

**Международная научно-практическая  
конференция**

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



**МИНСКЭКСПО**



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЗАО «МИНСКЭКСПО»

Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника  
в машино- и приборостроении

Материалы международной научно-практической конференции

(Минск, 11 апреля 2012 года)

Минск  
2012

УДК 658.51:004(082)

ББК 32.965я43

A22

Редакционная коллегия:

Хрусталеv Б.М. (главный редактор), Здор Г.Н. (зам.гл.редактора),  
Шелег В.К. (зам. гл.редактора), Романюк Ф.А.,  
Трофименко Е.Е., Новичихин Р.В., Дербан А.Н., Околов А.Р.

Рецензенты:

чл.-корр., д.т.н., проф. Пантелеенко Ф.И.,  
д.т.н., проф. Акулович Л.М.

A22 Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника  
в машино- и приборостроении: материалы междунар.науч.-практ.конф. /  
редкол.: Хрусталеv Б.М. (гл.ред.) [ и др.] Минск: Бизнесофсет, 2012 -  
с.

ISBN 978-985-6939-22-1.

УДК 658.51:004(082)

ББК 32.965я43

ISBN 978-985-6939-22-1

БНТУ, 2012

МИНСКЭКСПО, 2012

<b>ДОКЛАДЫ НА ПЛЕНАРНОМ ЗАСЕДАНИИ</b>	
Польский Е.А., Кравцов А.С.	5
Лось С.Е.	7
Джежора А.А., Кузьмич А.И.*, Радевич Е.И.*, Рубаник В.В.**	9
Аверченков В.И., Надуваев В.В.Фролов Е.Н.	11
Фираго Б.И.	13
Насакина Е.О., Гончаренко Б.А., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Заболотный В.Т., Баикин А.С.	15
Сморозин В.С., Короткевич В.А., Короткевич Л.И., Маслович С.Ф.	17
Вишнеревский В.Т., Букато К.С., Присмакин Н.М., Ленецкий Г.С.	19
Фоменко Б. В. <sup>1</sup>	20
Степанец А.В. <sup>1</sup>	22
Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.	24
Исаков Д.В.	26
Новиков Ю.В., Богатенко В.А.	28
Александровский С.В., Петренко Ю.Н.	30
Волков С. А.	32
Кожевников М.М. <sup>1</sup> , Чумаков О.А. <sup>2</sup>	34
Филиппов Р.А. Малофеев А.Е.	36
Сутягин А. Н.	38
Здор Г.Н., Сеницын А.В., Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.	40
Данилов В.А. <sup>1</sup> , Киселев Р.А. <sup>1</sup> , Крутько В.С. <sup>2</sup>	41
Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Якимович А.М.	43
Чайкин Ф.С. <sup>1</sup> , Здор Г.Н. <sup>1</sup> , Тромпель Д.А. <sup>2</sup> , Солнцев К.К. <sup>3</sup>	45
<b>СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ</b>	
Аверченков А.В., Аверченков В.И.	47
Александровский С.В., Петренко Ю.Н.	49
Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э.	51
Безъязычный В. Ф., Прокофьев М. А.	53
Белявин К. Е. <sup>1</sup> , Сосновский А.В. <sup>2</sup>	55
Болотов С.В., Курлович И.В., Бансюкова Е.Л.	57
Бородавко В.И., Воробьев В.В., Иванов Е.Н.	58
Бородавко В.И., Крутько В.С., Пожарский А.К., Хейфец М.Л.	60
Бородавко В.И., Крутько В.С., Позылова Н.М., Хейфец М.Л.	62
Васильев Д.С.	64
Васильев С. В.	66
Витязь П.А., Хейфец М.Л.	68
Воробьев В.В., Пынькин А.М., Насыбулин А.Х., Гайко В.А., Иванов Е.Н.	70
Воробьев В.В., Тенюта П.В., Шепель С.Р., Петровский А.Л.	72
Голубцова Е.С., Сагарда Е.В., Каледина Н.Б.	73
Горохов В.А.	75
Гутич И.И., Волкович П.В.	77
Данилов В.А. <sup>1</sup> , Киселев Р.А. <sup>1</sup> , Крутько В.С. <sup>2</sup>	79
Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Кавальчук О.Н., Лапковский А.С.	81
Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.	83
Девойно О.Г., Лапковский А.С., Веремей П.В.	85
Довгалева А.М., Сухоцкий С.А.	87
Емельянов С. Н., Березиенко В. П.	89
Здор Г.Н., Дербан А.Н.	91
Здор Г.Н., Сеницын А.В., Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.	93
Здор Г.Н., Сеницын А.В., Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.	94

Здор Г.Н., Синицын А.В., Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С. ....	95
Здор Г.Н., Тимошевич В.Б. ....	96
Исаевич Л.А., Гуринович В.А., Сидоренко М.И., Иваницкий Д.М. ....	98
Капитонов О.А., Третьяков А.С. ....	100
Кардаполова М.А., Лапковский А.С., Кавальчук О.Н. ....	102
Кастрюк А.П. ....	104
Клименко А.В. ....	106
Ковриго Ю.М., Бунке А.С. ....	108
Константинов В.М., Булойчик И.А. Гегеня Д.В. ....	110
Константинов В.М., Ткаченко Г.А. ....	112
Константинова С.В. ....	113
Куликов В.П., Коротеев А.О. ....	115
Лупачев А.Г., Харчевникова Е.А., Волович И.В. ....	116
Лупачев А.Г., Харчевникова Е.А., Тихонович С.И. ....	118
Мигдалёнок А. А. ....	120
Минаков А.П., Ильюшина Е.В. ....	122
Минаков А.П., Юшкевич Н.М., Ильюшина Е.В. ....	124
Миронович А.В. ....	126
Моисеев А.Е. ....	128
Морозько О.А., Петренко Ю.Н. ....	130
Москаленко А.А., Кононенко З.И., Худенко Д.О. ....	132
Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Паршутто А.Э., Королёв А.Ю. ....	134
Новиков С.О. ....	136
Новиков Ю.В. ....	138
Однолько Д. С. ....	140
Околов А.Р., Трекало А.А., Николаенок А.В. ....	142
Опейко О.Ф. ....	144
Павлович С.Н., Шишмарев Д.И. ....	145
Павлович С.Н. ....	147
Польский Е.А. <sup>1</sup> , Артюхов А.С. <sup>1</sup> , Никонов О.А. <sup>2</sup> ....	149
Поляков А.Ю., Фурманов С.М., Березиенко В.П. ....	151
Прокофьев А.Н. ....	153
Свирепа Д.М. Довгалев А.М. ....	155
Симонович А. В., Петренко Ю. Н. ....	157
Сиротин Ф.Л., Голубчик Е.В. ....	159
Сиротин Ф.Л., Лившиц Ю.Е. ....	160
Сорокин С.В. ....	161
Талашко А.В. ....	163
Телюк Н.Е., Осипов М.А., Петренко Ю.Н. ....	165
Ткаченко Г.А. ....	167
Фролов Е.Н., Надуваев В.В. ....	169
Хамутовский А.Н. <sup>1</sup> , Корогода О.П. <sup>2</sup> Хомич Н.С. <sup>2</sup> ....	171
Хвасько В.М., Дудяк А.И. ....	173
Хейфец М.Л. ....	175
Цыбулько П.В., Гутич И.И. ....	177
Шардыко П.П., Барсукевич И.А. ....	179
Якубовская С.В., Бабаскина С.Ю., Корбит А.А., Олехнович О.Н. ....	181
Яцына Ю.Ф., Гриднев Ю.В., Пальцев А.Н. ....	183

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ НА ЭТАПЕ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Польский Е.А., Кравцов А.С.

Брянский государственный технический университет, г. Брянск,  
Российская Федерация

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а так же тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства.

Конструкцию машины, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной. По установленной терминологии под термином «технологичность конструкции изделия» (ТКИ) понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется непосредственным воздействием на ее техническую сущность путем придания конструкции комплекса свойств, обеспечивающих ее технологическую рациональность и преемственность. Следствием этого воздействия является изменение трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости и других возможных видов ресурсоемкости изделия. Конструктор, придавая конструкции изделия технологическую рациональность и преемственность в процессе отработки ее на технологичность, должен учитывать одновременно возможные области проявления ТКИ, влияние принимаемых им инженерных решений на снижение ресурсоемкости и повышение уровня ТКИ по каждой области ее проявления.

В формализованном виде процесс обеспечения технологичности изделия можно представить как воздействие на множество параметров точности размеров изделия  $X = \{x_1, \dots, x_p\}$ , которое приводит к достижению экстремальной цели при соблюдении сформулированных ограничений вида  $g_i(X) = 0$  и  $h_j(X) \geq 0$ .

$$Q(X) \rightarrow \underset{X \in S}{\text{extr}}$$

$$S: \begin{cases} g_i(X) = 0, & i = \overline{1, I}; \\ h_j(X) \geq 0, & j = \overline{1, J}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q$ ,  $g$ ,  $h$  - функции, которые определяются исходя из требований точности размеров изделия и разнообразных производственных, эксплуатационных и ремонтных факторов, влияющих на технологичность изделий.

Модель размерной структуры технологического процесса механической обработки в виде совокупности графа размерной структуры ( $G$ ) и некоторого множества конструктивных, технологических, структурных и экономических условий оптимальности ТП ( $U$ ) выглядит так:

$$M = \{G, U\}. \quad (2)$$

В методиках размерного анализа и расчёта размерных цепей размерная структура техпроцесса представляется в двух основных видах: в виде размерной схемы и в виде размерного графа, объединяющего размеры детали, заготовки и техпроцесса

$$G = \{G_{\text{дет}}, G_{\text{заг}}, G_{\text{тех}}\}, \quad (3)$$

где  $G_{\text{дет}}$  - граф конструкторских размеров детали;  $G_{\text{заг}}$  - граф конструкторских размеров исходной заготовки;  $G_{\text{тех}}$  - граф технологических размеров и припусков ТП механической обработки.

Представление размерной структуры ТП в виде графа является наглядным и подходящим для последующего ручного выявления размерных цепей. Но графическое представление размерной структуры ТП неудобно для оптимизации, машинной обработки результатов и не позволяет учесть всего множества влияющих факторов, поскольку в ней отображается только сама структура, с учетом только некоторых свойств поверхностей, операционных размеров и припусков. Для отражения взаимодействия всех конструктивных, технологических, структурных и экономических факторов, введем в модель размерной структуры ТП упорядоченное множество конструктивных, технологических, структурных и экономических условий оптимальности ТП механической обработки детали ( $U$ ).

В методике размерного синтеза количество составляющих размеров во всех размерных цепях используется для сравнения вариантов размерной структуры. Эту величину можно получить, используя матрицу размерных цепей

$$\sum N = \sum_{i=1, j=1}^{l, m} |b_{ij}| \quad (4)$$

В методике размерного синтеза для определения  $\sum N$  используется другая зависимость, для которой необходимо знать количество уровней ТП (величина, которую трудно определить для конкретных типовых и единичных технологий). Кроме того, расчетное значение  $\min \sum N$  по методике размерного синтеза не всегда достижимо. Имея матрицу размерных цепей рассчитать  $\sum N$  значительно проще. Для разработки возможных вариантов оптимизации размерной структуры ТП проанализируем изменения критерия  $\min \sum N$  для разных вариантов размерных структур ТП.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ DRIVE ТОРГОВОЙ МАРКИ 8 STEPS

Лось С.Е.

ЧПУП "Европейская электротехническая компания"  
Республика Беларусь, г. Минск

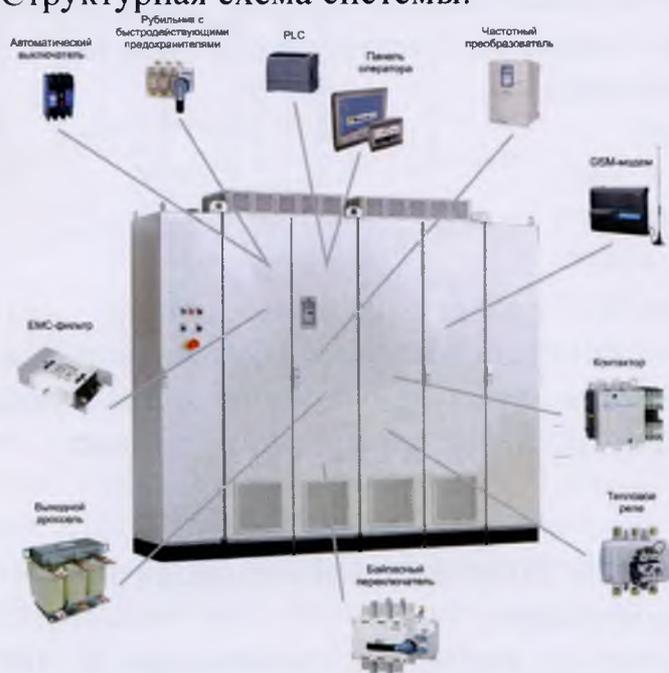
Инновационность:

- гибкость системы (позволяет реализовать практически любые требования проектанта);
- использование последних достижений в технике управления;
- система автоматического онлайн-проектирования в форме конфигуратора, позволяющего сделать проект и экономическую оценку системы за несколько минут.

Система управления движением Drive:

- является полностью законченным и готовым к использованию устройством шитового (шкафного) исполнения
- использует в своей конструкции последние достижения техники управления в промышленной автоматизации
- создается с использованием только высококачественной и высокотехнологичной техники мировых лидеров SIEMENS, YASKAWA, TECO-WESTINGHAUS и других ведущих брендов.
- обеспечивает решение задач любой сложности;
- использует только отработанные решения.

Структурная схема системы:



Возможность использования частотных преобразователей различных мировых брендов позволяет решать приводные задачи любой сложности и обеспечивать унификацию применяемых частотных преобразователей на каждом конкретном производстве.

Интерактивный интерфейс между оператором и системой Drive осуществляется с помощью русскоязычной тактильной графической панели оператора, установленной на передней панели. Интерфейс использует систему всплывающих окон и предоставляет оператору всю необходимую именно в данный момент информацию в удобном и интуитивно понятном виде.

Встраиваемый в систему контроллер требуемой мощности и конфигурации позволяет осуществлять управление установкой, производственным процессом или его частью синхронно с одним или несколькими частотными преобразователями (или сервосистемами), установленными в системе Drive.

Удаленное управление и обмен данными с системой Drive может осуществляться с помощью дискретных или аналоговых входов и выходов, а также по интерфейсам RS-232, RS-485/422, Ethernet. Поддерживаются основные коммуникационные протоколы Modbus (RTU, ASCII, TCP/IP), Profibus.

Встроенный ручной или автоматический байпас позволяет работу двигателя в случае обслуживания или выхода из строя частотного преобразователя.

Система удаленного доступа по GSM/GPRS связи позволяет получить удаленный контроль и управление системой Drive не только с помощью специализированного программного обеспечения, но и имея под рукой только компьютер или телефон с доступом в интернет и веб браузер.

Проектирование системы Drive осуществляется с помощью интерактивного интернет-конфигуратора 8Steps.by. Конструктор имеет возможность спроектировать свою индивидуальную систему Drive за 8 шагов. В простом случае это займет 5 минут времени. В результате он получит:

- индивидуальное наименование системы;
- техническое описание изделия;
- габаритные размеры и вес изделия;
- описание внешних подключений;
- стоимость системы.

Выполненный индивидуальный проект системы Drive является интеллектуальной собственностью проектанта и не может быть использован без его разрешения. Защита проекта производится при помощи индивидуального ключа доступа, который регистрируется на конкретного человека после прохождения обучения.

Использование системы управления движением Drive позволит:

- исключить ошибки при проектировании;
- использовать при проектировании последние достижения в технике управления;
- значительно снизить стоимость и срок проектирования приводных систем;

**-СНИЗИТЬ СТОИМОСТЬ САМИХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА.**



Таблица 1. Расчетные и измеренные значения емкостей цилиндрического датчика  $C_1$  – численные расчеты;  $C_2$  – аналитические расчеты,  $\delta C_1$  – относительная ошибка численных расчетов емкости цилиндрического датчика.

№	$R_1$ , мм	$R_2$ , мм	$R_3$ , мм	$R_4$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$C_{изм}$ , пФ	$C_1$ , пФ	$C_2$ , пФ	$\delta C_1$ , %
1	5,95	6,95	8,90	9,99	490	490	111,17	110,92	110,49	0,22
2	5,95	6,95	8,90	9,99	485	490	109,65	109,49		0,14
3	5,97	6,975	8,90	9,99	320	320	73,55	73,50	73,01	0,06
4	5,97	6,975	8,90	9,99	320	323	73,65	73,59		0,08
5	5,97	6,975	8,90	9,99	320	390	73,77	73,37		0,54
6	5,97	6,975	8,90	9,99	98,3	98,3	22,93	22,83	22,43	0,43
7	5,97	6,975	8,90	9,99	30,9	30,9	7,67	7,59	7,05	1,04
8	5,97	6,975	8,90	9,99	20,03	20,03	5,23	5,14	4,56	1,72

расчетов емкости датчика может быть использовано выражение, ошибка расчета < 2%. В области малых отношений  $R_4/l$  классическое выражение не работает. Краевые эффекты на торцах электродов начинают играть существенную роль.

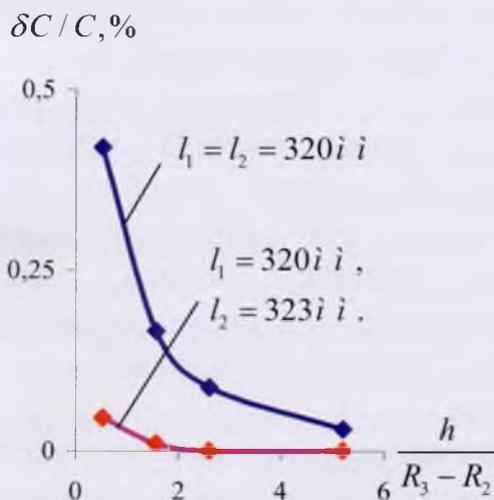


Рис.2 Зависимость относительного изменения емкости ДУТ от расстояния до подтоварной воды

Зависимость относительного изменения емкости, при приближении зеркала подтоварной воды в баке ( $\epsilon_2 = 81$ ) к торцу ДУТ представлена на рис.2. Уменьшить влияние краевого эффекта можно за счет утопления центрального электрода ДУТ на величину сравнимую с межэлектродным зазором  $R_3 - R_2$ .

## ВЫВОДЫ

Диэлектрические втулки, разделяющие цилиндрические электроды, необходимо располагать вне области торцевого эффекта, т.е. не ближе 4-х кратного межэлектродного зазора  $R_3 - R_2$ , центральный электрод должен быть утоплен на величину сравнимую с межэлектродным зазором.

## **ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МОДЕРНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

**Аверченков В.И., Надуваев В.В. Фролов Е.Н.**  
Брянский государственный технический университет,  
г. Брянск, Российская Федерация

Увеличение удельного веса труднообрабатываемых и специальных материалов, ужесточение требований к качеству их изготовления требует применения различных способов обработки с использованием алмазного инструмента и инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ). Благодаря своей высокой стойкости и способности обрабатывать материалы практически любой твердости, эти инструментальные материалы особенно соответствуют условиям любого производства.

Проведенный анализ показал, что алмазные инструменты из ПСТМ делятся на следующие виды: инструменты на органических, металлических и керамических связках, а также инструменты на гибкой основе и пасты.

При этом эти инструменты можно разделить на два класса:

-многокристальные инструменты, к которым относятся буровые колонки, правящие инструменты и отдельные виды режущих инструментов;

-однокристальные инструменты, к которым относятся режущие и контрольно измерительные инструменты, алмазные волокна и правящие инструменты некоторых видов.

Многокристальные инструменты чаще всего изготавливают из необработанных кристаллов, технических алмазов или дробленых ПСТМ сравнительно небольшой массы – до 0,02 карат. Однокристальные инструменты обычно изготавливают из кристаллов более крупных размеров, используя при этом целиковые спеки.

Наиболее распространенный способ производства инструментов из ПСТМ на металлической связке – предварительное холодное брикетирование, а затем спекание инструментальных материалов с одновременным прессованием для предотвращения деформирования алмазных зерен.

В настоящее время имеется широкая номенклатура металлических связок с имеющими различные физико-механическими свойствами, выбираемыми в зависимости от обрабатываемого материала и условий эксплуатации алмазного инструмента. Процесс изготовления инструментов при этом отличается в зависимости от температуры и продолжительности спекания, наличия жидкой фазы, размера зерна и т.д.

На основании вышеизложенного были разработаны варианты технологических процессов изготовления широкой гаммы конструкций алмазных инструментов различного назначения из ПСТМ типа -СВ. Создание технологических процессов осуществлялось по принципу блочной унификации

используемого алмазного инструмента, что позволило в значительной мере обобщить потребности в инструментах из ПСТМ.

При проектировании участков по производству инструментов из ПСТМ предусмотрено широкое внедрение нового прогрессивного оборудования: станков с ЧПУ, высокопроизводительных пресс-установок для синтеза ПСТМ. В серийном производстве алмазных инструментов предлагается применение поточно-механизированных и автоматических линий.

Предлагаемые инструменты позволят в условиях любого типа производства осуществлять следующие работы – правку абразивных кругов различной зернистости и твердости в интервалах от обдирочного шлифования до финишных операций тонкого шлифования. При этом разработаны конструкции многокристальных правящих карандашей, позволяющие осуществлять правку и профилирование кругов различной ширины за минимальное число проходов [1].

Как показали выполненные исследования и многочисленные производственные испытания, проводившиеся в реальных производственных условиях, предлагаемые конструкции инструментов из ПСТМ рекомендуется использовать в механо и камнеобрабатывающей промышленности, а также в индивидуальном и промышленном строительстве.

Проведенный в соответствии с ГОСТом полный цикл испытаний алмазных инструментов позволил выявить определенные закономерности. Так, карандаши для правки шлифовальных кругов на кругло-шлифовальных станках, при изготовлении которых были использованы дробленые спеки ПСТМ типа СВ с размером зерна 800-1000 мкм показали наилучшие результаты по стойкости и качеству правки. Полученные при этом результаты испытаний подтвердили соответствующий уровень качества изготовления предлагаемых инструментов из ПСТМ.

Представленные выше материалы показывают, что создание новых конструкций алмазного инструмента из ПСТМ, а также разборка технологических процессов их изготовления, позволяют не только значительно расширить область эффективного применения предлагаемых инструментов в различных отраслях металло- и камнеобрабатывающей промышленности, но и в значительной степени исключить возможность использование инструментов из природных алмазов, себестоимость которых в 8-10 раз выше .

## О ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Фираго Б.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Из большого разнообразия электродвигателей, применяемых в различных отраслях промышленности, на транспорте, в коммунальном хозяйстве и бытовой технике, преобладающими являются электродвигатели переменного тока, главным образом, асинхронные двигатели (АД), которые составляют более 75% общего числа. Это связано, в первую очередь, с их меньшей стоимостью и большей надежностью в работе по сравнению с электродвигателями постоянного тока [1]. Но двигатели постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) обладают хорошей управляемостью. Поэтому уже давно появилось стремление придать электродвигателям переменного тока такую же управляемость, которую имеют электродвигатели постоянного тока, сохранив их высокие технико-экономические показатели. Долгое время этого не удавалось достичь из-за отсутствия силовых полностью управляемых полупроводниковых преобразователей и быстродействующего информационного их обеспечения.

В 70-е годы 20-го столетия Блашке создал первую систему асинхронного частотного электропривода с векторным управлением, показав пути ее технической реализации [2].

Частотный асинхронный электропривод с векторным управлением по управляемости соответствует электроприводу с ДПТ НВ, который имеет каналы независимого управления магнитным потоком и электромагнитным моментом. Поэтому целью всех разрабатываемых систем векторного управления электродвигателями переменного тока стало создание условий, подобных условиям ДПТ НВ: 1) перпендикулярное расположение векторов, формирующих электромагнитный момент, 2) возможность независимого регулирования магнитного потока и электромагнитного момента. Хотя АД имеет преимущества перед ДПТ НВ в отношении размеров, к.п.д., максимальной скорости, надежности, стоимости и т.д., его нелинейная динамическая модель требует сложных систем управления по сравнению с ДПТ НВ. Общая динамическая модель АД может быть представлена уравнением 6-го порядка. Более того, стоимость преобразователя частоты для регулирования скорости АД в 3-5 раз превышает стоимость самого двигателя [1].

