглы распылителя форсунки / Л.Ю. Михайлова // Ориентированные фундаментальные прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы Всерос. 65-й науч.-техн. конф.: в 2 кн. – Омск: СибАДИ, 2011. – Кн. 2. – С. 397 – 402.

4. Трусов В.И. Форсунки автотракторных дизелей / В.И. Трусов, В.П. Дмитриенко, Г.Д. Масляный. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.

ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ВИНТОВОЙ ПРУЖИНОЙ

Е.Д. Линьков, А.Н. Виноградов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. 89372602349; E-mail. linkoved@yandex.ru

Статья посвящена проблеме обеспечения надежности элементов трансмиссии и подвески автомобилей. Представлены результаты расчета, позволяющие оценить работоспособность подшипника для возвратно-вращательного движения при рассматриваемой совокупности эксплуатационных условий. По результатам испытаний сделаны выводы об эффективности предложенного устройства.

Ключевые слова: подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения, ресурс сопряжения, испытания, эффективность.

BEARING SLIDES FOR SWINGING MOVEMENT WITH COIL SPRINGS

E.D. Linkov, A.N. Vinogradov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The article is devoted to the problem of ensuring the reliability of the driveline and suspension of cars. The results of calculation, allowing to evaluate the performance of the bearing for relapsing-rotating movement in the aggregate operating conditions. According to test results, the conclusions were made about the effectiveness of the proposed device.

Keywords: Sleeve bearing for the back-rotational motion, the resource interface, and test the effectiveness of.

Опорам скольжения, содержащим неподвижные промежуточные элементы (вкладыши) в виде цилиндрических спиральных пружин с жестко закрепленными витками, присущи ряд существенных недостатков: они плохо работают в возвратно-вращательном режиме, и при значительной нагрузке у них возникает явление «ложного бринеллирования».

Наиболее близким техническим решением является подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения, содержащий спиральный вкладыш в виде винтовой пружины, размещенный между валом и наружным кольцом, выполненный подвижным с возможным поворотом в одном направлении и с возможностью регулирования сжатия его через торцевые опорные элементы, из которых один неподвижный, а

другой – подвижный. Недостатками такого подшипника являются сложность его изготовления и недостаточная работоспособность.

Задачей настоящего изобретения является разработка такой конструкции, которая позволила бы автоматически получать требуемые сопряжения, что в свою очередь облегчает сборку изделия и повышает его работоспособность.

Научная новизна работы заключается в том, что подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения содержит размещенный между валом и наружным кольцом спиральный вкладыш в виде винтовой пружины конической формы, выполненный подвижным с возможным поворотом в одном направлении и с возможностью регулирования сжатия его через торцевые опорные элементы, из которых один неподвижный, а другой – подвижный. Новым является то, что винтовая пружина спирального вкладыша выполнена в виде конуса с углом наклона от 1 до 5°, при этом диаметр проволоки винтовой пружины $d_{пр}$ равен разности диаметров отверстия наружного кольца D и вала d . Кроме этого, спиральный вкладыш установлен с минимальным натягом по внутренней и наружной поверхностям.

Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения состоит из (рис.1) вала 1, наружного кольца 2 и размещенного между ними спирального вкладыша 3 в виде винтовой пружины (рис. 2), торцевых крышек 4 и регулировочной шайбы 5. Спиральный вкладыш выполнен подвижным, коническим с углом конуса от 1 до 5°, при этом диаметр проволоки пружины $d_{пр}$ равен половине значения разности диаметров отверстия наружного кольца D и вала d , т.е.

$$d_{пр} = (D - d)/2,$$

где D – диаметр отверстия наружного кольца; d – диаметр вала.

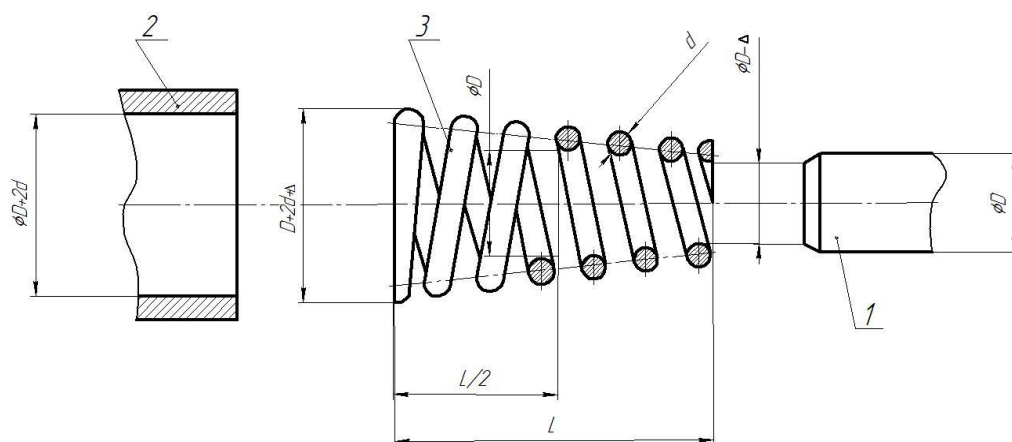


Рис. 1

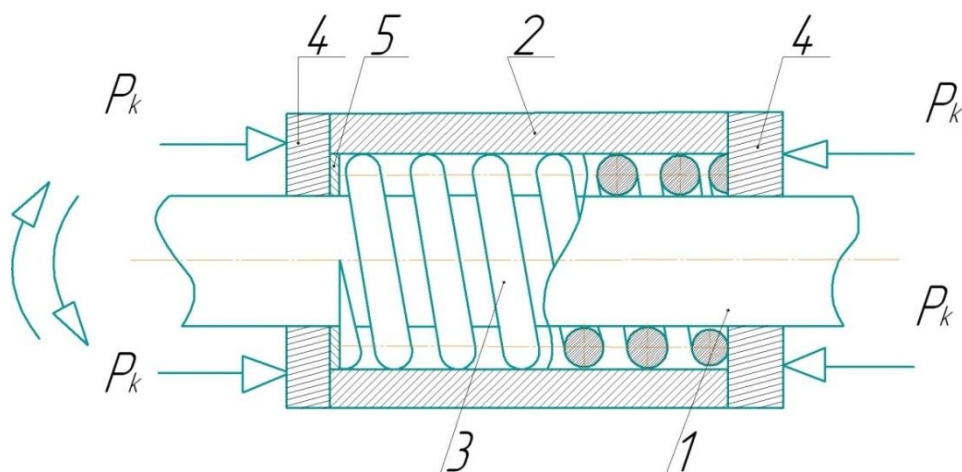


Рис. 2

Спиральный вкладыш установлен с минимальным натягом по торцам, а также с натягом по внутренней и наружной поверхностям для обеспечения постоянства «эффекта храповика». Выполнение пружинного вкладыша конической формы более технологично, чем выполнение конических поверхностей у вала 1 и наружного кольца 2. Угол конуса от 1° до 5° необходим для создания предварительного натяга на половинах поверхностей вала 1 и наружного кольца 2, так как узкая часть конического вкладыша 3 обхватывает с натягом вал 1, а широкая часть обеспечивает натяг по внутренней поверхности наружного кольца 2. Причем, чем больше угол, тем больше натяг. Делать угол пружины более 5° нецелесообразно, т.к. такой угол является слишком большим, что негативно повлияет на собираемость подшипника, а делать угол менее 1° также нецелесообразно, поскольку натяг будет недостаточным для нормальной работы подшипника.

Устройство работает следующим образом. В неподвижном состоянии спиральный вкладыш 3 за счет конической формы будет иметь на половине своей наружной поверхности $L/2$ натяг Δ относительно обоймы и на другой половине внутренней поверхности так же будет натяг Δ относительно вала. При вращении подшипника и закручивании спирального вкладыша натяг на половине внешней поверхности исчезнет, а на внутренней поверхности возникнет по всей ее длине, причем величина натяга будет неравномерной по длине поверхности. В режиме возвратно-вращательного (колебательного) движения упругий спиральный вкладыш 3 будет при этом принудительно поворачиваться в одном направлении (эффект храповика), зависящем от направления навивки пружины, и, таким образом, будут достигнуты стабилизация режима и равномерность износа. Дополнительный эффект достигается за счет возникающего при одностороннем вращении вкладыша эффекта «маслосгонной резьбы».

Стабилизация режима и равномерность износа достигаются тем, что при возвратно-вращательном движении вала 1 или наружного кольца 2 за счет закручивания или раскручивания при этом спирального вкладыша 3 возникает торможение соответственно на внутренней или наружной его поверхностях, и пружинный вкладыш (благодаря возникающему при этом «эффекту храповика») принудительно поворачивается только в одном направлении, зависящем от направления навивки пружины. Кроме того, постоянно в процессе работы меняется линия контакта на рабочих поверхностях, что также ведет к снижению их износа.



Рис. 3. Крестовины карданного вала

Список литературы

1. Виноградов А.Н. Повышение эксплуатационных характеристик автомобильных подшипников качения / А.Н. Виноградов // Совершенствование технологии и организации обеспечения работоспособности машин с использованием восстановительно-упрочняющих процессов: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: СГТУ, 2003. – С.65-73.

2. Виноградов А.Н. Подшипники скольжения для возвратно-вращательного движения на основе новых трибологических принципов и эффектов / А.Н. Виноградов, В.Г. Куранов // Восстановление и упрочнение деталей машин: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2003. – С.175-182.

3. Гаркунов Д.Н. Самоорганизующиеся процессы при фрикционном взаимодействии в трибологической системе: справочник по триботехнике: в 2 т. / Д.Н. Гаркунов; под ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – Т.1. – 400 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКЕ ЦКС- ТЕХНОЛОГИИ С ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

И.А. Ростунцова, Э.С. Мажитов

СГТУ имени Гагарина Ю. А., г. Саратов, Россия

Тел.89271341008; E-mail Rostunzeva@mail.ru

Определена возможность перевода пылеугольной энергоустановки на схему ПГУ КЭС с применением ЦКС- технологии и с газификацией угля в кипящем слое под давлением. Разработаны конструкции основных элементов схемы с ЦКС-технологией и с газификацией угля в кипящем слое под давлением. Рассчитаны технико-экономические показатели пылеугольной установки на базе ПГУ-540. Проведен расчет целесообразности совместного сжигания угля и горючих вторичных энергоресурсов.

Ключевые слова: пылеугольная энергоустановка, циркулирующий кипящий слой, газификация угля, горючие вторичные энергоресурсы.

EVALUATE THE EFFICIENCY OF COAL-FIRED ENNERGOUSTANOVKOJ CFB TECHNOLOGY WITH COAL GASIFICATION IN PRESSURIZED FLUIDIZED BED

I.A. Rostuntsova, E.S. Mazhitov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The possibility of pulverized coal power plants transfer circuit PSU IES using CFB technology and coal gasification in a pressurized fluidized bed. Designs of the main elements of the scheme c CFB technology and coal gasification in a fluidized bed under pressure. Calculated technical and economic indicators pulverized coal plant based on PGU-540. The calculation feasibility of co-firing of coal and combustibile waste energy .

Keywords: pulverized coal power plant circulating fluidized bed; coal gasification; combustibile waste energy.

Использование низкосортного топлива с повышенной зольностью, с высоким содержанием серы и влажностью более 40 % предъявляет повышенные требования к надежности работы котельных установок ТЭС, а также к обеспечению жестких экологических требований по выбросам в атмосферу оксидов серы и азота. С этой целью являются актуальными разработка и внедрение экологически чистых технологий сжигания твердого топлива в топках котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) [1]. С другой стороны, в последнее время возрос объем

исследований [2-5], относящихся к топкам с кипящим слоем под давлением (КСД). Основное достоинство таких топок состоит в возможности осуществления комбинированного цикла, когда генерируемый в котле пар используется в паровой турбине, а продукты сгорания, имеющие повышенное давление, используются в газовой турбине. Такая схема повышает термодинамический КПД цикла, позволяет снижать габаритные размеры топочных устройств и уменьшать вредные выбросы в атмосферу. Изготовление котлов с КСД позволит почти на 60 % сократить их габаритные размеры по сравнению с котлами обычного типа. В результате экономия на капитальных затратах составит 10 %, а время, необходимое для строительства электростанций, сократится на 25 %.

Для пылеугольного блока мощностью 450 МВт с турбинами К-225-12,8 рассмотрена технико-экономическая целесообразность перехода на схему ПГУ КЭС с внедрением ЦКС- технологии и с газификацией угля в кипящем слое под давлением (по данным [2]). Конструкции основных элементов схемы представлены на рис. 1.

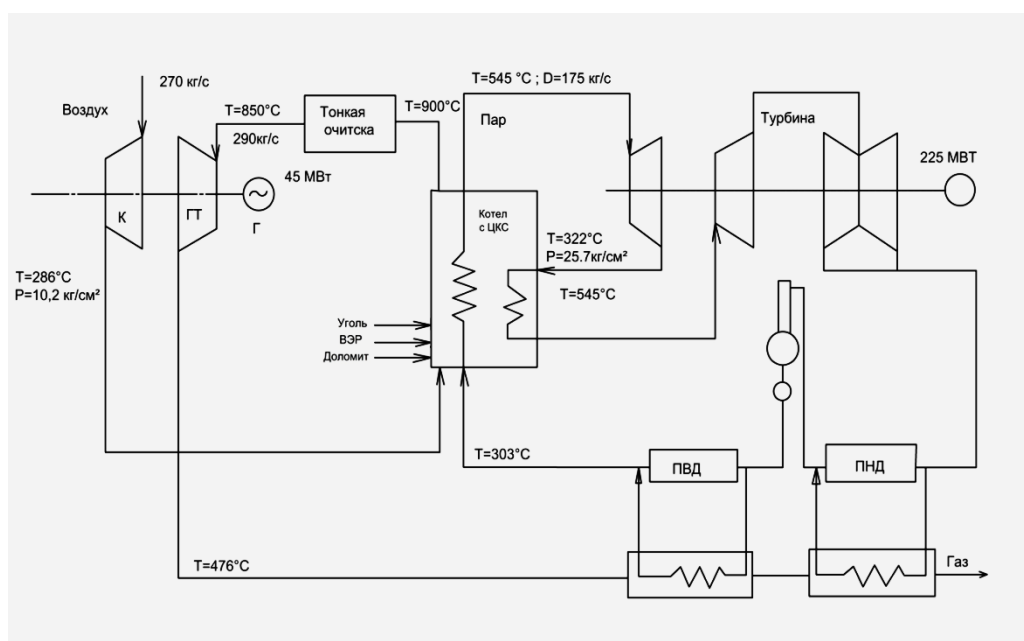


Рис.1. Принципиальная тепловая схема ПГУ-540 МВт с ЦКС- технологией и с газификацией угля в кипящем слое под давлением

В состав оборудования входят газовая турбина ГТЭ-45-2 ПО АТ ХТЗ и паровая турбина К-225-12,8 ПОТ ЛМЗ. Топливо - антрацит с зольностью 36 % и теплотой сгорания 17 МДж/кг. Уголь с фракционным составом от 0 до 4 мм подается из системы подготовки топлива в систему подачи топлива в котел, состоящую из бункера, шнеков, циклона и шлюзов, и оттуда поступает в котел с циркулирующим кипящим слоем под давлением 0,8-1,2 МПа, где сжигается при температуре, равной 900 °С. Дробленая и сортированная присадки (доломит или известняк) поступают

в систему подачи, состоящую из бункера, шнекового питателя, инерционного уловителя, вентилятора, циклонов, фильтров и шлюзов, откуда дозированным расходом направляются в котел. Воздух для сжигания угля поступает от компрессора газовой турбины. Продукты сгорания угля после трех ступеней очистки с запыленностью менее 10 мг/м^3 и температурой, равной 850°C , поступают в газовую турбину, после которой с температурой, составляющей $470\text{--}480^\circ\text{C}$, направляются в газодынные теплообменники высокого (ГВПВД) и низкого давления (ГВПНД), где охлаждаются питательной водой до температуры, равной $120\text{--}130^\circ\text{C}$. ГВП низкого давления по питательной воде включены параллельно ПНД, а ГВП высокого давления – параллельно ПВД.

Особенностью системы утилизации тепла газов после газовой турбины является нагрев питательной воды в ГВПВД до температуры, значительно превышающей температуру воды после ПВД, в результате температура питательной воды на входе в котел превышает расчетное значение после ПВД, что приводит к уменьшению расхода топлива. Вытеснением регенерации паровой турбины из-за нагрева питательной воды в ГВПВД и НД увеличивается ее мощность, что приводит также к повышению экономичности ПГУ в целом. Предусматривается возможность совместного сжигания низкосортного топлива и горючих вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Произведен расчет газовой и паровой частей в схеме ПГУ-КЭС согласно методике, изложенной в [6]. Рассчитаны технико-экономические показатели энергоустановки на базе ПГУ-540. Основные показатели ПГУ КЭС мощностью 540 МВт представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели эффективности внедрения проекта ПГУ КЭС

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
Установленная электрическая мощность	МВт	540
Число часов использования установленной электрической мощности	ч/год	7520
Выработка электроэнергии	ГВт·ч	4060,8
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	4,29
Отпуск электроэнергии	ГВт·ч	3886,5
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии	г у.т./кВт·ч	277,9
КПД по отпуску электроэнергии	%	42,2
Капиталовложения	млн. руб.	27000
Смета затрат на производство	млн. руб.	2402,7
Себестоимость отпускаемой электроэнергии	коп/кВт·ч	91,9
Чистый дисконтированный доход	млн. руб.	19573,27
Внутренняя норма доходности	%	21,65
Индекс доходности	руб./руб.	1,5
Дисконтированный срок окупаемости	лет	12,2

Из полученных результатов следует, что внедрение описанной ПГУ-540 позволит сэкономить не менее 70 г у.т./(кВт·ч), что составляет снижение на 20% расхода топлива при производстве электроэнергии по сравнению с паротурбинным блоком аналогичной мощности с пылеугольным котлом и системами серо- и азотоочистки. Экологические показатели такого энергоблока отвечают самым жестким требованиям.

Проведена оценка эффективности использования в предложенной схеме совместного сжигания угля и горючих вторичных энергоресурсов (ВЭР). Технология совместного сжигания угля и горючих ВЭР в энергетических котлах является перспективной, поскольку позволяет снизить выбросы оксидов серы, азота, золы и шлака в окружающую среду [7]. С другой стороны, ввод горючих ВЭР приводит к снижению КПД котла за счет увеличения потерь с уходящими газами и механическими потерями. На рис. 2 представлены результаты расчета изменения КПД котла от доли вводимых горючих ВЭР.

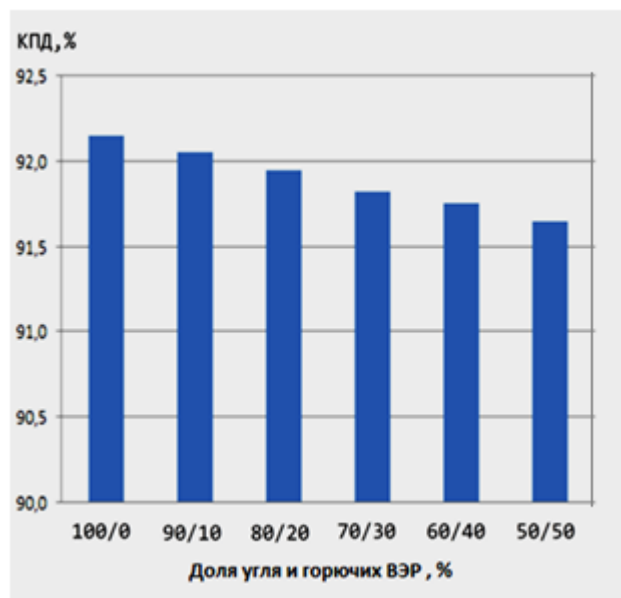


Рис. 2. Изменение КПД котла при совместном сжигании топлива и горючих ВЭР

Годовой эффект от внедрения проекта совместного сжигания угля и горючих ВЭР определяется:

$$\mathcal{E}_t = P_t - Z_t \quad \text{млн. руб.}, \quad (1)$$

где P_t – результаты проекта; Z_t – затраты проекта;

$$P_t = \Delta\Pi_{\text{атм}} + \Delta\Pi_{\text{отх}} \quad \text{млн.руб.}, \quad (2)$$

где $\Delta\Pi_{\text{атм}}$; $\Delta\Pi_{\text{отх}}$ – снижение платы соответственно за загрязнение атмосферы и литосферы (утилизация отходов);

$$Z_t = \Delta K_t + \Delta I_t + \Delta I_{\text{ам}} \quad \text{млн.руб.}, \quad (3)$$

где ΔK_t - дополнительные капитальные вложения в систему совместного сжигания; $\Delta И_t$; $\Delta И_{ам}$ - дополнительные производственные издержки.

Результаты расчета экономического эффекта представлены на рис. 3.

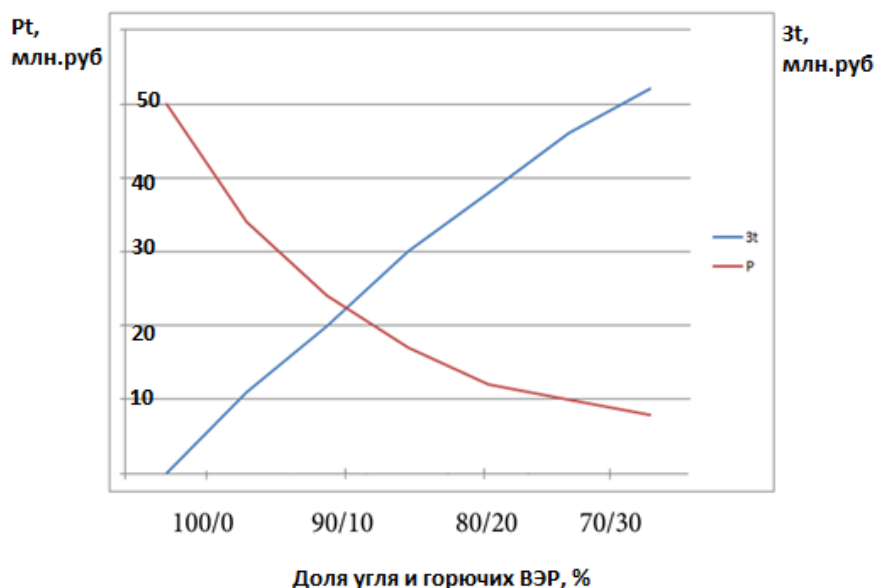


Рис. 3. Определение эффективности совместного сжигания угля и горючих вторичных энергоресурсов

Как видно из рис. 3, эффект от внедрения проекта составляет 22 млн. руб., при этом оптимальное процентное соотношение угля и горючих ВЭР при совместном сжигании составляет 90/10 %.

Выводы

1. Определена эффективность перевода пылеугольной энергетической установки на схему ПГУ КЭС с внедрением ЦКС-технологии и с газификацией угля в кипящем слое под давлением.
2. Проведен расчет целесообразности совместного сжигания угля и горючих вторичных энергоресурсов.
3. Разработанные методические положения дают возможность использования предлагаемых решений при проектировании энергоустановок ТЭС в Российской Федерации, а также использования полученных результатов в учебных целях при подготовке специалистов и бакалавров в области энергетики.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года N 1715-Р.

2. Корчевой Ю.П. Экологически чистые угольные технологии / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, А.И. Топал.– Киев: Наукова думка, 2004.– 186 с.

3. Парогазовая установка с котлом ЦКС под давлением для сжигания низкосортных углей / Р.Ю. Шакарян, П.А. Березинец, Р.А. Петросян и др. // Теплоэнергетика.- 1991.- №6.– С. 24-29.

4. Ольховский Г.Г. Парогазовые установки на угле. Опыт разработки и применения, пути использования в России / Г.Г. Ольховский // Аналит. обзор.– М.: ВТИ, 2000. -58 с.

5. Инновационные технологии в энергетике/ под общ. ред. Н. В. Ключковой.- Иваново: Научная мысль, 2011.– 228 с.

6. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 584 с.

7. Котенко А. Использование древесных отходов для выработки тепловой и электрической энергии на примере Австрии/ А. Котенко, И. Фюредер, Э. Видхальм // Энергосбережение. – 2007.– № 3. – С. 28-31.

УДК 539.3

НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПРИ НАЛИЧИИ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ СИЛЫ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ЖЕСТКОСТИ

Н.В. Овчинникова, Ю. В. Чеботаревский

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998635; E-mail tmm@sstu.ru

Рассмотрены нелинейные колебания материальной точки при наличии восстанавливающей силы с переменным коэффициентом жесткости. Найдено аналитическое решение в третьем приближении.

Ключевые слова: нелинейные колебания, устойчивые периодические решения, переменный коэффициент жесткости

NONLINEAR OSCILLATIONS OF A PARTICLE UNDER RESTORING FORCE WITH VARIABLE STIFFNESS

N.V. Ovchinnikova, Yu.V. Chebotarevsky

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Nonlinear oscillations of a particle under restoring force with variable stiffness are investigated in this paper. Analytical solution for third approximation is presented.

Keywords: nonlinear oscillations, stable periodic solutions, variable stiffness

В работах [1-2] предложена упрощенная инженерная расчетная модель для решения контактной задачи «жесткий индентор – деформируемая среда», позволяющая с существенно меньшими вычислительными затратами определять напряженно-деформированное состояние материала среды. Согласно ей при идеально-упругом поведении материала среды задача о движении индентора может рассматриваться независимо от задачи о напряженно-деформированном состоянии среды. И по существу она может быть сведена к решению задачи о движении материальной точки, совпадающей с центром масс индентора, под действием возмущающей, восстанавливающей и диссипативной сил. В работе [3] рассмотрено движение материальной точки в случае, когда приведенный коэффициент жесткости восстанавливающей силы c , описывающей влияние среды на поведение индентора, является постоянным.

В случае физически нелинейно-упругого поведения материала среды при малых её деформациях он может задаваться в виде функции, зависящей от перемещения центра масс индентора [4]. Учитывая это, в данной работе рассмотрим задачу о вынужденных прямолинейных нелинейных колебаниях материальной точки под действием возмущающей силы $F(t)$:

$$F(t) = F_0 + F_v \sin \omega t, \quad (1)$$

и восстанавливающей силы N с коэффициентом жесткости, зависящим от её перемещения:

$$N = c(x) x^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

где

$$c(x) = c_0 (1 - k_m x^m). \quad (3)$$

Здесь c_0 - коэффициент жесткости восстанавливающей силы на линейно-упругом участке диаграммы $N = f(x)$, а значения параметров m и k_m определяются её нелинейностью вне этого участка и пределом пропорциональности соответственно, и находятся экспериментальным путем.

Пусть к материальной точке приложена ещё и отображающая диссипативные свойства среды сила сопротивления:

$$R = b_{np} \dot{x}, \quad (4)$$

где b_{np} – приведенный коэффициент вязкости её материала. Тогда с учетом принятых допущений исследование её движения может быть сведено к решению следующей нелинейной краевой задачи:

$$m\ddot{x} + b_{np}\dot{x} + c_0(1 - kx^2)x^{\frac{3}{2}} = F_0 + F_v \sin \omega t, \quad (5)$$

$$x = 0, \quad \dot{x} = 0 \text{ при } t = 0. \quad (6)$$

Правая часть уравнения движения точки (5) содержит постоянную составляющую F_0 возмущающей силы, обеспечивающую её движение в области положительных значений координаты x .

Поэтому при наличии гармонической составляющей возмущающего воздействия с амплитудой $F_v < F_0$ можно ожидать, что в рассматриваемом случае точка будет совершать колебательное движение относительно некоторого равновесного положения $x = x_0$, соответствующего её статическому смещению из начального положения под действием постоянной составляющей возмущающей силы. Для того чтобы доказать существование устойчивых периодических решений задачи (5) – (6), описывающих такое движение точки, проведем следующие рассуждения.

Разложим функцию $(1 - k_m x^m)x^{\frac{3}{2}}$ в ряд Тейлора в окрестностях равновесного положения $x = x_0$:

$$(1 - k_m x^m)x^{\frac{3}{2}} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\left(\prod_{i=1}^n \left(\frac{5}{2} - i \right) \right) \frac{x_0^{\left(\frac{3}{2} - n \right)}}{n!} - k_m \left(\prod_{i=1}^n \left(\frac{5}{2} + m - i \right) \right) \frac{x_0^{\left(\frac{3}{2} + m - n \right)}}{n!} \right) (x - x_0)^n. \quad (7)$$

Ряд (7) будет сходящимся, если его остаточный член:

$$R_n(x) = \frac{(x - x_0)^{n+1}}{(n+1)!} \left(\left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2} - i \right) \right) (x_0 + \theta(x - x_0))^{\left(\frac{1}{2} - n \right)} - \right. \\ \left. - k_m \left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2} + m - i \right) \right) (x_0 + \theta(x - x_0))^{\left(\frac{1}{2} + m - n \right)} \right) \quad (8)$$

будет стремиться к нулю при $n \rightarrow \infty$ и $0 < \theta < 1$. Легко проверить, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} R_n(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{(x - x_0)^{n+1}}{(n+1)!} \left(\left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2} - i \right) \right) (x_0 + \theta(x - x_0))^{\left(\frac{1}{2} - n \right)} - \right. \right. \\ \left. \left. - k_m \left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2} + m - i \right) \right) (x_0 + \theta(x - x_0))^{\left(\frac{1}{2} + m - n \right)} \right) \right] = \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[(x - x_0)^{\frac{3}{2}} \left(\left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2i} - 1 \right) \right) \left(\frac{x_0}{x - x_0} + \theta \right)^{\left(\frac{1}{2} - n \right)} - \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& -k_m (x - x_0)^m \left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2i} + \frac{m}{i} - 1 \right) \right) \left(\frac{x_0}{x - x_0} + \theta \right)^{\left(\frac{1}{2} + m - n \right)} \Bigg] = \\
& = \lim_{n \rightarrow \infty} (x - x_0)^{\frac{3}{2}} \left[\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2i} - 1 \right) \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{x_0}{x - x_0} + \theta \right)^{\left(\frac{1}{2} - n \right)} - \right. \\
& \left. - \lim_{n \rightarrow \infty} k_m (x - x_0)^m \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\prod_{i=1}^{n+1} \left(\frac{5}{2i} + \frac{m}{i} - 1 \right) \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{x_0}{x - x_0} + \theta \right)^{\left(\frac{1}{2} + m - n \right)} \right] = 0,
\end{aligned}$$

если значения, принимаемые переменной x , удовлетворяют условию $0 \leq x \leq 2x_0$. Данное требование обусловлено тем, что восстанавливающая сила содержит переменную x в дробной степени с четным знаменателем.

Подставляя (7) в уравнение (4) и перейдя к новой переменной $\tilde{x} = x - x_0$, получим следующую краевую задачу:

$$m\ddot{\tilde{x}} + b_{np}\dot{\tilde{x}} + c_0 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\prod_{i=1}^n \left(\frac{5}{2} - i \right) \right) \frac{x_0^{\left(\frac{3}{2} - n \right)}}{n!} - k_m \left(\prod_{i=1}^n \left(\frac{5}{2} + m - i \right) \right) \frac{x_0^{\left(\frac{3}{2} + m - n \right)}}{n!} \right) \tilde{x}^n = F_v \sin \omega t, \quad (9)$$

$$\tilde{x} = -x_0, \quad \dot{\tilde{x}} = 0 \quad \text{при } t = 0, \quad (10)$$

где x_0 определяется из соотношения:

$$c_0 (1 - k_m x_0^m) x_0^{\frac{3}{2}} = F_0. \quad (11)$$

Для доказательства существования устойчивых периодических решений краевой нелинейной задачи (9)-(10) воспользуемся теоремой Ляпунова [5]. С этой целью ограничимся в последнем слагаемом левой части уравнения (9) первым членом ряда, что по существу означает его линеаризацию. Тогда корни соответствующего ему характеристического

уравнения при условии, что $\frac{c_1}{m} \gg \frac{b_{np}^2}{4m^2}$, примут вид:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{b_{np}}{2m} \pm i \sqrt{\frac{c_1}{m} - \frac{b_{np}^2}{4m^2}}, \quad (12)$$

где

$$c_1 = \frac{3}{2} c_0 x_0^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{3}{2} + m \right) c_0 k_m x_0^{\frac{1}{2} + m}.$$

Так как коэффициент b_{np} по физическому смыслу всегда положителен, то действительные части корней $\lambda_{1,2}$ в (12) всегда будут отрицательными. Это в соответствии с теоремой Ляпунова говорит о том, что невозмущенное движение в рассматриваемой нелинейной задаче устойчиво и притом асимптотически, каковыми бы ни были нелинейные члены в исходном уравнении.

В силу непреодолимых математических трудностей получить аналитическое решение задачи (9) – (10) в общем виде без принятия каких – либо упрощающих допущений не представляется возможным. Полагая, что при сформулированных выше условиях имеет место случай медленно изменяющейся огибающей амплитуды колебаний, и ограничиваясь в последнем слагаемом левой части уравнения (9) тремя первыми членами ряда с использованием метода Ван дер Поля [6], аналитическое решение поставленной задачи запишем в виде:

$$\tilde{x}(t) = a(t)\sin(\omega t) + b(t)\cos(\omega t) + Y(t). \quad (13)$$

При этом входящие в решение (12) функции $a(t)$, $b(t)$ и $Y(t)$ должны удовлетворять следующей системе уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{a} &= -\frac{1}{2}Da + \frac{1}{2\eta} \left[(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2)b + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)b - 1 \right], \\ \dot{b} &= -\frac{1}{2}Db - \frac{1}{2\eta} \left[(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2)a + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)a \right], \\ Y + \mu_1 \left[Y^2 + \frac{1}{2}(a^2 + b^2) \right] + \frac{3}{2}\mu_2(a^2 + b^2)Y &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где $D = \frac{b_{np}}{\sqrt{mc_1}}, \quad \eta = \frac{\omega\sqrt{m}}{\sqrt{c_1}}, \quad \mu_1 = \frac{c_2 F_v}{c_1^2}, \quad \mu_2 = \frac{c_3 F_v}{c_1^3},$

$$c_2 = \frac{3}{4}c x_0^{-\frac{1}{2}} - \left(\frac{3}{2} + m \right) \left(\frac{1}{2} + m \right) c_0 k_m x_0^{-\frac{1}{2}+m},$$

$$c_3 = -\frac{3}{8}c x_0^{-\frac{3}{2}} - \left(\frac{3}{2} + m \right) \left(\frac{1}{2} + m \right) \left(-\frac{1}{2} + m \right) c_0 k_m x_0^{-\frac{3}{2}+m}.$$

Очевидно, что при наличии силы сопротивления (4) точка по истечении некоторого промежутка времени будет совершать в окрестностях равновесного положения $x = x_0$ квазиустановившееся колебательное движение, в котором изменениями амплитуды колебаний с течением времени можно пренебречь и приближенно считать $\dot{a}(t) = \dot{b}(t) = 0$. В этом случае система уравнений (14) значительно упрощается и принимает вид:

$$a = -\frac{D\eta}{D^2\eta^2 + \left(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2 + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)\right)^2},$$

$$b = \frac{\left(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2 + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)\right)}{D^2\eta^2 + \left(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2 + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)\right)^2}. \quad (15)$$

$$Y + \mu_1 Y^2 + \frac{1}{2}(\mu_1 + 3\mu_2 Y) \frac{1}{D^2\eta^2 + \left(1 - \eta^2 + 2\mu_1 Y + 3\mu_2 Y^2 + \frac{3}{4}\mu_2(a^2 + b^2)\right)^2} = 0.$$

В заключение заметим, что решение в форме (12), (14) или (15) получено для любых, допустимых с физической точки зрения значений параметров c_0 , m и k_m . При заданных значениях этих параметров оно может быть использовано для определения условий возникновения нелинейных резонансных колебаний точки и их исследования.

Список литературы

1. Овчинникова Н. В. К расчету напряженно-деформированного состояния упругопластического полупространства, контактирующего с абсолютно жестким индентором / Н.В. Овчинникова, Ю. В. Чеботаревский // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – №4(51). – Вып. 3. – С. 10 – 17.
2. Овчинникова Н.В. О движении абсолютно жесткого индентора, взаимодействующего с упругопластической средой / Н. В. Овчинникова, Ю. В. Чеботаревский // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3 (15). – С. 151–164.
3. Овчинникова Н.В. Об одном аналитическом решении задачи о нелинейных колебаниях материальной точки / Н.В. Овчинникова // Инновации и актуальные проблемы техники и технологий: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых: в 2 т. – Саратов: СГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 201-203.
4. Белл Ф. Дж. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел: в 2 ч. Ч. I. Малые деформации / Ф.Дж. Белл. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1984. – 596 с.
5. Красовский А.А. Основы автоматики и технической кибернетики / А.А. Красовский, Г.С. Пospelов. – М. – Л.: Гос. энерг. изд-во, 1962. – 600 с.
6. Тондл А. Нелинейные колебания механических систем / А. Тондл. – М.: Мир, 1973. – 336 с.

Секция 2

Технология машиностроения

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНО-ПЛАНЕТАРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ РАЗМОЛЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.И. Артемов, А.Е. Зверовщиков, А.Н. Коновалова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

E-mail azwer@mail.ru; nastiy246@yandex.ru

Рассмотрена проблематика размола твердосплавных материалов. Предложены технологические решения, обеспечивающие эффективный размол твердосплавных материалов с помощью центробежно-планетарных установок. Проведен опытный размол порошковых материалов фирмы BASF, подтвердивший актуальность технологии.

Ключевые слова: центробежно-планетарная обработка, размол твердосплавных материалов, режимы движения загрузки в камере.

TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF CENTRIFUGAL-PLANETARY OUTFITS WHILE GRINDING HARD-FACE WORK MATERIALS

I.I. Artemov, A.E. Zverovschikov, A.N. Konovalova

Penza State University, Penza, Russia

The problems of grinding hard-face work materials are examined. Technological solutions which provide effective grinding of hard-face work materials with the help of centrifugal-planetary outfits are suggested. Test grinding of powdery materials BASF is conducted so that it confirms applicability of the technology.

Key words: centrifugal-planetary processing, grinding of hard-face work materials, motion modes of feed in compartment.

Размол твердосплавных материалов является процессом, во многом определяющим качество и стойкость инструмента. Известен ряд технологий, реализующих упомянутую задачу.

Поскольку однопереходный размол материалов до дисперсности, требуемой для изготовления инструмента, невозможен, требуется технологическая цепочка из процессов, обладающих наибольшей эффективностью для условий различных стадий измельчения.

Сравнительно крупное измельчение хрупких материалов реализуется щековыми и валковыми дробилками, а тонкое измельчение обеспечивается шаровыми мельницами различного типа, дисковыми истирателями, фрикционными столами и пр. Тонкий окончательный размол производится на струйных, коллоидных и вибрационных мельницах. Вибрационные

установки достаточно распространены и успешно применяются для обработки твердосплавных изделий [1].

Каждый из этих методов помола имеет свои недостатки, например, недостатками щековых дробилок являются быстрая изнашиваемость щек, значительные колебания усилия размола, вызывающие вибрации, необходимость точно дозированной равномерной загрузки. В дисковых истирателях быстро изнашиваются диски. Струйные мельницы энергоемки, требуют дорогостоящей системы оборота и фильтрации инертного газа. Коллоидный размол сопровождается попаданием в микропорошки посторонних веществ и требует последующего их удаления. Шаровые и вибрационные мельницы обладают достаточно низкой производительностью.

В промышленности широко применяются способы объемной обработки деталей с использованием гранулированных рабочих сред, основанные на воздействии гравитационными или инерционными силами на загрузку. Одним из наиболее распространенных видов объемной обработки, применявшихся для размола различных веществ, является центробежно-планетарная обработка (ЦПО), основанная на действии центробежных сил, возникающих при планетарном движении контейнеров [2].

Метод обеспечивает давление среды в 20...25 раз выше, чем при вибрационной обработке, в 60...100 раз производительнее обычных шаровых мельниц. Таким образом, планетарная обработка перспективна для размола твердосплавных материалов.

Современными исследованиями установлено, что движение загрузки в камере может происходить в различных режимах [3], из которых каскадный, с разделением массива на твердотельную зону и скользящий слой, а также водопадный, при котором существует только фаза полета, пригодны для эффективного измельчения материала.

Разработана методика прогнозирования режимов движения загрузки по модифицированному числу Фруда Fr_m :

$$Fr_m = \frac{(\omega_2 + \omega_1)^2 R_2}{\omega_1^2 R_1}, \quad (1)$$

где ω_1 – переносная скорость вращения контейнеров вокруг центральной оси;

ω_2 – скорость вращения контейнера вокруг собственной оси;

R_1 – расстояние от оси водила до оси контейнера;

R_2 – радиус контейнера.

Скорость ω_1 влияет на контактное давление ГРС на обрабатываемые поверхности. Скорость ω_2 определяет скорость перемещения загрузки

внутри контейнера и характер взаимодействия гранул с поверхностями заготовок. Зона I (рис.1) – область существования каскадного режима, зона II ограничивает каскадно-водопадный режим, зона III определяет соотношения ω_1 и ω_3 , при которых существует водопадный режим движения скользящего слоя. С уменьшением сил внутреннего трения в зоне контакта уплотненной загрузки со стенкой контейнера границы зон I, II, III становятся неустойчивыми.

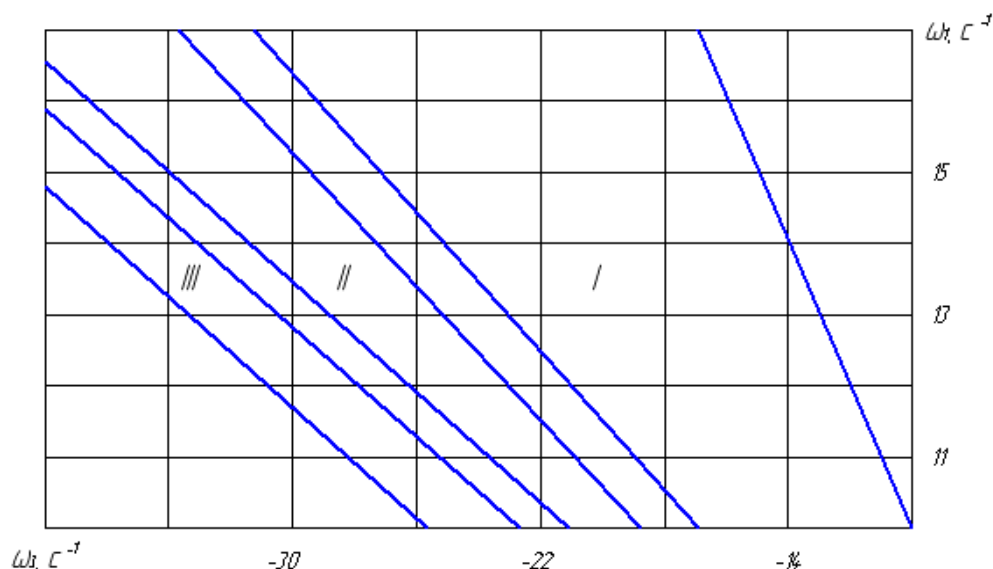


Рис. 1. Характер движения скользящего слоя при варьировании угловыми скоростями контейнеров и водила ($R_1 = 0,15$; $R_3 = 0,065$):

- I – каскадный режим;
- II – каскадно-водопадный режим;
- III – водопадный режим

Ключевым преимуществом центробежно-планетарной обработки является возможность реализации как ударного, так и безударного взаимодействия рабочих тел.

Очевидно, что каскадный режим обеспечивает разрушение по принципу истирания, в то время как водопадный характеризуется интенсивным ударным воздействием частиц. Следовательно, изменяя соотношения угловых скоростей планетарного движения контейнеров, можно переходить от стадии грубого ударного размола к режимам, обеспечивающим тонкое измельчение.

На опытно-промышленной установке, обеспечивающей утяжеление загрузки до $18g$, проведены пробные размолы порошковых материалов фирмы BASF. Емкость рабочих камер контейнеров составляла 6 дм^3 . Заполнение камер проводилось в соответствии с рекомендациями для шаровых галтовочных мельниц и составило 45-55% от объема камеры. В качестве рабочей среды применены агатовые шары диаметром 8 мм.

Проведенный по известной методике [4] анализ влияния технологических и конструктивных факторов на результаты операции позволил модернизировать конструкцию установки и стабилизировать качество обработки.

Первоначальный этап размола проходил на угловых скоростях, обеспечивавших водопадный режим движения загрузки и утяжеление около $12g$, затем производилось изменение скоростей для перехода в каскадный режим. Обработка на заключительной стадии производилась с утяжелением до $16g$.

В результате экспериментов получены мелкодисперсные материалы со средним диаметром частиц $d^{cp} = 0,72$ мкм для химического состава WC. При размоле порошкового материала с химической формулой W_2C , средний диаметр частиц составил $d^{cp} = 0,65$ мкм. Средняя удельная площадь поверхности $S_{уд.}^{cp.} = 5300 \frac{cm^2}{г}$.

Для оценки размеров частиц использовался анализатор дисперсности порошков АДП-1. Определение средней удельной площади поверхности проводилось методом воздухопроницаемости порошков по фильтрации воздуха через пробу в нестационарном режиме при давлении, близком к атмосферному.

Время размола по сумме двух переходов составило 27 мин. Посторонние примеси в порошках практически отсутствовали или находились в пределах, допустимых для инструментальных материалов.

Таким образом, технология центробежно-планетарной обработки может использоваться для размола твердосплавных материалов, используемых при изготовлении режущих пластин инструмента.

Список литературы

1. Финишная обработка сменных многогранных пластин с центральными отверстиями / В.О. Трилисский, Г.С. Большаков, А.В. Липов, Е.Н. Ярмоленко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 131-137.
2. Бушуев Л.П. О движении загрузки в барабанах планетарной центробежной мельницы / Л. П. Бушуев // Известия АН СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1961. – № 1. – С. 167–169.
3. Зверовщиков А.Е. Многофункциональная центробежно-планетарная обработка / А.Е. Зверовщиков. – М.: Инфра-М, 2013. – 176 с.
4. Бржозовский Б.М. Обеспечение технологической надежности при бесцентровой абразивной обработке / Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров. – Саратов: СГТУ, 2010. – 216 с.

УСТАНОВКА ДЛЯ РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЬЦАХ С РЕБОРДАМИ ИЗ ПОЛИАМИДА

В.В. Болкунов , С.В. Слесарев

СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г.Саратов, Россия

Тел. (8452)998629; E-mail tms@sstu.ru

Предлагается решение проблемы уменьшения остаточных напряжений, возникающих в процессе производства колец подшипников с ребордами, изготовленных из полиамида. Показаны структура устройства и способ обработки. Способ осуществляется путем кавитации жидкой среды (на основе водопроводной воды), в которую вводят ультразвуковые колебания.

Ключевые слова: подшипник, остаточные напряжения, кавитация, ультразвук, технология.

REFITTING OPERATION OF THE STRESS RELAXATION RESIDUAL STRESS IN THE METAL RINGS WITH FLANGES MADE OF POLYAMIDE

V.V. Bolkunov, S.V. Slesarev

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The article describes the problem and solutions to reduce the residual stresses arising during the manufacture of bearing rings with weld flanges made of polyamide. Shows the structure of the device and method of processing. The method is performed by cavitation of the liquid medium work pieces (based on tap water) which is introduced into the ultrasonic vibrations.

Keywords: bearing, residual stresses, cavitation, ultrasound technology.

Металлические кольца с наплавленными ребордами из полиамида широко применяются в различных узлах и механизмах машин, в частности, в подшипниковых узлах ременного натяжного устройства (натяжные ролики). К натяжным роликам для механизмов автомобилей, в частности семейства ВАЗ, предъявляют высокие требования по точности формы дорожки качения. Эти требования должны обеспечивать работоспособность в пределах гарантийного срока автомобиля ВАЗ (30000 км или 2 года эксплуатации) и ресурс не менее 120 000 км [1]. Особенностью натяжных роликов является наличие реборды. При отливке реборды на наружном кольце, полностью обработанном, возникают значительные остаточные напряжения, вызывающие деформацию кольца [2]. Эти деформации снижают точность формы

дорожки качения колец. Так как кольца после отливки реборды не проходят механическую обработку, например, суперфиниширование, то точность формы дорожки качения технологически должна быть до отливки реборды выше.

Описанная ниже конструкция установки предназначена для релаксации остаточных напряжений натяжных роликов следующих типов: 2108-1006120-01, 2112-1006120-01, 2112-1006135-01, 2110-1041056-01. Как видно из приведенных в работе [3] данных, после отливки реборды отклонения от круглости дорожек качения колец значительно увеличиваются. На наш взгляд, полученные результаты можно объяснить следующим. При отливке реборды возникают существенные остаточные напряжения, причем напряжения, весьма неравномерно распределенные по объему реборды. Вследствие малой жесткости колец эти напряжения вызывают деформацию, неравномерную по периметру кольца, что и обуславливает увеличение отклонений от круглости дорожек качения.

Обработка колец с ребордой по предложенному способу осуществляется кавитационным воздействием на обрабатываемые детали жидкой среды (на основе водопроводной воды), в которую введены ультразвуковые колебания. Частота и мощность колебаний определяются ультразвуковым генератором и подбираются на стадии согласования генератора ультразвуковых колебаний с ультразвуковым преобразователем, а в дальнейшем поддерживаются автоматически блоком АПЧ генератора. Кинематическая схема автомата приведена на рис.1.

Во время автоматического цикла обрабатываемые кольца скатываются по наклонному подводящему желобу в ванну, при этом каждое кольцо в процессе движения в ванне располагается параллельно излучающей поверхности ультразвукового преобразователя, находясь в зоне облучения не менее 10 минут. После ультразвуковой обработки кольца, продолжая скатываться, попадают в «разгрузочную зону», из которой подъемником автооператора перемещаются вверх и устанавливаются на отводящем желобе автомата. Автооператор работает дискретно, в связи с чем движение колец также имеет дискретный характер. Времена паузы и такта подбираются экспериментально в зависимости от габаритов обрабатываемого кольца.

Конструкция автомата обеспечивает хороший доступ к механике, гидравлике и электрооборудованию. Передний защитный кожух оборудован смотровыми окнами, позволяющими наблюдать за рабочей зоной. Элементы управления на центральном пульте расположены удобно для пользования и производственной эксплуатации. Все электродвигатели защищены от перегрузки и короткого замыкания. Блокировки, которыми оснащен автомат, обеспечивают безопасную работу и сохранность автомата при длительной эксплуатации его в автоматическом режиме.

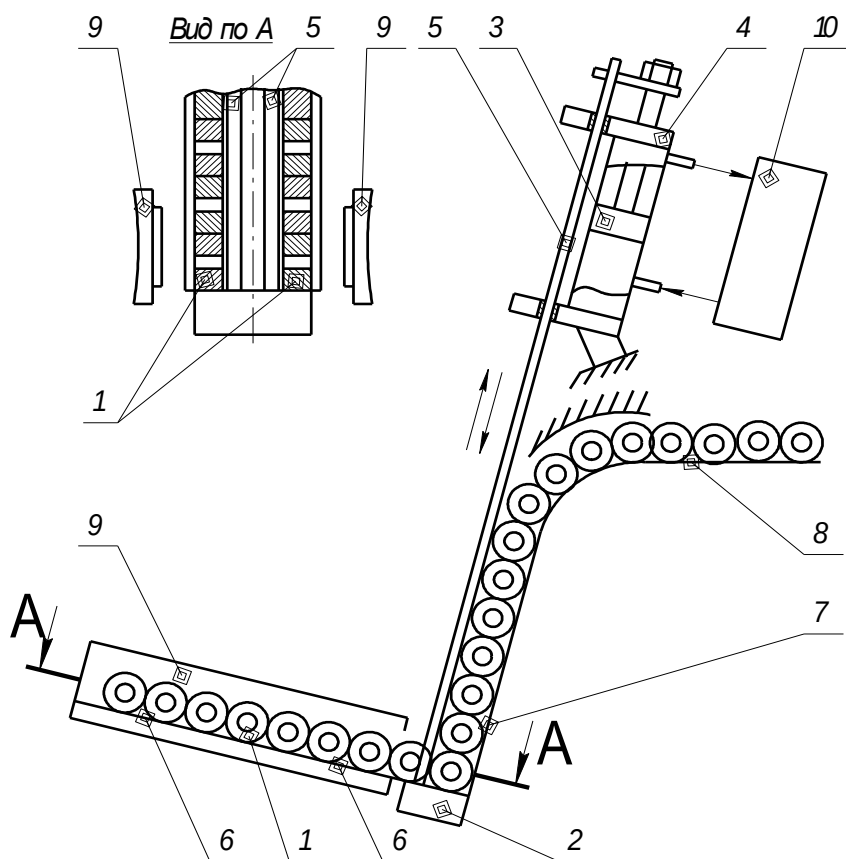


Рис. 1. Кинематическая схема автомата АСНУ –1:

1-обрабатываемые кольца; 2- толкатель (подъемник); 3-поршень; 4-пневмоцилиндр;
5-тяга (две штуки); 6-подводящий желоб; 7- зона выгрузки; 8-отводящий желоб;
9 –преобразователь

С целью проведения производственных испытаний в ООО «Научно-производственное предприятие нестандартных изделий машиностроения (НПП НИМ)» был изготовлен опытный образец установки для релаксации остаточных напряжений. Схема установки показана на рис. 2. Установка состоит из следующих элементов. Обрабатываемые детали устанавливаются на наклонном подводящем желобе 6 и погружаются в ванну (не показано), заполненную жидкостью. При этом в ванне находится одновременно большое количество деталей. Ультразвуковые преобразователи 9 установлены по обе стороны обрабатываемых деталей 1. Разгрузочная зона установки состоит из наклонного лотка 7 и подъемника 5, управляемого автооператором 4. Для устранения с деталей 1 влаги на выходе из установки размещен вентилятор, который подает на детали нагретый воздух. Мощность вентилятора и температура подаваемого на детали воздуха регулируются таким образом, чтобы за время цикла обработки каждая деталь гарантированно имела нормативную влажность поверхности.

Производственные испытания показали, что ультразвуковая релаксация остаточных напряжений на вышеописанной установке имеет следующие преимущества по сравнению с традиционной:

1. Обеспечивается более высокая стабильность величины наружного диаметра кольца подшипника до и после обработки.
2. Уменьшаются погрешности геометрической формы деталей.
3. Более стабильной становится твердость колец по сравнению с дополнительным термическим отпуском.
4. Сокращается цикл обработки колец и уменьшаются связанные с этим материальные затраты.
5. Резко, в десятки раз, уменьшаются затраты электроэнергии на выполнение операции релаксации остаточных напряжений.

Список литературы

1. Королев А. В. Анализ уровня вибрации подшипниковых узлов 2108-1006120-01 после ультразвуковой стабилизирующей обработки / А. В. Королев, В. В. Болкунов, С. В. Слесарев // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2005. – С. 38-39.

2. Болкунов В.В. О стабилизации величины радиального зазора в подшипниках натяжных роликов автомобилей / В.В. Болкунов, С. В. Слесарев // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр.– Саратов: СГТУ, 2005. – С. 40-41.

3. Болкунов В. В. Влияние отливки реборды из аррамида на точность формы дорожки качения кольца подшипникового узла натяжного ролика автомобиля / В.В. Болкунов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2007. – С. 96-98.

УДК 621.78

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТИТАНОВЫХ И БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. Иванникова, С. Захаров, А. Шамилев

Науч. рук.: В.Н. Лясников, И.В. Злобина

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 89173221388; E-mail irinka_7@mail.ru

В представленном материале рассмотрены вопросы технологии и режимные параметры ионно-лучевого распыления, как одного из

высокотехнологичных физических методов нанесения наноструктурированных титановых и биоактивных покрытий.

Ключевые слова: наноструктурированные материалы, биоактивные покрытия, ионно-лучевое распыление.

TECHNOLOGY OF FORMATION OF THE NANOSTRUCTURED TITANIC AND BIOACTIVE COVERINGS

A. Ivannikova, S. Zakharov, A. Shamilev

Research supervisors: V.N. Lyasnikov, I.V. Zlobina

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

In the presented material questions of technology and regime parameters of ion-beam dispersion, as one of hi-tech physical methods of drawing the nanostructured titanic and bioactive coverings are considered.

Keywords: the nanostructured materials, bioactive coverings, ion-beam dispersion.

В настоящее время отмечается быстрое развитие промышленности и, как следствие, разработка новых технологий, оборудования и материалов. В большой степени данное направление выражено в медицине и смежных областях, особенно связанных с имплантацией. Новые, более сложные задачи делают необходимым поиск средств для их решения. Широкое распространение получили такие материалы, как гидроксиапатит, титан и другие. Изделия из них характеризуются высокой степенью приживляемости, которую можно повысить, применяя специальные способы нанесения покрытий на подготовленную поверхность имплантатов [1, 2].

Для достижения указанных целей используется ряд методов.

Одним из них является ионно-лучевое распыление, основанное на использовании концентрированных потоков.

Сущность его заключается в подаче ионов инертного газа к распыляемому материалу (мишени) из отдельно расположенного независимого ионного источника в виде концентрированного потока с энергией 1-10 кэВ [1-3]. Процесс ведут в вакууме $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па. Поскольку образование ионного луча не связано с распыляемым материалом, то возможна реализация распыления как металлических, так и

диэлектрических материалов (при использовании устройства, компенсирующего накопление положительного потенциала на поверхности мишени). Распыляемый ионами материал мишени может также ионизироваться и дополнительно ускоряться при приложении к подложке дополнительного потенциала смещения. Концентрация плазмы разряда внутри источника ионов позволяет избежать сильного разогрева материала подложки. Недостатком метода ионно-лучевого распыления является сложность точного соблюдения химического состава осаждаемого покрытия. Это связано с тем, что при столкновении ионов с поверхностью мишени в ней протекает целый комплекс сложных процессов (в т.ч. преимущественное распыление, перемешивание, радиационно-стимулированные диффузия и сегрегация, адсорбция Гиббса), которые могут изменять химический состав верхнего слоя мишени и напыляемого материала [2-4].

Метод ионно-лучевого распыления нашел применение, в частности, для получения многослойных слоистых наноструктур с толщиной слоев 1-10 нм и используется для нанесения биоактивных покрытий имплантатов [1, 2, 4].

Список литературы

1. Перинская И.В. Ионно-лучевая нанотехнология и компоненты СВЧ устройств / И.В. Перинская, В.В. Перинский, В.Н. Лясников. – Саратов: ИЦ «Наука», 2012. – 142 с.
2. Физика воздействия концентрированных потоков энергии на материалы / А.И. Акишин, Г.Г. Бондаренко, Д.В. Быков и др. – М.: Изд-во УНЦ ДО, 2004. – 418 с.
3. Золотухин И.В. Новые направления физического материаловедения / И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. – 360 с.
4. Poate J.M. Surface Modification and Alloying by Laser, Ion, and Electron Beams/ I.M. Poate, G. Foti, D.C. Jacobson. – New York: Plenum Press, 2003. – 243 p.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БИТУМОЩЕБНЕРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Бакыджан Калиев¹, А.В. Кочетков², Л.В. Янковский²

¹*Казахская академия транспорта и коммуникаций,
г. Алматы, Республика Казахстан*

²*Пермский национальный исследовательский политехнический
университет*

Одним из важнейших вопросов, рассматриваемых в работе, стало применение концепции агрегатно-модульного проектирования битумощебнераспределителя для решения задач устройства дорожных покрытий с переменной шероховатостью.

Ключевые слова: дорожно-строительные машины, качество полотна, автоматизация, шероховатость.

IMPROVEMENT OF PARAMETERS OF THE WORKING BODIES OF THE BITUMEN-BALLAST DISPENSER

Bakugan Kaliev¹, A.V. Kochetkov², L.V. Jankowski²

¹*Kazahskaja Academy of transport and communications,
Almaty, Republic of Kazakhstan*

²*Permiskiy National Research Polytechnic University*

One of the most important issues addressed in the work was the application of the concept of aggregate-modular design bitumen-dispenser for solving problems of devices of road surfaces with varying roughness.

Keywords: road construction machines, quality cloth, automation, roughness.

Из проведенного анализа типовых компоновочных схем машин и оборудования для устройства дорожных покрытий с шероховатой поверхностью (шероховатых поверхностных обработок) (битумощебнераспределителей) следует выделить две основных – компоновки при движении машины вперед и при движении задом наперед [1-4].

Ранее в работе [2] было показано, что качество распределения щебня определяется во многом продольной составляющей вектора скорости падения зерна щебня относительно поверхности автомобильной дороги в момент касания с ней. Желательно уменьшать ее до минимума. Данное условие определяет условие минимального разброса зерен щебня на поверхность ранее распределенного вяжущего. В противном случае зерна могут попадать уже на уложенный слой щебня и не смогут прижиться, либо будут попадать в струю вяжущего.

Данное условие является определяющим для установления функциональной взаимосвязи между параметрами и конструктивом строительно-дорожной машины и требованиями качества устройства шероховатых поверхностных обработок автомобильных дорог.

Необходимо определиться, что высота рабочего органа битумощебнераспределителя относительно поверхности автомобильной дороги практически не влияет на продольную составляющую скорости падения зерна, т.к. она не превышает одного метра и практически не изменяется при падении зерна. Это верно для условия, что ветер горизонтален, а воздушная среда неподвижна.

Однако высота рабочего органа (форсунки и направляющей распределителя щебня) относительно поверхности автомобильной дороги значительно влияет на однородность распределения зерен щебня, это определяет условие постоянства высоты рабочего органа над поверхностью автомобильной дороги. В общем случае это расстояние должно выбираться по нормали к поверхности дороги.

На практике распределение происходит под действием силы тяжести, поэтому технологическая сетка координат, основанная на модели поверхности автомобильной дороги, должна выбираться в зависимости от условия распределения либо по нормали, либо по вертикали к поверхности. В дальнейшем для упрощения и с учетом продольной составляющей вектора скорости щебня в момент падения на дорогу принимается за основную сетка из нормалей к поверхности автомобильной дороги.

Считается, что мгновенное распределение щебня не противоречит закону нормального распределения, а общее – закону равновероятностного распределения. Условие движения машины вперед вызывает необходимость направления вектора скорости для зерен щебня назад, что и отражено в конструкциях битумощебнераспределителей типа «Чипсилер».

Напротив, движение щебнераспределителей задом наперед предусматривает в существующих конструкциях направление вектора скорости также вперед, что может быть приемлемо лишь условно для медленных рабочих скоростей машин. Однако для скоростей 4-6 км/ч необходимо для компенсации векторов скоростей направление вектора скорости для зерен щебня назад.

Одним из важнейших вопросов, рассматриваемых в работе, стало применение концепции агрегатно-модульного проектирования битумощебнераспределителя для решения задач устройства дорожных покрытий с переменной шероховатостью. Определено, что достижение эффекта может быть достигнуто регулированием макрошероховатости по вертикальной составляющей, по горизонтальной составляющей, либо их комбинацией. Соответственно сделано предположение что должно быть конструктивное разделение этих функций в виде автономных модулей,

причем для конкретных задач их решение может быть достигнуто расположением модулей относительно друг друга.

Экспериментальный выбор методов обеспечения параметров макрошероховатости при устройстве дорожного покрытия с переменной макрошероховатостью основан на следующем.

Выбор методов обеспечения параметров макрошероховатости при устройстве дорожного покрытия с переменной макрошероховатостью проводится на основе анализа практического применения автоматизированных битумощебнераспределителей (рис.1).



Рис. 1. Применение битумощебнераспределителя на дорожных покрытиях со значительным уклоном

Анализ применения автоматизированного битумощебнераспределителя, показанного на данной фотографии, выявил существенное влияние параметров продольного профиля автомобильной дороги особенно на спусках и подъемах, виражах, горных дорогах, эстакадах и искусственных сооружениях. Сделан вывод о необходимости использования технологической системы обобщенных координат в системе координат автомобильной дороги.

Необходимость дальнейшего развития положений этого вывода подтверждена анализом изменения взаимного положения элементов автоматизированного битумощебнераспределителя (рис. 2, 3).

Анализ фотографий показывает значительное изменение взаимного положения шасси и осей колес битумощебнераспределителя при подъеме пустого (до 15^0) и загруженного (до 25^0) кузова. На этот угол смещаются относительно нормали к поверхности дорожного покрытия факел форсунки и нарушается условие трехкратного перекрытия струй вяжущего для равномерного распределения вяжущего на дорожном покрытии (а также расстояние между форсунками и покрытием) и угол наклона и расстояние между направляющей распределителя щебня и поверхности

дорожного покрытия. Например, на фотографии заметно существенное увеличение отпечатка контакта задних колес с дорожным покрытием по сравнению с ближними.



Рис. 2. Изменение взаимного положения шасси и осей колес при подъеме кузова битумощебнераспределителя без щебня



Рис. 3. Значительное изменение взаимного положения шасси и осей колес битумощебнераспределителя при подъеме загруженного кузова

Установленное изменение требует коррекции взаимного положения рабочих органов автоматизированного битумощебнераспределителя и дорожного покрытия в процессе производства работ.

Подобный негативный эффект был компенсирован в оригинальной схеме экспериментального битумощебнераспределителя «Чипсилер-41» (Кассиопея), которая представлена на рис. 4.

Непосредственно перед распределением материалов необходимо проверить температуру битума в баке вяжущего (не менее 160°C); состояние фильтра вяжущего, форсунок гребенки; высоту гребенки над поверхностью проезжей части. Устройство шероховатой поверхностной обработки не должно начинаться и заканчиваться на закруглениях с радиусом менее 15–20 м.

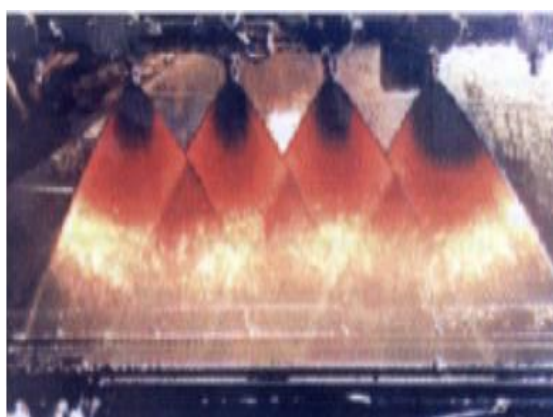


Рис. 4. Битумощебнераспределитель «Чипсилер-41»

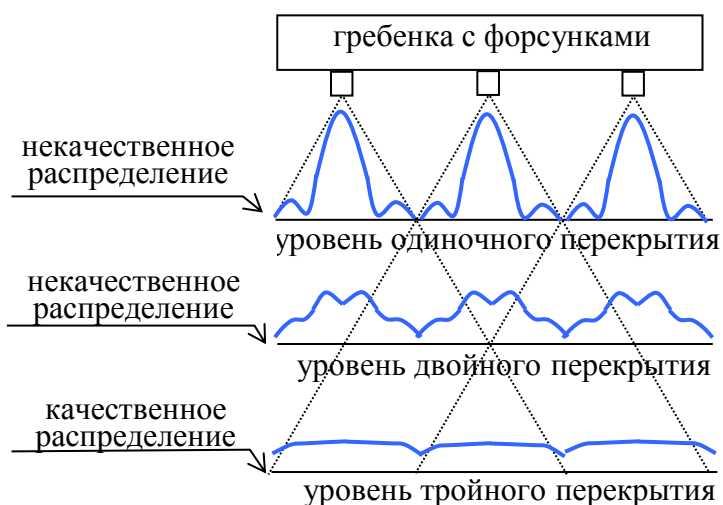
Распределение битума не рекомендуется производить при сильном, больше 8 м/с, ветре (из-за деформации струи вяжущего). Типовая схема распределения материалов приведена на рис.5(а, б, в) и 6. По окончании рабочего дня шероховатый слой должен быть уложен на всю ширину проезжей части дороги и заканчиваться единым поперечным стыком.



а) схема распределения вяжущего и щебня



б) распределение вяжущего струями



в) схема распределения

Рис. 5. Синхронное одновременное распределение вяжущего и щебня

Распределение вяжущего в зависимости от высоты (схема) представлено на рис. 6.



Рис. 6. Синхронное распределение вяжущего и щебня

Особенное внимание в настоящее время начинает уделяться вопросам применения битумощебнераспределителей, как основного класса машин для устройства дорожных покрытий с шероховатой поверхностью, а также более полного использования их потенциальных возможностей.

Предполагается рассмотреть возможность представления битумощебнераспределителя, как единого транспортно-технологического манипулятора с высоким уровнем автоматизации и метрологического обеспечения. Задача распределения щебня по поверхности автомобильной дороги в заданной координате может решаться по продольной и поперечной горизонтальным составляющим, а также по параметрам высоты.

Учитывая большое количество возмущающих факторов и параметров различной природы, влияющих на конфигурацию, мгновенный факел распределения зерен щебня при его падении на полотно дороги, можно считать его соответствующим (не противоречащему) нормальному распределению.

Скорость битумощебнераспределителя 2-6 км/ч (0,5-1,5 км/ч). Координата мгновенного центра рассеяния факела щебня также определяется скоростью битумощебнераспределителя. За приведенную скорость щебнераспределения можно признать 1,0 м/ч.

В настоящей работе предполагается рассмотреть возможность представления щебнераспределителя, как единого транспортно-технологического манипулятора с высоким уровнем автоматизации и метрологического обеспечения.

На рис. 7 показан предлагаемый к применению унифицированный рабочий орган для обеспечения качания рабочего органа путем перемещения штока самоустанавливающегося привода (пневмо-гидроцилиндра или электропривода).



Рис. 7. Унифицированный узел качания на основе гидропривода

Предложена идея введения дополнительного навесного модуля для подачи дополнительной доли щебня с другими размерно-механическими характеристиками, что позволит обеспечить требуемые свойства краевой шумовой полосы - срок службы, шумовые параметры и коэффициент сцепления. Определено, что эффективно подсыпать щебень с несколько меньшей прочностью (1400 основной и 1200 дополнительной), а также меньшей фракции (15-20 основной и 10-15 дополнительной).

Список литературы

1. Калиев Б. Обоснование конструкционных и режимных параметров рабочих органов битумощебнераспределителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Калиев. – Алматы, 2010. – 20 с.
2. Табылов А.У. Обоснование параметров рабочего органа щебнераспределителя для устройства шумовой краевой полосы автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.У. Табылов. – Алматы, 2007. – 24 с.
3. Рекомендации по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью / ФГУП СНПЦ «РОСДОРТЕХ». – 2004. Рекомендованы к применению информационным письмом заместителя Министра транспорта Российской Федерации от 05.04.2004. Оpubл. на Интернет-сайте ФГУП «Информавтодор» www.informavtodor.ru.
4. Кочетков А. В. Устройство шероховатых поверхностных слоев на покрытиях автомобильных дорог и мостовых сооружений: ОИ Автомоб. дороги и мосты. Вып. 3 / А. В. Кочетков, П. С. Суслиганов; Информавтодор. – М., 2005. – 100 с.

ОПОРЫ КАЧЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ

А.В. Королев, А.А. Королев

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998635; E-mail tmm@sstu.ru

Авторы предложили оптимизировать геометрию поверхностей опор качения с целью повышения их работоспособности и долговечности. Для решения указанной задачи авторы обобщили контактную задачу Герца для упругих тел сложной формы и на основе полученного решения создали опоры качения с рациональным профилем, которые успешно прошли испытания: увеличилась быстроходность, снизился момент трения, существенно возросла долговечность.