Чтобы иметь возможность независимого регулирования магнитного потока и электромагнитного момента АД, необходимо в систему управления вводить компенсирующие напряжения, а также осуществлять прямые и обратные координатные и фазные преобразования переменных [4].

Для формирования систем векторного управления АД используют следующие векторы потокосцепления: статора, взаимоиндукции и ротора.

В результате можно получить 3 вида векторного управления. Векторы потокосцеплений можно определять непосредственно или косвенно. В связи с этим различают прямое и косвенное векторное управление АД.

При прямом векторном управлении вектор потокосцепления измеряют по величине или, чаще всего, вычисляют, а также определяют его положение. Вычисление величины вектора потокосцепления и его положения выполняется по моделям магнитного потока. С целью повышения точности вычислений обычно в модели вводят обратные связи, и тогда они преобразуются в наблюдатели. Прямое векторное управление может быть реализовано с машинным датчиком скорости (положения) или без него, т.е. с косвенным определением скорости по модели.

Таким образом, можно различать: 1) прямое векторное управление с датчиком потокосцепления и датчиком скорости, 2) прямое векторное управление с косвенным определением потокосцепления и датчиком скорости, 3) бездатчиковое векторное управление, когда косвенно определяются потокосцепление и скорость.

При косвенном векторном управлении применяется модель АД, на основе которой выявляются внутренние связи между величинами, используемыми в управлении. Различают косвенное векторное управление с машинным датчиком скорости и без него.

Каждое из указанных видов векторного управления может отличаться различными векторами потокосцепления: статора, взаимоиндукции и ротора. Следовательно, можно насчитать 15 видов векторного управления. Как указано в [3], в настоящее время насчитывается более 20 видов векторного управления АД. Кроме того, применяется векторное управление синхронными двигателями.

Наиболее простым и распространенным является бездатчиковое косвенное векторное управление АД, но точность его реализации значительно ниже, чем при наличии машинных датчиков. Частично погрешность уменьшают за счет введения автоматической подстройки параметров. Тем не менее, современные бездатчиковые системы векторного управления АД не позволяют управлять моментом двигателя при нулевой скорости, а в грузоподъемных механизмах требуется такое управление.

В широком понимании к векторному управлению относят прямое управление моментом АД [3, 4].

# ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ МАГНЕТРОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТАНТАЛА НА НАНОСТРУКТУРНЫЙ НИТИНОЛ

Насакина Е.О., Гончаренко Б.А., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г.,  
Заболотный В.Т., Баикин А.С.

Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и  
материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

С развитием медицины и технических наук в человеческий организм внедряется все больше инородных материалов. Так сплавы никелида титана (нителинола) широко признаны как материал, идеально подходящий по механическим свойствам для производства имплантатов, в том числе медицинских изделий типа «стент», устанавливаемых практически во всем организме, то есть находящихся во взаимодействии со средами различной кислотности и состава. Это обстоятельство и содержание в сплаве тяжелых металлов вызывают необходимость повышения коррозионной стойкости материала к действию агрессивных сред организма.

В данной работе проведено исследование формирования защитного поверхностного слоя из тантала на наноструктурном нителиноле (Ni-55,91 вес %, Ti-44,03 вес %).

Поверхностный слой получали методом магнетронного распыления на нителиноловой подложке в газовой среде аргона. Аксиальный магнетрон с мишенью из химически чистого тантала работал на постоянном токе при напряжении смещения 100 В. Исследования послойного элементного состава проводились на атомно-эмиссионном спектрометре GDS-850A.

Поверхностный слой из тантала различной толщины получали за счет изменения мощности, подаваемой на магнетрон. Из результатов исследования послойного элементного состава (рис. 1-3) видно, что при прочих равных условиях эксперимента чем выше (в процентном отношении к максимально возможной) была подаваемая на магнетрон мощность, тем толще получался поверхностный слой. Так при мощности на магнетроне 50 % поверхностный слой составил около 29 нм, при 70 % - 32 нм, при 80 % - 42 нм. По литературным данным при большей мощности, подаваемой на магнетрон, атомы и ионы тантала, обладая большей энергией, подчиняясь взаимным соударениям и столкновениям с неровностями поверхности, некоторое время перемещались вдоль поверхности, заполняя ее более равномерно. Кроме того на всех зависимостях четко видно наличие переходного слоя, где присутствуют и нителинол (то есть никель, титан и примеси сплава), и тантал, что гарантирует лучшее сцепление поверхностного слоя с нителиноловой основой. Толщина переходного слоя в этих случаях приблизительно варьируется от 36 до 63 нанометров без четко выраженной зависимости от режима распыления. В ходе работы было также отмечено, что при нанесении поверхностного слоя без предварительного ионного травления нителиноловой подложки к последней

наблюдалась меньшая адгезия поверхностного слоя. Приложенное напряжение смещения увеличивало скорость напыления.

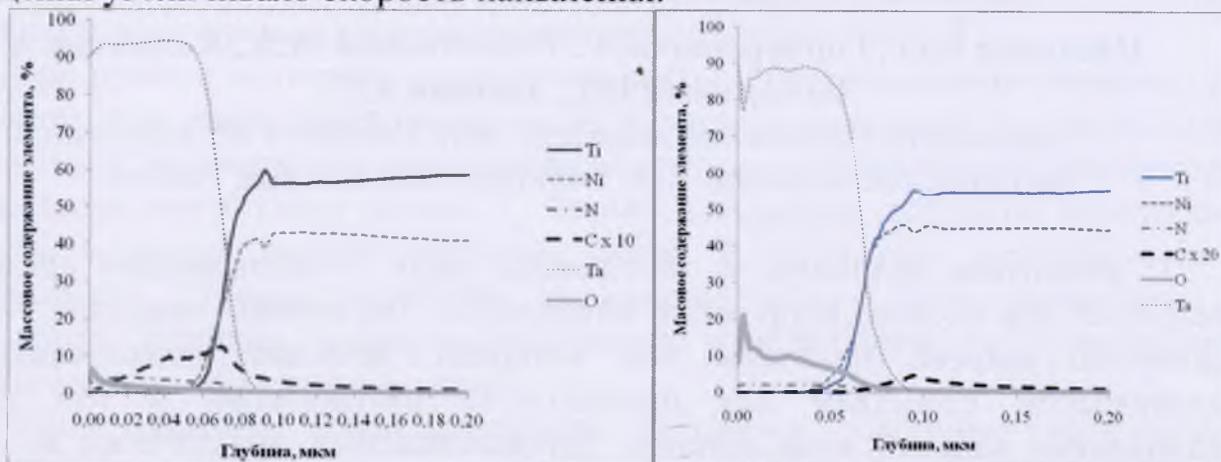


Рис. 1. Зависимость массового содержания элементов от глубины послойного исследования в образце с нанопленкой тантала, полученной при мощности, подаваемой на магнетрон во время нанесения покрытия, равной 80 % от максимально возможной.

Рис. 2. Зависимость массового содержания элементов от глубины послойного исследования в образце с нанопленкой тантала, полученной при мощности, подаваемой на магнетрон, равной 70 % от максимально возможной.

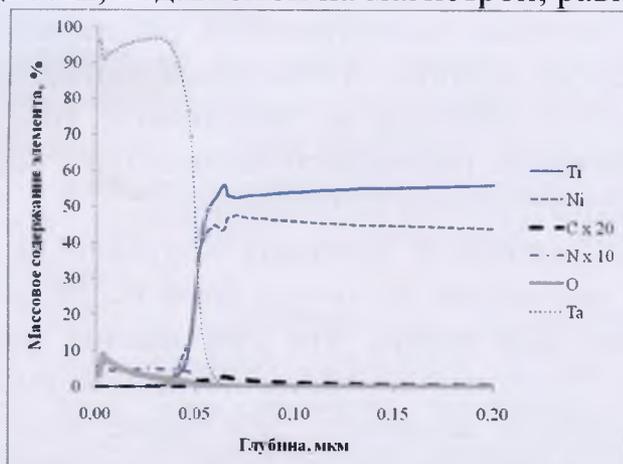


Рис. 3. Зависимость массового содержания элементов от глубины послойного исследования в образце с нанопленкой тантала, полученной при мощности, подаваемой на магнетрон во время нанесения покрытия, равной 50 % от максимально возможной.

Были сделаны выводы, что большая толщина и лучшее качество защитного поверхностного слоя из тантала на наноструктурном никелиде титана получается при большей мощности, подаваемой на магнетрон, и предварительном ионном травлении подложки нитинола.

## ДИНАМИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

**Сморodin В.С., Короткевич В.А., Короткевич Л.И., Маслович С.Ф.**  
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель,  
Республика Беларусь

Системный анализ сложных систем положен в основу исследований производственных систем с вероятностными характеристиками их функционирования (вероятностных производственных систем) как класса сложных систем. При этом под вероятностными характеристиками функционирования могут пониматься характеристики надежности функционирования оборудования, задействованного в ходе реализации технологического цикла производства, характеристики выполнения технологических операций, качественные характеристики используемых в процессе производства материалов и комплектующих изделий и другие. В качестве инструмента для реализации предлагаемого подхода используется динамическое имитационное моделирование, базирующееся на разработке динамических имитационных моделей.

Для построения компонентов динамической имитационной модели вероятностных производственных систем использовалась агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства, реализующая агрегатный способ имитации сложных систем, а также способ формализации вероятностных производственных систем на основе вероятностных сетевых графиков (ВСГР) [1]. При этом используется шесть типов агрегатов-имитаторов:

$АТОР_{ij}$  – агрегат-имитатор выполнения технологической операции ( $МТХO_{ij}$ );

$ASOB_i$  – агрегат-имитатор свершения  $i$ -го события в процессе имитации функционирования вероятностной производственной системы (ВПС);

$AOBIN_r$  – агрегат-имитатор функционирования оборудования индивидуального пользования с номером  $r$ ;

$AKAN_r$  и  $AOBOP_r$  – агрегат-имитатор совместного использования оборудования общего пользования с помощью выделенного канала;

$APROC_k$  – процедура-имитатор с номером  $k$  ликвидации аварийной ситуации при выполнении имитационной модели (ИМ) ВПС.

Каждый из этих агрегатов представляет собой реентерабельную программу из конечного множества математических моделей, составляющих математическую модель исходной вероятностной производственной системы. Упомянутые модели агрегатов-имитаторов в базе данных модели имеет свой набор переменных и статистик моделирования в соответствии с версией модели. Количество версий равно числу агрегатов данного типа в ИМ ВПС.

Динамика реализации алгоритмов этих агрегатов одинакова для каждого типа агрегатов, но каждая из версий может находиться в различных состояниях, согласно временной диаграмме реализации агрегатов в модельном времени

Вероятностная производственная система представляется в виде конечного набора взаимосвязанных математических моделей. Связь между компонентами математической модели исходной ВПС осуществляется посредством синхронизации взаимодействия агрегатов-имитаторов, входящих в состав моделей-компонентов.

На основании значений множества  $\{\pi_{аввi}\}$  агрегат события  $ASOB_j$  осуществляет технологическое резервирование. Кроме технологического резервирования, в ИМ ВПС предусмотрено автоматическое индивидуальное резервирование оборудования, которое включается при достижении фактической наработки оборудования его критического значения. До начала имитации эксперт-технолог устанавливает для каждого устройства порог  $Q_{0r}$  этой наработки. Фактическая наработка  $Q_{\phi r}$  накапливается на индикаторе  $Ind_r$ , путем добавления к значению этого индикатора при каждом использовании устройства некоторого приращения  $\Delta Q_{\phi r}$ . С интервалом  $\Delta \tau_{r3}$  значения этих индикаторов посылаются системе принятия решений  $SPRESH$  для обеспечения оперативного управления процессом имитации.

Окончательный вариант организации рациональной структуры технологического цикла, который соответствует текущему состоянию оборудования, принимается на основе анализа статистической информации, собранной в процессе функционирования имитационной модели.

Важной статистикой реализации ВСГР, лежащего в основе формализации вероятностной производственной системы, является граф критических путей ( $GR\_KRP_h$ ) в  $N$  реализациях в  $h$ -го варианта ВПС. Другой группой статистик  $\{ST_{hl}\}$  являются графики расхода ресурсов в модельном времени при  $l$ -й реализации ИМ ВСГР: ресурсов ( $GR_{1rl}$ ) с номером  $r$ , материалов и комплектующих изделий ( $GR_{2rl}$ ) с номером  $r$ , суммарного расхода финансовых средств ( $GR_{3l}$ ). Фиксируются также временные диаграммы использования: оборудования ( $DIAG_{1l}$ ), исполнителей ( $DIAG_{2l}$ ), бригад исполнителей ( $DIAG_{3l}$ ).

Эти статистики запоминаются в виде файлов графиков и диаграмм в базе данных имитационной модели и, по решению эксперта-технолога, могут направляться в систему принятия решений ( $SPRESH$ ) для выполнения анализа в цикле каждой  $l$ -й реализации имитационной модели. По завершении реализаций ИМ графики и диаграммы (в модельном времени  $t_0$ ) накладываются друг на друга системой  $SPRESH$  и в виде набора параметров ( $\theta_0$ ) передаются эксперту для выбора окончательного варианта структуры технологического цикла ВПС.

## **ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ**

**Вишнеревский В.Т., Букато К.С., Присмакин Н.М., Леневский Г.С.**  
Белорусско-Российский университет,  
Могилев, Республика Беларусь

Данная работа направлена на исследование проблемы проведения верификации математического описания элементов механической части электропривода с распределенными параметрами гиперболического типа. В данном случае распределенными по пространственной координате считаются такие параметры как масса и упругость.

Целью проведения исследования является получение достоверных знаний о применимости существующего математического описания указанных элементов.

В представленном докладе рассматривается экспериментальное получение логарифмических амплитудно-частотных характеристик передаточных функций элементов с распределенной упругостью от усилия к скорости.

Для получения требуемых характеристик в лабораторных условиях используется специализированная установка, которая позволяет прикладывать к исследуемому элементу изменяющееся синусоидально усилие переменной частоты и фиксировать изменение скорости в различных точках исследуемого элемента.

В промышленности на сегодняшний день используется большое множество систем электропривода, содержащих в своей механической части элементы с распределенными параметрами. Пренебрежение точностью математического описания рассматриваемых элементов при исследовании и синтезе систем может привести к возникновению колебаний, которые могут повлечь за собой такие последствия как брак продукции, возникновение аварийных ситуаций, а также возможность полного выхода оборудования из строя.

Требуемый результат в ходе проведения исследования достигается путем сопоставления расчетной логарифмической амплитудно-частотной характеристики с характеристикой, полученной экспериментальным путем в лабораторных условиях. Вывод о соответствии математического описания исследуемому объекту делается путем анализа показателей выбранных критериев точности.

В будущем полученные результаты будут использованы для проведения математического моделирования и синтеза систем управления электроприводами с упругими звеньями в механической части с учетом распределенности параметров.

## **УЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ**

**Фоменко Б. В.<sup>1</sup>**

1) Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт»  
Киев, Украина

В работе предложены алгоритмы учета технологических ограничений при формировании управляющих воздействий в системе автоматизации прямоточных котлоагрегатов. Использование предложенных решений возможно в рамках малозатратной модернизации.

### **Актуальность темы**

В действующих системах управления прямоточными котлоагрегатами учет технологических ограничений реализуется на уровне защит, которые срабатывают мгновенно или с выдержкой по времени, но в самих алгоритмах управления меры по предотвращению выхода переменных за пределы допустимого диапазона в процессе регулирования не предусмотрены. Срабатывание противоаварийных защит приводит к длительному выводу котлоагрегата из рабочего состояния, а далее - к его энергозатратному внеплановому пуску. Предотвратить такие ситуации можно путем использования систем управления с принудительным удержанием регулируемых переменных в рамках технологического регламента. С другой стороны, пересмотр ограничений на эксплуатационные режимы энергетического оборудования является одним из возможных путей экономии топлива. Таким образом, разработка и исследование алгоритмических и структурных решений, учитывающие технологические ограничения является актуальной научно-технической задачей.

### **Система управления с учетом ограничений**

В основе системы управления с учетом ограничений предложено использовать нелинейные структурные решения со следящими регуляторами ограничений. Было определено, что использование законов управления с защитой от удара, обусловленной дифференциальной составляющей, обеспечивает лучшее управление по сравнению с типовыми законами при работе энергоблока на минимальной или максимальной нагрузке [1]. Создана методика разработки многоконтурной системы управления с учетом ограничений и предложены формулы расчета дополнительных параметров регуляторов. Выбор результирующих формул расчета дополнительных параметров настройки состоял как в исследовании показателей качества регулирования, так и абсолютной устойчивости нелинейной системы с ограничениями. В результате, учет ограничений можно реализовать как на действующих системах управления, так и на этапе проектирования новых.

Реализация предложенных структурных и алгоритмических решений возможна с использованием промышленных контроллеров на нижнем уровне АСУТП. На основе выполненных исследований были выделены контуры регулирования проточного котлоагрегата, в которых учет ограничений является наиболее критичным. Особое внимание в работе уделяется методике пересчета технологических ограничений в зависимости от нагрузки энергоблока, требований к условиям эксплуатации поверхностей нагрева [2]. Предложенная методика может быть реализована на верхнем уровне АСУТП с дальнейшим использованием рассчитанных значений ограничений при формировании управляющих воздействий на уровне контроллеров.

#### Выводы

Использование разработанных структурных и алгоритмических решений по учету ограничений в алгоритмах управления основными технологическими переменными проточного котлоагрегата существенно повышает качество регулирования, уменьшает количество включения исполнительных механизмов и обеспечивает более плавное регулирование по сравнению с типовыми системами управления, повышает надежность и экономичность оборудования и системы в целом. Использование разработанных решений в системе регулирования проточного котлоагрегата дало возможность уменьшить интегральные модульные и квадратичные критерии как минимум в два раза и обеспечить лучшее качество регулирования при работе энергоблока в маневренном режиме. Предложенные алгоритмические и структурные решения можно в дальнейшем усовершенствовать использованием современных законов регулирования, обеспечивающих робастное управление в пределах основных режимов энергоблоков [3].

#### Литература

1. Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Бунке А.С. Повышение эффективности регулирования котлов путем учета технологических ограничений // Теплоэнергетика. – 2012. — №2. — С. 58-63.

2. Гулько О. В., Попов К.А., Стовбун И. Б. Температура металла поверхностей нагрева котла – источник повышения технической эффективности энергоблока // Энергетика и электрофикация. – 2006. — №4.– С. 12-15.

3. Фоменко Б.В., Степанец О.В., Бунке О.С. Підвищення ефективності систем автоматичного регулювання за рахунок врахування обмежень керованого сигналу // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2010. — №57. – С. 177-183.

## **РЕГУЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА И АВТОНАСТРОЙКОЙ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОНТУРОВ**

**Степанец А.В.<sup>1</sup>**

1) Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт»  
Киев, Украина

Сложность управления контурами энергетических установок

Теплоэнергетические объекты управления имеют ряд особенностей, затрудняющих управление ими: изменения в широких пределах динамических свойств из-за нагрузки и с течением времени, нелинейности, взаимосвязанность через объект большого количества технологических переменных, значительные запаздывания в информационных каналах. Примерами таких объектов являются энергоблоки, котлоагрегаты, системы отопления и кондиционирования, печи, сушилки и т.д.

Современные средства автоматизации позволяют реализовать более эффективные алгоритмы управления по сравнению с типовыми ПИ и ПИД, поэтому выбор оптимального алгоритма для определенного класса объектов является актуальной задачей.

АСУ на основе регуляторов с внутренней моделью и автоподстройкой

Согласно принципу структурно-параметрической оптимизации АСУ с обратной связью регулятор должен содержать динамическое звено с передаточной функцией, равной или близкой обратной передаточной функции объекта управления [1]. Для этого используется регулятор с внутренней моделью (ИМС-регулятор, Internal model control) [2]. Базовыми элементами системы с ИМС-регулятором, кроме самого объекта, являются его модель, повторяющая с достаточной точностью динамику установки, и регулятор. Регулятор представляет собой часть модели объекта, которая может быть обращена. Инвертированная часть модели дополнена апериодическим фильтром, порядок которого должен быть не ниже, чем у исходной модели. Фильтр уменьшает влияние высокочастотных помех и участвует в формировании управляющего воздействия), а его постоянная времени является отдельным параметром настройки системы, отвечающим за её робастность.

Теплоэнергетические объекты обладают существенной инерционностью, поэтому на базе ИМС-регулятора разработана каскадная система автоматического регулирования. Во внутреннем контуре используется регулятор с двумя степенями свободы, улучшающий обработку возмущений опережающего контура по сравнению с типовой структурой. Внешний контур использует в качестве модели объекта описание инерционной части, но с транспортным запаздыванием, равным запаздыванию всего объекта, и поправкой на динамику внутреннего контура. Такая структура разрешает

компромисс между выбором значений настроечных параметров для качественной отработки заданий и противодействия возмущениям.

Для функционирования разработанной системы управления в переменных режимах работы теплоэнергетического оборудования необходимо наличие автоматической подстройки. Для этого необходим специальный метод идентификации, обеспечивающий быстрое решение с минимальным отклонением регулируемой величины от рабочей точки во время процедуры. В качестве решения можно использовать метод, основанный на анализе начального участка переходного процесса [3]. Использование ключевых точек (начало процедуры идентификации, максимум первой производной контролируемой величины) и аналитических зависимостей параметров модели от этих точек дает возможность получить достаточно точный результат, не дожидаясь конца переходного процесса. Идентификация может выполняться автоматически благодаря формализации алгоритма.

Контур автоподстройки представляет собой математически-логический модуль, где определяется необходимость подстройки, формируются необходимые для нее условия, слежение за процессом во время идентификации и анализ результатов. Нагрузка, которая часто является причиной изменения параметров объекта, также используется для коррекции параметров модели.

#### Выводы

Разработанные алгоритмы могут применяться как в локальных системах автоматизации на основе промышленных контроллеров, так и на стороне супервизорного управления всем оборудованием в целом.

Объединение структуры регулятора с внутренней моделью, имеющей бесспорные преимущества перед традиционными ПИД-регуляторами в плане обеспечения требуемых показателей качества и настройки системы управления, с эвристическим адаптивным контуром, позволяет спроектировать высокоэффективную и устойчивую к дрейфу параметров объекта систему управления теплоэнергетическими контурами.

#### Литература

1. Сенигов П.Н. Теория автоматического управления: Конспект лекций // Челябинск: ЮУрГУ. — 2001. — 93с.
2. Brosilow C., Joseph B. Techniques of Model-Based Control Brosilow // USA: Prentice Hall. — 2002. — 704 p.
3. Мовчан А.П., Мысак В.Ф., Степанец А.В. Идентификация объектов управления в адаптивных системах управления. Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні наукові дослідження –'2006» // Д.: Наука і освіта. — 2006. – С. 60-63.

## **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННО-ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ**

**Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.**

Белорусский национальный технический университет

Системный анализ эффективности функционирования систем автоматического управления технологическими процессами энергоблоков тепловых электрических станций (ТЭС) указывает на необходимость их существенной модернизации. Это обусловлено в белорусской энергосистеме планируемым вводом двух энергоблоков атомной электрической станции (АЭС), которые будут работать в базовой части графика электрической нагрузки. В связи с этим часть энергоблоков ТЭС вынуждена будет работать в широком диапазоне изменения режимов в полупиковой и пиковой части графика электрической нагрузки.

В этих условиях для повышения экономичности, надежности, долговечности (срока службы), безопасности работы энергоблоков и уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду необходимо внедрять инновационно-прорывные технологии автоматизации технологических процессов, позволяющие существенно улучшить качество регулирования, как при плановых, так и внеплановых изменениях нагрузки энергоблоков.