Ключевые слова: контактная задача Герца, опоры качения с рациональным профилем.

THE BEARINGS WITH ENHANCED CAPACITY FOR WORK

A.V. Korolev, A.A. Korolev

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The authors proposed to optimize the geometry of the surfaces of rolling bearings in order to increase their efficiency and durability. To solve this problem, the authors have generalized solution of the Hertz contact problem for elastic bodies of complex shape and on the basis of the solution have created rolling bearings with a rational profile that have been successfully tested: increased rapidity, decreased friction torque, significantly increased durability.

Keywords: Hertzian contact problem, rolling bearings with improved durability.

В экономически развитых странах в год затрачиваются сотни миллионов долларов на то, чтобы снизить на какие-то проценты трение и повысить надежность и долговечность опор качения, потому что от надежности и долговечности опор качения на 60-70% зависят надежность и долговечность большинства машин, особенно таких сложных, как транспортные и космические системы, военная техника, технологическое оборудование и другие. А так как эта проблема не решена, то в настоящее время является обычной практикой периодический ремонт опор качения в процессе эксплуатации машин. Но ремонт подшипниковых опор – это, во-первых, огромные потери материалов, людских ресурсов, энергии, которые настолько велики, что часто превышают стоимость новой техники. Во-вторых, значительные затраты возникают из-за простоя техники в процессе ремонта. В-третьих, отремонтированный подшипниковый узел, как

правило, имеет худшее качество, чем новый, что снижает надежность и долговечность техники, а иногда по этим критериям она перестает удовлетворять требуемым стандартам. Наконец, недостаточно надежные подшипниковые опоры могут приводить к авариям, что особенно недопустимо для транспортных, космических систем и военной техники, так как это влечет за собой человеческие жертвы и полный выход из строя дорогостоящей техники. Все это в век жесткой конкуренции делает ремонт нерентабельным.

На работоспособность подшипниковых опор влияет множество конструкторских, технологических, эксплуатационных факторов. И по всем этим направлениям осуществляется кропотливая настойчивая работа ученых, инженеров, специалистов. Но все же в большинстве своем резервы повышения качества подшипников традиционными средствами ограничены.

Авторами предлагаются новые, пока не ограниченные резервы повышения работоспособности опор качения за счет использования научно обоснованного метода проектирования опор качения с нетрадиционной формой рабочих поверхностей.

До недавнего времени применение таких опор качения ограничивалось отсутствием теории упругого взаимодействия таких поверхностей. Решения контактной задачи для упругих тел нетрадиционной формы, выполненные В.М. Александровым, И.Н. Векуа, А.И. Лурье, А.М. Ляпуновым, Н.И. Мухелишвили, И.Я. Штаерманом и другими, имеют большое теоретическое значение, так как позволяют более глубоко решать проблему определения напряженно-деформированного состояния тел при различных условиях их взаимодействия. Но, к сожалению, они имеют ограниченное практическое применение при проектировании опор качения.

В наиболее общем виде решить указанную задачу удалось решить авторам [1-8]. В указанных работах приведены аналитические выражения для расчета размеров площадки контакта, а также контактных напряжений между телами качения произвольной формы.

На основе решения указанной задачи впервые появилась возможность прогнозируемо управлять распределением контактных напряжений между телами качения. На рис.1 приведены примеры распределения напряжений в зоне контакта в зависимости от заданного начального зазора между контактирующими телами в главных сечениях (n и m - показатели степенных функций в главных сечениях). Как видно из рис.1, если увеличивать показатель степени функции начального зазора хотя бы в одном из главных сечений, то напряжения более равномерно распределяются в зоне контакта, максимум напряжений приходится не на одну центральную точку (как в случае Герца при $n = m = 2$), а как минимум на две точки, а в случаях $n = m > 2$ – на бесконечное множество

точек. Это существенно увеличивает опорную способность контактирующих поверхностей.

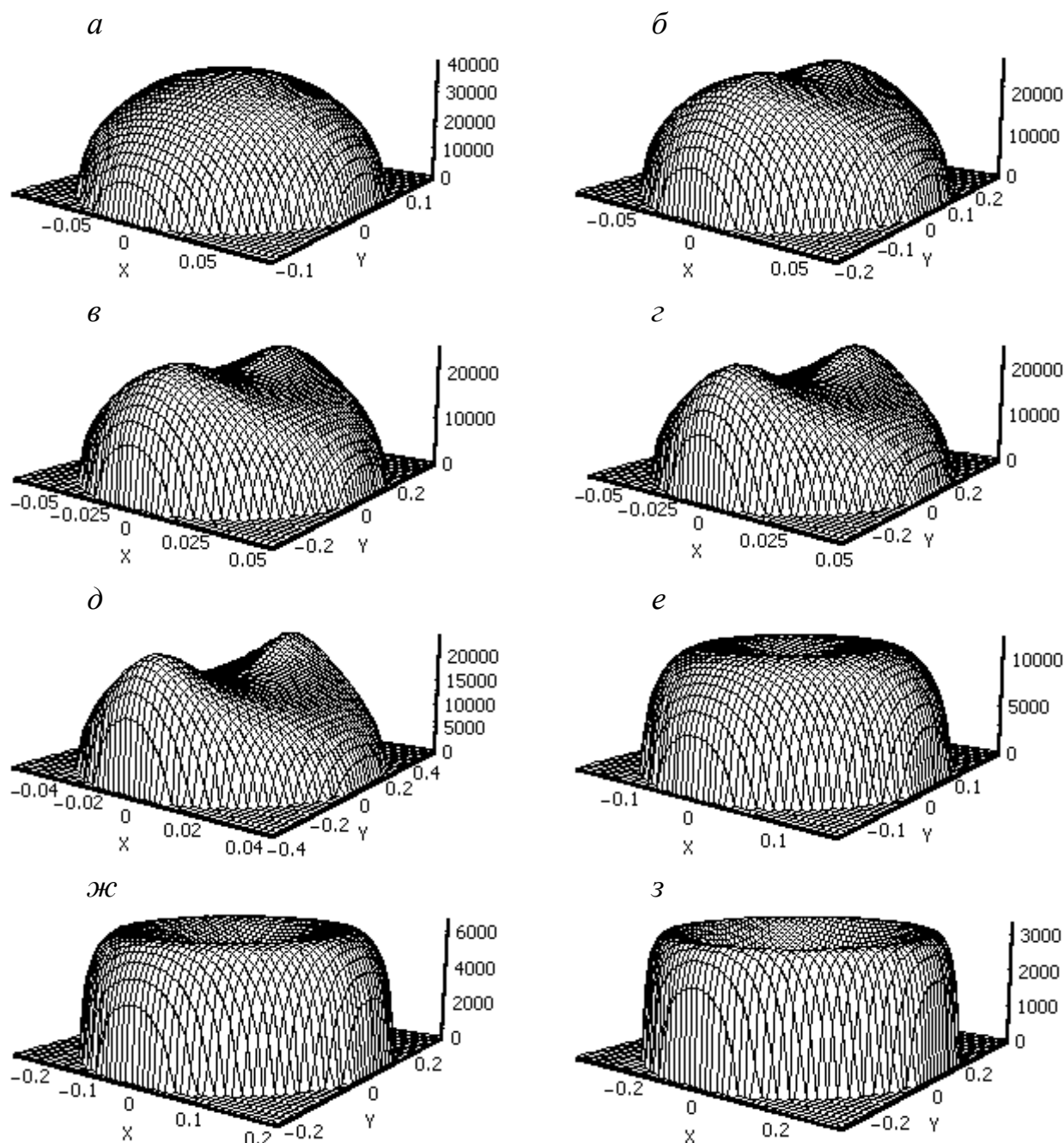


Рис. 1. Распределение контактных напряжений $q(x, y)$ при различных n и m по эллиптической площадке контакта: а - $n = m = 2$; б - $n = 3, m = 2$; в - $n = 4, m = 2$; г - $n = 5, m = 2$; д - $n = 6, m = 2$; е - $n = 3, m = 3$; ж - $n = 4, m = 4$; з - $n = 6, m = 6$

Авторами разработана технология и проведены стендовые испытания подшипников с нетрадиционной формой рабочих поверхностей. Испытанию подвергались две партии шарикоподшипников оригинальной конструкции [9, 10] серии 306 по 20 штук каждая, изготовленных в одинаковых условиях. У первой партии дорожка качения внутреннего

кольца была выполнена в виде поверхности четвертого порядка, а образующей этой поверхности являлся тор, наклоненный к оси кольца под углом 20° . Дорожка качения внутреннего кольца второй партии подшипников имела традиционную тороидальную форму. Обработка колец производилась методами, представленными в работе [11].

При испытании сразу все подшипники устанавливались на стенды и испытывались одновременно.

Поскольку долговечность испытываемых подшипников оказалась очень высокой, то испытания первой партии прекратились после выхода из строя десятого по порядку подшипника, который наработал 12000% от расчетной долговечности, а у второй партии - одиннадцатого, который наработал 3830% от расчетной долговечности. Все остальные подшипники, снятые со стендов, имели долговечность более 12000% от расчетной у первой партии и более 3830% у второй партии.

Как видно из табл. 1, партия стандартных подшипников (партия 2) оказалась очень высокого качества, так как фактическая долговечность подшипников этой партии составляла более 400% от расчетной долговечности, а долговечность при пятидесятипроцентной вероятности составила 4613% от расчетной. Однако подшипники, у которых дорожка качения внутреннего кольца была выполнена в виде поверхности четвертого порядка (партия 1), обеспечили значительно большую работоспособность.

Таблица 1. Результаты стендовых испытаний подшипников

Номер партии	L_ϕ , %	L_{90} , %	L_{50} , %	L_{cp} , %
1	608	1253	12040	8105
2	405	578	4613	3064

Фактическая их долговечность составила 608% от расчетной, долговечность при 10%-й вероятности - 1253%, а долговечность при 50%-й вероятности - более чем в 120 раз превышала расчетную. Несмотря на то, что половина из испытываемых подшипников могла бы еще работать длительное время, средняя долговечность второй партии подшипников более чем в два с половиной раза превышала долговечность первой партии.

Испытания подшипников на момент трения осуществлялись на маятниковом приборе типа ДМП при радиальной нагрузке 600 Н. Быстроходность подшипников исследовалась на стендах ЦКБ-33 по методике ВНИППа. Радиальная нагрузка составляла 5000 Н. Частота вращения подшипников в процессе испытания ступенчато увеличивалась с 7500 об/мин до предельной величины. При каждой частоте вращения испытания продолжались в течение 24 часов, а затем частота вращения увеличивалась на 500 об/мин. Предельной быстроходностью считалась

частота вращения подшипника, при переходе на которую прирост температуры подшипника составлял более чем 50° .

Момент трения в стандартных подшипниках составлял 730 Нмм, а в подшипниках с рациональной формой дорожки качения – 550 Нмм. Средняя быстроходность подшипников стандартной конструкции была равна 32000 об/мин, а подшипников с рациональной формой дорожки качения – 72000 об/мин. Таким образом, шлифование внутренних колец подшипников наклонным кругом способствует снижению момента трения более чем на 36%, а повышению быстроходности – более чем в 2 раза по сравнению со стандартными подшипниками.

Область применения таких подшипников фактически не ограничена. Их промышленное использование обеспечивает повышение надежности и долговечности летательных аппаратов и аэрокосмической техники, повышение срока службы гироскопических устройств и навигационных систем, уменьшение тепловыделения и расширение скоростных показателей турбореактивных двигателей, увеличение быстроходности и точности металлообрабатывающего оборудования, уменьшение затрат на ремонт и простои из-за неисправностей автомобильного, железнодорожного и городского транспорта, сельскохозяйственной, строительной техники, различных приборов и устройств. Особенно перспективно использование подшипников нового поколения при изготовлении бытовой техники.

Список литературы

1. Королев А.А. Математическое моделирование упругих тел сложной формы /А.А.Королев. – Саратов: СГТУ, 2001. – 128 с.
2. Королев А.А. Опоры качения с повышенными эксплуатационными свойствами [Электронный ресурс]: монография / А.А. Королев, А.В. Королев. – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. Королев А.В. Закономерности подвижного контакта деталей фрикционных передач [Электронный ресурс] / А.В. Королев, А.А. Королев – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю. А., 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Королев А.А. Теория формообразования опор качения / А.А. Королев, А.В. Королев. – Palmarium. Academic Publishing, 2012. – 396 с.
5. Королев А.В. Выбор оптимальной геометрической формы контактирующих поверхностей деталей машин и приборов /А.В. Королев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1970. – 182 с.
6. Korolev A. Elastic contact of smooth complex-shaped bodies / A. Korolev // Mechanics of Solids. – New York, 2003. – Vol. 37. – P. 51-61.

7. Королев А.А. Упругий контакт гладких тел сложной формы / А.А. Королев // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2002. – № 3. – С. 59-71.

8. Королев А.А. Локальный контакт гладких тел сложной формы/ А.А.Королев. Деп. в ВИНТИ № 1117-B2001.

9. Патент № 2005927 Подшипник качения/ Королев А.А., Королев А.В.//БИ 1994. № 1.

10. Патент № 2013674 Подшипник качения/ Королев А.А., Королев А.В.//БИ 1994. № 10.

11. Захаров О.В. Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке /О.В.Захаров. – Саратов: СГТУ, 2006. – 152 с.

УДК 67.02

ОБРАБОТКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

В.А. Мелентьев

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998631; E-mail new_pochta@pochta.ru

Произведен обзор способов обработки поверхностей сложного профиля. Приведены достоинства и недостатки некоторых из них. Описаны варианты применения обработки поверхностей деталей потоком абразивных частиц.

Ключевые слова: обработка, криволинейные поверхности, сложный профиль, поток абразивных частиц.

PROCESSING OF FIGURINE SURFACES OF DETAILS

V. A. Melentev

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The review of modes of processing of surfaces of a difficult cross-section is made. Merits and demerits of some of them are given. Options of application of processing of surfaces of details are described by a stream of abrasive particles.

Keywords: processing, curvilinear surfaces, difficult cross-section, stream of abrasive particles.

В современном машиностроении существуют различные способы получения поверхностей деталей сложного профиля. Они отличаются как

схемами формообразования, так и инструментами для осуществления процесса обработки. Также можно разделить процессы по методу формообразования – удалением слоя материала или деформацией [1]. Во втором случае деформация может быть как локальной, так и по всему объёму заготовки [2]. Что касается обработки со снятием припуска, то здесь наблюдается большое разнообразие технологий, обусловленных рядом технических и технологических факторов. Несмотря на имеющиеся недостатки, такие, к примеру, как менее благоприятное расположение волокон металла, такие методы пока что имеют преимущество перед деформацией в плане геометрической точности и сложности формы поверхностей. Также решающее значение имеют и пластические свойства обрабатываемого материала, поскольку далеко не каждый сплав способен деформироваться до нужных пропорций. Вопрос применимости той или иной схемы обработки требует, прежде всего, анализа допустимой степени деформации исходных заготовок.

Методы, основанные на удалении металла, в большинстве своём являются более гибкими в плане формообразования. Одним и тем же инструментом можно обрабатывать поверхности различной формы и кривизны. Кроме того, наиболее часто применяющийся для обработки лезвийный и абразивный инструмент имеет простую форму и невысокую стоимость. Осуществление же сложных формообразующих движений рабочим инструментом не вызывает трудностей при использовании современного оборудования с программным управлением. Также следует отметить, что обработка резанием не требует дорогостоящей операции предварительного нагрева. При этом возможна обработка практически любых труднообрабатываемых материалов, что особенно актуально при производстве авиационных двигателей.

Помимо обработки жесткими инструментами фиксированной формы, встречается также обработка потоками абразивных частиц [3]. При такой обработке существенное влияние на процесс съема металла оказывают сразу несколько факторов: размеры и форма абразивных частиц, их твердость и прочность, а также направление и скорость абразивной струи. Для увеличения производительности применяются схемы с множеством сопел. При этом каждое из них может иметь управляемый наклон оси относительно поверхности детали, что делает возможным повысить интенсивность обработки большой криволинейной поверхности. Также важным фактором, влияющим на интенсивность обработки, является удаление сопла от обрабатываемой поверхности.

Применение абразивно-воздушной струи целесообразно в случаях обработки поверхностей во впадинах и углублениях, а также в отверстиях, куда затруднён доступ металлорежущих инструментов. Кроме того, одним

из достоинств можно считать удаление стружки из зоны обработки потоком воздушно-абразивной смеси с одновременным охлаждением обрабатываемого участка. Такими же преимуществами обладает и гидроабразивная обработка, которая в настоящее время также набирает популярность. Таким образом, обработка потоками абразивных частиц находит всё большее применение для чистовой обработки деталей, имеющих сложный криволинейный профиль.

Список литературы

1. Королев А.В. Возможности холодной раскатки при обработке металлов / А.В. Королев, В.А. Мелентьев, А.А. Никифоров // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2004. – С. 135–137.
2. Мелентьев В.А. Совершенствование технологии изготовления кольцевых деталей методом объемной холодной пластической деформации / В.А. Мелентьев // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы Межгосударственного науч.-техн. семинара. – Вып. 20. – Саратов: Сарат. ГАУ, 2008. – С.34-36.
3. Павлюков А.О. Исследование взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при обработке деталей в псевдооживленном слое абразива / А.О. Павлюков, В.А. Мелентьев // Вестник СГТУ.– 2011.– №3(58). – Вып. 2. – С. 113-114.

УДК 621.791.18

ТВЕРДОФАЗНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СПИРАЛИ И ОПОРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ КЕРАМИКИ ЗА СЧЕТ РАЗНИЦЫ ТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПРАВКИ

М.Д. Орлова, Н.И. Бабкова, А.Я. Зоркин
СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
E-mail ems@sstu.ru

Рассмотрен способ улучшения теплоотвода от спирали замедляющей системы для ламп бегущей волны, путем создания твердофазного соединения опорных стержней из керамики на основе оксида бериллия и спирали.

Ключевые слова: замедляющая система, спираль, лампа бегущей волны, керамика.

SOLID-STATE BONDING HELIX AND SUPPORT RODS CERAMIC DUE TO THE DIFFERENCE THERMAL COEFFICIENT OF LINEAR EXPANSION MANDREL ELEMENT

M.D. Orlova, N.I. Babkova, A.J. Zorkin

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

In this paper we consider a way to improve heat transfer from the helix delay system for traveling wave tubes, through the creation of solid-state bonding support rods of ceramics based on beryllium oxide and helix.

Keywords: slow-wave structure, spiral, traveling wave tube, ceramics.

Лампы бегущей волны (ЛБВ) обладают превосходными рабочими и эксплуатационными характеристиками: широкой полосой рабочих частот, большим коэффициентом усиления и КПД, выходной мощностью от десятков до сотен ватт, высокой устойчивостью к внешним воздействиям, и высокой термостабильностью параметров.

Наибольшая ширина полосы усиливаемых частот достигается в ЛБВ с спиральной замедляющей системой. Важной проблемой является улучшение теплоотвода от спирали, так как низкий теплоотвод ограничивает выходную мощность.

Применение технологических процессов напыления медного покрытия на спираль и твердофазного соединения спирали с керамическими стержнями позволяет увеличить теплоотвод [1].

Замедляющая система (рис. 1) состоит из спирали 1, изготовленной из тугоплавкого материала (молибден), на поверхность которой нанесен слой меди 2, и стержней из керамики на основе оксида бериллия 3.

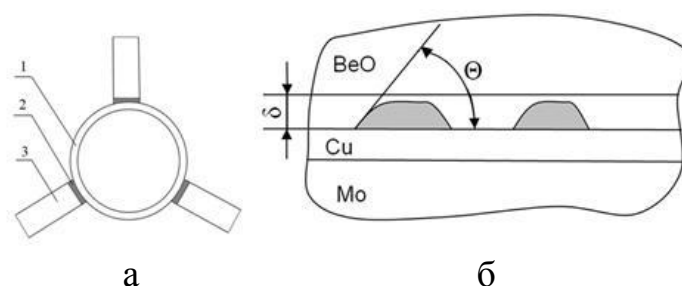


Рис. 1. Схема взаимодействия керамики с медью:
1 – спираль; 2 – медь; 3 – бериллиевый стержень

Толщина слоя меди на спирали 20 мкм. При твердофазном соединении керамических стержней с медным покрытием спирали под действием температуры и давления медь диффундирует в бериллиевую керамику, в зоне взаимодействия толщиной δ образуется новая фаза [2].

Усилие при твердофазном соединении составляет 0,5 кгс/мм² и обеспечивается за счет разницы термического коэффициента линейного

расширения (ТКЛР) элементов оправки. Принцип создания давления за счет различия ТКЛР может быть использован при проектировании оснастки для диффузионной сварки деталей по боковой цилиндрической поверхности [3]. За основу данной оправки была взята оправка для термообжата замедляющих систем в оболочке, используемая на предприятии ОАО НПП «Алмаз».

Оправка для обеспечения давления состоит из молибденовых вкладышей, рис. 2,а, в которые помещаются керамические опорные стержни, конических стержней из нержавеющей стали, рис. 2,б, и молибденовых колец, рис. 2,в. Особенность данной оправки заключается в том, что ее конструкция позволяет обеспечивать необходимую величину давления на керамические стержни, которые расположены под углом 120° относительно друг друга.

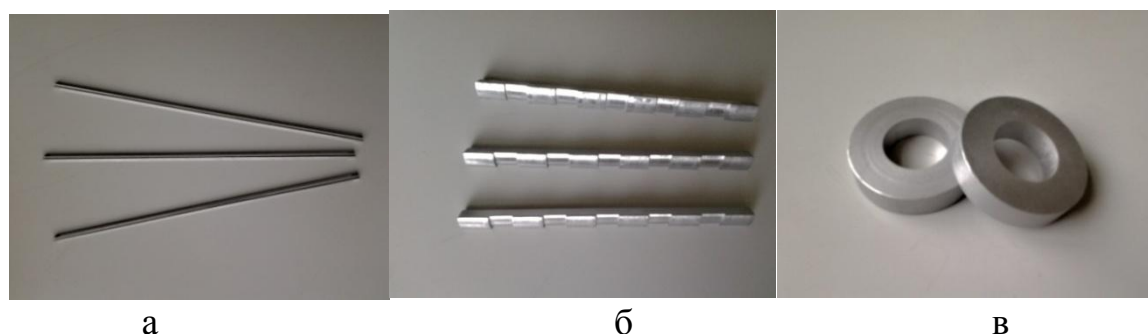


Рис. 2. Элементы оправки для создания твердофазного соединения спирали с опорными стержнями из керамики:

а - молибденовые вкладыши; б - конические стержни из нержавеющей стали;
в - молибденовые кольца

Технология сборки узла состоит из следующих переходов:

1. Закрепление втулки 1 на керне 2 (стержень), после чего на керн закрепляют спираль и втулку 3. Стержни из керамики на основе оксида бериллия помещают во вкладыши 5 и вставляют последовательно вкладыши со стержнями в пазы втулок 3 и 4 (рис. 3).

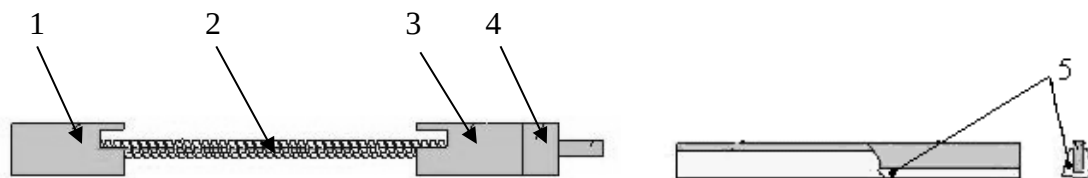


Рис. 3

2. Пакет замедляющей системы фиксируется двумя кольцами 6 с винтами (рис. 4).

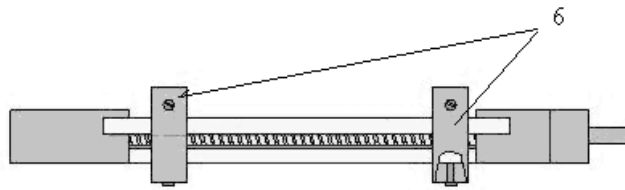


Рис. 4. Пакет замедляющей системы, зафиксированный кольцами

3. Стержни из нержавеющей стали (секторы) 7 устанавливают в основание оправки для сборки 8 и надевают кольца 9 (рис. 5). Внутри секторов помещают технологическую трубку 10. Пластина 11 закрепляется на стойках приспособления для сборки пакета и вставляют внутрь секторов, постепенно выдвигая, технологическую трубку. Извлекают собранный узел из приспособления для сборки и, удалив втулки и керн, помещают на призму.

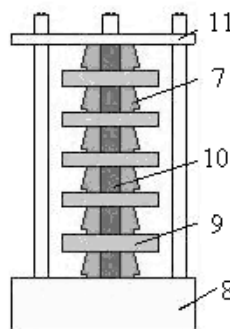


Рис. 5. Оправка для сборки

Проведен процесс твердофазного соединения спиралей из молибдена с медным покрытием и стержней из бериллиевой керамики. На рис. 6 Представлена структура переходной зоны Вео-Си-Мо, в которой начинается рост новой фазы.

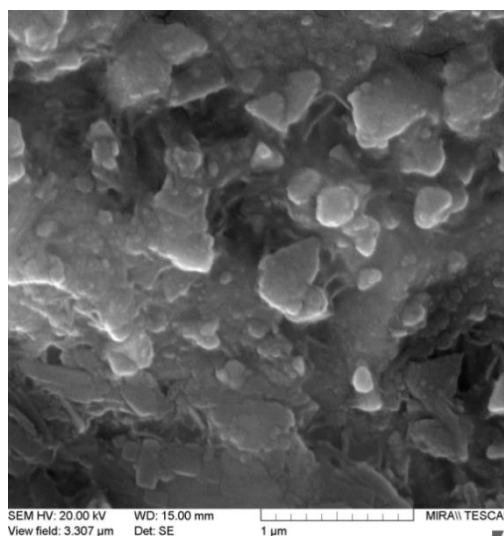


Рис. 6. Электронное изображение поверхностной структуры зоны роста новой фазы

Список литературы

1. Орлова М.Д. Изготовление спиральных замедляющих систем с применением диффузионной сварки / М.Д. Орлова, Н.И. Бабкова, С.М. Лисовский // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – № 5. – С. 16-18.
2. Орлова М.Д. Влияние состава газовой фазы на взаимодействие оксида бериллия с медью / М.Д. Орлова, А.Я. Зоркин, С.В. Семенов // Вакуумная наука и техника: материалы науч.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013
3. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки давлением / Г.В. Конюшков, Р.А. Мусин. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. – 637 с.

УДК 621.7.08

КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЯХ МАШИН ТОКОВИХРЕВЫМ МЕТОДОМ

В.В. Болкунов, С.В. Слесарев

СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г.Саратов, Россия

Тел. (8452)998629; E-mail tms@sstu.ru

Наибольшее влияние на тонкостенные детали, такие как кольца подшипника, оказывают объемные остаточные напряжения, которые могут вызвать хрупкое разрушение этих деталей. В настоящее время используют различные методы для контроля остаточных напряжений. Одним из них является вихретоковый метод. Представлены исследования с прибором ПВК-К2М, показывающие, что инструмент является наиболее эффективным, чтобы проверить состояние поверхности, и может широко использоваться на предприятиях подшипниковой промышленности в качестве средства контроля качества.

Ключевые слова: прибор, контроль напряжений, метод, подшипник.

CONTROL SURFACE RESIDUAL STRESSES IN PRECISION MACHINE PARTS EDDYCURRENT METHOD

V.V. Bolkunov, S.V. Slesarev

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The greatest influence on thin-walled parts, such as bearing rings, render volumetric residual stresses can cause brittle failure of these parts. Currently use different methods to control residual stresses. One of them is the priority of

eddy current method . Presented studies using an instrument PVK- K2M shown that eddy current instrument is the most effective to check the status of the surface, and can be widely used in enterprises bearing industry as a means of quality control.

Keywords: instrument, control stress method, the bearing.

При изготовлении деталей машин после термической и механической обработки, как известно [1,2], возникают остаточные напряжения, вызывающие изменение размеров и геометрической формы деталей. Так, в кольцах подшипников в результате релаксации и перераспределения остаточных напряжений возникают изгибающие моменты, приводящие к овальной деформации, которая фиксируется в виде непостоянства диаметра. Изменение формы и размеров колец подшипников описано и теоретически объяснено, например, в работе [3].

Наибольшее влияние оказывают объемные остаточные напряжения, так как они могут вызывать хрупкое разрушение деталей машин. Если остаточные напряжения имеют характер всестороннего растяжения, то достаточно приложения небольшого внешнего усилия, чтобы одно из главных напряжений достигло величины хрупкой прочности и наступило бы разрушение.

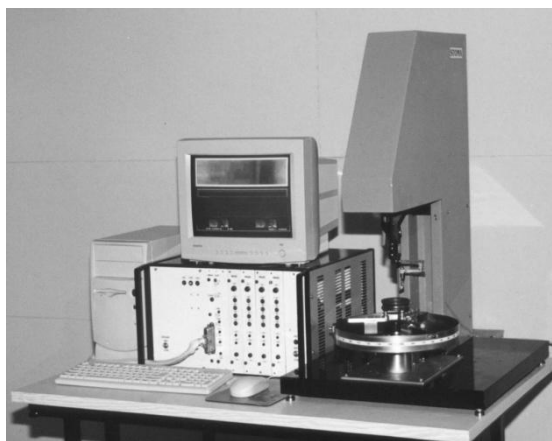


Рис. 1. Общий вид прибора ПВК-К2М

Описанные в литературе случаи самопроизвольного хрупкого разрушения связаны с действием остаточных напряжений, имевших объемный характер. В этом случае в качестве внешнего фактора, вызвавшего хрупкое разрушение, могли служить колебания температуры, воздействие среды.

Начальным очагом разрушения служат концентраторы напряжений в виде неметаллических включений, микронеоднородности, микротрещины и прочее. Кольца подшипников, разорвавшиеся от действия остаточных напряжений при вылеживании, показаны в работе [4].

В настоящее время используют различные методы контроля остаточных напряжений: метод полного разрушения, метод колец и цилиндров, метод стержней и полосок, метод отверстий, рентгеновский метод, метод твердости, метод хрупких и оптически чувствительных покрытий и другие. Для контроля остаточных напряжений в технологическом потоке наиболее приемлемым, как показано в работе [5],

является токовихревой метод. Однако этот метод исследован еще недостаточно.

Вихретоковые дефектоскопы позволяют оценивать однородность физико-механических свойств поверхностного слоя деталей машин. Прибор модели ПВК-К2 (общий вид прибора показан на рис.1) принадлежит к классу вихретоковых дефектоскопов нового поколения и представляет собой сложный программно-технический комплекс, состоящий из:

- электронного блока управления сканированием и вращением детали;
- устройства сканирования и вращения закреплённой в узле зажима детали;
- дефектоскопической приставки (вихретокового преобразователя);
- персонального компьютера.

Сканграмма поверхности детали, например, кольца подшипника, отображает неоднородности поверхностного слоя.

Рассмотрим пример отображения прибором ПВК-К2М напряженного состояния шлифованной цилиндрической поверхности кольца 42305.01, проконтролированного по высоте дорожки качения до и после деформации (рис. 2).

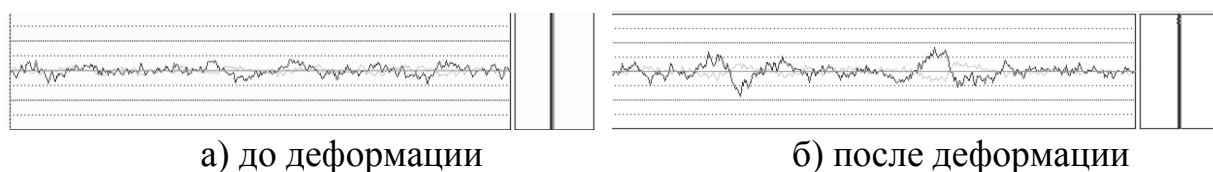


Рис. 2. Результаты контроля кольца 42305.01

Данный эксперимент показывает, насколько изменилось состояние поверхностного слоя. Приведенные данные свидетельствуют о наличии напряжения в обрабатываемой поверхности.

Определение напряженного состояния подшипникового наружного кольца вследствие нагружения силами, действующими на разрыв кольца, проводилось при постепенном увеличении деформации последнего при помощи специального механизма для создания нагрузки. Весь ход эксперимента представлен на рис. 3.

В первую очередь, перед началом эксперимента, были сняты сканграммы поверхностей по наружному и внутреннему диаметру (см. рис. 3а, б). Затем был установлен механизм создания нагрузки и приложена первая нагрузка, в результате которой кольцо деформировалось и наибольший диаметр увеличился с 62 до 62,20 мм. Изменение в поверхностном слое можно наблюдать по сканграмме, приведенной на рис. 3в. Далее нагрузка постепенно увеличивалась, кольцо приобретало все более овальную форму.

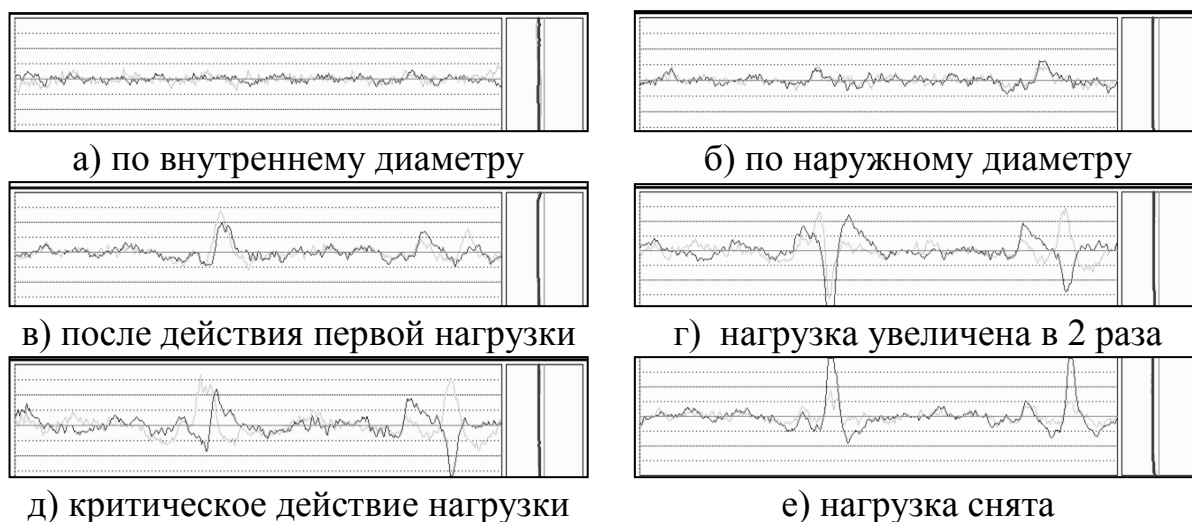


Рис. 3. Сканграммы поверхностей кольца 206А.01 во время эксперимента

Сканграмма, приведенная на рис. 3г, сделанная при наибольшем диаметре кольца 62,89 мм, показывает, насколько возросло напряженное состояние кольца по полюсам. Нагрузку увеличили до принятия кольцом размера по наибольшему диаметру 63,05 мм. На сканграмме, приведенной на рис. 3д, видно, что изменение формы кольца достигло разрушающего состояния. После этого сняли нагрузку с кольца и проверили еще раз на приборе. На полученной сканграмме можно увидеть следы микротрещин и остаточных напряжений, которые приобрело кольцо в результате его деформации (см. рис. 3е).

Данный эксперимент показал, что прибор вихретокового контроля является наиболее эффективным для проверки состояния поверхности и может широко использоваться на предприятиях подшипниковой промышленности, как средство контроля качества

Список литературы

1. Хенкин М.Л. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении / М.Л. Хенкин, И.Х. Локшин. – М.: Машиностроение, 1974. – 284 с.
2. Василькова И.А. О причинах, вызывающих изменение величины непостоянства диаметра колец одноразломных шарнирных подшипников / И.А. Василькова, В.В. Болкунов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 1997. – С. 20-25.
3. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах. Расчеты методом расчленения тела / В.В. Абрамов. – М.: Машгиз, 1963. – 355 с.
4. Королев А.В. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Ч.6. Энергосберегающая технология безотходного разделения изделий на основе локального направленного

разлома / А.В. Королев, А.М. Чистяков, В.В. Болкунов. – Саратов: СГТУ, 1998. – 124 с.

5. Игнатьев С.А. Автоматизированный вихретоковый контроль роликов подшипников как элемент технологического процесса / С.А.Игнатьев, М.В.Карпеев, А.С.Пчелинцев // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб.– Саратов: СГТУ, 2010. – С. 87-91.

УДК 621.9

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ С НАПЛАВЛЕННЫМИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.Н. Виноградов, О.В. Захаров, Д.Н. Макеев
СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
Тел. (8452)998639; E-mail ptk@sstu.ru

Выдвинута гипотеза о возможности управления качеством поверхности при наплавке интерметаллидных покрытий. Это обеспечивается на стадиях наплавки и последующей лезвийной обработки за счет оптимизации режимов. Предварительные эксперименты подтвердили данную гипотезу.

Ключевые слова: технология машиностроения, нанесение покрытий, интерметаллидные покрытия, наплавка.

THE TECHNOLOGY QUALITY ASSURANCE SURFACE OF THE INTERMETALLIC COATINGS

A.N. Vinogradov, O.V. Zakharov, D.N. Makeev
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

A hypothesis about the possibility of management quality of the surface during hardfacing intermetallic coatings. This is achieved by hardfacing and subsequent stages of processing due to the blade optimization. Preliminary experiments have confirmed this hypothesis.

Keywords: manufacturing engineering, coating, intermetallide's coating, hardfacing.

Одной из фундаментальных проблем техники на современном уровне развития следует считать повышение надежности машин и механизмов, связанное с повышением долговечности деталей, входящих в их состав. Для этого необходимо повышение качества сопрягаемых

поверхностей, выполняющих специальное функциональное назначение, в первую очередь, работающих в условиях трения качения или скольжения. В условиях истощения сырьевых ресурсов и необходимости повышения энергоэффективности производства важным направлением является создание деталей с покрытиями. Нанесение покрытий позволяет изменить технологию и использовать заготовки из недорогих материалов с более низкими физико-механическими характеристиками, а затем выполнять модификацию рабочих поверхностей высокопрочными легированными материалами. Наплавка, как один из методов модификации поверхности, дает возможность нанесения покрытий толщиной от 0,1 до 10 мм, тем самым позволяя восстанавливать наиболее дорогостоящие ресурсопределяющие детали, например, детали автомобилей, которые подвержены наибольшему износу в процессе их эксплуатации. Однако возникает целый ряд проблем, связанных с дальнейшей обработкой таких деталей с неоднородной композиционной структурой. Во-первых, покрытия, как правило, требуют предварительной качественной подготовки основы детали, что приводит к удорожанию в целом. Во-вторых, традиционная обработка лезвийным инструментом затруднена в силу его малой стойкости, а абразивным инструментом – вызывает повышенную теплонапряженность процесса, что приводит к прижогам и потере качества поверхности детали.

Поэтому требуется разработка новых подходов в проектировании конструкционных материалов и создании эффективных технологических методов их последующей чистовой обработки. Одним из таких подходов может стать модификация поверхности деталей путем наплавки интерметаллидных покрытий. Данная технология впервые разработана в СГТУ имени Гагарина Ю.А. и прошла предварительную экспериментальную и опытную проверку для создания новых и восстановления изношенных деталей автомобильной техники.

Обзор существующих технологий наплавки с дальнейшей механической обработкой показал, что основные исследования направлены на решение следующих задач: повышение качества наплавленного металла, расширение возможности легирования, увеличение производительности наплавки, снижение её стоимости и последующей обработки. Для достижения указанных целей применяются различные способы наплавки: с защитными флюсами в смеси с ферросплавами, порошковой проволокой, колеблющимся электродом, порошкообразными смесями, наплавка лентой, наплавка лежащим электродом, многоэлектродная наплавка, наплавка, совмещенная с процессом обработки и т.д. Все достоинства и недостатки данных способов наплавки были описаны в трудах российских ученых: Н.Г. Славянова, Н.Н. Дорожкина, И.И. Фрумина, Н.И. Доценко, Ю.А. Юзвенко; американского изобретателя Уильяма Р. Глизона, английского С.К.

Дуггана, японского Саккума Кейцо и др. Широко известны в этой области труды Саратовской научной школы: В.А. Наливкина, Ю.Н. Казакова, А.И. Ковтунова.

Вышеперечисленные ученые также занимались исследованиями в области обработки наплавленных металлопокрытий. В основном труды посвящены лезвийной обработке, совмещенной с процессом наплавки, либо механической обработке, которой предшествует термическая обработка для снижения твердости наплавленного покрытия. Установлено, что необходимость применения дополнительной оснастки, сложность выполнения процесса и применение термической обработки приводят к увеличению стоимости восстановления и зачастую делают ее нецелесообразной.

Анализ существующих способов наплавки выявил ряд существенных недостатков: получение высокой твердости наплавленных покрытий затруднено в связи с увеличением возникающих напряжений в металле шва, специфики формы наплавленного покрытия, имеется сильная зависимость состава металла от режима наплавки, которая вызывает в металле неоднородность, а также сложность стандартных методов дальнейшей механической обработки. Одним из решений данной задачи являлось применение последующей термической обработки или совмещение механической обработки с процессом наплавки. Оба этих решения приводят к удорожанию процесса восстановления в целом.

Данную проблему можно решить, используя наплавку с применением основной и присадочной проволок, в результате чего на поверхности образуется сплав в виде интерметаллидных соединений. Технология нанесения наплавочных покрытий с изменяемыми свойствами поверхности требует научного обоснования и экспериментальных исследований с целью выявления закономерностей физико-технического процесса наплавки.

В ходе предварительных исследований установлена принципиальная возможность направленного формирования свойств интерметаллидных покрытий при наплавке. Это возможно путем введения изолированной присадочной проволоки в определенное место наплавочной ванны. В результате создаются условия отбора теплоты и, как следствие, происходят уменьшение зоны термического влияния, снижение внутренних напряжений. Элементы присадочной проволоки легируют металл шва.

На основании этого выдвинута гипотеза о возможности управления качеством наплавочного слоя за счет изменения режимов обработки. Для выполнения экспериментальных исследований разработана уникальная установка (патент RU № 2494843). Проведенные исследования доказали факт изменения микротвердости поверхностного слоя в широких пределах и ее увеличения от 28-32 HRC до 45-55 HRC.

Получив металлопокрытие твердостью до 55 HRC, задачу механической обработки предлагается решить, применив лезвийную обработку режущим инструментом, оснащенным сверхтвердым материалом. Это позволяет обрабатывать наплавленные интерметаллидные покрытия, исключив из техпроцесса операцию шлифования и обеспечив высокую производительность и стойкость инструмента.

Для получения интерметаллидного покрытия использован способ нанесения покрытия при помощи наплавки под слоем флюса с дополнительной заземленной присадочной алюминиевой проволокой (патент РФ № 2403138). Наплавка проводилась основной наплавочной проволокой марки 30ХГСА и дополнительной марки AlMg₃. Для подачи проволоки (основной наплавочной и дополнительной присадочной) использована наплавочная головка (патент РФ № 2494843) – рис. 1.



Рис. 1. Наплавочная головка с дополнительным подающим механизмом

К геометрическим параметрам качества поверхности, наряду с шероховатостью, относятся и другие неровности с большим шагом: в продольном сечении волнистость, бочкообразность, конусообразность и бочкообразность, в поперечном сечении круглость, овальность, огранка. Предварительно было установлено, что образование этих неровностей обусловлено не только жесткостью технологической системы и ее вибрациями но и режимами токарной обработки и материалом режущего инструмента.

В способе, предложенном А.Г. Суловым, анализ существующих результатов исследований по формированию шероховатости поверхностей при различных методах и режимах обработки позволяет сделать вывод, что

в общем случае на образование шероховатости при механической обработке влияют следующие факторы:

- 1) геометрия рабочей части инструмента (резца) и кинематика его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности;
- 2) физико-механические свойства материалов, колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности;
- 3) относительные вибрации режущего инструмента и заготовки;
- 4) шероховатость рабочей части инструмента.

В зависимости от условий обработки степень влияния каждого из этих факторов на образование шероховатости поверхности будет различной. Первые два фактора вызывают образование систематической составляющей профиля шероховатости, которая может быть описана математически. Третьим и четвертым факторами можно пренебречь, выбирая для обработки современное технологическое оборудование и надежный износостойкий инструмент.

Формула, предложенная А.Г. Сусловым, имеет вид:

$$R_z = \frac{S^2}{8 \cdot r} + \frac{C_y s^{y_{py}} v^{z_{py}} (HB_{\max}^n t^{x_{py}} - HB_{\min}^n (t - R_{z_{ucx}})^{x_{py}})}{j_{\text{жесткость. техн. сист}}} \quad (1)$$

Подставив исходные значения в данную формулу (1), можно построить график (рис. 2) изменения шероховатости R_a в зависимости от подачи.

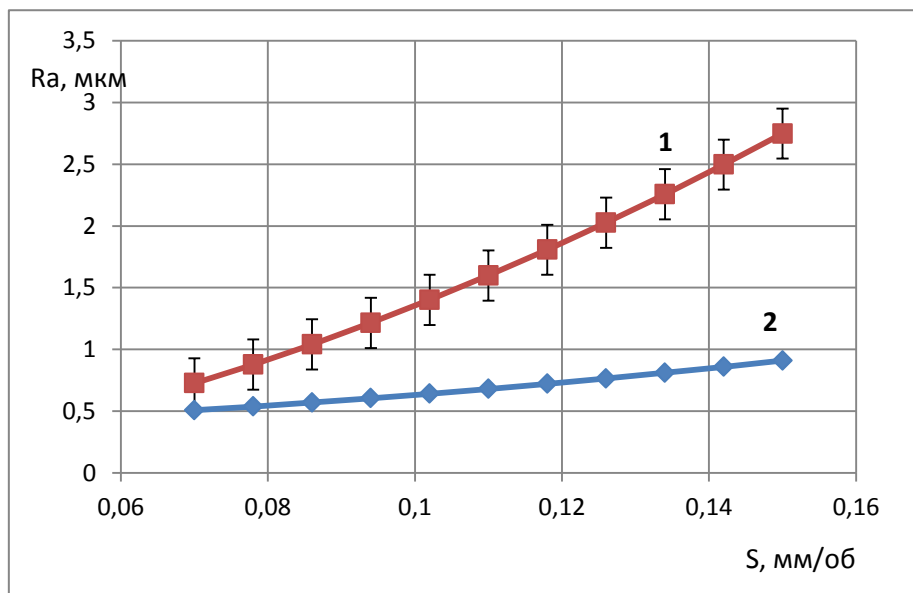


Рис. 2. График изменения шероховатости от подачи при $v=200$ м/мин, $t=0,2$ мм: 1 – экспериментальная зависимость, полученная автором по предварительным экспериментам; 2 – теоретическая кривая по формуле А.Г. Суслова

Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных по изменению шероховатости R_a в зависимости от подачи показало, что имеется значительное расхождение. Поэтому при обработке

модифицированной поверхности с интерметаллидным покрытием необходима адаптация данной формулы к конкретным условиям.

Таким образом, имеющиеся в настоящий момент результаты исследований позволяют утверждать о серьезных перспективах данного направления по получению новых конструкционных материалов с интерметаллидными покрытиями. Однако развитию препятствует отсутствие научно обоснованных моделей и методик выбора режимов наплавки и последующей обработки деталей с модифицированной поверхностью. Поэтому требуются дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Ковтунов А.И. Технология формирования износостойких покрытий / А.И. Ковтунов, Т.В. Чермашенцева, Д.А. Семистенов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 7. – С. 12-14.

2. Виноградов А.Н. Повышение ресурса деталей, восстановленных наплавкой с применением интерметаллидов / А.Н. Виноградов, М.А. Лутахов, Д.Н. Макеев // Тяжелое машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 20-23.

3. Технологическое обеспечение трибологических свойств сальниковых шеек деталей машин / И.Н. Бобровский, П.А. Мельников, Н.М. Бобровский и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1-2. – С. 340-343.

4. Исследование влияния режимов обработки на шероховатость поверхности закаленных валов в условиях массового производства / Н.М. Бобровский, П.А. Мельников, И.Н. Бобровский и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 5. – С. 40.

5. Чигиринский Ю.Л. Оценка различия достижимых показателей качества поверхности, обработанной различными технологическими методами / Ю.Л. Чигиринский // СТИИ. – 2011. – № 5. – С. 32-35.

УДК 621.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АБРАЗИВНО-СТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

И.А. Складов, О.В. Захаров

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452)998639; E-mail ptk@sstu.ru

Предложены способ и реализующее его устройство для абразивно-струйной обработки внутренних поверхностей. Обоснован выбор

конструктивных параметров устройства, определяющих производительность и качество обработки заготовок.

Ключевые слова: абразивная обработка, обработка несвязанным абразивом, внутренние поверхности.

THE DESIGNING DEVICE ABRASIVE BLAST CLEANING THE INNER SURFACES

I.A. Sklyarov, O.V. Zakharov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Provides a method and a device for implementing its abrasive blast cleaning interior surfaces. The choice of the design parameters of the device, determine the efficiency and quality of workpieces.

Keywords: abrasive machining, abrasive machining unrelated, internal surfaces.

В настоящее время окончательная обработка преимущественно производится с применением абразивных инструментов или сред. К методам обработки деталей свободным абразивом относят [1]: вибрационную обработку, центробежно-ротационную обработку, струйно-абразивную обработку, турбоабразивную обработку, обработку свободным абразивом, уплотненным инерционными силами, магнитно-абразивное полирование и галтовку. Классифицировать методы обработки свободными абразивами в зависимости от технологических параметров можно по ряду признаков: типу абразивной среды, необходимости закрепления заготовок, главному движению, количеству одновременно обрабатываемых заготовок, характеру воздействия инструмента, направлению следов обработки.

Способ объемной центробежно-ротационной обработки [2] заключается в том, что гранулированная обрабатывающая среда и заготовки приводятся во вращение вокруг вертикальной оси таким образом, что приобретают форму тора, в котором частицы движутся по спиральным траекториям. Обрабатываемые заготовки загружаются в рабочую камеру «в навал» и перемещаются вместе с рабочей средой. Съем металла осуществляется за счет относительного перемещения и взаимодействия абразивных гранул и заготовок, смачиваемых жидкостью, непрерывно подаваемой в рабочую камеру.

Одним из перспективных является метод струйно-абразивной обработки, сущность которого заключается в использовании эффекта удара частиц обрабатывающего материала об обрабатываемую поверхность [3]. Физическая картина процесса аналогична изнашиванию материалов, находящихся под действием потока частиц. Кроме съема металла с поверхности, наблюдается ее упрочнение и изменение

микрорельефа, а в тонких поверхностных слоях возникают остаточные напряжения сжатия. Другая разновидность метода – турбоабразивная обработка – основана на использовании техники псевдооживления сыпучих материалов и заключается в создании абразивного кипящего (псевдооживленного) слоя, в который помещают обрабатываемую деталь, задавая в зависимости от ее формы различные виды движения.

Обработка внутренних цилиндрических поверхностей имеет ряд сложностей, связанных с ограниченным доступом в зону обработки, а также с обеспечением высокой производительности и экономичности. Детали, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности, в первую очередь содержат поверхности, работающие в условиях трения скольжения или качения – детали двигателя автомобиля, подшипники и др. Другой пример крупногабаритных деталей – трубные заготовки различного целевого назначения.

Известны способ и реализующее его устройство для обработки деталей в псевдооживленном слое абразива [4]. Данный способ предназначен для обработки деталей типа колец подшипников в закрытой рабочей камере с абразивной средой, в которую подается сжатый воздух через сопла в роликах с отверстиями. Так как способ реализуется только для обработки наружных поверхностей изделий, поэтому не может быть напрямую использован для обработки внутренних поверхностей.

На основании проведенного анализа поставлена задача – повышение производительности и экономичности обработки внутренних цилиндрических поверхностей крупногабаритных заготовок.

Поставленная задача решается тем, что внутри обрабатываемой цилиндрической поверхности на части заготовки 1 создают герметичную рабочую зону посредством двух заслонок из дисков 6, внутрь которой помещают абразивный материал, а подачу сжатого воздуха осуществляют через сопла 11 (рис. 1). Образующаяся абразивно-воздушная смесь постоянно циркулирует внутри рабочей зоны и производит обработку поверхности заготовки. Таким образом обеспечиваются нормы экологической безопасности, так как оператор не находится непосредственно в зоне обработки.

Для обеспечения постоянной циркуляции абразивно-воздушной смеси сопла 11 располагают симметрично по центру рабочей зоны. Сжатый воздух в рабочую зону подают через одну из заслонок 6 под давлением через трубу 10. Величину давления сжатого воздуха выбирают в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности и требуемой производительности обработки из диапазона 3-10 ат. Циркуляция абразивно-воздушной смеси внутри герметичной рабочей зоны, возможность изменения давления и применение нескольких сопел 11 для подачи сжатого воздуха под давлением способствуют повышению производительности обработки.

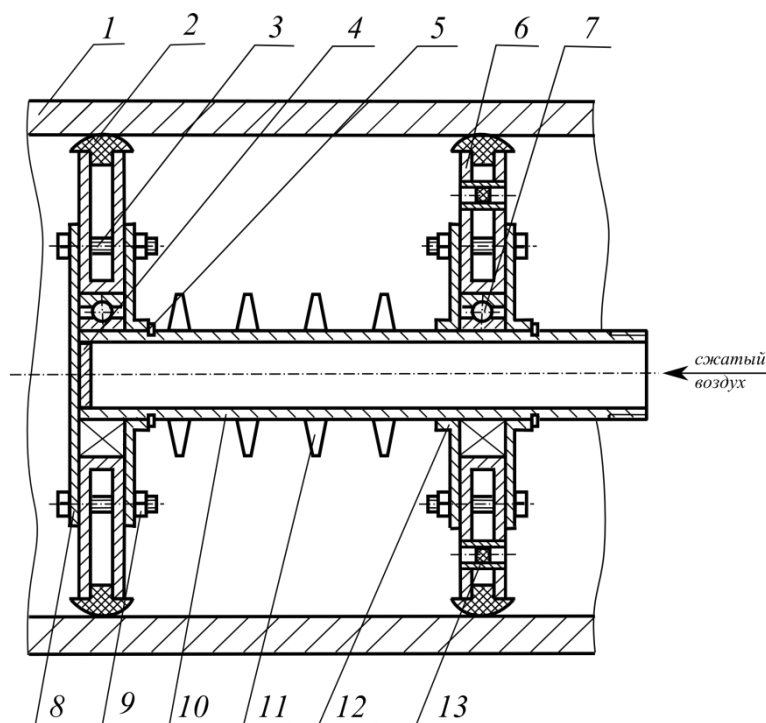


Рис. 1. Принципиальная схема обработки: 1 – обрабатываемая труба; 2 – уплотнитель; 3 – винт; 4 – заглушка; 5 – стопорное кольцо; 6 – диск; 7 – подшипник; 8 – крышка; 9 – гайка; 10 – труба; 11 – сопло; 12 – кольцо; 13 – фильтр

Особенность способа также заключается в том что, что образование абразивно-воздушной смеси осуществляют непосредственно в рабочей зоне обработки путем смешивания абразивного материала и сжатого воздуха, тем самым предохраняя от изнашивания элементы пескоструйной установки и обеспечивая экономичность обработки. Обработку протяженных цилиндрических поверхностей по всей длине, например, магистральных трубопроводов, выполняют перемещением герметичной рабочей зоны вдоль обрабатываемой поверхности. Герметичная рабочая зона образуется конструктивно двумя заслонками 6 круглой формы, например, жестко насаженными на трубу 10. Сжатый воздух подают под давлением от источника энергии через трубу 10 и одну из заслонок. Для обеспечения герметичности рабочей зоны заслонки круглой формы снабжают уплотнителями 2 по периферии.

Технический результат предложенной схемы абразивной обработки заключается в повышении производительности и экономичности обработки внутренних поверхностей крупногабаритных заготовок за счет создания герметичной рабочей зоны, в которой постоянно циркулирует абразивно-воздушная смесь.

Основной проблемой при реализации рассмотренной схемы обработки будет обеспечение заданного объема снимаемого материала в единицу времени. Варьируемыми параметрами, помимо времени обработки, являются давление воздуха и характеристики абразивного

материала. Для научно обоснованного выбора значений данных параметров необходимо создать физическую модель процесса абразивной обработки.

Абразивные зерна под действием струи сжатого воздуха ударяются об обрабатываемую поверхность, вследствие чего происходит съем металла. При этом возможны следующие варианты: а) частица внедряется под острым углом в материал; б) частица скользит вдоль поверхности и срезает микростружку; в) частица ударяется о другую частицу и передает ей часть энергии; г) частица, ударяя другую частицу, придает ей вращение вокруг центра масс.

Анализ приведенных вариантов взаимодействия абразивных частиц друг с другом и с обрабатываемой поверхностью позволяет сделать вывод, что эффективный съем металла происходит в вариантах б) и г). Реализовать эти варианты возможно за счет создания кругового вращения абразивно-воздушной смеси внутри обрабатываемой поверхности заготовки. Для этого следует решить аэродинамическую задачу, определив оптимальное расположение сопел, подающих воздух.

Целесообразная область применения рассмотренного устройства – обработка труб, в том числе трубопроводов большого диаметра, крупногабаритных изделий энергомашиностроения [5].

Список литературы

1. Степанов Ю.С. Абразивная обработка отверстий / Ю.С. Степанов, Б.И. Афанасьев. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 118 с.
2. Зверовщиков В.З. Повышение эффективности объемной центробежной отделочно-упрочняющей обработки деталей в контейнерах с планетарным вращением / В.З. Зверовщиков, А.Е. Зверовщиков, Е.А. Зверовщиков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 12. – С. 3-7.
3. Тамаркин М.А. Исследование параметров качества поверхностного слоя детали при гидроабразивной обработке / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.А. Тихонов // Вестник машиностроения. – 2013. – № 4. – С. 42-45.
4. Патент RU 2210484 МПК В 24 В 31/10, В 24 С 3/12. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном слое абразива / П.Ю. Бочкарев, С.П. Еретин, В.М. Чистяков. Оpubл. 20.08.2003.
5. Лубков В. С. Проектирование, строительство и монтаж оборудования ТЭС: учеб. пособие для студентов энергетических специальностей / В. С. Лубков, С. В. Новичков. – Саратов: СГТУ, 2012. – 264 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

О.А. Яловой

Науч. рук. профессор О.В. Захаров

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452)998639; E-mail ptk@sstu.ru

Представлен анализ методов профилирования дискового инструмента для винтовых поверхностей. Показана целесообразность применения численного метода профилирования.

Ключевые слова: профилирование, дисковый инструмент, винтовая поверхность.

ANALYSIS OF THE METHODS FOR FORMING TOOL DISK OF HELICAL SURFACES

O.A. Yalovoy

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Presents an analysis of profiling methods for the disk tool for helical surfaces. The expediency of application of the numerical method for profiling.

Keywords: profiling tool disc, helical surface.

Профилирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей (ВП) – нетривиальная задача, так как их формообразование представляет собой наиболее сложный метод касания. Задачу можно решать графическими, аналитическими и графоаналитическими методами.

Графические методы [1] имеют сравнительно низкую точность расчётов и большую трудоемкость построений. Аналитические методы [2, 3], построенные на свойствах линий касания поверхностей и использующие нормали или касательные, дают большую точность, но имеют свои недостатки. Во-первых, требуются предварительные расчёты углов нормалей или касательных для всех участков профиля ВП, что усложняет подготовку исходной информации. Во-вторых, при решении уравнения касания необходимо исследовать интервал поиска корней для выбора требуемого. В-третьих, формальное применение аналитических методов без анализа условий формообразования не гарантирует получение заданного профиля ВП, так как может иметь место подрезание, для исключения которого приходится решать так называемую обратную задачу профилирования.

Графоаналитические методы, например метод совмещённых сечений [4], сочетают достоинства первых двух групп методов, т. е. обеспечивают

достаточную точность при хорошей наглядности. Их перспективность повышается благодаря использованию современных CAD-систем [4, 5].

Особую группу составляют численные методы профилирования, которые получили практическое применение сравнительно недавно [5–7]. По сути они являются аналитическими, не требуют нахождения нормалей и касательных к поверхностям, расчёты реализуются с помощью алгоритмов и численного решения уравнений. В статье рассматривается модификация одного из таких методов, рассмотренного в работе [7]. В предлагаемой методике численного профилирования учтены дополнительные аспекты решения, позволяющие упростить ввод исходной информации и анализ результатов с помощью визуализации всех этапов расчёта. В качестве программного средства реализации используется среда Matlab.

Для аналитического описания используем координатную схему профилирования (рис. 1). Ортогональная система координат XYZ связана с винтовой поверхностью таким образом, что в плоскости $Z = 0$ известен её профиль (торцевое сечение). Система координат $X_n Y_n Z_n$ связана с дисковым инструментом и соотносится с системой XYZ с помощью трёх установочных параметров: межосевого расстояния A , угла λ перекрещивания и наладочного смещения L .

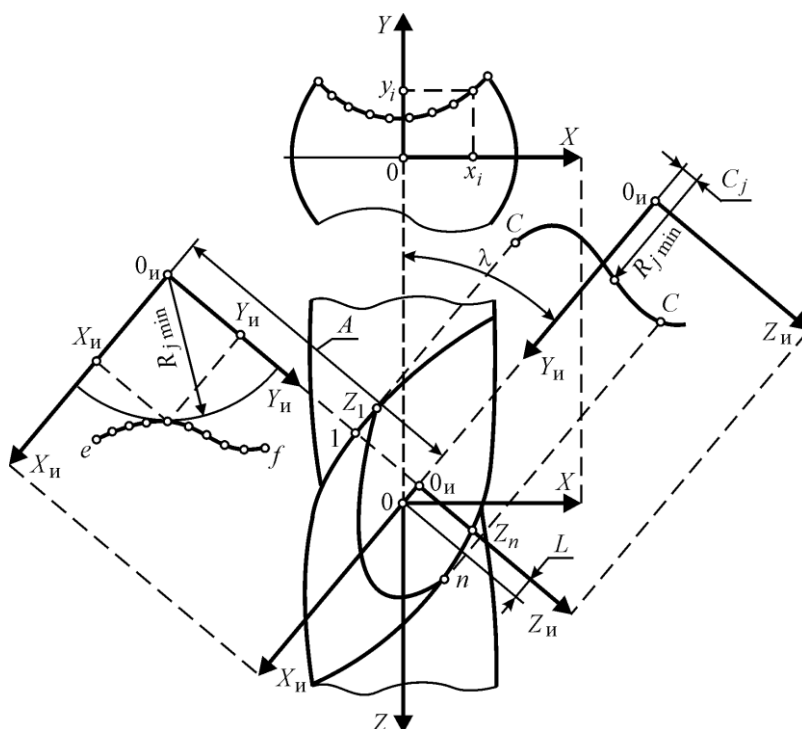


Рис. 1

Исходный торцевой профиль ВП для удобства подготовки входной информации задается опорными точками с координатами

x_i, y_i ($i = 1, \dots, n$), число n которых определяет точность расчетов. Тогда уравнения i -й винтовой линии, лежащей на ВП, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X &= x_i \cos \phi - y_i \sin \phi; \\ Y &= x_i \sin \phi + y_i \cos \phi; \\ Z &= \pm p\phi, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где p – параметр винтовой линии («+» соответствует правой винтовой линии, «-» – левой); ϕ – угловой параметр винтового движения.

Уравнения (1) при изменении i от 1 до n описывают семейство винтовых линий, образованных опорными точками профиля детали, т. е. дискретную ВП. Винтовые линии, заданные уравнениями (1), в системе $X_{\text{и}}Y_{\text{и}}Z_{\text{и}}$ дискового инструмента преобразуются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} X_{\text{и}} &= -X \sin \lambda + Z \cos \lambda + L; \\ Y_{\text{и}} &= -Y + A; \\ Z_{\text{и}} &= X \cos \lambda + Z \sin \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Задача профилирования решается на основании следующего алгоритма. В качестве исходных данных принимают семейство винтовых линий в системе координат дискового инструмента, описанных уравнениями (1) и (2). Требуется найти профиль инструмента. Для этого расsection производящую поверхность инструмента системой плоскостей $Z_{\text{и}} = C_j$ ($j = 1, \dots, m$) и в каждой из них найдем минимальный радиус $R_{j \min}$ для множества точек пересечения с i -ми винтовыми линиями. Сначала решим последнее уравнение системы (2) для всех i -х винтовых линий. После подстановки выражений (1) в уравнения (2) получим трансцендентное относительно ϕ уравнение:

$$f(\phi) = (x_i \cos \phi - y_i \sin \phi) \cos \lambda \pm p\phi \sin \lambda - C_j = 0. \quad (3)$$

Подставим полученное значение ϕ в первое и второе уравнения системы (2) и найдем координаты $X_{\text{и}}$ и $Y_{\text{и}}$ точек, в которых винтовые линии пересеклись с плоскостью $Z_{\text{и}} = C_j$. На рис. 1 эти точки образуют линию ef .

Для нахождения радиуса $R_{j \min}$ производящей поверхности инструмента в плоскости $Z_{\text{и}} = C_j$ следует определить кратчайшее расстояние от оси дискового инструмента (точка $O_{\text{и}}$) до найденных точек на кривой ef :

$$R_{j \min} = \min\{R_j\} = \min \left\{ \sqrt{X_{\text{и}}^2 + Y_{\text{и}}^2} \right\}_j.$$

Рассмотрев все значения $j = (1, \dots, m)$, получим осевое сечение $C-C$ производящей поверхности дискового инструмента в цилиндрических координатах $Z_{\text{и}}R_{\text{и}}$, где $Z_{\text{и}} = C_j$, $R_{\text{и}} = R_{j \min}$.

Приведенный численный алгоритм не использует таких характеристик взаимно огибаемых поверхностей, как касательная или нормаль. Поэтому профиль инструмента определяется однозначно, и не

требуется дополнительный анализ полученных результатов или решение обратной задачи профилирования. Важное достоинство рассмотренного метода профилирования – гарантированное отсутствие подрезания профиля ВП при обработке полученным дисковым инструментом.

Реализованный в среде Matlab алгоритм профилирования дискового инструмента для обработки ВП учитывает ряд дополнительных аспектов (рис. 2): первый – точность определения текущего радиуса производящей поверхности при прочих равных условиях зависит от числа n точек, определяющих кривую ef сечения ВП, и их расположения относительно оси дискового инструмента.

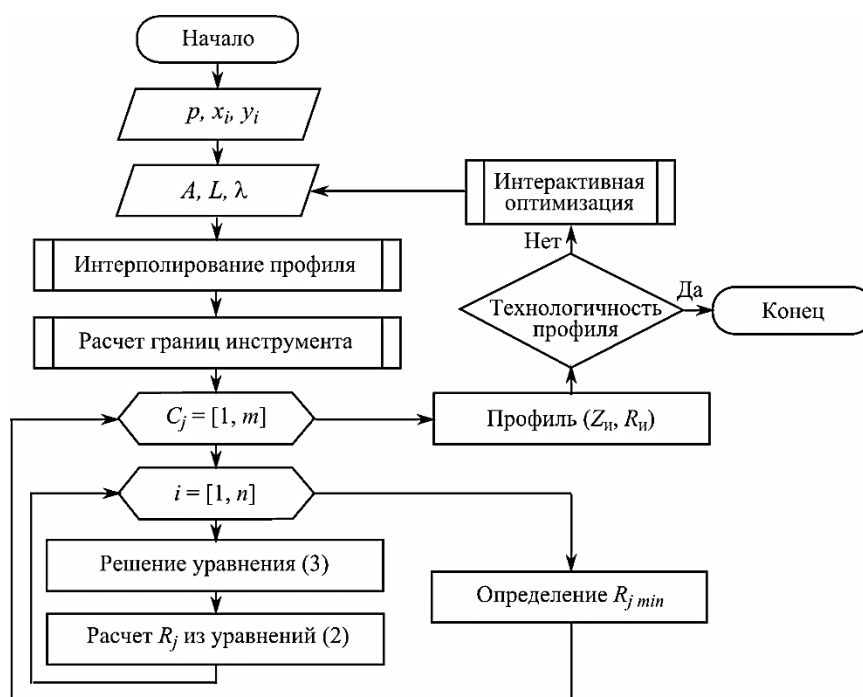


Рис. 2

Поэтому предусмотрена интерполяция исходного профиля ВП кубическим сплайном. Второй – интерактивное задание параметров установки инструмента относительно заготовки, т. е. можно визуально убедиться в отсутствии подрезания, оценить степень заострения профиля и его глубину. Если полученный профиль инструмента в каком-либо отношении признается неудовлетворительным, то расчёт повторяется при других параметрах наладки.

Список литературы

1. Кирсанов Г.Н. Профилирование инструментов с винтовой исходной инструментальной поверхностью для обработки винтовых поверхностей / Г.Н. Кирсанов // Вестник машиностроения. – 1977.– № 7. – С. 54-57.
2. Режущий инструмент / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 528 с.

3. Лашнев С.И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей / С.И. Лашнев.–М.: Машиностроение, 1965.– 150 с.
4. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов / В.С. Люкшин. – М.: Машиностроение, 1968. – 370 с.
5. Перепелица Б.А. Автоматизированное профилирование режущих инструментов (теория и алгоритмы): учеб. пособие / Б.А. Перепелица.– Харьков: ХПИ, 1985. – 107 с.
6. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории / С.П. Радзевич. – Киев: Растан, 2001. – 592 с.
7. Погораздов В.В. Геометро-аналитическая поддержка технологий формообразования винтовых поверхностей: учеб. пособие / В.В. Погораздов, О.В. Захаров. – Саратов: СГТУ, 2004. – 72 с.

УДК 621.822

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ХОЛОДНОЙ РАСКАТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВТУЛОК И КОЛЕЦ

О.С. Тягнибедина

*СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
Тел. (8452) 998631; E-mail new.pochta@pochta.ru*

Произведен обзор методов получения кольцевых деталей с использованием обработки металла давлением. Приведены достоинства и недостатки некоторых из них. Описаны технологические возможности сферодвижной штамповки.

Ключевые слова: обработка давлением, деформация, валки, раскатка, кольца, металл, формообразование.

USE OF METHODS OF COLD EXPANSION FOR PRODUCTION OF DETAILS OF TYPE OF BARRELS AND RINGS

O. S. Tyagnibedina

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The review of methods of receiving ring details with use of processing of metal by pressure is made. Merits and demerits of some of them are given. Technological capabilities of sferopressing stamping are described.

Keywords: processing by pressure, deformation, rolls, expansion, rings, metal, shaping.

Существуют разнообразные методы получения кольцевых деталей с использованием обработки металла давлением. На данный момент современного развития науки и техники в области технологии машиностроения наблюдается большое разнообразие технологий производства кольцевых заготовок. Каждая из этих технологий обусловлена конкретными параметрами конструкции колец и рядом других технических и организационных факторов.

При выборе из числа различных методов главными критериями считаются: технологическое направление каждого способа на использование конкретного типа болванок заготовок, специализация заводов на выпуске определенных конструктивно-размерных групп колец, оснащенность оборудованием.

Наиболее предпочтительными являются методы, позволяющие получать бесшовные заготовки [1], поскольку при соединении стыковой сваркой структура металла в сечении кольца становится неоднородной и это сильно сказывается на прочностных характеристиках колец.

Методом холодной раскатки [2,3] можно получать кольца простого и сложного профиля с высокой геометрической точностью. Чтобы получить кольцевые детали, используется, как правило, одна из двух основных разновидностей раскатки: радиальная или торцовая. И в том и в другом вариантах вероятно применение опорных роликов, которые не участвуют в процессе формообразования, а лишь направляют и поддерживают заготовку. Кроме того, имеется комбинированная схема, предложенная ВНИИметмаш, при которой обеими парами раскатных валков одновременно осуществляется и радиальная и торцовая деформация.

При изготовлении колец с жестко ограниченными размерами профиля поперечного сечения используется закрытая схема деформирования. Так как пространство между раскатными валками при этом ограничено, то на размеры исходной заготовки также накладываются жесткие ограничения. В других вариантах целесообразнее применять открытую схему раскатки. На рис. 1 показан способ получения ступенчатого кольца радиальной раскаткой.

На принципе торцевой раскатки основана и сферодвижная штамповка (рис. 2). Способ сферодвижной штамповки позволяет получать тонкостенные детали с толщиной стенки до 22 мм и шероховатостью не более Ra 0,08. Главная отличительная особенность способа – вращение при раскатке наклонной оси пуансона вокруг вертикальной оси матрицы.

Размеры раскатываемых колец могут также ограничиваться помимо основного раскатного инструмента либо вращающимися вместе с деталью оправкой или обоймой (рис. 3), либо обкатывающими поверхность детали дополнительными валками [4].

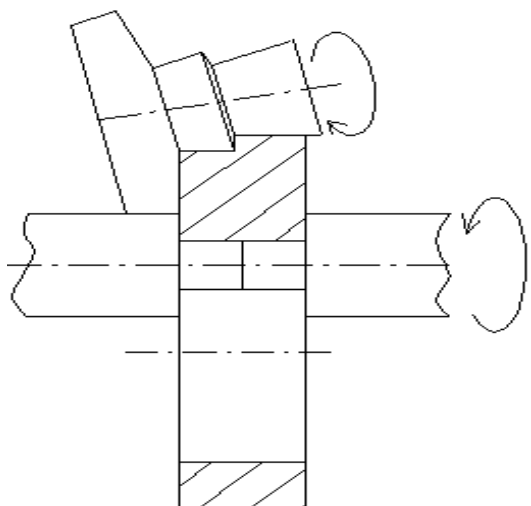


Рис. 1. Холодная раскатка колец

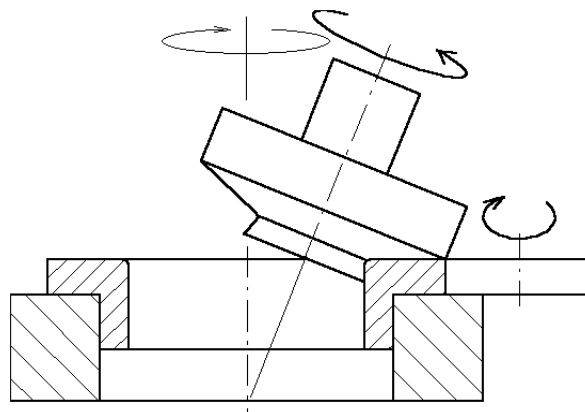


Рис. 2. Сферодвижная штамповка

Вращение заготовке передается, как правило, от матрицы. Деформирующие валки при этом могут быть вовсе без привода (рис. 4).

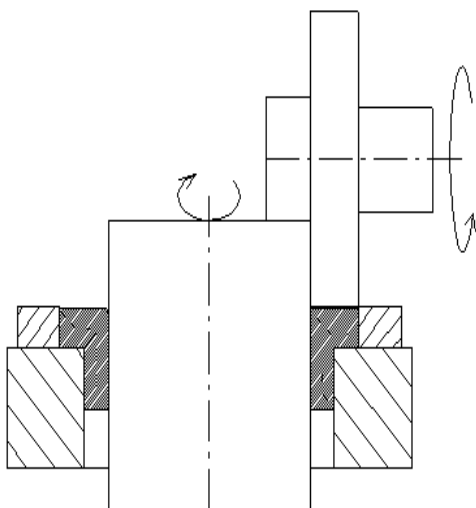


Рис. 3. Торцовая раскатка колец

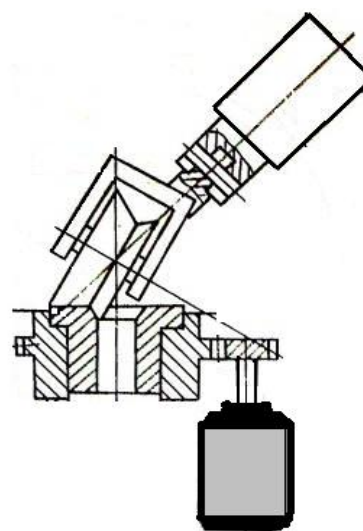


Рис. 4. Привод раскатной установки

Несмотря на многообразие схем раскатки, сам процесс деформации подчиняется одним и тем же законам. Степень деформации во всех случаях ограничена и зависит в большей степени от свойств обрабатываемого металла. Поэтому вопрос применимости той или иной схемы обработки требует, прежде всего, анализа исходных заготовок.

Список литературы

1. Оленичев В.А. Исследование процесса формообразования из листового материала кольцевых заготовок колец подшипников методом

вывертывания / В.А. Оленичев, В.Ю. Анненков, В.В. Болкунов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2003. – С. 50-54.

2. Королев А.В. Возможности холодной раскатки при обработке металлов / А.В. Королев, В.А. Мелентьев, А.А. Никифоров // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2004. – С. 135–137.

3. Мелентьев В.А. Совершенствование технологии изготовления кольцевых деталей методом объемной холодной пластической деформации / В.А. Мелентьев // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы Межгосударственного науч.-техн. семинара. – Вып. 20. – Саратов: Сарат. ГАУ, 2008. – С. 34-36.

4. А. с. 841711 СССР, МКИ В 21 D 19/02. Устройство для получения бурта на деталях типа тел вращения / Ф.А. Борисов, Н.С. Гладышев, В.П. Ситников, И.Т. Речкалов, М.Ф. Лысаков, В.В. Петрунин, В.А. Борисова. – Оpubл. 30.06.81. Бюл. № 24.

Секция 3

Автоматизация и управление системами и технологическими процессами

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ INTERNET OF THINGS И BIG DATA

М.А. Герасименко

*Московский институт электроники и математики Национального
исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва,
Россия, Тел. +7(917)529-53-23; E-mail magerasimenko@gmail.com*

Исследуются современные технологии, такие как Big Data и Internet of Things, а также возможности, которые они предоставляют. Проведены обзор и анализ средств, позволяющих работать в данной области: облачные сервисы для хранения больших данных и способ их обработки.

Предложен вариант совместного использования технологий Big Data и Internet of Things.

Ключевые слова: беспроводные технологии, облачные сервисы, сенсорные данные, Internet of Things, big data, управление и обработка данных.

INTERACTION OF TECHNOLOGIES INTERNET OF THINGS AND BIG DATA

M.A. Gerasimenko

*Moscow State the National Research University «Higher School of Economics»,
Moscow, Russia*

This research provides the strategy of using two modern directions such as Big Data and Internet of Things and their various opportunities. There are the overview and analysis of tools which helps to work in this area: cloud services for data's storage and its monitoring.

The new using option, linking technologies Big Data and Internet of Things, is represented in this work.

Keywords: wireless technologies, cloud services, internet of things, big data, control and processing data.

Введение

Совместное рассмотрение двух трендов, таких как «Internet of things» и «Big Data», становится все более очевидным в последнее время. Большой объем неструктурированных данных, требующий обработки и стремительно увеличивающийся, является серьезной проблемой, которую необходимо решить. В данной работе обосновываются актуальность и необходимость использования технологий «Internet of things» и «Big Data», а также приводится один из вариантов их использования.

Актуальность темы исследования

По данным компании Intel [1], к 2020 году число устройств, подключенных к сети Интернет, увеличится на 300%, а к 2016 году объем неструктурированных данных будет составлять 90% от всех обрабатываемых. Таким образом, возникает необходимость задуматься над тем, какие из этих данных стоит хранить и обрабатывать, чтобы извлечь из этого пользу, а какие будут только бесполезно тратить вычислительные мощности Data центров.

Сейчас активно ведутся исследования в этой области, и согласно исследованиям компании Cisco, бизнес-возможности рынка, который охватывают «Big Data» и «Internet of things», составляют \$14,3 трлн.

Существуют различные технологии и способы использования облачных баз данных для хранения и обработки информации, полученной от «Internet of things», которые являются компонентами IoT. По мнению специалистов [2], основным компонентом IoT является система RFID (Radio Frequency Identification), которая идентифицирует места назначения и передает данные между ними. Способ автоматической идентификации RFID подразумевает под собой считывание данных для последующей обработки со специальных RFID-меток.

Данные, передаваемые в облачные хранилища, можно разделить на 5 категорий:

1. Данные, полученные от сенсоров.
2. Мультимедийные данные, полученные от приложений.
3. Данные о местоположении, полученные от GPS.
4. Метаданные и дескрипторы, описывающие атрибуты определенного объекта, для того, чтобы определить его тип.
5. Управляющие сигналы.

Сбор данных является важным аспектом работы с информацией. Одним из способов получения данных является использование «Internet of things», которые являются компонентами IoT и представляют собой совокупность датчиков. «Internet of things» не только собирают информацию локально, но и передают ее другим устройствам для анализа и обработки, то есть можно сказать, что именно они создают трафик, который превращается в данные для анализа средствами Big Data.

Инструменты и технологии

Для того чтобы хранить и обрабатывать большие объемы неструктурированных данных, нельзя использовать средства и технологии, которые применяются для работы со стандартными базами данных. Известной технологией для подобных целей является Hadoop, которая использует компьютерные кластеры при работе с данными и парадигму MapReduce. То есть, используется несколько серверов со средними и

малыми мощностями, что позволяет сэкономить на расходах, не потеряв производительности.

В основе технологии лежит распределённая файловая система HDFS (Hadoop Distributed File System), которая обеспечивает хранение данных Hadoop сразу на нескольких узлах кластера [3]. Это позволяет снизить риск потери информации. Фреймворк MapReduce подразумевает обработку данных, состоящую из двух этапов: сначала происходит предварительная параллельная обработка на различных узлах кластера, затем обработанные данные сводятся в единый результат.

Стартапы Big Data

На сегодняшний день существует множество стартапов по Big Data. Например, анализируются поисковые запросы пользователей за большой промежуток времени, что помогает облегчить проведение маркетинговых исследований или успешно распространять рекламу.

В России уже есть несколько стартапов в области Big Data, и их можно разделить на три направления:

1. Стартапы, которые разрабатывают инфраструктуру и базовые технологии.
2. Стартапы, предоставляющие data services.
3. Стартапы, которые работают с потребителями, B2C-сегмент.

На сегодняшний день очень важно анализировать как можно большую часть информации в реальном времени для того, чтобы избежать бесполезного накопления «сырых» данных. В качестве примера такого рода разработок можно рассмотреть команду Cloudbus из Нижнего Новгорода, которая разработала систему интеллектуального управления городским транспортом и сбора информации в реальном времени.

Вариант использования

Исследования и анализ больших данных в настоящее время производятся с информацией, которая получена из социальных сетей, статистики поисковых запросов и посещений web страниц, а также прочих ресурсов, предоставляемых глобальной сетью. Но гораздо интереснее анализировать информацию из реального мира, которая получена от датчиков, которыми и являются «Internet of things» [4].

С помощью датчиков, установленных в автомобили, можно анализировать загруженность дорожных трасс, а также регулировать ее, путем управления светофорами на основе анализа данных о местоположении объектов. Такой сценарий прекрасно подходит для концепции IoT [5], а также является альтернативой работе обычных навигаторов, которые работают со снимками, полученными от спутников.

Установив датчики непосредственно в автомобили, можно следить за количеством аварий и тем, что послужило их причиной, поскольку для этого необходимо обрабатывать большое количество информации.

Для того, чтобы работать с сенсорными данными, хорошим решением будет использование облачных БД. Для успешного хранения и обработки данных, такие системы должны обладать хорошей масштабируемостью, чтобы работа с «Big Data» была успешной. Вот некоторые системы, которые могут использоваться для подобных целей:

- PostgreSQL – объектно-ориентированная open-source система;
- Apache Cassandra – система с индексированием столбцов, которая содержит журнал обновлений, поддерживает денормализацию и представление данных, а также мощный встроенный кэш.
- MongoDB (from «humongous») – документационная open-source система, написанная на C++. Лидер среди баз данных типа NoSQL;
- IOTMDB – также базируется на принципе NoSQL.

Заключение

В статье рассмотрено взаимодействие двух технологий: Internet Things и Big Data, обоснована актуальность их использования на сегодняшний день.

Предлагается вариант их совместного использования, а также приведены основные средства и инструменты, которые позволяют в дальнейшем развиваться и работать в этом направлении.

Данное научное исследование (проект № 14-05-0064) выполняется при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015 гг.

Список литературы

1. Aertebjerg J. Presentation: Business opportunities from IOT and Big Data / J. Aertebjerg // Enterprise Solution Sales Intel EMEA, December 2012. – P. 26.
2. Thi Anh Mai Phan Cloud Databases for Internet-of-Things Data// Aalto University School of Science Degree Programme in Security and Mobile Computing // Master's Thesis Espoo, June 25, 2013.– P. 70
3. Технология Hadoop // Практический опыт и экспертиза DIS-Group [Электронный ресурс] http://www.dis-group.ru/files/hadoop_ot_dis_group.pdf
4. Rolich A. A graphical user interface toolkit for the Web of things / A. Rolich // Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2013), Moscow: JSC «TECHNOSPHERA», 2013. – P. 294 – 303.
5. Восков Л. С. Интернет вещей / Л.С. Восков // Новые информационные технологии: тез. докл. XX Междунар. студ. конф. – школы-семинара. – М.: МИЭМ, 2012. – С. 89-94.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНТОВЫХ СРЕДСТВ ВНУТРИ НАУЧНО-УЧЕБНОЙ ГРУППЫ

А.Ю. Ролич

*Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г.Москва, Россия
Тел. +7 (903) 240-23-30; E-mail rolich-ay@yandex.ru*

Предлагается метод распределения грантовых средств внутри научно-учебной группы. Рассматривается возможность автоматизации процесса распределения средств посредством использования интернет-технологий. Исследование проводилось на базе научно-учебной группы «Теоретические основы энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Ключевые слова: грант, научно-учебная группа, беспроводные сенсорные сети, энергоэффективность, автоматизация.

AUTOMATION DISTRIBUTION OF GRANT FUNDS IN EDUCATIONAL RESEARCH GROUPS

A.Y. Rolich

*National Research University «Higher School of Economics»,
Moscow, Russia*

This paper proposes a method of allocation of grant funds within the scientific and academic groups. We consider the allocation process automation through the use of Internet technologies. The study was conducted on the basis of scientific and educational group «Theoretical Foundations of energy efficient wireless sensor networks», National Research University «Higher School of Economics».

Keywords: grant, scientific study group, wireless sensor networks, energy efficiency, automation.

Основная часть.

В настоящее время наблюдается тенденция привлечения студентов и молодых специалистов к активной научной деятельности, создаются научно-учебные группы под руководством опытных ученых. Такие группы обычно финансируются из фондов университетов по грантовой системе. После получения коллективных грантов на определенные научные исследования возникает вопрос о распределении финансовых средств. Исследование проводилось на базе научно-учебной группы «Теоретические основы энергоэффективных беспроводных сенсорных

сетей» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [1].

Среди основных статей расходов можно выделить:

1. Средства для публикаций в научных журналах, входящих в перечень ВАК и базы цитирования РИНЦ, WoS, Scopus.
2. Средства для организации участия члена научного коллектива в конференциях, в том числе международных.
3. Средства для организации процесса исследований (оборудование, программное обеспечение, расходные материалы).
4. Средства для поиска недостающих компетенций.
5. Средства для стимулирования и поощрения активности научных сотрудников.

В данной статье будет рассмотрено распределение средств для стимулирования и поощрения активности научных сотрудников. Нужно отметить, что метод распределения данных средств должен быть легко масштабируемым, т.е. применяться для любого числа сотрудников научно-учебной группы.

Для оценки активности научных сотрудников предлагается ввести систему оценки активности, в том числе ряд количественных критериев. Среди таких критериев следует выделить:

1. Публикация научных трудов.
2. Публичные выступления по тематике исследований.
3. Получение сторонних грантов.
4. Получение патентов.
5. Получение призов, премий и других наград за исследовательскую деятельность.
6. Организационные и другие виды деятельности внутри научно-учебной группы (НУГ).

Каждый из критериев предлагается ранжировать по балльной системе, представленной в табл. 1, руководствуясь [2]. В табл. 1 приведены критерии для научно-учебной группы, ведущей свои исследования по техническим направлениям.

Таблица 1. Критерии для определения доли участия члена НУГ в итоговом результате.

№ п/п	Критерий	Балл
	Монографии	
1.	Монография, изданная на русском языке	13
2.	Монография, изданная зарубежным издательством, кроме изданий на русском языке	13

Продолжение таблицы 1

3.	Монография, ранее опубликованная в РФ, перевод которой издан зарубежным издательством	15
	Главы (разделы) в монографиях	
4.	Глава (раздел) в монографии, изданной на русском языке	6
5.	Две и более глав (разделов) в монографии, изданной на русском языке	8
6.	Глава (раздел) в монографии, ранее опубликованной в РФ, перевод которой издан зарубежным издательством	7
7.	Две и более глав (разделов) в монографии, ранее опубликованной в РФ, перевод которой издан зарубежным издательством	9
	Статьи	
8.	Статья в российском журнале, входящем в перечень ВАК	6
9.	Перевод статьи, изданной российским научным журналом, представленный в иноязычной версии зарубежного журнала, включенного в WoS/Scopus	8
10.	Статья в зарубежном журнале	6
11.	Статья в зарубежном журнале, индексируемом WoS/Scopus	8
12.	Статья в прочих зарубежных журналах, не индексируемых WoS/Scopus (не входящих в список недобросовестных издательств/журналов Scholarly Open Access http://scholarlyoa.com или в список изданий, не учитываемых при начислении надбавок в НИУ ВШЭ)	6
13.	Статья в научном издании (сборнике)	5
14.	Две статьи в научном издании (сборнике)	6
	Статьи в электронных научных журналах	
15.	Статья в электронном рецензируемом научном журнале	6
16.	Статья в прочих электронных журналах	4
	Препринты, научные доклады, труды конференций	
17.	Препринт (Working Paper), изданный зарубежным университетом или международной организацией	5
18.	Препринт, изданный российской научной организацией или российским ВУЗом	3
19.	Доклад (статья) в сборнике трудов конференций, включённом в WoS/Scopus	4

Окончание таблицы 1

20.	Два доклада (статьи) в одном сборнике трудов конференций, включённом в WoS/Scopus	6
21.	Доклад (статья) в сборнике трудов внешней конференции (региональная, всероссийская, международная)	2
22.	Два и более докладов (статей) в одном сборнике трудов внешней конференции (региональная, всероссийская, международная)	3
23.	Доклад (статья) в сборнике трудов конференций внутри организации/ВУЗа	1,5
24.	Два и более докладов (статей) в одном сборнике трудов конференций внутри организации/ВУЗа	2
Патенты		
25.	Патент РФ на полезную модель	6
26.	Патент РФ на изобретение	8
27.	Патент РФ на промышленный образец	10
28.	Международный патент	17
Гранты, призы, премии, дипломы, победы в конкурсах и др.		
29.	Грант	5
30.	Победа в региональном конкурсе научно-исследовательских работ и инновационных проектов на территории РФ	3
31.	Победа во всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ и инновационных проектов	5
32.	Победа в международном конкурсе научно-исследовательских работ и инновационных проектов	7
33.	Участие в конкурсах и выставках (при наличии подтверждающих документов)	1

Процесс распределения грантовых средств среди членов научно-учебной группы будет представлять собой процесс вычисления доли вклада каждого члена в итоговый результат. Он заключается в трех этапах:

1. Этап вычисления количества баллов каждого члена научно-учебной группы, согласно критериям, представленным в табл. 1:

$$S_k = \sum_{n=1}^p M_{kn}, \quad (1)$$

где S_k - сумма баллов для k-го члена научно-учебной группы; M_{kn} - количество баллов, набранное k-м членом научно-учебной группы и соответствующее n-му критерию; p - количество критериев.

2. Этап вычисления общего количество баллов в научно-учебной группе:

$$SUM = \sum_{k=1}^m S_k, \quad (2)$$

где S_k - сумма баллов для k -го члена научно-учебной группы; SUM – общее количество баллов в научно-учебной группе; k – номер члена научно-учебной группы; m – общее количество членов научно-учебной группы.

3. Этап вычисления доли вклада каждого члена научно-учебной группы:

$$C_k = \frac{S_k}{SUM} = \frac{\sum_{n=1}^p M_{kn}}{\sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^p M_{kn}}, \quad (3)$$

где C_k – доля вклада каждого члена научно-учебной группы в итоговый результат.

Для вычисления итоговой суммы поощрения научного сотрудника предлагается сопоставить размер гранта и долю вклада научного сотрудника в итоговый результат. Таким образом, итоговая сумма поощрения вычисляется:

$$P_k = C_k \times G, \quad (4)$$

где C_k – доля вклада каждого члена научно-учебной группы в итоговый результат; G – размер гранта; P_k - итоговая сумма поощрения k -го члена научно-учебной группы.

После формирования системы ранжирования критериев и описания процесса распределения грантовых средств предлагается приступить к процессу автоматизации распределения средств на основе разработанного метода. Система представляет собой веб-сайт, подключенную базу данных и алгоритмы взаимодействия между модулями сайта. Критерии и соответствующие баллы заносятся в базу вручную, таким образом, существует возможность изменения критериев в соответствии с направлением исследований научно-учебной группы.

В базе данных присутствует 5 сущностей:

1. Пользователи – члены научно-учебной группы.
2. Критерии – описание критериев и соответствующие баллы.
3. Период – отчетный период, на время которого выделено финансирование.
4. Материалы – материалы, которые подаются членами научно-учебной группы.
5. Группы – научно-учебные группы. Таких групп может быть несколько.

Схема базы данных приведена на рис. 1.

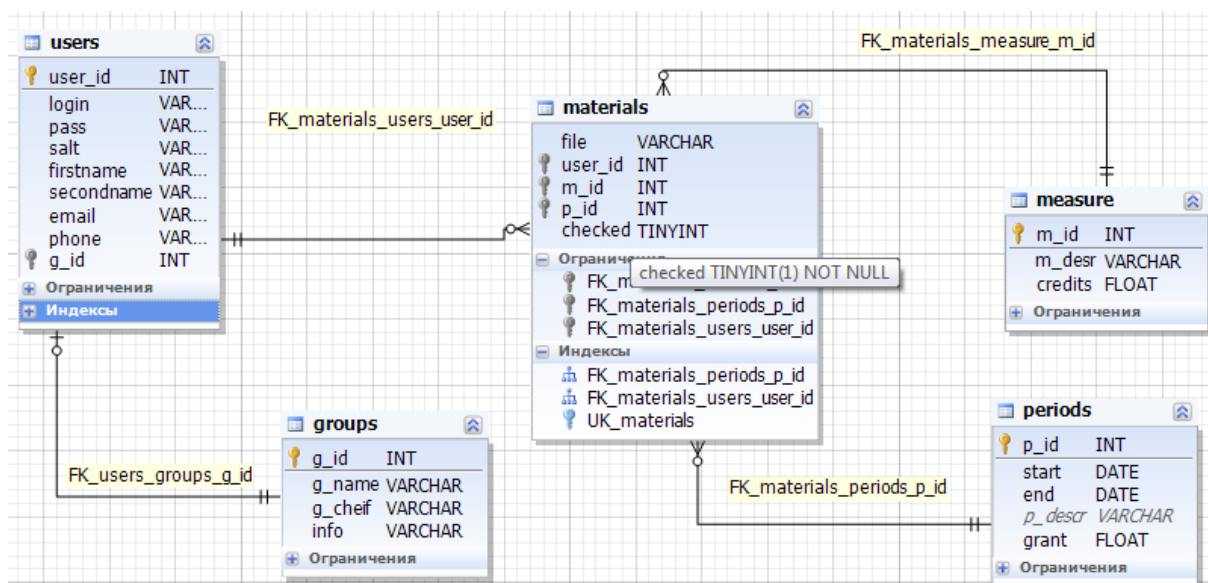


Рис. 1. Схема базы данных

Пользователь в своем личном кабинете (член НУГ) должен загрузить последовательно материалы, выбрав соответствующий критерий. После этого данные материалы будут храниться в базе данных до тех пор, пока администратор (руководитель НУГ или ответственное лицо) не проверит поданные материалы на корректность и соответствие критериям. На основании результатов проверки система определит количество баллов, которое необходимо назначить за поданный материал. После этого происходит автоматический пересчет долей членов научно-учебной группы. Пользователь своевременно получит визуализацию распределения грантовых средств среди членов научно-учебной группы.

Дальнейшее развитие системы:

1. Разработка модулей статистики и модифицированной визуализации (графики и таблицы по каждому критерию).
2. Автоматическое формирование списка достижений каждого члена научно-учебной группы и научно-учебной группы в целом.
3. Разработка модулей для формирования отчетности за период о достигнутых научных результатах.

Заключение.

В данной работе был рассмотрен метод распределения грантовых средств внутри научно-учебной группы. Были предложены механизмы автоматизации процесса распределения грантовых средств внутри научно-учебной группы. Была спроектирована схема базы данных автоматизированной системы и описаны варианты использования системы. Приведены перспективные пути развития системы.

Данное научное исследование (проект № 14-05-0064) выполняется при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015 гг.

Список литературы

1. Научно-учебная группа «Теоретические основы энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей» [Электронный ресурс] URL: <http://www.hse.ru/org/hse/wsn/> (дата обращения 15.06.2014)
2. Приложение к приказу НИУ ВШЭ от 25.02.2014 № 6.18.1-01/2502-03

УДК 681.516.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

О.В. Авдеева, А.Д. Семенов

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия
тел: (8412) 368210, E-mail: rasuma@mail.ru*

Для повышения быстродействия и помехоустойчивости экстремальной системы управления процессом электроэрозионной обработки предложено использовать экстремальную комбинированную систему с местной обратной связью по активному сопротивлению межэлектродного зазора. В основе алгоритма поиска экстремума лежит рекуррентная процедура метода наименьших квадратов, в результате которой оценивается коэффициент передачи объекта, а затем с помощью прямых методов поиска нуля функции находится его нулевое значение.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, экстремальная характеристика, алгоритм поиска экстремума, метод наименьших квадратов.

AUTOMATING OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS USING METHODS EXTREME-SEEKING COMBINED CONTROL

O.V. Avdeyeva, A.D. Semenov

Penza State University, Penza, Russia

To improve performance and immunity extremum-seeking process control system electrical discharge machining is proposed to use a combined system with extreme local feedback active resistance of the interelectrode gap. Encouraged to use extremum-seeking algorithm to maintain peak performance of electroerosive process profiling. Algorithm is based on recursive least squares procedure in which result a transfer coefficient of the

facility is estimated, and then it is used direct methods for search of zero of function.

Keywords: electroerosive processing, extreme response, extremum-seeking algorithm, least squares method.

Электроэрозионная обработка широко применяется для изменения размеров металлических изделий сложной конфигурации из твердых сплавов, а также для профилирования алмазных шлифовальных кругов. Использование экстремального регулирования при электроэрозионной обработке позволяет в значительной степени повысить производительность и снизить энергопотребление.

Широкое применение экстремального регулирования сдерживается тем, что процесс электроэрозионной обработки носит стохастический характер, особенно это относится к процессу профилирования алмазных кругов. Особый интерес представляет использование комбинированного экстремального управления, при котором применение внутренней обратной связи позволяет не только повысить точность и быстродействие системы, но и существенно уменьшить уровень действующих на систему возмущений, парируя их в контуре обратной связи.

Для повышения производительности, стабильности и снижения энергопотребления процесса электроэрозионной обработки предлагается использовать экстремальное комбинированное управление.

На рис. 1 представлена организационная структура АСУ ТП электроэрозионного профилирования, где приняты следующие обозначения: APC – advanced process control (усовершенствованное управление); SCADA – supervisory control and data acquisition (диспетчерское управление и сбор данных); z – межэлектродный зазор; I – ток, выделяемый в межэлектродном зазоре; U – напряжение, выделяемое в межэлектродном зазоре; ω_1 – скорость вращения электрода инструмента; φ – угол поворота алмазного круга; x – линейное перемещение алмазного круга; Q – производительность (съем материала); E – энергопотребление; $p_{БР}$ – стабильность процесса.

Анализ методов управления технологическим процессом электроэрозионного профилирования позволил установить, что основной причиной, снижающей производительность, стабильность и повышающей энергопотребление данного процесса, является невысокое значение мощности, выделяющейся в межэлектродном зазоре. Установлено, что основное влияние на мощность в межэлектродном зазоре оказывают как электрические, так и электромеханические параметры, которые, в свою очередь, напрямую зависят от управляющих параметров процесса электроэрозионного профилирования. Определяющими факторами, влияющими на технологические показатели, являются оптимальное

поддержание межэлектродного зазора и амплитуды напряжения генератора импульсов.

Разработку алгоритмов предлагается осуществлять с использованием традиционных систем защиты и базового управления, дополняя их APC – управлением с использованием методов поиска экстремума (максимума) управляемого параметра (мощности в межэлектродном зазоре), интегрируя их в SCADA – систему.

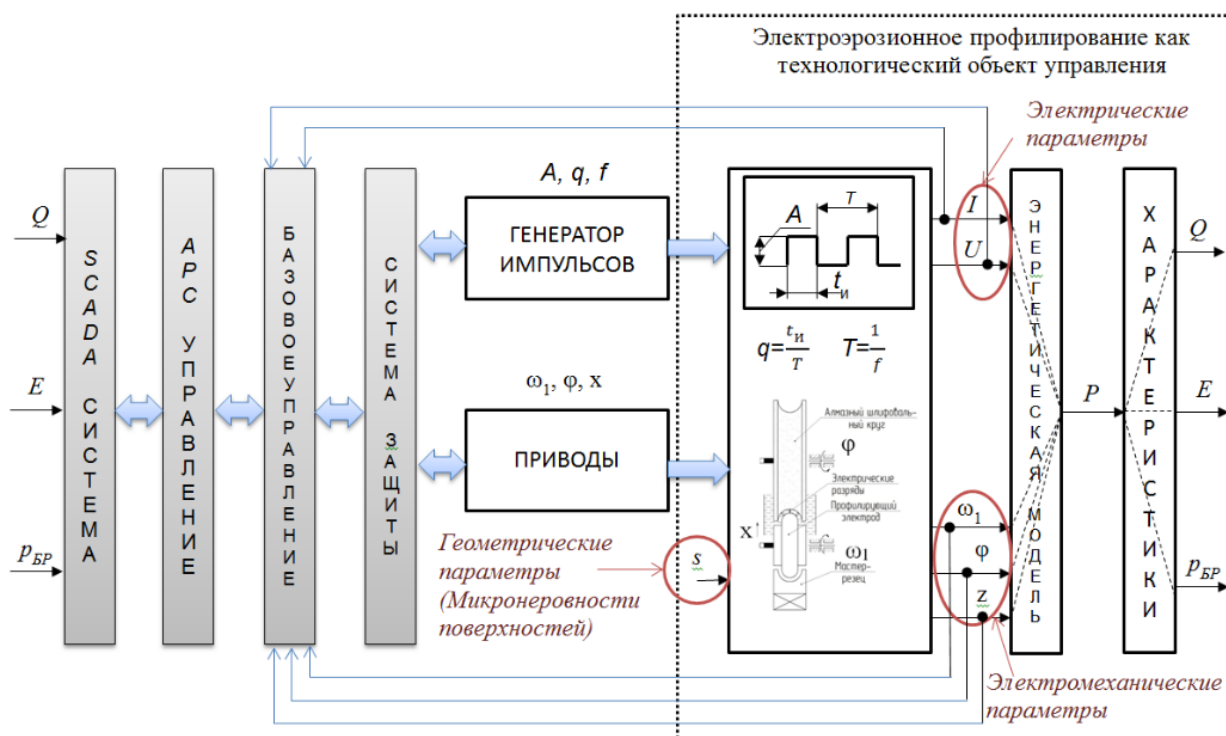


Рис. 1. Организационная структура АСУ ТП электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов

Организационная структура АСУ ТП электроэрозионного профилирования позволяет декомпозировать обобщённую модель этого процесса на три части: модель поверхности алмазного круга, электромеханические модели приводов, электрическую модель межэлектродного зазора.

Для построения топологической модели использовались режущие профили рабочей поверхности алмазного круга. Было проведено ее сканирование профилографом-профилометром «Сейтроник».

Далее было проведено выделение регулярной составляющей с помощью метода сингулярного разложения (SVD-разложения), а выделение случайной составляющей – с помощью метода формирующего фильтра.

Первые четыре собственных вектора разложения представлены на рис. 2, здесь же показана аппроксимация векторов разложения гармоническими составляющими.

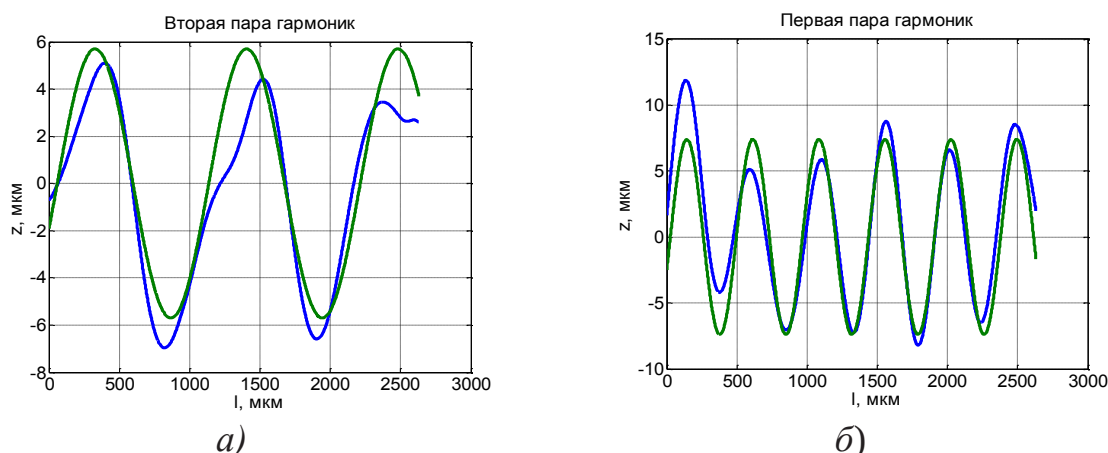


Рис. 2. Гармонические составляющие при сингулярном разложении профилограммы режущего профиля алмазных шлифовальных кругов

Модель случайной составляющей представлена моделью стационарного и эргодического случайного процесса, полученного методом формирующего фильтра. На рис. 3,а показан фрагмент смоделированной поверхности алмазного круга, на рис. 3,б – фрагмент профиля этой поверхности, непосредственно взаимодействующего с профилем электрода-инструмента. В результате моделирования и экспериментальных исследований были получены профили поверхности круга различной зернистости, непосредственно влияющие на значение межэлектродного зазора в процессе электроэрозионной обработки.

Разработаны модели электропривода вертикальной подачи профилирующего электрода на основе обобщенной теории электрических машин. Механическая часть привода представлена двухмассовой упруго-диссипативной моделью.

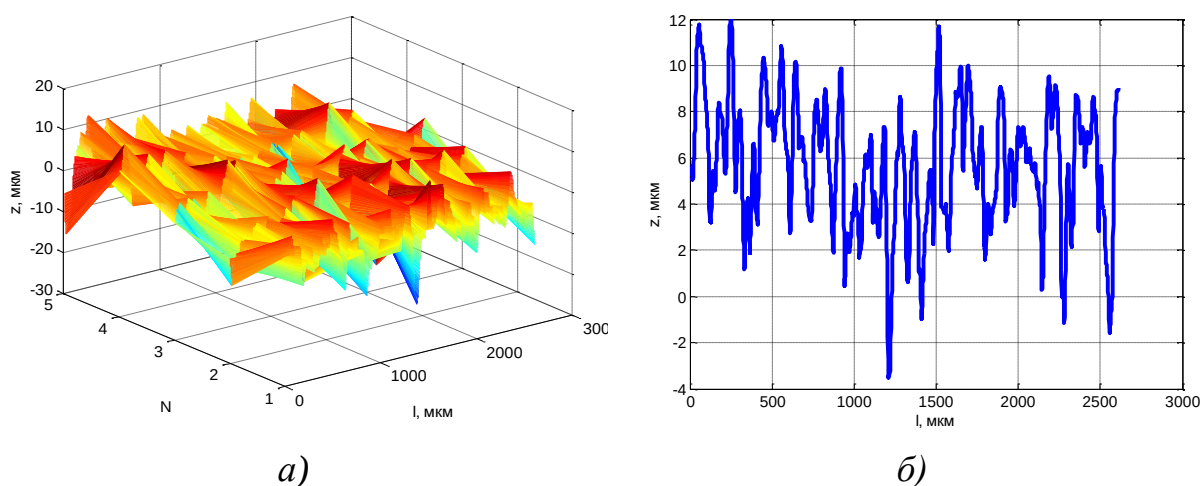


Рис. 3. Фрагмент модели поверхностей алмазного круга (а) и фрагмент профиля модели алмазного круга (б)

В результате анализа модели установлено, что время разгона электропривода вертикальной подачи электрода составило 0,01 с, а

позиционирование привода вертикальной подачи электрода на 425 мкм – 0,11 с. Параметры электрической схемы замещения межэлектродного зазора определялись исходя из осциллограмм токов и напряжений, экспериментально снятых при разных значениях межэлектродного зазора с последующей их обработкой с помощью пакета System Identification Tool, входящего в Matlab.

В результате исследований выявлена нелинейная зависимость активной составляющей полного сопротивления межэлектродного зазора $R_2(z)$, зависящей от его значения z :

$$R_2(z) = \frac{az}{b-z}, \quad (1)$$

где a , b – коэффициенты, зависящие от электрических параметров схемы замещения межэлектродного зазора; z – значение межэлектродного зазора.

Результаты моделирования представлены на рис. 4, где $z_{пр}$ – предельное значение межэлектродного зазора, при котором еще возникает электрический разряд; U_{xx} – напряжение холостого хода; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания.

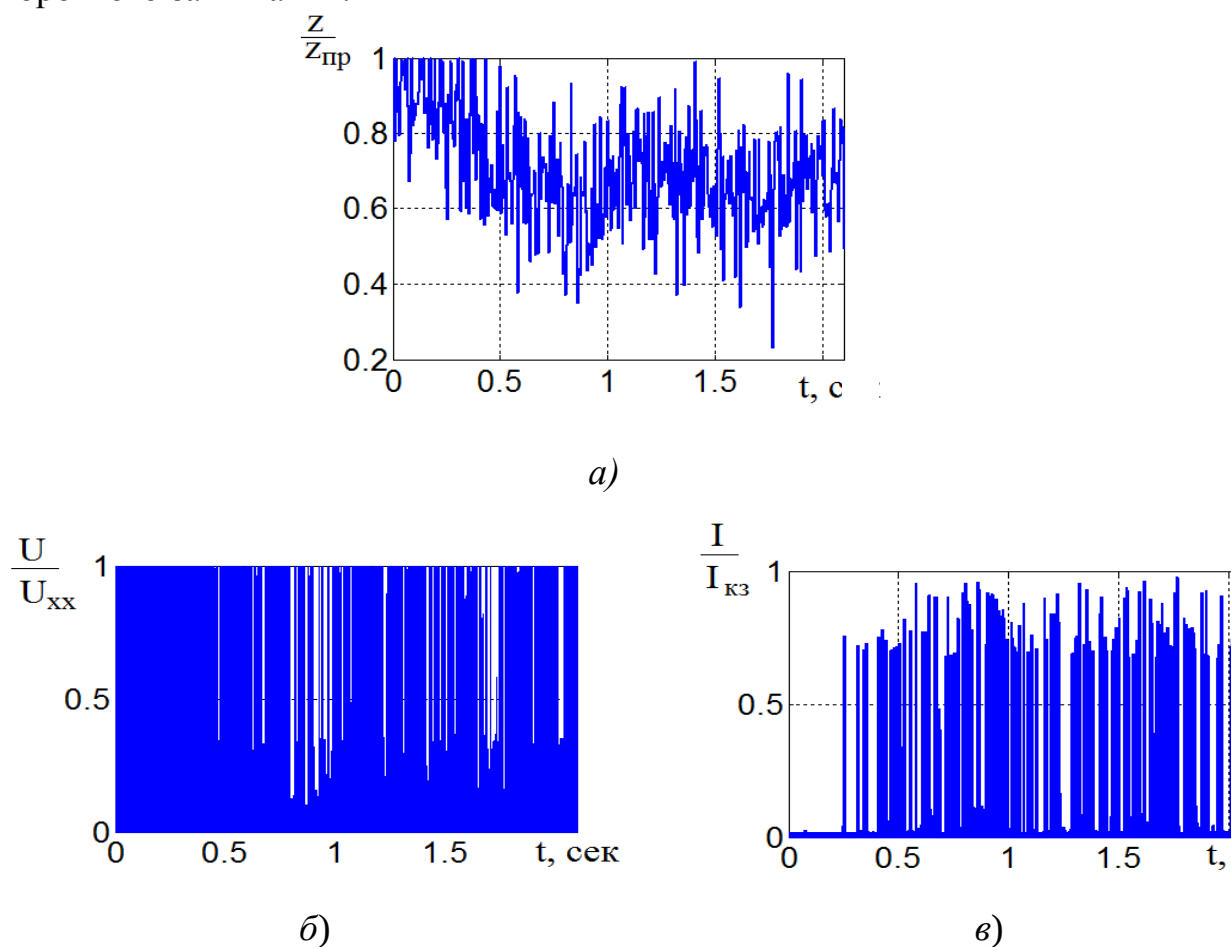


Рис. 4. Осциллограммы переменных динамической модели процесса электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов: межэлектродный зазор (а), напряжение (б) и ток (в), выделяемые в межэлектродном зазоре

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что *Simulink*-модель адекватно отражает реальные электродинамические процессы, происходящие при электроэрозионном профилировании алмазных шлифовальных кругов.

Исследования, проведенные на разработанной модели, позволили установить:

- увеличение шероховатости алмазного круга приводит к уменьшению экстремального значения мощности, не изменяя положение экстремума, равного половине предельного зазора, при котором еще возникают разряды (рис. 5,а);

- несогласованность внутреннего активного сопротивления генератора технологических импульсов и активного сопротивления зазора приводит к снижению мощности, выделяемой в зазоре, и снижению экстремума без изменения его величины (рис. 5,б).

Следовательно, для отдачи максимальной мощности в зазор необходимо таким образом выбирать амплитуду разрядных импульсов, чтобы межэлектродный зазор был равен половине его предельного значения (рис. 6).

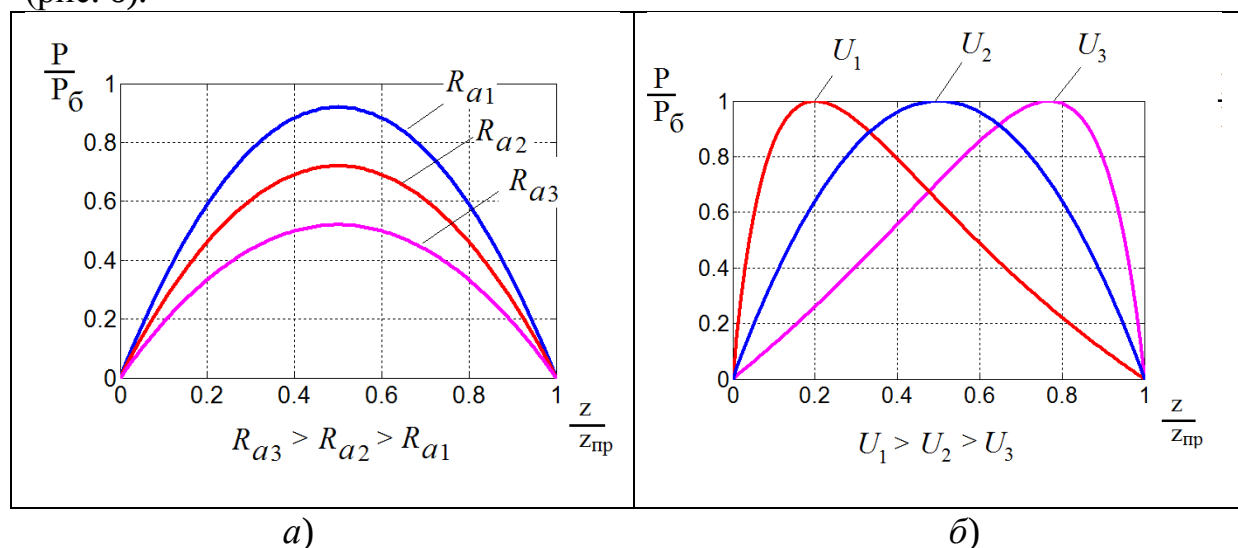


Рис. 5. Смещение экстремальной статической характеристики:
характеристика при различных шероховатостях Ra кругов (а);
характеристика при различных значениях амплитуды напряжений
генератора рабочих импульсов U (б)

Для совмещения экстремумов необходимо увеличивать амплитуду импульсов напряжения генератора рабочих импульсов. Для исследования экстремальной системы управления процессом электроэрозионной обработки разработанная динамическая модель была аппроксимирована редуцированной инерционной моделью с экстремальной характеристикой.

С наибольшей точностью данную модель можно представить моделью типа Гаммерштейна. С целью повышения производительности процесса электроэрозионной обработки предлагается использовать

экстремальный регулятор мощности. В результате исследований было установлено, что традиционные методы экстремального регулирования в рассматриваемом случае не эффективны, так как процесс электроэрозионной обработки происходит в условиях сильных помех, что приводит к «рысканию» экстремальной системы вплоть до потери устойчивости.

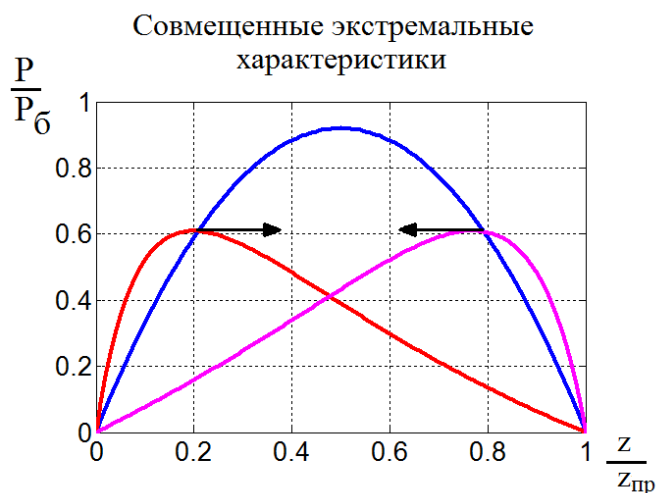


Рис. 6. Совмещение кривых

Для обеспечения устойчивости системы предлагается использовать рекуррентный алгоритм метода наименьших квадратов, с помощью которого вычисляется коэффициент передачи экстремального объекта по изменению его входной и выходной величин с последующим поиском нулевого значения этого коэффициента [2]. Алгоритм экстремального регулирования состоит из следующих этапов: 1) считывание входного и выходного сигналов с экстремального объекта; 2) вычисление коэффициентов АРСС-модели по рекуррентному методу наименьших квадратов; 3) вычисление коэффициента передачи объекта; 4) поиск управляющего воздействия, обеспечивающего нулевое значение коэффициента передачи с использованием прямых методов поиска нуля функций.

В результате моделирования работы алгоритма установлено, что он обеспечивает сходящиеся значения оценки коэффициента передачи, устойчиво удерживая объект в окрестности точки экстремума даже при наличии сильных возмущений. Относительная погрешность в определении коэффициента передачи объекта не превышает 5 %, отклонение системы от точки экстремума не более 24 % при отношении сигнал/шум, близком к единице. Время поиска экстремума соизмеримо со временем переходного процесса объекта регулирования.

При анализе работы экстремальной системы регулирования мощности установлено, что максимум мощности в межэлектродном зазоре будет выделяться в случае, когда активное сопротивление зазора равно

внутреннему активному сопротивлению генератора технологических импульсов. Для этого дополнительно введен внутренний контур по активному сопротивлению межэлектродного зазора R_2 . Внешний экстремальный контур регулирования обеспечивает поддержание оптимального режима профилирования в случае неустойчивости внутреннего сопротивления генератора. Структурная схема системы показана на рис. 7. Она включает в себя экстремальный регулятор (ЭР), передаточные функции привода подачи $W_{\text{ПР}}$ и его регулятора $W_{\text{рег}}$, а также объект управления, состоящий из нелинейных звеньев: $F_{R2}(z)$ – статическая характеристика, учитывающая формирование сопротивления в МЭЗ от его значения, $F_P(R_2)$ – статическая характеристика, учитывающая формирование средней мощности от величины сопротивления МЭЗ, W_P – передаточная функция, описывающая динамику процесса преобразования средней мощности, выделяемой в МЭЗ от величины его сопротивления.

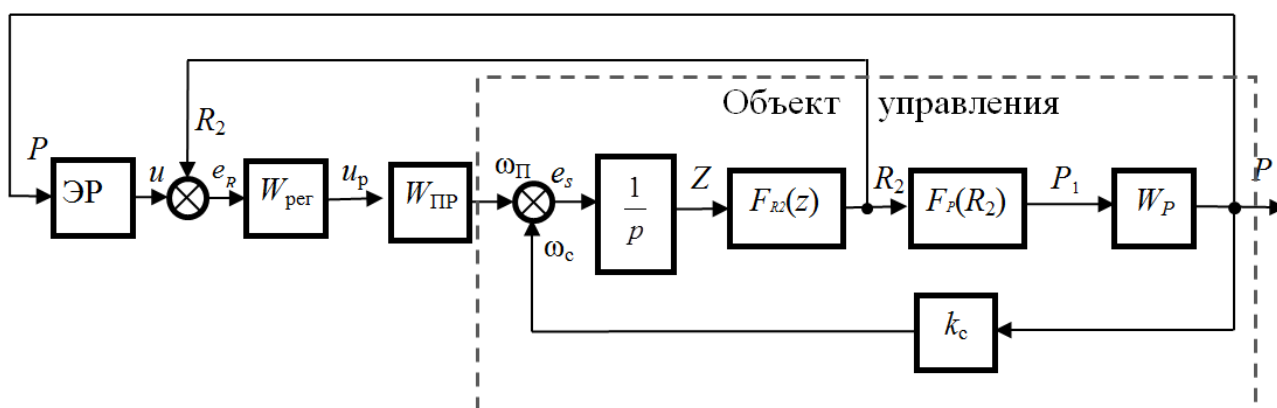


Рис. 7. Структурная схема экстремальной стабилизирующей системы с внутренней обратной связью по сьему материала

На рис. 8 приведены сравнительные характеристики экстремальной и экстремальной комбинированной систем управления.

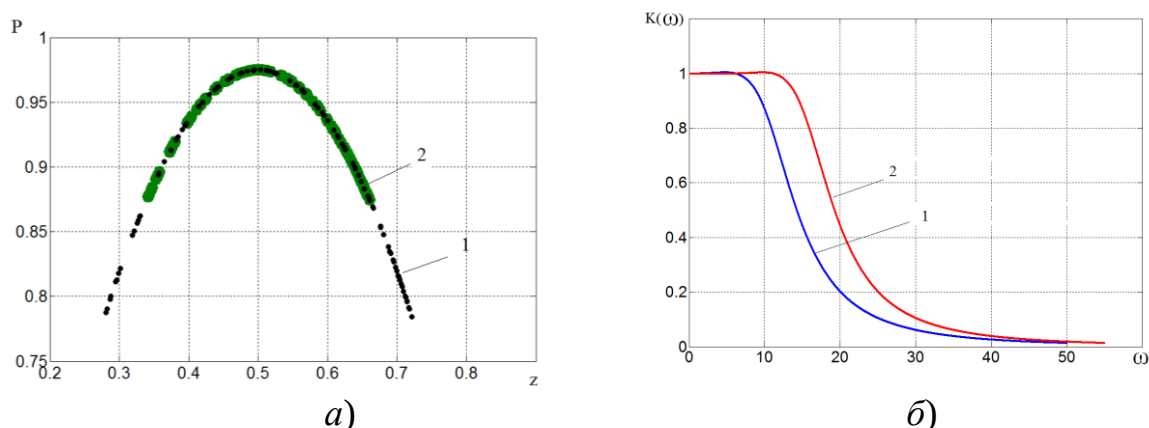


Рис. 8. Фазовые траектории в установившемся состоянии (а) и АЧХ (б) экстремальной – 1 и экстремальной комбинированной – 2 систем

Исследования, проведенные на моделях, показали, что стабильность системы с местной обратной связью по сопротивлению возросла на 18 %, 186

точность поддержания экстремума – на 16 %, производительность возросла на 20 %, энергопотребление снизилось на 10 %.

Список литературы

1. Елисеев Ю. С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / Ю. С. Елисеев, Б. П. Саушкин; под ред. Б. П. Саушкина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 437 с.
2. Семенов А.Д. Алгоритм экстремального регулирования на основе рекуррентной процедуры метода наименьших квадратов / А. Д. Семенов, О. В. Авдеева, А. С. Никиткин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 3–11.
3. Егупов Н.Д. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / Н.Д. Егупов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.

УДК 681.511.4

АЛГОРИТМ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЕРЦИОННОГО ОБЪЕКТА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ПОМЕХ

О.В. Авдеева, С.В. Никулин, А.Д. Семенов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Тел: (8412) 368210, E-mail: rasuma@mail.ru

Рассмотрен алгоритм экстремального управления инерционным объектом с запаздыванием, основанный на совмещении методов периодического поискового сигнала, синхронного накопления и гармонического анализа.

Ключевые слова: инерционный объект с запаздыванием, экстремальное управление, синхронное накопление, гармонический анализ.

EXTREMUM-SEKING ALGORITHM OF STATIC CHARACTERISTICS IN INERTIAL OBJECTS WITH DELAY AT STRONG INTERFERENCES

O.V. Avdeyeva, S.V. Nikulin, A.D. Semenov

Penza State University, Penza, Russia

Represented algorithm extreme control inertial object with delay, based on combination of methods of periodic search signal, synchronous accumulation and harmonic analysis

Keywords: Inertial object with delay, extremal control, synchronous accumulation, harmonic analysis.

Экстремальное управление инерционными объектами с запаздыванием, работающими в условиях сильных помех, основанное на традиционных методах оптимальной фильтрации [1], стохастической аппроксимации [2], методах теории статистических решений и динамического программирования (дуального управления) [3], требует определённых ограничений на характеристики объекта и действующих на него возмущений.

В связи с этим на первый план выступает задача эффективного выделения полезного сигнала на фоне сильных помех, а задача экстремального управления отодвигается на второй план.

Одним из эффективных методов фильтрации полезного сигнала является метод накопления (усреднения) [4]. При использовании этого метода наибольший эффект достигается в том случае, если полезный сигнал является гармоническим сигналом с известным периодом. Частота этого сигнала должна находиться в полосе пропускания системы и для повышения быстродействия должна приближаться к её верхней границе. Тогда его эффективное выделение достигается использованием либо корреляционного метода [5], либо метода синхронного накопления [4].

Наиболее предпочтительным представляется использование метода синхронного накопления как более простого в реализации и менее требовательного к форме входного и выходного сигналов экстремальной системы [4].

Использование метода синхронного накопления предопределяет применение методов периодического поискового сигнала для поиска экстремума. В том случае, если временное запаздывание в экстремальном объекте фиксированное, для поиска экстремума можно воспользоваться методом синхронного детектирования предварительно, с учётом запаздывания, синхронизируя фазы опорного и выходного сигналов экстремальной системы с помощью фазовращателя. В противном случае, при изменяющемся временном запаздывании, требуется использование специальных методов поиска экстремума.

Будем полагать, что объект находится в окрестностях экстремума. При значительном удалении от него переход в окрестность точки экстремума можно осуществить, совмещая методы синхронного накопления и детектирования, выбирая период опорного сигнала в несколько раз больше времени запаздывания.

При нахождении в области экстремума, в силу чётности экстремальной характеристики, в выходном сигнале экстремального объекта, вход которого модулируется гармоническим сигналом, будут

появляться чётные гармоники. Тогда экстремальное значение амплитуды второй гармоники будет свидетельствовать о нахождении системы в точке экстремума. Временное запаздывание в этом случае не будет влиять на точность определения экстремума. Кроме того, можно увеличить частоту гармонического сигнала на входе экстремального объекта, выбирая её, как уже отмечалось, около верхней границы полосы пропускания инерционного объекта.

На основании вышеизложенного предлагается следующий помехозащищённый алгоритм поиска экстремума инерционного объекта с запаздыванием.

1. Формируют гармонический сигнал, частота которого выбирается в несколько раз больше временного запаздывания в объекте, а амплитуда не нарушает его работу.

2. Модулируют вход экстремальной системы этим гармоническим сигналом.

3. Производят фильтрацию выходного сигнала методом синхронного накопления.

4. Гармоническим анализом выделяют вторую гармонику отфильтрованного выходного сигнала.

5. По фазовому сдвигу определяют направление движения к экстремуму.

6. Изменяют входной сигнал объекта до тех пор, пока в выходном сигнале не появится вторая гармоника.

7. Увеличивают частоту модулирующего сигнала, выбирая её близкой к частоте пропускания экстремального объекта.

8. Традиционными методами экстремального управления реализуют поиск максимума амплитуды второй гармоники

Для проверки разработанного алгоритма была построена Simulink-модель экстремального объекта. Объектом исследования была выбрана бумагоделательная машина (БДМ).

Известна [6] экстремальная зависимость между соотношением скоростей бумажной массы, поступающей из напускного устройства и сетки бумагоделательной машины и неравномерностью просвета бумаги. Поскольку изменение скорости бумагоделательной машины ведет к изменению технологического режима и влияет на все её системы, отношение скоростей будем задавать путём изменения скорости истечения бумажной массы, регулируя её с помощью изменения напора в напускном устройстве.

Данные о неравномерности просвета будем косвенным образом вычислять по весу бумажного полотна, измеряемого сканирующим устройством. Очевидно, что чем меньше изменение веса относительно среднего значения, тем меньше неравномерность бумажного полотна и,

следовательно, изменение дисперсии веса метра квадратного будет оценкой неравномерности просвета.

На рис. 1 приведены экспериментальные осциллограммы изменения напора, веса бумажного полотна и расчётные значения его среднеквадратичного отклонения (СКО).

Первые две осциллограммы были получены экспериментально. Расчёт осциллограммы СКО проводился по рекуррентной процедуре оценки математического ожидания и дисперсии.

В результате статистической обработки экспериментальных данных, приведённых на рис. 1, была получена экстремальная зависимость между напором напускного устройства и среднеквадратичным отклонением веса, представленным на рис. 2.

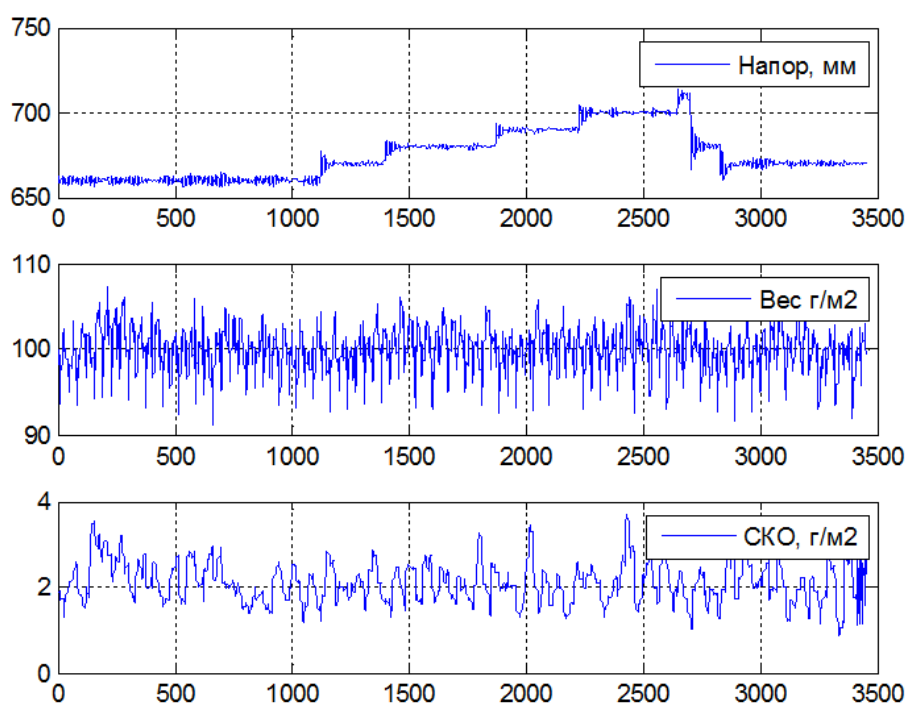


Рис. 1. Экспериментальные и расчётные осциллограммы изменения напора, веса бумажного полотна и его СКО

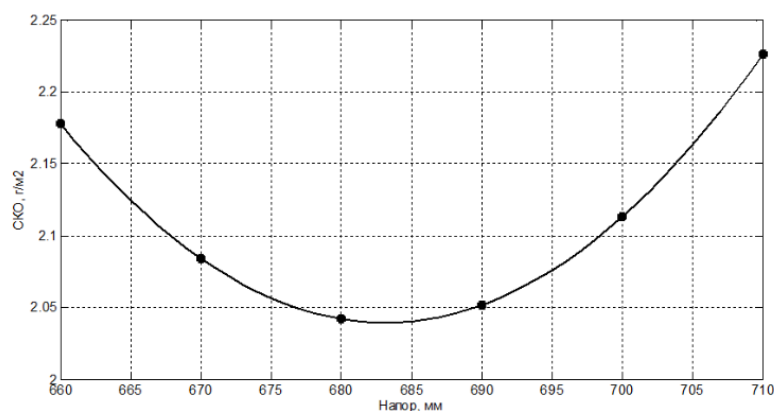


Рис. 2. Экстремальная зависимость СКО от напора

Эта экстремальная зависимость позволяет установить, что рабочий диапазон изменения СКО веса бумажного полотна при экстремальном регулировании лежит в диапазоне от 2,04 – 2,14 г/м². Фактическое изменение СКО, приведённое на рис. 1, находится в диапазоне 1 – 3 г/м², что на порядок превышает рабочий диапазон и позволяет считать, что рассматриваемый объект отвечает исходным требованиям, т.е. является инерционным объектом с запаздыванием, работающим в условиях сильных помех.

По экспериментальным данным, представленным на рис. 1, с помощью пакета System Identification Toolbox была получена модель, устанавливающая взаимосвязь между напором и СКО веса бумажного полотна. Модель включает в себя две подмодели: подмодель типа Гаммерштейна, воспроизводящую нелинейную экстремальную зависимость (рис. 2), и линейные подмодели возмущений, действующие на входе и выходе объекта. Simulink – модель такого объекта приведена на рис. 3.

Блок ограничения Saturation ограничивает входной сигнал нелинейного (экстремального) элемента в диапазоне 660 -710 мм. Нелинейный блок Fcn воспроизводит экстремальную зависимость, приведённую на рис. 2, запаздывание в объекте равно 30 с.

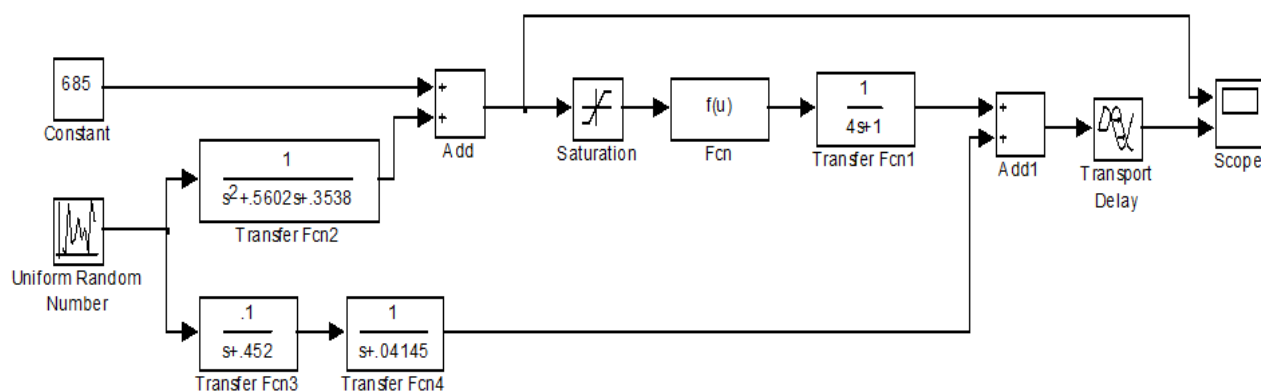


Рис. 3. Модель инерционного экстремального объекта

На рис. 4 показаны результаты моделирования, хорошо совпадающие с экспериментальными данными (рис. 1).

С помощью разработанной Simulink-модели инерционного экстремального объекта, приведённой на рис. 1, был проведён анализ помехозащищённого экстремального управления, построенного на основе предлагаемого алгоритма. Для этого на вход сумматора Add (см. рис. 3) подавался гармонический сигнал с амплитудой 10 мм и периодом 125 с, что примерно в четыре раза превышает время запаздывания.

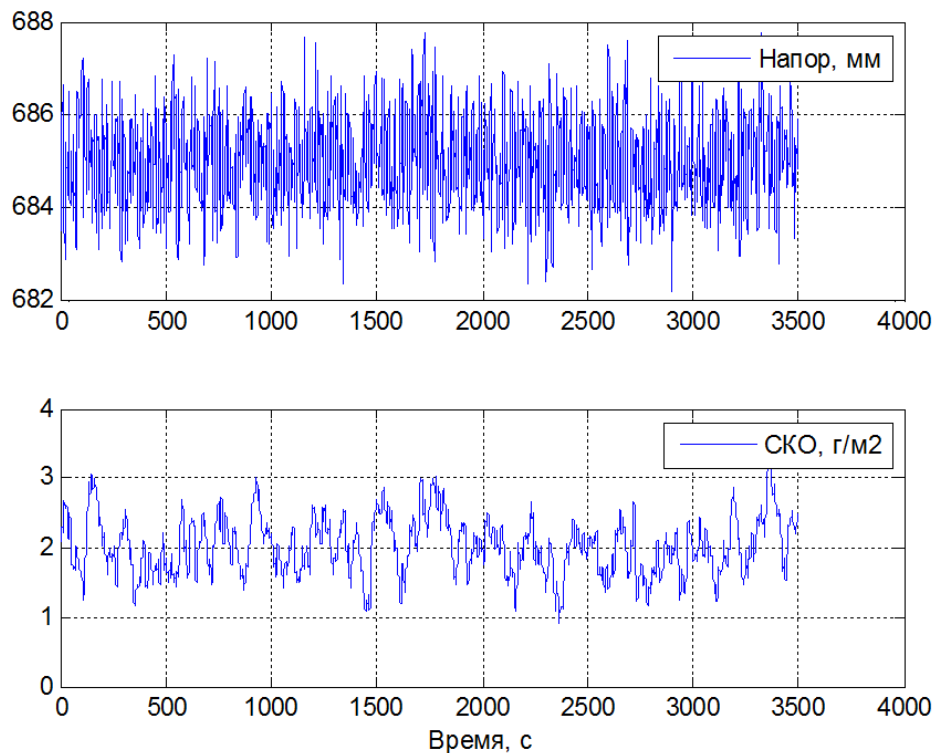


Рис. 4. Расчётные осциллограммы изменения напора и среднеквадратичного отклонения бумажного полотна

В процессе моделирования постоянный входной сигнал экстремального объекта, задаваемый блоком Constant, выбирался таким образом, чтобы рабочая точка объекта находилась справа от точки экстремума (рис. 5), в точке экстремума (рис. 6) и слева от точки экстремума (рис. 7).

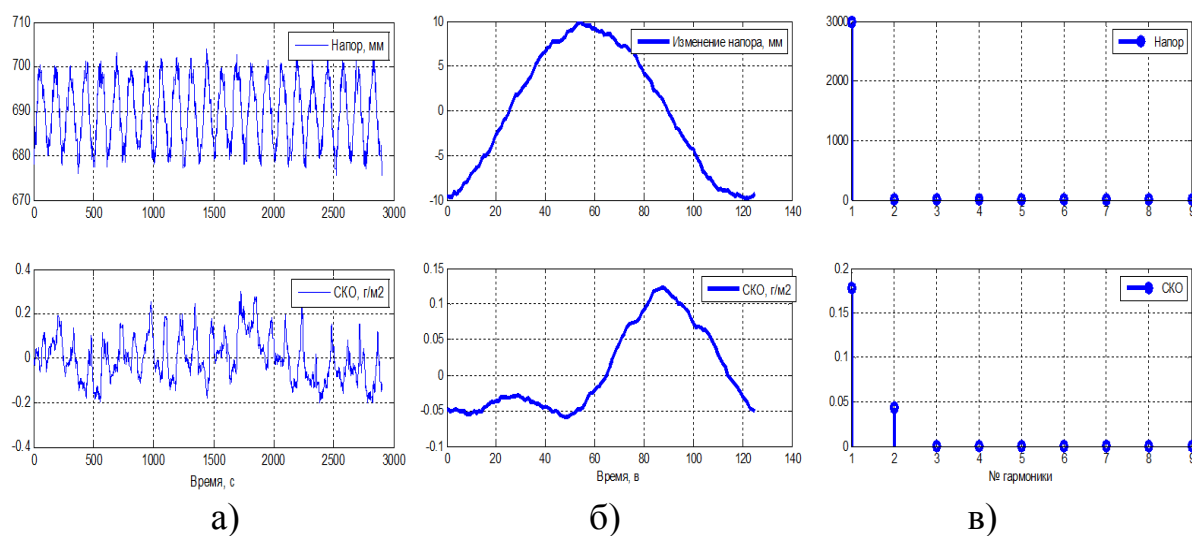


Рис. 5. Результаты моделирования при среднем значении входного сигнала больше оптимального (690 мм)

На рис. 5-7, а приведены входной гармонический и выходной зашумлённый сигналы инерционного экстремального объекта, на рис. 5-7, б – результаты синхронного накопления входного и выходного сигналов за 23 периода входного сигнала, на рис. 5-7, в – результаты гармонического анализа входного и выходного сигналов, отфильтрованных методом синхронного накопления.