Вместе с тем использование традиционных методов теории автоматического управления для существенного улучшения качества регулирования технологических процессов энергоблоков не позволяет решить следующие проблемы.

Проведение экспериментальной идентификации моделей теплоэнергетических объектов обусловлено необходимостью прохода «узкой тропинки, ведущей между трясиной сложности и пропастью упрощений»:

1) модель объекта более высокого порядка лучше совпадает с экспериментальными данными, но не может быть использована для расчета параметров оптимальной динамической настройки типовых регуляторов. Поэтому для их расчета традиционно применяют упрощенные модели объектов малого порядка, что приводит к ухудшению качества регулирования реальных более сложных объектов. Вместе с тем имеется целый ряд технологических объектов, динамика которых отличается от моделей типовых объектов, которые используются для структурно-параметрической оптимизации систем автоматического регулирования (САР). Кроме того, выбор аппроксимирующей передаточной функции объекта часто определяется не только видом переходной характеристики объекта, но и выбранным методом расчета параметров динамической настройки регуляторов, так как большинство из них разработаны с учетом выбора определенного вида передаточной функции;

2) традиционный метод релейной идентификации и его модификации, являющиеся в настоящее время самыми распространенными при расчетах пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторов с автоматической настройкой, не применим для большинства объектов из-за большой ошибки, и используется только для грубой настройки [1];

3) противоречия между требованием высокой точности отработки задающего воздействия и инвариантностью по отношению к возмущающим воздействиям, то есть проблема номер один. Проблема заключается в обосновании выбора критерия или показателя качества, так как с точки зрения возможной точной отработки задающего воздействия амплитудно-частотная характеристика системы должна иметь широкую полосу пропускания, но для парирования возмущающих воздействий полоса пропускания системы должна быть узкой, согласованной со спектром возмущений таким образом, чтобы максимум этого спектра лежал вне полосы пропускания системы [2];

4) выбор типа регулятора в зависимости от сложности объекта из-за монополярности типовых промышленных регуляторов ограничен, что порождает проблему «технического противоречия» между быстродействием и устойчивостью системы;

5) расчет параметров оптимальной динамической настройки типовых регуляторов на основе традиционных интегральных критериев качества не позволяет определять прямые показатели качества при отработке основных воздействий без построения соответствующих переходных процессов в системах автоматического регулирования.

Нестабильность динамических характеристик энергоблоков, работающих в переменных режимах, не позволяет существенно улучшить качество регулирования технологических параметров с использованием традиционных методов.

Решение указанных проблем возможно на базе предлагаемых методов структурно-параметрической оптимизации САР с применением феномена золотого сечения. Методы основаны на использовании инверсных моделей объектов регулирования любого порядка сложности, а также соответствующих им по структуре моделей замкнутых САР в качестве критериев оптимизации.

Использование предлагаемых комбинированных САР позволит сократить время отработки задающего воздействия и крайнего внешнего возмущения в три 3 раза по сравнению с типовыми САР, а модернизация регуляторов впрысков при плановом изменении нагрузки уменьшает максимальную динамическую ошибку регулирования в 5,3 раза, а линейную интегральную ошибку регулирования в 10 раз. Это позволяет существенно улучшить качество регулирования при небольших инвестициях в САР.

#### Литература

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессам, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия - Телеком, 2009. – 608с.

2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Перевод с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ШЛИФОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Исаков Д.В.**

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

В настоящее время все существующие методы проектирования шлифовальных операций позволяют для обработки заготовок одной детали выбрать характеристику ШК и рассчитать режимы резания, обеспечивающих заданную чертежом точность и шероховатость шлифуемой поверхности. Для обработки заготовок разных деталей, отличающихся материалом, требованиями по точности и шероховатости поверхностей, существующие методы предусматривают выбор характеристики ШК и режимов резания для каждой из этих деталей. Поэтому использование этих методов вполне допустимо для операций шлифования, выполняемых в условиях массового и крупносерийного производства, где на одном станке, в течение длительного периода времени обрабатывают заготовки только одной детали.

Использование существующих методов для проектирования шлифовальных операций, выполняемых в условиях средне- и мелкосерийного (далее по докладу - серийного) производства, доля которого в машиностроении составляет более 80% и постоянно увеличивается, приводит к большим необоснованным затратам на инструментально-режимное оснащение этих операций.

Характерной особенностью шлифовальных операций, выполняемых в условиях серийного производства, является то, что заготовки на станок поступают партиями, каждая из которых может отличаться от других числом заготовок; а сами заготовки в разных партиях могут отличаться материалом, требованиями по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Совершенно очевидно, что использование существующих методов проектирования операций шлифования в данных производственных условиях приводит к увеличению числа ШК разных характеристик. С увеличением числа ШК, увеличиваются затраты на их приобретение и хранение, а так же на оплату времени по их замене, включающее демонтаж ШК, получение нового круга, его балансировку, установку круга на станок, балансировку круга непосредственно на станке, первоначальную правку круга, его работу в течение 3-5 минут на холостом ходу. В некоторых случаях, особенно при сравнительно небольших партий заготовок, затраты времени на замену ШК, сопоставимы и даже превышают затраты, непосредственно связанные с обработкой этих партий.

Поэтому в условиях серийного производства часто одним и тем же ШК обрабатывают заготовки разных деталей из различных материалов, а путем варьирования режимами резания, главным образом, скоростями подачи

обеспечивают различные требования по точности и шероховатости поверхностей.

Рекомендаций по проектированию таких шлифовальных операций нет ни в нормативно-технических справочниках, ни в другой научно-технической литературе. По этой причине, все вопросы инструментально-режимного оснащения принимает рабочий, исходя из собственного опыта, при этом, как правило, они значительно отличаются от оптимальных.

Таким образом, в серийном производстве существует значительный резерв повышения экономической эффективности инструментально-режимного оснащения операций шлифования, использование которого требует создания соответствующей информационно-справочной базы. Учитывая большое количество операций шлифования в серийном производстве, необходимость их скорейшего проектирования, а так же многообразие возможных технологических условий их выполнения, становится очевидным, создание такой справочной базы в виде системы автоматизированного проектирования.

С учетом рассмотренных особенностей произведена содержательная постановка задачи оптимизации инструментально-режимного оснащения шлифовальных операций, выполняемых в условиях серийного производства.

Для решения этой задачи установлен критерий эффективности, сформирована целевая функция и система ограничений. Обоснован метод поиска оптимального варианта инструментально-режимного оснащения.

Задача инструментально-режимного оснащения операций шлифования, выполняемых в условиях серийного производства, относится к задачам комбинаторного программирования, для решения которых разработаны методы и алгоритмы, использующие идею направленного перебора. Наиболее приспособленным методом решения поставленной задачи является *метод ветвей и границ*, суть которого заключается в направленном частичном или полном переборе допустимых решений и отсеке тех из них, которые заведомо не содержат оптимальных решений. На основе этого метода разработан алгоритм решения поставленной задачи.

Разработанный алгоритм внедрен в автоматизированную базу данных характеристик абразивного инструмента и режимов резания в качестве программного обеспечения, который в совокупности с результатами тестовых испытаний ШК образуют информационно-справочную базу, предназначенную для автоматизированного проектирования экономически эффективных операций шлифования. Она впервые позволила решать задачи определения научно обоснованных режимов резания, основного времени обработки операций шлифования и формирования рациональной номенклатуры ШК, необходимых для выполнения производственной программы. Такая справочная база создана и эксплуатируется в Уральском научно-исследовательском институте абразивов и шлифования и успешно прошла промышленную апробацию на машиностроительных предприятиях в виде готовых под «ключ» решений по инструментально-режимному оснащению операций шлифования.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШАГОВОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОСВОБОЖДЕНИЯ ИГОЛЬНЫХ НИТОК.

Новиков Ю.В., Богатенко В.А.

УО «Витебский государственный технологический институт», г. Витебск

Опытный образец многоигольного вышивального полуавтомата имеет автоматические механизмы: базирования игольницы, обрезки, улавливания конца игольной нитки, освобождения игольной нитки.

Каретка с пальцами из зоны загрузки-выгрузки подается в зону вышивания в ручную. С пульта производится запуск программы вышивки. В процессе вышивания могут выполняться: запуск привода швейной головки, выполнение стежков вышивки заданного рисунка, обрезка верхней и нижней ниток, останов главного вала, смена цвета игольной нитки и т.д.

При завершении фрагмента вышивки одним цветом нитки, осуществляется обрезка нитки (срабатывают механизм автоматического освобождения регуляторов натяжения игольной нитки и механизм автоматической обрезки игольной нитки).

Исполнительный механизм автоматического освобождения натяжения игольной нитки имеет привод от шагового электродвигателя, который получает сигналы на включение от датчиков положения, закрепленных на распределительном валу швейного полуавтомата.

Конструкция механизма автоматического освобождения натяжения игольной нитки приведена на рис.1. На рис. обозначены: 1- пластина, 2- тарелочки, 3- основание толкателя, 4- шаговый электродвигатель, 5- кожух, 6- корпус регулятора, 7- пружина, 8- толкатель, 9- шпилька, 10- винт, 11 и 12- установочные винты, 13- гайка, 14- круглая гайка, 15- отжимная шайба, 16- стопорная шайба, 17- резьбовая шпилька, 18 - кулачек.

В соответствии с циклограммой устройству натяжения игольной нитки, приводимому в движение от шагового электродвигателя, отводится угол поворота  $\Delta\varphi$  распределительного вала, в течение которого должно произойти его срабатывание. Полное разжатие тарелочек регулятора натяжения игольной нитки должно произойти к моменту входа ножа набора в петлю игольной нитки, т.е. при  $\varphi = \varphi_{вх} < 308^\circ$ .

В связи с этим поставлены следующие задачи:

- исследование требуемой величины перемещения тарелочек регулятора кулачком от шагового электродвигателя для надежного освобождения натяжения игольной нитки;

- исследование времени срабатывания устройства с целью определения соответствия его циклограмме работы полуавтомата.

Экспериментально необходимо определить перемещение штока кулачком от приводимым в движение шаговым электродвигателем, при котором игольная

нитька перемещается беспрепятственно с минимальным натяжением между тарелочками регулятора натяжения ниток.

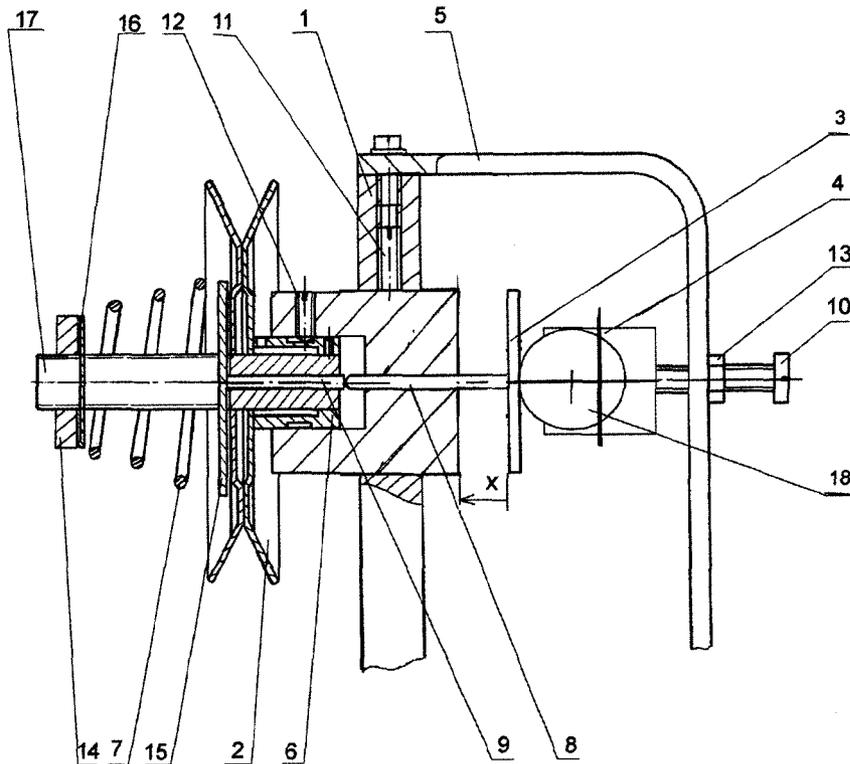


Рис. 1 Конструкция механизма автоматического освобождения игольных ниток.

Минимальное натяжение игольной нитки устанавливается при  $x > 0,8$  мм, с уменьшением силы натяжения  $F$  игольной нитки в период ее набора ножами увеличивается длина конца игольной нитки, остающейся в игле после обрезки.

Для того чтобы обеспечить длину  $l$  конца игольной нитки  $l > 45$  мм, сигнал на шаговый электродвигатель от блока управления должен поступать к началу набора игольной нитки ножом обрезки, необходимо чтобы тарелочки регулятора были разжаты на величину  $x$  не менее  $0,4$  мм.

Необходимо определить зависимость длины нитки от исходного положения якоря электродвигателя, скорости разгона и торможения. Требуется экспериментальное исследование механических характеристик ШД.

Время срабатывания  $t_{ср}$  и угол  $\Delta\varphi$  связаны неравенством

$$t_{ср} \leq \frac{\Delta\varphi}{\omega_{дов}},$$

где  $\omega_{дов}$  -угловая скорость доводки распределительного вала.

Для проверки неравенства необходимо на стадии проектирования определять время срабатывания  $t_{ср}$  шагового электропривода привода исполнительного механизма.

## **УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Александровский С.В., Петренко Ю.Н.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Постоянное повышение качества выпускаемой продукции требует применения современных средств автоматизации технологических процессов. Одним из таких средств служит автоматизированный электропривод, который также является эффективным средством энергосбережения поскольку электрические двигатели потребляют около 60% от всей вырабатываемой электроэнергии.

Основными частями современного регулируемого электропривода являются силовой электрический преобразователь (коммутатор), электромеханический преобразователь (двигатель) и система управления. Развитие в области силовой и вычислительной электроники способствовали развитию регулируемого электропривода переменного тока, в том числе на основе вентильно-индукторного двигателя (ВИД).

Основные преимущества привода с ВИД обусловлены простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями, что позволяет непрерывно расширять область применения регулируемого электропривода [1].

Вместе с тем вентильно-индукторный привод (ВИП) имеет ряд специфических особенностей, наиболее характерные из которых следующие: - питание фазных обмоток однополярными импульсами; - дискретный характер управления; - изменение в широком диапазоне состояния магнитной системы; - двусторонняя зубчатость магнитной системы двигателя. Это приводит к тому, что особое значение приобретают различные способы регулирования тока и момента ВИП.

В настоящее время в мировой практике существует устойчивая тенденция, наряду с совершенствованием традиционных классических систем управления автоматизированным электроприводом, разработки систем, основанных на приемах искусственного (компьютерного) интеллекта. Исследования в области экспертных систем привлекает все нарастающее внимание в научной и инженерной среде. В особенности это относится к нечеткой логике (fuzzy logic), нейронным сетям (neural networks) и вероятностным методам, таким как генетические алгоритмы (genetic algorithms). Со времени возникновения понятия “искусственный интеллект”, который можно назвать с таким же правом “компьютерный интеллект”, продолжается дискуссия относительно его принадлежности к интеллекту вообще, которой возможно не будет конца. Автоматизированный электропривод как технологическая отрасль, претерпел существенные изменения и достиг, в определенном смысле, совершенства. Определенным этапом интеграции систем управления электроприводом

явилось создание ведущими электротехническими фирмами программируемых микроконтроллеров и промышленных компьютеров. Свидетельством широкого распространения подобных систем является появившийся недавно термин “компьютеризированный электропривод” [2].

Актуальная задача управления током и моментом ВИП может быть решена с применением средств на основе нечеткой логики.

Преобразование момент-ток с последующим распределением задания тока по фазам можно реализовать с применением контроллера нечеткой логики (КНЛ). Тогда структурная схема ВИП с применением КНЛ будет иметь вид как показано на рисунке 1.

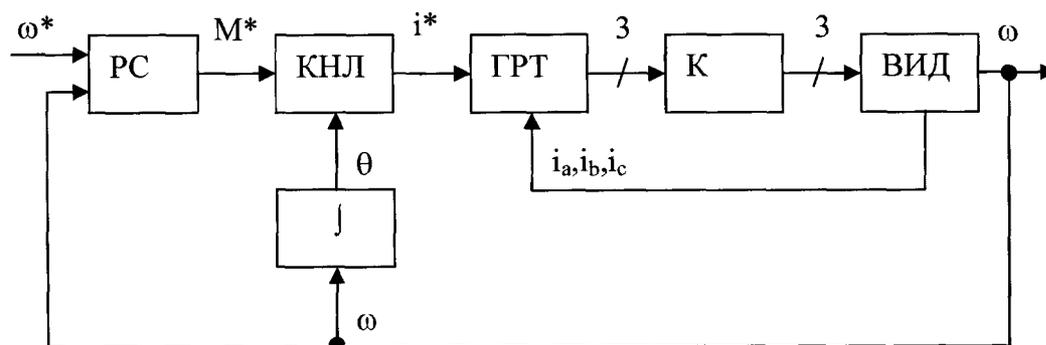


Рисунок 1 - структурная схема ВИП с применением КНЛ

На рисунке приняты следующие обозначения: РС - регулятор скорости, ГРТ - гистерезисный регулятор тока, К - коммутатор.

КНЛ представляет собой структуру состоящую из блока фазификации, блока базы знаний и блока дефазификации. В блоке фазификации происходит преобразование входных величин сигналов задания в функции принадлежности КНЛ, которые в соответствии с лингвистическими выражениями базы знаний определяют функции принадлежности выходов. В блоке дефазификации функции принадлежности выходов преобразуются в выходные величины сигналов управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский, С.В. Перспективы применения вентильно-индукторных двигателей в промышленных и транспортных установках / С.В. Александровский // Информационные технологии в промышленности: тезисы докл. 5-й межд. науч.-техн. конф., Минск, 22-24 октября 2008г.: ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: Е.В. Владимиров [и др.]. – Минск, 2008. – С. 91-92.
2. Петренко, Ю.Н. Исследование работы мостового крана с контроллером нечеткой логики на основе трехмерной имитационной модели / Ю.Н. Петренко, С.Э Алави, С.В. Александровский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – №3. – С. 20–25.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН**

**Волков С. А.**

ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», Рыбинск, Российская Федерация

В настоящее время во многих отраслях промышленности к технологическим процессам изготовления деталей предъявляются высокие требования по точности, надежности и стабильности, для обеспечения которых широко используются различные системы автоматизации проектирования технологии. Однако, в таких системах решение многих технологических задач не автоматизировано и базируется на использовании имеющегося производственного опыта, что не всегда приводит к оптимальным результатам. Так, например, не учитываются требуемые эксплуатационные показатели деталей и их соединений, что приводит к снижению уровня надежности выпускаемой продукции.

Для решения задачи автоматизированного формирования маршрута обработки, исходя из обеспечения заданных эксплуатационных показателей деталей, предлагается использовать комплексную, структурно-параметрическую оптимизацию технологического процесса. Это связано с тем, что для выбора оптимального маршрута обработки по заданному критерию необходимо, во-первых, сформировать оптимальным образом сам набор методов обработки, т.е. определить число, виды и последовательность операций (структурная оптимизация), во-вторых, определить оптимальное значение технологических условий обработки на каждой операции, произвести расчет операционных размеров и т.п. (параметрическая оптимизация). В процессе разработки системы оптимизации маршрута обработки использовался модульный принцип, что позволило уменьшить сложность проектирования; упростить процесс разработки и отладки информационного и программного обеспечения; облегчить процедуры модификации и усовершенствования системы.

Первоначальный выбор методов обработки предлагается осуществлять исходя из эксплуатационных требований, предъявляемых к тем или иным сопрягаемым поверхностям деталей машин и их узлов. Поэтому, требуемый комплекс эксплуатационных показателей или один из них должен определяться, исходя из совместного анализа условий эксплуатации и технических условий на изделие .

Для формирования вариантов маршрута обработки поверхности автором использовался принцип многоуровневой декомпозиции процессов проектирования, согласно которому проектирование процесса или объекта расчленяется на несколько взаимосвязанных стадий, характеризующихся

последовательно возрастающей от уровня к уровню степенью детализации проектных решений. В соответствии с вышеизложенным, процесс проектирования предлагается расчленить на три уровня: разработка принципиальной схемы технологического процесса, формирование маршрута обработки поверхностей, разработка операционной технологии.

Предложенная методика автоматизации проектирования технологических процессов в настоящий момент реализована в виде отдельного программного модуля, который взаимодействует с пакетом программ «Техкард» («TechCard») (разработчик – ОДО «Интермех», г. Минск, Беларусь). «Техкард» в настоящее время широко используется на ОАО «НПО «Сатурн» (г. Рыбинск) с целью автоматизации разработки конструкторской и технологической документации. Стыковка внешнего модуля автоматизации формирования маршрута обработки с САПР «Техкард» позволила использовать готовые решения по созданию информационно-поисковой системы, подготовке исходной технологической информации, формированию и выводу технологической документации.

Для решения задач, связанных с параметрической оптимизацией технологического проектирования был разработан расчетный модуль, позволяющий на основе теории графов произвести оптимизационный расчет минимальных припусков на обработку и операционных размеров.

С целью решения задачи автоматизации расчета режимов резания был практически реализован оптимизационный алгоритм, основанный на методе нежесткого допуска и позволяющий рассчитать режимы обработки, исходя их критериев (параметры качества поверхностного слоя, точность обработки, экономические показатели и др.), заданных пользователем (технологом).

Модули по расчету режимов резания и межоперационных припусков и размеров были состыкованы с рассмотренным выше модулем автоматизированного проектирования технологических процессов, что позволило решить вопрос комплексной автоматизации технологического проектирования.

Таким образом, в рамках данной работы разработана и практически реализована методика комплексной автоматизации проектирования технологических процессов обработки поверхностей деталей с учетом их эксплуатационных характеристик.

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кожевников М.М.<sup>1</sup>, Чумаков О.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Высокая эффективность применения искусственных нейронных сетей для решения задач мониторинга состояния сборочно-сварочных роботов-манипуляторов показана в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей. Большинство алгоритмов адаптации параметров нейронных сетей, предложенных в этих работах, основаны на градиентных процедурах поиска. Такой подход не учитывает специфику динамики современных роботизированных технологических комплексов сборки и сварки, а именно устойчивость замкнутой процедуры адаптации и сходимость идентификационных алгоритмов. В данной работе предложен новый неросетевой подход к решению задачи мониторинга переменных состояния сборочно-сварочного робота, который в отличие от известных, гарантирует асимптотическую устойчивость схемы идентификации робота в целом, а также сходимость алгоритма настройки параметров нейронной сети. Рассмотрены две реализации предложенного метода с использованием многослойной нейронной сети с сигмоидальными функциями и двухслойной нейронной сети с радиальными базисными функциями. Эти неросетевые структуры комбинируются с динамическими элементами, в форме устойчивых фильтров, для получения рекуррентных процедур идентификации законов изменения скорости движения сочленений робота-манипулятора. Показано что предложенный метод гарантирует устойчивость системы при наличии измерительного шума от датчиков скорости. Исследовано свойство робастности разработанной модели. Представлены результаты моделирования, иллюстрирующие возможности предложенного метода для мониторинга и диагностики состояния робота манипулятора типа SCARA в реальном режиме времени. Показано, что предложенный метод позволяет эффективно идентифицировать, как номинальную динамическую модель робота, при наличии измерительного шума, так следующие виды неисправностей робота-манипулятора: остановка звена, свободные колебания звена, насыщение и не аддитивные изменения в динамике звеньев робота.

Для обнаружения отклонений в динамике сборочно-сварочного робота использованы контрольные карты типа  $X, R, S$ , которые, как показал проведенный анализ, позволяют достичь наилучшей достоверности при мониторинге состояния. При этом диапазон изменения анализируемых параметров разделен на три равные зоны и применено 10 правил, нарушение

которых в режиме нормальной эксплуатации маловероятно. К числу этих правил относятся: «Выход за контрольные границы», «Выход ниже/выше центральной линии» (7 из 7, 10 из 11, 12 из 14, и 14 из 16 точек), «Попадание в зону С» (15 из 15 точек), «Избежание зоны С» (4 из 5 точек), «Точки в зоне А или вне зоны А» (2 из 3 точек), «Линейный тренд» (7 точек), «Колебательный тренд». При этом, для снижения вероятности ошибок диагностики, эти правила применяются совместно.