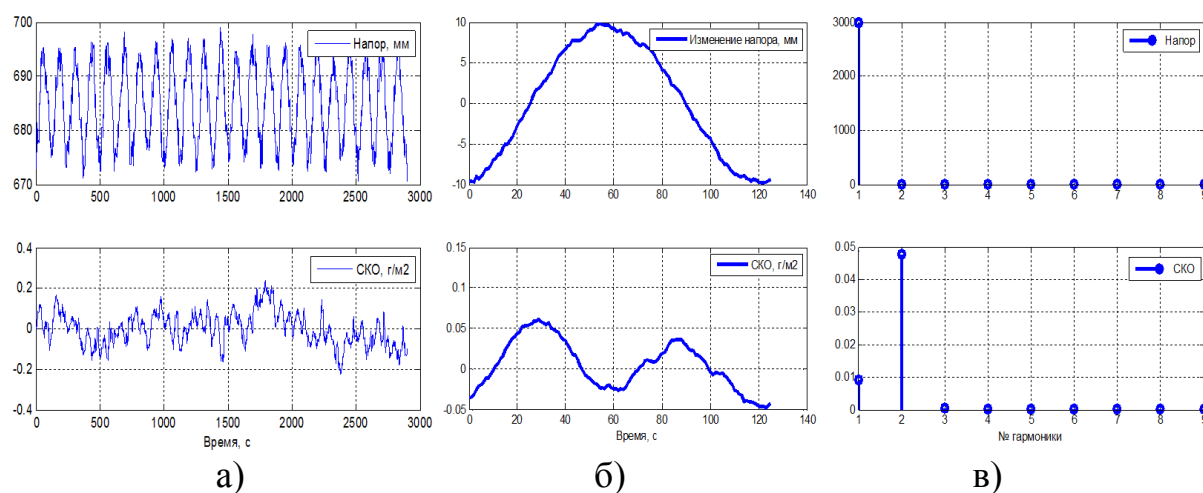


Рис. 6. Результаты моделирования при среднем значении входного сигнала, равного оптимальному (685 мм)

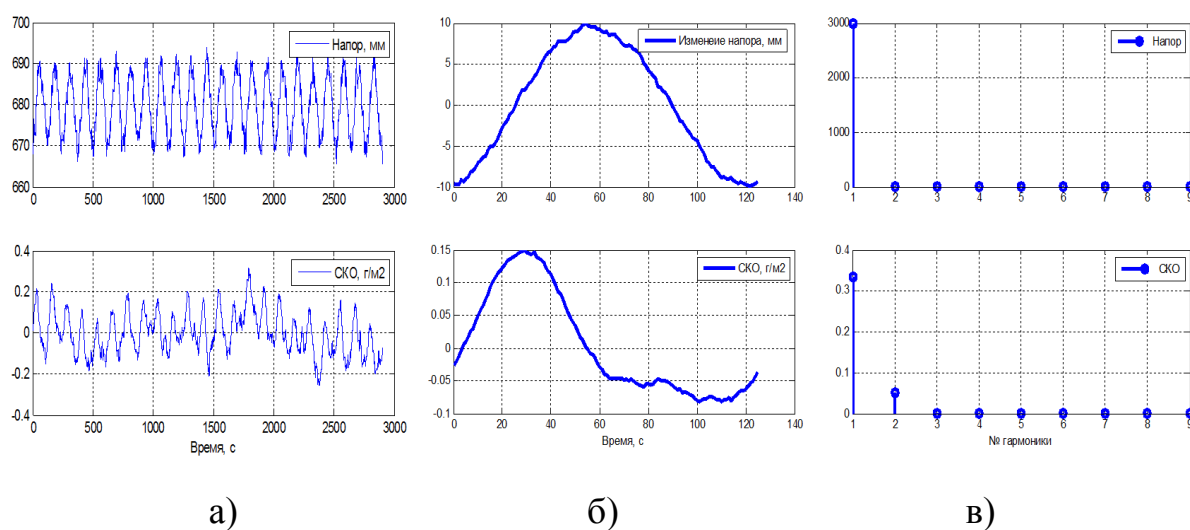


Рис. 7. Результаты моделирования при среднем значении входного сигнала меньше оптимального (680 мм)

Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного алгоритма. При нахождении в точке экстремума видно, что амплитуда второй гармоники достигает максимального значения.

Работа алгоритма проверялась на реальном объекте для оптимального значения напора, равного 550 мм (см. рис. 8), что также подтвердило эффективность предложенного алгоритма.

Экспериментально подтверждена экстремальная зависимость между соотношением скоростей бумажной массы и бумагоделательной машины и среднеквадратичным отклонением веса бумажного полотна, которое определяет степень неравномерности просвета бумаги.

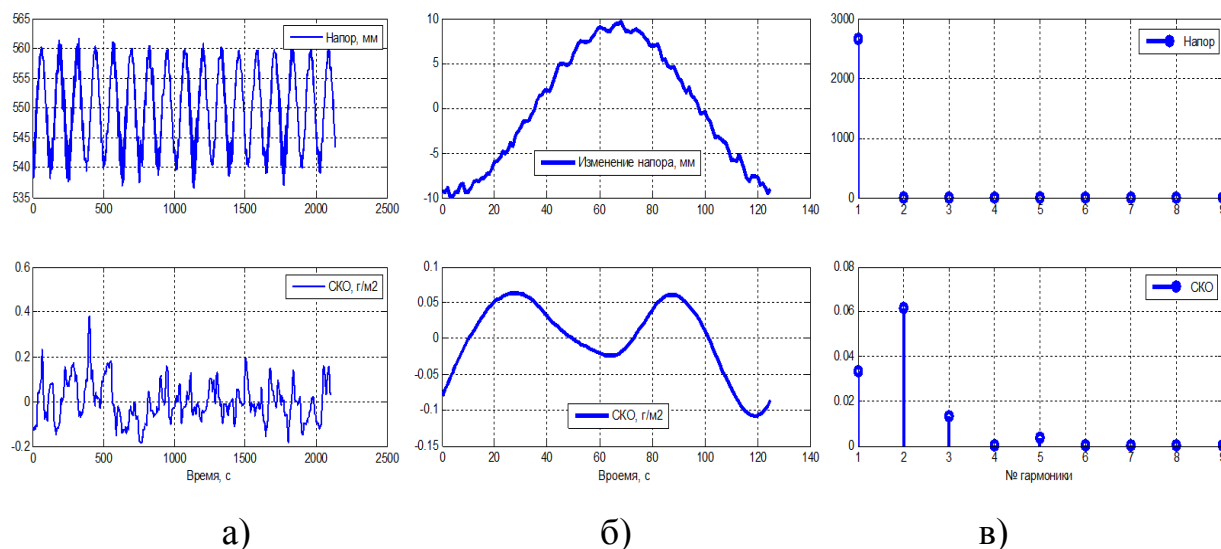


Рис. 8. Результаты моделирования при среднем значении напора, равного оптимальному (550 мм)

Разработан помехозащищённый алгоритм поиска экстремума инерционного объекта с запаздыванием, основанный на методе периодического поискового сигнала с фильтрацией помех путем синхронного накопления и последующего поиска максимума выделенной из выходного сигнала второй гармоники.

На основе моделирования и экспериментальной проверки на реальном объекте подтверждена эффективность предложенного алгоритма.

Список литературы

1. Растринин Л. А. Статистические методы поиска / А.А. Растринин - М.: Наука, 1968. – 376 с.
2. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
3. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельдбаум. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2 т. / Ж. Макс; пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
5. Зверев В. А. Выделение сигналов из помех численными методами / В.А. Зверев, А.А. Стромков. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001. – 188 с.
6. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т.II. Производство бумаги и картона. Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.

МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

М.В. Виноградов, А.А. Игнатьев, Е.А. Сигитов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г.Саратов, Россия

Тел. (8452)998664; E-mail atp@sstu.ru

Изложены результаты исследований динамических процессов, возникающих при работе мехатронной системы привода подачи в режиме стружкодробления.

Ключевые слова: мехатронная система, токарная обработка, привод подачи, стружкодробление.

MEKHATRON SYSTEM SHAVING CRUSHING AT PROCESSING ON A LATHE

M.V. Vinogradov, A.A. Ignatev, E.A. Sigitov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Results of researches, the dynamic processes arising at work mekhatron of system of a drive of giving in a mode shaving crushing are stated.

Keywords: mekhatron system, turning processing, a giving drive, shaving crushing.

С технологической точки зрения желательно в процессе резания иметь сливную стружку, поскольку она является показателем устойчивости технологической системы, обеспечивает высокое качество обработанной поверхности и гарантированную стойкость инструмента, что особенно важно при автоматизации этого процесса. В реальных условиях обработки заготовок образование сливной стружки соответствует очень узкому диапазону состояния технологической системы в процессе резания, который не всегда совпадает с рекомендуемыми режимами резания и стойкостью инструмента для обеспечения необходимой производительности [1].

Широкое применение в машиностроении станков с ЧПУ позволило использовать для управления процессом стружкообразования различные виды прерывистой (дискретной) подачи. Этот способ дает возможность получать желаемую по форме и размерам стружку независимо от режимов резания и геометрии режущего инструмента путем периодического останова или отвода инструмента от поверхности резания.

Мехатронная система следящего привода подач прецизионного токарного модуля обеспечивает повышение точностных характеристик при условии выполнения объективного прогноза процессов, оказывающих

влияние на формообразующую подсистему в зависимости от свойств каждого конкретного входящего в нее элемента с точки зрения функциональной пригодности, оптимальности выбранного решения, стабильности эксплуатационных характеристик на значительном отрезке времени, гарантирующем качество выпускаемой продукции. Беззакорность многоступенчатых фрикционных передач (МФП) позволяет оперативно реализовать управляющие воздействия, а также обеспечить возвратно-поступательные движения исполнительного органа для стружкодробления, что особенно важно для прецизионной обработки в автоматическом режиме.

Токарная обработка характеризуется образованием сливной стружки, которая, навиваясь на обрабатываемую заготовку, ухудшает качество поверхности детали и в ряде случаев может вызвать поломку инструмента. Наконец, сливная стружка затрудняет подвод технологической жидкости (ТЖ) в зону резания, вызывает нежелательное повышение температуры в ней, что, в свою очередь, не может не сказываться отрицательно на стойкости инструмента и качестве обработанной поверхности. На станках с ЧПУ сложность удаления стружки из зоны резания усугубляется тем, что оператор, как правило, не может прервать обработку при появлении неудовлетворительной формы стружки. Без дробления стружки невозможна автоматизация процесса ее удаления из рабочей зоны станка. Задача удаления стружки становится еще более важной для гибких производственных систем механообработки. Это связано с их сложностью и минимальным участием человека в технологическом процессе.

Исследования в области решения задачи дробления стружки позволили создать несколько способов и большое количество различных устройств для стружкозавивания и стружкодробления [1, 2, 3]. Способы дробления стружки подразделяются на естественные и искусственные. При естественном дроблении стружки ее разрушение происходит в результате деформации об естественные препятствия (поверхности заготовки и резца). Главной особенностью специальных резцов является наличие завивателя. Неустойчивая форма стружки требует в каждом конкретном случае индивидуальной доводки его геометрии. Такие резцы имеют увеличенные габариты, сложную конструкцию и нетехнологичны в изготовлении. Естественный способ дробления не требует усложнения конструкции станка, однако обладает низкой стабильностью. Необходимость разнообразных типов резцов и всевозможных их разновидностей делают совершенно неприменимым этот способ для дробления стружки в условиях работы станков с ЧПУ и тем более в условиях работы ГПС.

Искусственное дробление стружки предусматривает использование устройств или приспособлений, которые обеспечивают разделение или разрушение стружки. При этом тем или иным образом изменяется

кинематика процесса резания. Искусственный способ дробления стружки заключается в том, что на обычный процесс резания дополнительно накладывается колебательное движение резца или заготовки друг относительно друга. Дробление стружки может происходить либо за счет снижения подачи, что обеспечивает образование отдельных элементов стружки, либо за счет периодического изменения толщины срезаемого слоя.

Для отделения одного отрезка стружки достаточно, чтобы резец не имел подачи в течение одного оборота заготовки, что верно только для случая, когда податливость технологической системы равна нулю. В реальных же условиях из-за упругих деформаций технологической системы, наличия сил трения и т.п. будет происходить не мгновенная остановка суппорта, а уменьшение его подачи от максимального значения подачи до нуля, в результате чего сечение срезаемой стружки будет меняться. Следовательно, для обеспечения разделения стружки на отрезки необходимой длины, время остановки суппорта должно быть больше, чем время, соответствующее одному обороту детали, на какую-то величину, учитывающую все перечисленные факторы. При этом реальная производительность дискретного резания будет еще ниже в сравнении с расчетной производительностью для идеального случая, когда податливость технологической системы принимается равной нулю.

Добиться надежного дробления стружки с получением высокого качества поверхности деталей позволяет МФП привода подач токарного модуля ТПАРМ-100 в сочетании с аэростатическими направляющими. Приводы продольной и поперечной подач данного станка позволяют с большой степенью точности отрабатывать соответствующий закон движения суппорта с крепящимся на нем резцедержателем, причем с помощью данной системы стружку возможно дробить как при продольном резании, так и при торцевом точении. Таким образом, в режиме стружкодробления можно обрабатывать детали сложной конфигурации различного диаметра. Частота стружкодробления связана с числом оборотов шпинделя, т.е. при изменении числа оборотов шпинделя длина элемента стружки практически не изменяется.

Мехатронная система подачи модуля представляет собой многоконтурную упругую систему, которая определяет микро- и макрогеометрию обработанной детали. Основными характеристиками этой системы являются динамическая и установившаяся точность воспроизведения заданных воздействий и реакции на силовые возмущения. Воспроизведение заданных воздействий характеризуется точностью позиционирования поперечной и продольной кареток суппорта в рабочей зоне при различных динамических режимах и заданной траектории движения.

Передаточная функция с учетом МФП и суппорта имеет вид:

$$W^1_3(p) = W_3(p) \cdot W_n(p) \cdot \frac{1}{p} = \frac{K_{БУП} \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_{МФП}}{T_{\partial\partial} p^2 + (K_{БУП} \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_{ТГ} + 1)p} \quad (1)$$

С учетом обратной связи по положению, которую обеспечивает в данном следящем приводе лазерный интерферометрический датчик, передаточная функция записывается:

$$W_c(p) = \frac{W'(p)}{1 + W'(p) \cdot W_{инт}(p)} = \frac{K_{БУП} \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_{МФП}}{T_{\partial\partial} p^2 + (K_{БУП} \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_{ТГ} + 1)p + K_{БУП} \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_{МФП} \cdot K_{инт}} \quad (2)$$

Исходные данные для расчета передаточной функции берутся из технических характеристик элементов привода. Специальным программным обеспечением задание скорости может осуществляться различными способами, например, по трапецеидальному закону (рис.1), где V_{max} – максимальная подача, определяющая максимальную толщину стружки; V_o – фиксированная скорость отхода инструмента, обеспечивающая гарантированный быстрый отрыв стружки с учетом отжима инструмента; φ – угол поворота шпинделя, измеряемый по количеству импульсов с датчика вращения шпинделя; φ_1 – угол поворота шпинделя, во время которого происходит движение инструмента вперед; φ_2 – угол поворота шпинделя, во время которого происходит отход инструмента назад для гарантированного быстрого обрыва стружки.

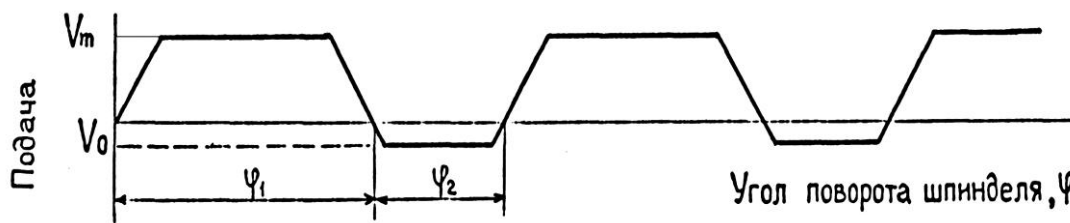


Рис.1. Вид входного воздействия на привод подачи при стружкодроблении

Движение в одну сторону, например вперед, можно разбить на три характерных участка: разгон, равномерное движение с постоянной скоростью, торможение. Перемещение вперед $S_в$ при этом можно определить по формуле;

$$S_в = \alpha t_1^2 / 2 + V_в t_2 + \alpha t_3^2 / 2, \quad (3)$$

где $V_в$ – скорость каретки вперед после разгона; α – ускорение; t_1, t_2, t_3 – продолжительность разгона, равномерного движения и торможения соответственно.

С учетом реальных возможностей МФП ускорение каретки ограничено величиной $\alpha_{max} = 500 \text{ мм/с}^2$. При скорости каретки $V_в = 1 \text{ мм/с}$ время разгона до указанной скорости составит $t_1, t_3 = V_в / \alpha_{max} = 0,002 \text{ с}$. Если принять период T равным $0,1 \text{ с}$, то движение вперед будет

осуществляться в течение времени $t_b = (T/2,5) \cdot 1,4 = 0,056$ с. На равномерное движение с постоянной скоростью остается:

$$t_2 = t_b - 2t_1 = 0,052 \text{ с.}$$

Перемещение вперед за один период составляет $S_b = 0,05$ мм. Приняв скорость движения назад V_n в три раза меньше скорости движения вперед, получим величину перемещения назад за период при том же ускорении $S_n = 0,01$ мм. Суммарное перемещение за один период можно определить $S = S_b - S_n = 0,04$ мм, что при частоте 10 Гц дает величину действительной подачи $V_{\text{действ}} = 0,3$ мм/с. Максимальная величина действительной подачи для скорости $S_b = 10$ мм/с, определенная аналогичным способом, составляет $V_{\text{действ}} = 2,36$ мм/с. Проверить приведенные расчеты можно путем регистрации сигнала, пропорционального скорости вращения двигателя привода подачи, снимаемого с тахогенератора.

На рис. 2 показана развертка поверхности детали, обработанной в условиях стружкодробления, когда скорость движения назад значительно меньше скорости движения вперед.

Экспериментальные исследования мехатронной системы привода подачи в режиме стружкодробления осуществлялись на токарном модуле ТПАРМ-100 в цехе предприятия в процессе работы. При рабочей подаче в режиме со стружкодроблением ток в цепи двигателя меняет свою величину и направление с заданной частотой.

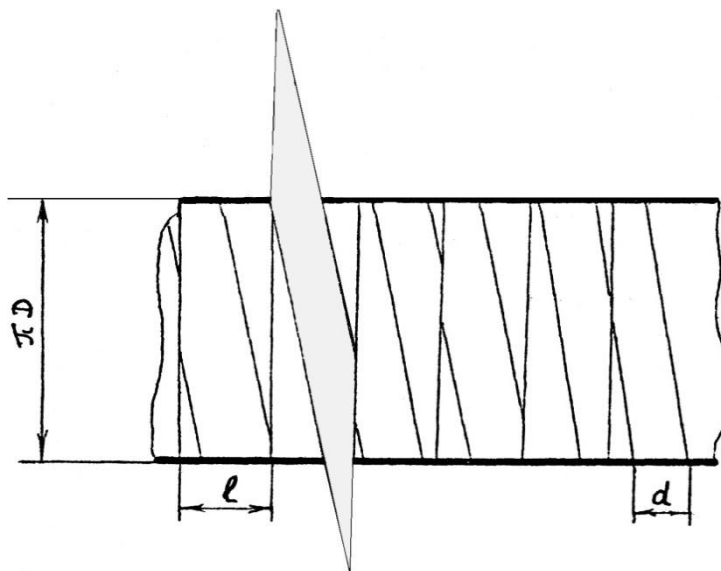


Рис. 2. Развертка поверхности детали: D – диаметр детали; l – шаг кольцевых линий; d – шаг прерывисто-винтовых линий

Скорость движения каретки вперед больше скорости движения назад. Форма получаемой дискретной стружки зависит от материала и режимов обработки (рис. 3).

Результаты экспериментально-аналитических исследований и накопленный опыт эксплуатации прецизионных токарных модулей

ТПАРМ-100 с мехатронной системой привода подачи на основе МФП позволяют сделать вывод, что в режиме стружкодробления привод подачи обеспечивает надежное дробление стружки при реверсивных формообразующих движениях суппорта с частотой до 20 Гц.

Список литературы

1. Вейц В.Л. Динамика и управление процессом стружкообразования при лезвийной механической обработке/ В.Л. Вейц, В.В.Максаров. – СПб.: СЗПИ, 2000. -160 с.
2. Лавров Н.К. Завивание и дробление стружки в процессе резания / Н.К. Лавров. – М.: Машиностроение, 1971. – 87 с.
3. Федоров В.Л. Инструментальные материалы и вопросы стружкодробления в ГПС / В.Л. Федоров, Э.Н. Дымова // Итоги науки и техники. Сер. Резание металлов. Станки и инструменты.– Т.10. –М.: ВИНТИ, 1991. – 136 с.
4. Виноградов М.В. Влияние динамических характеристик подач на процесс стружкодробления / М.В.Виноградов, Ю.С.Филиппов, А.И.Тишин // Гибкие технологические процессы и системы в механосборочном производстве: межвуз. науч. сб. – Саратов, 1988. – С. 52-55 (Сарат. политехн. ин-т).

УДК 681.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

А.К. Демидов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452)998664 e-mail: demidov.ak@jandex.ru

Дается сравнительный анализ различных методов получения механических характеристик асинхронных приводов, включая расчет, моделирование и экспериментальные исследования. Дано описание разработанного и изготовленного стенда для исследования характеристик асинхронных двигателей с частотным регулированием.

Ключевые слова: асинхронный привод, частотное регулирование, механические характеристики, лабораторный стенд.

MODELING OF THE CHARACTERISTICS OF ELECTRIC DRIVES

A.C. Demidov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

This paper presents a comparative analysis of different methods to obtain mechanical characteristics of asynchronous engines, including the calculation, modeling and experimental studies. The description of the developed and manufactured stand for research of characteristics of asynchronous engines lei with frequency regulation.

Keywords: asynchronous drive, frequency regulation, mechanical characteristics, laboratory stand.

При проектировании автоматизированного электропривода разработчик сталкивается с необходимостью выбора той или иной модели асинхронного двигателя (АД), учитывая его конкретные параметры и механические характеристики. В настоящее время разработаны и применяются весьма подробные математические модели АД, учитывающие как механическую, так и электромагнитную природу физических явлений, происходящих в них. Недостаток таких моделей в методическом отношении состоит в их сложности, трудности восприятия смысла модели, содержащей большое число электрических параметров.

Проведем сравнительный анализ нескольких методов получения механических характеристик АД со следующими техническими характеристиками:

$P_{\text{НОМ}} = 40$ Вт; $n_{\text{НОМ}} = 2700$ об/мин, $\omega_{\text{НОМ}} = 282,6$ рад/с, $\lambda_M = (M_{\text{макс}}/M_{\text{НОМ}}) = 2,2$; $p = 1$ (число пар полюсов); $f_1 = 50$ Гц (частота питающего напряжения); $U_{\text{НОМ}} = 220-240$ В.

Традиционный метод расчета по приближенной формуле Клосса связывает значения момента M и скольжения S [1]:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}, \quad (1)$$

где M_K , S_K – критические значения момента и скольжения.

На рис.1 изображена механическая характеристика, полученная путем расчета по приближенной формуле Клосса. Она имеет ряд допущений, в частности, при расчете мы пренебрегли активным сопротивлением статора и моментом инерции ротора, которые оказывают непосредственное влияние на кривую механической характеристики.

Следующий из описываемых методов лишен этих недостатков, но он более сложен в методическом отношении. Использование современных программ объектно-ориентированного виртуального моделирования систем управления требует от разработчика системы автоматического регулирования вынести готовую модель объекта, например двигателя, и задать параметры этого двигателя. К настоящему времени разработаны

весьма подробные, механодинамические модели асинхронных двигателей классического исполнения. Однако эти модели содержат в себе множество параметров, которые разработчик САР найти не всегда может.

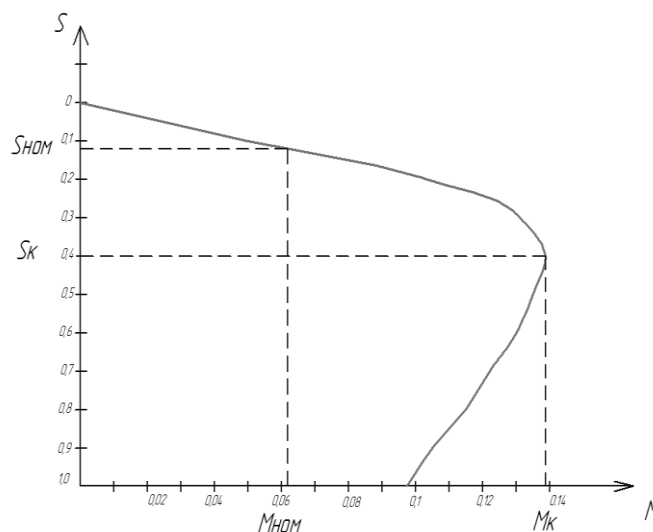


Рис.1. Механическая характеристика АД, полученная расчетным путем

Следующий из описываемых методов лишен этих недостатков, но он более сложен в методическом отношении. Использование современных программ объектно-ориентированного виртуального моделирования систем управления требует от разработчика системы автоматического регулирования вынести готовую модель объекта, например двигателя, и задать параметры этого двигателя. К настоящему времени разработаны весьма подробные, механодинамические модели асинхронных двигателей классического исполнения. Однако эти модели содержат в себе множество параметров, которые разработчик САР найти не всегда может.

Достаточно эффективно могут быть применены простые в настройке механодинамические модели, предлагаемые в данной работе, учитывающие механическую инерционность асинхронных двигателей, пренебрегая их сравнительно малой электромагнитной инерционностью. Для задания параметров такой модели вполне достаточно той информации, которая, как правило, приводится в техническом паспорте двигателя.

Аналитическое описание механодинамической модели основывается на следующих уравнениях [2].

Уравнение углового ускорения ротора (рад/с²):

$$\varepsilon = \frac{1}{J} (M - M_C), \quad (2)$$

где M - электромагнитный вращающий момент двигателя; M_C - момент сопротивления, приведенный к валу АД, J - момент инерции.

Уравнение угловой скорости АД (рад/с):

$$\omega = \int_0^t \varepsilon(t) dt. \quad (3)$$

Модифицированное выражение формулы Клосса, учитывающее влияние напряжения U , частоты f_1 сети и критического скольжения S_k на электромагнитный момент двигателя:

$$M(S, f_1, U) = \frac{2M_K \frac{(U/U_{HOM})^2}{(f_1/f_{HOM})^2}}{\frac{S_0 - S}{\Delta S_K} + \frac{\Delta S_K}{S - S_0}}. \quad (4)$$

Виртуальная объектная модель, основанная на вышеприведенных формулах и построенная в VisSim'e, приведена на рис. 2.



Рис. 2. Модель асинхронного двигателя с частотным регулированием

Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Возможны ситуации, при которых паспортные данные двигателя отсутствуют, что усложняет задачу оценки его характеристик. Известно, что момент электродвигателя есть частное мощности и скорости. Следовательно, измеряя мощность и скорость через равные промежутки времени, можно построить эмпирическую механическую характеристику АД. Для решения таких задач было разработано устройство на микроконтроллерах. Структурная схема разработанного устройства изображена на рис. 4. Один из микроконтроллеров измеряет мощность, потребляемую из бытовой сети, и вычитает из нее потери на преобразование. Второй производит подсчет скорости на выходном валу

электродвигателя с помощью бесконтактного датчика на оптопаре. Асинхронным двигателем в данной установке управляет частотный регулятор промышленного производства фирмы OMRON.

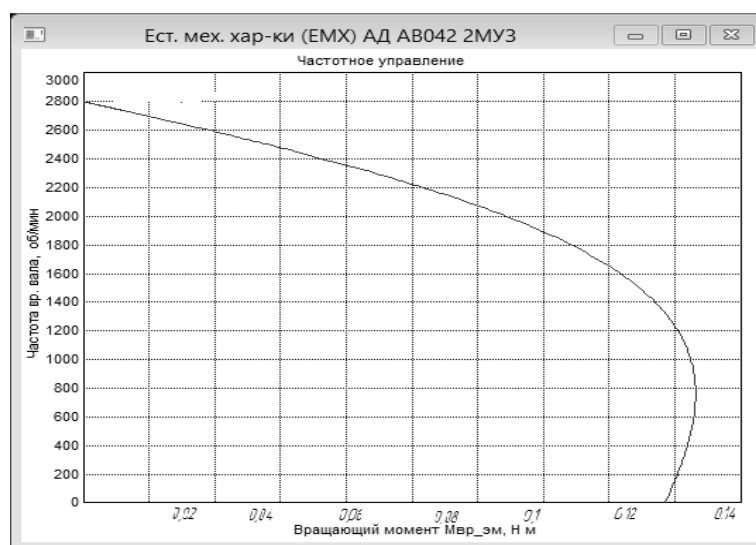


Рис. 3. Механическая характеристика АД, полученная моделированием

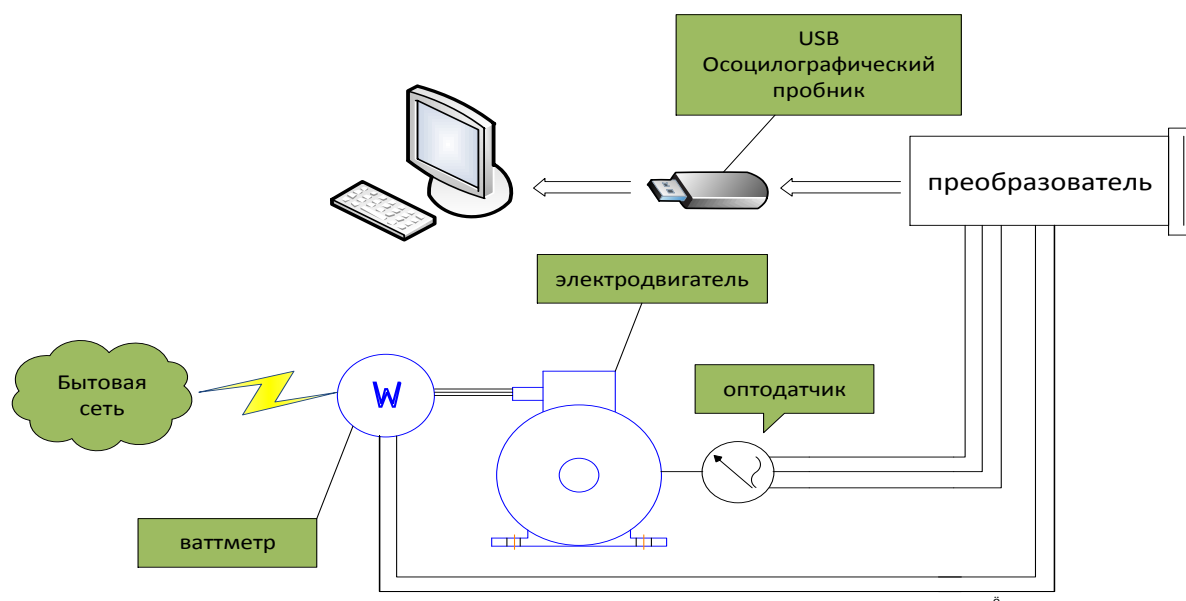


Рис. 4. Функциональная схема стенда для исследования характеристик АД

К выходам обоих микроконтроллеров присоединены ЦАП матрицы R-2R. Таким образом, напряжение на выходе ЦАП пропорционально изменяется от величины входного параметра (частоты, мощности). Это дает возможность подключения выводов ЦАП к входам цифрового измерительного устройства портативного USB двуканального осциллографического пробника, который делает выборки сигналов через равные промежутки времени по обоим каналам и строит график

зависимости значения выборки по одному каналу от выборки по другому каналу (рис. 5).

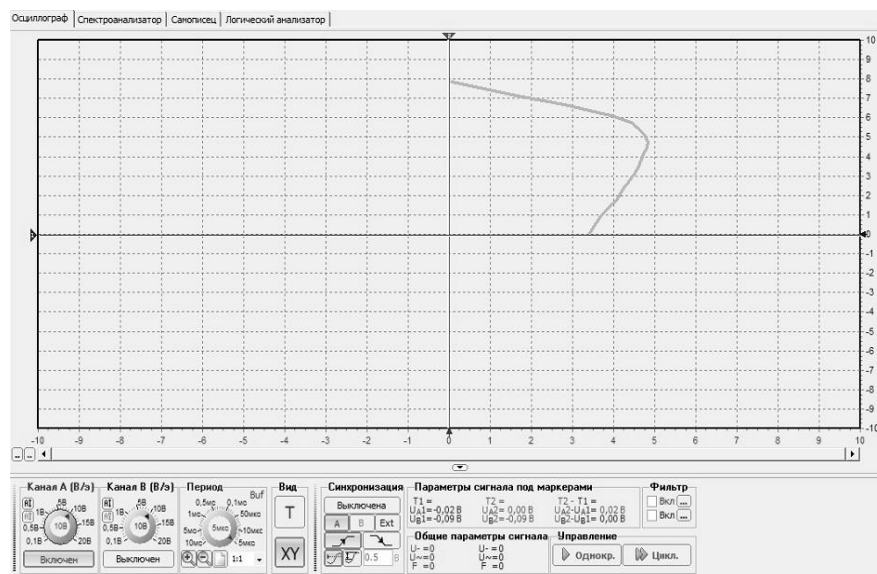


Рис. 5. Механическая характеристика АД, полученная экспериментальным путем

Анализ полученных характеристик АД показывает хорошую сходимость результатов расчета, моделирования и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Москаленко В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 368 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод / Г.Б. Онищенко. – М.: ИЦ «Академия», 2008. – 288 с.

УДК 681.51

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ МОДУЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ АДАПТАЦИИ РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ

А.С. Михайлов, Б.А. Староверов

*Костромской государственной технологической университет,
г. Кострома, Россия*

тел. (4942) 31-75-60 (175), e-mail: amt@kstu.edu.ru

Предлагается метод определения объема обучающей выборки для нейронной сети, основанный на анализе частотного спектра функции,

аппроксимированной нейронной сетью, и определении частот Найквиста. Рассматриваются перспективы применения данного метода при обучении гибридных нейрорегуляторов состояния.

Ключевые слова: гибридный нейрорегулятор состояния, преобразование Фурье, период квантования, частота Найквиста, теорема Найквиста–Шеннона.

FOURIER TRANSFORM APPLICATION FOR TRAINING SAMPLE SIZE EVALUATION FOR MODULE OF NEURAL NETWORK ADAPTATION OF CONDITION REGULATOR

A.S. Mikhaylov, B.A. Staroverov

Kostroma State Technological University, Kostroma, Russia

New method of training sample size evaluation is proposed for neural networks. Analysis of frequency content for function, which is approximated by neural network, and Nyquist frequency calculation are base of method. Application prospects for this method are described for training of hybrid condition neuroregulators.

Keywords: hybrid condition neuroregulator, Fourier transform, time step, Nyquist frequency, Nyquist –Shannon sampling theorem.

В настоящее время с появлением микропроцессорных контроллеров актуальным является развитие теории и практики применения адаптивных систем управления. Адаптивной системой управления в общем случае называется система автоматического управления, которая подстраивается под изменение параметров объекта управления в процессе работы, обеспечивая, таким образом, неизменные высокие показатели качества процесса регулирования или управления. Очевидно, что применение адаптивных систем целесообразно для управления нестационарными объектами, изменяющими свои параметры в различных режимах работы.

В адаптивной системе при изменении параметров объекта управления путем использования определенных алгоритмов осуществляется самонастройка структуры и коэффициентов регулятора. В работе [1] приводится исчерпывающая классификация существующих на сегодняшний день алгоритмов самонастройки адаптивных регуляторов. Наиболее перспективными являются интеллектуальные методы самонастройки, такие как нейросетевой метод, а также методы, основанные на использовании генетических и нечетких алгоритмов.

В работе [2] описывается концепция гибридного нейросетевого регулятора состояния. Такой регулятор представляет собой классический регулятор состояния с модулем нейросетевой адаптации (изменения) его коэффициентов при изменении параметров объекта управления (ОУ). В

основу предлагаемой концепции положен нейросетевой метод самонастройки адаптивного контроллера.

На рис. 1 приведена структурная схема адаптивной системы управления с гибридным нейросетевым регулятором состояния для объекта второго порядка. Здесь приняты следующие обозначения: $q_z(p)$ – сигнал задатчика, $U(p)$ – управляющее воздействие с выхода регулятора, $Y(p)$ – сигнал с выхода системы, $\hat{Y}(p)$ – сигнал с выхода модели ОУ, $\varepsilon_n(p)$ – ошибка наблюдения, $\varepsilon(p)$ – ошибка управления, K_{II} – коэффициент добротности интегратора, K_1 и K_0 – коэффициенты жестких обратных связей по координатам состояния ОУ, l_1 и l_2 – коэффициенты подстройки наблюдателя состояния.

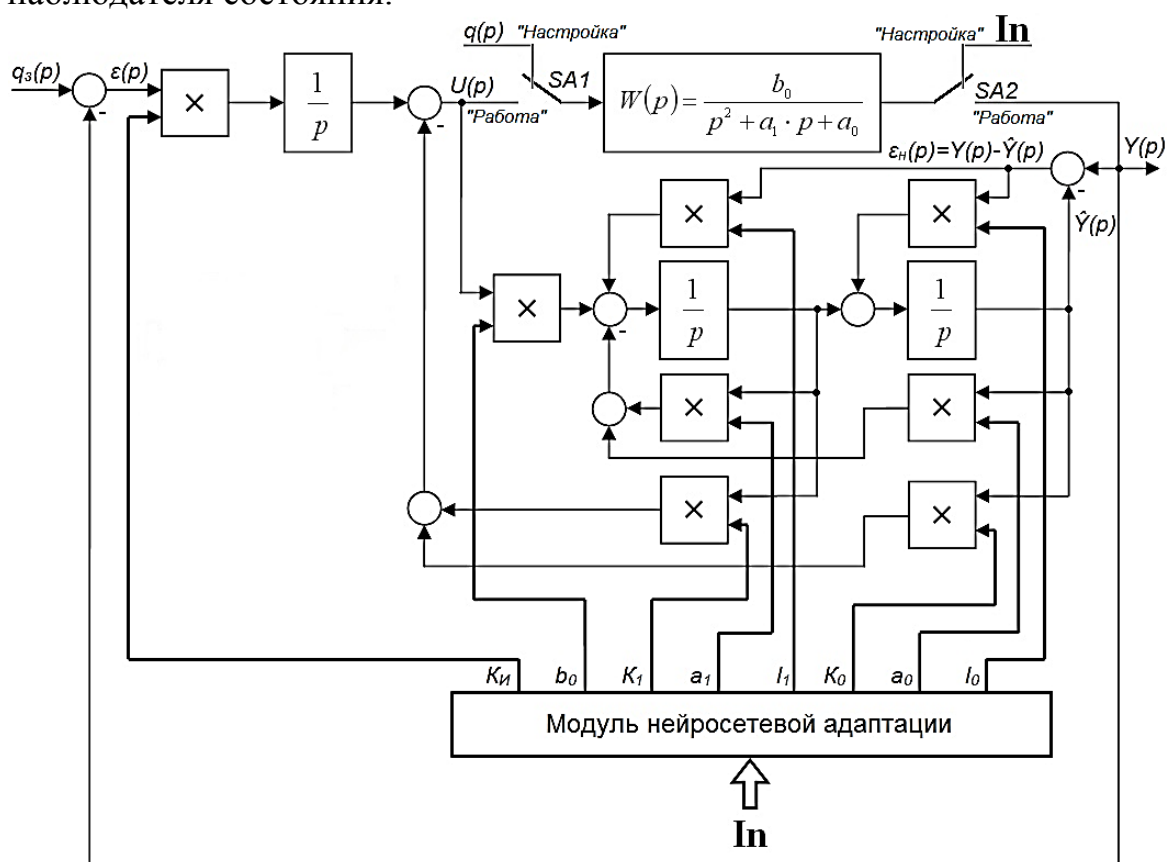


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы управления с гибридным нейросетевым регулятором состояния для объекта второго порядка

Такой регулятор позволяет обеспечить эталонный переходный процесс в системе с нестационарным объектом управления, передаточная функция которого имеет вид:

$$W(p) = \frac{K_{II}}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \rho \cdot T \cdot p + 1} = \frac{b_0}{p^2 + a_1 \cdot p + a_0}, \quad (1)$$

где K_{II} – коэффициент передачи ОУ; T – постоянная времени ОУ; ρ – показатель колебательности; b_0 , a_1 , a_0 – коэффициенты полиномов числителя и знаменателя. Предполагается, что диапазоны изменения

параметров ОУ известны и находятся пределах: $K_{II} \in [K_{II\min}; K_{II\max}]$, $T \in [T_{\min}; T_{\max}]$, $\rho = \text{const}$ или, соответственно, $b_0 \in [b_{0\min}; b_{0\max}]$, $a_1 \in [a_{1\min}; a_{1\max}]$ и $a_0 \in [a_{0\min}; a_{0\max}]$.

Из рис. 1 видно, что описываемая система может функционировать в двух режимах: «Настройка» и «Работа». Выбор того или иного режима осуществляется переводом переключателей SA1 и SA2 в соответствующее положение. В режиме «Настройка» на вход объекта управления подается специальный входной сигнал $q(p)$, позволяющий получить исходные данные (вектор **In**) для модуля нейросетевой адаптации. В качестве исходных данных могут выступать векторы отсчетов различных характеристик объекта управления, например, переходной, импульсной или амплитудно-частотной. Предварительно обученный модуль нейросетевой адаптации на основании исходных данных формирует вектор параметров регулятора в виде **Out** = $[K_{II}; b_0; K_1; a_1; l_1; K_0; a_0; l_0]$. После этого система может быть переведена в режим «Работа».

Обучающая выборка для модуля нейросетевой адаптации представляет собой совокупность векторов отсчетов переходных или иных характеристик объекта управления, снятых при различных сочетаниях его параметров, и поставленных им в соответствие векторов параметров регулятора, рассчитанных аналитически для каждого из примеров обучающей выборки.

Для задачи синтеза гибридного нейрорегулятора состояния, как и для любой стандартной задачи, предполагающей использование нейронных сетей, остро стоит вопрос определения минимально возможного объема обучающей выборки, который был бы достаточным для качественного обучения нейронной сети. Проблема заключается в том, что на сегодняшний день отсутствуют аналитические способы решения этой задачи. Для приближенного определения необходимого количества примеров в обучающей выборке обычно пользуются несколькими эвристическими правилами, например, «измерением Вапника-Червоненкиса» (Yapnik-Chervonenkis dimension, VC-измерение), либо правилом Видроу (Widrow's rule of thumb) [3]. В работе [2] было предложено отказаться от эвристических правил и для определения объема обучающей выборки использовать метод половинного деления. В качестве примера на рис. 2 представлена карта обучения для описанного выше объекта управления, с помощью которой в пространстве варьируемых параметров ОУ определяются наборы исходных данных, входящих в обучающую выборку.

Суть метода половинного деления заключается в том, что сначала выбираются некоторые базовые значения параметров $K_{II\phi}$ и T_{ϕ} , находящиеся посередине диапазонов изменения параметров объекта управления. Затем интервалы $[K_{II\min}; K_{II\phi}]$ и $[K_{II\phi}; K_{II\max}]$, $[T_{\min}; T_{\phi}]$ и $[T_{\phi}; T_{\max}]$

снова делятся пополам и т.д. На карте обучения образуется некоторое множество точек с координатами (T, K_{II}) , соответствующими определенным сочетаниям параметров объекта управления. В обучающую выборку необходимо внести исходные данные (векторы **In**) и определить аналитически параметры регулятора (векторы **Out**), соответствующие указанным сочетаниям параметров объекта управления.

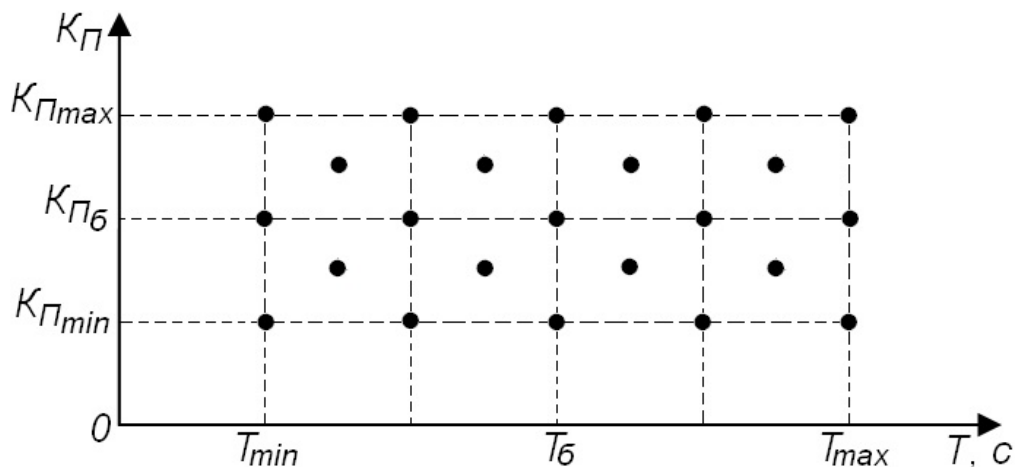


Рис. 2. Карта обучения для модуля нейросетевой адаптации

Главный недостаток предложенного метода половинного деления заключается в том, что он является итерационным, т.к. после каждого добавления точек на карту обучения необходимо контролировать качество обучения нейронной сети, выступающей в качестве модуля нейросетевой адаптации. Это делает метод половинного деления громоздким и трудоемким.

Хорошей альтернативой методу половинного деления явился бы аналитический метод определения максимального шага изменения параметров по осям карты обучения (для нашего примера $\Delta T_{\max}$ и $\Delta K_{II\max}$), при котором нейронная сеть гарантированно успешно обучится. Это избавило бы разработчика адаптивной системы управления от необходимости многократной проверки качества обучения модуля нейросетевой адаптации. В качестве такого метода предлагается подход, основанный на анализе частотного спектра функции, которую аппроксимирует нейронная сеть, и вычислении частот Найквиста. Этот метод может быть продемонстрирован на примере для функции вида:

$$y(x) = \frac{1}{\sqrt{(1 - a \cdot x^2)^2 + b \cdot x^2}}, \quad (2)$$

где a и b – некоторые константы. Для определенности принимается, что $a = 9$ и $b = 3,24$, а $x \in [0;1]$.

Пусть необходимо синтезировать такую нейронную сеть с одним входом и одним выходом, которая бы выдавала значения функции $y(x)$ по значению аргумента x и имела бы минимальное либо близкое к минимальному количество примеров в обучающей выборке.

На рис. 3 приведен график функции (2).

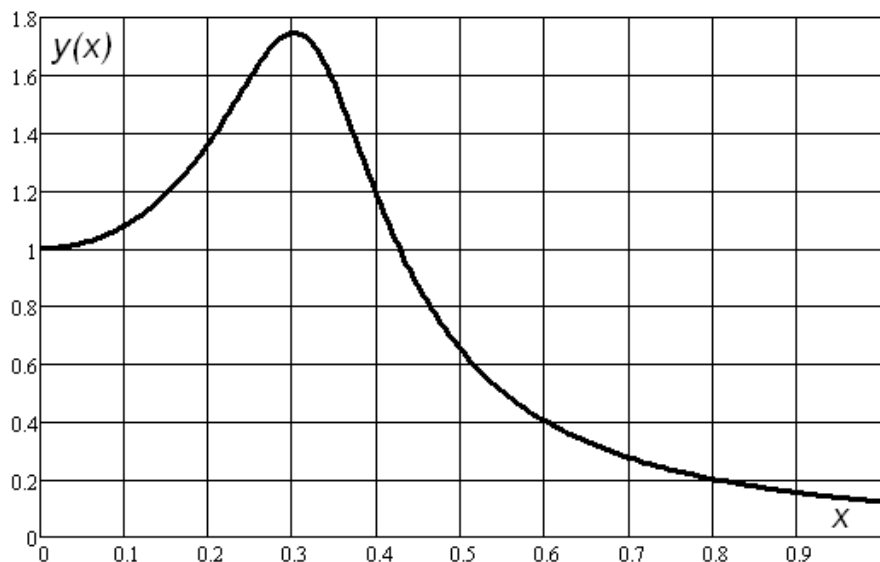


Рис. 3. График функции, описываемой выражением (2)

Для того, чтобы проанализировать частотный спектр функции (2), необходимо осуществить преобразование Фурье для непрерывной функции

$$S(\Omega_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(x) \cdot e^{-j \cdot \Omega_x \cdot x} \cdot dx \quad (3)$$

и для дискретной функции

$$S_k = \sum_{n=0}^{N-1} y_n \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot j}{N} \cdot k \cdot n}, \quad (4)$$

где $k = 0, \dots, N-1$; N – количество отсчетов функции.

В настоящее время практически все математические пакеты имеют встроенные функции для осуществления именно дискретного преобразования Фурье. График зависимости $S(\Omega_x)$, полученный при условии, что значения функции (2) были взяты для анализа через интервал $\Delta x = 0,005$, приводится на рис. 4. Технология получения преобразования Фурье в MATLAB подробно описана в [4].

Согласно теореме Найквиста–Шеннона (Котельникова–Шеннона), непрерывный процесс с ограниченным спектром может быть полностью описан дискретной последовательностью его мгновенных значений, следующих с частотой, как минимум вдвое превышающей частоту

наивысшей гармоники процесса. В случае, если функция имеет теоретически неограниченный спектр, но убывающий по амплитуде при увеличении частоты, то из графика $S(\Omega_x)$ можно определить так называемую частоту Найквиста Ω_{xN} , при которой высшими гармониками можно пренебречь. За частоту Найквиста можно принять такую частоту, при которой выполняется следующее условие:

$$S(\Omega_{xN}) = 0,1 \cdot S_{\max} . \quad (5)$$

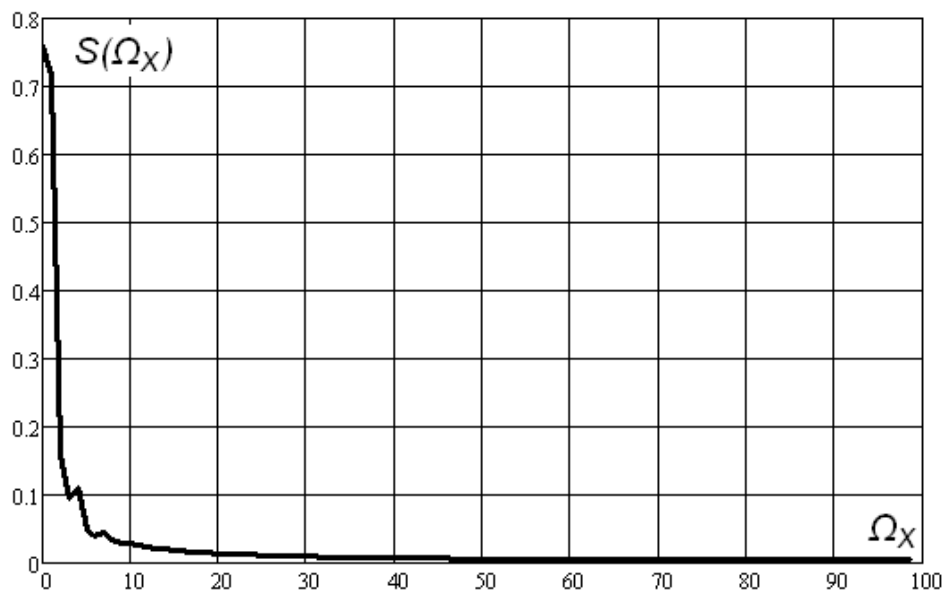


Рис. 4. График зависимости $S(\Omega_x)$

Из рис. 4 определяется частота Найквиста $\Omega_{xN} \approx 4,4$ Гц. Период дискретизации, соответствующий частоте Найквиста, то есть $\Delta x_{\max}$, определяется по формуле:

$$\Delta x_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \Omega_{xN}} . \quad (6)$$

Таким образом, из формулы (6) следует, что $\Delta x_{\max} \approx 0,115$.

Для проверки полученного результата сформируем две нейронные сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (feed-forward backprop) [6]. В скрытом слое обе сети имеют по 2 нейрона с функцией активации гиперболический тангенс, в выходном слое – по одному нейрону с линейной функцией активации. Обучающая выборка для первой сети состоит из 6 примеров, период дискретизации составляет $\Delta x_1 = 0,2$. Обучающая выборка для второй сети состоит из 10 примеров, период дискретизации составляет $\Delta x_2 = 0,115$. Обе сети обучались с использованием алгоритма Левенберга–Марквардта.

Результаты проверки обеих нейронных сетей в интервале $x \in [0;1]$ приведены на рис. 5.

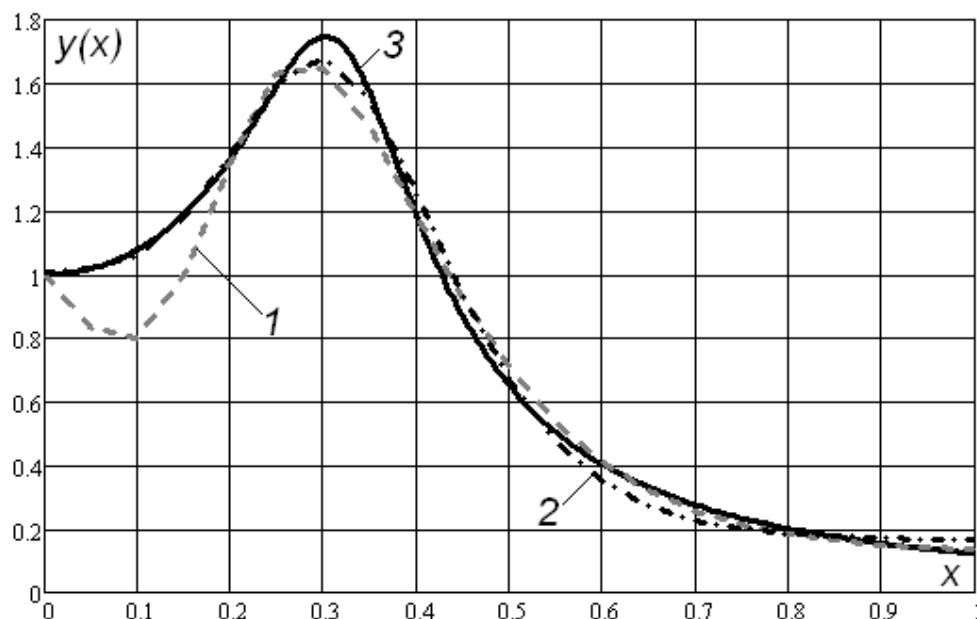


Рис. 5. Результаты проверки нейронных сетей в интервале $x \in [0;1]$:

1 – нейронная сеть с 6 примерами в обучающей выборке ($\Delta x_1 = 0,2$);

2 – нейронная сеть с 10 примерами в обучающей выборке ($\Delta x_2 = 0,115$);

3 – значения функции $y(x)$

Из рис. 5 видно, что нейронная сеть, обучающая выборка которой формировалась из значений аргумента с периодом дискретизации $\Delta x_1 = 0,2$, имеет значительные погрешности на начальном участке рассматриваемого интервала. Нейронная сеть, обучающая выборка которой была сформирована с учетом величины $\Delta x_{\max}$, демонстрирует приемлемый результат при проверке работоспособности и является решением поставленной задачи.

Таким образом, доказана возможность определения объема обучающей выборки для нейронной сети с использованием метода, основанного на анализе частотного спектра функции, аппроксимируемой нейронной сетью, и определении частот Найквиста.

Применение описанного метода при формировании обучающей выборки для модуля нейросетевой адаптации регулятора состояния позволит:

- уменьшить количество экспериментов для формирования векторов отсчетов характеристик объекта, используемых в качестве исходных данных;

- уменьшить количество предварительных аналитических расчетов, направленных на получение параметров регулятора для каждого из примеров обучающей выборки;

– снизить трудоемкость и исключить итерационный характер процесса обучения.

Выводы

1. В качестве универсального метода определения минимального количества примеров в обучающей выборке нейронной сети, достаточного для ее обучения, предлагается подход, основанный на анализе частотного спектра функции, аппроксимируемой нейронной сетью, и определении частот Найквиста.

2. Доказаны действенность и эффективность данного метода при формировании обучающей выборки для нейронных сетей с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки.

3. Применение предложенного метода при формировании обучающей выборки для модуля нейросетевой адаптации регулятора состояния позволит уменьшить трудоемкость и длительность процесса обучения, а также исключить итерационный характер процесса обучения.

4. Дальнейшим направлением исследований в этой области является распространение предложенного метода формирования обучающей выборки на другие типы нейронных сетей, а также на нейронные сети, аппроксимирующие функции нескольких переменных.

Список литературы

1. Смирнов М. А. Разработка мультипроцессной системы адаптивного управления электрическими печами сопротивления: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / М. А. Смирнов. – Кострома, 2012. – 130 с.

2. Михайлов А.С. Синтез динамического регулятора состояния с контуром нейросетевой адаптации / А.С. Михайлов, Б.А. Староверов // Теория и практика системного анализа: тр. III Всерос. науч. конф. молодых ученых с междунар. участием. – Рыбинск: РГАТУ имени П. А. Соловьева, 2014. – Т. I. – С. 64–73.

3. Гулаков К.В. Применение методов нейросетевого моделирования для уменьшения объемов экспериментальных работ при разработке сварочных материалов / К.В. Гулаков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – №3(31). – С. 111–117.

4. Сергиенко А.Б. MATLAB и преобразование Фурье / А.Б. Сергиенко // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №3(3). – С. 84–86.

5. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Д. Даджион, Р. Мерерсо; пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.

6. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 496 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АСУ ТП В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ГАЗИФИЦИРОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

М.С. Доронин, В.Д. Доронина

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 517989; E-mail: doroninms@mail.ru

В системах теплоснабжения с газифицированными источниками тепла предлагается реализация регулирования в точном соответствии с погодой и применение прерывистого отопления путем использования автоматизированных систем управления технологическими процессами. Предлагается оснащение источников и потребителей тепла необходимой аппаратурой и программными средствами, а также использование свойств теплоустойчивости отапливаемых помещений.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, теплоснабжение, регулирование, энергетическая эффективность.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM IN HEAT SUPPLY SYSTEMS WITH THE INSTALLED GAS SOURCES OF HEAT

M.S. Doronin, V.D. Doronina

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

In heat supply systems with the installed gas sources of heat realization of the regulation depending on weather, and faltering heating by use of automated process control systems is offered. Equipment of sources and consumers of heat by the necessary equipment and software, and also use of properties of thermal stability of heated rooms is offered.

Keywords: automated control system, heating, regulation, energy efficiency.

Техническая и экономическая эффективность использования в газифицированных системах теплоснабжения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) проявляется при реализации следующих энергосберегающих способов регулирования отпуска тепловой энергии:

– обеспечение соответствия количества отпускаемой потребителям тепловой энергии температуре окружающей среды (погодозависимое регулирование);

– снижение отпуска тепла в производственных и административных помещениях в нерабочие периоды суток (прерывистое отопление).

Теплоснабжение в Российской Федерации – одна из наиболее энергоемких сфер топливно-энергетического комплекса страны. В системах теплоснабжения расходуется более 40 % суммарной потребности экономики в органическом топливе [1]. Однако до настоящего времени первичные энергоресурсы в системах теплоснабжения используются крайне не эффективно. В первую очередь это связано со значительным физическим и моральным износом и, как следствие, низкими КПД источников тепла, существенными потерями тепловой энергии при транспорте теплоносителя, неудовлетворительной тепловой защитой отапливаемых помещений. Кроме того, на низком уровне остается степень оснащения систем теплоснабжения средствами автоматизации и управления технологическими процессами.

Существенно снизить нерациональное использование топлива в системах теплоснабжения позволяет переход на точное соответствие количества отпускаемой потребителям тепловой энергии температуре окружающей среды. В результате исключаются так называемые «перетопы» у потребителей, когда температура в помещениях превышает расчетное комфортное значение. При этом возможная экономия тепловой энергии определяется по формуле:

$$\Delta Q_{BH.ТЕМП} = Q_O^P \cdot \tau_{II} \cdot \left(\frac{t_{int}^{\Phi} - t_{ht}}{t_{int}^{\Phi} - t_{ext}} - \frac{t_{int} - t_{ht}}{t_{int} - t_{ext}} \right), \text{ Гкал}, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{BH.ТЕМП}$ – экономия тепловой энергии при исключении «перетопов», Гкал; Q_O^P – расчетная часовая величина отопительной нагрузки, Гкал/ч; τ_{II} – годовая продолжительность эксплуатации системы отопления, ч; t_{int}^{Φ} – фактическая внутренняя температура воздуха в помещениях, °С; t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С, в соответствии с [2, 3]; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха для системы отопления, °С, в соответствии с [2, 3]; t_{int} – расчетная внутренняя температура воздуха в помещениях, °С, принимается в соответствии с [2].

Еще один способ повышения эффективности систем теплоснабжения – организация прерывистого отопления благодаря наличию у помещений свойств теплоустойчивости. В сухих помещениях понижение температуры допустимо до +5°С. В помещениях административных зданий допускается снижение температуры в нерабочее время до уровня, исключающего конденсацию водяного пара воздуха на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций. При относительной влажности к концу рабочего дня около 40 % и внутренней температуре воздуха 20 °С понижение температуры в нерабочее время возможно до 8 – 10°С. Годовая

экономия тепловой энергии в результате снижения температуры в нерабочие периоды суток определяется по формуле:

$$\Delta Q_{ПРЕР} = Q_O^P \cdot \tau_{П,ПРЕР} \cdot \left(\frac{t_{\text{int}} - t_{\text{int}}^{\text{II}}}{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}} \right), \text{ Гкал}, \quad (2)$$

где $\Delta Q_{ПРЕР}$ – полная экономия тепловой энергии при понижении температуры в нерабочие периоды суток, Гкал; $t_{\text{int}}^{\text{II}}$ – температура воздуха внутри помещения в нерабочие периоды суток (в ночное время, выходные и праздничные дни), °С; $\tau_{П,ПРЕР}$ – годовая продолжительность эксплуатации системы отопления с температурой $t_{\text{int}}^{\text{II}}$, ч.

Экономия средств на приобретение природного газа в результате использования АСУ ТП в системах теплоснабжения с газифицированными котельными определяется по формуле:

$$\Delta \Pi_{АСУ ТП} = \frac{(\Delta Q_{ВН.ТЕМП} + \Delta Q_{ПРЕР})}{Q_H^P \cdot \eta_{КА}} \cdot C_T, \text{ руб.}, \quad (3)$$

где C_T – стоимость природного газа, руб./т у.т.; Q_H^P – низшая теплота сгорания условного топлива, Гкал/т у.т.; $\eta_{КА}$ – КПД котельных агрегатов.

Оснащение систем теплоснабжения с газифицированными котельными малой тепловой мощности занимает непродолжительное время – достаточна продолжительность неотапительного периода в 6 мес. Отметим, что по данным [4] общее количество котельных в РФ составляет около 74 тыс. шт., поэтому сфера применения АСУ ТП в системах теплоснабжения весьма значительна.

Для оценки эффективности применения АСУ ТП рассмотрим систему теплоснабжения с газифицированной котельной. Для расчета примем следующие исходные данные: $Q_O^P = 1,5$ Гкал/ч; $\tau_{П} = 4704$ ч; $t_{\text{int}}^{\Phi} = 28$ °С; $t_{ht} = -4,3$ °С; $t_{\text{ext}} = -27$ °С; $t_{\text{int}} = 18$ °С; $t_{\text{int}}^{\text{II}} = 8$ °С; $\tau_{П,ПРЕР} = 3600$ ч; $C_T = 3900$ руб./т у.т.; $Q_H^P = 7000$ ккал/кг у.т.; $\eta_{КА} = 0,8$.

Расчеты по формулам (1) – (3) дают следующие результаты: $\Delta Q_{ВН.ТЕМП} = 645$ Гкал; $\Delta Q_{ПРЕР} = 1200$ Гкал; $\Delta \Pi_{АСУ ТП} = 1,285$ млн. руб.

Для оценки коммерческой эффективности автоматизации газифицированных котельных определим капиталовложения в АСУ ТП в долях от сметной стоимости блочно-модульной котельной. При этом удельную стоимость блочно-модульной котельной тепловой мощностью до 5 Гкал/ч с котлами импортного производства примем в размере 5 млн. руб./(Гкал/ч). Тогда полные инвестиции в АСУ ТП принимаются в размере 20% от удельной стоимости блочно-модульной котельной или 1,0 млн. руб./(Гкал/ч).

Продолжительность инвестиционного периода оснащения существующей системы теплоснабжения не превышает года и включает следующие работы:

- проектирование АСУ ТП;
- закупка оборудования;
- монтаж, наладка, пуск оборудования в эксплуатацию.

В состав операционных издержек, возникающих в процессе функционирования АСУ ТП, включены эксплуатационные затраты и налоги.

С использованием полученных исходных данных на основе [5] выполнена оценка коммерческой эффективности проекта и получены следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход за 10 лет расчетного периода, включая 1 год инвестиционного цикла – 7,041 млн. руб.;
- индекс доходности – 2,2 руб./руб.;
- внутренняя норма доходности – 98,0 %;
- дисконтированный срок окупаемости – 1,4 года.

Значения показателей свидетельствуют о высокой коммерческой эффективности проектов оснащения систем теплоснабжения с газифицированными котельными АСУ ТП. Оценка риска реализации предлагаемого проекта свидетельствует о его приемлемом значении. Это связано с тем, что в ближайшие 15 – 20 лет ожидается неуклонное повышение тарифов на тепловую энергию [6] и, соответственно, увеличение эффекта в результате использования АСУ ТП в системах теплоснабжения.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

2. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий: утв. совместным приказом ОАО «ЦНИИпромзданий» и ФГУП ЦНС от 23.04.2004 г. № 01.

3. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*: утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 275.

4. Об утверждении государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики»: распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 № 512-р.

5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-я редакция): утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по

строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999 г.

6. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года: разработан Минэкономразвития России.

УДК 621.9: 681.5

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С.А. Игнатьев, В.А. Добряков, С.С. Игнатьева

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998638; E-mail atp@sstu.ru

Обоснована методология менеджмента качества продукции, основанная на международных стандартах серии ISO 9000 и реализованная с использованием технических и информационных средств мониторинга технологического процесса обработки высокоточных деталей подшипникового производства.

Ключевые слова: система мониторинга технологического процесса, информационно-измерительные каналы, параметры технологического процесса и состояния оборудования, система контроля динамических характеристик.

PRODUCTION QUALITY MANAGEMENT ON THE BASIS OF MONITORING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

S. A. Ignatyev, V.A. Dobryakov, S. S. Ignatyeva

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The methodology of quality management of production, developed on the basis of use of technical and information means of monitoring of technological processing of high-precision details of bearing production is proved.

Keywords: system of monitoring of technological process, information and measuring channels, parameters of technological process and condition of the equipment, monitoring system of dynamic characteristics.

Требования покупателей и рынка машиностроительной продукции ежегодно увеличиваются, поэтому обеспечение качества, надежности и безопасности готовых изделий – неотъемлемая часть политики в области менеджмента качества современных предприятий. Подшипники качения в

качестве машинных элементов для передачи движения являются продукцией с большой степенью обработки. Эксплуатационные характеристики подшипников зависят от качества обработки элементов, точности изготовления и качества применяемых материалов. Современные подшипниковые производства обеспечивают требуемый уровень качества от входа сырья до поставки готовой продукции.

В практике крупнейших компаний, таких как FKL Temerin, NKE Штайер, ЗАО СКФ, контроль качества изделий осуществляется по всем стадиям жизненного цикла продукции [6,7,8]. Особое внимание уделяется следующим направлениям:

- Кадры, квалификация и аттестация персонала и рабочих мест;
- Материалы;
- Процессы;
- Контроль и испытания в ходе производства;
- Контроль оборудования для измерения и испытания;
- Упаковка и складирование;
- Сервисное обслуживание и техническая поддержка;
- Экологическая безопасность.

Обеспечение соответствия качества подшипниковых предприятий по всем ключевым аспектам состоит во внедрении стандартов качества продукции и процессов, применяемых в мировой и российской практике. Рассмотрим последовательно серии современных стандартов, разработанных Росстандартом, Международной организацией по стандартизации, Международной электротехнической комиссией и другими специализированными органами, используемые промышленными предприятиями.

В области управления качеством и безопасностью работы персонала разработан стандарт OHSAS 18001 [1,5]. В России этому стандарту соответствует ГОСТ 12.0.230-2007 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования», введен в действие на территории РФ с 01.07.2009 взамен ГОСТ Р 12.0.006-2002 (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 июля 2007 г. N 169-ст).

Его назначение состоит в минимизации рисков возникновения несчастных случаев и аварийных ситуаций на производстве; сокращении издержек на поддержание безопасности условий труда, выплат компенсаций и пособий, штрафов, предписаний надзорных органов в области охраны труда и т.д. Помимо прочего внедрение данного стандарта дает предприятию преимущество в тендерах, конкурсах, повышает инвестиционную привлекательность и лояльность сотрудников и общественных организаций.

В области технического регулирования технологических процессов и

качества готовых изделий подшивниковые предприятия могут использовать стандарты серии ИСО и их российские аналоги, а также принятые стандарты на продукцию – ГОСТы, СТП, технические условия.

Серия стандартов ISO 9000 используется в большинстве развитых стран в качестве документов, подтверждающих высокую квалификацию компании, а также ее персонала в той или иной сфере деятельности. В серию 9000 входят: сертификат ИСО 9000:2005 (основные положения системы менеджмента качества); ИСО 9001:2008 (требования к системе менеджмента качества); ИСО 9004:2009 (руководство по достижению успеха компании) и ИСО 19011:2011 (методы аудита в системе менеджмента).

Российским эквивалентом международного стандарта ISO 9000 является ГОСТ Р ISO 9000-2011 (аналог ISO 9000:2005) и ГОСТ Р ISO 9001-2011 (аналог ISO 9001:2008).

Стандарт ГОСТ ISO 9000-2011 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [2] устанавливает общие принципы построения СМК предприятия, дает обоснование необходимости постоянного улучшения качества, основывается на процессном подходе, модель которого представлена на рис. 1.

Стандарт акцентирует внимание на создании системы документации оценки качества, прослеживаемости показателей работы предприятия, применении статистических методов, самооценки и аудита деятельности, дает исчерпывающий словарь терминов и понятий в области стандартизации, менеджмента, процессов и документации.



Рис. 1. Модель процессного подхода в рамках ISO 9000:2005

ГОСТ Р ISO 9001-2011 «Системы менеджмента качества. Требования» включает общие требования к СМК, ответственности руководителя, менеджменту ресурсов, процессам жизненного цикла продукции, измерению, анализу и улучшениям. Подшивниковым предприятиям следует обращать внимание на раздел 7.5 Производство и

предоставление услуг и 7.6 Управление оборудованием для мониторинга и измерения, где четко прописаны правила валидации параметров процессов и настроек оборудования для испытаний и измерений качества согласно национальным и международным эталонам. В качестве национальных эталонных параметров используется ГОСТ 520-2011 «Подшипники качения. Общие технические условия» [3], определяющий размеры, классы точности, технические требования, приемку, методы контроля, маркировки, транспортировки и хранения. Однако стандарт не эквивалентен международным стандартам ИСО 492:2002 и 199:2005 «Подшипники качения» по допускам.