Для дальнейшего повышения достоверности мониторинга использована модификация нейронной сети обратного распространения (FFN). Эта сеть представляет собой четырехслойную структуру, содержащую 21 нейрон во входном слое. Входной слой используется для ввода данных от контрольных карт (20 последовательных точек и математическое ожидание  $M$ ). Выходной слой сети состоит из одного нейрона, а его выход принимает значения 1 или 0 (соответственно для нормального и аварийного состояния работа-манипулятора). Два скрытых слоя сети содержат 40 и 60 нейронов соответственно. Для активации нейронов в скрытых и выходном слоях используется функция гиперболического тангенса.

Для обучения сети применялся алгоритм обратного распространения, с параметром скорости обучения 0.5. В процессе обучения весовые коэффициенты настраивались таким образом, чтобы минимизировать, среднеквадратичную ошибку ( $MSE$ ), между вектором состояния сети и обучающим множеством. Для обучения было сгенерировано 3800 наборов данных (1000 для нормального функционирования робота и 2800 для различных типов аварийных ситуаций). Веса нейронной сети модифицируются до тех пор, пока не выполняются условия  $\varepsilon \leq \varepsilon_{\max}$  или  $i \leq i_{\max}$ , где  $\varepsilon$  - величина  $MSE$ ,  $i$  - количество итераций.

В процессе исследования рассмотрен ряд четырехслойных сетей обратного распространения, отличающихся значениями размерности скрытых слоев  $h_1$  и  $h_2$ , а обучение проводилось до достижения значений  $\varepsilon_{\max}=10^{-5}$  или  $i_{\max}=3000$ . Для тестирования этих сетей использовано 140 наборов данных для аварийных режимов и 50 наборов данных для режима нормального функционирования. По результатам моделирования показало, что минимальная величина  $\varepsilon=0.00015$  достигается при размерности скрытых слоев  $h_1=50$  и  $h_2=40$ . Однако для случая  $h_1=60$  и  $h_2=40$ , получено большее число корректно распознанных ситуаций (94%).

Эффективность предложенного подхода к мониторингу состояния подтверждается примерами практического применения в системах управления промышленными роботами-манипуляторами SCARA и PM-01.

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМ МИКРОСКОПОМ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

Филиппов Р.А. Малофеев А.Е.

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»

Вопросы автоматизации процесса проведения лабораторных исследований являются наиболее актуальными при использовании дорогостоящего уникального оборудования. Также актуальным является вопрос предоставления удаленного доступа к высокотехнологичному оборудованию. Такой доступ может быть осуществлен как посредством локальной вычислительной сети, так и через глобальную сеть Интернет. Для предоставления автоматизированного удаленного доступа, в том числе и через Интернет к такому оборудованию необходимо создавать специализированное программное обеспечение.

В рамках задачи осуществления удаленного управления лабораторией микроскопического анализа был разработан программно-аппаратный комплекс, объединенный единым интерактивным веб-интерфейсом, представленном на рисунке 1.

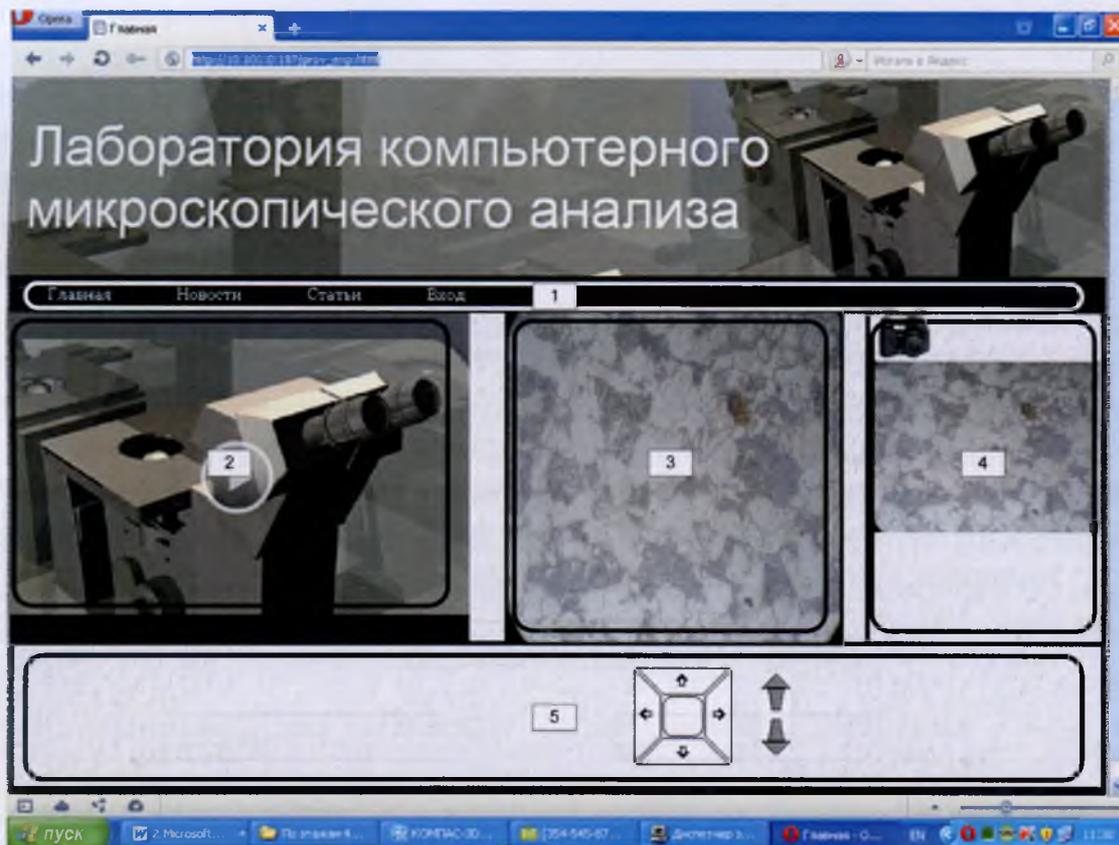


Рисунок 1. Веб-интерфейс удаленного управления лабораторией микроскопического анализа, 1 – горизонтальное меню, 2 – видео плеер, 3 – видео с камеры, 4 – меню получения фотографий микроструктур, 5 – меню управления по координатам  $x, y, z$ .

Интерфейс, представленный на рисунке можно разделить на 5 функциональных блоков. Первый блок представляет собой горизонтальное меню, которое позволяет оставить запрос на доступ к элементам управления,

осуществить навигацию по информационным и программным разделам данного комплекса. Второй блок представляет собой плеер, получающий видео, транслируемое из лаборатории. Плеер позволяет прервать трансляцию и возобновить ее при возникновении необходимости. В третьем блоке отображается видео, получаемое из камеры, установленной на микроскопе, что в совокупности с 5 блоком, отвечающим за управление двух координатным столом, и позволяет ориентировать заготовку в необходимое положение для получения фотографии ее микроструктуры, для проведения дальнейших исследований. Фото микроструктуры получается нажатием на изображение фотоаппарата в 4 блоке. В этом же блоке отображаются полученные фотографии, в конкретном эксперименте.

Представленный интерфейс позволит организовать доступ к комплексу для решения ряда задач:

Доступ к базе микроструктур, исследование которых проводилось в данной лаборатории, данная функция позволяет изучить проведенные ранее исследования.

Доступ к методическим материалам, таким как информация по возможностям работы с лабораторией.

Удаленное фотографирование микроструктур для дальнейшей работы с ними.

Управление двух-координатным столом и управление фокусом фотоаппарата, что позволяет осуществить полноценную работу с микроскопом без необходимости находится непосредственно рядом с ним. Для более удобного управления двух-координатным столом, выводится видео поток с камеры, установленной на микроскопе.

Построение объёмных моделей исследуемой поверхности по её цифровым изображениям.

В процессе удаленного доступа к комплексу пользователь имеет возможность работать с микроскопом аналогично исследователю, работающему непосредственно на самом оборудовании. Данная схема позволяет проводить научные исследования в области микроструктурного и микрогеометрического анализа различных образцов и деталей в условиях дистанционного доступа, что значительно повысит эффективность использования дорогостоящего научного оборудования.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ**

**Сутягин А. Н.**

ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», Рыбинск, Российская Федерация

Современное машиностроение предъявляет особые требования к повышению уровня надежности и увеличению ресурса машин. Основные эксплуатационные свойства деталей машин зависят не только от точности их изготовления, но и от качества их поверхностей, которое определяется совокупностью характеристик шероховатости поверхности, физико-механического состояния и микроструктуры поверхностного слоя металла.

Изменение методов и режимов механической обработки оказывает воздействие через отдельные характеристики качества поверхности на износостойкость. Это воздействие может по-разному отражаться на надежности и работоспособности деталей, так как вследствие дефектов поверхностного слоя в материале детали протекает процесс более быстрого накопления повреждений, приводящих к образованию трещины, её развитию и разрушению детали. Особенно актуальна эта проблема в авиастроении, космической технике и других отраслях машиностроения, где аварии вследствие разрушения ответственных деталей не допустимы.

Разрушение при износе имеет кумулятивный характер и является результатом последовательного многократного накопления повреждений, поэтому износостойкость весьма чувствительна к незначительному изменению свойств материалов.

В послеприрабочном периоде проведенная приработка должна обеспечивать устойчивую длительную работу без повреждений трибосистемы за весь срок ее службы до ремонта механизма. Приработка значительно влияет на последующую длительную работу трибосистемы. Во многом устойчивая работа определяется состоянием поверхностных слоев пары трения, образованных в период приработки. Поверхностные слои элементов трибосистемы, испытывая интенсивную пластическую деформацию, нередко провоцируемую нагрузочно-скоростными параметрами, использованием поверхностно-активных веществ и химически активных веществ, иногда приобретают непоправимые повреждения. В последующем такие повреждения могут быть источниками разрушения узла трения. К их числу относятся: повреждения отдельных структурных составляющих, располагающиеся на отдельных участках пар трения; повреждения на большей части трущейся поверхности.

В послеприрабочном периоде работоспособность трибосистемы во многом определяется износостойкостью материалов пары трения, сопротивляемостью усталостным повреждениям и способностью воспринимать

возможные перегрузки и режимы нарушения сплошности масляного слоя без образования непоправимых повреждений.

В процессе трения устанавливается особое состояние поверхностных слоев, зависимое от многих факторов. Толщина активного слоя составляет от долей микрона до десятков микрон, а подповерхностного до нескольких миллиметров. Активный поверхностный слой тесно связан с подповерхностным, представляя единый ансамбль фрикционного взаимодействия контактирующих тел.

Независимо от режимов трения и материалов активный поверхностный слой испытывает пластическую деформацию и участвует в физико-химических трибореакциях. Поверхностный слой имеет значительную адсорбционную способность, благодаря чему реальные металлы покрыты несколькими адсорбционными слоями, что в ряде случаев обеспечивает граничный режим смазки.

Нормальная работа узла характеризуется минимальной интенсивностью изнашивания материала и одновременным образованием равновесных геометрических (шеоховатость) и физико-механических (степень наклепа поверхностного слоя) параметров поверхностного слоя деталей машин. Продолжительность периода приработки сопрягаемых деталей машин зависит от того, насколько исходные параметры качества поверхностного слоя отличаются от оптимальных, поэтому в ответственных узлах на стадии изготовления деталей стремятся технологически обеспечить на поверхностях деталей машин оптимальные параметры качества поверхностного слоя.

Поэтому создание методологии технологического обеспечения равновесных параметров качества поверхностного слоя деталей трибосопряжений, работающих в условиях смазки, на основе изучения энергетического состояния поверхностного слоя детали позволит создать базу знаний, основой которой будут служить математические модели, позволяющие понять взаимосвязь технологических условий механической обработки с равновесными параметрами качества поверхностного слоя деталей различных трибосопряжений.

## **УДАЛЕННЫЙ ДОСТУП В ЗАДАЧАХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ.**

**Здор Г.Н., Сеницын А.В.,**

**Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.**

**Белорусский национальный технический университет, Минск,  
Республика Беларусь**

**ООО «Техникон», Минск, Республика Беларусь.**

Удаленное управление объектами – типовая задача, с которой сталкиваются специалисты АСУ ТП. В общем виде она выглядит так. Имеется один или несколько объектов, распределенных на некоторой территории. Присутствие обслуживающего персонала на данных объектах невозможно либо нежелательно. Классическими примерами таких объектов являются системы скважин, тепловых пунктов, насосных станций и пр.

Основные задачи, которые необходимо решать в рамках таких систем:

передача на диспетчерский пункт информацию о работе каждого из объектов;

передача на диспетчерский пункт аварийной и предупреждающей сигнализации;

дистанционно передавать управляющие команды механизмам объекта;

ведение архива аварийных и предупредительных сообщений, протоколирование действий оператора, ведение архива технологических параметров.

Значительный прорыв в данной области произошел с распространением Internet технологий. Используя высокоскоростные соединения Ethernet и TCP/IP, операторы могут работать буквально с тысячами удаленных объектов, которые могут располагаться в любой точке земного шара.

Однако применение сети Internet для передачи данных при управлении технологическим оборудованием делает их уязвимыми для хакерских атак, вирусов. Причем в последнее время появляются «специализированные» вирусы атакующие программное обеспечение управляющее технологическим оборудованием.

Поэтому разработка алгоритмов защиты информации становится важной задачей для разработчиков современных систем управления производственным оборудованием с удаленным доступом.

## **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ И ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ**

**Данилов В.А.<sup>1</sup>, Киселев Р.А.<sup>1</sup>, Крутько В.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет Новополоцк,  
Республика Беларусь

<sup>2</sup>ГНПО «Центр» НАН Беларуси Минск, Республика Беларусь

Создание эффективного оборудования для раскроя материалов плазменным и гидроабразивным методами имеет важное технико-экономическое значение благодаря существенным преимуществам этих методов по сравнению с традиционными. В мировой и отечественной практике накоплен достаточный опыт создания и применения такого оборудования, что позволяет определить основные направления его развития. Несмотря на различие в реализуемых механизмах разрушения материала, компоновка и кинематика оборудования для выполнения раскроя разными методами близки друг другу, так как реализуются схожие схемы формообразования. Это позволяет выделить общие пути совершенствования данного оборудования в направлении повышения его технического уровня, универсальности, производительности и качества резки, а также определить общие подходы и конкретные способы решения этих задач. Основными из них являются следующие:

1. Увеличение видов применяемых на одном станке инструментов, (плазматронов, головок для гидроабразивной резки, сверлильных головок и т.п.). Например, дополнительно к плазматрону на портале станка для плазменной резки, выпускаемого ГНПО «Центр», могут быть установлены газовый резак (для газовой резки), маркер-разметчик (для разметки линий сгиба на вырезаемых деталях, разметки мест сверления отверстий, нанесения номера вырезаемой детали). Планируется установка на станке суппорта со сверлильной головкой для выполнения сверлильных операций на вырезаемых деталях и исключения выполнения отверстий плазмой. Зарубежные фирмы предлагают оснащать плазменное оборудование модулем для лазерной резки тонких материалов, а также устройством для вырубки-высечки. Такие решения обеспечивают повышение эффективности оборудования за счет возможности применения альтернативных методов обработки.

2. Повышение производительности оборудования за счет установки на нем нескольких одинаковых рабочих органов (до 8-10 шт.) для одновременного вырезания соответствующего количества деталей или прямолинейного раскроя металла на полосы заданной ширины.

3. Совершенствование конструкции плазматронов и технологии резки, оптимизация условий резания для повышения точности и расширения области применения комплексов плазменной резки для

раскроя листовых материалов в диапазоне толщин от 0,5 до 40 мм с достижением качества поверхностей реза, аналогичного лазерной резке.

4. Создание оборудования комбинированного типа, например, для плазменного раскроя листового и трубного проката. В этом случае станок оснащается столом и вращателем для установки заготовок, а также дополнительным устройством для 3D раскроя труб и соответствующей системой программного управления. По этому принципу может быть модернизировано существующее оборудование для раскроя плоского материала.

5. Ресурсосберегающим направлением является создание оборудования модульного типа для реализации на станке комбинированных способов раскроя материалов, например, плазменной и гидроабразивной резкой. Применение на одном станке двух разных технологий резки позволяет реализовать преимущества каждой из них: гидроабразивная резка обеспечивает более высокие качественные параметры резки, а плазменная резка позволяет уменьшить производственные расходы.

6. Возможность ведения процесса резания в различных средах. Например, в ГНПО «Центр» НАН Беларуси разработаны и серийно выпускаются автоматизированные комплексы плазменной резки как в воздушной среде (КПР-01), так и в водной среде (КПР-02), что значительно расширяет универсальность этого оборудования. Наличие водной среды упрощает реализацию на одном станке технологий раскроя материалов комбинированными методами – плазменной и гидроабразивной резкой.

7. Перспективным направлением совершенствования оборудования для гидроабразивной резки материалов является оснащение его динамической режущей системой с активным контролем угла наклона энергетического луча, что позволяет без ухудшения качества повысить скорость резки, корректировать конусность обрабатываемых отверстий, обеспечить перпендикулярность реза поверхности заготовки, изменяя автоматически с помощью системы управления угол подачи струи воды.

8. Высокоэффективным является переход от электромеханического привода координатных перемещений к приводу на основе линейного синхронного двигателя. На этом принципе основана, например, исполнительная система комплекса для гидроабразивной резки материалов КГР-1 конструкции ГНПО «Центр». Благодаря отсутствию между подвижной и неподвижной частями промежуточных устройств обеспечиваются более высокие динамические характеристики привода и точность перемещений рабочих органов, повышается надежность и долговечность исполнительной системы.

Рассмотренные направления развития следует учитывать при создании и модернизации технологического оборудования для раскроя материалов различными методами.

## **СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

**Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Якимович А.М.**  
Белорусский национальный технический университет

Программное обеспечение для имитационного моделирования (ИМ) дискретных производственных систем обработки деталей машино- и приборостроения можно разделить на следующие группы:

1. Универсальные алгоритмические языки программирования (УЯП).
2. Языки имитационного моделирования общего назначения (ЯИМ).
3. Предметно-ориентированные языки ИМ (ПИМ).
4. Специализированные пакеты ИМ (СИМ).

В докладе демонстрируется работа наиболее распространенных программных пакетов ИМ, отмечаются их особенности, даются рекомендации по области их рационального применения.

Основные тенденции в развитии программных систем ИМ:

1. Создание гибридных систем, выполняющих помимо функций собственно моделирования также функции экспертной системы, планирования эксперимента, оптимизации. Примером таких систем может служить среда RAO-Studio (язык РДО).

2. Создание комбинированных систем, сочетающих несколько парадигм и методологических подходов ИМ. Так комбинированные непрерывно-дискретные модели могут создаваться с помощью пакетов Arena, AweSim, Extend, GPSS последних версий (оператор INTEGRATE). Пакет AnyLogic позволяет использовать любую из четырех парадигм ИМ по отдельности или в сочетании, в явном виде или в агентной интерпретации.

3. Привлечение технологии искусственного интеллекта (экспертные системы, нейронные сети, генетические алгоритмы, эволюционные стратегии).

4. Применение объектно-ориентированного подхода. Примером реализации могут служить языки SIMULA, MODSIM III, SIMPLE++, AnyLogic и др.

5. Возможность обмена (импорта-экспорта) с другими приложениями, например универсальными системами программирования, электронными таблицами и СУБД, САД-системами и анимационными пакетами, системами компьютерной математики, статистическими пакетами.

6. Интеграция в имитационные системы специализированных пакетов оптимизации, таких, например, как OptQuest, который используют ЯИМ Arena, SIMUL8, AnyLogic и ПИМ Taylor ED. Другие оптимизаторы используются в ПИМ AutoMod, WITNESS, ProModel.

7. Применение параллельного (распределенного) моделирования. Например, система НЕДИС-Р автоматически формирует распределенные модели из их сосредоточенных аналогов.

8. Полный или частичный отказ\* от кодирования с переходом на графическое программирование. При этом за пользователем сохраняется возможность написания кодов для использования их в качестве собственных библиотечных модулей.

9. Возможность автоматической генерации моделей прямо из диаграмм UML (TransML) и CASE-средств, таких как AllFusion Modeling Suite (BPwin, ERwin, Paradigm Plus), Rational Rose, ARIS.

10. Широкое применение визуализации и анимации, включая 3D.

11. Возможность использования непосредственно в производственном процессе для поддержки принятия решений в режиме реального времени.

12. Реализация в концепции e-Manufacturing («Simulation + Virtual Reality» – виртуальное производство). Так в системах этой концепции фирм DELMIA и Tecnomatix используются ПИМ EM-Plant и QUEST соответственно.

На кафедре робототехнических систем БНТУ разработан универсальный моделирующий комплекс PIMMS класса ПИМ для автоматизированных механообрабатывающих участков и линий [1, 2]. Назначение комплекса – компьютерное прогнозирование показателей функционирования системы, таких как выработка, производительность, освоенная номенклатура, срок или вероятность выполнения к сроку планового задания, длительность производственного цикла и доля продуктивной составляющей в нем, коэффициент использования оборудования, загрузка персонала, заполнение накопителей, очереди заказов, операционных и транспортных партий. Тип организационной структуры и уровень автоматизации систем – любые, кроме роторно-конвейерных, а именно: участки отдельных единиц оборудования с ЧПУ; участки автономных автоматизированных ячеек (автоматов, РТК, ГПМ); ГПС типа автоматизированных участков и линий; переналаживаемые автоматические линии; автоматические линии с фиксированными рабочими позициями (классические).

Отличительные особенности пакета PIMMS – высокая степень автоматизма при формировании, настройке и наладке модели на конкретную систему, отсутствие пользовательского программирования (написания кода).

Предлагается экспресс-метод вероятностной оценки выработки, производительности и срока выполнения планового задания системы. Метод основан на регрессионных зависимостях, полученных с помощью пакета PIMMS, и обеспечивает приемлемую для практических приложений точность 3,5%.

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

2. Новичихина Е.Р., Шардыко П.П. Моделирование производственных систем в среде PIMMS. – Минск: БНТУ, 2008. – 24 с.

## АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Чайкин Ф.С.<sup>1</sup>, Здор Г.Н.<sup>1</sup>, Тромпель Д.А.<sup>2</sup>, Солнцев К.К.<sup>3</sup>

1). – Белорусский национальный технический университет, 2). – БелДорНИИ, 3). - ООО «Сенсотроника»

Мониторинг мостовых конструкций является на сегодня наиболее актуальной задачей в контроле состояния сложнапряженных сооружений. Потребность в системах мониторинга обусловлена необходимостью повышения безопасности мостовых сооружений, повышения эффективности их использования, снижения затрат на эксплуатацию и другими факторами.

Система мониторинга представляет собой совокупность аппаратных и программных средств. Аппаратная часть системы состоит из датчиков (датчики линейных перемещений, тензодатчики, датчики внутренних напряжений) и электронных устройств сбора, обработки и передачи данных. Так как система предназначена для длительной непрерывной эксплуатации, аппаратная часть системы должна обладать высокой надежностью и обеспечивать бесперебойную доставку данных в центральный узел системы для их анализа и хранения. Одним из важных условий обеспечения надежности является простота архитектуры аппаратной части в целом и всех ее узлов в частности, а также автономность и заменяемость каждого узла. Общая схема аппаратной части системы мониторинга представлена на рисунке 1.

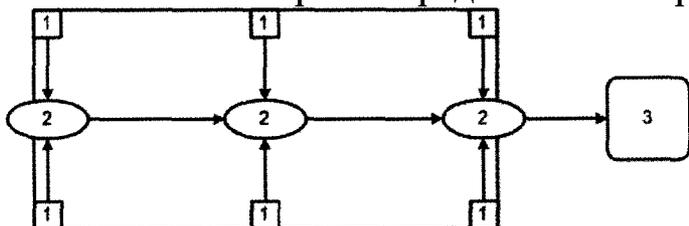


Рисунок 1. Функциональная схема аппаратной части системы мониторинга

С датчиков 1, установленных в нескольких (в данном случае в трех) контролируемых сечениях мостовой конструкции и связанных попарно для повышения отказоустойчивости системы передачи данных, сигналы поступают на устройства сбора и первичной обработки информации 2. Далее по одной линии связи обработанные сигналы поступают через устройство передачи информации 3 на сервер. Устройство передачи информации включает в себя также устройство промежуточного хранения данных, обеспечивающие хранение некоторого числа данных при отсутствии в текущий момент канала связи с центральным узлом системы мониторинга. Линии подачи питания и обеспечения связи между устройствами сбора данных 2, а также от них к устройству передачи информации 3 дублируются, обеспечивая более высокую надежность. При выходе из строя каждый из датчиков 1 может быть легко заменен, при этом нарушения в его работе не имеют никакого влияния на работу всей системы в целом. Наиболее удобным в условиях длительного

постоянного мониторинга представляется использование сотовой сети для передачи данных.

Для создания единой сети мониторинга множества мостовых сооружений каждый мост должен быть оборудован описанным выше аппаратным обеспечением, и взаимодействие аппаратных частей каждого моста с центральным узлом системы построено по принципу «клиент-сервер», где аппаратная часть выступает клиентом. При каждом сеансе связи с центральным узлом системы (сервером) устройство передачи информации запрашивает скрипт, содержащий определенный ограниченный набор команд. Результат исполнения скрипта передается серверу после установления следующей сессии. Скрипт может содержать команды обновления конфигурации (поиск и сохранение обнаруженных подключенных устройств), опроса данных, изменения собственных настроек устройства (интервал отправки запросов, интервал опроса подключенных устройств, настройки сети) и др. Такой принцип взаимодействия обеспечивает максимальную гибкость в настройке оборудования и режима работы системы.

Программное обеспечение центрального узла системы предполагает совместную работу нескольких служб (сервисов), которые взаимодействуют друг другом по определенным сетевым протоколам. Каждая из служб предоставляет некоторый интерфейс доступа остальным, позволяя обмениваться данными. При этом каждый сервис является независимой частью системы, его внутренняя реализация может быть изменена при условии сохранения внешних интерфейсов. Все службы могут быть запущены на одном или различных физических серверах. Такое программное решение делает серверную часть системы легко масштабируемой, облегчает поддержку и обновления системы. Основным способом доступа пользователей к данным предполагается веб-браузер: таким образом, конечный пользователь может использовать для работы с системой любую платформу, включая огромное множество мобильных устройств с поддержкой Internet; система всегда доступна при наличии доступа в Internet; не требуется установки специального программного обеспечения для пользования системой.

Таким образом, использованное архитектурное решение позволяет обеспечить высокую надежность получения данных о динамике изменения состояния мостовых сооружений при непрерывном длительном мониторинге в режиме реального времени.

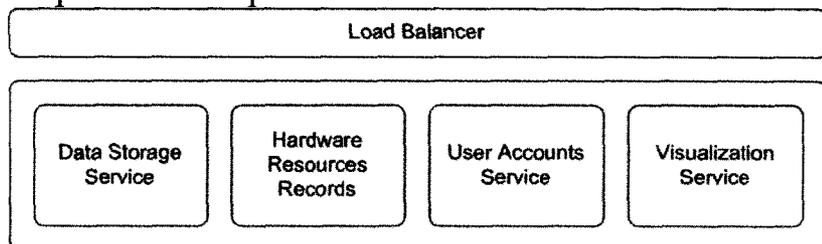


Рисунок 2. Программное обеспечение центрального узла системы мониторинга

## **ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Аверченков А.В., Аверченков В.И.**

**ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»  
Брянск, Российская Федерация.**

В современных российских условиях в машиностроительной отрасли сложилась ситуация, при которой большинство крупных промышленных предприятий, успешно существовавших до начала девяностых годов, оказались не в состоянии выживать в конкурентной среде. Среди причин неудач необходимо особо выделить тотальное устаревание технической базы, необходимость содержать ряд малоэффективных подразделений, длительный цикл подготовки производства новых изделий, отсутствие крупных оборотных средств, высокий средний возраст инженерных кадров. Наилучшим образом себя чувствуют предприятия, работающие на оборонные отрасли или по государственным заказам, с редко изменяющимся номенклатурным рядом продукции и ограниченно участвующие в конкурентной борьбе.

В связи с этим, особое место стали занимать активно создаваемые машиностроительные малые инновационные предприятия (МИП), которые даже в кризисных условиях имели возможность успешно конкурировать на рынке, развиваться и приносить прибыль.

Одним из способов повышения уровня конкурентоспособности предприятий является пересмотр научных основ технологической подготовки производства с учетом новых возможностей современного технологического оборудования, прогрессивного инструмента и программного обеспечения.

Как известно, технологическая подготовка производства машиностроительного предприятия регламентирована рядом стандартов и рекомендаций, в том числе в рамках ЕСТПП. Указанные стандарты и рекомендации устанавливают основные этапы традиционного подхода к технологическому проектированию.

Применительно к проектированию ТП в условиях МИП, указанная последовательность в целом сохраняется, хотя акценты изменяются и появляются новые задачи. Уровень автоматизации на каждом из этапов технологического проектирования различен. Имеет смысл рассмотреть наиболее важные этапы, уровень автоматизации ТПП которых недостаточен или затруднен. На этапах разработки маршрута обработки заготовки и последовательности обработки поверхностей автоматизация достигается за счет применения САПР ТП. Исследования в этой области проводятся десятки лет и к настоящему времени создан ряд успешно функционирующих коммерческих систем. Однако, процесс кодирования информации о детали (не

выделяемый в традиционном подходе, как этап) выполняется проектировщиком вручную. Также, в традиционном подходе отсутствует этап выбора современного инструмента с новыми технологическими возможностями, т.к. проблема его выбора (и тем более автоматизации этого процесса) появилась сравнительно недавно. Этап выбора последовательности обработки поверхностей дополняется автоматизированным выбором инструментальной стратегии обработки конструкторско-технологических элементов (КТЭ), этап выбора или проектирования оборудования в условиях МИП не актуален, т.к. набор доступного оборудования, как правило, ограничен. Этапы расчета норм времени и оформления ТП на бланках достаточно автоматизированы с применением САПР ТП.

С учетом рассмотренных условий функционирования МИП, разработан следующий пересмотренный подход к этапам технологического проектирования (рис. 1).

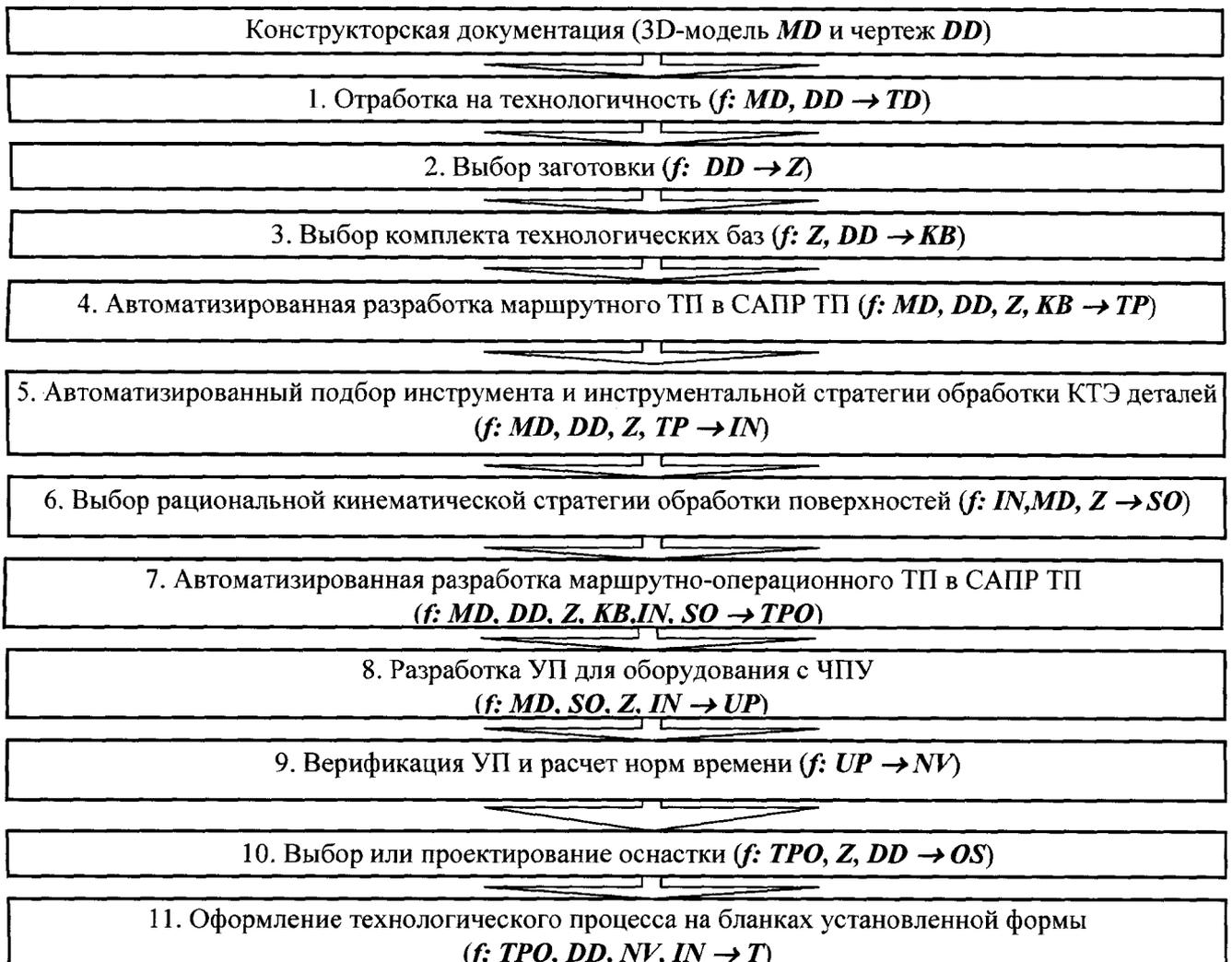


Рис. 1. Основные этапы технологического проектирования в условиях МИП

Предложенные решения могут быть применены для организации АСТПП машиностроительных МИП на основе разработки новых моделей, алгоритмов и программных комплексов для автоматизации процесса ТПП МИП.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С КОНТРОЛЛЕРОМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Александровский С.В., Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В последние годы в системы автоматизации технологических процессов и производств начали активно внедряться модели, методы и технические средства, основанные на теории нечетких множеств. Широкому распространению fuzzy -систем управления в немалой степени способствует программная система MATLAB, в составе которой имеется пакет программ по fuzzy -логике – Fuzzy Logic Toolbox.

Кроме того, система MATLAB включает в себя пакет моделирования динамических систем Simulink, который в свою очередь позволяет при помощи стандартных блоков, входящих в его библиотеку, сформировать одноконтурную или многоконтурную систему автоматического управления с аналоговым или fuzzy-регулятором [1].

Модуль fuzzy позволяет строить нечеткие системы двух типов – Мамдани и Сугэно. В системах типа Мамдани база знаний состоит из правил вида “Если  $x_1$ =низкий и  $x_2$ =средний, то  $y$ =высокий”, т.е. задается нечеткими термами. В системах типа Сугэно база знаний состоит из правил вида “Если  $x_1$ =низкий и  $x_2$ =средний, то  $y=a_0+a_1 \cdot x_1+a_2 \cdot x_2$ ”, т.е. задается как линейная комбинация входных переменных.

При разработке базы правил контроллера нечеткой логики (КНЛ) на основе системы типа Мамдани воспользуемся правилами в общей форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} M1: \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И } \dots \text{ } x_n \text{ есть } A_{1n} \text{ ТО } u \text{ есть } Z(u_1) \\ \text{ELSE} \\ M2: \text{ЕСЛИ } x_2 \text{ есть } A_{21} \text{ И } \dots \text{ } x_n \text{ есть } A_{2n} \text{ ТО } u \text{ есть } Z(u_2) \\ \text{ELSE} \\ \dots \dots \dots \\ M_r: \text{ЕСЛИ } x_r \text{ есть } A_{r1} \text{ И } \dots \text{ } x_n \text{ есть } A_{rn} \text{ ТО } u \text{ есть } Z(u_r) \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $x_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) - лингвистические переменные, представляющие пространство состояний объекта;

$A_{ij}$  ( $j=1, \dots, r$ ) - нечеткие наборы, представляющие лингвистические переменные  $x_i$ ;

$u$  - лингвистическая переменная, представляющая управление;

$Z(u_r)$  - нечеткие одноэлементарные множества (ОЭМ) с  $\mu(u_j)=1$ . Каждое ОЭМ определяется функционированием переменных состояния объекта в виде:

$$u_j = u_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Далее полагаем, что каждая переменная состояния является разностью между выходной управляемой величиной объекта и ее заданием. Набор правил (2) представляет собой нечеткий алгоритм функционирования КНЛ.

Выходная величина сигнала управления в соответствии с величинами  $x_1, \dots, x_n$  переменных может быть получена, используя метод центра тяжести:

$$u = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \cdot u_{j0}}{\sum_{j=1}^n a_j}, \quad (3)$$

где  $u_{j0} = u_j(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$ ;

$a_j$  - степень заполнения  $j$ -ого правила управления.

Величина  $a_j$  может быть вычислена:

$$a_j = \mu_{A_j1}(x_{10}) * \mu_{A_j2}(x_{20}) * \dots * \mu_{A_jn}(x_{n0}) \quad (4)$$

где  $\mu_{A_ji}(x_{i0})$  - степень принадлежности  $x_{i0}$  к  $A_{ji}$  и оператор  $*$  означает треугольную нормализацию. Среди разнообразия треугольной нормализации наиболее широко используется алгебраическая сумма (минимальный оператор).

Переход от сигналов физических величин к лингвистической переменной КНЛ осуществляется в блоках фазификации в соответствии с функцией принадлежности (рисунок 1).

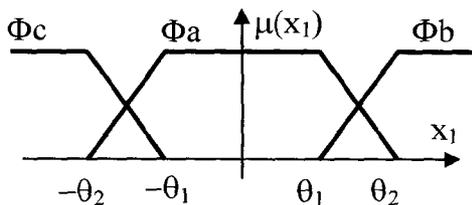


Рисунок 1 - Функции принадлежности нечеткого множества

КНЛ определенный согласно (1) - (4) вырабатывает различные управляющие сигналы на основе сигналов обратной связи  $u_j$  (2) подобно системе управления с переменной структурой. Однако в отличие от последней, переключение от одной к другой происходит плавно, как это определено нечетким алгоритмом базы правил (1) и тем, что имеет место усреднение более чем одного правила управления [2].

Модель КНЛ совместно с моделью вентиляно-индукторного привода позволяет исследовать динамические свойства автоматизированной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Петренко, Ю.Н. Исследование работы мостового крана с контроллером нечеткой логики на основе трехмерной имитационной модели / Ю.Н. Петренко, С.Э Алави, С.В. Александровский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – №3. – С. 20–25.

Александровский, С.В. Разработка математической и имитационной модели вентиляно-индукторного двигателя / С.В. Александровский, Ю.Н. Петренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – №2. – С. 15–22.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

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

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Метод обработки в электролитах при высоких напряжениях электролитно-плазменная обработка (ЭПО) широко применяется в качестве финишной операции для полирования, глянцеования поверхности и для скругления острых кромок на деталях из различных металлических материалов. Авторами впервые на основе ЭПО разработан и внедрен новый способ размерной обработки, позволяющий осуществлять формообразование сложнопрофильных поверхностей деталей вращения с высоким качеством поверхности.

Целью данной работы являются экспериментальные исследования и оптимизация технологических параметров размерной ЭПО деталей вращения. В работе оценивалось влияние основных контролируемых параметров процесса ЭПО (рабочее напряжение, температура электролита и глубина погружения) на скорость размерного съема материала.

Установлено, что температурные условия в приэлектродной зоне и в электролите играют существенную роль в процессе ЭПО. При снижении температуры электролита ниже  $40^{\circ}\text{C}$  вместо обработки наблюдается электролитный нагрев образцов. Обработка образцов при температуре электролита  $40...60^{\circ}\text{C}$  сопровождается периодическим срывом процесса из-за нарушения сплошности парогазовой оболочки, что приводит к возникновению значительных бросков рабочего тока. В диапазоне от  $70$  до  $90^{\circ}\text{C}$  достигается высокая стабильность процесса ЭПО, а при дальнейшем увеличении температуры ( $90...99^{\circ}\text{C}$ ) образец оказывается погруженным в сплошную подвижную пену, затрудняющую процесс обработки.

Исследования влияния глубины погружения на скорость размерного съема проводились в диапазоне от  $5$  до  $245$  мм. Установлено, что с увеличением глубины погружения скорость размерного съема повышается, причем зависимость имеет линейный характер. Основными причинами повышения скорости съема являются перепад гидростатического давления и температурный градиент в вертикальном направлении. Очевидно, что повышение скорости съема будет происходить до глубины, при которой гидростатическое давление станет настолько высоким, что процесс пленочного кипения будет невозможен. Однако реализация процесса размерной обработки на большой глубине невозможна, что связано с технологическими трудностями. Поэтому на практике глубина погружения образцов не должна превышать  $100...125$  мм.

Исследования влияния рабочего напряжения на скорость размерного съема проводились в диапазоне от  $200$  до  $300$  В. В результате исследований

установлено, что с повышением напряжения происходит уменьшение скорости размерного съема. Зависимость имеет падающий гиперболический характер. Установлено, что обработка при напряжении от 200 до 240 В сопровождается периодическим нарушением устойчивости парогазовой оболочки и срывом процесса ЭПО. При напряжении от 240 В до 300 В процесс обработки протекает стабильно.

Для получения интерполяционной зависимости и оптимизации параметров размерной ЭПО проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкина, в результате которого установлено, что основное влияние на скорость размерного съема материала оказывает температура электролита. Уравнение регрессии для расчета скорости съема материала в зависимости от технологических параметров обработки, запишется в следующем виде:

$$V_{\text{ср.}} = 5,96 - 2,12 \cdot t + 0,28 \cdot h - 0,6 \cdot U + 0,24 \cdot t \cdot U + 0,28 \cdot U^2,$$

где  $t$  – температура электролита,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$h$  – глубина погружения заготовки в электролите, мм;

$U$  – рабочее напряжение, В.

Анализ полученного уравнения регрессии позволил установить, что максимальное значение скорости размерного съема составляет 9,5 мкм/мин и достигается при температуре  $70^{\circ}\text{C}$ , глубине погружения 125 мм и напряжении – 240 В.

На рис. 1 представлена диаграмма, характеризующая поверхность распределения средней скорости размерного съема в зависимости от рабочего напряжения и температуры электролита при глубине погружения 125 мм.

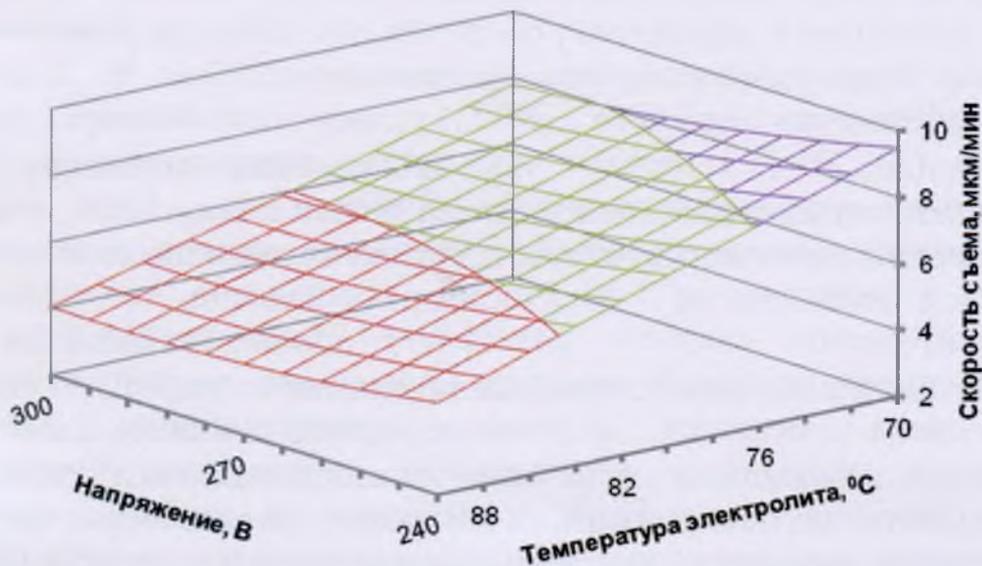


Рис. 1. Зависимость скорости съема от рабочего напряжения и температуры электролита при глубине погружения 125 мм

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПО НАКОПЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 45

Безъязычный В. Ф., Прокофьев М. А.

Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Различными учеными (Бутенко В.И., Грешнов В. М., Кабалдин Ю. Г., Якубов Ф. Я., Старков В. К., Бутенко В. И., Коршунов В. Я., Лебедев В. А. и др.) при исследовании процессов механической обработки материалов отмечается значительная роль накопленной энергии деформации как комплексного показателя качества поверхностного слоя. Проведенные ими теоретические и экспериментальные исследования показывают, что накопленная энергия лучше коррелирует с эксплуатационными свойствами, чем ее дифференцированные показатели: шероховатость, наклеп и остаточные напряжения.

Основываясь на столь важной роли накопленной энергии деформации в обеспечении надежности деталей машин, авторами настоящей работы предприняты исследования указанной энергии, формируемой в поверхностном слое деталей при точении стали 45. Экспериментальные исследования процесса точения проводили на станке NH22 проходным резцом Т15К6. Режимы резания представлены в таблице 1. Геометрия инструмента:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 20^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 18^\circ$ ,  $r = 0,3$  мм.

Вопросы расчетного определения накопленной энергии деформации решались, как и многими указанными выше исследователями, на основе дислокационных представлений о деформационном упрочнении металлов и сплавов. Так, на основе анализа различных теорий дислокационного упрочнения металлов (Тейлора, Зегера, Базинского, Мотт и Хирша, Кульманов-Вильсдорфа) была получена зависимость расчета абсолютной величина накопленной энергии деформации в поверхностном слое образца при точении с учетом его геометрии и упрочнения по глубине поверхностного слоя:

$$W = \frac{2\pi d L Q}{\alpha^2 2G} \int_0^H 0.32(HV - HV_0)^2 dH \quad (2)$$

где  $W$  – абсолютная величина накопленной энергии, Дж;  $Q$  – коэффициент пропорциональности принимаемый равным 1;  $\alpha$  – параметр междислокационного взаимодействия (для стали 45  $\alpha = 0,34$ );  $G$  – модуль сдвига;  $d$  – диаметр образца, м;  $L$  – длина образца, м;  $HV$  – микротвердость по Виккерсу наклепанного материала, МПа;  $HV_0$  – микротвердость по Виккерсу исходного материала, МПа.

В таблице 1 представлены режимы обработки, динамические характеристики процесса точения и результаты исследования состояния поверхностного слоя стали 45 после обработки.

Таблица 1 – Сводная информация исследования процесса точения и состояния поверхностного слоя стали 45

Элементы сравнения		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец
Режимы резания	$S$ , мм/об	0,1	0,1		0,2
	$t$ , мм	0,2	0,5		0,5
	$n$ , об/мин	1575	1575		1575
Силы резания	$P_z$ , Н	160	70		270
	$P_x$ , Н	75	26		100
	$P_y$ , Н	100	45		150
Работа резания (по силе $P_y$ )	$AP$ , кДж	391,22	174,12		580
Накоплен ная энергия деформации	$W$ , Дж	6,527	2,971		9,433
Доля накопленной энергии в общей работе резания	$W/AP$	0,017	0,017		0,016

Несмотря на достаточно большой диапазон значений (от 3 до 10 Дж) накопленной энергии деформации в поверхностном слое образцов, обращает на себя внимание постоянство доли исследуемой энергии в общей работе резания  $W/AP$  (таблица 1), оцениваемой величиной около 1,5 – 2 %, что подтверждает выводы Якубова Ф. Я. о том, что в металле остается менее 3 % от общей энергии резания.