Сертификация подшипниковых предприятий осуществляется как региональными отделениями Росстандарта (в основном для подтверждения качества в рамках национальных торговых операций), так и представительствами иностранных сертификационных обществ, например, Германишер Ллойд. В России Регистр Ллойда существует с 1991 года и работает по трем направлениям: оказывает услуги в морской сфере, услуги промышленным предприятиям, в том числе проводит сертификацию материалов и изделий на соответствие требованиям международных стандартов, и осуществляет сертификацию систем менеджмента качества.

В области политики сбережения ресурсов предприятиям можно аккредитоваться по стандарту BS EN 16001:2009 [9]. Это международный стандарт, который подтверждает наличие в компании действующей системы энергетического менеджмента, направленной на рациональное использование и экономию всех видов ресурсов. Он предназначен для внедрения систем и процессов, которые позволят организации повысить эффективность энергопотребления, сэкономить финансовые средства и снизить объем парниковых выбросов в атмосферу. Внедрение системы энергетического менеджмента возможно в любой организации, независимо от отрасли промышленности и сектора экономики. На сегодняшний день энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного экономического развития Российской Федерации. Стандарт энергетического менеджмента BS EN 16001:2009 совместим с различными системами менеджмента: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 и др.

В рамках концепции экологической безопасности применение стандарта ISO 14001 [4] придает новое качество деятельности любому промышленному предприятию. Во-первых, увеличивается конкурентоспособность продукции, поскольку таким образом обеспечивается продажа подшипников на рынках развитых промышленных стран. Во-вторых, более рациональное использование всех видов природных ресурсов, сырья, сырьевых материалов и энергоносителей уменьшает расходы, связанные с ведением деятельности, и повышает производственную и трудовую культуру всех работников. В-третьих, репутацию и престиж предприятий

в гражданской общественности и экспертном сообществе повышает соблюдение всех законов об охране окружающей среды.

Эти стандарты придают политике развития предприятий новый элемент: целью разработки новой продукции и технологий, кроме увеличения производительности и конкурентоспособности, становится и максимальное уменьшение отрицательного воздействия производственного процесса на окружающую и рабочую среду, а также обеспечение приоритетов экологически приемлемых решений.

Стандарты ИСО 14001:2004 и ИСО 9001:2000 приведены в соответствие, поэтому предприятия могут одновременно использовать оба стандарта. Общая концептуальная схема экологического менеджмента представлена на рис. 2.

Настоящий стандарт, как и многие международные, основан на методологии PDCA («Plan-Do-Check-Act»): «Планирование - Выполнение - Контроль - Действие».

Руководителям предприятий, собирающимся внедрять экологический менеджмент, следует обратить внимание на обязательные элементы стандарта.



Рис. 2. Модель системы экологического менеджмента

Экологическая политика должна соответствовать характеру, масштабу влияния процессов и продукции на окружающую среду, следовать принципам постоянного улучшения и предотвращения загрязнений, соответствовать применяемым требованиям экологического (природоохранного) законодательства, содержать документальную базу для установления и анализа экологических целей и задач, доводиться до сведений персонала и общественных организаций.

Планирование экологического менеджмента должно включать идентификацию экологических аспектов, доступ к применяемым законодательным требованиям, устанавливать конкретные измеримые цели (например, сокращение выбросов на 10%) и формулировать программу их выполнения по срокам и ответственным лицам.

Подшипниковые предприятия должны планировать следующие экологические факторы:

- выбросы в атмосферу, воду, на рельеф;
- использование сырьевых материалов и природных ресурсов;
- использование энергии;
- потери энергии, например, в виде тепла, радиации, вибраций;
- отходы и побочные продукты;
- физические характеристики готовой продукции, например размеры, форма, цвет, внешний вид;
- этапы и процессы производства продукции;
- экологическую результативность и практику работы субподрядчиков и поставщиков;
- распределение, использование и утилизация продукции, срок службы которой закончился.

Внедрение и функционирование стандарта подразумевает обеспечение действий человеческими (кадровыми) ресурсами, специальными знаниями (навыками), организационной инфраструктурой, технологией и финансами.

Необходимо проводить систематический анализ отчетов о результативности системы и рекомендации по улучшению. Персонал должен быть подготовлен и обучен по основным аспектам экологического менеджмента, система документооборота должна соответствовать заявленной политике.

Предприятие должно установить, внедрить и поддерживать процедуру(ы) для выявления потенциально возможных нештатных ситуаций и аварий, которые могут оказывать воздействие(я) на окружающую среду, и действий в таких ситуациях.

Контроль действий состоит в разработке процедур регулярного мониторинга и измерений ключевых характеристик, которые могут оказывать значимое воздействие на окружающую среду, анализе отклонений и предупреждающих воздействий, внутреннем аудите системы.

Анализ со стороны руководства должен включать результаты внутренних аудитов и оценки соответствия законодательным требованиям и другим требованиям, которые организация обязалась выполнять; сообщения внешних заинтересованных сторон, рекламации; степень достижения целей и выполнения задач, рекомендации по улучшению.

Таким образом, исследуя всю совокупность международных стандартов и их российских аналогов, следует признать, что совершенствование качества продукции подшипниковой отрасли должно проводиться комплексно, т.е. охватывая все стадии жизненного цикла продукции и все основные производственные процессы. Проблема многих российских предприятий именно в том, что восприятие качества как

категории начинается и заканчивается только непосредственно в процессе испытания готового изделия, т.е. в середине полного жизненного цикла подшипника. Изготовить высокоточное изделие – это значит не только обеспечить оптимальные условия резки заготовок, шлифовки поверхностей, анализа дефектов. Это еще и обеспечение поставок материалов высокого качества, подтверждение качества контрагентов, подготовка персонала, вспомогательных процессов, документирования, валидных КИПиА и средств мониторинга, управление выбросами и отходами, рекламациями.

С учетом вышеизложенного в СГТУ разработана система контроля динамических характеристик высокоточных станков, состоящая из ряда метрологически аттестованных стандартных приборов, выпускаемых промышленностью, обладающая возможностью стыковки с верхним уровнем управления в качестве информационно-измерительного канала (ИИК) системы мониторинга технологического процесса (СМТП), что обеспечивает высокую достоверность и информативность получаемых контрольных и диагностических данных (рис. 3) [9].

В состав ИИК для контроля динамического состояния оборудования входят: виброизмерительный прибор ВШВ-003-М3 в комплекте с датчиком виброускорения ДНЗ-М1 и предусилителем вибросигнала и компьютер типа Ноутбук, который укомплектован платой АЦП, входящей в состав устройства сопряжения с объектом (УСО), и соответствующим программно-математическим обеспечением (ПМО). Вибродатчик ДНЗ-М1 виброизмерительного прибора ВШВ крепился на станочном объекте с помощью магнитного основания. Сигнал с датчика, пропорциональный виброускорению, через предусилитель подавался в измерительный блок прибора в частотном диапазоне от 1 Гц до 4 кГц (рис. 3) [10].

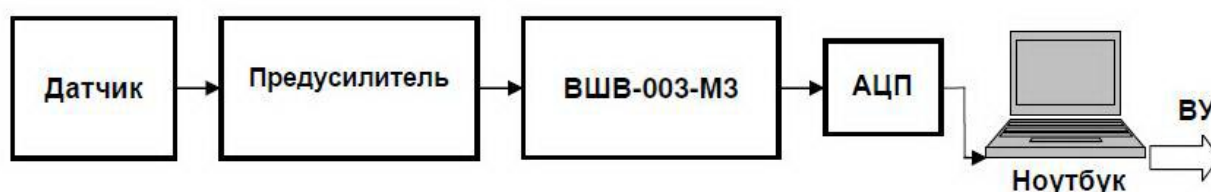


Рис. 3. Пример ИИК обработки информации в системе мониторинга технологического процесса

На экран монитора в режиме реального времени выводятся временная характеристика и спектрограмма (рис. 4), заносимые в базу данных мониторинга для анализа динамического состояния оборудования в реальном времени.

Проблема применения мониторинга непосредственно в процессе работы и создания его адекватного информационного обеспечения становится все более актуальной для оценки динамических характеристик технологического высокоточного оборудования и представляет собой довольно сложную научную и практическую задачу.

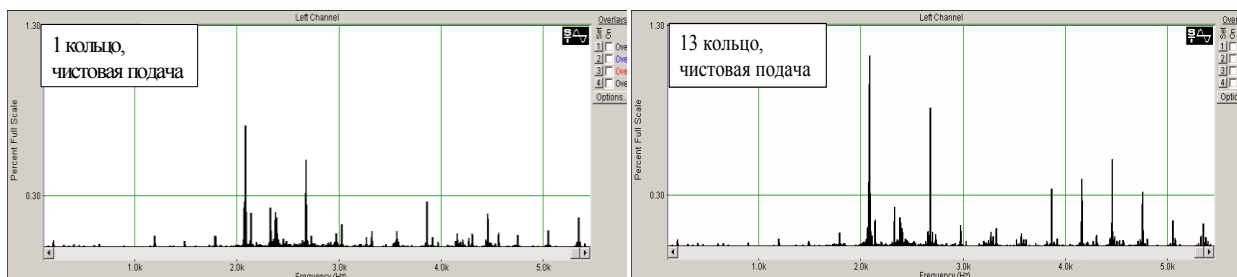


Рис. 4. Типичная реализация спектра вибрации при обработке на шлифовальном станке

В последнее время все более широкое применение находят различные косвенные оценки, в том числе параметры виброакустических сигналов, характеризующие относительные колебания инструмента и детали. Многочисленные результаты исследований показали, что спектры сигналов ВА колебаний обладают свойством общности, но структура колебаний нестационарна во времени и отличается в каждом случае, что наглядно отражается результатами проведенных экспериментов (рис. 4). Использовать эти отличия для наблюдения за динамическим состоянием станка непосредственно в процессе их работы существующими методами не представляется возможным ввиду того, что зависимости между параметрами качества и характеристиками вибросигналов не имеют явно выраженных количественных закономерностей. Это и приводит к необходимости применения СМТП по динамическим характеристикам для обеспечения качества прецизионной механической обработки деталей.

Таким образом, комплексное управление качеством и его подтверждение возможно только через внедрение международных и аналоговых российских стандартов, что подтверждается опытом апробации технических и информационных средств мониторинга технологического процесса на примере производства подшипников.

Список литературы

1. ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования.
2. ГОСТ ISO 9000-2011 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
3. ГОСТ 520-2011 Подшипники качения. Общие технические условия.
4. ГОСТ Р ИСО 14001-2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
5. Игнатьева С.С. Актуальные вопросы менеджмента качества продукции АПК в рамках международных торговых отношений / С.С. Игнатьева, В.В. Смирнов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2013. - № 08. - С. 86-89.

6. <http://www.skf.com/ru/products/index.html>
7. <http://nke-bearing.narod.ru/>
8. <http://gosstandart-iso.ru>
9. Игнатъев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев. – Саратов: СГТУ, 2009. – 160 с.
10. Добряков В.А. Контроль динамического состояния станков в системе мониторинга технологического процесса / В.А. Добряков // Вестник Саратовского государственного технического университета.– 2011. – №3 (58). – Вып. 2. – С. 162-167.

УДК 681.5

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

А.В. Каракозова

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. 89063091402; e-mail anchutca08@mail.ru

Рассматриваются способы оценки состояния шлифовального станка по вибрации, их задачи и основные отличия. Приводятся параметры, отвечающие за контроль качества функционирования станка. Показана работа экспертной системы поддержки принятия решения.

Ключевые слова: экспертная система, шлифование, виброакустические колебания, мониторинг.

PREREQUISITES OF CREATION EXPERT SYSTEM OF SUPPORT OF THE PROCESS DIAGNOSING GRINDING MACHINE

A.V. Karakozova

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

This article discusses ways to assess the state of the grinding machine by its vibration, their objectives and main differences. Also discusses the parameters responsible for quality control of the functioning of the machine. Shows the work of the expert decision support system.

Keywords: expert systems, grinding, vibro-acoustic oscillations, monitoring.

Качество обработки деталей машин (особенно высокоточных) в значительной мере зависит от выполнения финишных операций, которые обеспечивают окончательное формообразование и расположение наиболее важных поверхностей в соответствии с техническими условиями [1].

Самым распространенным способом окончательной обработки точных деталей является шлифование. Для обеспечения высокого качества на шлифовальных операциях особое значение имеют правильное построение технологического процесса обработки детали и своевременная правка круга, правильное использование магнитных и других крепежных устройств, жесткость и точность инструментальных оправок, качество балансировки круга, мониторинг всего технологического процесса.

В мировой практике встречается два основных понятия, связанных с оценкой состояния станков по их вибрации.

1. Вибрационный мониторинг, под которым понимается научно спроектированная система (средства и методы) непрерывных наблюдений и измерений с использованием соответствующих оценочных критериев идентификации, анализа текущего состояния, распознавания особых ситуаций, краткосрочного и долговременного прогнозирования и автоматического принятия решений на основе полученной информации.

2. Вибрационная диагностика, когда обнаруживаются и идентифицируются (определяется вид и величина) дефекты в диагностируемом объекте. Основное отличие мониторинга и диагностики связано с тем, что мониторинг не ставит своей целью обнаружение дефектов на ранней стадии развития. В его функции входит своевременное обнаружение сильных дефектов.

Исходя из этой цели, вибрационный мониторинг требует измерений с небольшими интервалами между ними, чтобы не пропустить быстро развивающиеся дефекты. Задача диагностики - обнаруживать дефекты на ранней стадии развития, наблюдать и прогнозировать их развитие, планировать ремонт машины. А если ставится задача перехода на обслуживание и ремонт машин по фактическому состоянию, то задача диагностики становится весьма сложной – необходимо обнаруживать все дефекты на ранней стадии развития.

Мониторинг включает в себя диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление состоянием станка на основе анализа информации. Управляющее решение может быть выбрано двумя способами. В первом случае фактическое состояние системы сравнивают с идеальным, определенным путем моделирования, во втором случае решение принимает экспертная система (ЭС). Мониторинг базируется на оперативном получении, накоплении, анализе информации, экстраполяции его результатов для принятия решения [2]. Информация об изменении определяющих параметров формируется несколькими информационно-измерительными каналами. В частности, для станков это могут быть

каналы контроля вибраций, температуры, размеров деталей и т.д. Важно только, чтобы оперативная информация обрабатывалась на ЭВМ и решение своевременно принималось.

Результаты исследований, выполненных как зарубежными, так и отечественными учеными, в том числе и учеными СГТУ, показали, что обеспечение заданного качества обработки деталей на станках должно сопровождаться мониторингом технологического процесса. Это обусловлено тем, что возросла сложность станков за счет оснащения их электронными системами управления, включающими ряд датчиков, необходимостью учета разнообразных детерминированных, тепловых и вибрационных воздействий, влияющих на качество изготовленных деталей [3].

Контроль качества функционирования станков непосредственно связан с ходом технологического процесса, определяющего качество шлифования поверхностей качения колец подшипников и включающего в себя макро- и микрогеометрические параметры точности, а также физико-механические свойства поверхностного слоя. Размеры колец и профиль дорожек качения определяются точностью формообразующих перемещений рабочих органов станков, точностью базирования заготовки и точностью профиля шлифовального круга. Необходимые точность перемещения и закон изменения скорости подвода круга обеспечиваются современными системами приводов. Точность вращения шпинделей обеспечивается их статической и динамической балансировкой. Важную роль в формировании качества поверхностного слоя колец подшипников играет износ шлифовального круга, что приводит к необходимости его периодической правки. Контроль уровня вибрации на опоре кольца позволяет назначить рациональную периодичность правки, которая зависит от интенсивности процесса шлифования. Следует учитывать также возможное влияние внешних возмущений, например, вибраций от размещенного рядом оборудования. Необходимая точность базирования обрабатываемых колец реализуется известными методами. Профиль круга формируется при правке с определенной периодичностью. Параметры технологического режима, характеристики круга и состав охлаждающей жидкости задаются на стадии отладки техпроцесса, однако в каждом конкретном случае они должны корректироваться для получения более высокого качества обработки. Далее при мониторинге техпроцесса по тем или иным определяющим параметрам станка или режима обработки выявляется их отклонение от некоторых номинальных значений, установленных в результате обучающего эксперимента.

Контроль геометрических параметров точности дорожек качения колец, некруглости, волнистости, шероховатости, а также качества поверхностного слоя до и после финишной операции направлен на

выявление значимых отклонений от заданных значений, приводящих в дальнейшем к снижению качества колец или даже возникновению брака.

На основе сопоставительного анализа данных о состоянии технологического процесса (ТП) и качестве колец оцениваются степень и возможные причины разладки процесса шлифования на конкретном станке и при негативных результатах вносится коррекция в технологический режим или производится подналадка оборудования (рис. 1). Например, при значительном уровне вибраций тех или иных узлов осуществляется диагностирование и на станке выполняются соответствующие ремонтно-профилактические работы, учитывающие его реальное техническое состояние, что позволяет рассматривать их как гибкое техническое обслуживание.

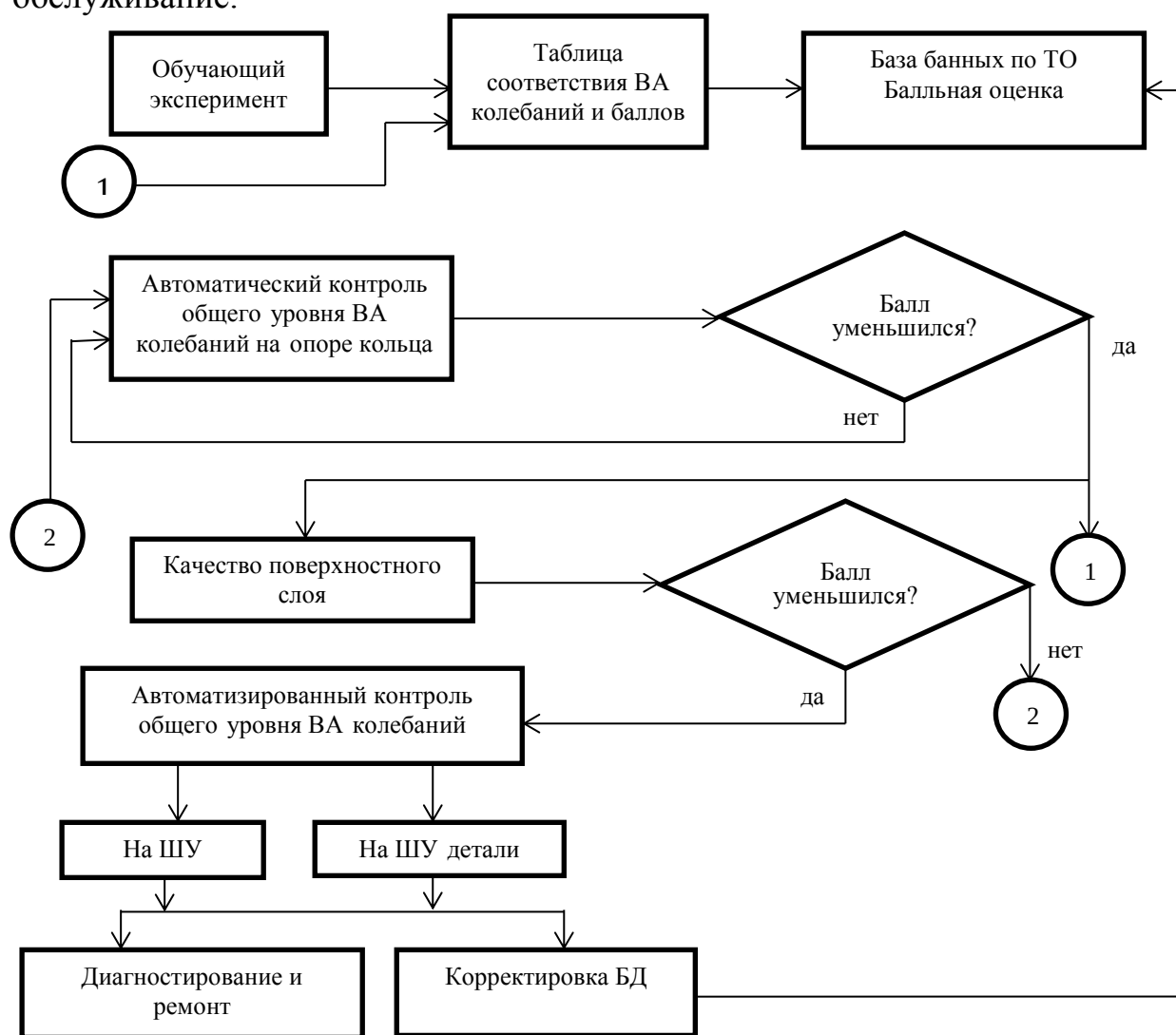


Рис. 1. Алгоритм автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков: ВА- виброакустические колебания; ТО - техническое обслуживание

Экспертные системы имеют одно большое отличие от других систем искусственного интеллекта: они предназначены для качественного решения задач в определенной разработчиками области [4].

Разрабатываемая экспертная система предназначена для поддержки принятия решений при определении причин неисправностей подсистем шлифовального станка SIW-4, SIW-5. В случае возникновения неисправности пользователь обращается к системе, система обрабатывает запрос и производит опрос пользователя в режиме диалога, после чего ЭС выдает пользователю рекомендации для устранения возникшей проблемы.

Программа дает возможность не только просматривать данные об отказах, но и в случае необходимости добавлять новые неисправности и способы устранения без привлечения программиста. Таким образом, это дает возможность вносить изменения в базу знаний ЭС

Использование экспертной системы поддержки принятия решений в машиностроении позволит прогнозировать ремонтно-профилактические работы, снизить уровень затрат на ремонтные работы, повысить качество изготавливаемой продукции, уменьшить эксплуатационные затраты для обеспечения заданных показателей надежности и качества функционирования.

Список литературы

1. Космачев И.Г. Технология машиностроения / И.Г. Космачев. – Л.: Лениздат, 1970. – 400 с.
2. Игнатьев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатьев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатьев. – Саратов: СГТУ, 2009. – 160 с.
3. Каракозова А. В. Предпосылки создания экспертной системы для контроля динамического состояния шлифовальных станков / А.В. Каракозова, А. А. Игнатьев // Вестник СГТУ. 2011. – №3(58). – С. 170 – 176.
4. Каракозова А. В. Управление качеством технологического процесса изготовления подшипников с использованием экспертных систем / А.В. Каракозова, А.А. Игнатьев // Вестник СГТУ. 2013. – №2(71). – С. 186 – 191.

**СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ
НЕЙРОЭМУЛЯТОРА ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ
В СИСТЕМЕ «ГАММА-3»**

А.В. Корочкин, И.В. Одинокоев, М.Ф. Степанов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия,

Тел. (8452)998819; E-mail: mfstepanov@mail.ru

Рассмотрена задача построения нейроэмулятора объекта управления с целью использования в нейроконтроллере. Рассмотрены методы обучения нейронных сетей. Проведены вычислительные эксперименты с целью выбора наиболее эффективного метода обучения нейронной сети по экспериментальным данным. Разработаны интерактивные средства автоматизации реализации нейроэмулятора в составе многофункциональной системы «ГАММА-3». Приведен пример решения задачи построения нейроэмулятора.

Ключевые слова: нейроэмулятор, нейроуправление, методы обучения нейронных сетей, автоматизация построения нейроэмулятора.

**AUTOMATIONS TOOLS FOR OF PLANT'S NEUROEMULATORS
DESIGNING IN THE SYSTEM «GAMMA – 3»**

A.V. Korochkin, I.V. Odinokov, M.F. Stepanov

Yury Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The creation's task the plant's neuroemulator surveyed with the purpose of usage in neurocontroller. Training's methods of the neural networks in the paper was surveyed. Computing experiments are carried out with the purpose of choice of the most effective training method of the neural network on experimental data. Interactive software (subsystem) for automation's of neuroemulator's creation in the multifunctional system the GAMMA - 3 is developed. This paper presents the instanced solutions of the neuroemulator's creation task.

Keywords: Neuroemulator, neurocontrol, neural network's training methods, neuroemulator's creation automation.

С расширением областей применимости автоматического управления в категорию управляемых объектов стали входить все более сложные как по архитектуре, так и по характерным условиям функционирования и эксплуатации. В связи с этим обострилось противоречие между методами классической теории автоматического управления и требованиями практики автоматического управления.

Методы современной теории автоматического управления требуют знания математической модели управляемого объекта. Однако не всегда это вполне достижимо. С другой стороны, методы адаптивного управления, не требующие значительного объема априорной информации, не могут похвастаться способностью обеспечивать малые значения установившихся ошибок. Это обусловлено тем, что в большинстве методов адаптивного управления используются так называемые пробные сигналы для получения недостающей информации. Выходом из сложившейся ситуации может служить применение искусственных нейронных сетей (ИНС), способных выступать в качестве универсального аппроксиматора сложных зависимостей с любой наперед заданной точностью. Применение ИНС для целей управления привело к появлению термина «нейроуправление» [1]. Однако множество трудностей, встающих на пути использования ИНС, не позволили им стать всеобщей палочкой-выручалочкой. К сожалению, построение ИНС для конкретного применения пока является скорее искусством, нежели стандартной инженерной практикой. Это обусловлено трудностями определения для решения конкретной задачи не только архитектуры сети, но и, что наиболее трудоемко, значений параметров всех весовых коэффициентов [1]. Одним из важных компонентов систем нейроуправления является нейроэмулятор, призванный воспроизводить динамические характеристики сложных систем в различных условиях. Попытки автоматизировать процесс построения ИНС привели к созданию многочисленных нейропакетов [2], достаточно успешно решающих различные задачи. Однако их применение для задач практической сложности вызывает затруднения, что, как правило, определяется универсальным характером нейропакетов. Поэтому создание средств автоматизации построения систем автоматического управления с использованием ИНС является актуальным. Данная работа посвящена разработке средств автоматизации построения нейроэмуляторов.

Ключевой проблемой при решении задач управления динамическими объектами является реализация модели инверсной динамики управляемого объекта. Аналитическое решение этой задачи не всегда возможно, поскольку требуется обращение причинно-следственных зависимостей поведения реального объекта. Применение нейронных сетей позволяет находить приближенные решения этой задачи путем обучения сети на примерах управления реальным объектом. При использовании прямых методов нейроуправления, в частности, в методе обобщенного инверсного нейроуправления это достигается путем непосредственного обучения нейронной сети на примерах поведения управляемого объекта. Однако используемые для такого обучения последовательности примеров, полученные путем обращения результатов наблюдения реальных объектов, часто содержат противоречия, резко снижающие качество обучения нейронной сети.

Для решения этой проблемы предложен ряд методов. В методе специализированного инверсного нейроуправления и некоторых версиях систем адаптивной оценки (критики) [3] проблема обучения инверсной динамике решается путем аппроксимации аналитической модели управляемого объекта и вычисления локальных значений якобиана для различных областей пространства состояний. В методе обратного распространения ошибки через прямой нейроэмулятор для формирования линеаризованной модели инверсной динамики объекта используется обычная схема обратного распространения ошибки, применяемая для обучения многослойных персептронов. В системах многомодульного нейроуправления эта же задача решается путем разделения пространства состояний объекта на локальные области, в которых инверсные модели представлены однозначными функциями. Для каждой такой области выделяется отдельный нейронный модуль.

Для разработки средств автоматизации построения нейроэмулятора сложного объекта управления необходимо решить следующие задачи:

1. Сбор экспериментальных данных и формирование обучающей и тестовой выборки.
2. Разработка тестовых примеров для проверки работоспособности разрабатываемого программного обеспечения.
3. Разработка средств автоматизации построения нейроэмулятора, включающая выбор и реализацию алгоритма обучения нейронной сети нейроэмулятора, разработка интерфейса с пользователем и программного модуля операции построения нейроэмулятора.
4. Решение задачи построения нейроэмулятора заданного объекта.

Учитывая отсутствие однозначных методик по определению структуры нейронной сети, процесс ее построения осуществляется в виде итерационной процедуры. В целях облегчения процесса разработки нейроэмулятора необходимо разработать программное обеспечение его автоматизации. Поскольку рассматриваемый нейроэмулятор представляет собой компонент системы автоматического управления, то целесообразно средства автоматизации его разработки выполнить в виде подсистемы доступной открытой среды автоматизации решения задач поддержки разработки систем автоматического управления. В качестве такой системы в данной работе используется система «ГАММА-3 [4]».

В целях выбора наиболее подходящего метода обучения нейронной сети были проведены вычислительные эксперименты с использованием различных методов, реализованных в пакете Neural Network Toolbox системы Matlab [5]. С поставленной задачей относительно успешно справились 4 метода, реализуемые функциями `trainoss`, `traincgb`, `traincgf`, `traincgr`. Главные отличия реализованных в них методов заключаются в способе определения момента изменения направления поиска экстремума.

В методе секущих (trainoss) [6] на первом шаге изменения параметров выполняются в соответствии с формулой (1). На последующих шагах направление поиска определяется на основе текущего значения градиента и значений на предыдущих шагах по формуле (2). Перезапуск алгоритма производится при выполнении условия (3).

$$X = X + \alpha \times \Delta X, \quad \Delta X = -\text{grad}(X) \quad (1)$$

$$\Delta X_k = -\text{grad}_k(X) + A_c \times \Delta X_{k-1} + B_c \times (\text{grad}_{k-1}(X) - \text{grad}_k(X)) \quad (2)$$

$$\left| g_{k-1}^T g_k \right| \geq 0.2 \|g_k\|^2, \quad g \equiv \text{grad}(X) \quad (3)$$

Метод сопряженных градиентов (traincgb) [7] на первом шаге вычисляет изменения параметров в соответствии с формулой (1). Затем изменения вычисляются по формуле (4), где параметр Z определяется двумя способами. Во-первых, $Z=0$, если нужно сбросить направление поиска. Во-вторых, он вычисляется на основе учета изменения градиента.

$$\Delta X_k = -\text{grad}_k(X) + Z \times \Delta X_{k-1} \quad (4)$$

Метод, реализованный в функции traincgf [8], отличается способом вычисления параметра Z в формуле (4), который теперь вычисляется по формуле (5).

$$Z = \|g_k^2\| / \|g_{k-1}^2\|, \quad g_k = \text{grad}_k(X) \quad (5)$$

В функции traincgr [8] параметр Z вычисляется по формуле (6).

$$Z = \|(g_k - g_{k-1})^T g_k\| / \|g_{k-1}^2\|, \quad g_k = \text{grad}_k(X) \quad (6)$$

Проведенные вычислительные эксперименты привели к следующим результатам. На рис. 1 приведены графики изменения ошибок обучения для каждого из рассмотренных методов. На рис. 2 приведены аппроксимируемые данные выхода объекта и выход нейронной сети, обученной с помощью функции traincgr при подаче на вход тестовой последовательности.

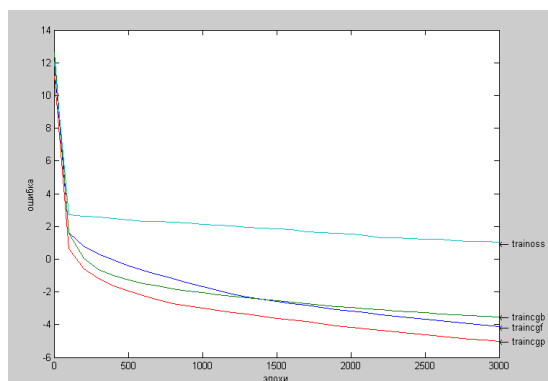


Рис. 1

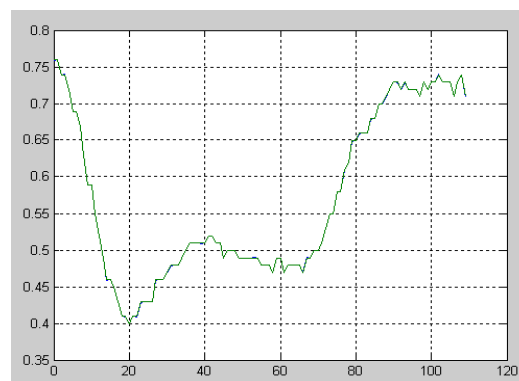


Рис. 2

В табл. 1 приведены количественные показатели сравнения исследованных методов.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что последний из рассмотренных методов наиболее подходящий для решения поставленной задачи.

Таблица 1. Сравнительные характеристики методов обучения нейронной сети

Метод	Кол-во эпох	Ошибка обучения	Время решения
Traincgb	3000	0.0286389	39 мин
Traincgp	3000	0.00654682	27 мин
Trainoss	3000	2.76836	1 час 40 мин
Traincgf	3000	0.016579	31 мин

В целях повышения эффективности к выбранному методу обучения внесем некоторые дополнения. Одним из важных факторов, снижающих эффективность градиентных методов, является снижение скорости движения к экстремуму вблизи экстремума, поскольку величина градиента с каждым шагом становится все меньше. В нейронных сетях, где количество искомых параметров (весовых коэффициентов) весьма велико, это может привести к попаданию в ловушки локальных экстремумов. В качестве одного из способов борьбы с таким явлением применяется так называемый «отжиг» [1]. Речь идет о внесении изменений в формулу активационной функции. Классическая широко применяемая логистическая функция вычисляется по формуле (7). Идея «отжига» заключается в увеличении крутизны активационной функции при приближении к точке экстремума. Для этого в формулу вносится параметр T (см. формулу (8)), интерпретируемый, как «температура отжига».

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}) \quad (7)$$

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x/T}) \quad (8)$$

При этом в начале процесса обучения сети значение температуры может принимать достаточно большие значения, что приводит к уменьшению крутизны активационной функции. По мере приближения к экстремуму (уменьшения ошибки обучения) величина «температуры» снижается, как это происходит при отжиге стали. Как следствие, крутизна активационной функции увеличивается, а, следовательно, возрастает и чувствительность нейронов сети к входным сигналам – возрастает величина градиента, что и требовалось для ускорения достижения экстремума. С этой целью в разрабатываемой проектной операции автоматизации построения нейроэмулятора вводится дополнительный

параметр – крутизна активационной функции или, иначе говоря, «температура отжига».

В связи с тем, что процесс построения нейронной сети является итерационной процедурой, разрабатываемая проектная операция построения нейроэмулятора в составе системы автоматизации построения систем управления должна быть интерактивной. Учитывая, что, как правило, исходные данные требуют предварительной обработки и размещаются каждый в отдельном файле, экранная форма разрабатываемого программного обеспечения должна предусматривать возможность работы с файлами, выполнения предварительной обработки (фильтрации, сглаживания, нормализации) данных. К тому же необходимо предусмотреть возможность задания как параметров собственно нейронной сети (количество нейронов по слоям, виды активационных функций), так и параметров алгоритма обучения сети. На рис. 3 и 4 представлены экранные формы разработанной интерактивной операции построения нейроэмулятора при загрузке данных и при просмотре весовых коэффициентов выходного слоя построенной сети.

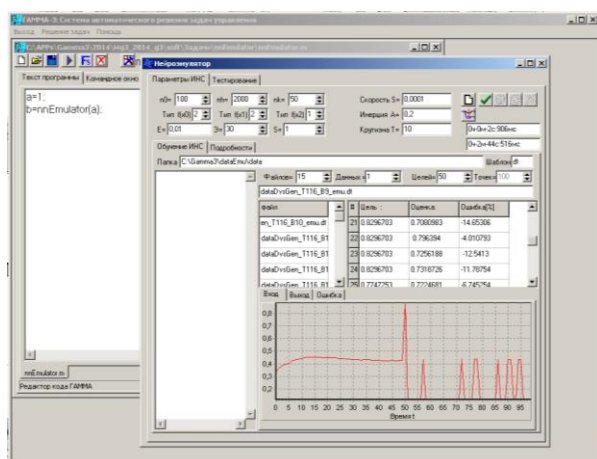


Рис. 3

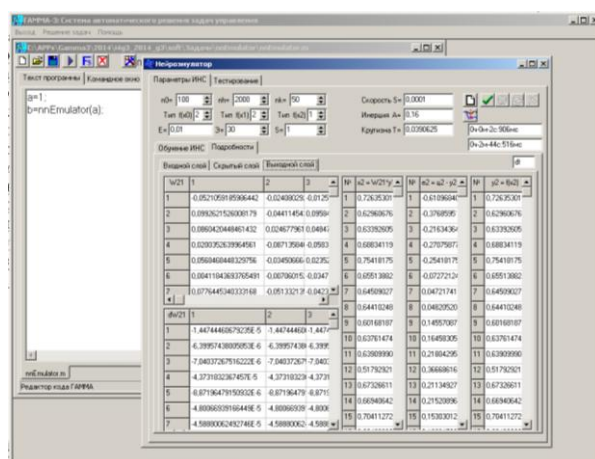


Рис. 4

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (13-07-0647-а).

Список литературы

1. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2 / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф; пер. с англ. Н.В. Батина; под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.
2. Теория нейронных сетей. Кн. 1 / под ред. А.И.Галушкина.- М.: ИПРЖР, 2000.- 272 с.
3. Prokhorov D. Adaptive Critic Designs / D. Prokhorov, D. Wunsch // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1997. – Vol. 8, N 5. – P. 997 – 1007.

4. Александров А.Г. Система ГАММА-3 и ее применение / А.Г.Александров, Л.С.Михайлова, М.Ф.Степанов // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 10. – С. 19 – 27.
5. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x: в 2 т. / В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999.
6. Battiti R. First and second order methods for learning: Between steepest descent and Newton's method / R. Battiti // Neural Computation. – 1992. – Vol. 4. – no. 2. – P. 141-166.
7. Powell M. J. D. Restart procedures for the conjugate gradient method / M. J. D. Powell // Mathematical Programming. – 1977. – Vol. 12. – P. 241-254.
8. Scales L. E. Introduction to Non-Linear Optimization / L.E. Scales. – New York: Springer-Verlag, 1985.

УДК 62-791.2

**ИНЖИНИРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
СКОЛЬЗЯЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ**

Ю.А. Кривошеин

*СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия
Тел. (8452) 998664; E-mail yuriy.krivoshein@mail.ru*

Рассмотрены принципы и методы контроля контактного сопротивления электрических скользящих контактов. Обоснована концепция разработки функциональных структур технических средств контроля скользящих электрических контактов. Приведена функциональная схема автоматизированной установки контроля контактирования и диагностики многоканальных вращающихся контактных устройств.

Ключевые слова: электрический скользящий контакт, методика измерения, контактное сопротивление, контактный шум, средства контроля.

**ENGINEERING FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE DEVICES
OR AUTOMATIC MEASUREMENT AND MONITORING OF
CONTACT RESISTANCE
OF SLIDING ELECTRICAL CONTACTS**

Y.A. Krivoshein

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The principles and methods of control of contact resistance of electrical sliding contact. Is the concept of the functional structures of technical means of control of sliding electrical contacts. Shows the functional diagram of the automated control plants contacting diagnostic and multi-channel Rotary contact devices.

Keywords: electrical sliding contact, measurement technique, contact resistance, contact buzz, monitoring tools.

Электрические контакты, а соответственно, и электрические соединители, являются неотъемлемыми элементами любой электронной аппаратуры и любых приборов. Современное развитие промышленности, авиации, космонавтики и оборонной техники требует создания еще более сложных высокотехнологичных наукоемких электрических подвижных и неподвижных соединителей с достаточно высокой степенью надежности. Несмотря на важность функций, которые они выполняют, и на такое широкое применение контактов, их надежность еще недостаточна и зачастую значительно снижает надежность всего устройства. Из-за плохих контактов в аппаратуре возникают ложные сигналы, а контактные шумы по своему уровню могут превышать полезные сигналы.

Контактное сопротивление равно сумме переходного и омического сопротивлений обоих контактов между точками присоединения проводников:

$$R_K = R_{\Pi} + R_{\Delta} + R_{\text{Щ}} , \quad (1)$$

где R_{Π} – переходное сопротивление; R_{Δ} и $R_{\text{Щ}}$ – сопротивления активных участков ламельной и щеточной частей контактной пары.

При эксплуатации соединителей контактное сопротивление изменяется в основном за счет изменения переходного сопротивления. Природа переходного сопротивления до сих пор полностью не выяснена. Существует несколько различных теорий по этому вопросу, но наибольшее распространение получили две основные теории контактного сопротивления – В. Чельхина и Р. Хольма [1], эти теории основаны на несколько различной природе этого явления, но приводят, тем не менее, к одинаковому результату.

Исследования в условиях трения скользящих электрических контактов (СЭК) позволили установить зависимость электропроводимости контакта двух тел от нормальной нагрузки, значений величины проходящего электрического тока и напряжения на контакте. При чисто металлическом или квазиметаллическом контакте электрический ток протекает без заметного переходного сопротивления, как между кристаллитами в компактном металле. На проводимость контакта могут значительно влиять находящиеся на контактных поверхностях пленки,

диэлектрики, вторичные структуры, образующиеся в процессе трения и имеющие сложный химический состав. В условиях трения на электропроводность значительное влияние оказывают релаксационные автоколебания элементов контактной пары.

Существующие теории переходного сопротивления не в полной мере объясняют все явления, происходящие при прохождении через контакты высокочастотных переменных токов, например повышение R_{Π} , возникновение реактивного сопротивления, искажение электрического сигнала, проходящего через контакты, и переходных процессов, возникающих при этом.

Схему работы электрического контакта целесообразно в общем виде представить так, как показано на рис. 1.

Переходная зона, как и всякое сопротивление, обладает индуктивностью и емкостью, которые образуют реактивное сопротивление этой зоны. В новых контактах, а также в контактах, покрытых благородными металлами и их сплавами (золото, серебро, палладий и др.), при достаточном контактном давлении число участков с квазиметаллической проводимостью незначительно и их влиянием можно пренебречь. При низких частотах и на постоянном токе влияние реактивного сопротивления пренебрежимо мало, на высоких частотах реактивная составляющая переходного сопротивления оказывает решающее влияние на работу электрических контактов.

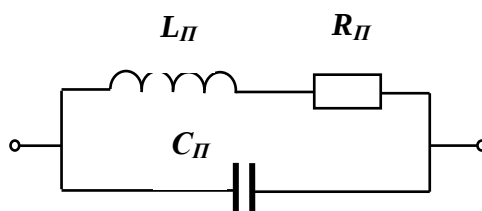


Рис. 1. Эквивалентная схема электрического контакта

Электрическое контактирование СЭК представляет собой случайный процесс, характеризуемый чисто металлической и туннельной проводимостью и зависит от режимов трения и динамики контактных элементов. Нестабильность (флуктуации) переходного сопротивления – это величина изменения переходного сопротивления. Концептуальная диагностическая модель СЭК, необходимая для теоретического представления процесса и пригодная для разработки методик контроля параметров и диагностирования их состояния, может быть представлена как флуктуирующая проводимость омического характера, амплитудно-частотные свойства которой зависят от режима и динамики трения элементов контактной пары.

Широко распространен принцип активного контроля контактирования, основанный на оценке электропроводности СЭК в динамике [2]. При оценке электропроводности в этом случае в качестве исходного сигнала используется стабилизированный постоянный ток, проходящий через СЭК. Измерительным сигналом является падение напряжения на контакте U_K , пропорциональное контактному сопротивлению R_K . Обработка измерительного сигнала в виде кривой стохастических флуктуаций U_K (рис. 2, а) в дальнейшем проводится с привлечением аппарата теории выбросов или случайных функций для определения соответствия параметров СЭК заданным ТУ. Для использования этого способа создана высокочувствительная автоматизированная аппаратура с методиками контроля контактирования и прогнозирования надежности работы прецизионных слаботочных СЭК.

При анализе электрического контактирования СЭК по методу выбросов, если за заданное время T (рис. 2, б) зарегистрировано N выбросов $r_K > r_{\text{доп}}$ длительностью τ , больше допустимой $\tau_{\text{доп}}$ (выбросы r_K с длительностью $\tau_K > \tau_{\text{доп}}$ считаются отказами), то подсчитывается суммарная длительность отказов, средняя длительность отказа, вероятность появления отказа, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы.

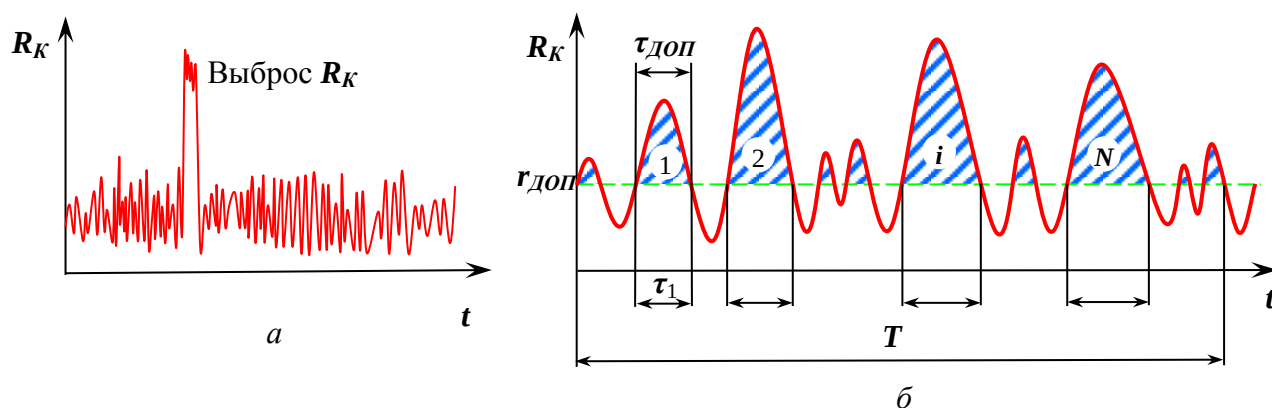


Рис. 2. Флуктуации U_K : а – кривая стохастических флуктуаций U_K ; б – описание контактирования методом выбросов

Для описания контактирования СЭК используется также метод случайных функций, когда контактирование представляется как случайная функция контактного сопротивления R_K , аргументами которой являются время t и координата x взаимного положения элементов контактной пары, то есть

$$R_K = r_K(t, x). \quad (2)$$

При анализе контактирования этим методом экспериментально определяется плотность распределения вероятности $G(r_k, t, x)$, а затем вычисляются математическое ожидание

$$M(t, x) = \int_0^{\infty} r_k(t, x) G(r_k, t, x) dr_k \quad (3)$$

и дисперсия

$$D(t, x) = \int_0^{\infty} [r_k(t, x) - M(t, x)]^2 G(r_k, t, x) dr_k. \quad (4)$$

Это позволяет проанализировать изменение R_k с течением времени при различных положениях поверхностей элементов контактной пары и оценить вероятность выхода за допустимые пределы. Для исследования динамики процессов контактирования, кроме того, необходимо определить соответствующие корреляционные функции, а для оценки вида распределения отказов определить высшие моменты.

Описание контактирования методами теории выбросов и случайных функций весьма слабо связано с физикой отказов СЭК, обладает малой панорамностью обзора протекающих в СЭК процессов, затрудняет оперативный контроль, не позволяет осуществить их полный мониторинг. Требуются большие затраты аппаратных и вычислительных ресурсов для хранения и обработки больших массивов экспериментальных данных, нет возможности использования стандартного измерительного оборудования.

Вследствие наличия переменного переходного контактного сопротивления СЭК является не только каналом электрической связи, но и источником электрического шума. Рядом исследователей установлено, что напряжение контактного шума, возникающее на СЭК вследствие флуктуаций контактного сопротивления, зависит от вида контактирующих металлов, а частотный спектр мощности шума зависит от качества поверхностей контактирующих деталей. Анализом частотного спектра контактного шума установлены три типа характеристик спектров, зависящих от свойств поверхностей металлов контактных пар: $S_{ш} = f^{-(1/2)}$ – для металлов с большим значением отношения поверхностной энергии к твердости; $S_{ш} = f^{-1}$ – для благородных и аналогичных металлов; $S_{ш} = f^{-2}$ – для твердых неблагородных металлов.

Эффективная проводящая поверхность СЭК в общем случае состоит из постоянной и переменной составляющих, как и адекватная ей проводимость зоны контакта. Переменную составляющую проводимости СЭК можно представить случайным стационарным эргодическим процессом, аргументами которого являются время t и координата x взаимного положения поверхностей элементов, то есть в общем виде

$$R_K = r_K(t, x) = \bar{r}_K(t, x) + \tilde{r}_K(t, x), \quad (5)$$

где $\bar{r}_K(t, x)$ и $\tilde{r}_K(t, x)$ – соответственно, постоянная и переменная составляющие контактного сопротивления $r_K(t, x)$.

При соблюдении условия стационарности и эргодичности процесс можно оценить моментами первого и второго порядка с аргументом t :

$$m_1 = \lim_{T_{yc} \rightarrow \infty} \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} r_K(t) dt = R_K(t); \quad (6)$$

$$m_2 = \lim_{T_{yc} \rightarrow \infty} \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} \left[\bar{r}_K(t) + \tilde{r}_K(t) \right]^2 dt = [R_K(t)]^2 + D_R, \quad (7)$$

где T_{yc} – интервал времени усреднения, D_R – среднее значение квадрата переменной составляющей – дисперсия.

$$D_R = \lim_{T_{yc} \rightarrow \infty} \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} \tilde{r}_K^2(t) dt = \tilde{R}_K^2(t). \quad (8)$$

Для определения переменной составляющей контактного сопротивления можно воспользоваться аппаратом теории шумов, когда шум полностью определяется спектральной функцией его мощности. Для контактного шума СЭК такие функции определены экспериментально и имеют спектр:

$$S_{R_K}(f) = C/(f)^\Psi, \quad (9)$$

где C – постоянная, не зависящая от частоты f , $\Psi = (0,2 - 2)$.

В соответствии с (8) можно оценить среднюю мощность флуктуаций падения контактного напряжения:

$$\delta U_K^2(t) = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta U_K^2(t) dt. \quad (10)$$

Для этого необходимо измерить среднеквадратическое значение δU_K :

$$CK3 \delta U_K = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta U_K^2(t) dt} = \sqrt{\delta U_K^2(t)} \quad (11)$$

и возвести его во вторую степень. Если измерять $CK3 \delta U_K$ на выходе узкополосного фильтра, то можно получить спектральную плотность:

$$S_{\delta U_K}(f) = CK3 \delta U_K / \Delta f, \quad (12)$$

где Δf – ширина полосы пропускания фильтра.

В информационном аспекте СЭК можно представить или источником помех прохождению электрического тока в канале связи или источником информации – генератором электрического шума, зависящего от эффективной проводящей поверхности. Так как частотный спектр плотности электрического шума, генерируемого СЭК при прохождении электрического тока, зависит от состояния поверхностных слоев контактной пары и имеет характеристику $S_{ш} = f^{-n}$, показатель n зависит от материалов контактов, то СЭК можно представить линейным звеном с передаточной функцией, выражаемой случайным стационарным процессом, состоящим из постоянной и переменной составляющих. Выходной сигнал, снимаемый с СЭК, в общем виде определяется уравнением:

$$U_{вых}(t) = \mu(t)U_{вх}(t) + \zeta(t), \quad (13)$$

где $\mu(t)$ – мультипликативная помеха прохождению электрического тока; $\zeta(t)$ – аддитивная помеха.

Постоянную составляющую контактного шума можно определить, измеряя среднее значение контактного падения напряжения СЭК. Чтобы определить переменную составляющую контактного шума, необходимо измерять среднеквадратическое значение падения контактного напряжения, а это легко осуществляется с помощью стандартных измерительных приборов и аппаратуры, совместимой с управляющей и вычислительной техникой.

Анализ номенклатуры устройств с СЭК показывает, что их можно классифицировать по ряду отличительных признаков, приведенных в табл. 1.

Каждый из конструктивных видов характеризуется режимом работы, условиями эксплуатации и специфическим набором требований технических условий, что определяет требования к необходимым средствам контроля этих устройств. Кроме того, функциональная структура технических средств контроля определяется областью их использования (для исследовательских работ при проведении НИР и ОКР; для проведения приемосдаточных, ресурсных и контрольных испытаний в производстве; для проведения проверочных и контрольных испытаний при эксплуатации устройств с СЭК). Обобщенная функциональная схема системы контроля и диагностирования состояния элементов СЭК (рис. 3) должна включать следующие узлы: устройство обработки измерительного сигнала; устройство управления; усилитель; коммутатор; источник стабилизированного тока; приспособление с приводом контактного узла.

Таблица 1. Признаки классификации СЭК

Род тока	Постоянный	Переменный		
		низкочастотный	среднечастотный	высокочастотный
Величина тока	слаботочные		сильноточные	
Вид нагрузки	активная		реактивная	
Назначение	информационные		силовые	
Вид движения	вращательное		линейное	
	непрерывное	с реверсом		импульсное
	с постоянной скоростью		широкий диапазон скоростей	
Вид поверхности	непрерывная	ламели с изоляторами		потенциометрическая
Количество цепей	одна		многокольцевые	
Материал контактов	из благородных металлов и сплавов		из неблагородных металлов	
			без покрытия	с покрытием
Наличие смазки	сухие без смазки	со смазкой	погруженные в жидкость	
Контактное давление	настраиваемое	регулируемое	определяется конструкцией	

В зависимости от области применения и конкретных параметров контактного устройства, предъявляемых к нему требований и выбранного метода измерения контактного сопротивления в систему также могут входить другие устройства и установки конкретного назначения (например, для климатических или вибрационных испытаний с одновременным контролем параметров контактирования). Область применения системы и применение вычислительной техники определяют наличие или отсутствие отдельных элементов функциональной схемы, соотношение аппаратной и программной реализации этих узлов, применение стандартизованных и нестандартизованных оригинальных средств измерения и аппаратуры, уровень автоматизации измерительных операций.

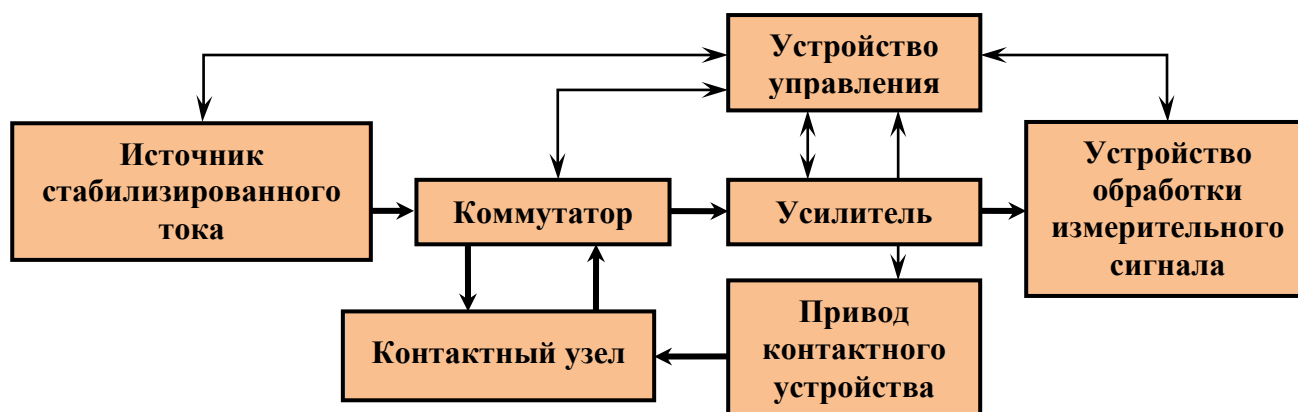


Рис. 3. Обобщенная функциональная схема системы контроля и диагностирования

В общем случае измерение контактного сопротивления производится по схеме преобразования R_K в напряжение U_K при прохождении постоянного стабилизированного тока с использованием четырехпроводной измерительной схемы, позволяющей исключить погрешности, обусловленные сопротивлением соединительных проводов.

Для контроля и диагностирования СЭК конкретного объекта требуется n преобразователей или один мультиплексор (коммутатор) со структурой $n \rightarrow 1$, где n – число диагностируемых контактов.

После преобразования и усиления (если необходимо) сигнала, снятого с СЭК, на выходе формируется U_K , которое содержит постоянную и переменную составляющие, а также при определенных режимах трения (окислительное изнашивание, схватывание и т.п.) – выбросы контактного напряжения.

На рис. 4 приведена функциональная схема установки контроля контактирования многоканальных вращающихся контактных устройств с применением описанной выше методики интегральной оценки качества процесса контактирования по СКЗ флуктуационного шума R_K , постоянной составляющей R_K и выбросов R_K .

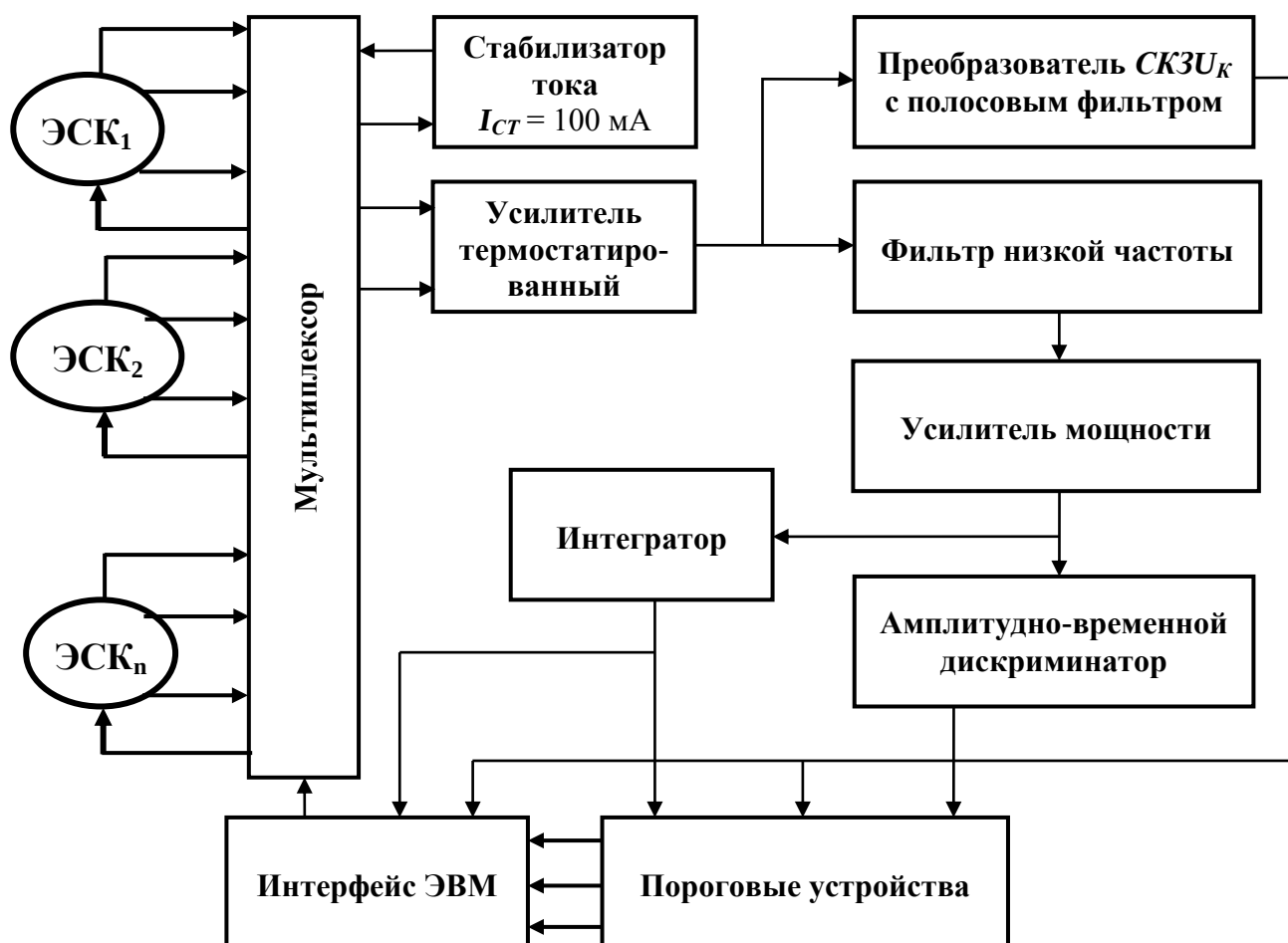


Рис. 4. Функциональная схема установки контроля контактирования многоканальных ВКУ

Данная установка позволяет также использовать прием дискриминационной оценки этих параметров, когда о состоянии объекта диагностирования судят по превышению значений величин информативных параметров измерительного сигнала над некоторыми его значениями, принятыми за допустимые.

Установка содержит коммутатор со структурой $n \rightarrow 1$, подключающий СЭК к термостатированному усилителю с симметричным входом и защитой от короткого замыкания. Установка имеет три предела измерения, соответствующие трем коэффициентам усиления усилителя при номинальном значении стабилизированного тока, подаваемого на контакт, равном 100 мА. С выхода усилителя после прохождения фильтра низкой частоты и усилитель мощности сигнал поступает на интегратор (усредняющую цепочку) и далее на электроизмерительный прибор среднего значения напряжения и на амплитудно-временной дискриминатор для анализа аномальных выбросов U_K . Измерение $СКЗU_K$ проводится после прохождения сигнала с усилителя через преобразователь $СКЗU_K$ с полосовым фильтром.

Список литературы

1. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961. – 464 с.
2. Куранов В.Г. Метод исследований и оценки устойчивости фрикционных покрытий / В.Г. Куранов, Ю.А. Кривошеин // Проектирование и техническая диагностика автоматизированных комплексов: межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 1997. – С. 36-47.

УДК 621.791

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Н. Ганюшкин¹, С.К. Сперанский², В.Н. Лясников², Н.И. Китаев²

¹ОАО «НИТИ-Тесар», г. Саратов, Россия,

Тел. +7(8452)563-094

²СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия,

Тел. +7(8452)998-623 e-mail: fntm@sstu.ru)

Приводятся современные методы анализа сварных швов с возможностью автоматизации их контроля: метод главных компонент, бустинг, байесовские сети. Рассматриваются методы автоматизации

процесса сварки с использованием нечетких множеств, нейронных сетей и генетического алгоритма оптимизации.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, метод главных компонент, байесовские сети, нечеткие множества.

SCIENTIFIC APPROACHES TO IMPROVING THE QUALITY OF WELDED JOINTS

A.N. Ganushkin¹, S.K. Speransky², V.N. Lasnikov², N.I. Kitaev²

¹*OAO «NITI-Tesar» Saratov, Russia*

²*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia*

Modern methods of analysis of welds with the ability to automate their control: the principal component analysis, boosting, Bayesian networks are shown in artikel. Methods of automation of the welding process using fuzzy sets, neural networks and genetic algorithm optimization are listed

Keywords: electron-beam welding, the principal component analysis, Bayesian networks, fuzzy sets.

Процесс электронно-лучевой сварки керамики и железных сплавов, который имеет место при изготовлении деталей космического назначения, отличается многообразием факторов, влияющих на качество сварного шва: многосвязанностью, стохастичностью, нелинейностью, нестационарностью, многорежимностью, неточностью математического описания, сильными возмущениями [1,2]. Традиционный аппарат управления не может учесть этих особенностей. Очевидно, что в этих условиях разработка системы управления должна осуществляться с привлечением методов и средств искусственного интеллекта. Особенно эффективно при этом сочетание классических подходов к проектированию системы управления с подходами на основе искусственного интеллекта.

Отличительной чертой управления такой сваркой являются косвенные методы измерения выходных параметров, обусловленные недоступностью зоны обработки [3]. При этом часто единственной доступной информацией является экспертная информация эвристического характера. Следовательно, в этих условиях необходимо привлекать методы и средства искусственного интеллекта, в частности: нечеткой логики и экспертных систем.

При проектировании систем управления с искусственным интеллектом важной задачей является выбор инструментальных средств для получения, представления и оперирования знаниями, полученными в результате эксперимента. Для этого использовались диагностические средства (рис.1).

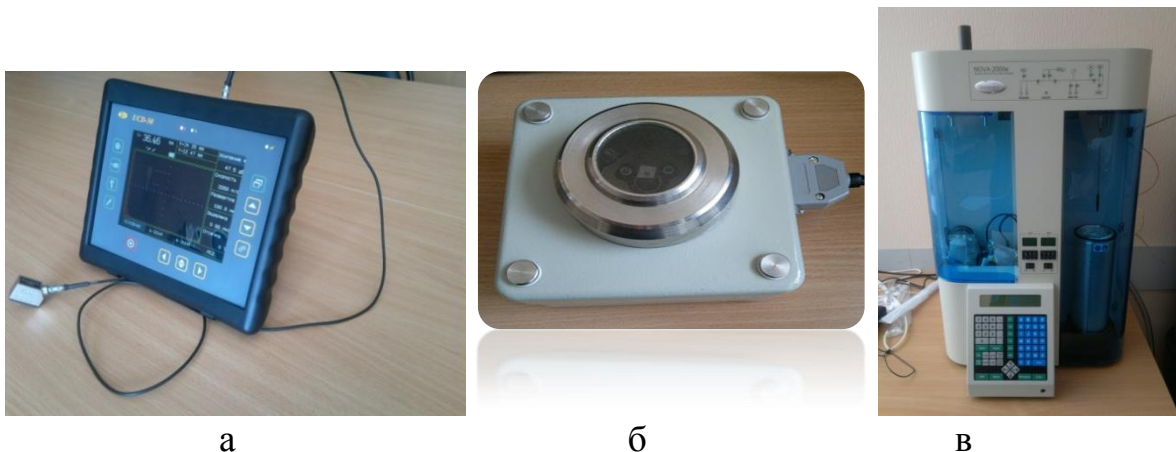


Рис. 1. Диагностическая аппаратура для изучения сварных швов:

- а- ультразвуковой дефектоскоп для контроля сварных соединений USD-50;
- б- атомно-силовой микроскоп SMM2000 для исследования наноструктуры (от 0,1 нм);
- в - анализатор площади удельной поверхности NOVA2000e для изучения пористости и адсорбции сварного соединения

В результате исследования было установлено, что на качество поверхности и форму профиля сварного шва значительно влияют параметры обработки (рис. 2).

В современных условиях, с наличием современных программных продуктов и высокого быстродействия вычислительных машин, стало возможным создавать и использовать алгоритмы для автоматического контроля качества сварных соединений. Форма и размеры характерных элементов шва (линии, дуги, овалы, круги, прямоугольники) отражают режимы, при которых осуществлялась сварка. При наличии такого инструмента можно говорить о возможности создания системы автоматической оценки характеристик сварного шва по цифровым фотографиям их поверхностей и принятия решения о выборе режима их обработки.

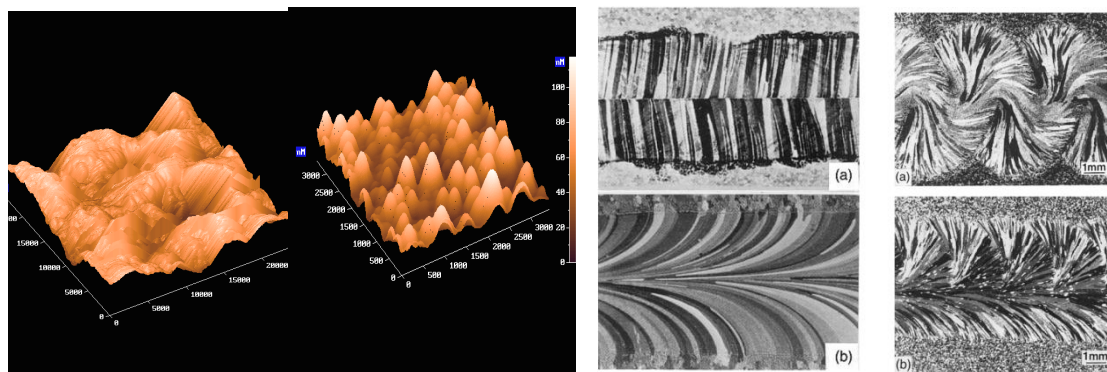


Рис. 2. Оценка поверхности, полученная при разных режимах сварки с помощью атомно-силового микроскопа SMM2000 и оптических устройств контроля

Для классификации изображений шва возможно использование *метода главных компонент* [4,5]. *Метод главных компонент* является способом уменьшения размерности данных при минимальной потере информации. При использовании метода главных компонент мы будем искать пространства меньшей размерности в ортогональной проекции, на которые разброс данных будет максимизирован.

Фактически, весь метод МГК заключается в вычислении *собственных векторов* и *собственных значений* ковариационной матрицы, построенной с использованием исходных данных сварного шва. После того, как собственные векторы и собственные значения рассчитаны, мы можем вычислить так называемые *собственные изображения* – компоненты, по которым фактически будут раскладываться наши изображения сварного шва при детектировании. Для этого исходный участок снимка сварного соединения с наличием характерных геометрических элементов (или характерных дефектов) преобразуется в вектор собственных изображений. Восстановленное изображение шва будет тем ближе к оригиналу, чем более подходящий набор собственных изображений был выбран при обучении. Для нахождения конкретных неоднородностей в зоне сварки на снимке, полученном с помощью электронного микроскопа, нам необходимо пройти сканирующим окном по всему изображению и для каждого фрагмента определить, есть ли в нем характерный элемент или нет. Используя эту информацию, возможно формирование экспертной системы, которая будет способна автоматически анализировать снимки поверхности и формировать отчет о характеристиках полученного сварного соединения. В дальнейшем эта информация может быть интегрирована в экспертную систему, управляющую режимами сварки.

Другим алгоритмом распознавания характерных особенностей в зоне сварки является *метод Бустинга* [6,7]. Его основная идея заключается в создании сильного классификатора из набора слабых классификаторов. На каждой итерации алгоритма примеры из тренировочного набора особенностей сварного шва, которые классифицируются правильно, получают меньший весовой коэффициент w_t , а те, которые часто классифицировались неправильно, получают больший вес. Если результат классификации детектором $F(x_t)$ совпадает по знаку с фактическим наличием особенности на изображении, то функция ошибки $J(F)$ минимизируется:

$$F(x) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) + \dots$$

$$J(F) = \sum_{t=1}^N e^{-y^F(x_t)},$$

где $f_k(x)$ - слабые классификаторы; $F(x)$ - сильный классификатор; x_t - тренировочные изображения; $y_t \in [-1; 1]$ - особенность сварного шва или

фон, представленный на тренировочном изображении t ; N - количество тренировочных изображений.

Одним из наиболее эффективных инструментов анализа сварного шва, является использование *байесовских сетей*. Пусть A_i – полная группа параметров сварного шва, а B – режимы сварки. Тогда вероятность получения сварного шва с заданными параметрами вычисляется по формуле Байеса:

$$P\{A_i | B\} = \frac{P\{B | A_i\}P\{A_i\}}{\sum_{i=1}^n P\{B | A_i\}P\{A_i\}}.$$

Сеть Байеса, формируемая на основании этой формулы, представляет собой направленный ациклический граф, где каждый узел представляет собой входную переменную, а каждая дуга - вероятностную зависимость, определяемую количественно использованием условного распределения вероятностей для каждого узла. Чем больше вероятность, тем больше соответствие между входными параметрами сварки и качеством полученного шва. При этом методе используются суждения экспертов о значении входных параметров сварки, приводящих к тем или иным характеристикам сварного шва.

Проблема управления электронно-лучевой сваркой вызвана значительной нелинейностью технологического процесса. В этих условиях целесообразно применение нечеткой логики, нейронных сетей и генетического алгоритма оптимизации. *Нечеткая логика* обеспечивает интерактивную поддержку на всех этапах обработки данных - от задания числа и названия переменных, установки числа термов, определения функции принадлежности, базы правил и способов фазификации [8]. При этом необходимо определить функцию принадлежности, которая есть оценка того, что каждый элемент базового множества принадлежит некоторому нечеткому множеству и преобразуется в лингвистические значения, которые соответствуют этому нечеткому множеству. Например **СКОРОСТЬ** сварки титана: «очень высокая», «в меру высокая», «более или менее высокая», «средняя», «небольшая», «маленькая», «очень маленькая». При этом качество поверхности - **ШЕРОХОВАТОСТЬ** задается термами: «высокая» ($R_z \sim 50$ мкм), «средняя» ($R_z \sim 20$ мкм), «низкая» ($R_z \sim 5$ мкм). Существуют различные процедуры преобразования лингвистических переменных и соответствующие им нечеткие множества в числовые переменные: *вероятностные, полной интерпретации (метод центра тяжести), метод среднего из максимумов* [9]. При этом реализуются следующие методы логического вывода в условиях неопределенности: вероятностная байесовская логика, композиционное правило вывода, выводы на основе правила Modus Ponens и правила Modus Tollens, нечеткого вывода по Мамдани, по Ларсену, по Цукамото [10].

При использовании *искусственной нейронной сети* в качестве управляющего устройства производится настройка значений коэффициентов межнейронных связей в режиме обучения. При первой подаче очередного эталонного входного образа (ток, напряжение на аноде, скорость сварки и т.д.) выходной сигнал, например пористость сварного шва, отличается от эталонного. Блок обучения оценивает величину ошибки и корректирует коэффициенты межнейронных связей с целью ее уменьшения. При каждой последующей подаче этого же эталонного входного образа ошибка уменьшается. Процесс продолжается до тех пор, пока ошибка не достигнет требуемого значения. Подсчет отклонения производится суммированием и делением разности между полученным выходным значением и количеством «пар». Мерой успешности данного решения служит отклонение, являющееся разницей между исходными выходными данными и данными, полученными при подстановке в сеть всех тренировочных входных данных.

В качестве алгоритма обучения сетей используется *генетический алгоритм*, как наиболее прогрессивный на данный момент. Генетический алгоритм - это стратегия выхода из локальных оптимумов, ради достижения глобального минимума. Она заключается в параллельной обработке множества альтернативных решений, концентрируя поиск на наиболее перспективных из них.

Приведенные направления, обеспечивающие улучшение качества сварных соединений, возможно реализовать в установках для электронно-лучевой сварки, выпускаемых ОАО «НИТИ-Тесар» (рис. 3).

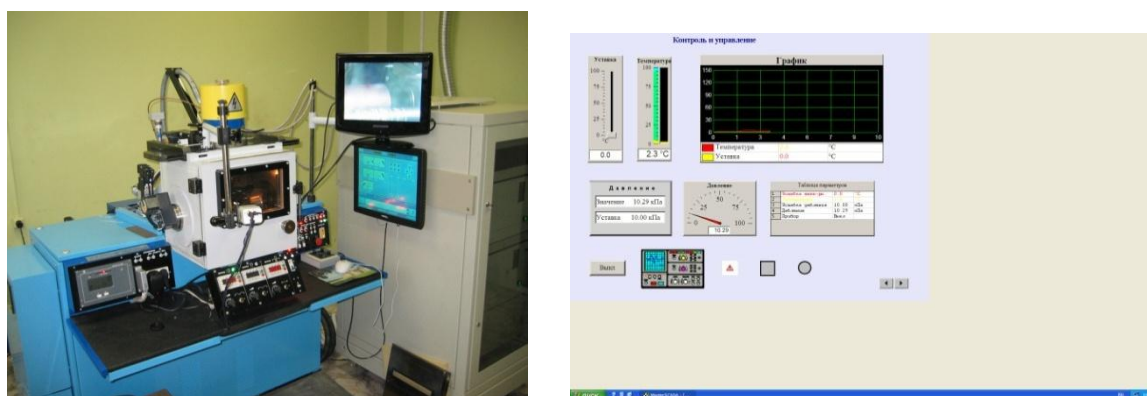


Рис. 3. Установка для электронно-лучевой сварки УЭЛС-906 и программируемый интерфейс для ввода режимов обработки

Список литературы

1. Зориктуев В.Ц. Управление технологическими процессами в машиностроении: учебник / В.Ц. Зориктуев, Р.Р. Загиддуллин, А.Г. Лютов; под общ. ред. В.Ц. Зориктуева. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 512 с.

2. Акишин А.И. Физика воздействия концентрированных потоков энергии на материалы /А.И. Акишин, Г.Г. Бондаренко.– М.:УНЦ ДО МГУ, 2004. – 418 с
3. Рыкалин Н.Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов/ Н.Н. Рыкалин, И.В. Зуев, А.А. Углов.– М.:Машиностроение, 1978.– 239 с.
4. Malagon-Borja L. Object detection using image reconstruction with PCA / L. Malagon-Borja, O.Fuentes // IVC. – 2009. – Vol. 27. – P. 2–9.
5. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics / I.T. Jolliffe, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XIX, 487 p.
6. Turk M. Eigenfaces for recognition / M. Turk, A. Pentland // The Journal of Cognitive Neuroscience. – 1991. – № 3(1). – P.71-86.
7. Sirovich L. Low-dimensional procedure for the characterization of human faces / L. Sirovich, M. Kirby // J Opt Soc Am. –1987. – A 4:(3). – P. 519-524.
8. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин.– М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит.,1990.– 272 с.
9. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Н.Д. Егупова.– М.:Изд-во МГТУ им.Баумана, 2002.– 744 с.
10. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления: Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А.А.Усков.- М.:Горячая линия – Телеком, 2004.–143 с.

УДК 62-233.27

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВИБРОМОНИТОРИНГА

Д.С. Никоноров, С.С. Смирнов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. 8(987)-822-55-85; E-mail valensoq@mail.ru

Описываются задачи и методы идентификации подшипников качения.

Ключевые слова: идентификация, диагностирование, мониторинг, вибрация, спектр, дефект, подшипник.

IDENTIFICATION OF DEFECTS OF ROLLING BEARINGS VIBRATION MONITORING SYSTEM

D.S. Nikonorov, S.S. Smirnov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Describes the objectives and methods of identification of rolling bearings.

Keywords: identification, diagnosis, monitoring, vibration spectrum, defect, bearing.

Основная группа используемых методов идентификации (оценки причины и величины) обнаруженных изменений состояния механизмов построена на анализе наиболее информативного диагностического сигнала - вибрации контролируемых механизмов в установившемся режиме работы, чаще всего, номинальном. Именно в номинальном режиме механизм работает основную часть своего жизненного цикла и именно на нем происходит развитие основных дефектов вплоть до аварийно-опасного, исключающего возможность дальнейшей эксплуатации механизма [1, 2, 4].

Первая задача идентификации - определение причины ухудшения состояния механизма, обнаруживаемого по результатам периодического измерения и анализа диагностических сигналов или по косвенным признакам. Причиной может быть и медленно развивающийся дефект, и аварийно-опасный дефект (цепочка дефектов), при котором любое изменение режима работы механизма может вызвать быстрый отказ. Соответственно вторая задача - дать оценку опасности обнаруживаемых изменений, с использованием не только величины превышения изменяемым параметром вибрации (температуры) пороговых значений, но и скорости изменения, определяемой по его трендам.

Задачами оценки состояния подшипников, во многом определяющего ресурс механизма, являются поиск дефектного подшипника из числа установленных в механизм, идентификация величины дефекта и скорости его развития. В простейшем случае дефектный подшипниковый узел (из всех подшипниковых узлов механизма) выделяется по максимальному росту уровня вибрации на высоких и ультразвуковых частотах. После выделения дефектного узла оценивается величина дефекта подшипника по росту уровня среднечастотной вибрации узла в широкой полосе частот при условии, что этот рост в дефектном узле существенно выше, чем в других. Это основной критерий разделения дефектов подшипников и других узлов механизма, например механических передач, когда среднечастотные колебательные силы от одного дефектного узла действуют одновременно на несколько опор вращения механизма. Заключительный этап - оценка скорости развития дефекта по трендам изменения выбранных параметров среднечастотной и высокочастотной вибрации во времени и прогноз их достижения порогов «опасность».

Типовые дефекты подшипников качения, доступные для идентификации в целях более глубокой диагностики и долгосрочного прогноза состояния подшипника, можно разделить на пять разных групп:

- перегрузка поверхностей качения;
- износ (равномерный) поверхностей качения;
- дефекты поверхностей качения (неравномерный износ, сколы, раковины, трещины наружного и внутреннего колец, тел качения);
- дефекты поверхностей скольжения (износ, трещины сепаратора и защитных шайб);
- дефекты смазки.

Идентификация дефектов подшипника качения может проводиться по низкочастотной и среднечастотной вибрации подшипникового узла (по росту соответствующих рядов подшипниковых составляющих в ее спектре), по высокочастотной вибрации узла (по частотам периодической модуляции возбуждающих вибрацию сил трения в подшипнике) и ультразвуковой вибрации (по периодичности ударных импульсов, возникающих при разрывах масляной пленки). Но далеко не все методы идентификации дефектов доступны для использования в простейшей системе мониторинга состояния. В полном объеме задача идентификации дефектов подшипника решается лишь профессиональными средствами диагностики.

Первой задачей идентификации дефектов подшипника по измерениям простейшей системой мониторинга является сравнение третьоктавных спектров вибрации и параметров высокочастотной и/или ультразвуковой вибрации (СКЗ и Пика) с порогами. Если превышены пороги СКЗ или Пика ультразвуковой вибрации только в одном подшипниковом узле, наиболее вероятен дефект подшипника именно в этом узле. Если дополнительно к росту ультразвуковой вибрации имеет место ее рост хотя бы в одной из третьоктав на средних частотах (обычно начиная с 1-2 кГц), и нет значительного роста вибрации в этой же третьоктаве у других узлов механизма, дефект подшипника реально опасен. Указанные признаки дефекта подшипников относятся и к дефектам поверхностей качения, и к поверхностям скольжения, и к дефектам смазки. Не оказывают большого влияния на высокочастотную вибрацию лишь дефекты в виде перегрузки поверхностей качения и равномерного износа подшипников.

Определить, какой дефект поверхностей качения или поверхностей скольжения привел к обнаруженному росту СКЗ и Пика высокочастотной и/или ультразвуковой вибрации, по данным измерения простейшей системой мониторинга практически невозможно, нужно использовать профессиональную систему диагностики.

Два из возможных дефектов подшипников качения, а именно его перегрузка и равномерный износ поверхностей трения могут не приводить к росту вибрации на средних, высоких и ультразвуковых частотах.

Обнаруживать опасный рост зазора в подшипнике горизонтально расположенного механизма из-за равномерного износа поверхностей качения можно по появлению автоколебаний ротора. В машинах вертикального исполнения при увеличении зазора в подшипнике растет и вибрация на частоте вращения, но идентифицировать причину такого роста можно лишь средствами профессиональной диагностики.

В некоторых случаях, например при быстром развитии дефекта поверхности качения (трещина), а также при дефектах монтажа подшипника или при контроле состояния подшипника после добавления смазки, состояние смазки оказывается удовлетворительным, даже если имеется другой сильный дефект подшипника, опасный для продолжения эксплуатации механизма. В таких случаях решение о необходимости проведения ремонта принимается по росту среднечастотной вибрации контролируемого подшипникового узла в нескольких полосах частот при отсутствии аналогичного роста вибрации в других подшипниковых узлах механизма.

Схема алгоритма идентификации дефектов подшипника по результатам измерений, выполняемых простейшей системой диагностики, приводится на рис. 1 [4].

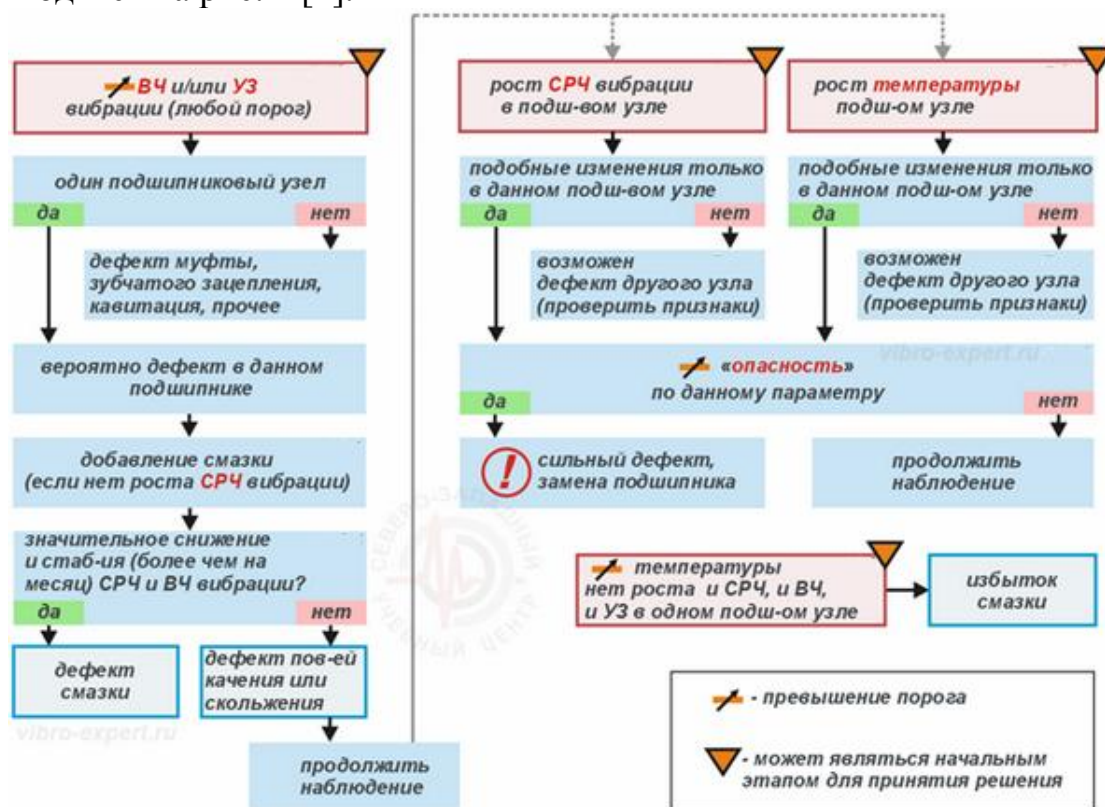


Рис. 1. Алгоритм идентификации дефектов подшипников качения (СРЧ – среднечастотная, ВЧ – высокочастотная, УЗ – ультразвуковая вибрации)

Краткосрочный прогноз состояния подшипника качения должен проводиться одновременно и независимо по нескольким параметрам - по трендам уровня вибрации не менее чем в трех частотных областях - среднечастотной, высокочастотной и ультразвуковой. Итоговый прогноз наработки до отказа должен определяться минимальной из независимо полученных оценок.

Перечисленные методы идентификации дефектов подшипников качения на основе измерений среднечастотной, высокочастотной и ультразвуковой вибрации распространяются на подшипниковые узлы, в которых неподвижна и имеет прямой контакт с корпусом одна из поверхностей качения (наружное или внутреннее кольцо). При этом корпус подшипникового узла или подшипниковый щит должен быть доступен для установки датчика вибрации.

Диагностические признаки обнаружения дефектов, которые могут быть заложены при определении правил диагностирования, представлены в табл. 1[6].

Идентификация дефектов и прогноз состояния подшипников качения с помощью простейшей системы мониторинга и профессиональной системы диагностики проводится по принципиально разным схемам. В профессиональной системе диагностики независимо контролируется развитие каждого из возможных дефектов подшипника от момента его зарождения и с учетом реальных скоростей развития. Поэтому возникает возможность долгосрочного прогноза состояния подшипника в случае, когда отсутствует любой из видов потенциально опасных дефектов [3].

Многообразие методов идентификации разных дефектов на разных стадиях их развития, а также нарушений допустимых условий эксплуатации механизма приводит к необходимости формирования своих правил и алгоритмов идентификации причин регистрируемого изменения состояния для каждого вида механизма. При этом правила идентификации дефектов отдельных узлов, например, подшипников качения, могут быть общими, но при этом учитывать специфику функционирования других узлов механизма. Чем больше разных диагностических признаков используется для идентификации причин изменения состояния механизма, тем точнее решается задача идентификации и тем меньше вероятность принятия ошибочных решений по выводу механизма в ремонт или по прогнозируемой длительности его безотказной работы [5].

В то же время для увеличения количества контролируемых признаков дефектов необходимо усложнять средства измерения и анализа вторичных процессов, а для интерпретации полученных данных - готовить специалистов и в максимально возможной степени автоматизировать процессы обработки получаемой информации, т.е. переходить на использование профессиональных систем диагностики и привлекать к постановке окончательного диагноза экспертов.

Таблица 1. Диагностические признаки обнаружения дефектов подшипников

Дефект	Диагностические признаки
Место нахождения дефекта	
Дефект на внешней дорожке	Пики в спектре ускорения на частоте обкатывания тел качения по внешней обойме подшипника (BPFO) и её гармониках.
Дефект на внутренней дорожке	Пики в спектре ускорения на частоте обкатывания тел качения по внутренней обойме подшипника (BPFI) и её гармониках.
Дефект тел качения	Пики в спектре ускорения на частоте вращения тел качения подшипника (BSF) и её гармониках.
Дефект сепаратора	Пики в спектре ускорения на частоте работы сепаратора подшипника (FTF) и её гармониках.
Дефекты монтажа	
Ослабление в соединениях, увеличенные внутренние зазоры	Многочисленные гармоники частоты вращения в спектре вибрации (1-я – 8-я гармоники).
Проскальзывание подшипника на валу	В спектре виброскорости присутствует 3-я гармоника оборотной частоты.
Неплотная посадка корпуса подшипника	Наличие нескольких гармоник частоты вращения вала (1-я и 4-я гармоники).
Перекус при посадке	Пик на частоте, равной рабочей частоте вала, умноженной на количество тел качения в подшипнике.
Стадии развития дефекта	
1-я – дефекты не проявляются	Оценить колебания высокочастотными методами обнаружения дефектов, такими как gSE (энергия импульса).
2-я – появляются незначительные углубления на дорожках качения	В конце второй стадии развития дефекта, выше и ниже основного амплитудного пика (частота дефекта подшипника) появляются боковые полосы. Высокочастотные колебания могут увеличиваться вдвое (по амплитуде) по сравнению с показателями амплитуд колебаний, наблюдаемых на 1-й стадии развития дефекта подшипника.
3-я – износ хорошо заметен	В спектре появляются отдельные подшипниковые частоты и их гармоники, которые сопровождают множество боковых полос. Остаточный срок службы подшипника может составить 1 час от 1% его ресурса.
4-я – подшипник находится в поврежденном состоянии	Амплитуда колебаний на частоте вращения возрастает. Кроме этого, возрастают амплитуды колебаний гармонических составляющих, кратных частоте вращения (гармоники), количество которых превышает 10-15.

Список литературы

1. Аршанский М.М. Вибродиагностика и управление точностью на металлорежущих станках / М.М. Аршанский, В.П. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 136 с.
2. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.В. Коновалов и др. – Саратов: СГТУ, 2004. – 124 с.
3. Игнатьев А.А. Методы идентификации динамического качества станков / А.А. Игнатьев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр.– Саратов: СГТУ, 2013. – С. 85-91.
4. Современные возможности вибродиагностики машин и оборудования / А.В. Барков // Конструктор машиностроитель. – 2008. – №3. – С. 48-53.
5. Игнатьев А.А. Определение подачи шлифовального круга для обеспечения качества обработки колец подшипников на основе идентификации динамической системы станка / А.А. Игнатьев, В.А. Каракозова, С.А. Игнатьев // Научные технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: материалы 4-й Междунар. конф.: в 2 ч. – Рыбинск: РГАТУ, 2012. – Ч.1. – С. 117-120.
6. Курилова Е.В. Разработка алгоритма диагностирования подшипников качения по параметрам вибрации / Е.В. Курилова, С.А. Игнатьев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – №3 (58). – С. 198-201.

УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Олоничев, Б.А. Староверов, М.А. Смирнов

КГТУ, г. Кострома, Россия

Тел. (84942) 317560; E-mail sba44@mail.ru

Для процедуры идентификации объекта методом наименьших квадратов в цифровых системах адаптивного управления предложен способ определения порядка модели и периода квантования с точки зрения максимального правдоподобия. Корректность заявленного подхода подтверждают результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: параметрическая идентификация, метод наименьших квадратов, ковариационная матрица, адаптивное управление, период квантования.

THE PARAMETRICAL IDENTIFICATION IN DIGITAL CONTROL SYSTEMS

V.V. Olonichev, B.A. Staroverov, M.A. Smirnov

Kostroma State University of Technology, Russia

The procedure of defining order of model and time step for the least squares method parameter estimation is suggested from the point of view maximum likelihood. Correctness of the method claimed is approved with the results of calculating experiment.

Keywords: parametrical identification, least squares method, covariance matrix, adaptive control, time step.

Разработка высокоточных алгоритмов управления в условиях дрейфа параметров объекта является на сегодня актуальной научной и практической задачей [1,2].

Благодаря значительным вычислительным ресурсам современных микропроцессорных контроллеров указанная проблема может быть эффективно решена с помощью адаптивных регуляторов с параметрическим идентификатором, работающим однократно при запуске системы или многократно в замкнутом контуре в темпе с процессом [3].

В то же время в теории автоматического управления отсутствуют однозначные рекомендации, какими должны быть порядок и период квантования импульсной передаточной функции модели объекта. Так, например, в известных научных трудах по идентификации технологических установок шаг дискретизации по времени может варьироваться в интервале от 0,01 до 0,8 постоянной времени [3-7]. Следует учитывать и тот факт, что круговая частота квантования должна быть не меньше удвоенной максимальной несущей частоты объекта (теорема Котельникова-Шеннона). С другой стороны, она не должна быть завышена, поскольку погрешности и шумы в измерительном канале от датчика до АЦП, погрешности квантования сигнала по уровню в самом АЦП (несмотря даже на его высокую разрешающую способность) могут привести к плохой обусловленности матрицы параметров идентифицируемой технологической установки.

Среди параметрических способов идентификации наибольшей популярностью пользуется метод наименьших квадратов (МНК), поскольку обеспечивает быструю сходимость оценок, имеет понятный и простой алгоритм работы [3,4]. Согласно МНК, матрица экспериментальных данных для определения параметров импульсной передаточной функции объекта имеет вид:

$$\psi(n+N) = \begin{bmatrix} -y(n-1) & \dots & -y(0) & u(n-1) & \dots & u(0) \\ -y(n) & \dots & -y(1) & u(n) & \dots & u(1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -y(n+N-1) & \dots & -y(N) & u(n+N-1) & \dots & u(N) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где n – порядок модели объекта; N – количество экспериментальных точек; $u(k)$, $y(k)$ – значения измеренных сигналов входа и выхода объекта на k -м такте.

При идентификации объекта матрица (1) в силу указанных выше причин может оказаться плохо обусловленной, и полученные оценки не будут соответствовать действительным. В связи с этим необходимо сформулировать правило выбора необходимого количества экспериментальных точек, порядка модели и шага дискретизации по времени.

В работе [8] был обоснован выбор периода квантования, при котором идентифицируемая модель максимально соответствует аналоговому прототипу. Условием служит минимум следа ковариационной матрицы плана эксперимента:

$$\mathbf{P}(n + N) = [\boldsymbol{\psi}^T(n + N)\boldsymbol{\psi}(n + N)]^{-1}. \quad (2)$$

Указанный критерий широко применяется в теории планирования эксперимента [9,10], а также для определения фактора забывчивости в «улучшенном» МНК [11].

Для выявления «правильного» порядка объекта управления воспользуемся методом вычислительного эксперимента. Функциональная схема виртуального расчетного стенда представлена на рис. 1 [8].

На рис. 1 введены следующие обозначения: f – функциональный блок, эмулирующий 12-разрядный ЦАП или 14-разрядный АЦП; $y_0(t)$ – точное значение выходной координаты модели объекта; $y_1(t)$ – значение выходной координаты модели объекта с учетом ошибки квантования по уровню от АЦП; $y_2(t)$ – значение выходной координаты модели объекта с учетом ошибки квантования по уровню от АЦП и действия малого шума с дисперсией 0,25%; $y_3(t)$ – значение выходной координаты модели объекта с учетом ошибки квантования по уровню от АЦП и действия умеренного шума с дисперсией 0,5%.

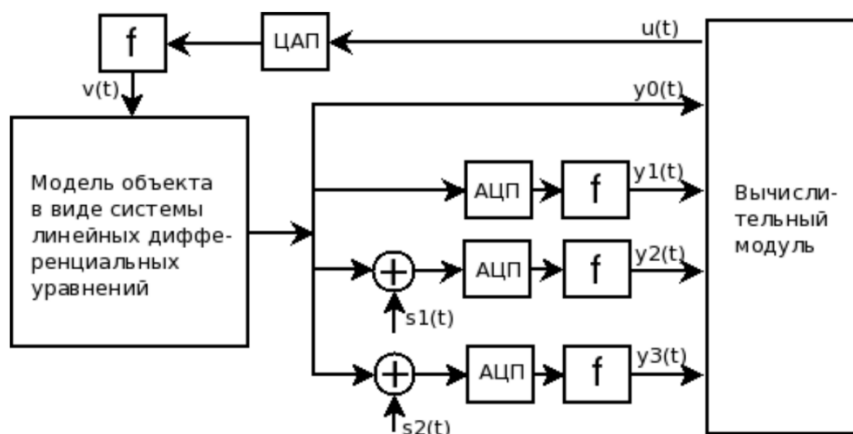


Рис. 1. Функциональная схема виртуального вычислительного стенда

Для организации вычислений использованы библиотека научных расчетов gsl [12] и математический пакет octave [13].

Импульсная передаточная функция объекта управления принята в виде:

$$W(z^{-1}) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}. \quad (3)$$

Вычислительный модуль на рис. 1 получает следующие исходные данные: порядок модели; начальное и конечное количество экспериментальных точек; начальное значение периода квантования; конечное значение периода квантования.

Результатами численного эксперимента являются:

- след ковариационной матрицы;
- вектор МНК параметров модели;
- дисперсия МНК-оценки набора экспериментальных точек;
- установившееся значение выходной величины модели;
- прогноз (расчет выходного значения объекта по полученной модели для следующей экспериментальной точки).

Эти данные вычисляются для каждого порядка модели, каждого периода дискретизации, каждого набора экспериментальных точек.

В дальнейшем для каждого порядка модели и каждого периода квантования вычисляются усредненные величины для набора экспериментальных точек:

- след ковариационной матрицы;
- дисперсия МНК-оценки набора экспериментальных точек;
- среднее квадратичное отклонение установившегося значения;
- среднее квадратичная точность прогноза.

Эти параметры необходимы для первичной фильтрации данных. Она необходима для исключения некоторых точек сингулярности, в которых резко уменьшается след ковариационной матрицы и на несколько порядков ухудшаются среднее квадратичная точность прогноза и дисперсия МНК-оценки.

На рис. 2 а-д представлены первично отфильтрованные зависимости среднего значения следа ковариационной матрицы от периода квантования для моделей 2, 3, 4, 5 и 6-го порядков соответственно.

Исходный непрерывный объект управления описывается передаточной функцией 4-го порядка

$$W(p) = \frac{0,165528 p^3 + 0,365064 p^2 + 0,479784 p + 0,62886}{p^4 + 1,44125 p^3 + 0,720032 p^2 + 0,147112 p + 0,010544}. \quad (4)$$

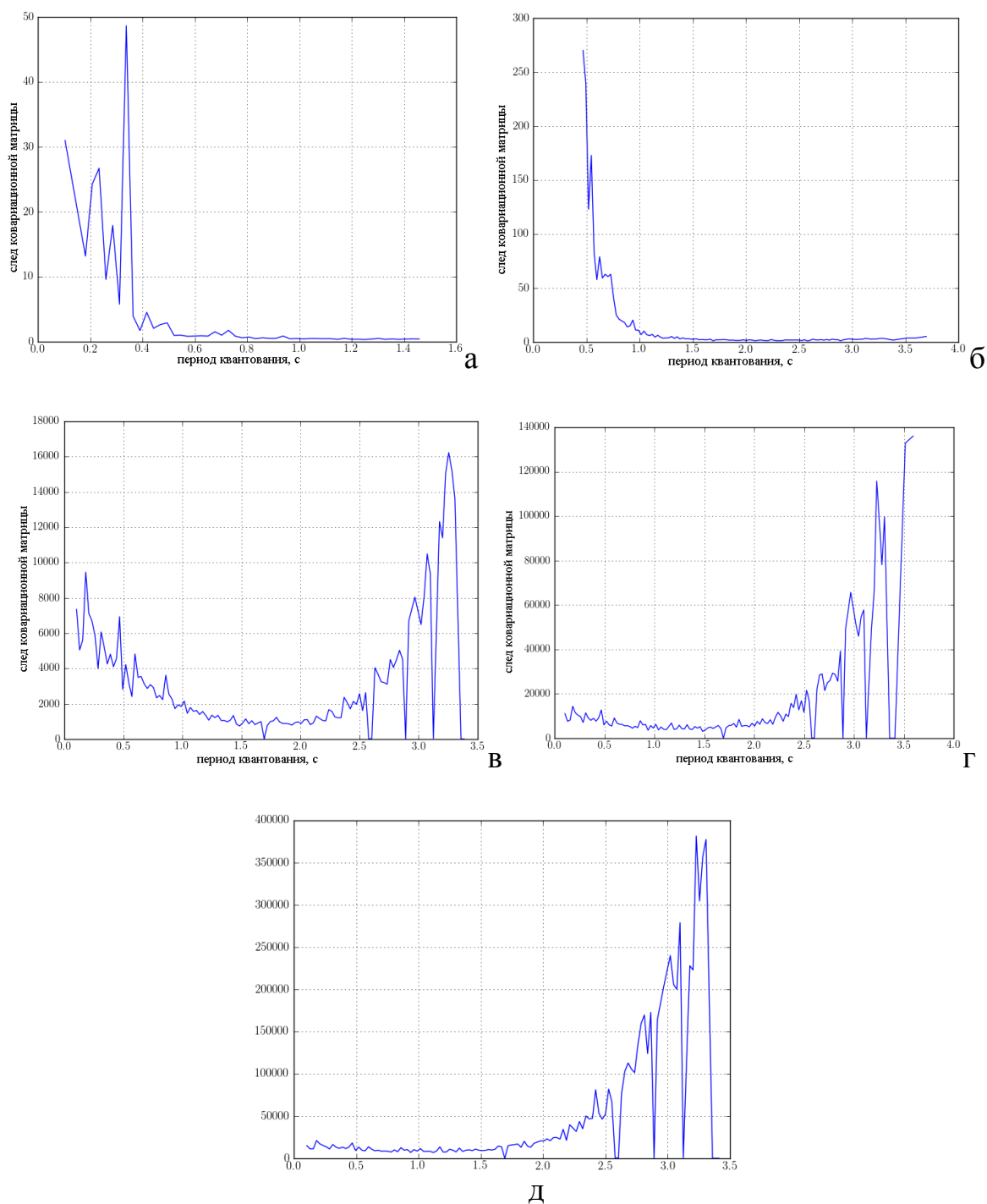


Рис. 2. Зависимости среднего значения следа ковариационной матрицы от периода квантования: а - модель 2-го порядка; б - модель 3-го порядка; в - модель 4-го порядка; г - модель 5-го порядка; д - модель 6-го порядка

Для модели 4-го порядка имеем явно выраженный минимум.

Выводы

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость следа ковариационной матрицы имеет четко выраженный минимум при использовании модели, порядок которой совпадает с порядком объекта.

2. Полученные результаты можно использовать для разработки алгоритма программы, осуществляющей выбор оптимального периода квантования и порядка модели объекта автоматического управления в тех случаях, когда информация о порядке отсутствует.

Список литературы

1. Соболев О.С. О проблемах адаптивного регулирования промышленных процессов / О.С. Соболев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №10. – С. 7-9.
2. Ицкович Э.Л. Методы совершенствования систем регулирования технологических процессов / Э.Л. Ицкович // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – №1. – С. 3-9.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
4. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления / Ш.Е. Штейнберг. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.
5. Острём К. Системы управления с ЭВМ / К. Острём, Б. Виттенмарк. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
6. Kalman R.E. General Synthesis Procedure for Computer Control of Single-Loop and Multi-Loop Systems / R.E. Kalman, J.E. Bertram // AIEE Trans. – 1958. – № 77. – Part 2.
7. Синтез дискретных регуляторов при помощи ЭВМ / В.В. Григорьев, В.Н. Дроздов, В.В. Лаврентьев, А.В. Ушаков. – Л.: Машиностроение, 1983. – 245 с.
8. Олоничев В.В. Определение оптимального периода квантования при идентификации объектов методом наименьших квадратов / В.В. Олоничев, Б.А. Староверов, М.А. Смирнов // Вестник ИГЭУ. – 2014. – №1. – С. 62-69.
9. Налимов В.В. Логические основания планирования эксперимента / В.В. Налимов, Т.И. Голикова. – М.: Металлургия, 1980. – 152 с.
10. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова и др. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
11. Spirada N.R. Improved least squares identification / N.R. Spirada, D.G. Fisher // International Journal of Control. Vol. 46, issue 6. – P. 1889-1913.
12. GNU Scientific Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gnu.org/software/gsl>.
13. Octave [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://octave.sourceforge.net/>.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Е.М. Самойлова

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998637; E-mail helen.elenka@mail.ru

Рассматриваются методы и алгоритмы интеллектуализации в интегрированных производственных системах с применением распознавания образов и нейронных сетей как элементов интеллектуальных технологий.

Ключевые слова: интеллектуализация, вейвлет, нейронные сети, экспертная система, база знаний, база данных, отказ, модель, мониторинг, распознавание, алгоритм, дефекты, качество обработки деталей, автоматизированный станочный модуль.

METHODS AND ALGORITHMS OF INTELLECTUALIZATION IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS

E.M. Samoilova

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Discusses the methods and algorithms of intellectualization in integrated production systems with application of pattern recognition and neural networks as elements of intelligent technologies.

Keywords: intellectualization, wavelet, neural networks, expert system , knowledge base, database, failure, model, monitoring, recognition, algorithm, defects, quality processing of details automated machining module.

Одним из основных направлений развития производственных систем в современном обществе, приносящем многомиллиардные прибыли, стала интеллектуализация. В настоящее время различают два основных направления разработки систем искусственного интеллекта: *машинный интеллект*, заключающийся в строгом задании результата функционирования, и *искусственный разум*, направленный на моделирование внутренней структуры системы. Моделирование систем *первой группы* достигается за счет использования законов формальной логики, теории множеств, графов, семантических сетей и других достижений науки в области дискретных вычислений. Основные результаты заключаются в создании экспертных систем, баз знаний, систем разбора естественного языка, простейших систем управления вида «стимул-реакция» и систем логического вывода, имитирующих высокоуровневые психические процессы: мышление, рассуждение, речь,

эмоции, творчество и т. д. Системы *второй группы* базируются на математической интерпретации деятельности нервной системы во главе с мозгом человека и реализуются в виде нейроподобных сетей на базе нейроподобного элемента – аналога нейрона и эволюционных вычислений, моделирующих интеллектуальное поведение на основе биологических элементов, а также создание соответствующих вычислительных систем, таких как нейрокомпьютер или биокомпьютер. Существуют два концептуальных подхода к обучению нейронных сетей: обучение с учителем и обучение без учителя. При первом подходе предполагают, что для каждого входного вектора существует целевой вектор, представляющий собой требуемый выход. Вместе они называются обучающей парой. Обычно сеть обучается на некотором числе таких обучающих пар. Обучение без учителя является намного более правдоподобной моделью обучения с точки зрения биологических корней искусственных нейронных сетей. Развита Кохоненом и др., она не нуждается в целевом векторе для выходов и, следовательно, не требует сравнения с предопределенными идеальными ответами. Обучающее множество состоит лишь из входных векторов. Обучающий алгоритм подстраивает веса сети так, чтобы получались согласованные выходные векторы, т. е. чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы. Процесс обучения, следовательно, выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует сходные векторы в классы [1].

Одними из направлений развития и применения искусственного интеллекта в производственных системах являются интеллектуальный анализ данных и обработка образной информации, где за основу берутся две процедуры: обнаружение закономерностей в исходной информации и использование обнаруженных закономерностей для прогнозирования.

Проблема распознавания образов состоит из двух основных частей: обучения и идентификации. Обучение осуществляется путем определения отдельных признаков с указанием их принадлежности тому или другому образу. В результате обучения распознающая система должна приобрести способность одинаково реагировать на все объекты одного образа и различно – на все объекты различных образов. Очень важно, что процесс обучения должен завершиться идентификацией конечного числа объектов без каких-либо других подсказок. В качестве объектов обучения могут быть как визуальные изображения, так и состояние технического объекта в системах управления и др. За обучением следует процесс распознавания новых объектов, который характеризует действия уже обученной системы. Автоматизация этих процедур и составляет проблему обучения распознаванию образов, для решения которой в настоящее время проводятся исследования по нескольким направлениям. Одно из них – исследования по различным аспектам распознавания изображений с

помощью нейросетей и методами распознавания последовательностей объектов на основе декларативного подхода и извлечения семантически значимой информации [3].

Необходимость применения интеллектуального анализа и обработки данных качества механической обработки деталей с помощью нейронных сетей возникла в связи с тем, что представление результатов вихретокового контроля поверхностей деталей подшипников в виде изображения неоднородности можно характеризовать по типу, форме и их взаимному расположению, что объясняет большую размерность массивов амплитуды и фазы сигнала вихретокового преобразователя. Например, при контроле поверхностного слоя роликов подшипника размером 32x52 мм из стали марки ШХ-15, обрабатываемых на шлифовальных станках SIW-4, SIW-5, осуществляемом в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» в процессе интеллектуального мониторинга, размерность массивов данных может достигать 122 на 3339 точек [2].

В целях обучения нейросети наиболее часто используется алгоритм обратного распространения, описанный еще в 1974 году, который используется с целью минимизации ошибки работы многослойного перцептрона и получения желаемого выхода. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к её входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы. Этот итеративный градиентный алгоритм имеет ряд недостатков при цифровой обработке сигналов: медлительность и неоднозначность при распознавании искаженных образов, а также непредсказуемость сети на самом этапе распознавания образов сигнала. Для того чтобы избежать рассмотренных выше недостатков, применяется алгоритм, структурированный определенным количеством нейронов для конкретного объема обучающих образов с элементами обучения встречного распространения (рис.1,б) [3].

Метод встречного распространения основан на отыскании корреляции пар образов обучающей выборки (входных и соответствующих им «желаемых» выходных). Первый слой нейронов вычисляет коэффициенты корреляции заданного в процессе распознавания входного образа X_i с каждым входным образом V_i из «эталонной» обучающей выборки. Далее по этим коэффициентам скрытый слой вычисляет коэффициенты присутствия во входных значениях X_i каждого из k входных образов V_i обучающей выборки (коэффициент «присутствия» - это, по сути, выход каждого из нейронов скрытого слоя). И уже по этим данным выходной слой подсчитывает реальный выход сети, скомбинированный из всех выходных образов обучающей выборки, в соответствии с коэффициентом присутствия. Задача распознавания сети сводится к тому, чтобы сопоставить искаженному входному образу X_i , похожему на один из входных образов, соответствующий ему «желаемый»

выходной образ, причем это будет не обязательно один из выходных образов обучающей выборки, а скорее комбинация из нескольких G_i , в соответствии со степенью искажения X_i по отношению к V_i .

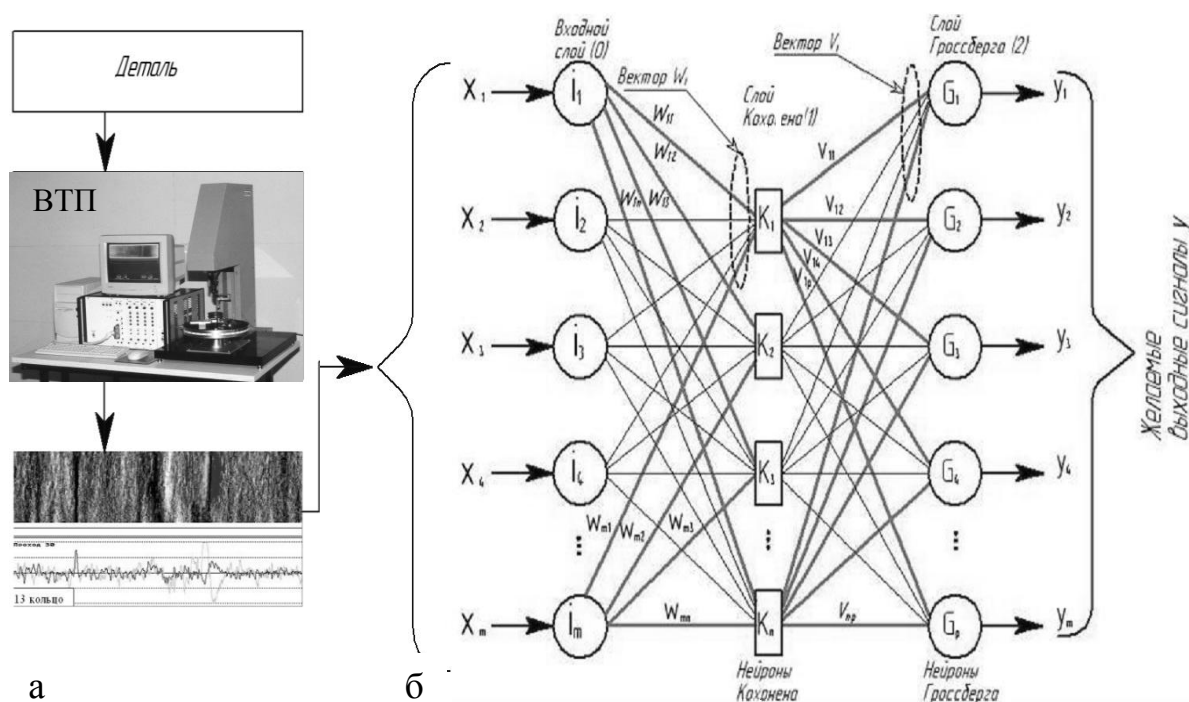


Рис. 1. Схема интеллектуального мониторинга обработки высокоточных изделий: ВТП- автоматизированный вихретоковый прибор контроля ПВК-K2M; 1-й этап (а) - выявление и распознавание дефектов поверхностного слоя деталей подшипников; 2-й этап (б) - проведение обучающего эксперимента с использованием нейронной сети

Как видно из рис.1,б, на всю модель требуется $(2k+n)$ нейронов с $k(k+m+n)$ синоптическими связями, что позволяет снизить временные затраты за счет обучения модели всем нужным образам выборки за один раз, не прибегая к итерационным процессам и, кроме того, этот метод может применяться к решению задачи интеллектуального мониторинга качества механической обработки деталей.

Применение подобного алгоритма апробировалось в процессе экспериментальных исследований обработки данных качества механической обработки деталей с помощью нейронных сетей в ОАО «Саратовский подшипниковый завод». Дефекты поверхностного слоя деталей подшипников, обработанных на шлифовальных станках SIW-4 и SIW-5, такие как прижоги, трещины и ряд других, отражаются в результатах сканирования поверхностей качения, причем каждый вид дефекта дает свой уникальный характер «следа» на полученном с помощью прибора вихретокового контроля ПВК-K2M изображении (рис. 2).

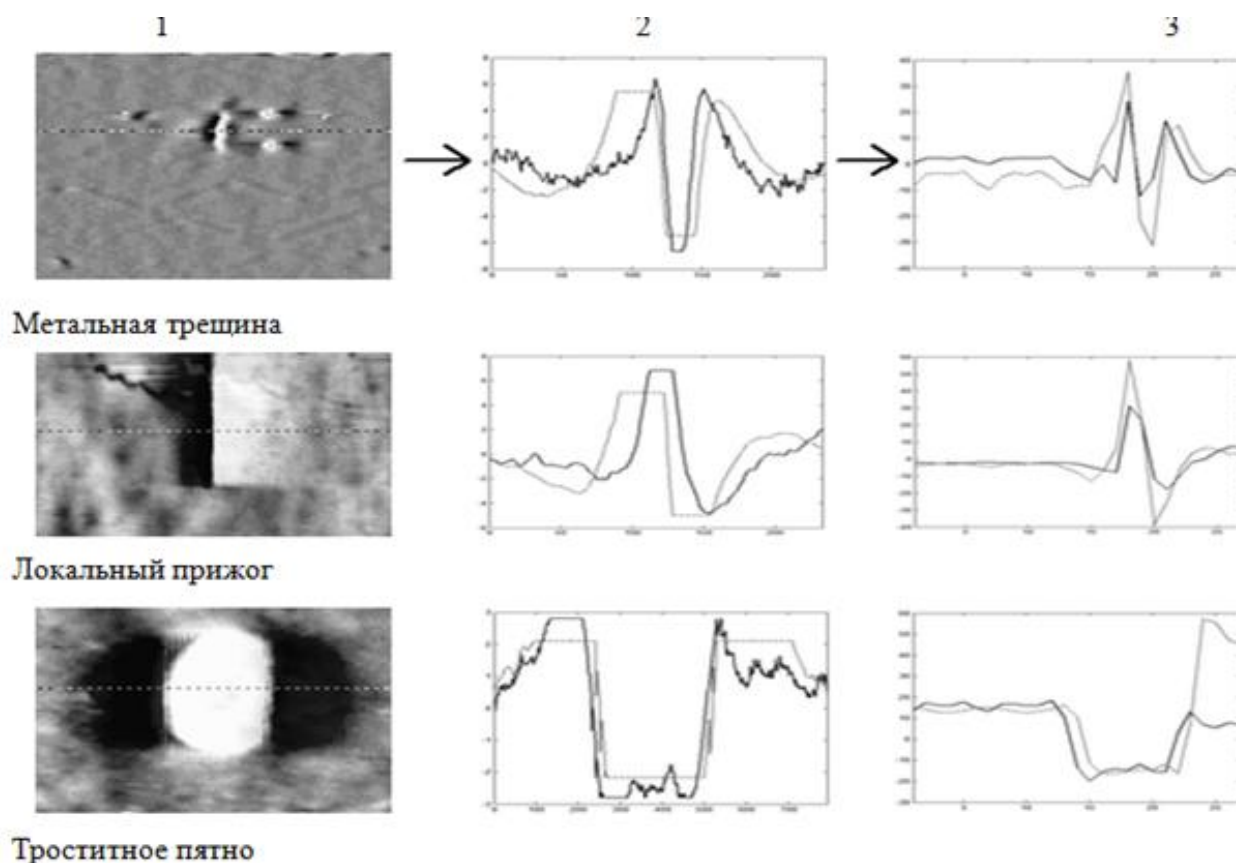


Рис. 2. Сканограммы дефектов, полученные с помощью прибора ПВК-К2М (1), их локализация в сигнале (2) и аппроксимация выделенного сигнала, из которой происходит выделение классификационных признаков (3), где по оси y представлена амплитуда в относительных единицах вейвлетов, а по оси x – временной интервал в условных единицах.

Первоначально проводился обучающий эксперимент, где устанавливалось, какие дефекты будут в дальнейшем распознаваться с помощью реализуемой методики. Вид дефектов устанавливался по специальному классификатору, разработанному на предприятии для визуального выявления дефектов КЗ-2005. Далее отбирались детали, наличие дефектов в которых подтверждено альтернативными методами контроля дефектов. Учитывая, что реальные нестационарные сигналы от вихретокового преобразователя (ВТП) состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов, для их анализа необходимо применять преобразование, которое обеспечивает различные окна для различных частот (узкие – для высоких частот и широкие – для низких). Этим условиям отвечает вейвлет-преобразование. Локальным неоднородностям поверхностного слоя соответствуют резкие колебания амплитуд составляющих сигнала по сравнению со средним значением амплитуд сигнала ВТП, полученного при контроле детали с приемлемым уровнем качества, причем наиболее часто встречающиеся дефекты поверхностного слоя деталей подшипников имеют различную форму сигнала ВТП (сигнал имеет две составляющие – фазовую и

амплитудную), т.е. выявляются изменения физико-механического состояния поверхностного слоя шлифовальной детали [2,3].

Выделение «следа» дефекта в информационном сигнале (ИС) осуществляется автоматически на основе оценки среднего квадратического отклонения (СКО) сигнала при разбиении общего массива значений на несколько сегментов (порядка 20). Если СКО ИС в одном или нескольких сегментах существенно отличается от СКО ИС в сегментах без дефектов, например, на 30%, то считается, что ИС содержит «след» дефекта. На основании этого разработана методика автоматического выявления и распознавания локальных дефектов поверхностного слоя деталей подшипников на основе вейвлет-анализа с использованием интегральных оценок. Часть дефектов распознается по амплитудной составляющей, в противном случае осуществляется автоматический переход к распознаванию по фазовой составляющей информационных сигналов (ИС). Применение двух классификационных признаков позволяет разделить дефекты в пространстве признаков и обеспечить эффективное распознавание всех основных локальных дефектов поверхностей качения (вероятность распознавания $\approx 95...98\%$). Обобщенный алгоритм распознавания дефектов представлен на рис. 3.

Далее массив данных выделенного сегмента используется для распознавания вида локального дефекта поверхности качения детали подшипника, основанного на применении вейвлет-преобразований к массиву данных ИС со «следом» дефекта, в соответствии с которым производится разложение сигнала в спектр по базовым вейвлетам Добеши. Полученные спектры коэффициентов имеют различные длину и амплитуду, так как дефекты различаются по геометрическим размерам: глубине, площади. Последним этапом распознавания дефектов является выявление определенного дефекта, основанное на интегральных оценках спектров вейвлет – коэффициентов найденного дефекта по условному алгоритму. Классификацию дефектов по заданным признакам и улучшение модели классификации за счет дополнительного обучения по мере накопления данных о локальных дефектах позволяет проводить и использование нейронной сети Кохонена (рис.1). В данном случае выявление дефектов проводится на основе составленной с участием эксперта базы описания дефектов, которая формируется в полуавтоматическом режиме при анализе данных вихретокового контроля известных дефектов. В результате программного сканирования поверхностей качения деталей подшипников (колец и роликов), автоматизации настройки ВТП и обработки его сигналов одна автоматизированная интеллектуальная система вихретокового контроля позволяет контролировать работу 30-50 шлифовальных станков, а использование нейронных сетей в полной мере отвечает поставленным задачам классификации, решаемым в процессе интеллектуального мониторинга [3].

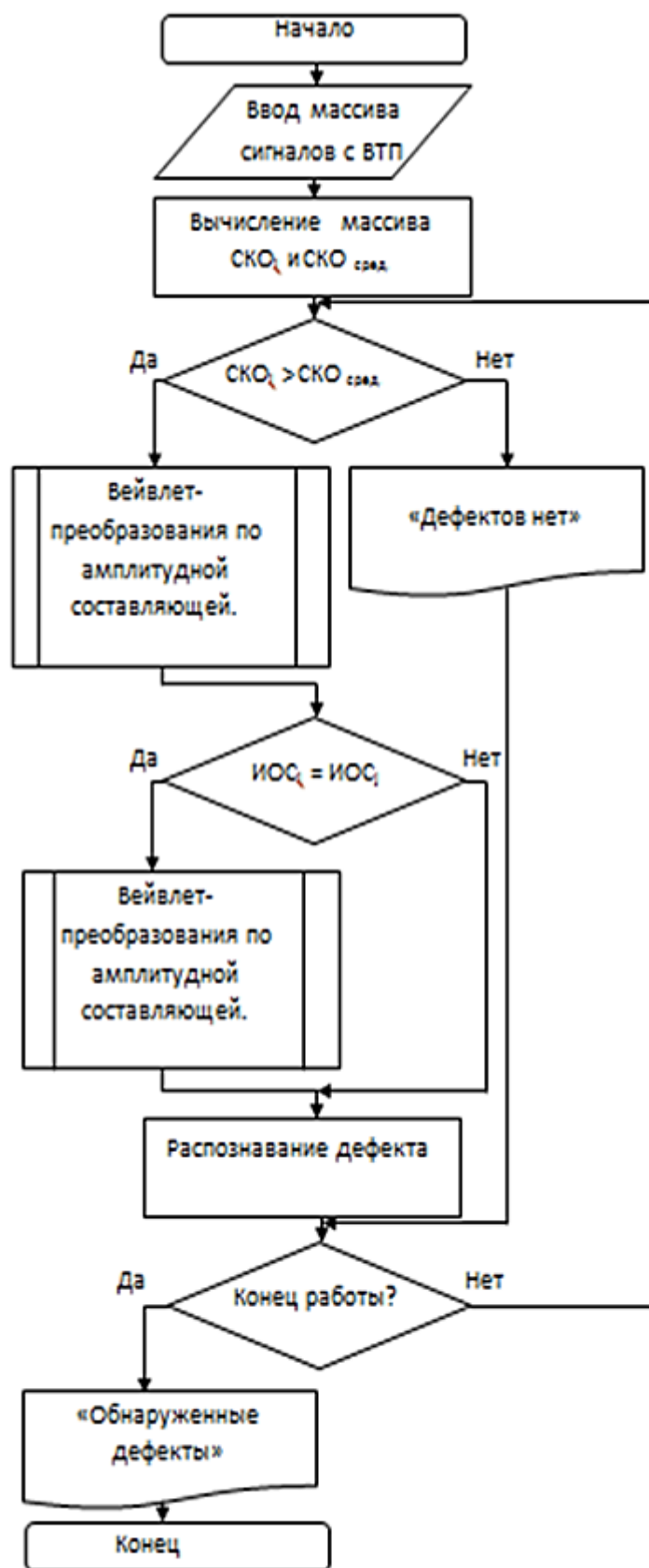


Рис. 3. Алгоритм распознавания дефектов по классификационным признакам

В условиях автоматизации управления современными производственными системами при управлении качеством продукции на различных уровнях возникает целесообразность разработки экспертной системы (ЭС), осуществляющей поддержку процесса диагностирования при устранении неисправностей технологического оборудования и повышении качества технологического процесса, которая представляет собой программу для компьютера (программный модуль), работающую на основе баз данных (БД) и баз знаний (БЗ) и являющуюся частью системы интеллектуального мониторинга технологического процесса. Одновременная работа со знаниями и большими объемами информации позволяет ЭС получить неординарные результаты и управлять в реальном времени сложным объектом или процессом.

На основании анализа и структурирования данных, полученных учеными СГТУ при исследовании надежности функционирования автоматизированного станочного модуля (АСМ) типа ТПАРМ (токарный прецизионный автоматизированный роботизированный модуль) [2], была построена БЗ ЭС, включающая декларативную

компоненту в виде объектно-ориентированной модели, содержащую знания о подсистемах модуля, параметрах диагностирования, информацию об отказах подсистем и способах их устранения, и процедурную компоненту в виде продукционной модели, содержащую комплекс правил, используемых для обработки декларативных знаний, что обеспечивает формирование сообщений о неисправном функциональном блоке в той или иной подсистеме модуля (рис. 4).



Рис. 4 . Модель декларативной компоненты базы знаний

Для реализации процедурной компоненты была выбрана продукционная модель, содержащая около двухсот правил и пять метаправил. Количество правил обусловлено глубиной диагностирования АСМ и алгоритмами диагностирования. Так как декларативная компонента БЗ содержит информацию о сущностях, свойствах сущностей и связей между ними, то она может быть представлена БД, содержащей данные о проблемной области, например реляционной моделью данных. Таким образом, для построения декларативной компоненты может быть использован подход, используемый при построении БД. Отделение декларативных знаний от процедурных обеспечивает повышение быстродействия системы, позволяет связать БЗ экспертной системы с БД верхнего уровня, дает возможность легко обновлять содержимое БЗ без привлечения программиста. Управление и работа с БД может осуществляться непосредственно через ЭС, а также без запуска ЭС, что дает возможность наладчикам технологического оборудования использовать БД в качестве справочно-информационной системы.

Разработанная методика построения модели БЗ ЭС поддержки процесса диагностирования АСМ учитывает их иерархическую структуру в виде подсистем различного уровня при построении всех компонентов системы, информационную универсальность, возможность расширения и внутреннюю совместимость компонент, обеспечивает на основе выявленных в условиях эксплуатации причинно-следственных связей

между отказами и восстановлениями модулей и экспертной обработки данных методом парных сравнений формирование рекомендаций по устранению нарушений процесса функционирования модулей. Создание экспертной системы может значительно ускорить процесс разработки сложной системы управления ТП, повысить качество решения задачи и дать экономию ресурсов за счет эффективного распределения функций центрального управления и локальных измерительных и управляющих подсистем. Такой эффект достигается за счет открытости системы представления знаний об объекте управления, адаптивности системы к условиям функционирования, автоматической коррекции управляющих воздействий при изменении существенных параметров в процессе функционирования.

Список литературы

1. Игнатьев А.А. Интеллектуализация мониторинга технологического процесса производства деталей точного машиностроения: монография / А.А. Игнатьев, Е.М. Самойлова, С.А. Игнатьев. – Саратов: СГТУ, 2013. – 120 с.
2. Игнатьев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатьев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатьев. – Саратов: СГТУ, 2009. – 160 с.
3. Игнатьев А.А. Интеллектуализация мониторинга технологического процесса производства подшипников / А.А. Игнатьев, Е.М. Самойлова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 4. – С. 50-52.

УДК 681.5.015.3

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

А.Д. Семёнов, А.С. Никиткин, О.В. Авдеева

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Тел.: +7(8412) 56-46-83, E-mail: avitel@pnzgu.ru

Рассматриваются пути повышения точности и производительности электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов, а также автоматизация данного процесса. Приводится конструкция системы управления электроэрозионным профилированием.

Ключевые слова: электроэрозионное профилирование, правка, автоматизация, система управления, повышение производительности.

INTEGRATED AUTOMATION ELECTROEROSIVE FORMING OF DIAMOND GRINDING WHEELS

A.D. Semenov, A.S. Nikitkin, O.V. Avdeeva

Penza State University, Russia

Discusses ways to improve the accuracy and performance electroerosive profiling of diamond grinding wheels, as well as automation of this process. Contained a construction control system electroerosion profiling.

Keywords: electroerosive profiling, correction, automation, control system, improving performance.

Электроэрозионное профилирование алмазных шлифовальных кругов является наиболее эффективным и универсальным методом обработки, однако, у этого метода есть ряд недостатков, связанных с получением заданной точности профиля со сложной геометрией рабочей поверхности на алмазном инструменте. Наиболее важными факторами, определяющими получение заданной точности профиля на алмазном круге фасонным электродом, является износ электрода, вследствие его эрозионного и механического разрушения и наличие зазора между электродом и алмазным кругом. Для снижения влияния износа электрода на точность получаемого профиля наиболее целесообразно применять глубинную схему профилирования [1], а для минимизации негативного влияния на получение заданной точности профиля такого фактора, как наличие зазора между профилирующим электродом и алмазным кругом, а также для повышения производительности процесса, необходимо осуществлять стабилизацию межэлектродного промежутка на оптимальном уровне.

Установлено, что при электроэрозионном профилировании алмазных шлифовальных кругов наивысшая производительность процесса достигается, когда электрическая мощность, выделяемая в межэлектродном зазоре, максимальна [2]. Таким образом, необходимо поддерживать мощность, выделяемую в межэлектродном зазоре, на максимальном значении, путём автоматического регулирования межэлектродного зазора.

В связи с этим была разработана система автоматического управления (САУ) процессом электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов, реализующая глубинную схему профилирования.

Данная система состоит из микропроцессорного устройства управления и установки электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов на токопроводящей связке. Структурная схема САУ

процессом электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов представлена на рис. 1 [3].

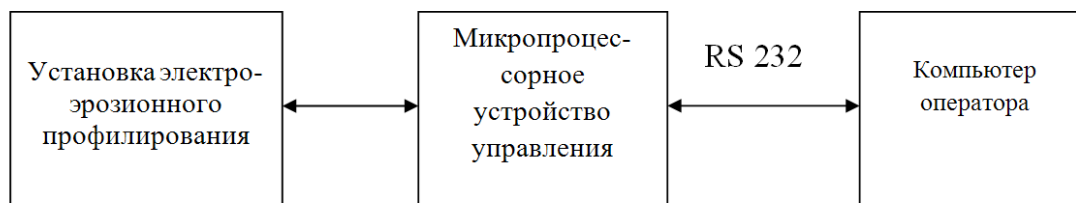


Рис. 1. Структурная схема САУ

Микропроцессорное устройство управления выдаёт управляющее воздействие на шаговые двигатели вертикальной подачи и вращения электрода-инструмента (ЭИ), исходя из сигнала с датчиков тока и напряжения.

Структурная схема микропроцессорного устройства управления приведена на рис. 2.

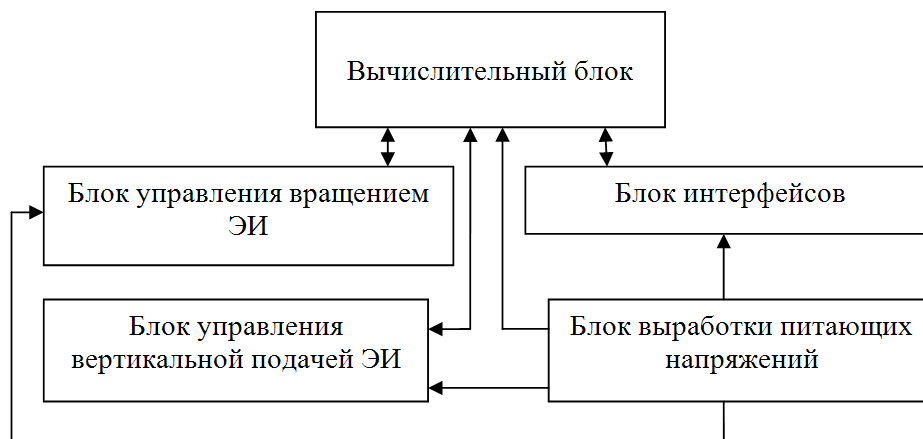


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного устройства управления

Вычислительный блок микропроцессорного устройства управления обеспечивает контроль всех необходимых для работы САУ сигналов, выдачу управляющих воздействий, обмен информацией с персональным компьютером, для расчета на нём требуемых по алгоритму параметров, по последовательному интерфейсу и аппаратно представляет собой микроконтроллер.

Блок интерфейсов обусловлен необходимостью загрузки программного обеспечения вычислительного блока и возможностью обмена информацией с программой верхнего уровня находящейся на персональном компьютере оператора. Аппаратно блок интерфейсов является составной частью микроконтроллера.

Структурная схема блоков управления вращением и вертикальной подачей ЭИ, входящих в состав микропроцессорного устройства, приведена на рис. 3.

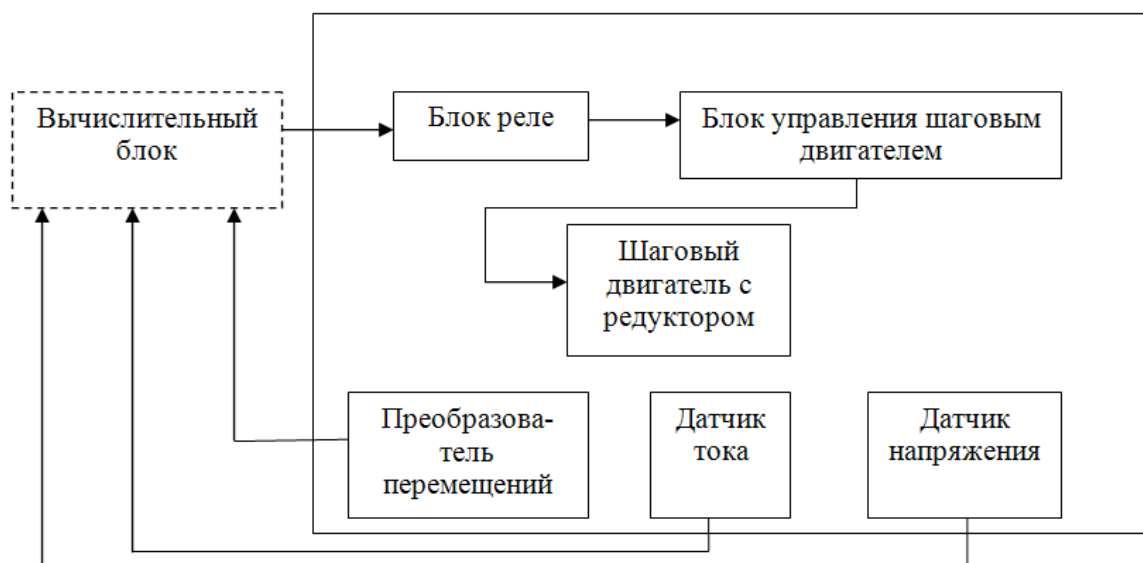


Рис. 3. Структурная схема блоков управления подачами

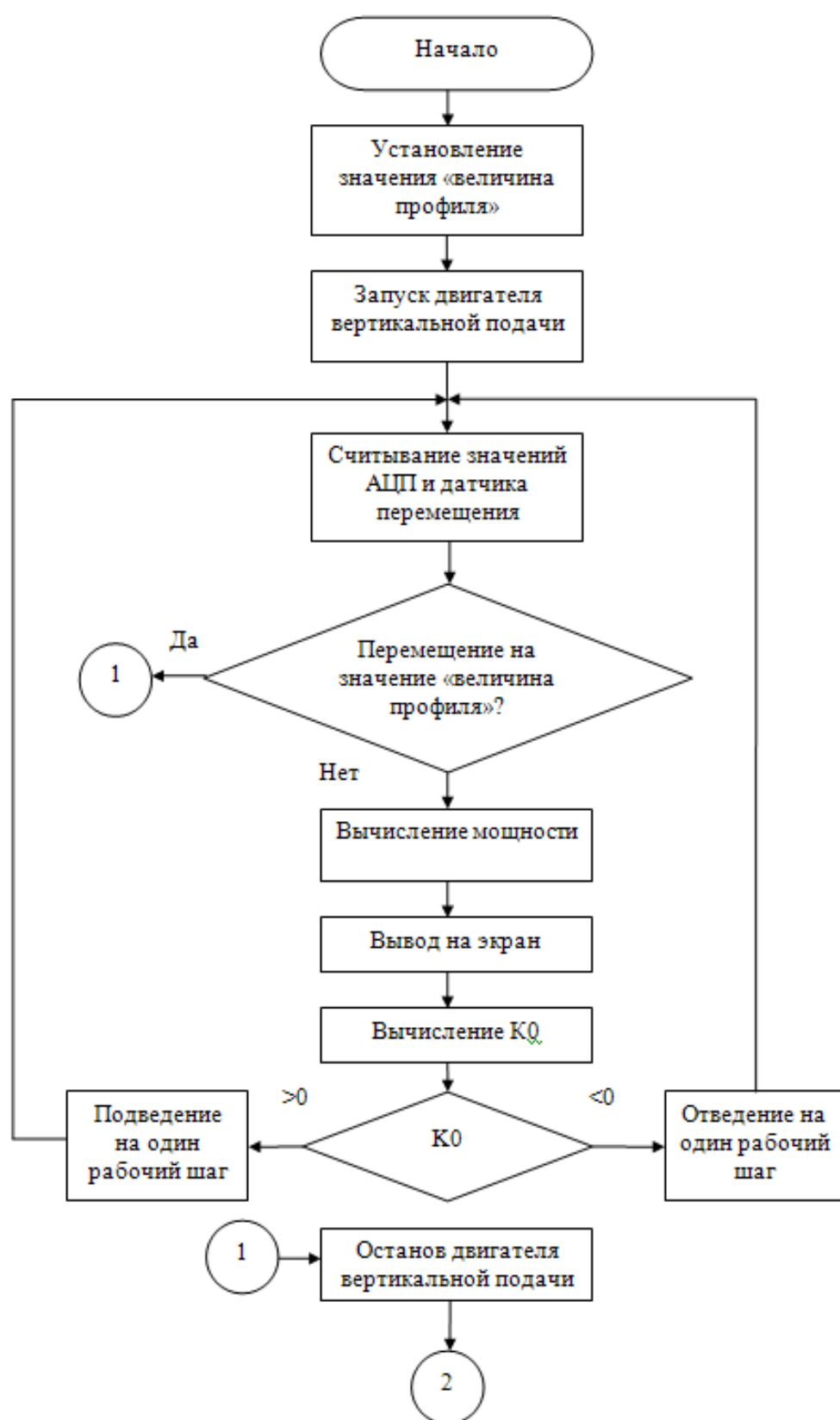
Данные блоки представляют собой функционально законченные модули, обеспечивающие приём информационных сигналов о работе шаговых двигателей посредством оценки выходных сигналов с преобразователей перемещений – угловых (для блока управления вращением ЭИ) и линейных (для блока управления вертикальной подачей ЭИ). Блоки управления подачами информируют вычислительный блок о фактической скорости вращения и положении шаговых двигателей. Обработка этой информации о шаговых двигателях производится вычислительным блоком и программой верхнего уровня, а воздействие на двигатели осуществляется через программируемые блоки управления шаговыми двигателями.

Алгоритм работы САУ (рис. 4) основан на рекуррентном алгоритме поиска экстремума статической характеристики инерционного объекта [4], заключающегося в поиске экстремального значения регулируемого параметра путём нахождения нуля коэффициента передачи объекта.

Поскольку алгоритм работы САУ предполагает при нахождении экстремума мощности, выделяемой в межэлектродном зазоре, решение матриц, то для повышения скорости вычислений выполнение этого алгоритма было решено производить на персональном компьютере.

Алгоритм работы микропроцессорного устройства управления представлен на рис. 5.

По сигналам с датчиков тока, напряжения и перемещений (линейных и угловых), приходящих с микропроцессорного устройства управления на персональный компьютер во время профилирования, программа верхнего уровня рассчитывает мощность, выделяемую в межэлектродном зазоре, и по алгоритму работы осуществляет выдачу управляющих воздействий, через вычислительный блок, для коррекции зазора между профилирующим ЭИ и алмазным кругом.