Последнее обстоятельство является существенным для понимания процесса формирования физико-механических свойств в поверхностном слое деталей при их механической обработке. Так, опираясь на наблюдаемое постоянство критерия  $W/AP$ , можно предложить его практическую ценность, заключающуюся в том, что если известна энергия воздействия (совокупность режимов механической обработки), то можно прогнозировать и уровень накопленной энергии в деформированном поверхностном слое элемента детали, а также связанные с накопленной энергией величины степени наклепа и плотности дислокаций.

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЕМ ПОЛУЧЕННЫМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ

Белявин К. Е.<sup>1</sup>, Сосновский А.В.<sup>2</sup>

ОИМ НАН Беларуси, Минск.

- 1). Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь;
- 2). Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь.

Одним из перспективных методов повышения срока службы деталей, работающих в условиях интенсивного изнашивания, является технология получения износостойких покрытий методом электроконтактного оплавления, разработанная в ОИМ НАН Беларуси и БНТУ [1]. Суть данной технологии заключается в том, что деталь, установленная в специальной ёмкости с порошкообразной шихтой, разогревается путём пропускания электрического тока до температуры выше температуры плавления порошкообразной шихты, но ниже температуры плавления детали. В результате теплообмена с разогретой деталью происходит плавление присадочного материала. После отключения электрического тока нагрев прекращается, и расплавленный порошковый материал кристаллизуется, образуя слой покрытия.

Предложенная технология позволяет значительно сократить длительность пребывания порошкового материала в расплавленном состоянии по сравнению с традиционными методами наплавки, благодаря чему сохраняются его наследственные свойства. При этом полностью предотвращается выгорание легирующих элементов в материале покрытия, что способствует повышению его физико-механических и эксплуатационных свойств. В то же время технологические схемы реализации данного способа позволяют исключить нагрев ненаплавляемой части заготовки.

Предложенный метод использовался для наплавки износостойкого покрытия на рабочую поверхность пружинных зубьев МПР роторных почвообрабатывающих машин. После изготовления опытных образцов были проведены сравнительные полевые испытания экспериментальной партии упрочнённых наплавкой пружинных зубьев МПР, для наплавки которых использовалась порошковая шихта на основе железа марки ПР - Х4Г2Р4С2Ф и никеля ПГ-СР4, в сравнении с серийными зубьями.

В результате испытаний и последующего внедрения технологии установлено, что износостойкость зубьев с покрытием почвообрабатывающего агрегата возросла в 1,9 – 2,1 раза по сравнению с серийными деталями, изготовленными из стали 65Г.

Исследуя полученные образцы, было установлено, что в процессе наплавки износостойкого покрытия на рабочую поверхность пружинного зуба происходит частичный отпуск рабочей части заготовки, что снижает её твёрдость. При этом снижается износостойкость рабочей части зуба,

вступающей в контакт с обрабатываемой почвой после истирания наплавленного покрытия. Для повышения её износостойкости была предложена последующая термическая обработка.

После проведения ряда экспериментов, было определено, что наиболее целесообразно проводить термическую обработку детали сразу после наплавки. Данная операция осуществлялась следующим образом. После отключения электрического тока и кристаллизации покрытия на поверхности заготовки деталь извлекается и погружается в ёмкость с маслом. При этом установлено, что температура детали, погружаемой в масло, составляет 900 – 1050 °С.

Дальнейшие исследования показали, что твёрдость наплавляемой части пружинного зуба детали повысилась до 50 – 57 HRC, что позволит увеличить его износостойкость в процессе эксплуатации. Полученные образцы подготовлены для дальнейших полевых испытаний.

#### Литература

1. Белявин К.Е., Сосновский А.В. Нанесение покрытий методом электроконтактного оплавления из порошков на основе Fe-Ni-Cr-B-Si // Современные перспективные материалы / под редакцией В. В. Клубовича. – Витебск, 2011.– Гл.10.– С. 260–293.

## УПРАВЛЕНИЕ ЦИКЛОМ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМИ СРЕДСТВАМИ NATIONAL INSTRUMENTS

**Болотов С.В., Курлович И.В., Бансюкова Е.Л.**

Белорусско – Российский университет  
Могилев, Республика Беларусь.

Современные регуляторы цикла сварки работают в режиме стабилизации сварочного тока с погрешностью не более  $\pm 1\%$ , что позволяет устранить влияние на качество сварки колебаний напряжения питающей сети, изменения сопротивления контура машины вследствие его нагрева или внесения ферромагнитных масс, но не гарантирует получение качественного соединения.[1]

Перспективными являются системы активного контроля по энергии, выделяемой в зоне сварки. В регуляторах энергии должно обеспечиваться в режиме реального времени снятие мгновенных значений сварочного тока  $i_{св}$  и напряжения между электродами  $u_{ээ}$  с дальнейшим вычислением энергии

$Q = \int_0^{t_{св}} |u_{ээ}| \cdot |i_{св}| dt$ . Нарушение требуемого закона ввода энергии  $Q$  может

спровоцировать образование непровара или выплеска расплавленного металла.[2]

Одним из путей решения задачи разработки регулятора энергии, работающего в режиме реального времени, является использование программно-аппаратных средств мирового лидера в области автоматизации производственных процессов – американской компании National Instruments.

Аппаратная часть системы управления качеством контактной точечной сварки реализуется на платформе CompactRIO, состоящей из шасси со встроенной ПЛИС, контроллера реального времени и модулей ввода/вывода. Модули сбора данных С-серии позволяют напрямую подключить датчики сварочного тока и напряжения между электродами к системе, обеспечивая необходимое согласование сигналов и питание датчиков. Модули цифрового и аналогового вывода позволяют непосредственно формировать импульсы управления тиристорами и пневмоклапанами контактной машины.

Функциональная гибкость, обеспечиваемая средой разработки LabVIEW, предоставляет уникальную возможность графически создавать приложения для контроллера реального времени за минимальные сроки и без соответствующих знаний текстовых языков программирования, обеспечивая требуемое управление циклом контактной сварки.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОЛУЧЕНИЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ

Бородавко В.И., Воробьев В.В., Иванов Е.Н.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «НПО «Центр» разрабатывает и выпускает оборудование (рис. 1 и 2) позволяющее:

получать щебень преимущественно кубовидной формы (процент зерен пластинчатой и иглообразной формы значительно ниже предельных требований по ГОСТ 8267-93 для I группы и составляет 2 – 7 %);

повысить прочность щебня на 10 – 15 % за счет снижения трещиноватости кусков;

снизить расход связующих в изделиях (битум, цемент) на 30 – 40 %;

приблизить коэффициент уплотнения асфальтобетонной смеси к единице, что обеспечивает не только долговечность, но и морозостойкость дорожного покрытия и железобетонных изделий (ЖБИ);

снизить время и трудозатраты по укладке асфальтобетонного покрытия и изготовления ЖБИ до 50 %.

Центробежно-ударное дробление щебня позволяет получать щебень с содержанием зерен лещадной формы до 10% и повышать прочность дробленого материала, так как разрушение материала в первую очередь идет по трещинам, слабым связям и границам спаянности. Данная технология успешно применяется при производстве щебня из гранитов, порфиринов, диоритов и других материалов ряда производств Беларуси.

Комплектация комплексов воздушными каскадно-гравитационными классификаторами позволяет разделять отсеvy дробления (фракция менее 5 мм) на требуемое количество фракций с заданными фракционными составами (например, 5-2, 2-1, 1-0 мм), и получать ряд материалов (пески заданного модуля крупности, мелкие наполнители для бетонов и асфальтов, абразивные порошки и т.п.).



Рис 1 Технологический комплекс получения кубовидного щебня

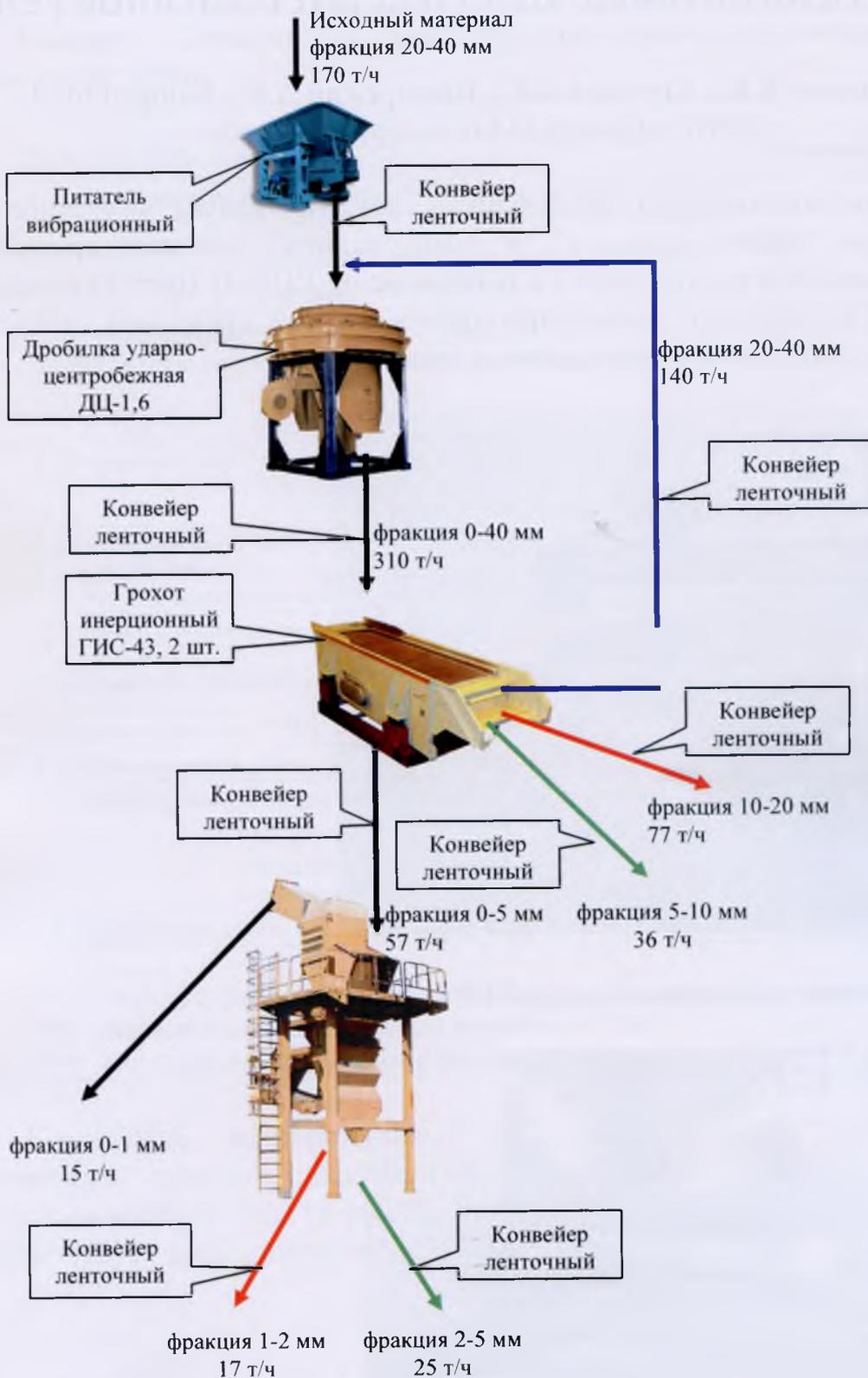


Рис. 2 Схема линии получения кубовидного щебня

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Бородавко В.И., Крутько В.С., Пожарский А.К., Хейфец М.Л.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Научно-производственным республиканским унитарным предприятием «НПО «Центр» спроектированы и выпускаются автоматизированные комплексы плазменной резки (табл. 1). В отличие от КПР-01 (рис. 1) комплекс КПР-02 (рис. 2) позволяет вести обработку в водной среде для снижения размеров зоны термического влияния возле реза.



Рис. 1. Комплекс плазменной резки КПР-01



Рис. 2. Комплекс плазменной резки КПР-02

Таблица 1. Технические характеристики автоматизированных комплексов плазменной резки

Наименование показателя	Значение показателя
1 Габаритные размеры разрезаемого листа, мм, не более	
- длина	3000
- ширина	2000
2 Толщина разрезаемого листа, * мм	0,5 - 40
3 Габаритные размеры рабочего стола, ** мм	
- длина	3200
- ширина	2200
4 Установленная мощность комплекса, * кВт не более	47,5
5 Скорость перемещения портала, м/мин	20
6 Рабочий ток, * А	20 - 160
7 Точность позиционирования, мм, не хуже	0,10
8 Точность воспроизведения заданного контура, мм	± 0,05
9 Плазмообразующий газ***	воздух, азот, кислород, аргон + водород
10 Объем памяти, * Мб, не менее	512
11 Число резачков, * шт.	1-2
12. Габаритные размеры комплекса, * мм, не более	
- длина	3200
- ширина	3400
- высота	2100
13 Масса комплекса, * т, не более	4
* Значения показателей могут меняться в зависимости от комплектации.	
** Возможно наращивания длины стола до 12м.	
*** Тип газов согласовывается с заказчиком.	

Комплексы предназначены для использования на предприятиях различного профиля деятельности, требующих высокоточного раскроя листовых материалов. Точность геометрических характеристик качества реза соответствует требованиям EN ISO 9013.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ

Бородавко В.И., Крутько В.С., Позылова Н.М., Хейфец М.Л.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Научно-производственным республиканским унитарным предприятием «НПО «Центр» разрабатываются и выпускаются автоматизированные комплексы гидроабразивной резки (табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики автоматизированного комплекса гидроабразивной резки

Наименование показателя	Значение показателя
1 Габаритные размеры разрезаемого листа, мм, не более	
- длина	3000
- ширина	2000
2 Толщина разрезаемого листа, * мм	0,5 - 150
3 Габаритные размеры рабочей зоны, ** мм	
- длина	3200
- ширина	2200
4 Установленная мощность комплекса, * кВт не более	55
5 Скорость перемещения портала, м/мин	20
6 Рабочее давление водяной струи*, бар, не менее	4130
7 Точность позиционирования, мм, не хуже	0,10
8 Точность воспроизведения заданного контура, мм	$\pm 0,05$
9 Объем памяти, * Мб, не менее	512
10 Число резаков, * шт.	1 - 4
11 Габаритные размеры комплекса, * мм, не более	
- длина	3500
- ширина	5500
- высота	2000
12 Масса комплекса, * т, не более	4
* Значения показателей могут меняться в зависимости от требований.	
** Возможно изменения габаритов рабочей зоны.	

Комплекс КГР-01 (рис.1) предназначен для автоматизированного фигурного и линейного раскроя металлических и неметаллических материалов с помощью водяной струи высокого давления с добавлением абразива.

Технологическая режущая головка автоматизированного комплекса гидроабразивной резки подает чистую водную струю высокого давления или водную струю высокого давления с абразивом для формирования узкого реза в

изделиях из различных материалов. Высокая точность характеристик качества реза соответствует требованиям EN ISO 9013.



Рис. 1 Автоматизированный комплекс гидроабразивной резки

Автоматизированный комплекс гидроабразивной резки предназначен для использования на предприятиях различного профиля деятельности: машиностроения, приборостроения, архитектуры и строительства и других.

## ПЛАВНЫЙ ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕННОМУ ЗАКОНУ

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В большинстве современных тиристорных устройств плавного пуска и торможения (УПП) управление короткозамкнутым асинхронным двигателем (АД) осуществляется изменением действующего значения выходного напряжения устройства по определенному, чаще всего линейному, закону. Однако поскольку электромагнитный момент АД определяется первой гармоникой напряжения  $U_{(1)}$ , было бы целесообразно в пуско-тормозных режимах управлять АД изменением ее величины по определенному закону  $U_{(1)}(t)$ . В случае использования для этой цели УПП на основе тиристорного регулятора напряжения (ТРН) необходимо формировать соответствующую этому закону сложную функцию угла управления тиристорами  $\alpha(t)$ . Ввиду сильного искажения кривой выходного напряжения ТРН возникает сложность определения функции  $\alpha(t)$ . Для этого необходимо иметь зависимости действующего значения  $U_{(1)}$  от угла  $\alpha$  с учетом изменения угла нагрузки  $\varphi$  в процессе пуска и торможения АД. Получить такие зависимости можно, например, с помощью выражения, приведенного в [1], с учетом уравнения связи угла  $\alpha$ , угла  $\varphi$  и угловой длительности тока  $\lambda$ . Однако для решения подобной системы уравнений может потребоваться большое количество достаточно сложных и длительных вычислений с применением итерационного метода на компьютере [2].

Для формирования функции угла  $\alpha(t)$ , соответствующей определенному закону  $U_{(1)}(t)$ , предлагается использовать имитационную модель системы «ТРН-АД», разработанную в программе Matlab. Алгоритм формирования функции угла управления  $\alpha(t)$  с использованием данной модели следующий. Сначала проводится предварительное моделирование плавного пуска и торможения исследуемого АД при определенном законе  $\alpha(t)$ , например, линейном или экспоненциальном, в процессе которого в соответствующие переменные рабочей области Workspace программы Matlab в матричном виде записываются значения углов  $\alpha$  и времен моделирования  $t$ , соответствующие предварительно заданным в расчетных блоках модели значениям  $U_{(1)}$  для набора точек на кривой требуемого закона  $U_{(1)}(t)$  с некоторым шагом в Вольтах. При этом для определения текущего значения  $U_{(1)}$  в модели используется блок гармонического анализа выходного сигнала (напряжения) типа Fourier Analyzer из раздела SymPowerSystems, а для сравнения текущих значений  $U_{(1)}$  с предварительно заданными значениями  $U_{(1)}$  – блоки типа Switch из раздела Simulink программы Matlab. После окончания процесса предварительного

моделирования от блока системы управления ТРН в модели отключается блок задания определенного закона  $\alpha(t)$  и подключаются два блока типа Look-Up Table (для пуска и торможения) для задания функции  $\alpha(t)$ , соответствующей требуемому закону  $U_{(1)}(t)$ . В эти блоки в форме двухстрочной матрицы вводятся сохраненные в результате предварительного моделирования значения углов  $\alpha$  (2ая строка матрицы) и времен моделирования  $t$  (1ая строка матрицы) из соответствующих переменных рабочей области Workspace. Таким образом, в модели задается функция угла управления  $\alpha(t)$ , соответствующая требуемому закону изменения величины  $U_{(1)}$  в пускотормозных режимах АД. Теперь, используя эту же имитационную модель уже со сформированной по описанному выше алгоритму функцией угла управления тиристорами  $\alpha(t)$ , можно моделировать плавный пуск и торможение исследуемого АД изменением  $U_{(1)}$  по требуемому закону  $U_{(1)}(t)$ . Полученные результаты в виде линейного и экспоненциального изменения  $U_{(1)}$  в процессе плавного пуска и торможения АД типа 4МТКФ160LB8 приведены на рис. 1а,б.

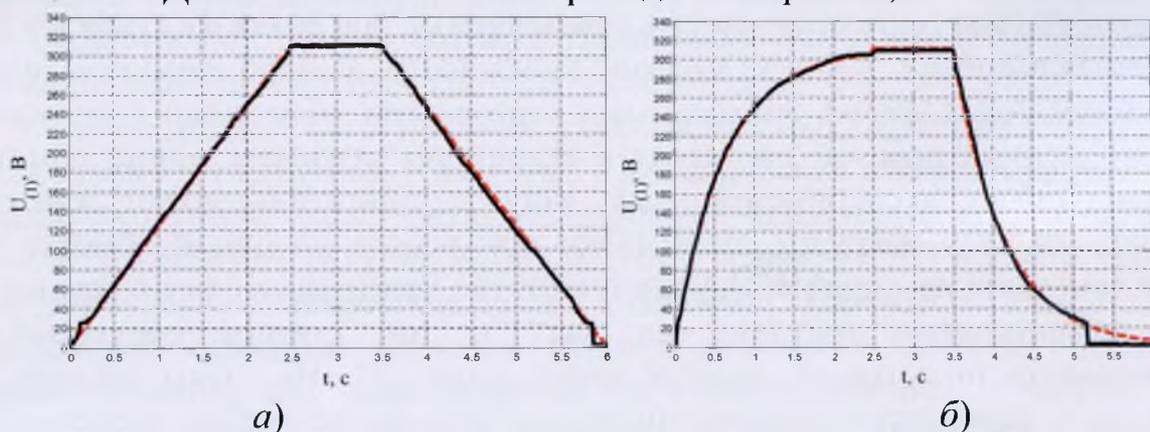


Рисунок 1 – Линейное (а) и экспоненциальное (б) изменение величины  $U_{(1)}$  в пуско-тормозных режимах АД типа 4МТКФ160LB8

Управление АД в пуско-тормозных режимах изменением  $U_{(1)}$  по определенному закону значительно проще реализовать, если в качестве альтернативы тиристорному УПП использовать УПП на основе импульсного регулятора напряжения (ИРН). В таком УПП требуемый закон  $U_{(1)}(t)$  можно получить заданием аналогичного закона изменения скважности импульсов управления  $\gamma(t)$  при определенной частоте коммутации (достаточно 1кГц) транзисторов силовой схемы устройства, т.к. из-за низкого уровня высших гармоник первая гармоника выходного напряжения ИРН является линейной функцией скважности  $\gamma$ .

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, ИМЕЮЩИМ РАСЩЕПЛЕННУЮ СТАТОРНУЮ ОБМОТКУ

**Васильев С. В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В промышленности нашли широкое применение электроприводы с преобразователями частоты (ПЧ) и асинхронными двигателями (АД). Однако в некоторых аварийных ситуациях при срыве работы ПЧ требуется немедленное отключение его от питающей сети. Это снижает технологическую надежность электропривода и делает невозможным его применение в тех механизмах и установках, которые не допускают остановки во время технологического процесса. В качестве примера можно привести электроприводы в металлургической промышленности, применяемые при разливке стали и т.д.

Для повышения технологической надежности электропривода возможно применение АД с двумя трехфазными статорными обмотками с возможной кратковременной работой двигателя в аварийном режиме с одной обмоткой. Как следует из экспериментальных данных, двигатель может длительно развивать на валу нагрузку  $M_c=0,45M_n$  при работе на одной обмотке. При работе двигателя на одной трехфазной обмотке двигатель может в течение 39с нести номинальную нагрузку на валу и ток статора составляет 2,2 номинального тока одной параллельной ветви [1]. Из этого следует, что двигатель с двумя трехфазными обмотками статора не требует немедленного отключения от сети при аварийном снятии напряжения питания с одной трехфазной обмотки, что повышает технологическую надежность электропривода.

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

В настоящее время в электроприводе широко применяются непосредственные преобразователи частоты (НПЧ). Ряд дискретных выходных частот НПЧ, позволяющий получить выходное напряжение без субгармонических и постоянной составляющих, определяется по формуле [3]:

$$f_2 = \frac{f_1 \cdot m}{2N+m-2}, \quad (1)$$

где  $f_2$  - частота выходного напряжения НПЧ;  $f_1$  - частота питающей сети;  $m$  - число тактов выпрямления вентильной группы;  $N$  - число пульсов, из которых формируется полуволна выходного напряжения НПЧ,  $N=1,2,3...$

При проектировании асинхронных электроприводов большой мощности с многовентильным НПЧ, когда решается комплексная задача разработки АД и ПЧ, также целесообразно применять двухобмоточный АД. В этом случае усложнение из-за увеличения выводов двигателя и НПЧ компенсируется отсутствием необходимости параллельной работы силовых ключей преобразователя частоты. Применение АД с расщепленной статорной обмоткой с НПЧ позволяет получить специальные режимы работы, улучшающие электромеханические свойства электроприводов. В том случае, когда две трехфазные обмотки АД уложены в одни и те же пазы расточки статора и осуществляется раздельное питание обмоток от преобразователей частоты, то за счет определенного алгоритма управления НПЧ возможно получить 12-ступенчатую результирующую кривую м. д. с. в каждой фазе статора, в которой будут отсутствовать 5 и 7 временные гармоники. Это приведет к исключению пульсаций момента АД с 6-ти кратной частотой сети.