а

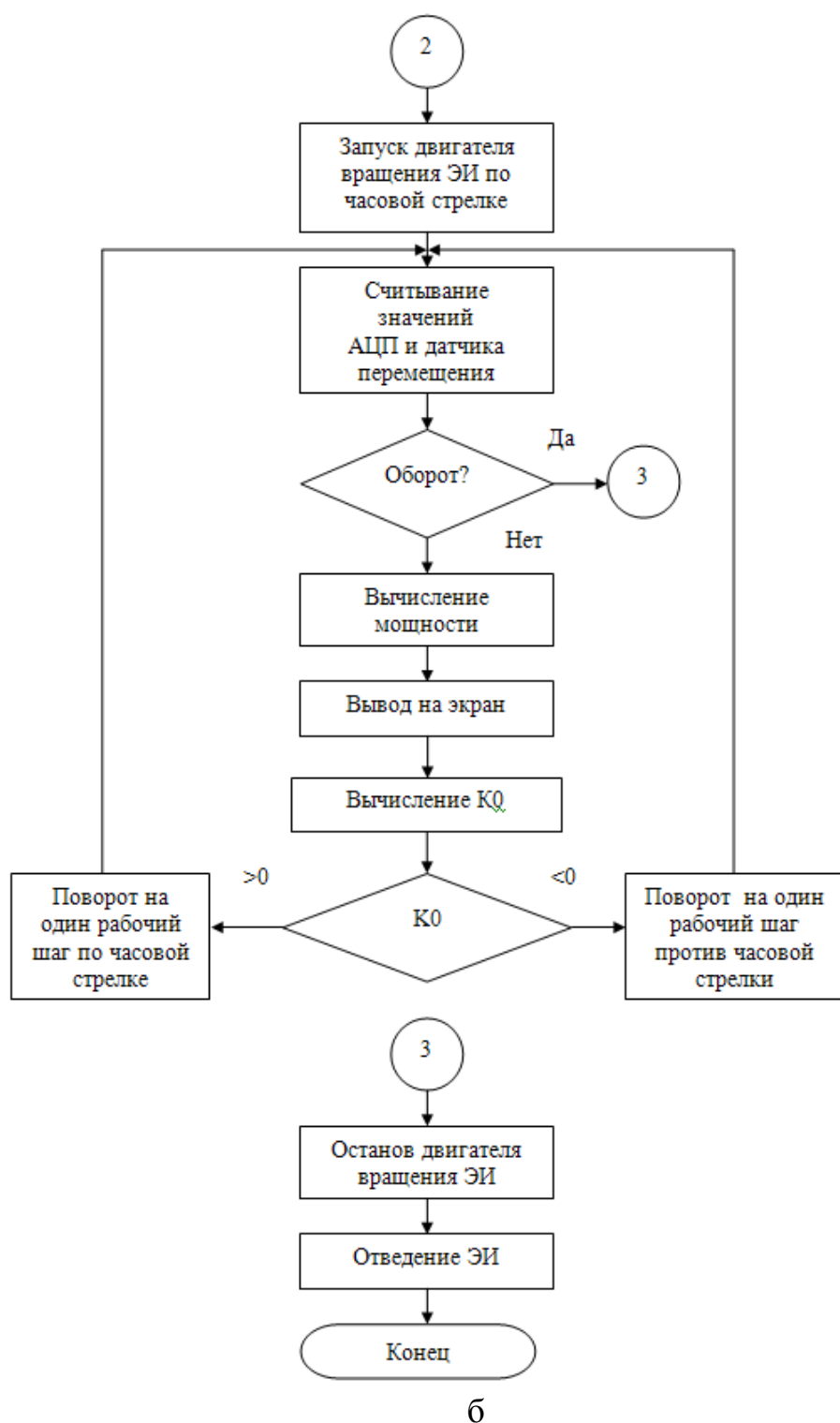


Рис. 4. Алгоритм работы САУ процессом глубинного электроэрозионного профилирования алмазных кругов, характеризующийся двумя стадиями обработки:
 а – стадия электроэрозионного врезания невращающегося ЭИ в алмазный круг;
 б – стадия сообщения ЭИ вращательного движения

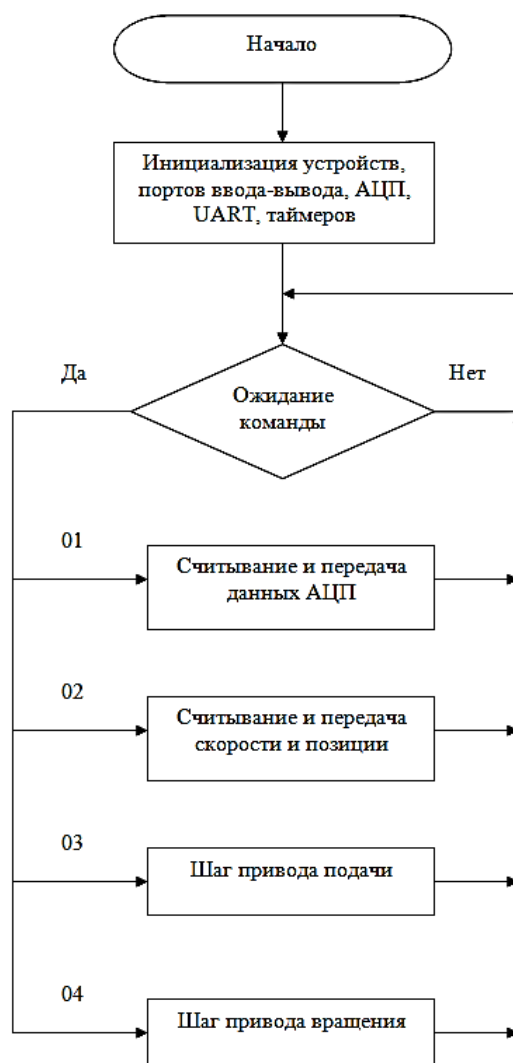


Рис. 5. Алгоритм работы микропроцессорного устройства управления

На рис. 6 представлен интерфейс САУ процессом глубинного электроэрозионного профилирования в виде диалогового окна программы верхнего уровня, по которому осуществляется взаимодействие оператора с данной системой.

Процесс глубинного электроэрозионного профилирования с применением разработанной САУ осуществляется следующим образом.

Вертикально подводится профилирующий ЭИ к алмазному кругу по кнопке «Вверх» «на глаз», при этом используется величина шага, равная значению, установленному в окошке «Быстрая подача». Затем по кнопке «СТАРТ» запускается программа и происходит вертикальное сближение ЭИ с шлифовальным кругом до появления электрических разрядов в межэлектродном зазоре. Слежение осуществляется по датчику тока. Как только ток становится больше нуля, происходит электроэрозионное врезание ЭИ в шлифовальный круг на введенную величину «Значение величины профиля», поддерживая максимальную мощность. Поддержание максимальной мощности осуществляется по алгоритму поиска экстремума

статической характеристики инерционного объекта, в ходе которого вычисляется коэффициент передачи объекта. Если коэффициент меньше 0, то ЭИ отводится от шлифовального круга на один шаг. При значении коэффициента больше 0 ЭИ подводится на один шаг. Величина шага в этом случае равна значению, установленному в окошке «Рабочая подача».

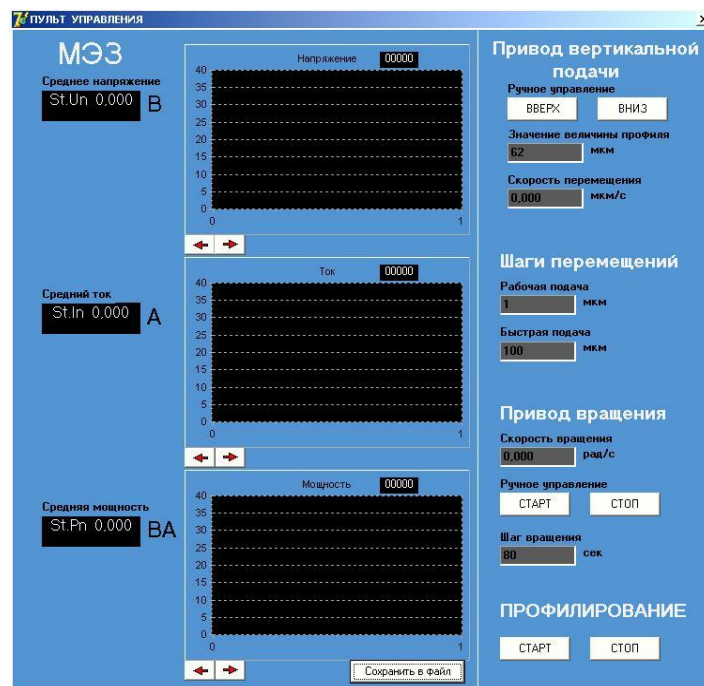


Рис. 6. Диалоговое окно программы верхнего уровня

Расчёт коэффициента передачи k_0 осуществляется по следующей формуле [5]:

$$k_0 = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_n z^{-n}} = \frac{\sum_{j=0}^m b_j(k)}{\sum_{i=0}^n \alpha_i(k)}. \quad (1)$$

При достижении значения «Величина профиля» происходит останов двигателя вертикального перемещения.

После останова двигателя вертикального перемещения ЭИ сообщает вращательное движение приводом вращения по часовой стрелке, поддерживая максимальную мощность по алгоритму, описанному выше. Если коэффициент передачи объекта меньше 0, то ЭИ поворачивается против часовой стрелки на один рабочий шаг вращения. Если коэффициент больше 0, то ЭИ поворачивается по часовой стрелке на один рабочий шаг вращения.

После того, как ЭИ сделает полный оборот, привод вращения останавливается и ЭИ отводится от шлифовального круга приводом вертикальной подачи.

Таким образом, разработанная система автоматического управления установкой для глубинного электроэрозионного профилирования

шлифовальных кругов на токопроводящих связках позволяет значительно упростить процесс обработки за счёт его автоматизации, а также повысить точность и производительность профилирования за счёт стабилизации межэлектродного зазора на величине, при которой мощность, выделяемая в нём, будет максимальной.

Список литературы

1. Никиткин А.С. Профилирование алмазных шлифовальных кругов на токопроводящих связках / А.С. Никиткин // Материалы Всерос. форума студентов, аспирантов и молодых учёных. – СПб., 2008.

2. Пат. 2486037 Российская Федерация, МПК В 05 Н 1/00, В 05 Н 9/00. Способ стабилизации межэлектродного промежутка при электроэрозионном профилировании шлифовальных кругов с помощью автоматического регулятора подачи электрода / Никиткин А.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Никиткин А. С. - № 2011136674/02; заявл. 16.05.11; опубл. 27.06.13, Бюл. № 18. – 6 с.

3. Никиткин А.С. Конструкция системы управления электроэрозионным профилированием алмазных шлифовальных кругов / А.С. Никиткин, А.Д. Семенов, О.В. Авдеева // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2011. – № 5. – С. 17–22.

4. Пат. 2471220 Российская Федерация, МПК G 05 В 13/00. Способ поиска экстремума статистической характеристики инерционного объекта / Никиткин А. С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Авдеева О. В. - № 2011119698/08; заявл. 16.05.11; опубл. 27.12.12, Бюл. № 36. – 7 с.

5. Никиткин А.С. Алгоритм экстремального регулирования на основе рекуррентной процедуры метода наименьших квадратов / А. Д. Семенов, А. С. Никиткин, О. В. Авдеева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 3–11.

УДК 681.5.015.3

ПОСТРОЕНИЕ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ШЛИФОВАНИЯ

А.Д. Семёнов, А.С. Никиткин

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Тел.: +7(8412) 56-46-83, E-mail: avitel@pnzgu.ru

Приводятся принципы автоматизации процессов алмазно-эрозионного шлифования и электроэрозионной правки алмазно-абразивного инструмента. Рассматриваются пути повышения точности и производительности алмазно-эрозионной обработки.

Ключевые слова: электроэрозионное профилирование, правка, автоматизация, система управления, повышение производительности.

DEVELOPING A FLEXIBLE AUTOMATED PRODUCTION COMPLEX OF ELECTROEROSIVE GRINDING

A.D. Semenov, A.S. Nikitkin
Penza State University, Penza, Russia

Contained principles of process automation electroerosive diamond grinding and EDM diamond abrasive tools. Discusses ways to improve the accuracy and performance electroerosive diamond grinding.

Keywords: electroerosive profiling, correction, automation, control system, improving performance.

В современных условиях, характеризующихся острой конкуренцией не только с внутренними, но и с внешними производителями, как никогда остро стоит проблема повышения производительности труда и качества изделий. Повышение качества предполагает широкое использование материалов с высокими потребительскими свойствами, сложную форму изделий и повышенные требования к точности изготовления и качеству обработанной поверхности.

Одним из наиболее производительных способов получения изделий из современных труднообрабатываемых материалов является профильное шлифование. Эффективность данного вида обработки зависит от исходной точности профиля, а также правильного выбора характеристик инструмента и технологических режимов, обеспечивающих высокую режущую способность круга. Исследования показывают, что наиболее эффективным методом получения фасонного алмазно-абразивного инструмента на металлических связках с заданными характеристиками рабочей поверхности является электроэрозионный метод.

Однако исходная высокая точность и режущая способность алмазно-абразивного инструмента не гарантируют обеспечения заданных параметров точности и качества в течение продолжительного периода вследствие неизбежного износа алмазного круга.

Обзор научных публикаций, посвященных вопросам качества алмазно-абразивной обработки, показывает, что в них отсутствуют способы активного управления неравномерностью износа алмазных кругов и их режущей способностью.

В настоящее время широкое распространение получил процесс алмазно-эрозионного шлифования, предполагающий введение электрической энергии в зону резания. Вместе с тем метод алмазно-эрозионного шлифования обеспечивает поддержание режущих свойств алмазного круга и создает предпосылки для управления геометрией

профиля его рабочей поверхности. Одновременно, интегрировав в данный процесс обработки электроэрозионный метод правки алмазно-абразивного инструмента, можно достичь активного управления износом и режущей способностью алмазных кругов.

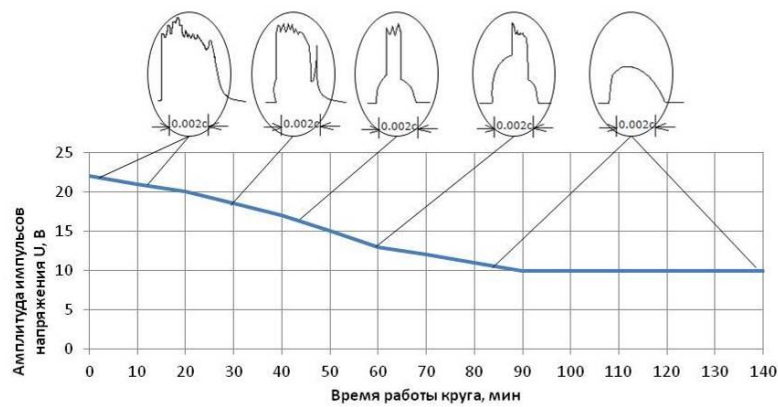
Анализ литературы, посвященной вопросу автоматизации подготовки алмазно-абразивного инструмента и алмазно-эрозионного шлифования, показал, что работы в данном направлении практически не проводились, поскольку для создания такой системы требуется учитывать большое количество факторов, от которых в большей степени зависит качество ее функционирования. Наряду с этим существующие системы управления электроэрозионной обработкой не обеспечивают заданных показателей качества процесса электроэрозионной правки и алмазно-эрозионного шлифования, так как не учитывается ряд важных факторов, например наличие в шлифовальном круге нетокопроводящих включений (алмазных зерен), оказывающих существенное влияние на данные процессы [1].

Таким образом, задача построения гибкого автоматизированного технологического комплекса, совмещающего в себе электроэрозионную правку и алмазно-эрозионное шлифование, с целью управления качеством профильной алмазно-абразивной обработки, является актуальной.

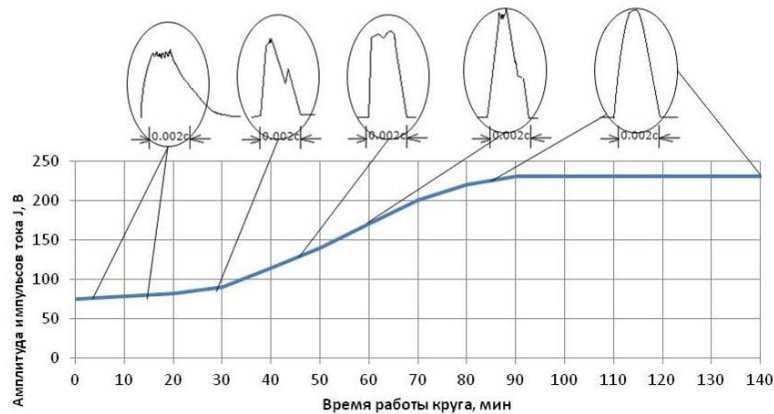
Проведенные экспериментальные исследования процесса алмазно-эрозионного шлифования (рис. 1) показали, что по амплитуде и форме электрических импульсов в межэлектродном промежутке можно судить о состоянии рабочей поверхности алмазного круга.

Как видно из зависимостей, при времени шлифования 80...90 мин происходит засаливание алмазно-абразивного инструмента и появляются импульсы короткого замыкания, которые приводят к нарушению эрозионных процессов в межэлектродном промежутке, вследствие чего разрушение стружки, а также связки шлифовального круга не происходит. В этом случае для восстановления рабочего режима процесса алмазно-эрозионного шлифования необходимо увеличение межэлектродного промежутка путем уменьшения глубины врезания и/или увеличения энергии технологических импульсов, путем повышения амплитуды тока или напряжения. Однако уменьшение глубины врезания приведет к снижению производительности обработки, а увеличение энергии технологических импульсов – к графитизации алмазных зерен абразивного инструмента и, как следствие, к снижению его режущей способности.

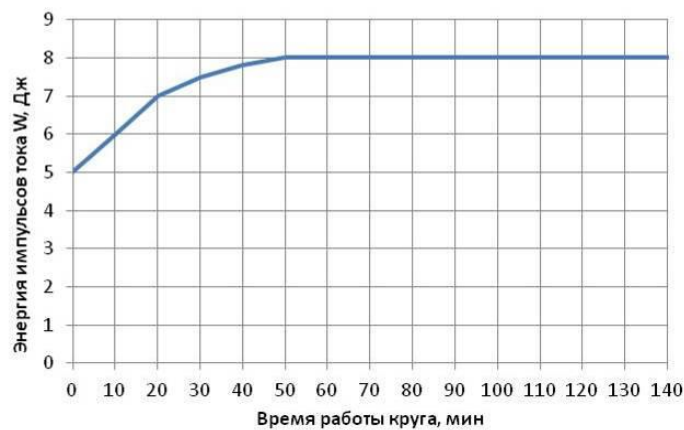
Решением вышеназванных проблем при алмазно-эрозионном шлифовании является совмещение данного процесса с электроэрозионной правкой, что позволит оперативно, в процессе обработки, в автоматическом режиме восстанавливать рабочий профиль абразивного инструмента без ущерба для его режущих свойств и производительности обработки.



а



б



в

Рис. 1. Экспериментальные зависимости амплитуды импульсов от времени работы круга и осциллограммы: а – напряжения; б – тока; в – энергии импульсов

В свою очередь, при электроэрозионной правке важную роль играет скорость подачи, поскольку ее отклонение от оптимального значения может существенно замедлить или прекратить процесс обработки. При скорости подачи меньше оптимальной, в процессе правки увеличивается величина межэлектродного промежутка, что приводит к появлению и дальнейшему росту «холостых» импульсов, и процесс обработки

замедляется до тех пор, пока интенсивность съема алмазосодержащего слоя не станет равной скорости подачи. Большая же скорость подачи приводит к появлению и дальнейшему росту импульсов короткого замыкания, вследствие уменьшения межэлектродного промежутка в процессе электроэрозионной обработки шлифовального круга. В этом случае процесс правки также замедляется до его полного прекращения, из-за короткого замыкания между профилирующим электродом и алмазным кругом.

Оптимальная величина подачи определяется таким параметром, как линейная скорость съема алмазосодержащего слоя шлифовального круга. Скорость съема алмазосодержащего слоя, в свою очередь, зависит от характеристик рабочей поверхности шлифовальных кругов и режимов электроэрозионной правки.

Таким образом, ввиду наличия большого числа факторов, влияющих на величину подачи профилирующего электрода, необходимо ее осуществлять автоматически с помощью автоматизированного регулятора, поддерживая величину межэлектродного промежутка на оптимальном уровне.

При электроэрозионной обработке контроль величины межэлектродного промежутка напрямую существенно затруднен. Поэтому, в автоматизированных электроэрозионных станках большое распространение получили автоматические регуляторы, использующие электрические управляющие сигналы, косвенно характеризующие состояние межэлектродного промежутка [2, 3].

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость объемной скорости съема связки шлифовального круга от мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке.

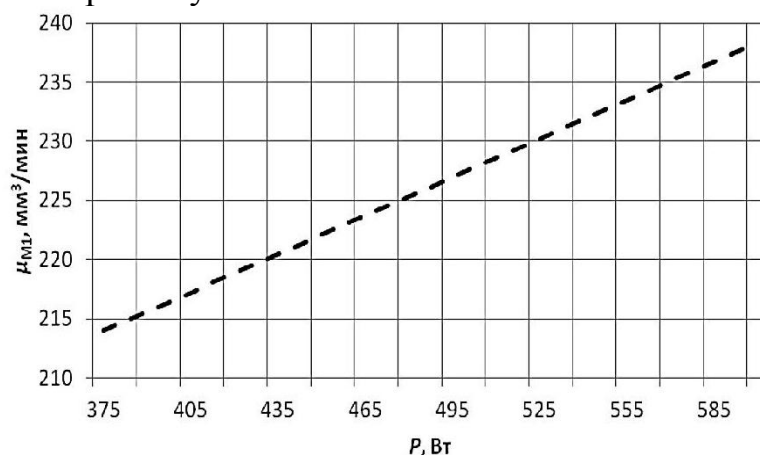


Рис. 2. Зависимость объемной скорости съема связки от мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке ($f = 10$ кГц, $U = 80$ В)

Из рисунка видно, что зависимость объемной интенсивности съема связки от величины средней мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке, пропорциональная.

На рис. 3 приведены зависимости относительной величины средней мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке, от величины этого промежутка.

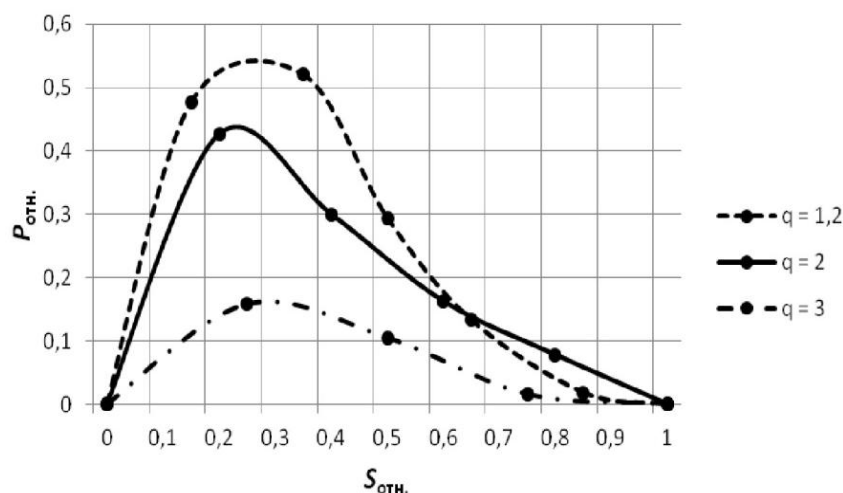


Рис. 3. Зависимости относительной величины средней мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке, от величины этого промежутка

Экспериментальные исследования показывают, что максимальная производительность при электроэрозионной обработке достигается, когда величина межэлектродного промежутка соответствует максимальному значению мощности, выделяемой в этом промежутке.

Таким образом, подачу профилирующего электрода необходимо осуществлять из условия выделения в межэлектродном промежутке максимальной мощности с помощью экстремального регулятора [4].

Ввиду вышеизложенного, при алмазно-эрозионном шлифовании, для стабилизации и интенсификации процесса необходимо осуществлять электроэрозионную правку шлифовального инструмента исходя из появления импульсов короткого замыкания во время обработки с помощью автоматического регулятора, а подачу профилирующего электрода, в свою очередь, необходимо осуществлять из условия выделения в межэлектродном промежутке максимальной электрической мощности с помощью экстремального регулятора. Решение данных задач позволит создать гибкий автоматизированный технологический комплекс, способный управлять качеством профильной алмазно-абразивной обработки.

Список литературы

1. Никиткин А.С. Интенсификация и стабилизация электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов путем автоматизированного управления режимами обработки: дис. ... канд. техн. наук / А.С. Никиткин. – Пенза, 2012. – 233 с.

2. Иоффе В.Ф. Автоматизированные электроэрозионные станки / В.Ф. Иоффе В.Ф. [и др.] – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 227 с.
3. Вексель И.Г. О сигналах первичной информации для создания автоматических регуляторов межэлектродного зазора / И.Г. Вексель // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – М.: НИИМАШ, 1975. – №2.
4. Пат. 2486037 Российская Федерация, МПК В 05 Н 1/00, В 05 Н 9/00. Способ стабилизации межэлектродного промежутка при электроэрозионном профилировании шлифовальных кругов с помощью автоматического регулятора подачи электрода / Никиткин А.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Никиткин А. С. - № 2011136674/02; заявл. 16.05.11; опубл. 27.06.13, Бюл. № 18. – 6 с.

УДК.621.762

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДУРАЛЮМИНА Д16

В.К. Сперанский¹, С.К. Сперанский², В.Н. Лясников²

¹ОАО «НЕФТЕМАШ»-САПКОН, г. Саратов, Россия

²СГТУ имени Гагарина Ю.А. г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 99-86-23 E-mail: fmtm@sstu.ru,

Описываются особенности физики процесса упрочнения алюминия при его термообработке. Приводится механизм образования зон Гинье-Пристона. Описана автоматизированная система, обеспечивающая его качественную закалку и отпуск.

Ключевые слова: дуралюмин, терморегулятор, конфигуратор.

EXPERIENCE IN CREATING SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR PROCESS HEAT TREATMENT DURALUMIN D16

V.K. Speransky¹, S.K. Speransky², V.N. Lasnikov²

¹ОАО «NEFTEMASH» - SAPKON, Saratov, Russia

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Article describes the features of the physics of the process of hardening of aluminum at its heat treatment and driven mechanism of Guinier-Preston. Automated system providing its qualitative quenching and tempering is described.

Keywords: duralumin, thermostat, configurator.

Применение термообработанного сплава Д16Т позволяет на 60% уменьшить массу агрегатов по сравнению со стальными. Современные дюралюмины - это многокомпонентные сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавками марганца и других элементов. Помимо меди и магния в дюралюмине всегда содержатся марганец и примеси железа и кремния. Медь и магний - основные компоненты, обеспечивающие упрочнение сплавов. Марганец является обязательной присадкой, измельчающей структуру, повышающей прочность и коррозионную стойкость. Железо и кремний - неизбежные примеси. Железо является вредной примесью, снижающей прочность и пластичность дюралюмина. Кремний до некоторой степени устраняет вредное влияние железа, связывая его в более легко разрушаемую при деформации фазу.

Дюралюмины способны обеспечивать высокие механические свойства (на уровне углеродистых сталей), обладая в то же время малым удельным весом. Это делает их очень ценным конструкционным материалом для многих областей техники [1].

Наибольшее применение среди дюралюминов нашли сплавы Д1 и Д16, которые широко используют в машиностроительной промышленности. Из них изготавливают листы, профили, трубы, проволоку, штамповки и поковки (рис. 1).

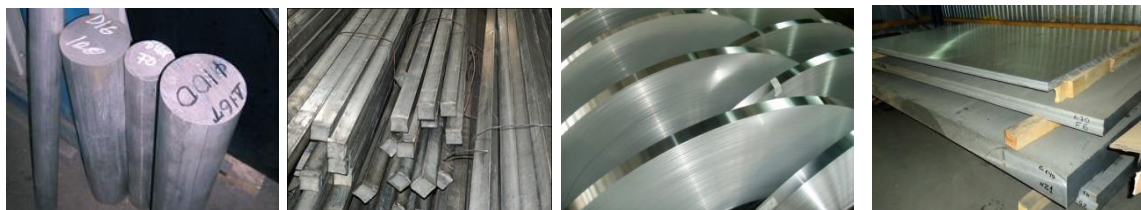


Рис. 1. Полуфабрикаты из дюралюмина

Для обеспечения высокой прочности дюралюмин подвергают закалке и естественному или искусственному старению. Чтобы уяснить причины упрочнения сплавов при термической обработке, рассмотрим фазовый состав и превращения в двухкомпонентном сплаве, состоящем из алюминия и 4% меди [2,3].

Равновесная структура сплава при комнатной температуре представляет собой α -твёрдый раствор, содержащий около 0,5% меди и включения интерметаллидов типа CuAl_2 . При такой структуре сплавы обладают низкой прочностью и хорошей пластичностью. Для максимального упрочнения сплавов термической обработкой необходимо решить две задачи:

1. Повысить прочность основной части структуры, т.е. кристаллов α твёрдого раствора;
2. Обеспечить образование вместо относительно крупных избыточных кристаллов интерметаллида CuAl_2 большого количества мельчайших вторичных выделений, препятствующих движению дислокаций.

Известно, что напряжение, необходимое для «проталкивания» дислокации между частицами, разделёнными расстоянием L , равно: $\tau = G \cdot b / L$, где G - модуль сдвига, b - вектор Бюргерса дислокации.

Следовательно, чем мельче частицы, тем больше их количество, меньшее расстояние L между ними и большее напряжение «проталкивания». Отсюда, чем мельче частицы, тем больше их упрочняющее воздействие. Скольжение дислокаций осуществляется путём проталкивания их между этими частицами. По мере того, как расстояние между частицами уменьшается, напряжение «проталкивания» дислокаций между препятствиями возрастает, что и приводит к упрочнению. Именно поэтому максимальный эффект упрочнения наблюдается при тех режимах старения, при которых образуются дисперсные, равномерно распределённые на небольших расстояниях одна от другой метастабильные промежуточные фазы. Укрупнение частиц приводит к уменьшению их количества, увеличивает расстояния между ними и способствует снижению прочности и твёрдости. Режимы упрочняющей обработки дюралюминов разных марок отличаются незначительно, но особенностью их термической обработки является необходимость жёсткого соблюдения рекомендованной температуры нагрева под закалку. **Особенностью** термообработки дюрала является очень узкий интервал закалочных температур [4]. Если сплав недогреть, то не происходит растворения вторичных фаз и эффекта закалки не будет. Если сплав перегреть, то по границам зерен появляется жидкая фаза, происходит усадка, образуется микропористость, резко снижаются прочность и пластичность. После нагрева и выдержки перенос деталей из печи в закалочный бак должен проводиться очень быстро (не более 30 с). Поэтому для закалки алюминиевых сплавов строят специальную печь. После закалки проводят старение.

Так, например, для Д16 температура закалки должна составлять 495...505 °С. Это требование объясняется тем, что указанные температуры весьма близки к температуре начала плавления. Превышение рекомендуемых температур вызывает оплавление границ зёрен и вызывает резкое снижение пластичности. Что касается режимов старения, то они могут быть разнообразными. Так, при естественном старении сплава Д16 максимальная прочность достигается через 4 суток и доходит до 480 МПа. Для жаропрочных дюралей применяют искусственное старение (120-160° С) от 4 до 12 часов.

Первой упрочняющей операцией для дюралюмина является закалка. Возможность применения закалки основана на наличии переменной растворимости меди в алюминии. Её цель - получить в сплаве неравновесную структуру пересыщенного твёрдого раствора с максимальной концентрацией меди. Закалка заключается в нагреве сплава несколько выше линии переменной растворимости (но не выше солидуса) с последующим резким охлаждением в холодной воде.

При нагреве происходит полное растворение вторичных кристаллов CuAl_2 , и сплав приобретает однофазную структуру α твёрдого раствора с высокой концентрацией меди (около 4%). В результате быстрого охлаждения распад высокотемпературного твёрдого раствора не успевает происходить, несмотря на понижение растворимости меди. Таким образом, при комнатной температуре удастся зафиксировать пересыщенный твёрдый раствор меди в алюминии с сильно искажённой кристаллической решёткой. Это искажение решётки твёрдого раствора способствует торможению дислокаций и вызывает повышение прочности сплава.

Так, например, отожжённый дюралюмин Д16 имеет предел прочности 220 МПа, а непосредственно после закалки около 300 МПа. Однако наибольшее упрочнение происходит при последующем естественном старении.

Старение представляет собой выдержку закалённого сплава при сравнительно невысоких температурах, при которых начинается распад пересыщенного твёрдого раствора или подготовительные процессы, предшествующие его распаду. При старении изменение структуры и свойств в зависимости от температуры и времени выдержки происходит в несколько этапов.

На первом этапе в решётке твёрдого раствора образуются субмикроскопические зоны с высокой концентрацией меди. Если в основном пересыщенном растворе содержится около 4% меди (в рассматриваемом сплаве $\text{Al} + 4\% \text{Cu}$), а в соединении CuAl_2 , которое должно выделиться в конечном счёте из раствора - 52% Cu, то в этих зонах концентрация меди промежуточная и возрастает по мере развития процесса. Эти зоны получили название зоны *Гинье-Престона*, или зон Г.П. [5,6]. В сплавах типа дюралюмин они имеют пластинчатую форму, а их кристаллическая структура такая же, как и у твёрдого раствора, но с меньшим параметром решётки.

Сущность второго этапа процесса заключается в некотором росте зон Г.П., обогащении их медью до концентрации, близкой к соединению CuAl_2 , и упорядочении их структуры.

Для нагрева деталей под закалку, для термообработки высоколегированных и быстрорежущих сталей, отжига стальной проволоки и ленты обычно использовались высокотемпературные печи СНО-4.8.2,5/13-И2. В таких печах металл нагревается за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока по спиральям, изготовленным из жаропрочных металлов с большим электросопротивлением. Предельная температура нагрева элементов из наиболее жаростойких сплавов достигает 1300°C при стойкости 100 часов.

Печь состоит из рабочей камеры, образованной футеровкой из слоя огнеупорного кирпича, изолированной от металлического кожуха теплоизоляционным слоем. Оборудование управления печью значительно

устарело, хотя сами печи и их силовые части находились в рабочем состоянии. На таких печах обычно устанавливались круговые бумажные самописцы (рис. 2), которые выполняли функцию регулирования. Данные по температуре снимались с термопар, установленных на сводах печей [7,8].

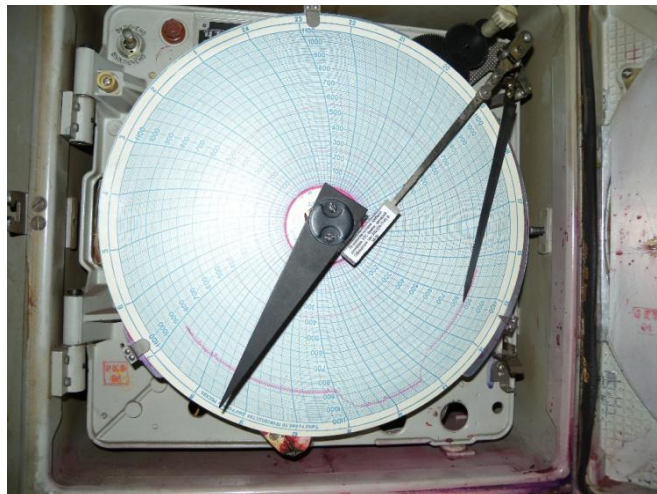


Рис. 2. Круговой бумажный самописец

При обследовании объекта управления специалистами завода было решено оставить без замены и модернизации сами печи и заменить только системы управления с возможностью как локального, так и автоматического управления (рис. 3) со сбором данных на рабочем месте дежурного термиста.

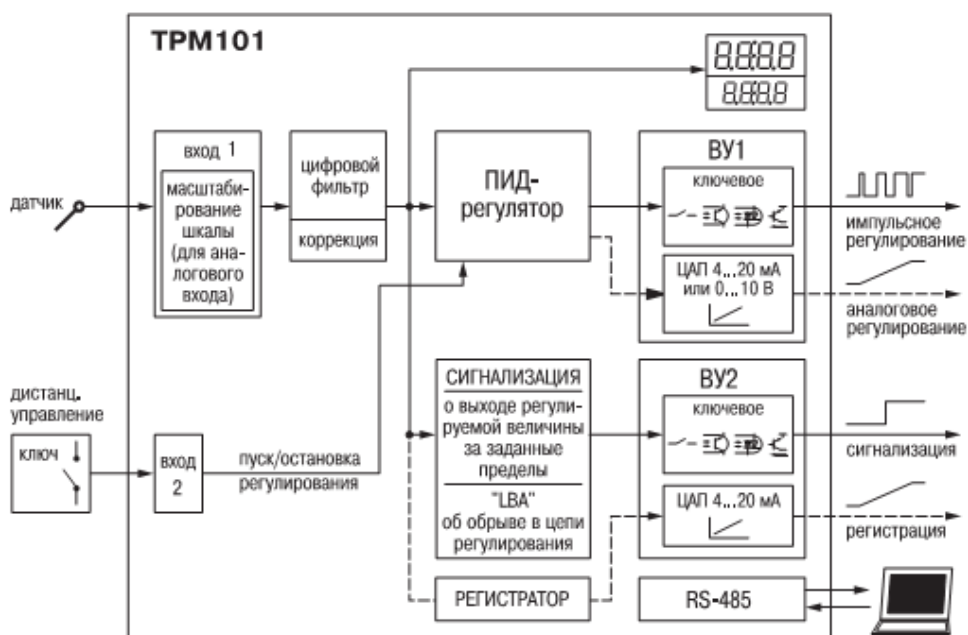


Рис. 3. Схема подключения датчика TRM101 к печи и компьютеру

Регулирование рабочей температуры в электрических печах сопротивления производилось изменением поступающей в печь мощности. Регулирование подводимой к печи мощности могло быть произведено периодическим отключением и подключением трансформаторов печи к питающей сети (двухпозиционное регулирование). Такая схема позволила просто заменить самописцы-регуляторы более современными контроллерами, повторив алгоритм управления.

Были разработаны установка (рис. 4) и алгоритм ее работы.



Рис. 4. Установка термообработки с системой управления

Установка относится к новому поколению оборудования с компьютерным управлением для термообработки изделий. Система управления установки, построенная на базе компьютера (верхний уровень) и промышленного терморегулятора ОВЕР ТРМ 101 (нижний уровень), относится к классу систем, предназначенных для управления процессами путем изменения различных параметров, основным из которых является температура обработки. Прибор ТРМ 101 в комплекте с первичным преобразователем предназначен для измерения физического параметра контролируемого объекта, отображения измеренного параметра

на встроенном цифровом индикаторе, а также формирования сигналов управления встроенными выходными устройствами, которые осуществляют регулирование измеряемого параметра. Терморегулятор преобразует входные аналоговые сигналы от датчиков температуры. Микропроцессор внутри терморегулятора получает информацию о текущей температуре с точностью 0,1 градуса Цельсия и обеспечивает её первичную обработку (достоверность, выбраковка, усреднение) для формирования массива данных, включающего *текущую и заданную температуры, скорость изменения температуры, производную скорости температуры*. Данные массивов служат исходной информацией для алгоритмов технологической задачи управления термообработкой.

Система управления является иерархической по информационной модели, функциям управления и программному обеспечению. Технические средства терморегулятора обеспечивают автономную работу системы управления без верхнего уровня. Для оперативного управления технологическим процессом применяется малогабаритный пульт управления.

Контроллер посылает управляющий сигнал на магнитные пускатели, которые подают напряжение 380 В на повышающие трансформаторы для включения нагревательных тэнов. Нормированный сигнал с термопары через преобразователь сигнала поступает на аналоговый вход контроллера. Поддержание заданного уровня температуры достигается путем временного отключения питания с трансформаторов. С пульта на внешнем шкафу управления задается кривая нагрева. Температура в печи растет до значения $T + 1/2\Delta T$, где T – заданная температура, ΔT – заданный интервал температуры, в пределах которого происходит регулирование (гистерезис температуры). В этот момент контроллер отключает печь. За счет поглощения теплоты нагреваемым телом и потерь в окружающее пространство температура снижается до значения $T - 1/2\Delta T$, после чего контроллер вновь выдает команду на подключение печи к сети. При этом задаются температура, время предварительного нагрева и время выдержки при данной температуре и окончательная температура, при которой производится закалка.

Для расширения возможностей предусмотрено использование терморегулятора в комплексе с персональным компьютером. Данные от контроллера печи по протоколу ModbusRTU интерфейса RS-485 поступают на его вход USB. При этом к одному компьютеру с помощью адаптера можно подключить до 32 печей, расположенных на расстоянии до 500 метров.

Оператор-технолог, находясь на рабочем месте, с помощью компьютера имеет возможность: **устанавливать и наблюдать технологические параметры нагрева** (давление вакуумной камеры,

температура и скорость изменения температуры при закалке и отпуске), а также состояние механизмов и датчиков в печи, **проводить регистрацию** и **архивирование** параметров закалки и отпуска для дальнейшего использования. Ввод, редактирование числовых значений программы термообработки осуществляется с помощью специальной программы **«Конфигуратор»**, из окна **«Программирование»** после ввода пароля, соответствующего выбранной печи.

Основное окно интерфейса оператора отображает текущее состояние установки (цвет элемента: красный – выключен или закрыт, зелёный – включён или открыт) и текущие значения параметров процесса термообработки.

Выводы

1. Использование терморегулятора, соединенного с персональным компьютером, позволило осуществить необходимую термообработку дюралюмина, что было невозможно при существующем устаревшем устройстве управления.
2. Использование специальной программы «Конфигуратор» позволило подключить еще несколько печей к компьютеру, что значительно упростило и улучшило работу оператора-технолога.

Список литературы

1. Алиева С.Г. Промышленные алюминиевые сплавы: справочник / С.Г. Алиева. – М.: Металлургия, 1984. – 528 с.
2. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: справочник / под ред. Дж. Хэтча. – М.: Металлургия. 1989. - 458 с.
3. Беляев А.И. Металловедение алюминия и его сплавов: справочник / А.И. Беляев, О.С. Бочвар.– 2-е изд.– М.: Металлургия, 1983 . – 264 с.
4. Колачев Б.А. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, Р.М. Габидулин. – М.: Металлургия, 1980.– 304 с.
5. Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко, П.М. Колосков. – М.: Металлургия, 2003. – 784 с.
6. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов: справочник / И.В. Фиргер. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд.,1982. – 304 с.
7. Ицкович Э.Л. Методы совершенствования систем регулирования технологических процессов / Э.Л. Ицкович // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – № 11.– С. 3-9.
8. Зайцев М.В. Опыт внедрения системы управления сбора и хранения информации о процессе термообработки / М.В. Зайцев // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №2. – С. 34-37.

АЛГОРИТМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ЗАЗОРА ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ПРОФИЛИРОВАНИИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

А.П. Спутнов

ПГУ, г. Пенза, Россия

Тел. (8412) 432940; E-mail sputnov@mail.ru

Предложен принципиально новый алгоритм регулирования межэлектродного зазора при электроэрозионном профилировании алмазных шлифовальных кругов, основанный на поддержании оптимального режима, избегая режимов холостого хода и короткого замыкания. Разработана Simulink – модель процесса, раскрывающая основные принципы работы данного метода. Приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: межэлектродный зазор, режим холостого хода, режим короткого замыкания.

ALGORITHMS OF REGULATION OF THE ELECTRODE GAP IN CASE OF ELEKTOEROZIONNY PROFILING OF DIAMOND GRINDING WHEELS

A.P. Sputnov

Penza State University, Penza, Russia

Essentially new algorithm of regulation of an electrode gap is offered in case of electroerosive profiling of the diamond grinding wheels, based on maintenance of an optimum mode, avoiding modes of idling and short circuit. Simulink – the process model opening the basic principles of operation of this method is developed. Results of simulation are given.

Keywords: electrode gap, idling mode, mode of short circuit.

Электроэрозионная обработка в машиностроении считается одним из наиболее прогрессивных и экономически выгодных процессов. С ее помощью можно получать поверхности, которые принципиально невозможно изготовить другими технологическими методами. Этот вид обработки используется для изготовления сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых токопроводящих материалов.

Эффективность процесса электроэрозионной обработки в значительной степени определяется величиной межэлектродного зазора. По мере увеличения зазора число искровых разрядов падает за счёт возникновения режимов холостого хода, а при достижении критической величины обработка прекращается. По мере уменьшения межэлектродного зазора эффективность разрядов также снижается за счет возникновения

режимов короткого замыкания, износ электрода возрастает, а при определенной величине зазора возникают дуговые разряды, что приводит к порче электрода и детали [1].

Экспериментально установлено, что при электроэрозионной обработке максимальная производительность процесса достигается, когда электрическая мощность, выделяемая в межэлектродном зазоре, максимальна [2], причём зависимость электрической мощности в межэлектродном зазоре от величины этого зазора имеет экстремальный характер.

Существующие алгоритмы экстремального регулирования мощности в межэлектродном зазоре при электроэрозионной обработке не всегда обеспечивают получение сходящихся и несмещённых значений положения экстремума [3], что не позволяет оперативно поддерживать оптимальное значение межэлектродного зазора.

Если принять гипотезу о нормальном распределении неровностей поверхности обрабатываемой детали (алмазного круга) [4], то вероятность возникновения режимов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) определяется заштрихованными областями кривой закона распределения неровностей, приведённого на рис. 1. Очевидно, что минимальная вероятность возникновения нерабочих режимов будет достигаться, когда вероятности режимов ХХ и КЗ будут равны.

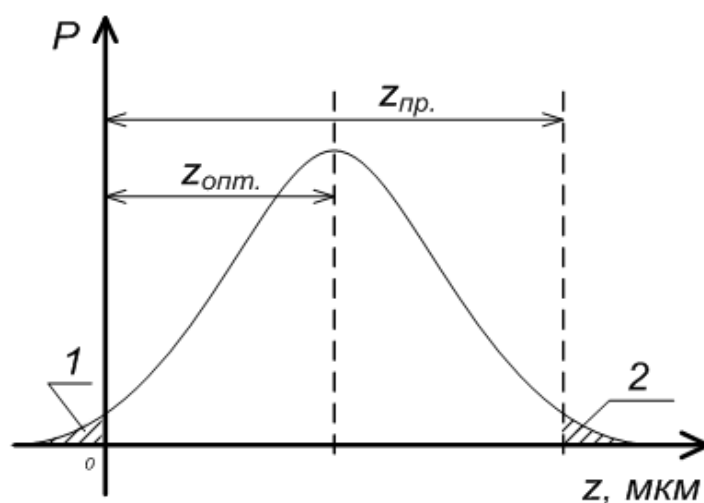


Рис. 1. График кривой нормального распределения неровностей

О близости к режимам ХХ или КЗ можно судить по амплитудам импульсов тока и напряжения в межэлектродном зазоре. Селектируя полученные импульсы по амплитуде, после чего подвергая их логической операции «исключающее ИЛИ», после мультиплексирования на выходах мультиплексора получаем импульсы, свидетельствующие о наличии режимов ХХ или КЗ. Эти импульсы используются для регулирования подачи электрода-инструмента. Причём если импульс свидетельствует о приближении к режиму ХХ, подачу уменьшают. В противном случае — увеличивают.

На рис. 2 представлена Simulink – модель, реализующая данный алгоритм.

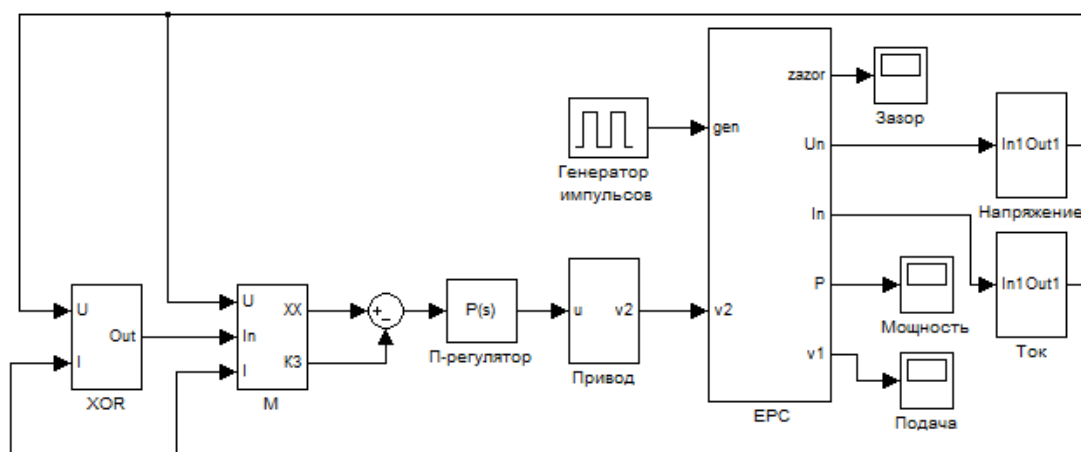


Рис. 2. Модель системы

Она состоит из логической схемы, которая реализует функцию «исключающее ИЛИ» (XOR), мультиплексора (M), П - регулятора, привода подачи электрода – инструмента (привод), блока, моделирующего процесс электроэрозионной обработки (EPC) и двух амплитудных селекторов импульсов напряжения и тока. Блок (EPC) описан в [3] и позволяет учитывать стохастический характер процесса.

На рис. 3 и 4 показаны осциллограммы изменения межэлектродного зазора и импульсов холостого хода и короткого замыкания.

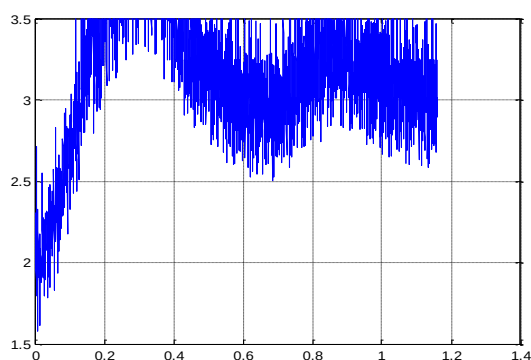


Рис. 3. Изменение межэлектродного зазора

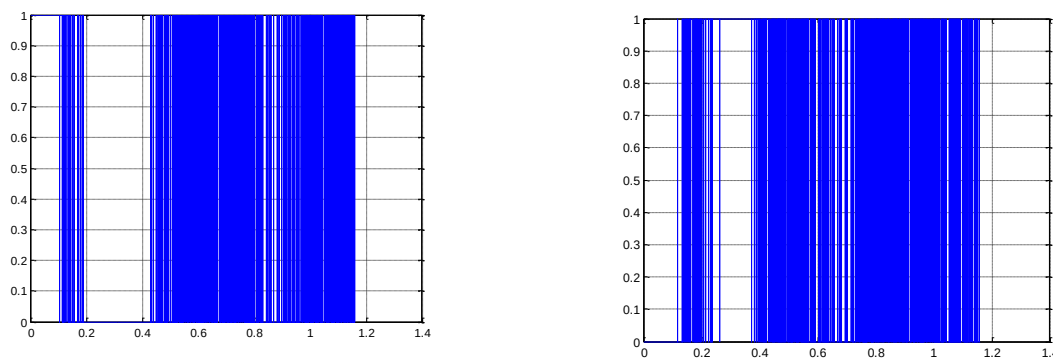


Рис. 4. Селектированные импульсы холостого хода и короткого замыкания

Преимущество данного алгоритма заключается в том, что он обладает простой схемной реализацией, высоким быстродействием и помехоустойчивостью обеспечивая устойчивую процедуру поиска экстремума.

Список литературы

1. Елисеев Д.С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / Д.С. Елисеев, Б.П. Саушкин. –М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2010. – 437 с.
2. Семенов А.Д. Модель процесса электроэрозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов / А.Д. Семенов, А.С. Никиткин // Новые промышленные технологии. – 2009. - №3. – С. 14-16.
3. Семенов А.Д. Алгоритм экстремального регулирования на основе рекуррентной процедуры метода наименьших квадратов / А.Д. Семенов, О.В. Авдеева, А.С. Никиткин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – №1(21). – С. 3-12.
4. Азарова Н.В. Влияние способа правки алмазного круга на характеристики его рабочей поверхности / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – 2007. – С. 16-20

УДК 656.13

ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

Н.А. Муравьева, И.С. Семенов

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452) 998751; E-mail mur_nell@mail.ru

Рассмотрен подход к диспетчерскому управлению перевозочным процессом на основе оперативного регулирования, показан механизм регулирования перевозок, проанализировано создание современной интеллектуальной транспортной системы для обеспечения беспрепятственной и безопасной транспортировки гостей и участников Олимпийских игр. Рассмотрена работа логистического транспортного центра и входящего в него диспетчерского центра.

Ключевые слова: перевозочный процесс, оперативное регулирование, логистический транспортный центр, автоматизированная система управления дорожным движением, диспетчерский центр.

APPROACHES TO IMPROVING TECHNOLOGICAL PROCESSES OF DISPATCHING MANAGEMENT OF URBAN PASSANGER TRANSPORT

N.A. Muraveva, I.S. Semenov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The article describes the approach to dispatching transportation process on the basis of operational control, shows the mechanism of regulation of transport, analyzes the creation of modern intelligent transportation systems to ensure the smooth and safe transportation of guests and participants of the Olympic Games. Examine the work of a logistics center and included in a dispatch center.

Keywords: transportation process, operational control, logistics transportation center, automated traffic control system, dispatching center.

Развитие автотранспортного комплекса Российской Федерации на современном этапе характеризуется широким внедрением технологий, оборудования, систем контроля и управления перевозками, а также средствами обеспечения безопасности, базирующимися на решении задач, использующих информацию о местоположении транспорта в пространстве и времени. Поэтому особое внимание при решении задач управления перевозками необходимо уделять вопросам снижения затрат времени пассажиров на транспортное обслуживание, а также обеспечения надежности исполнения запланированного уровня качества предоставления транспортных услуг и точности выполнения заранее сформированных расписаний. Особое место в указанной проблеме занимает вопрос рационального и эффективного диспетчерского контроля и управления движением пассажирских транспортных средств по маршрутам регулярных перевозок, которое может быть обеспечено за счет использования автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ).

В подходах к управлению перевозками, а также функционированию транспортных процессов и систем, рассмотренных в работах М.Д. Блатнова, В.А. Гудкова, О.Н. Ларина, В.С. Лукинского, Л.Б. Миротина, И.В. Спирина и других, авторами недостаточно внимания уделялось вопросам оперативного автоматизированного диспетчерского управления перевозочными процессами на основе использования спутниковой навигации.

В [1] были выделены перспективные направления повышения эффективности диспетчерского персонала:

– классификация сложности маршрутов с точки зрения оперативного диспетчерского управления;

– определение оптимальной нормативной загрузки диспетчеров с точки зрения общего количества воздействий и эффективности работы системы;

– оперативное перераспределение пассажирских транспортных средств и маршрутов между диспетчерами, при увеличении или уменьшении количества диспетчеров;

– разработка методов, позволяющих в оперативном режиме определять и прогнозировать пиковые и межпиковые интервалы нагрузки на диспетчеров, на основе анализа не только текущего состояния процесса перевозок, но и прогноза движения на маршруте.

Разработана методика оперативного регулирования перевозочного процесса в условиях динамично изменяющихся пассажиропотоков, основанного на сравнительной оценке планового и фактического времени ожидания пассажирами транспортного средства. Т.е. в процессе перевозок случайная величина «интенсивность подхода пассажиров на i -й остановочный пункт в j -м рейсе» будет отличаться от ее среднего (планового) значения, что приведет к отклонению фактического значения суммарного времени ожидания пассажирами транспортного средства в рейсе от планового.

При этом фактическое значение суммарного времени ожидания пассажирами транспортного средства в рейсе может быть как больше, так и меньше плановой величины. Если плановый показатель определен в виде среднего значения суммарного времени ожидания пассажирами транспортного средства в рейсе, транспортная система должна придерживаться именно этого значения при регулировании процесса перевозок, поскольку перегрузка транспортных средств ухудшает качество перевозочного процесса, а недогрузка транспортных средств невыгодна перевозчикам.

Критерием качества диспетчерского управления является минимизация отклонения среднего времени ожидания пассажирами транспортного средства в рейсе от планового, принимаемого в системе управления за целевой норматив. Механизм регулирования перевозок заключается в изменении количества пассажирских ТС на маршруте, с целью минимизации отклонения среднего времени ожидания пассажирами транспортного средства в рейсе от планового.

Целевую функцию оперативного диспетчерского управления ГПТ можно представить в виде:

$$\sum_j [\sum_i T_{ij}^n - \sum_i T_{ij}^\phi] = \sum_j \left[\sum_i \frac{\rho_{ij}^n}{2} [X_{ij}^n - X_{i(j-1)}^n]^2 - \sum_i \frac{N_{ij}^\phi}{2} [X_{ij}^\phi - X_{i(j-1)}^\phi] \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T_{ij}^n, T_{ij}^ϕ , - соответственно, плановое и фактическое время ожидания пассажирами ТС на i -м остановочном пункте в j -м рейсе;

p_{ij}^n - плановая интенсивность подхода пассажиров на i -м остановочном пункте в j -м рейсе, полученная по результатам обработки данных автоматизированной системы мониторинга пассажиропотоков и принимаемая в расчетах за норматив;

N_{ij}^ϕ - фактическое количество пассажиров, вошедших в ТС на i -м остановочном пункте в j -м рейсе;

$X_{ij}^n, X_{i(j-1)}^n$ - соответственно, плановые значения времени прохождения пассажирскими ТС i -го остановочного пункта в j -м и $(j-1)$ -м рейсах;

$X_{ij}^\phi, X_{i(j-1)}^\phi$ - соответственно, фактические значения времени прохождения пассажирскими ТС i -го остановочного пункта в j -м и $(j-1)$ -м рейсах.

Разница фактического и планового количества пассажиров, перевезенных в j -м рейсе (ΔN_j), определяется из выражения:

$$\Delta N_j = \sum_i N_{ij}^\phi - \sum_i \rho_{ij}^n [X_{ij}^n - X_{i(j-1)}^n] . \quad (2)$$

Если величина имеет положительную динамику, то это должно привести к увеличению количества транспортных средств на линии и наоборот.

Для последовательности прогнозируемых величин $\Delta N_j, j=1, 2, \dots, k, \dots$, больше 0 выполняется приблизительное равенство:

$$\sum_j^l = m \Delta N_j^+ (|\Delta N_j^-|) \approx \sum_i \rho_{im} [X_{im} - X_{i(m-1)}] , \quad (3)$$

где ΔN_j^+ - положительная разница между фактическим и плановым количеством перевезенных в рейсе пассажиров;

ΔN_j^- - прогнозируемая отрицательная разница между фактическим и плановым количеством перевезенных в рейсе пассажиров.

Для рейсов, начиная с номера m по номер l включительно, прогнозируемое суммарное увеличение количества перевезенных пассажиров равно плановому количеству пассажиров, перевозимых в рейсе m . Если в период времени $[X_m, X_l]$ диспетчерской системой будет выпущено на маршрут дополнительное пассажирское ТС и пересчитаны интервалы движения, то тем самым уменьшится прогнозируемое расхождение планового и фактического состояния процесса перевозок. Для дальнейших действий необходимо прогнозировать поведение процесса перевозок, т.е. рейсы с номерами $(l+1)$, $(l+2)$, ... Аналогично проводятся действия при определении момента времени снятия транспортного средства с маршрута (ΔN_j^-). При снятии ТС выбирается последнее ТС, выполняющее рейс l из последовательности, определяемой формулой (3). Следовательно, с точки зрения пассажиров, процесс перевозок проходит без снижения качества транспортного обслуживания. Таким образом,

рассмотренный подход позволяет автоматически проводить обоснованное регулирование процесса перевозок [1].

Показано, что основным направлением повышения уровня автоматизации базовых функций диспетчерского управления перевозками пассажиров ГПТ, работающего в условиях транспортных потоков высокой плотности и динамично изменяющихся пассажиропотоков, является использование принципов ситуационного управления, обеспечивающих эффективное решение следующих задач:

- автоматическое распознавание возникшей ситуации на основе заранее сформированного и описанного в системе набора признаков;
- сопоставление распознанной ситуации с набором возможных альтернативных действий диспетчера;
- оценка каждого возможного альтернативного комплекса действий с помощью заранее разработанного формального критерия;
- предоставление полученных оценок диспетчеру для окончательного выбора комплекса управляющих воздействий.

В период проведения Олимпийских игр в г. Сочи основой системы управления транспортом стал логистический транспортный центр (ЛТЦ), предназначенный для обеспечения бесперебойной доставки грузов и пассажиров на спортивные объекты.

Общее количество олимпийского автотранспорта, оснащенного навигационными модулями ГЛОНАСС/GPS и подключенного к АСУ ЛТЦ в период проведения зимних Олимпийских игр, составило свыше 6 тыс. ед. Бортовое навигационно-связное оборудование ГЛОНАСС/GPS в режиме реального времени осуществляло диспетчеризацию и гибкое управление транспортом, а применение средств видеонаблюдения в транспортных средствах, датчиков задымления, «тревожных кнопок» в салонах автобусов обеспечило высокий уровень безопасности на транспорте. Создание центра позволило существенно повысить эффективность управления олимпийским транспортным комплексом, снизить потребность в автотехнике, повысить качество транспортного обслуживания населения и участников Игр.

В логистическом транспортном центре впервые была внедрена технология управления всеми видами перевозок (железнодорожными, автомобильными, морскими) с использованием ГЛОНАСС и разработан единый для транспортных компаний и заказчиков перевозок интегрированный информационный комплекс. После Олимпиады ЛТЦ будет осуществлять свою деятельность для нужд Сочи в качестве центра управления дорожным движением и пассажиропотоками, специализированным транспортом служб ЖКХ, специальных служб, а также диспетчерскими службами городского транспорта.

В инфраструктуру г. Сочи были внедрены такие элементы как КСОД (Комплексная схема организации движения) и АСУДД

(Автоматизированная система управления дорожным движением), разработчиком которых была АНО «Транспортная дирекция Олимпийских игр»

КСОД позволила уменьшить время ожидания приезда городского транспорта и перемещения зрителей игр, контролировать потоки средств передвижения и пешеходов, исключая ДТП, оперативно реагировать на нужды жителей города и гостей Олимпиады при перемещении по городу. На основании этой комплексной схемы наносилась разметка, организовывалось дорожное движение в том или ином направлении, устанавливались дорожные знаки, специальные технические средства регулирования дорожного движения.

КСОД на период строительства характеризовалась бóльшим, чем обычно, объёмом грузовых перевозок, а на период проведения Игр бóльшими, чем обычно, потоками общественного транспорта и почти полным отсутствием грузового и фоновоего транспорта. В постолимпийский период КСОД будет учитывать стандартные для данного региона потоки общественного, грузового и частного транспорта.

АСУДД выполняла мониторинг транспортных потоков на улично-дорожной сети г. Сочи, сбор, накопление и анализ видеоинформации, обработку и накопление входящей информации, выдачу управляющих воздействий на периферийное оборудование, координированное управление светофорными объектами и диспетчерское управление в случаях возникновения нештатных ситуаций. Для объединения всех локальных АСУДД в единую автоматизированную систему управления было предусмотрено создание интегрирующей АСУДД, в составе которой разрабатывается центр управления дорожным движением (ЦУДД) в г. Сочи (рис. 1).

Для реализации задач в диспетчерском центре применяется автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД), обеспечивающая бесперебойную работу общественного транспорта с помощью элемента приоритета. Все олимпийские и муниципальные автобусы были оборудованы системами позиционирования, то есть они находились под спутниковым наблюдением.

Интегрирование в городскую инфраструктуру интеллектуальной системы транспорта АСУДД и КСОД позволило выйти на принципиально другой уровень обслуживания и организации передвижения по Сочи.

На улично-дорожной сети г. Сочи также функционировали несколько мобильных диспетчерских центров (МДЦ), информация от которых в онлайн-режиме поступала в логистический транспортный центр (ЛТЦ). МДЦ работали непосредственно в местах возникновения пиковой нагрузки на транспортную систему города Сочи, где проводили мониторинг состояния дорог, вели анализ пассажиропотоков и потребных

провозных возможностей автомобильного транспорта, канатной дороги, что позволило своевременно выявить и оперативно устранить дефицит провозных возможностей за счет выпуска на маршруты резервных транспортных средств, управляемых специалистами центра.



Рис. 1. Процессы, реализованные диспетчерским центром

Диспетчерами МДЦ обеспечивалась также синхронизация движения автобусов с движением железнодорожного транспорта за счет оперативной корректировки текущего расписания движения, а также распределения резервных автобусов по маршрутам [2].

Определены основные причины сбоев в выполнении процесса перевозок и описаны основные методы их устранения, а проведенный анализ действий диспетчера в процессе оперативного управления перевозками показал, что все они носят комплексный характер (включая переговоры и проведение технологических операций). Каждой определенной ситуации, возникающей в оперативной обстановке, соответствует определенный комплекс действий, выполняемый диспетчерским персоналом. Наибольшую сложность для диспетчера представляет выбор комплекса действий из возможных альтернатив.

После окончания Олимпиады комплекс актуализированной КСОД и функциональной АСУДД обеспечивает эффективное управление и организацию дорожного движения в городе. Опыт внедрения транспортной интеллектуальной системы в Сочи будет использован в модернизации инфраструктуры прочих городов РФ, в частности, при проведении и подготовке международных спортивных массовых мероприятий.

Список литературы

1. Ефименко Д.Б. Оперативное управление городским пассажирским транспортом в автоматизированной навигационной диспетчерской системе / Д.Б. Ефименко, А.В. Базельцев, А.М. Байтулаев // Автотранспортное предприятие. – 2011.– № 12. – С. 19-23.

2.<http://tdog2014.com>

УДК 681.511.4

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

М.С. Ревунов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Тел. 8(8412)56-46-83; E-mail avitel@pnzgu.ru

Для стабилизации плотности бумажного полотна предлагается использовать: 1) каскадное соединение регуляторов для управления массовой задвижкой; 2) экстремальный регулятор для управления напором массы и высотой выпускного отверстия напорного ящика; 3) кросскорреляционный метод для измерения скорости напуска бумажной массы на сетку.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, дисперсия плотности бумажного полотна, экстремальный регулятор, кросскорреляционный метод измерения скорости.

THE COMBINED AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE SHEET THICKNESS

M.S. Revunov

Penza State University, Penza, Russia

To stabilize the density of the sheet thickness is proposed to use: 1) a cascade connection of regulators to control for stock valve; 2) extreme regulator to control the pressure of the mass and height of outlet headbox; 3) the cross-correlation method for measuring the speed of overlap paper pulp on the grid.

Keywords: the paper machine, the variation of the sheet thickness, extreme regulator, the cross-correlation method for measuring speed.

Равномерное распределение плотности бумажного полотна зависит от однородности и объемов бумажной массы, от скорости ее напуска на

сеточный стол бумагоделательной машины и от геометрии выпускной щели напорного ящика [1].

Однородности бумажной массы добиваются с помощью регуляторов концентрации массы и регуляторов композиции [1].

Для регулирования объемов бумажной массы на соединительные трубы ставятся массные задвижки (граммовые вентили), управление которыми может осуществляться как вручную, так и с помощью специальных регуляторов. Целью использования каскадного соединения регуляторов является борьба с огромным запаздыванием системы, которое возникает при управлении массовой задвижкой. Функциональная схема бумагоделательной машины (БДМ) с каскадным соединением регуляторов представлена на рис. 1.

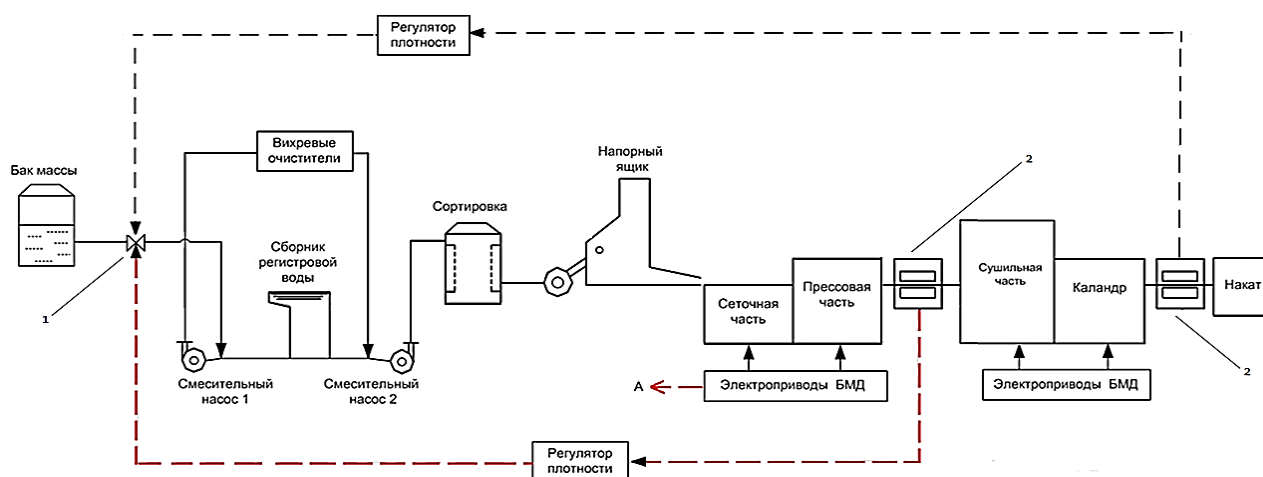


Рис. 1. БДМ с каскадным соединением регуляторов плотности

Еще одним фактором, влияющим на плотность бумажного полотна, является соотношение скоростей движения сеточного стола и напуска бумажной массы на сетку. Напуск бумажной массы на движущуюся сетку должен проводиться со скоростью, близкой к скорости ее движения [1].

Когда скорости бумагоделательных машин были невелики, а вырабатываемое на них бумажное полотно сравнительно узко, процесс подвода бумажной массы к сеточному столу и выпуска массы на сетку однородным потоком не представлял собой особой сложности. Теперь, при скорости бумагоделательных машин, достигающей 1000 м/мин, и ширине полотна 7–8 м, этот процесс представляет собой весьма сложную задачу.

Известно экстремальное влияние соотношения скоростей массы и сетки БДМ на неравномерность просвета бумаги. Соотношение между скоростью массы и скоростью сеточного стола выражается формулой:

$$k_m = v_m / v_c, \quad (1)$$

где v_m — скорость массы, поступающей на сетку, м/мин; v_c — скорость сетки, м/мин.

Изменение скорости сетки влечет за собой изменение технологического режима и влияет на все подсистемы БДМ. Поэтому для минимизации неравномерности просвета будем изменять скорость истечения бумажной массы с помощью изменения напора напускного устройства (рис. 2).