В случае раздельного питания двух трехфазных обмоток от двух НПЧ напряжениями различной частоты, механические характеристики АД представляют собой сумму двух механических характеристик. Это позволяет обеспечить плавность регулирования частоты вращения АД в таком частотно-параметрическом электроприводе в диапазоне, соответствующим двум разрешенным выходным частотам первого и второго НПЧ и обеспечение жестких механических характеристик электропривода без обратной связи. Парамии таких частот могут быть выходные частоты НПЧ, рассчитанные в соответствии с выражением (1), соответствующие режимам работы без субгармонических и постоянной составляющих. Регулируя питающее напряжение на обмотке статора, работающей в генераторном режиме, можно получить для каждой пары частот семейство результирующих механических характеристик, которые имеют различные синхронные скорости вращения АД и большую жесткость в сравнении с любой из слагаемых характеристик.

Таким образом, описанные специальные режимы работы позволяют улучшить электромеханические свойства частотного электропривода с АД имеющим расщепленную статорную обмотку.

1. Церазов А.Л., Кузьмичев А.И. Исследование режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре. В сб. «Электроснабжение и автоматизация промышленных предприятий. – Чебоксары, 1978, вып. 7».

2. Александров Н.А., Красавцев Ю.В. и др. Частотно-регулируемые электроприводы с многофазными асинхронными двигателями. - М.: Информэлектро, 1981г.-39с.

3. Фираго Б.И. Непосредственные преобразователи частоты в электроприводе. – Мн.: Университетское, 1990. – 255 с.

# **ОПЕРАТИВНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Витязь П.А.,  
Хейфец М.Л.**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск,  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Производство изделий без формообразующей оснастки, сокращая стадию технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных, энергетических и трудовых затрат. Поиск в этом направлении ведется давно, но только в начале 90-х годов прошлого века разработаны технологии прямого «выращивания» изделий без оснастки, пригодные для промышленного использования в авиа- и автомобилестроении, производстве электро- и радиоаппаратуры, медицинской техники и инструментов. Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля, различного функционального назначения, прямым выращиванием без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат.

Изучение сущности и особенностей методов получения деталей машин без формообразующей оснастки, сравнение их преимуществ и недостатков, определение областей рационального применения синтезируемых изделий позволили классифицировать процессы оперативного макетирования и производства (рис. 1) и выделить основные направления развития методов послойного синтеза с сопутствующей сборкой деталей машин.

Традиционные технологии прямого выращивания деталей реализуются только для определенных материалов и формируют плоские непротяженные поверхностные слои. Перспективным представляется использование новых конструкционных материалов, в том числе композиционных, слоистых, с заданным формируемым градиентом свойств. Это требует применения новых технологий формообразования слоев и сборки изделий, использующих для изменения свойств материала различные концентрированные источники энергии, что в свою очередь ставит задачи распределения потоков энергии не только по заданному контуру или поверхности, но по глубине и плотности распределения, а также по форме импульса энергии в целом.

В результате при проектировании технологий послойного синтеза с сопутствующей сборкой изделий применяются как технологии получения деталей из конструкционных материалов, использующие концентрированные потоки энергии, так и методы автоматизации процессов быстрого прототипирования и производства с послойной сборкой изделий.

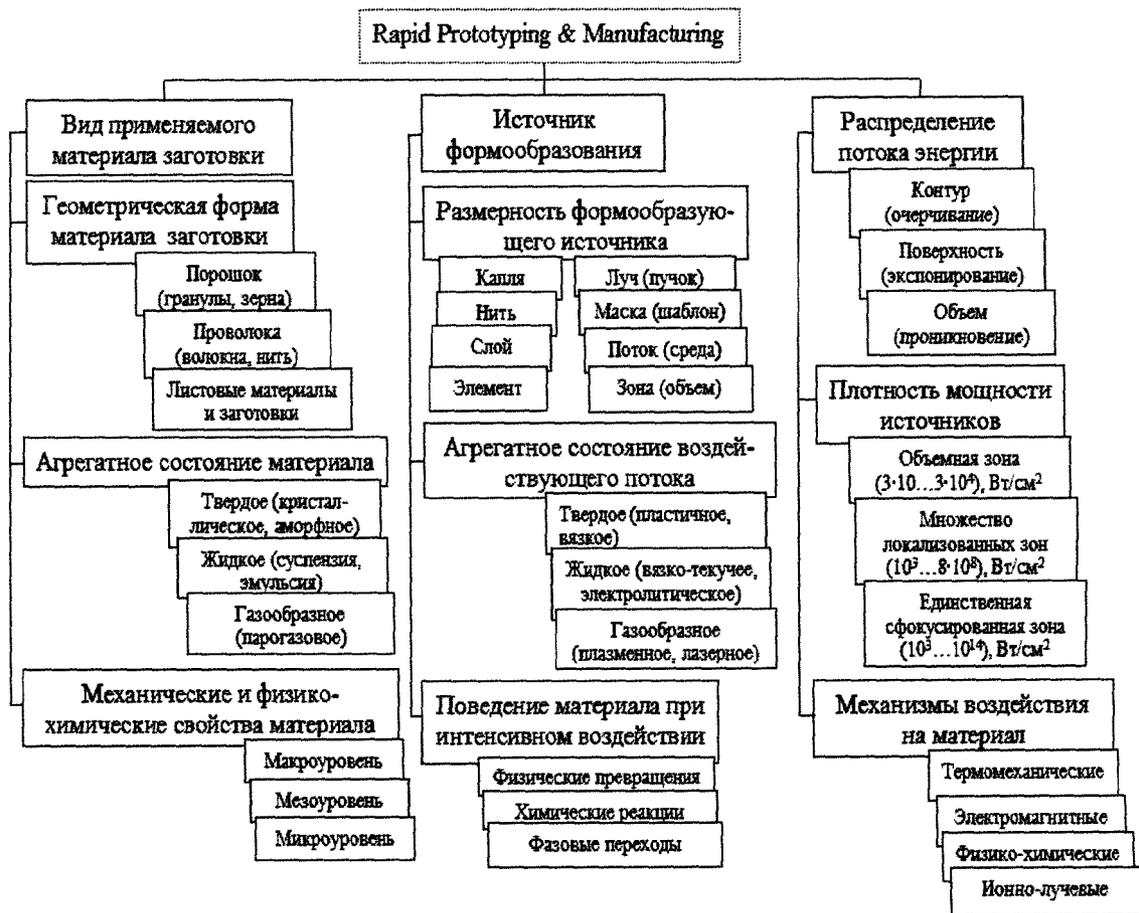


Рис. 1. Классификация процессов оперативного макетирования и производства (Rapid Prototyping & Manufacturing) сложнопрофильных изделий

Различия методов автоматизации процессов послойного синтеза изделий определяются применяемыми рабочими органами установок для обработки, транспортировки и контроля. Для технологий, использующих концентрированные потоки энергии, алгоритмы построения изделия зависят от рабочего цикла процесса, последующей сборки и окончательной обработки изделий.

Исследование технологий обработки слоев потоками энергии и сопутствующей сборкой изделий показало:

1) процессы оперативного макетирования и производства требуют разработки как интенсивных технологий получения масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов, деталей машин, так и информационных технологий их моделирования;

2) перспективными являются процессы прямого создания не только геометрической формы детали, но и ее композиционного материала путем последовательного формирования различных слоев и управления их свойствами с сопутствующей сборкой изделия;

3) информационные технологии должны моделировать не только изделие и процесс его получения, но и структуру материала совместно с процессом его послойного синтеза.

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЦИКЛИНГА ОТРАБОТАННЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Воробьев В.В., Пынькин А.М., Насыбулин А.Х.,  
Гайко В.А., Иранов Е.Н.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «НПО «Центр» предлагает технологию переработки отработанных формовочных смесей (ОФС) состоящую в предварительном дроблении и оттирке ОФС на центробежно-ударной дробилке с последующим их обеспыливанием с использованием статического классификатора и очистки запыленного воздуха в циклоне и рукавном фильтре (рис. 1).

Использование измельчительных комплексов производства УП «НПО «Центр» позволит производить измельчение за счет удара материала об отбойную поверхность с предварительным его разгоном в поле центробежных сил. При этом из анализа результатов предварительных исследований очевидно полное соответствие получаемых материалов требованиям стандарта (ГОСТ 9077-82), определяющего качество пылевидного молотого кварца. При незначительном намоле железа фракционный состав готового продукта превышает требования нормативных документов, что показывает значительный резерв повышения производительности данных мельниц.

Данная технология регенерации относится к наиболее дешевым. Связующие и инертные пленки с зерен удаляются в результате взаимных соударений и трения с другими зернами и под механическим действием рабочих органов оборудования. Одновременно зерна отработанной смеси подвергаются многократным истирающим и ударным нагрузкам о неподвижную преграду, что позволяет эффективно снимать железосодержащую пленку с частиц и одновременно подвергать селективному разрушению минеральные агрегаты и зерна с ожелезненными трещинами.

В классификаторе происходит удаление из материала пылевых частиц (0 – 100 мкм), содержащих большую часть связующих. Пылевые частицы выносятся из классификатора воздушным потоком и затем осаждаются последовательно сначала в циклоне, а затем в рукавном фильтре.

В результате использования данной технологии планируется вернуть в производство около 50 % ОФС. Остальные 50 % пригодны для использования в составе асфальтобетона в качестве минерального наполнителя. Производительность комплекса может достигать 40 т/ч.

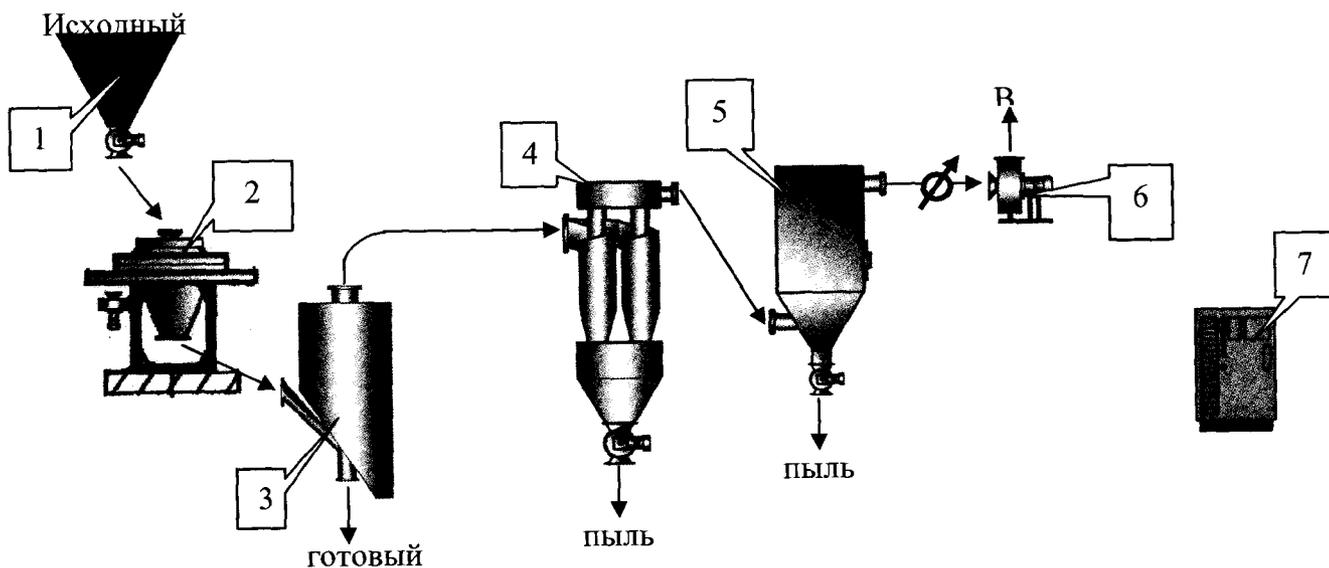


Рис. 1 Схема комплекса для рециклинга отработанных формовочных смесей

1. Бункер с питателем.
2. Дробилка-оттирка
3. Статический классификатор
4. Циклон групповой
5. Фильтр рукавный
6. Вентилятор фильтра
7. Шкаф управления

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ОПОР НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТОРНЫХ СИСТЕМ**

**Воробьёв В.В., Тенюта П.В., Шепель С.Р., Петровский А.Л.**

**ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск**

Роторы и роторные системы являются основой многих видов оборудования: центрифуг, дробилок, мельниц, испытательных машин и других конструкций технологического оборудования с широким диапазоном скоростей вращения и геометрических размеров. Причем, вращающиеся конструкции могут быть представлены не только осесимметричными роторами, состоящими в основном из гладких оболочек и дисков, но и роторами более сложной формы, что связано с необходимостью обеспечения технологических процессов.

Существенными элементами роторной системы являются опоры, обеспечивающие относительное вращение или перемещение в заданном направлении и передающие усилия от одной части конструкции к другой. Для соблюдения необходимых технологических зазоров между ротором и статором требуется надлежащее исполнение опор роторных систем.

Подбор оптимальных параметров опор и конструкции в целом зависит от точности моделирования и расчёта.

Для повышения достоверности расчетов и надежности моделирования роторных систем и роторов со сложной геометрической формой, граничными условиями и нагрузочными режимами целесообразно использовать пакеты программ, способные учитывать все эти факторы. Такие программы как MSC.ADAMS и SolidWorks Motion совместно с вычислительными ресурсами современных компьютеров, позволяют исследовать динамику сложных (с большим числом составных частей) механических систем и оптимизировать параметры, влияющие на работоспособность роторных машин.

В настоящей работе рассматриваются упрощённая и уточнённые модели подшипниковых опор и их влияние на результаты расчётов. Упрощённая модель характеризуется описанием взаимодействия рабочего органа и опор с помощью различных коэффициентов (коэффициентов жесткости и демпфирования по различным направлениям). Уточнённая модель имеет более высокую степень приближения к реальному подшипнику качения по геометрической форме и механизму взаимодействия элементов.

При исследовании динамики роторных систем, основными критериями для сравнения применяемых моделей подшипников были приняты изменяемые во времени перемещения контрольных точек ротора и реакции опор.

При анализе результатов по различным моделям подшипников при одинаковых режимах работы выявлено, что качество и точность моделирования узлов конструкции в значительной степени влияет на конечный результат, а соответственно и на достоверность оптимизации разрабатываемого оборудования.

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 10ХСНД И 18Х2Н4ВА

Голубцова Е.С., Сагарда Е.В.,  
Каледина Н.Б.

Белорусский национальный технический университет  
Белорусский государственный технологический университет

Проводили исследования по влиянию термомеханической обработки (ТМО) на механические свойства низкоуглеродистой стали 10ХСНД (0,09% С) и стали 18Х2Н4ВА (0,17% С). Образцы из стали 10ХСНД после закалки деформировали прокаткой со степенью обжатия до 20% ( $\varepsilon=0, 10, 20\%$ ). Закалку поковок из этой стали с квадратным сечением (сторона 20 мм) проводили от 900 °С. Перед деформацией их зачищали с двух противоположных сторон от окалины в соленой воде. После прокатки проводили старение при 200 °С в течение 2 час. Образцы из стали 18Х2Н4ВА деформировали также прокаткой при тех же степенях деформации ( $\varepsilon=0, 10, 20\%$ ). Закалку проводили до прокатки при температуре 850 °С в воде. Старение осуществляли при температуре 200 °С в течение 2 час. Для проведения эксперимента был использован план 2<sup>2</sup>3, где 2 – два уровня обработки ( $x_1=-1$ , сталь 10ХСНД, закалка 900 °С, старение 200 °С в течение 2 час;  $x_1 = +1$ , сталь 18Х2Н4ВА, закалка 850 °С, старение 200 °С в течение 2 час.), а 3 – три уровня степени деформации  $\varepsilon$  ( $x_2 = -1, \varepsilon=0 \%$ ;  $x_2 = 0, \varepsilon=10\%$ ;  $x_2 = +1, \varepsilon=20 \%$ ). В качестве параметров оптимизации были выбраны характеристики механических свойств: предел текучести ( $y_1 = \sigma_{0,2}$ , МПа); временное сопротивление разрыву ( $y_2 = \sigma_B$ , МПа), относительное удлинение ( $y_3 = \delta, \%$ ) и относительное сужение ( $y_4 = \psi, \%$ ). Матрица плана и результаты эксперимента приведены в таблице. В этой таблице  $x_1$  и  $x_2$  – кодированные уровни способов обработки сталей и степени деформации.  $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$  – алгебраические суммы произведений столбцов  $y_i$  на столбцы  $x_i$  для  $\sigma_{0,2}, \sigma_B, \delta, \psi$  № – номер опыта. Ошибки опытов не превышали 5%-ной величины от средних значений  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$  и  $\bar{y}_4$  и были соответственно равны:  $S_1=45$  МПа;  $S_2=65$  МПа;  $S_3=0,63\%$  и  $S_4=3\%$ .

Коэффициенты уравнения регрессии  $y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$  рассчитывали по формулам:  
 $b_0 = A_0(0Y) - A_0(11Y) - A_{02}(22Y);$        $b_1 = A_1(1Y);$        $b_2 = A_2(2Y);$   
 $b_{12} = A_{12}(12Y);$   $b_{11} = A_{11}(11Y) - A_{01}(0Y);$        $b_{22} = A_{22}(22Y) - A_{02}(0Y).$

В результате расчетов коэффициентов уравнений по формулам получены следующие уравнения для исследуемых характеристик механических свойств:  $y_1 = \sigma_{0,2} = 1270 + 433,3x_1 + 240x_2 - 120x_2^2;$        $y_2 = \sigma_B = 1325 + 415x_1 + 178x_2;$   
 $y_3 = \delta = 12,5 - 3,12x_1 - 3,53x_2 + 1,38x_1x_2;$        $y_4 = \psi = 58,5.$

Таблица - Матрица плана и результаты испытаний сталей 10ХСНД и 18Х2Н4ВА после закалки и деформации

№	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$y_1 = \sigma_{0,2}$	$y_2 = \sigma_B$	$y_3 = \delta$	$y_4 = \psi$
1	-	-	+	+	+	520	720	20	66
2	-	0	0	+	0	780	900	14	60
3	-	+	-	+	+	970	1030	10	57
4	+	-	-	+	+	1300	1460	13	61
5	+	0	0	+	0	1760	1820	9,8	57
6	+	+	+	+	+	1810	1860	8,7	56
$\sum_1$	2600	960	60	7140	4600	7140	-	-	-
$\sum_2$	2490	710	90	7790	5070	-	7790	-	-
$\sum_3$	-23,8	-14,3	5,7	75,5	51,7	-	-	75,5	-
$\sum_4$	-9	-14	4	357	240	-	-	-	357
Код	(1Y)	(2Y)	(12Y)	(11Y)	(22Y)	(0Y) <sub>1</sub>	(0Y) <sub>2</sub>	(0Y) <sub>3</sub>	(0Y) <sub>4</sub>

Анализ результатов таблицы и полученных уравнений регрессии показывает, что между исследуемыми характеристиками механических свойств этих сталей существует корреляционная связь. Оба фактора  $x_1$  и  $x_2$  оказывают существенное влияние на  $y_1 = \sigma_{0,2}$ ,  $y_3 = \delta$ ,  $y_2 = \sigma_B$  и  $\delta$ ; на относительное сужение ( $y_4 = \psi$ ) влияние этих факторов (марки сталей и степени деформации) несущественно. Деформационное старение обеспечивает значительное упрочнение стали 10ХСНД после обжата на 20%: предел текучести возрос на 40% (до 1810 МПа). Хорошее сочетание прочности и пластичности получено для стали 18Х2Н4ВА (0,17% С). При степени деформации 20% ( $x_2 = +1$ ) временное сопротивление разрушению достигает 1860 МПа, а предел текучести 1810 МПа при вполне допусаемом снижении пластичности ( $\delta = 8,7\%$  и  $\psi = 56\%$ ). Следовательно, значение показателей прочности стали 18Х2Н4ВА путем деформации в закаленном состоянии можно поднять до уровней показателей прочности стали с более высоким содержанием углерода, например, стали 30ХГСНА, имеющей после обычной закалки  $\sigma_B = 1860$  МПа и  $\sigma_{0,2} = 1750$  МПа.. При этом показатели пластичности ( $\delta$  и  $\psi$ ) углеродистой низколегированной стали, деформированной в мартенситном состоянии, даже несколько лучше ( $\delta = 9\%$ ,  $\psi = 56\%$ ), чем обычно закаленной стали 30ХГСНА ( $\delta = 10\%$ ,  $\psi = 46\%$ ).

## **НАУЧНЫЕ НАРАБОТКИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП – В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

**Горохов В.А.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Современное машиностроение характеризуется все возрастающей номенклатурой изделий, постоянным их совершенствованием и модернизацией, что связано с необходимостью обеспечения конкурентоспособности продукции и надежным обеспечением рынков ее сбыта. Из всего множества деталей до 20 % составляют корпуса, трудоемкость проектирования технологических процессов (ТП) изготовления которых в 5 – 10 раз выше трудоемкости разработки технологий изготовления деталей других классов (валов, планок, втулок и т.п.). Сократить трудоемкость проектирования ТП изготовления корпусных деталей в десятки раз и повысить качество проектных работ способна лишь автоматизация.

Однако современные САПР ТП механической обработки заготовок корпусных деталей не позволяют в автоматическом режиме назначать технологические базы, последовательность обработки и смены баз, выдавать задание на проектирование станочных приспособлений, определять маршрут обработки конструктивных элементов. Это обусловлено тем, что корпусные детали состоят из разнообразных конструктивных элементов различным образом сориентированных в пространстве. Для них характерным является задание допусков относительного расположения поверхностей, обеспечение точности которых должно осуществляться уже на стадии проектирования ТП путем назначения в процессе обработки технологических баз. Поэтому в большинстве случаев здесь невозможно построение комплексных ТП, как это имеет место при разработке технологий для деталей, например, типа «тел вращения» и «планок».

Автоматизация разработки ТП изготовления корпусных деталей ограничивается недостаточными теоретическими и технологическими основами по классификации конструктивных элементов, созданию конструкторско-технологических моделей заготовок, использованию преимуществ гибких и модульных технологий в проектировании индивидуальных ТП, алгоритмизации проектирования ТП и технологической оснастки. Именно в этих направлениях работают ученые Московского ГТУ «Станкин», Тверского ГТУ, Белорусского НТУ, Витебского ГТУ, Полоцкого ГУ и многих других вузов Союзного государства. В Беларуси, например, работы по автоматизации проектирования ТП изготовления корпусных деталей были осуществлены в рамках межвузовской программы фундаментальных исследований «Разработка научных основ создания прогрессивных технологических процессов, оборудования и инструмента для

машиностроительного производства Республики Беларусь» (Машиностроение-1) по заданию «Системно-структурное моделирование синтеза технологических процессов изготовления корпусных деталей машин»; Государственных программ ориентированных фундаментальных исследований «Поверхность» и «Материал»; региональной научно-технической программы «Инновационное развитие Витебской области» по заданию «Разработка и внедрение системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на машиностроительных предприятиях Витебской области» и других программ.

Для исследования использовались фундаментальные положения технологии машиностроения, аппарат теории принятия решений, моделирования и оптимизации, методы теории базирования, системно-структурного анализа и моделирования, теории графов, алгебры логики, теории множеств и теории алгоритмов. В результате были решены вопросы автоматизированного проектирования ТП обработки заготовок корпусов средних размеров, которые составляют порядка 60 % от общего объема корпусных деталей.