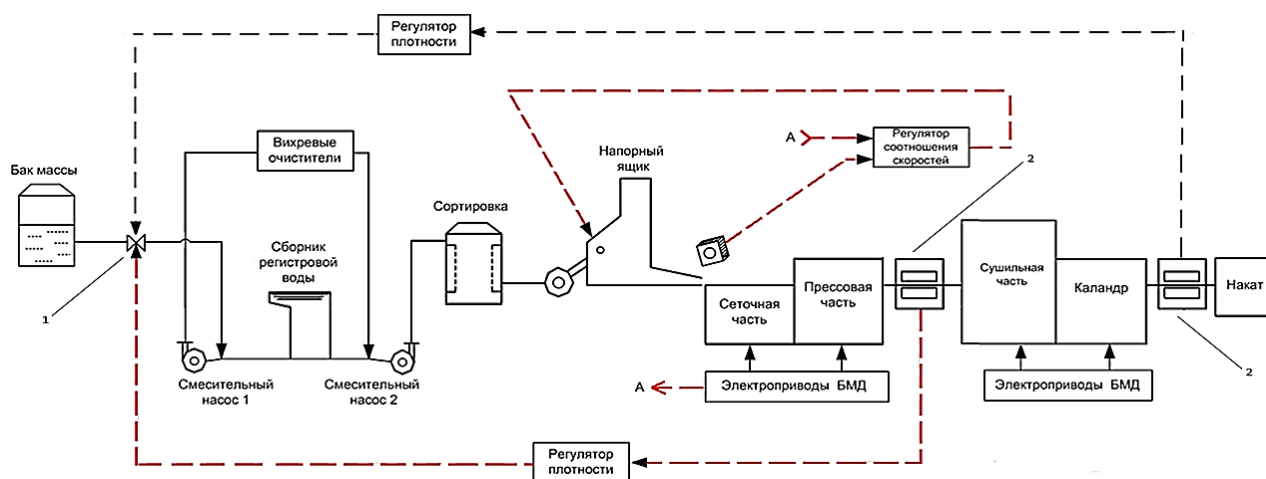


Рис. 2. Многомерная автоматизированная система регулирования плотности бумажного полотна

Измерять скорость напуска бумажной массы, идущей из напорного ящика, предлагается с помощью кросскорреляционного метода.

Кросскорреляционный алгоритм состоит из следующих основных этапов (рис. 3):

- 1) пок кадровое разбиение видеофайла;
- 2) разложение полученных изображений на расчетные области равного размера;
- 3) расчет кросскорреляционной функции (КФ) и поиск ее максимума;
- 4) расчет вектора скорости по смещению максимума КФ от кадра к кадру [2].

Прямое экстремальное регулирование веса бумажного полотна по напору бумажной массы будет приводить к колебаниям веса бумажного полотна. Для устранения этого явления необходимо комбинированное экстремальное управление, при котором происходит одновременное согласованное воздействие, как на напор, так и на высоту выпускного отверстия напорного ящика [3].

Существующие системы регулирования зазора выпускного отверстия напорного ящика не являются автоматическими и не обеспечивают должного регулирования, что в настоящий момент является актуальной темой в области бумажного производства из-за увеличения скоростей напуска бумажной массы на сетку.

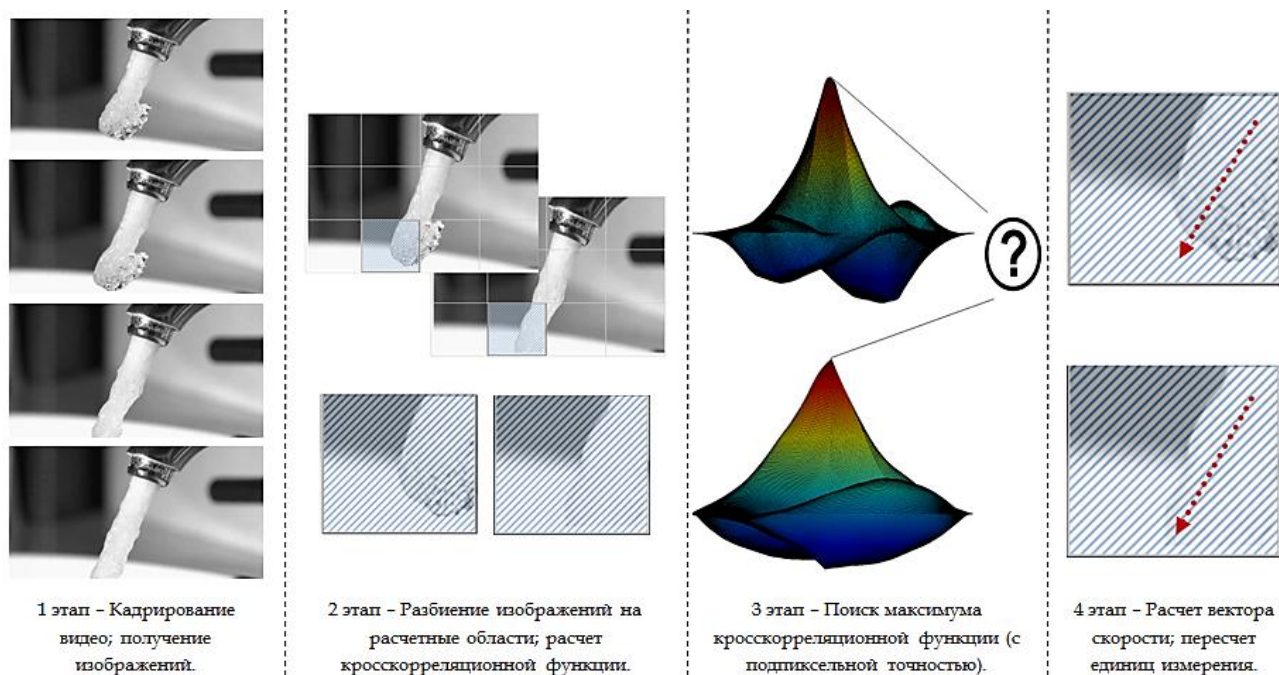


Рис. 3. Кросскорреляционный алгоритм

На рис. 4, 5 представлены общий вид напорного устройства закрытого типа фирмы PAPCEL и структурная схема системы регулирования зазора ящика.

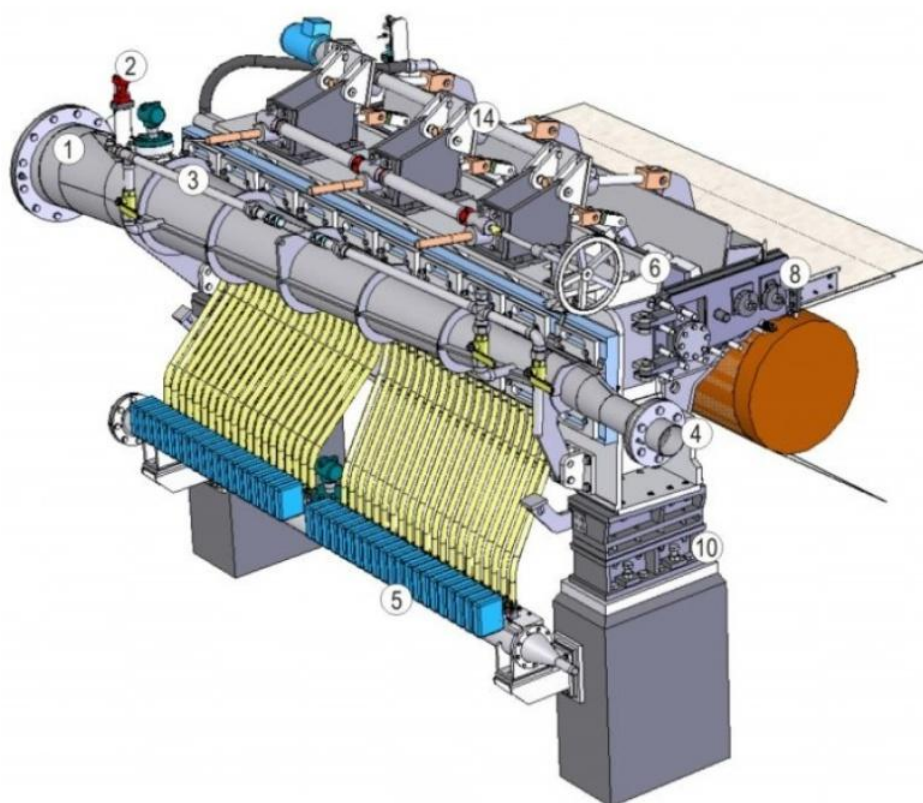


Рис. 4. Напорное устройство (фирма PAPCEL)

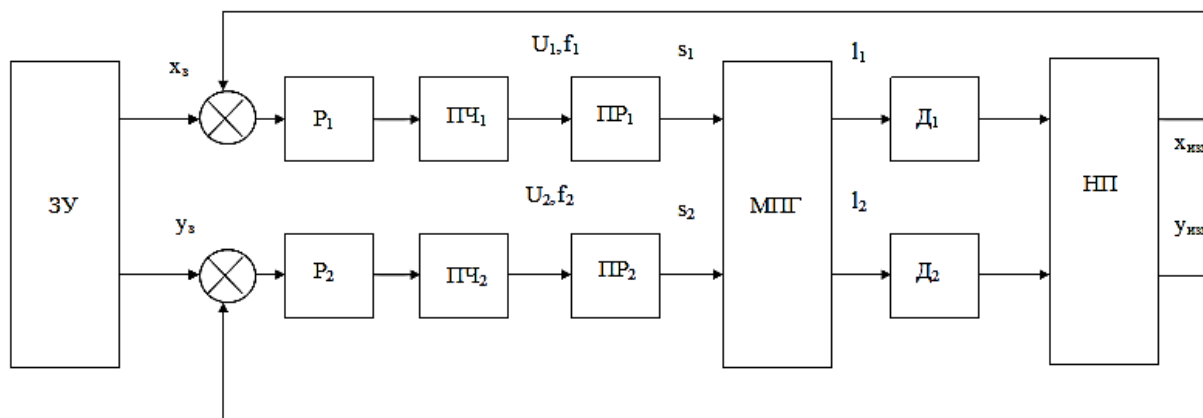


Рис. 5. Структурная схема системы регулирования зазора: ЗУ – задающее устройство; P_1, P_2 – регуляторы положения привода; $\text{ПЧ}_1, \text{ПЧ}_2$ – частотные преобразователи; $\text{ПР}_1, \text{ПР}_2$ – приводы; МПП – механизм перемещения губы; $\text{Д}_1, \text{Д}_2$ – индуктивные датчики; НП – нелинейный преобразователь; x_3, y_3 – заданные положения губы

Список литературы

1. Комаров В.И. Технология целлюлозно-бумажного производства / В.И. Комаров. – СПб.: ВНИИБ, 2009. – 63 с.
2. Матвеев Ю.А. Теория механизмов и машин / Ю.А. Матвеев. – М.: Альфа-М, 2001. – 320 с.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / под ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 744 с.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ В СОСТАВЕ БИНАРНОЙ ПГУ-ТЭЦ

С.В. Новичков, К.А. Мартынова

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. 89276255287; E-mail novishkovsv@mail.ru

Построены характеристики газотурбинной установки (ГТУ), паровой части, сетевых подогревателей при совместной работе в составе бинарной ПГУ-ТЭЦ. Проанализировано изменение теплотехнических характеристик сетевого подогревателя с типовыми поверхностями теплообмена. Рассчитан экономический эффект по отпуску тепловой и электрической энергии ПГУ в течение года, с учетом изменения расчетной поверхности сетевых подогревателей.

Ключевые слова: ПГУ-ТЭЦ, сетевой подогреватель, режимы работы, температурный диапазон, газотурбинная установка, котел-утилизатор.

THE RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF NETWORK HEATERS AS A PART OF BINARY CCGT-CHP

S.V. Novichkov, K.A. Martynova

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The characteristics of gas-turbine installation, steam turbine, district heaters at collaboration as a part of the binary CCGT-CHP are calculated. Change of thermotechnical characteristics network heater with a standard surface of heat exchange is analysed. The economic benefit of the base-load station output taking into account the change of calculated surface network heaters for a year is calculated.

Keywords: the binary CCGT-CHP, district heater, operation modes, temperature range, gas-turbine installation, heat recovery boiler.

На турбинах современных ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) обычно используют ступенчатый подогрев сетевой воды в нескольких сетевых подогревателях, обычно в двух. Назначение сетевого подогревателя состоит в нагреве заданного количества сетевой воды до заданной температуры. Совместная работа газовых и паровых турбин в составе бинарной ПГУ-ТЭЦ (парогазовая ТЭЦ) накладывает определенные требования при проектировании, как основного, так и вспомогательного оборудования. Как правило, эти требования связаны с особенностями работы газотурбинных установок (ГТУ) в течение года.

В условиях эксплуатации режимы работы ГТУ меняются из-за непостоянства температуры и давления воздуха перед ГТУ, а также возможного изменения нагрузки. Из-за этого меняются входные и выходные параметры газов ГТУ. В зимний период увеличение мощности ГТУ (и соответственно количества тепла уходящих газов) сопровождается ростом расхода пара в голову турбины и увеличением отбора пара на сетевые подогреватели; в летний период, при снижении мощности ГТУ, расход пара в голову паровой турбины и соответственно нагрузка на сетевые подогреватели уменьшаются.

При проектировании, исходя из условия надежной работы, величина поверхности сетевого подогревателя $F_{\text{сп}}$ определяется количеством пара в отборе, который в свою очередь зависит от расхода в голову турбину.

Наибольшее влияние на основные характеристики ГТУ оказывает изменение температуры наружного воздуха. Снижение температуры и переход к отрицательным значениям увеличивают плотность воздуха и, следовательно, его расход через компрессор, мощность ГТУ и её

электрический КПД. При этом растет расход газов на выходе из газовой турбины, а их температура понижается. Поддержание постоянной начальной температуры рабочей среды перед ГТУ при переходе к более низкой температуре наружного воздуха осуществляется увеличением расхода топлива в камере сгорания. Это сопровождается повышением давления в компрессоре, снижением температуры выходных газов. Кроме того, уменьшается коэффициент избытка воздуха в соответствии с формулой:

$$\alpha = \frac{G_v}{B \cdot L_0}, \quad (1)$$

где G_v и B – расход воздуха и топлива в камере сгорания, кг/с; L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива.

Исследуемая ПГУ-ТЭЦ выполнена по дубли-блочной схеме и состоит из 2 газотурбинных установок V 64.3A, 2 котлов-утилизаторов и паровой турбины Т-56/70-6,8. Технические характеристики газовой турбины V 64.3A приняты по [1], теплофикационной турбины Т-56/70-6,8 приняты по [2]:

для V 64.3A: электрическая мощность – 62,5 МВт, КПД – 35,3 %, температура перед газовой турбиной – 1160 °С, температура выходных газов – 531 °С;

для Т-56/70-6,8: электрическая мощность на зимнем режиме 56,7 МВт, на летнем режиме – 70,3 МВт, начальные параметры пара – 6,77 МПа и 506°С для контура высокого давления, 0,618 МПа и 206°С для контура низкого давления, давление пара на зимнем режиме в верхнем отопительном отборе 0,098 МПа, тепловая нагрузка отопительного отбора 607 ГДж/ч.

Район сооружения станции – г. Новороссийск.

На рис. 1 ÷ 4 показаны основные зависимости по влиянию температуры наружного воздуха на мощность ГТУ ($N_{ГТУ}$), электрический КПД ($\eta_{ГТУ}$), расход воздуха через компрессор (G_v), расход газов на выходе из газовой турбины (G_r), температуру выходных газов (t_4), степень сжатия в компрессоре, коэффициент избытка воздуха.

На рис. 5 показаны величины изменения параметров ГТУ при работе в температурном диапазоне – 13 °С ÷ + 23,7 °С. Из рис. 5 видно, что в указанном диапазоне изменение КПД ГТУ ($\eta_{ГТУ}$) составляет 10,6 %; электрическая мощность – 46,3 %; расход воздуха через компрессор (G_v) – 16,6 %; расход газов через газовую турбину (G_r) – 22,1 %; расход топлива (B) – 28 %; степень сжатия в компрессоре (σ_k) – 14 %; коэффициент избытка воздуха ($\alpha_{кс}$) – 5 %.

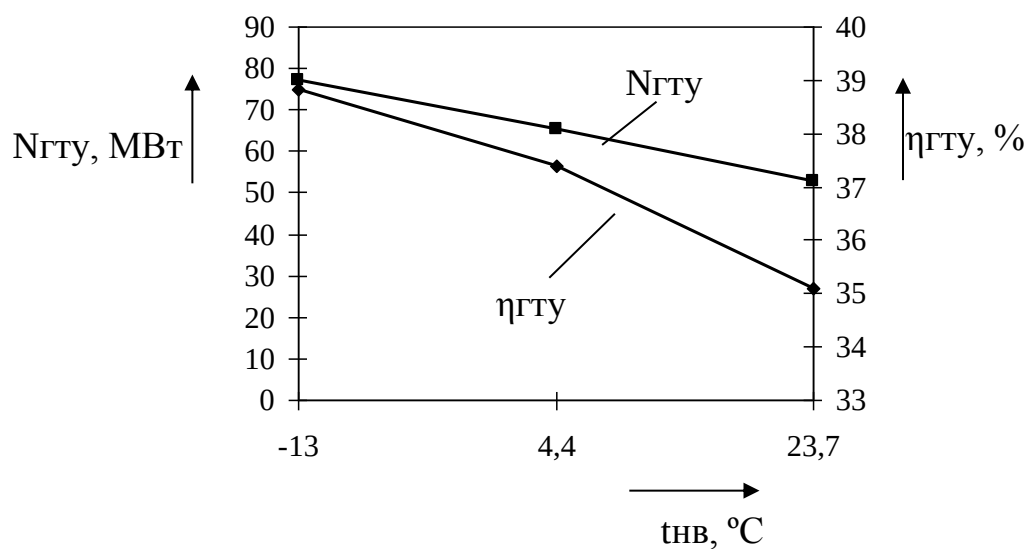


Рис. 1. Зависимость мощности и КПД ГТУ от температуры наружного воздуха

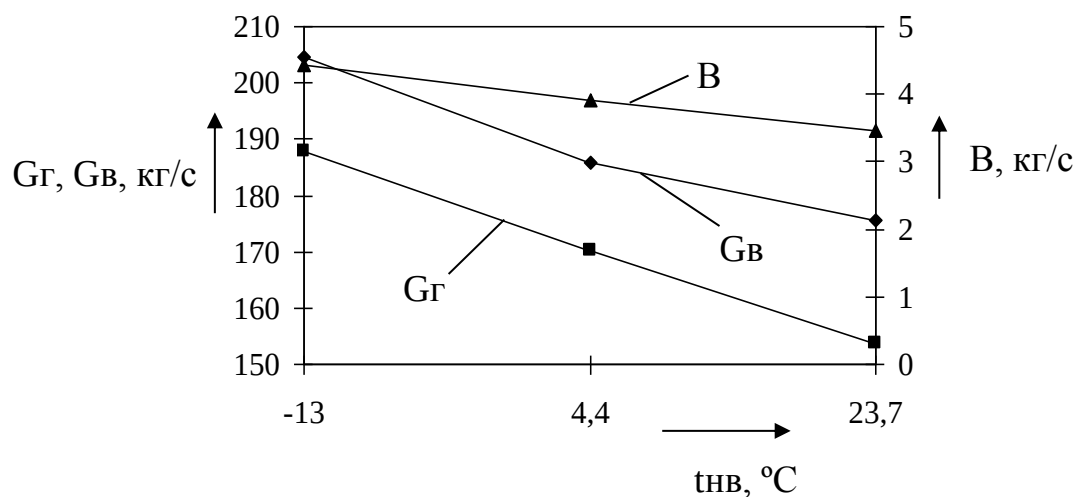


Рис. 2. Зависимость расхода воздуха через компрессор, газов на выходе из газовой турбины, топлива в камере сгорания от температуры наружного воздуха

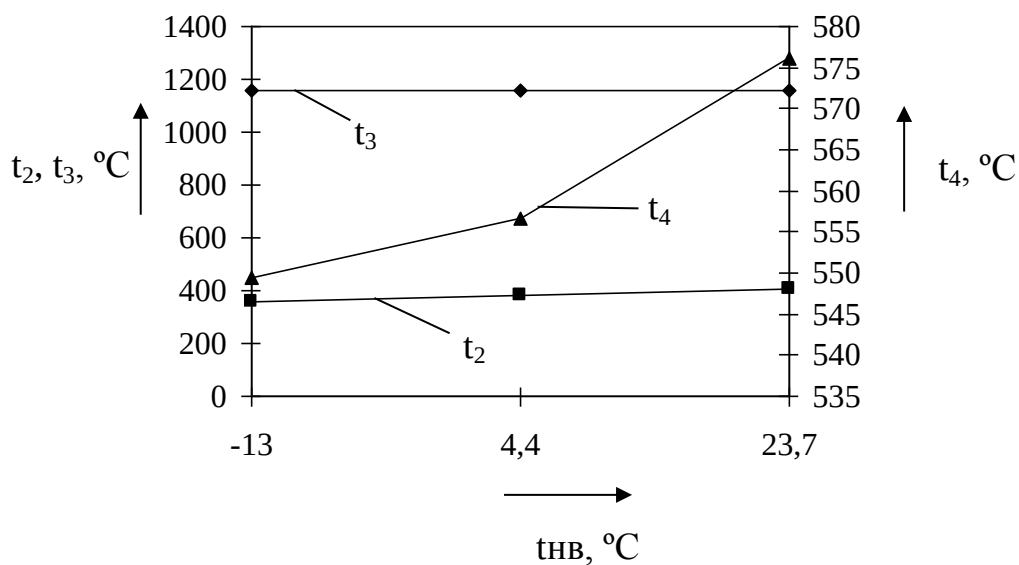


Рис. 3. Зависимость температуры воздуха после компрессора, газов на входе в газовую турбину и выходе из неё от температуры наружного воздуха

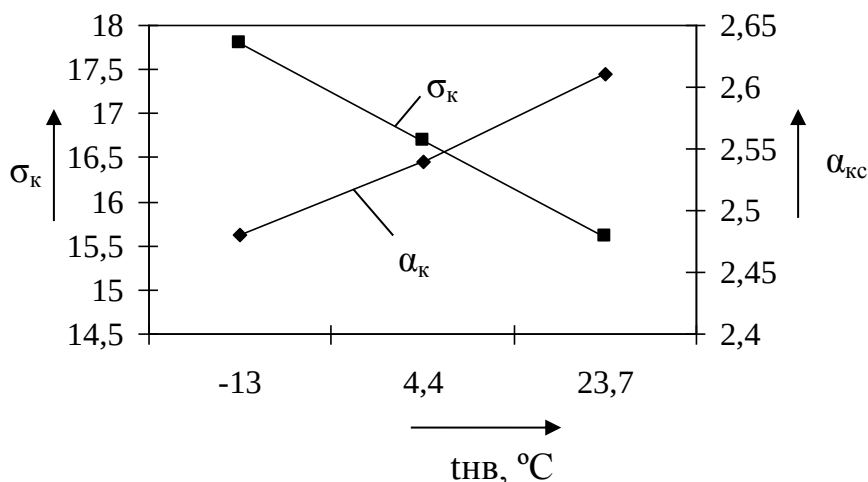


Рис. 4. Зависимость степени сжатия в компрессоре и коэффициента избытка воздуха от температуры наружного воздуха

Мощность паровой турбины Т-56/70-6,8 в составе ПГУ-ТЭЦ колеблется от 42,94 до 49,92 МВт. Это можно объяснить недостаточностью тепловой мощности данной модели ГТУ – V64.3А для генерирования пара котлами-утилизаторами (КУ) в количестве, необходимом для получения номинальной электрической мощности 56,7 МВт. В зимний период электрическая мощность ПТУ снижается за счет большей загрузки отопительных отборов, конденсационная мощность определяется только вентиляционным пропуском пара в конденсатор. Температура уходящих газов после котла-утилизатора на уровне 112 – 120 °С регулировалась изменением расхода конденсата в линии рециркуляции газового подогревателя конденсата (ГПК) контура низкого давления, а также температурой питательной воды на входе в ГПК.

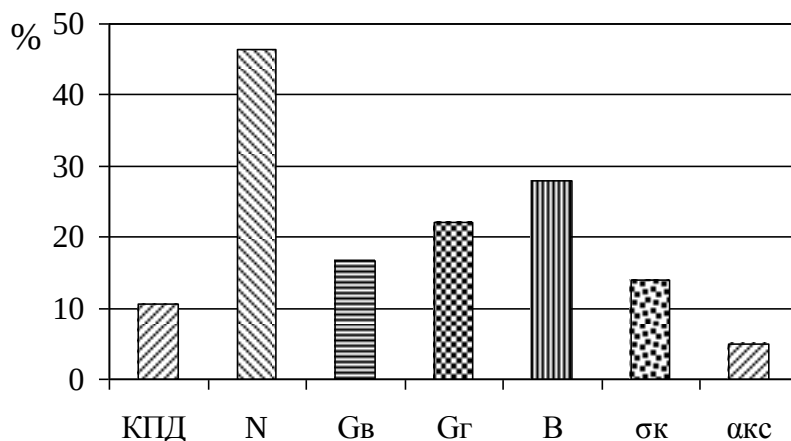


Рис. 5. Величины изменения параметров ГТУ при работе в температурном диапазоне – 13 °С ÷ + 23,7 °С

На рис. 6 показано, что характер изменения расхода пара высокого давления ($G_{ВД}$) в голову турбины и расхода пара в отопительных отборах турбины ($D_{П}$) одинаков. При этом на изменение $G_{ВД}$ оказывает влияние количество тепла уходящих газов ГТУ, а $D_{П}$ зависит от тепловой нагрузки потребителей.

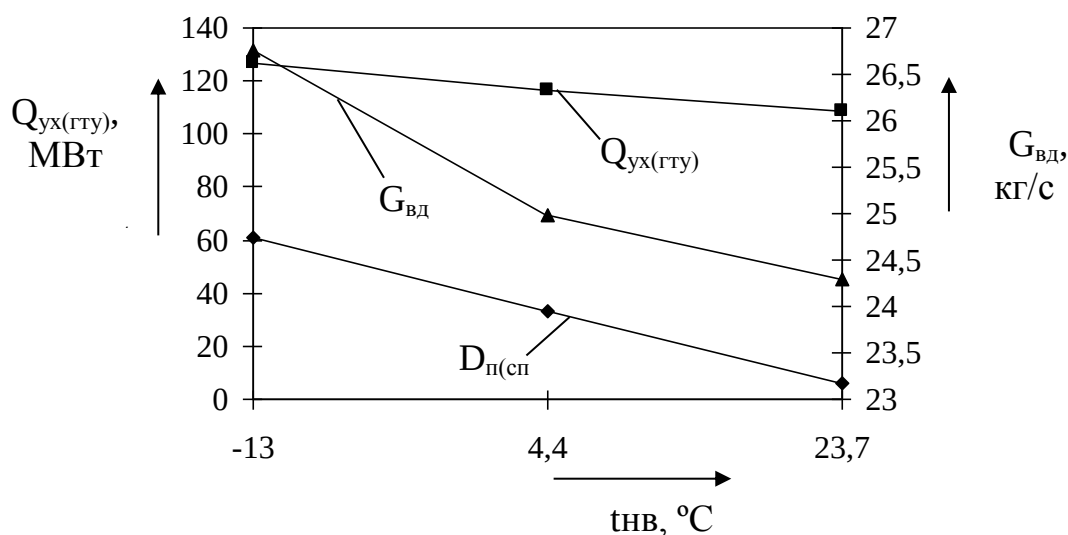


Рис. 6. Зависимость тепла уходящих газов ГТУ, расхода пара высокого давления в голову турбины, расхода пара в отопительных отборах от температуры наружного воздуха

В табл. 1 и 2 представлены результаты теплового расчета верхнего и нижнего сетевых подогревателей.

Таблица 1. Характеристики расчетной поверхности верхнего сетевого подогревателя

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °C)	Среднеотопительный режим (4,4 °C)	Летний режим (23,7 °C)
Qп, кВт	69512,467	37440	—
fв, м ²	0,574		—
αв, Вт/м ² К	12740,94	10468,34	—
αк, Вт/м ² К	1082,367	1120,68	—
К, Вт/м ² К	991	1005	—
Δt, °C	41,48	75,51	—
F, м ²	1691,65	493,35	—

Таблица 2. Характеристики расчетной поверхности нижнего сетевого подогревателя

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °C)	Среднеотопительный режим (4,4 °C)	Летний режим (23,7 °C)
Qп, кВт	69512,467	37440	13710
fв, м ²	0,568		
αв, Вт/м ² К	12287,98	9216,38	2682,75
αк, Вт/м ² К	1101,28	1136,012	1152,92
К, Вт/м ² К	1003	1003	802
Δt, °C	55,075	84,52	85,72
F, м ²	1257,84	441,18	199,48

Для теплофикационных турбоустановок предприятия энергетического машиностроения выпускают подогреватели сетевые горизонтальные (ПСГ), поверхности теплообмена которых достигают 1300 м², 2300 м². Далее было проанализировано изменение теплотехнических характеристик при установке ПСГ с типовыми поверхностями теплообмена, соответственно 1300 м², 2300 м² (табл. 3 - 6).

Таблица 3. Изменение характеристик верхнего сетевого подогревателя ПСГ-1300

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °C)	Среднеотопительный режим (4,4 °C)	Летний режим (23,7 °C)
Qп, кВт	69512,467	37440	—
fв, м ²	0,450		—
αв, Вт/м ² К	15474,26	12713,53	—
αк, Вт/м ² К	1082,37	1120,68	—
К, Вт/м ² К	1,004	1,022	—
Δt, °C	41,48	75,51	—

Таблица 4. Изменение характеристик нижнего сетевого подогревателя ПСГ-1300

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °C)	Среднеотопительный режим (4,4 °C)	Летний режим (23,7 °C)
Qп, кВт	69512,467	37440	13710
fв, м ²	0,446		
αв, Вт/м ² К	14924,12	11191,55	3257,7
αк, Вт/м ² К	1101,29	1136,012	1152,92
К, Вт/м ² К	1,018	1,024	0,846
Δt, °C	55,07	84,52	85,72

Таблица 5. Изменение характеристик верхнего сетевого подогревателя ПСГ-2300

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °С)	Среднеотопительный режим (4,4 °С)	Летний режим (23,7 °С)
Qп, кВт	69512,467	37440	–
fв, м ²	0,437		–
αв, Вт/м ² К	15861,43	13031,7	–
αк, Вт/м ² К	1082,37	1120,68	–
К, Вт/м ² К	1,006	1,024	–
Δt, °С	41,48	75,51	–

Таблица 6. Изменение характеристик нижнего сетевого подогревателя ПСГ-2300

Параметры	Максимально-зимний режим (-13 °С)	Среднеотопительный режим (4,4 °С)	Летний режим (23,7 °С)
Qп, кВт	69512,467	37440	13710
fв, м ²	0,432		
αв, Вт/м ² К	15297,52	11474,52	3340,06
αк, Вт/м ² К	1101,29	1136,012	1152,92
К, Вт/м ² К	1,02	1,026	0,852
Δt, °С	55,075	84,52	85,72

Из табл. 3-6 видно, что увеличение поверхности теплообмена с 1300 до 2300 м² приводит к уменьшению проходного сечения для воды (fв) на 2,9%; увеличению коэффициента теплоотдачи от стенки к воде (αв) на 2,5%; незначительному росту коэффициента теплопередачи К на 0,2%.

На рис. 7 показано изменение экономического эффекта по отпуску тепловой и электрической энергии ПГУ в течение года. Максимальной величины эффект достигает в среднеотопительный период, в связи с наибольшим числом часов работы, приводящим к наибольшему отпуску тепловой и электрической энергии в течение года.

Экстремальный вид кривой графика экономического эффекта (максимальное значение в средnezимний период) является предпосылкой для проведения технико-экономической оптимизации поверхности сетевых подогревателей в составе бинарной ПГУ-ТЭЦ, при неизменных профилях ГТУ, ПТУ и КУ, с учетом изменения режимов их работы.

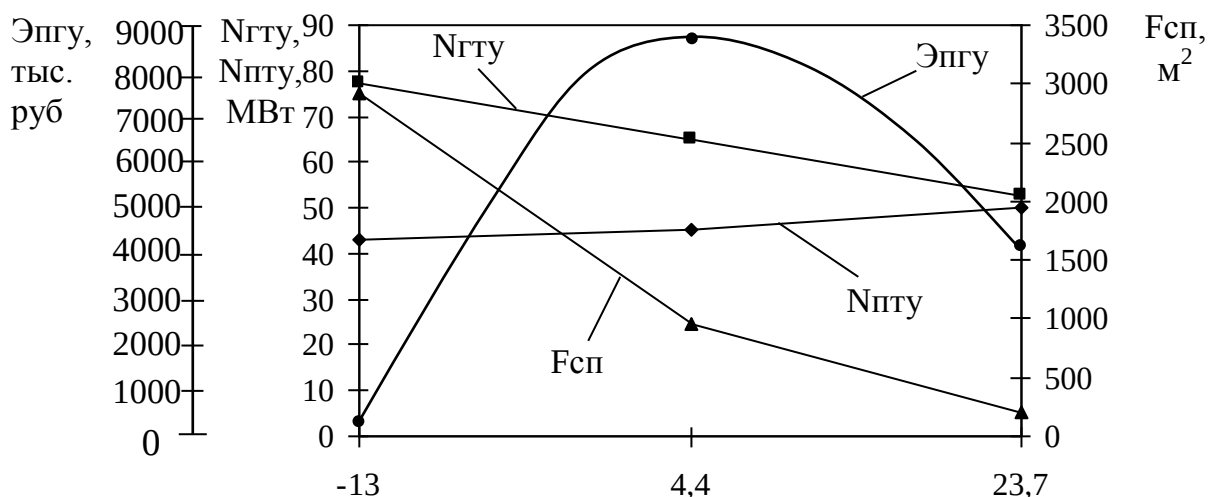


Рис. 7. Изменение экономического эффекта работы ПГУ, мощностей ГТУ и ПТУ, расчетной поверхности сетевого подогревателя в течение года

Выводы

1. Построены характеристики газотурбинной установки V 64.3A, работающей в составе ПГУ-ТЭЦ, от температуры наружного воздуха. При работе в температурном диапазоне $-13\text{ }^{\circ}\text{C} \div +23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ наибольшее изменение приходится на электрическую мощность ГТУ – 46,3 %.

2. Мощность паровой турбины Т-56/70-6,8 в составе ПГУ-ТЭЦ колеблется от 42,94 до 49,92 МВт, что объясняется недостаточностью тепловой мощности данной модели ГТУ – V64.3A для генерирования пара котлами-утилизаторами в количестве, необходимом для получения номинальной электрической мощности 56,7 МВт.

3. Увеличение поверхности теплообмена с 1300 до 2300 м² (типовые поверхности) приводит к уменьшению проходного сечения для воды (f_v) на 2,9%; увеличению коэффициента теплоотдачи от стенки к воде (α_v) на 2,5%; незначительному росту коэффициента теплопередачи K на 0,2%.

4. Рассчитан экономический эффект по отпуску тепловой и электрической энергии ПГУ в течение года, с учетом изменения расчетной поверхности сетевых подогревателей. Экстремальный вид графика указывает на возможность получения оптимальной технико-экономической поверхности сетевого подогревателя при работе в составе ПГУ, с учетом изменения режимов работы ГТУ и ПТУ в течение года, при неизменных профилях ГТУ, ПТУ и КУ.

Список литературы

1. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. – М.: МЭИ, 2002. – 579 с.
2. Баринберг Г.Д. Эффективные паровые турбины ЗАО «Уральский турбинный завод» / Г.Д. Баринберг, А.Е. Валамин // Электрические станции. – 2004. – № 11. – С. 27-32.

КОНТРОЛЬ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗАГОТОВОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

С.М. Усынин, О.В. Захаров

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. (8452)998639; E-mail ptk@sstu.ru

Обоснована методика контроля круглости с применением окружности минимальной зоны. Данная методика эффективна при контроле крупногабаритных деталей энергетического машиностроения.

Ключевые слова: контроль, отклонение формы, окружность минимальной зоны.

THE CONTROL OF THE POWER ENGINEERING LARGE COMPONENTS

S.M. Usynin, O.V. Zakharov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Substantiated the control method using the Minimum Zone tolerance circle. This method is effective in the control large components of power engineering.

Keywords: control, circularity deviation, Minimum Zone tolerance circle.

Более половины деталей имеют круговые поверхности (цилиндрические, конические, сферические, тороидальные) и используются в ответственных соединениях машин и механизмов. Качество сопряжения во многом зависит от точности формы деталей в поперечном сечении, номинальной формой которого будет окружность. Комплексный показатель, регламентирующий отклонение формы – круглость, показывающий, насколько реальный профиль отличается от базовой окружности.

В настоящее время практическое применение получили три вида базовых окружностей: средняя, наружная и внутренняя прилегающие, минимальной зоны. В отечественном стандарте ГОСТ 24642-81, утратившем силу в 2012 г., использовались прилегающие окружности, физический смысл которых заключается в воспроизведении идеального сопрягаемого профиля, что справедливо для соединений с зазором. Согласно новому международному стандарту ISO 12181-1:2011, который заменил стандарты отдельных европейских стран (Великобритания, Германия, Франция), все указанные базы считаются равноценными, однако предпочтение отдается окружности минимальной зоны (Minimum Zone tolerance circle). Преимущество средней окружности заключается в

простом и однозначном математическом определении ее параметров методом наименьших квадратов, а физический смысл обычно интерпретируется как равномерное распределение площадей материала в сопряжениях с прессовыми посадками. Приведенные утверждения, по нашему мнению, недостаточно обоснованы в общем случае. Это становится очевидным на примере неравномерного расположения измеренных точек на профиле, особенно для дуг окружностей с углом, менее 180°. В стандартах США ASME B89.3.1*ANSI B89.3.1 в качестве основного варианта предлагается окружность минимальной зоны, которую можно представить как зону траектории движения в процессе обработки и измерения детали. Преимущества окружности минимальной зоны по сравнению с другими в настоящее время не нашли отражения в известной литературе.

Решение задачи нахождения центра средней и прилегающих окружностей достаточно полно изложено в литературе [1-5]. Расчет окружности минимальной зоны является наиболее сложным и реализуется только итерационными методами. Общие рекомендации дает стандарт ISO 12181-2:2011, однако вопрос об эффективности конкретных методик и алгоритмов до сих пор остается открытым [6, 7]. В связи с этим в статье рассматривается простой и в то же время эффективный алгоритм поиска окружности минимальной зоны и проводится сравнение получаемых результатов при использовании других баз.

Исходной предпосылкой для оценки эффективности метода, по нашему мнению, должен выступать следующий факт. Согласно определению, зоной минимальной ширины называют зону, образованную двумя концентрическими окружностями, охватывающими профиль детали извне и изнутри, причем радиальное расстояние между этими окружностями минимально. При этом ширина зоны и определяет величину круглости. Таким образом, наилучший результат соответствует минимальному значению круглости. Это и будет результирующей оценкой при сравнении как методов, использующих различные базовые окружности, так и конкретных алгоритмов, реализующих данные методы.

Предлагается простой и эффективный итерационный метод. Его сущность заключается в минимизации собственно ширины кольцевой зоны (рис. 1). Для этого вначале профиль детали описывается в системе координат $(X \ O \ Y)$ с варьируемыми координатами (x_j, y_j) центра O_j относительно начала O исходной системы координат. Затем определяется целевая функция F (ширина кольцевой зоны), которая минимизируется итерационной процедурой:

$$F = \{r_{ij\max} - r_{ij\min}\} \rightarrow \min,$$

где $r_{ij\max}$, $r_{ij\min}$ – максимальное и минимальное значения радиусов r_{ij} профиля детали на j -м шаге варьирования координат центра (x_j, y_j) .

Алгоритм расчета параметров окружности минимальной зоны следующий. Исходными данными выступают координаты (x_i, y_i) профиля детали. Также вначале в интерактивном режиме вводятся параметры, необходимые для поиска окружности: начальные координаты (x_0, y_0) центра окружности; величины шагов по координатам $\Delta x, \Delta y$; коэффициент пропорциональности шага n , минимальная величина шага Δ . Анализ показал, что целевая функция от двух переменных $F(x_j, y_j)$ имеет только один локальный минимум, овражный эффект отсутствует, поэтому выбор начального приближения не столь важен.

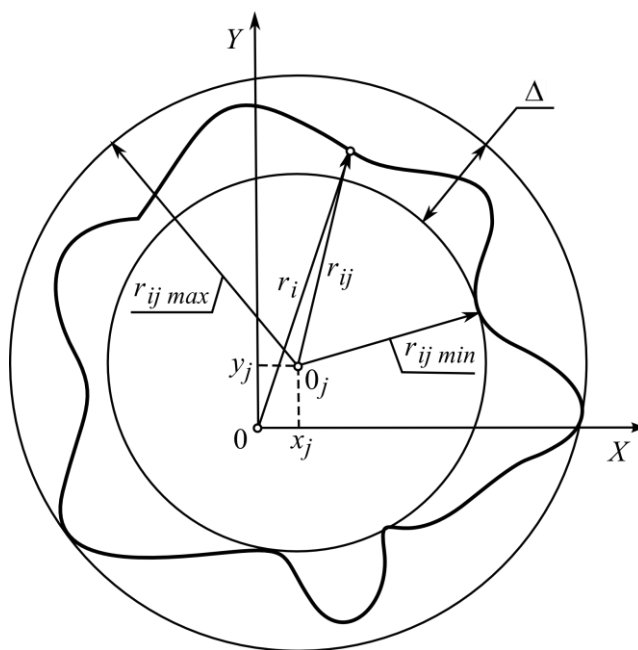


Рис. 1. Расчетная схема контроля

Процедура поиска центра O_j окружности минимальной зоны реализуется следующим образом. Рассчитывается начальное значение целевой функции F для введенных исходных данных. Затем последовательно выполняются шаги по координатам x_j, y_j и определяются значения соответственно r_{ij}, F_j, F_j' на каждом шаге. В зависимости от результатов сравнения значений F, F_j, F_j' выбирается направление последующих шагов. Если целевая функция не уменьшается после перебора всех направлений, то минимум находится в окрестности этой точки, поэтому уменьшаются шаги $\Delta x, \Delta y$ на величину n , тем самым сужается область поиска. В качестве критерия окончания поиска выступает уменьшение величины шага по координатам (принимаются равными для x, y) до значения Δ .

Проверка разработанного алгоритма на тестовых примерах (приведенных в ISO 12181-2:2011, для эллипса Косини, незамкнутых профилей), а также различных реальных деталей показала его надежность и высокое быстродействие. Обеспечивается хорошая сходимость в случаях

неравномерного расположения измеренных точек на профиле (например, при неточном центрировании на кругломере) или для дуг окружностей с углами 90-180°.

Проведены исследования контроля круглости при использовании различных баз. В качестве объекта были выбраны 50 отверстий корпусных деталей диаметров 360 мм. Измерения проводились с помощью координатно-измерительной машины. Результаты контроля после статистической обработки даны в таблице.

Анализ результатов контроля показал, что наилучший результат обеспечивает база в виде окружности минимальной зоны. По сравнению со средней и прилегающей наружной окружностью, которые в данном примере показывают примерно равные результаты, снижается среднее значение на 10 % и стандартное отклонение на 20 %. В итоге процент забракованных деталей в партии уменьшается в 3 раза по сравнению со средней окружностью и в 5 раз по сравнению с прилегающей окружностью.

Результаты контроля круглости

Параметры	Базовая окружность		
	средняя	прилегающая	минимальной зоны
Среднее значение круглости, мм	0,45	0,48	0,34
Стандартное отклонение круглости, мм ²	0,04	0,03	0,02
Процент забракованных деталей, %	11	13	4

Таким образом, обоснован и реализован простой и эффективный метод контроля круглости на основе окружности минимальной зоны. Данный метод наилучшим образом отвечает физическому смыслу измерений и обеспечивает минимальное значение круглости.

Список литературы

1. Авдулов А. Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А.Н. Авдулов. –М.: Изд-во стандартов, 1974. – 176 с.
2. Гебель И.Д. Выбор базовой окружности при измерении формы профиля тел вращения / И. Д. Гебель // Измерительная техника. – 1971. – № 10. – С. 20-24.
3. Курносенко А.И. Об алгоритмах обработки координатных измерений круглых профилей и сферических поверхностей / А.И. Курносенко // Измерительная техника. – 1992. – № 1. – С. 25-27.
4. Сравнение методов анализа отклонений от круглости / М. Довица, Я. Буша, Р. Паленчар и др. // Измерительная техника. – 2013. – № 9. – С. 37-39.

5. Никольский А.А. Точный метод измерений на кругломерах формы поперечных сечений сложного профиля без предварительного центрирования / А.А. Никольский, В.В. Королев // Измерительная техника. – 2011. – № 6. – С. 24-29.

6. Changcai Cui. An iterative neighborhood search approach for minimum zone circularity evaluation from coordinate measuring machine data / Cui Changcai, Wei Fan, Fugui Huang // Measurement Science and Technology. – 2010. – Vol. 21.– №. 2. –P. 027001.

7. Fast genetic algorithm for roundness evaluation by the minimum zone tolerance (MZT) method / A. Rossi, M. Antonetti, M. Barloscio, M. Lanzetta // Measurement. – 2011. – Vol. 44. – № 7. – P. 1243-1252.

8. Усынин С.М. Базирование крупногабаритных заготовок с применением окружности минимальной зоны / С.М. Усынин, О.В. Захаров // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 9. – № 3. – С. 36-38.

УДК 621.9

АНАЛИТИЧЕСКАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА СПИРАЛЬНЫХ СВЁРЛ ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ.

В.В. Погораздов, В.О. Горбачёв, А.А. Стручков

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Тел. 89172119986 e-mail: naclep@mail.ru.

Предлагаются методика и программная реализация в Mathcad алгоритма профилирования инструментов второго и третьего порядка для формообразования спиральных свёрл, конструктивно сходных с образцами известных зарубежных фирм.

Ключевые слова: спиральное сверло, дисковая фасонная фреза, затыловочный резец, прямая и обратная задача процесса формообразования.

ANALYTICAL AND COMPUTER SUPPORT PRODUCTION PLANNING TWIST DRILL INNOVATIVE DESIGNS

V.V. Pogorazdov, V.O. Gorbachev, A.A. Struchkov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

The technique and software implementation of the algorithm in Mathcad profiling tools second and third order for the formation of spiral drills, structurally similar to samples of known foreign firms.

Keywords: twist drills, disc shaped cutter, direct and inverse problem of the shaping process.

Научная новизна. Разработана методика и построен алгоритм профилирования дисковой фасонной фрезы (см. рис. 1) для формообразования винтовой канавки спирального сверла (см. рис. 2), *отличающийся* способом описания исходной поверхности на основе натурального копирования поперечного сечения инновационного образца и использования встроенных процедур аппроксимации дискретных функций полиномами и сплайнами, *что позволило* решать задачи формообразования при существенной ограниченности исходной информации о конструктивных и геометрических параметрах проектируемого сверла.



Рис. 1. Дисковая фасонная фреза



Рис. 2. Специальные спиральные сверла

Построено соответствующее математическое обеспечение для поддержки проектных решений в технологическом бюро инструментального цеха, *отличающееся* использованием программной среды Matchad, *что позволило* создать гибридный модуль поддержки процесса проектирования и производства специальных спиральных свёрл в инструментальных цехах без автоматизированных систем проектирования.

Актуальность идеи. В настоящее время российские машиностроительные предприятия обречены на использование весьма дорогого инновационного металлорежущего оборудования и режущего инструмента, в том числе спиральных сверл.

Чтобы не зависеть от дорогих поставок режущего инструмента, иногда представляется целесообразной организация собственного его производства в инструментальном цехе, которая зависит от специальной теории [1,2,3], наличия систем автоматизированного проектирования и квалифицированных кадровых специалистов.

Поэтому разработка элементов САПР спиральных сверл, как составной части технологической подготовки их производства, является востребованной и актуальной задачей для современного машиностроительного производства.

Техническая значимость. Центральное место в подготовке производства спиральных свёрл отводится его инструментальному обеспечению. Необходимо при этом спроектировать собственно сверло,

дисковую фасонную фрезу (инструмент второго порядка) и инструмент для её затылования (инструмент третьего порядка). Проектирование включает решение прямой и обратной задач формообразования с систематическим использованием вычислительной техники и информационных технологий.

Конструктивные и геометрические параметры сверла с «крутой» спиралью и с параболической стружечной канавкой были найдены на основе натурального инновационного образца и некоторых методических процедур по «оцифровке» координат точек его поперечного сечения. Для этого оттиск поперечного сечения сверла (рис. 3, а) увеличивался в допустимом масштабе (рис. 3, б) в локальной системе координат с началом на оси сверла, в которой и определялись координаты намеченных точек профиля сечения (рис. 3, в).

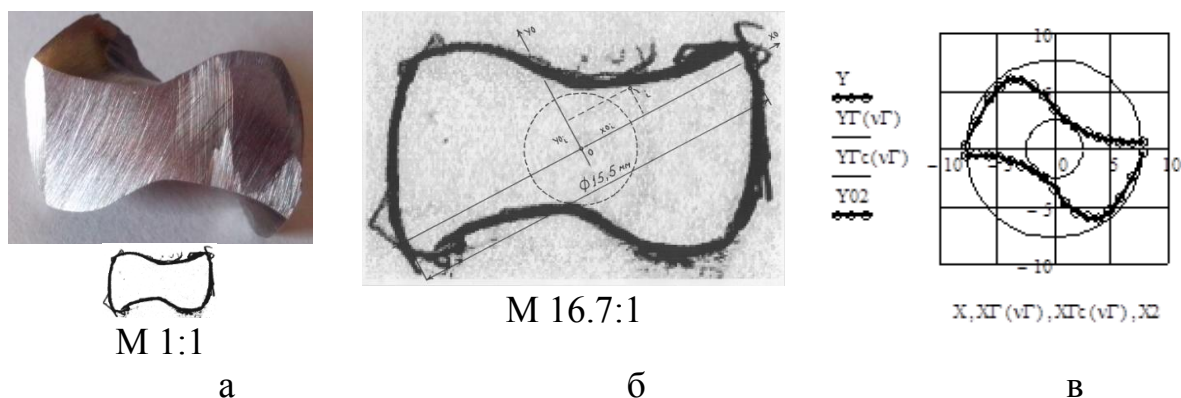


Рис. 3. Описание поперечного профиля сверла:
а - оттиск; б - увеличение и сканирование; в – «оцифровка» профиля

Профилирование дискового инструмента производилось из условия формообразования всего профиля винтовой поверхности (ВП) лезвия сверла за один проход (от ленточки до ленточки) по схеме на параметрах наладки: межосевое расстояние $A=30$ мм; угол скрещивания осей инструмента и заготовки $\lambda=37^\circ$; технологическое смещение в наладке $L_s=-4$ мм.

Схема и координатная модель наладки показаны на рис. 4 тривиальной координатной моделью.

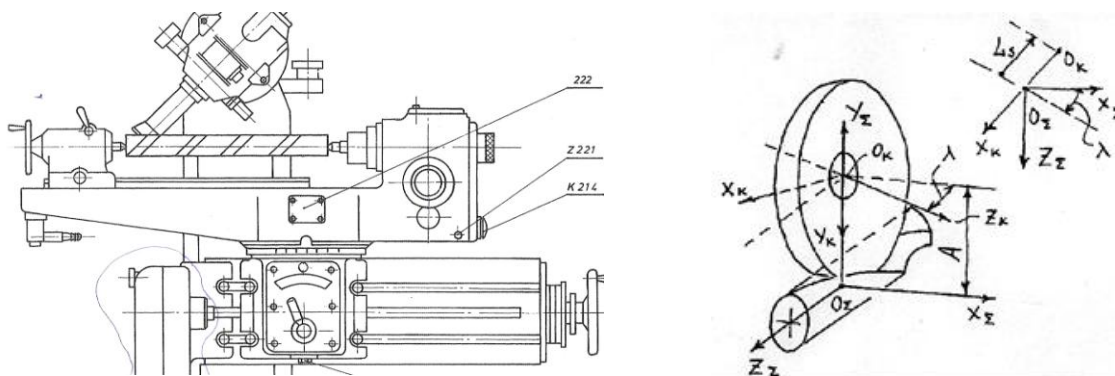


Рис. 4. Конструктивная схема и модель винтового формообразования

Соответствующая схеме обработки матричная функция формообразования приводится ниже в самом общем виде:

$$\begin{pmatrix} X_{\text{и}}(i, j, t, \varphi) \\ Y_{\text{и}}(i, j, t, \varphi) \\ Z_{\text{и}}(i, j, t, \varphi) \\ 1 \end{pmatrix} = M_{\text{иВ}}(A, \omega, L) \cdot \begin{pmatrix} X(i, j, t, \varphi) \\ Y(i, j, t, \varphi) \\ Z(i, j, t, \varphi) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Здесь: $M_{\text{иВ}}$ -матрица четвёртого порядка; A, ω, L -актуальные угловые и линейные параметры наладки; i -номер образующей исходной поверхности; j -номер направляющей исходной поверхности; $Z_{\text{и}}$ – ось инструмента.

Функция формообразования (1) конвертирует (отображает) исходную ВП в систему дискового инструмента. В осевое сечение дискового инструмента отображение реализует выражение:

$$R(i, j, t, \varphi) = \sqrt{(X_{\text{и}}(i, j, t, \varphi))^2 + (Y_{\text{и}}(i, j, t, \varphi))^2}; \quad Z = Z_{\text{и}}(i, j, t, \varphi). \quad (2)$$

Процессор и графика среды Matchad «обрабатывают» (1), (2) и строят геометрическую структуру отображения (тёмное облако), в которой искомый профиль инструмента (показан красным пунктиром) «обволакивает» её снизу в пределах двух трассировок граничных направляющих ВП, выделяемых различным цветом. Последнее обеспечивает необходимую точность в определении расчётного осевого габарита фасонной дисковой фрезы при её проектировании. В рассматриваемом примере габарит такой $[-8.8 \leq Z_{\text{Ф}} \leq 8.8]$.

Координаты найденного осевого сечения ПП дисковой фрезы (как содержимое двух массивов $Z_{\text{Ф}}$, $R_{\text{Ф}}$) и её трёхмерная модель изображены на рис. 5. Для определённости заметим, что обволакивающий профиль производящей поверхности фрезы (ПП) находится авторским приёмом по «растровым экстремумам-минимумам», а также исключительными графическими возможностями Matchad по части трассировок графиков [4].

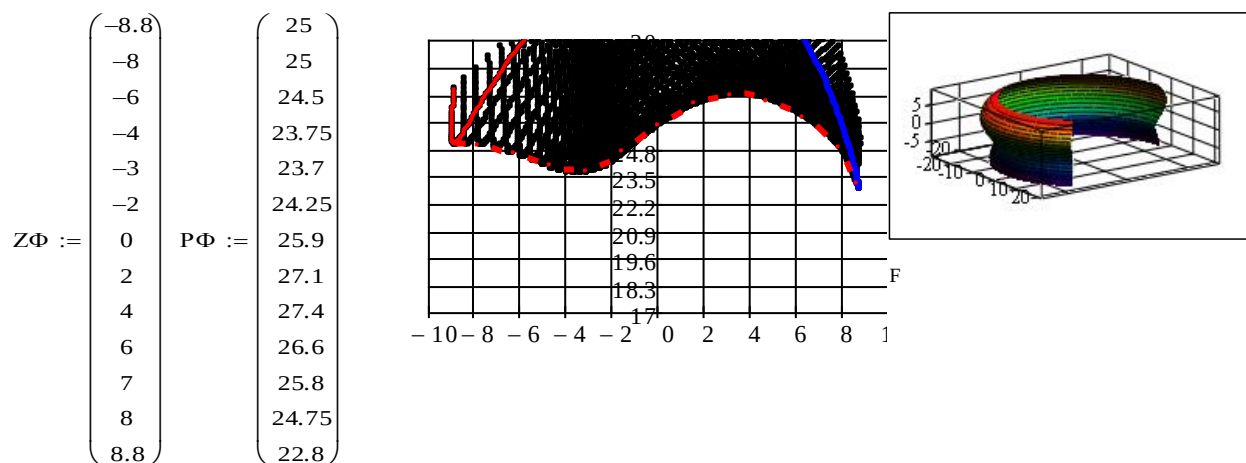


Рис. 5. Геометрия осевого сечения ПП фрезы и её трёхмерная модель

Для проверки правильности решения прямой задачи в рассматриваемом примере процесс формообразования исходной винтовой поверхности сверла найденной производящей поверхностью фрезы численно моделируется на основании функции (1) с заменой в ней матрицы $M_{ив}$ на обратную.

Это, по существу, сугубо численный авторский подход к решению задач формообразования. Он, в отличие от дифференциального, является более адекватным и в настоящее время используется большинством исследователей.

Результаты численного моделирования показаны на рис. 6, где в поперечном сечении сверла численно и графически зафиксированы актуальные геометрические события процесса формообразования, подтверждающие адекватность моделей, алгоритмов и программ.

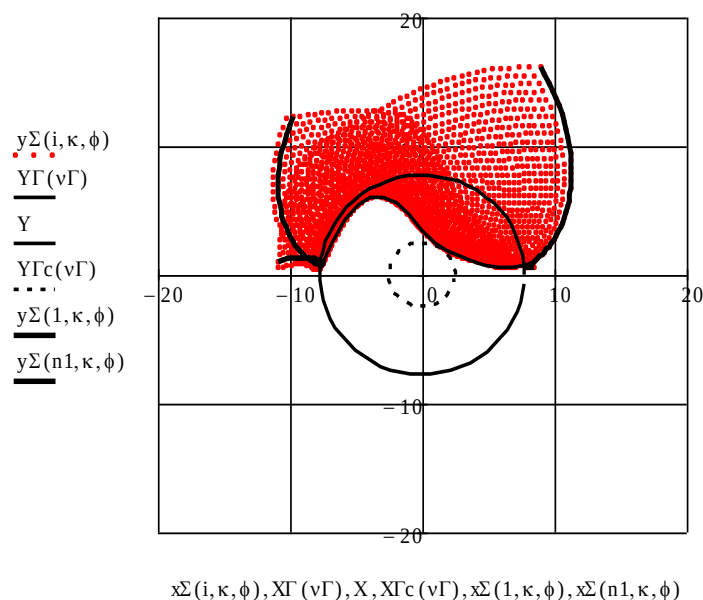


Рис. 6. Контрольное решение обратной задачи

На основании выполненных теоретических разработок были спроектированы необходимые инструменты и выполнена процедура радиального затылования (рис. 7, а, б, в).



Рис. 7. Экспериментальные результаты по винтовому формообразованию

Спроектированы и изготовлены в инструментальном цехе завода: спиральное сверло (рис.7, а); дисковая фасонная фреза (рис.7, б), фасонный стержневой резец (не показан) для предварительного и шлифовальный круг для чистового затылования фрезы (рис.7, в) без «интерференции» [5]. Материалы аналитической и компьютерной поддержки подготовки производства спиральных свёрл переданы заинтересованной организации для использования. Эти работы выполнялись в интересах местной промышленности в рамках подготовки производства специальных свёрл для трудоёмкого массового сверления отверстий в трубных досках тепловых агрегатов (рис. 8).



Рис. 8. Трубная доска теплообменника с массовым количеством отверстий

Конструктивный чертёж фасонной фрезы для винтового формообразования спирального сверла приведён на рис. 9.

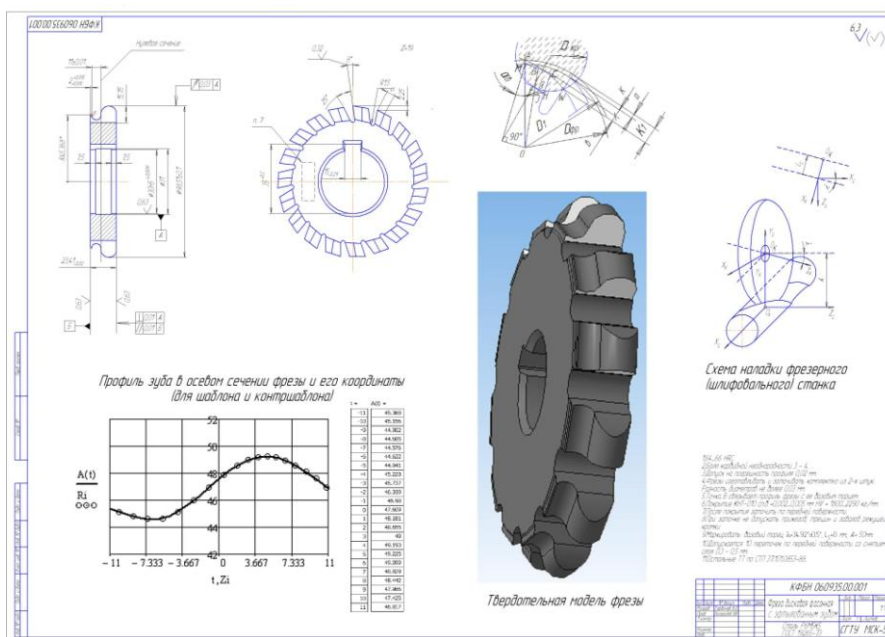


Рис. 9. Чертёж фасонной фрезы для формообразования стружечных канавок специального спирального сверла

В заключение заметим, что авторы будут считать свою работу выполненной, если её результаты хоть в какой-то мере заинтересуют специалистов данной области техники.

Список литературы

1. Щегольков Н.Н. Разработка методов компьютерного профилирования фасонных режущих инструментов на основе принципа итераций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук.– М., 1997. – 43 с.
2. Погораздов В.В. Моделирование на ЭЦВМ приближенного формообразования винтовой канавки дисковым инструментом с технологической производящей поверхностью / В.В. Погораздов // Обработка резанием (Технология, оборудование, инструмент): эксп. инф. – Вып. 7.– М.: НИИМАШ, 1982. - С. 18-23.
3. Панкратов Ю.М. Профилирование обкатных инструментов / Ю.М. Панкратов. – СПб.: Политехника сервис, 2010. – 158 с.
4. Кирьянов Д.В. MathCad 13 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
5. Горбачев В.О. Численное профилирование шлифовального круга для затылования дискового фасонного инструмента / В.О. Горбачев // НАУКА: 21 ВЕК (транспорт и машиностроение). – 2012. – № 1. – С. 30-35.

Содержание

Секция 1. Машиноведение, транспортное и энергетическое машиностроение	3
<i>Буханов С.В., Сурин А.О., Захаров А.А. Разработка оптимальной конструкции сварного лонжерона тяжело нагруженных несущих систем полуприцепов и железнодорожных платформ.....</i>	<i>5</i>
<i>Хрусталева В.А., Сучков В.М. Оценка эффективности нерегулируемых отборов пара от АЭС в системе теплоснабжения.....</i>	<i>8</i>
<i>Воронин Д.В., Боровских В.Е. Оценка уровня касательных напряжений в сечениях элементов подрамника транспортного средства</i>	<i>13</i>
<i>Гелашвили О.Г. Экспериментальные исследования подвижного состава при работе на смешанном виде топлива</i>	<i>17</i>
<i>Гильман А.А. Соединение гладких труб.....</i>	<i>22</i>
<i>Боровских У. В., Боровских В.Е. Статистическая характеристика микропрофилей автомобильных дорог</i>	<i>26</i>
<i>Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Нормирование шероховатости изделий машиностроения на основе показателей разнорельефности выступов и разнорельефности впадин в развитие ГОСТ 2789-73.....</i>	<i>29</i>
<i>Игнатъев А.А., Коновалов В.В., Морозова А.В. Применение статистических методов в динамике станков</i>	<i>42</i>
<i>Куранов В. Г., Куранов В.В., Антохин А.С. Износ и проводимость скользящих контактов многоканальных коммутаторов, передающих сигналы подвижным объектам</i>	<i>46</i>
<i>Морозова Т.П., Челышева И.А. Формирование и развитие профессиональных навыков студентов технических вузов по дисциплинам цикла «Инженерная графика».....</i>	<i>53</i>
<i>Мырзахметов Б.А., Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В. Влияние динамических свойств двигателя строительно-дорожной машины на технологические показатели</i>	<i>57</i>
<i>Петров А.А. К вопросу оценки величины предела выносливости детали, подверженной числу циклов нагружения больше базового</i>	<i>64</i>
<i>Джалайубеков Еркин, Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е. Анализ существующего состояния вопросов технического нормирования эксплуатации АТС в Республике Казахстан по весовым и габаритным параметрам</i>	<i>69</i>
<i>Джалайубеков Еркин, Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е. Анализ типов автотранспортных средств (АТС) в зависимости от количества и расположения осей, по которым отсутствуют весогабаритные нормы предельно допустимых значений</i>	<i>81</i>
<i>Данилов И.К., Марусин А.В., Марусин А.В. Разработка устройства диагностики дизелей КАМАЗ с разделённой системой впрыска</i>	<i>92</i>

<i>Линьков Е. Д., Виноградов А. Н. Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения с винтовой пружиной</i>	<i>97</i>
<i>Ростунцова И.А., Мажитов Э.С. Оценка эффективности применения на пылеугольной энергоустановке ЦКС- технологии с газификацией угля в кипящем слое под давлением</i>	<i>101</i>
<i>Овчинникова Н.В., Чеботаревский Ю. В. Нелинейные колебания материальной точки при наличии восстанавливающей силы с переменным коэффициентом жесткости.....</i>	<i>106</i>
Секция 2. Технология машиностроения	113
<i>Артёмов И.И., Зверовщиков А.Е., Коновалова А. Н. Технологические возможности центробежно-планетарных установок при размоле твердосплавных материалов.....</i>	<i>115</i>
<i>Болкунов В.В. , Слесарев С.В. Установка для релаксации остаточных напряжений в металлических кольцах с ребордами из полиамида</i>	<i>119</i>
<i>Иванникова А., Захаров С., Шамилев А. Технология формирования наноструктурированных титановых и биоактивных покрытий.....</i>	<i>123</i>
<i>Калиев Бакыджан, Кочетков А.В., Янковский Л.В. Совершенствование параметров рабочих органов битумощебнераспределителей.....</i>	<i>126</i>
<i>Королев А.В., Королев А.А. Опоры качения с повышенным ресурсом работы</i>	<i>133</i>
<i>Мелентьев В.А. Обработка сложнопрофильных поверхностей деталей</i>	<i>138</i>
<i>Орлова М.Д., Бабкова Н.И., Зоркин А.Я. Твердофазное соединение спирали и опорных стержней из керамики за счет разницы термического коэффициента линейного расширения элементов оправки</i>	<i>140</i>
<i>Болкунов В.В. , Слесарев С.В. Контроль поверхностных остаточных напряжений в прецизионных деталях машин токовихревым методом ...</i>	<i>144</i>
<i>Виноградов А.Н., Захаров О.В., Макеев Д.Н. Технологическое обеспечение качества поверхности с наплавленными интерметаллидными покрытиями</i>	<i>148</i>
<i>Скляр И.А., Захаров О.В. Проектирование устройства для абразивно-струйной обработки внутренних поверхностей.....</i>	<i>153</i>
<i>Яловой О.А. Анализ методов профилирования дискового инструмента для винтовых поверхностей.....</i>	<i>158</i>
<i>Тягнибедина О.С. Использование методов холодной раскатки для изготовления деталей типа втулок и колец</i>	<i>162</i>
Секция 3. Автоматизация и управление системами и технологическими процессами	167
<i>Герасименко М.А. Взаимодействие технологий Internet of Things и Big Data</i>	<i>169</i>
<i>Ролич А.Ю. Автоматизация распределения грантовых средств внутри научно-учебной группы</i>	<i>173</i>

<i>Авдеева О.В., Семенов А.Д. Автоматизация процесса электроэрозионной обработки с использованием метода экстремального комбинированного управления</i>	<i>179</i>
<i>Авдеева О.В., Никулин С.В., Семенов А.Д. Алгоритм поиска экстремума статической характеристики инерционного объекта с запаздыванием в условиях сильных помех</i>	<i>187</i>
<i>Виноградов М.В., Игнатьев А.А., Сигитов Е.А. Мехатронная система стружкодробления при обработке на токарном станке</i>	<i>195</i>
<i>Демидов А.К. Моделирование механических характеристик электроприводов</i>	<i>200</i>
<i>Михайлов А.С., Староверов Б.А. Применение преобразования Фурье для определения объема обучающей выборки модуля нейросетевой адаптации регулятора состояния</i>	<i>205</i>
<i>Доронин М.С., Доронина В.Д. Эффективность применения АСУ ТП в системах теплоснабжения с газифицированными источниками тепла.....</i>	<i>214</i>
<i>Игнатьев С.А., Добряков В.А., Игнатьева С.С. Менеджмент качества продукции на основе мониторинга технологических процессов.....</i>	<i>218</i>
<i>Каракозова А.В. Предпосылки создания экспертной системы поддержки процесса диагностирования шлифовальных станков.....</i>	<i>226</i>
<i>Корочкин А.В., Одинокое И.В., Степанов М.Ф. Средства автоматизации построения нейроэмулятора объекта управления в системе «ГАММА-3»</i>	<i>231</i>
<i>Кривошеин Ю.А. Инжиниринг функциональной структуры устройств для автоматического измерения и контроля контактного сопротивления скользящих электрических контактов</i>	<i>237</i>
<i>Ганюшкин А.Н., Сперанский С.К., Лясников В.Н., Китаев Н.И. Научные подходы к повышению качества сварных соединений</i>	<i>246</i>
<i>Никоноров Д.С. , Смирнов С.С. Идентификация дефектов подшипников качения системой вибромониторинга</i>	<i>252</i>
<i>Олоничев В.В., Староверов Б.А., Смирнов М.А. Идентификация параметров объекта в системах цифрового управления.....</i>	<i>258</i>
<i>Самойлова Е. М. Методы и алгоритмы интеллектуализации в интегрированных производственных системах.....</i>	<i>264</i>
<i>Семёнов А.Д., Никиткин А.С., Авдеева О.В. Комплексная автоматизация электроэрозионного формообразования алмазных шлифовальных кругов</i>	<i>272</i>
<i>Семёнов А.Д., Никиткин А.С. Построение гибкого автоматизированного производственного комплекса электроэрозионного шлифования.....</i>	<i>280</i>
<i>Сперанский В.К., Сперанский С.К., Лясников В.Н. Опыт создания программно-технического комплекса для управления процессами термической обработки дуралюмина Д16.....</i>	<i>286</i>

<i>Спутнов А.П. Алгоритмы регулирования межэлектродного зазора при электроэрозионном профилировании алмазных шлифовальных кругов....</i>	<i>294</i>
<i>Муравьева Н.А., Семенов И.С. Подходы к совершенствованию технологических процессов диспетчерского управления городским пассажирским транспортом</i>	<i>297</i>
<i>Ревунов М. С. Комбинированная система экстремального регулирования плотности бумажного полотна</i>	<i>304</i>
<i>Новичков С.В., Мартынова К.А. Исследование характеристик сетевого подогревателя при работе в составе бинарной ПГУ-ТЭЦ.....</i>	<i>308</i>
<i>Усынин С.М., Захаров О.В. Контроль крупногабаритных заготовок энергетического машиностроения</i>	<i>317</i>
<i>Погораздов В.В., Горбачёв В.О., Стручков А.А. Аналитическая и компьютерная поддержка технологической подготовки производства спиральных свёрл инновационных образцов</i>	<i>321</i>

Научное издание

ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО 2014

Сборник трудов

II Международной научно-практической конференции

30 июня-1 июля 2014 г.

Том 1

Под общей редакцией Бекренева Николая Валерьевича
Ответственный редактор Боровских Ульяна Валентиновна
Технический редактор Злобина Ирина Владимировна

Редактор: О.А. Панина
Компьютерная верстка: Е.А. Опанасюк

Подписано в печать 22.07.2014

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет. Усл. печ. л. 19,3 (20,75)

Уч.-изд. л. 19,5

Тираж 300 экз.

Заказ 11

ООО «Издательский Дом «Райт-Экспо»

410031, Саратов, Волжская ул., 28

Отпечатано в ООО «ИД «Райт-Экспо»

410031, Саратов, Волжская ул., 28, тел. (8452) 90-24-90