Общесоюзные наработки по автоматизированной разработке ТП изготовления корпусных деталей было решено по мере накопления отражать в совместных учебных изданиях Союзного государства. Более 10 лет назад была утверждена Союзная программа выпуска учебной литературы, в соответствии с которой в РБ вышли в свет учебники «Основы технологии машиностроения (Е.И. Махаринский, В.А. Горохов) и «Проектирование технологической оснастки (В.А. Горохов)», а затем под авторством белорусско-российских коллективов ученых под общей редакцией известного белорусского ученого-педагога П.И. Ящерицына вышел в свет в российских издательствах комплекс учебников и учебных пособий, состоящий из 7 учебников (Технология обработки материалов, Основы технологии машиностроения, Проектирование и производство заготовок, Проектирование технологической оснастки, Проектирование и расчет приспособлений – 2 варианта, Металлорежущие станки) и 4 учебных пособий (Проектирование режущего инструмента, Технология конструкционных материалов, Технологические наладки, Машиностроительное производство). Созданный комплекс обеспечивает полную специальную подготовку будущих инженеров-машиностроителей, которые будут вооружены методиками, знаниями и умениями по автоматизированному проектированию ТП и оснастки для изготовления корпусных деталей машин средних габаритных размеров. Выпуск совместно с Россией литературы продолжается. В 2011 г. вышел в свет в 2-х книгах учебник «Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов» (под редакцией В.А. Горохова). Находятся в печати и готовятся к изданию еще 2 учебника и 3 учебных пособия.

# **ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОНТРОЛЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.**

**Гутич И.И., Волкович П.В.**

Регулирование питания котельных агрегатов и регулирование давления в барабане котла главным образом сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара, горячей и подачей холодной воды. Параметром, характеризующим баланс, является уровень воды в барабане котла. Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством регулирования уровня. При повышении давления, снижение уровня ниже допустимых пределов, может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб, и их пережог. Повышение уровня также ведет к аварийным последствиям, так как возможен заброс воды в пароперегреватель, что вызовет выход его из строя. В связи с этим, к точности поддержания заданного уровня предъявляются очень высокие требования. Качество регулирования питания также определяется равенством подачи питательной воды. Необходимо обеспечить равномерное питание котла водой, так как частые и глубокие изменения расхода питательной воды могут вызвать значительные температурные напряжения в металле экономайзера.

Барабанам котла с естественной циркуляцией присуща значительная аккумулярирующая способность, которая проявляется в переходных режимах. Если в стационарном режиме положение уровня воды в барабане котла определяется состоянием материального баланса, то в переходных режимах на положение уровня влияет большое количество возмущений. Основными из них являются: изменение расхода питательной воды, изменение паросъема котла при изменении нагрузки потребителя, изменение паропроизводительности при изменении нагрузки топки, изменение температуры питательной воды.

Регулирование соотношения газ-воздух необходимо как чисто физически, так и экономически. Известно, что одним из важнейших процессов, происходящих в котельной установке, является процесс горения топлива. Химическая сторона горения топлива представляет собой реакцию окисления горючих элементов молекулами кислорода. Для горения используется кислород, находящийся в атмосфере. Воздух в топку подается в определенном соотношении с газом посредством дутьевого вентилятора. Соотношение газ-воздух примерно составляет 1:10. При недостатке воздуха в топочной камере происходит неполное сгорание топлива. Не сгоревший газ будет выбрасываться в атмосферу, что экономически и экологически не допустимо. При избытке воздуха в топочной камере будет происходить охлаждение топки, хотя газ будет сгорать полностью, но в этом случае остатки воздуха будут образовывать двуокись азота, что экологически недопустимо, так как это соединение вредно для человека и окружающей среды.

Система автоматического регулирования разряжения в топке котла сделана для поддержания топки под наддувом, то есть чтобы поддерживать постоянство разряжения (примерно 4мм.вод.ст.). При отсутствии разряжения пламя факела будет прижиматься, что приведет к обгоранию горелок и нижней части топки. Дымовые газы при этом пойдут в помещение цеха, что делает невозможным работу обслуживающего персонала.

В питательной воде растворены соли, допустимое количество которых определяется нормами. В процессе парообразования эти соли остаются в котловой воде и постепенно накапливаются. Некоторые соли образуют шлам – твердое вещество, кристаллизующееся в котловой воде. Более тяжелая часть шлама скапливается в нижних частях барабана и коллекторов. Повышение концентрации солей в котловой воде выше допустимых величин может привести к уносу их в пароперегреватель. Поэтому соли, скопившиеся в котловой воде, удаляются непрерывной продувкой, которая в данном случае автоматически не регулируется. Расчетное значение продувки парогенераторов при установленном режиме определяется из уравнений баланса примесей к воде в парогенераторе. Таким образом, доля продувки зависит от отношения концентрации примесей в воде продувочной и питательной. Чем лучше качество питательной воды и выше допустимая концентрация примесей в воде, тем доля продувки меньше. А концентрация примесей в свою очередь зависит от доли добавочной воды, в которую входит, в частности, доля теряемой продувочной воды.

Сигнализация параметров и защиты, действующие на останов котла, физически необходимы, так как оператор или машинист котла не в силах уследить за всеми параметрами функционирующего котла. Вследствие этого может возникнуть аварийная ситуация. Например, при упуске воды из барабана, уровень воды в нем понижается, вследствие этого может быть нарушена циркуляция и вызван, пережег труб донных экранов.

Для контроля, регулирования и сигнализации технологических параметров строится АСУТП как человеко-машинная система, работающая в темпе технологического процесса (режиме реального времени) и содержащая технологический, обслуживающий персонал и комплекс технических средств (КТС), включающий программно-технический комплекс (ПТК), резервные средства контроля и управления (РСКУ), датчики, средства воздействия на процессы.

## **МОДУЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСТОЧНИКОВ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ ЭНЕРГИИ**

**Данилов В.А.<sup>1</sup>, Киселев Р.А.<sup>1</sup>, Крутько В.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ГНПО «Центр» НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Современное направление развития технологического оборудования различного назначения характеризуется широким применением агрегатно-модульного принципа построения, что обеспечивает:

- гибкость системы проектирования – возможность изменять в широких пределах и обеспечивать требуемую универсальность создаваемого оборудования за счет оснащения его сменными модулями соответствующего функционального назначения;

- повышение надежности оборудования за счет применения апробированных устройств;

- улучшение условий эксплуатации, диагностики и ремонта оборудования;

- возможность и экономическая эффективность централизованного изготовления модулей, комплектующих механизмов и деталей к ним.

Применение агрегатно-модульного принципа конструирования экономически эффективно в устройствах, основанных на реализации схожих технологических, энергетических, информационных и иных процессов. Это позволяет установить к модулям общие требования, определяющие их универсальность. Оборудование рассматриваемого типа, в частности для плазменной и гидроабразивной резки, в большинстве случаев имеет общую компоновку и основано преимущественно на применении близких по принципу действия систем управления и устройств для координатных перемещений рабочего органа (инструмента). Поэтому для этих частей оборудования, в первую очередь, целесообразен агрегатно-модульный принцип построения. Применение данного принципа связано с выполнением ряда условий совместимости модулей и других устройств станка, в частности:

- возможность стыковки отдельных модулей с обеспечением передачи информации и энергии, как между ними, так и через них.

- функциональная согласованность и дополняемость отдельных модулей.

- технологическая и функциональная безопасность.

При этом модульный принцип может быть положен в основу построения самих модулей в пределах технико-экономической целесообразности.

Изложенное позволяет выделить основные этапы разработки технологического оборудования агрегатно-модульного типа с источниками концентрированной энергии:

1. Выработка общей концепции агрегатно-модульного принципа построения оборудования, определяющей энергетическое, информационное и механическое взаимодействие отдельных модулей и их связь с остальными элементами системы. На данном этапе важно, в частности, определить процессы, связанные с передачей энергетического потока и его воздействием на обрабатываемый материал, способом фокусировки энергетического луча и схемой его перемещения относительно заготовки, управлением процессами обработки и контроля, установить связи между модулями, обеспечивающие передачу необходимых потоков энергии и информации при заданной универсальности оборудования. Решение этих задач необходимо для выбора источников энергии, проектирования механики обрабатывающей системы.

2. Разработка компоновочной концепции, определяющей необходимость и достаточность определенных модулей системы, их стыкуемость и относительную ориентацию, обусловленную технологией обработки и требованиями к универсальности оборудования. Качество компоновки оценивается через характеристики рабочего поля, определяющие технологические возможности оборудования. Здесь при проектировании компоновки станка в обоснованных случаях наряду с традиционной прямоугольной системой следует применять другие системы координатных перемещений, например, основанные на вращательных движениях, а также сочетание различных систем координат, что предопределяет кинематику обрабатывающей системы и ее рабочее поле. Такое построение обрабатывающей системы станка обеспечивает его широкую универсальность, например, возможность раскроя плоских (листовой материал и др.), профильных (трубы, металлопрокат и т.п.) и сложнопрофильных заготовок.

3. Анализ технологических возможностей различных систем координатных перемещений исходя из сложности и точности формирования криволинейных траекторий конечного звена, жесткости элементов системы с учетом технологических требований, обоснованный выбор системы и разработка модулей, обеспечивающих возможность создания обрабатывающих систем с различными системами управления, в частности, без ЧПУ с применением программируемых контроллеров или копиров, экономически целесообразных в условиях серийного производства для выполнения однотипной обработки.

Ответственным этапом проектирования оборудования является обоснование структуры модулей исполнительной системы. В ряде случаев применение модулей с механизмами, определяющими траекторию выходного звена кинематическим методом, обеспечивает по сравнению с модулями, основанными на физических аналогах (направляющих и т.п.), более высокую надежность и универсальность станка, а наличие элементов, позволяющих осуществлять точное дозирование энергетического потока, – и более высокую точность позиционирования. Разработка и применение таких модулей наиболее эффективно при создании специализированного оборудования.

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Кавальчук О.Н., Лапковский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

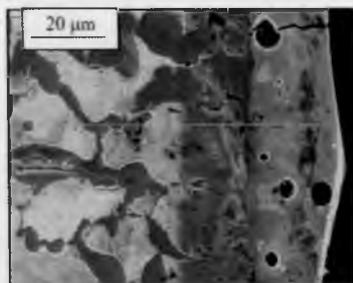
Одним из недорогих и наиболее распространенных методов является электроискровое легирование (ЭИЛ). Но электроискровые покрытия обладают рядом недостатков, которые значительно снижают их применение. Проблема решается обработкой покрытий лазером. Цель лазерной обработки – уменьшить поверхностную пористость и избавиться от царапин, трещин и неоднородности, повысить плотность покрытия.

**Материалы и параметры процесса.** В ходе проведения исследований покрытия наносили методом электроискрового легирования, используя электрод из твердого сплава ВК8 (92% WC и 8% Co) с поперечным сечением 3?4 мм (анод) на образцы в форме колец, изготовленных из углеродистой стали 45 (катод).

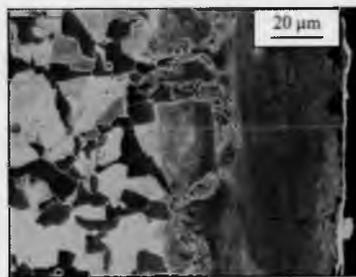
Для нанесения покрытия использовалась электроискровая установка модели ЭИУ–8А. Основываясь на результатах предварительных исследований были приняты оптимальными для ЭИЛ следующие параметры: напряжение  $U = 230$  В, емкость конденсатора  $C = 300$  мкФ, сила тока  $I = 2,4$  А.

Последующая лазерная обработка проводилась со следующими параметрами: диаметр пятна  $d = 1$  мм; плотность мощности  $q = 0,2$  Вт/м<sup>2</sup>; скорость луча  $v = 250$  мм/мин; обработка проводилась в фокусе.

**Обсуждение результатов.** Микроструктурный анализ показал, что толщина электроискрового слоя составила 20-30 мкм, а зона термического влияния (ЗТВ) простирается на 15-20 мкм в основу (рисунок 1а). На фотографии можно увидеть четкую границу между покрытием и основой, а также поры и микротрещины.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктуры электроискрового покрытия (а) и электроискрового покрытия после лазерной обработки (б)

Трибологические исследования электроосажденных покрытий были выполнены с использованием прибора типа «штифт-на-диске», Т-01М, принцип действия которого изображен на рисунке 2.

Испытания проводились со следующими параметрами трения: скорость вращения  $v = 637 \text{ мин}^{-1}$ , число оборотов  $n = 5305$  пов., продолжительность испытания  $t = 500$  с (вплоть до приработки, определенной при предварительных испытаниях), нагрузка в пределах 5-15 Н.

Стабилизация силы трения наступает после 280 с для электроискровых покрытий, ее значение колеблется в пределах 6-6,2 Н (рисунок 3). Для ЭИ покрытий после лазерной обработки сила трения стабилизируется после 400 с и ее значение колеблется в пределах 3,9-4,1 Н. Средняя сила трения ВК8 покрытий приблизительно на 35% выше, чем у модифицированных лазером (в момент стабилизации).

Микротвердость исследовалась по методу Виккерса под нагрузкой 40 г параллельно в трех зонах: покрытие, ЗТВ и основа (рисунок 4).

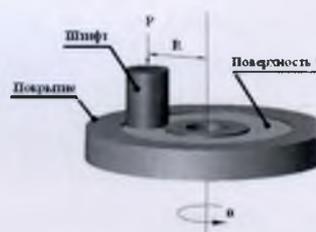


Рисунок 2 – Принцип работа прибора типа «штифт-на-диске»

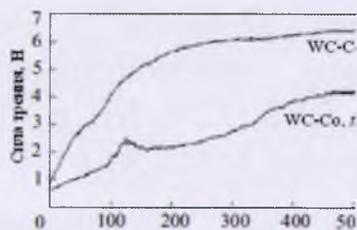


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости силы трения от времени испытания

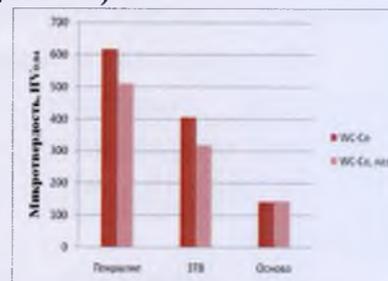


Рисунок 4 – Гистограмма результатов исследований на микротвердость

Средняя микротвердость подложки после ЭИЛ составила  $142 \text{ НV}_{0,04}$ , как и в начальном состоянии. Средняя микротвердость ВК8 покрытий –  $617 \text{ НV}_{0,04}$ , что на 335% больше по сравнению с материалом основы. Микротвердость ЗТВ после лазерной обработки повысилась на 185% относительно материала основы.

После применения лазерной обработки микротвердость электроискровых покрытий уменьшилась незначительно, а именно на 21%. Это снижение может быть причиной перераспределения внутренних напряжений.

**Выводы.** На основе проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

- 1) Применяя сфокусированный лазерный луч, можно влиять на поверхностные свойства покрытий.
- 2) Лазерная обработка приводит к снижению пористости поверхностного слоя и исчезновению микротрещин.
- 3) Среднее значение силы трения (в момент приработки), полученное во время трибологических исследований для электроискровых покрытий приблизительно на 30% выше тех значений, которые получены для таких же покрытий после обработки лазером.
- 4) Лазерная обработка вызвала 21%-ное уменьшение микротвердости электроискровых ВК8 покрытий.

## **ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАЛИКОВ ОТ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ**

**Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Лазерная наплавка - это технология создания покрытий, включающая нанесение материалов разной природы на металлическую подложку с использованием в качестве источника энергии лазерного луча. Особенностью лазерной наплавки является достижение высоких (до  $10^7$  Вт/м<sup>2</sup>) плотностей мощности, что обеспечивает возможность локального нанесения покрытия без объемного разогрева детали.

Перспективным направлением развития лазерной наплавки является объединение последней с компьютерным проектированием (CAD) и компьютерным управлением (CAM), когда появляется возможность производить послойное изготовление деталей завершенной геометрии в течение одноступенчатого процесса с минимальной последующей механической обработкой и получением комплекса свойств деталей, не уступающего по уровню свойствам, получаемым пластической деформацией.

Так как процесс лазерной наплавки является основой упомянутых выше технологий, нами была предпринята попытка исследовать основные особенности формирования геометрии поперечного сечения валиков получаемых при лазерной наплавке при изменении таких параметров, как дистанция наплавки и скорость наплавки.

Лазерная наплавка производилась при мощности излучения лазера 1000 Вт, при различных дистанциях и скоростях наплавки на образцы из стали 45. В качестве наплавочного материала использовали порошок самофлюсующегося сплава – ПГ-12Н-02 грануляцией 20-80 мкм.

Затем на поперечных шлифах зон наплавки, с помощью металлографического микроскопа Р-200 определяли такие геометрические параметры поперечного сечения, как ширина валика  $I$  и высота –  $H$ .

Установлено, что при увеличении дистанции наплавки ширина валиков уменьшается. Эта закономерность одинаково проявляется при всех исследованных режимах (рисунок 1). Такую зависимость можно объяснить тем, что уменьшение дистанции наплавки приводит к расфокусировке луча лазера, при этом увеличивается пятно нагрева и, как следствие, увеличиваются диаметр ванны расплава и ширина валика.

Скорость наплавки, как видно из рисунка 2, также довольно заметно влияет на ширину валика. При увеличении скорости наплавки самофлюсующегося сплава на основе никеля ширина валика уменьшается. Такая закономерность имеет место при всех применявшихся режимах наплавки.

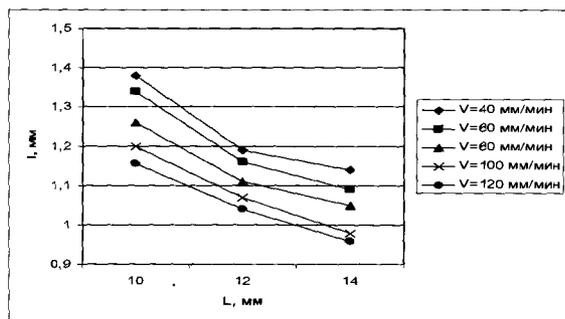


Рисунок 1- Зависимость ширины валика I от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-12Н-02

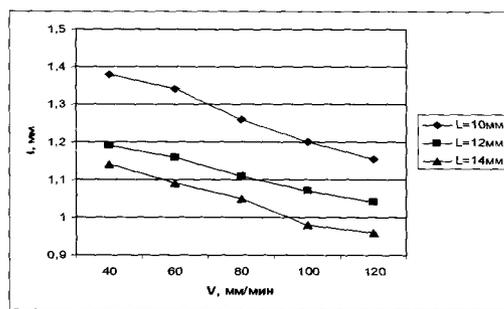


Рисунок 2- Зависимость ширины валика I от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-12Н-02

Наблюдавшаяся зависимость ширины валика от скорости наплавки объясняется тем, что при увеличении скорости наплавки один и тот же объем подаваемого в зону наплавки материала распределяется на большей длине наплавки. Естественно, что при этом ширина валика должна уменьшаться.

Увеличение дистанции наплавки, как видно из рисунка 3, приводит к увеличению высоты валиков. Такой характер зависимости можно объяснить тем, что рост дистанции наплавки приводит к уменьшению количества вносимой в покрытие энергии, ванна расплава уменьшается в диаметре, поэтому из поступающего в зону наплавки порошка формируется все более узкий валик. Указанная закономерность справедлива при всех режимах наплавки.

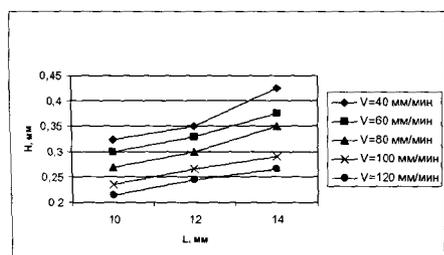


Рисунок 3- Зависимость высоты валика H от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-12Н-02

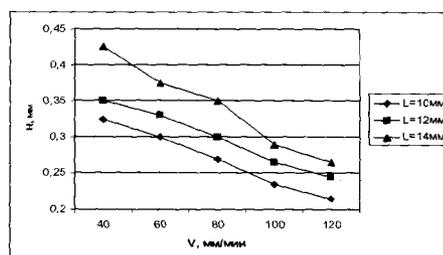


Рисунок 4- Зависимость высоты валика H от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-12Н-02

Влияние скорости лазерной наплавки на высоту валиков показано на рисунке 4. Из него видно, что скорость наплавки оказывает более существенное влияние на высоту валиков по сравнению с дистанцией наплавки.

Таким образом, исследования показали, что режимы процесса оказывают существенное влияние на форму и размеры поперечного сечения валиков получаемых при лазерной наплавке. Это обстоятельство нельзя игнорировать при назначении режимов наплавки для конкретных деталей. Последнее обстоятельство тем более важно в процессах 3D прототипирования, когда лазерная наплавка является только частью достаточно сложного технологического процесса непосредственного формирования детали.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Девоyno О.Г., Лапковский А.С., Веремей П.В.

Белорусский национальный технический университет,  
Минск

В настоящее время в машиностроительном производстве широко применяются длинномерные и сложнопрофильные детали. В связи с этим становится актуальным вопрос повышения эксплуатационных характеристик данных изделий. Значительную сложность в решении данной задачи составляет склонность длинномерных деталей к короблению, что не позволяет применять методы объёмного и большинство видов поверхностного упрочнения. Эффективным процессом повышение эксплуатационных характеристик данных изделий является лазерная термообработка. За счёт локальности воздействия лазерного излучения, а так же сверхвысоких скоростей нагрева и охлаждения существует возможность путём варьирования параметров значительно снизить, либо компенсировать остаточные напряжения в упрочнённом изделии и таким образом избежать коробления деталей.

При лазерной обработке величина остаточных напряжений в значительной степени определяется порядком обработки и структурными превращениями в материале. Однако для такого дорогостоящего элемента как матрица гибочного станка имеет смысл применить САПР для моделирования процесса коробления при лазерной закалке для получения наиболее технологичного варианта при наименьших материальных затратах.

В данной работе был смоделирован процесс лазерной закалки матрицы гибочного станка. Для моделирования процесса лазерной закалки изделия применялась программа WeldPlanner (ESI Group), предназначенная для моделирования процесса сварки и позволяющая определить величину напряжений и деформаций. В качестве варьируемых параметров выступали: порядок наложения дорожек (от 1 до 6), схемы обработки (вся дорожка целиком или половина, например, 2(ск1) означает 2-ая дорожка, от середины до одного края), различные схемы закрепления (А и Б). Порядок наложения дорожек показан на рисунке 1.



DET_1020	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1028	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1029	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1031	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1032	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1034	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1035	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1036	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1037	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1038	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1040	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1041	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1042	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1043	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1044	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1045	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1046	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1047	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1048	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1049	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1050	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1051	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1052	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1053	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1054	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1055	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1056	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1057	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1058	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1059	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1060	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1061	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1062	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1063	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1064	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1065	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1066	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1067	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1068	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1069	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1070	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1071	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1072	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1073	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1074	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1075	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1076	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1077	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1078	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
DET_1079	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20												

Рисунок 1 – а) порядок наложения дорожек и схемы закрепления, б) «шахматная» таблица задания последовательности наложения дорожек.

По результатам моделирования схема закрепления А (по обоим торцам) в сравнении с вариантом Б (закрепление по центру) показала себя хуже – при прочих равных условиях суммарная деформация для первой схемы закрепления была на 0,025мм/м выше (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Суммарные деформации при закреплении по торцам (а) и по центру (б)

При моделировании варьировался порядок наложения дорожек. В зависимости от порядка наложения дорожек оценивались суммарные деформации (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние порядка и схемы наложения дорожек на деформации изделия

№п/п	Последовательность наложения дорожек	Деформации по X		Деформации по Y		Деформации по Z		Общие деформации
		min	max	min	max	min	max	
1	1-5-2-6-8-4-7-3	-0,028	0,022	-0,014	0,162	-0,074	0,073	0,166
2	1-2-5-6-8-7-4-3	-0,028	0,022	-0,014	0,163	-0,074	0,073	0,167
3	2(ск1)-2(ск2)-1(ск1)-1(ск2)-6-5-3-8-4-7	-0,027	0,025	-0,015	0,157	-0,074	0,073	0,164
4	3-4-8-7-2-1-6-5	-0,028	0,022	-0,014	0,161	-0,074	0,073	0,168
5	(1и2)-(5и6)-(3и4)-(7и8)	-0,028	0,023	-0,014	0,152	-0,073	0,072	0,158
6	2(ск1)-6-5-1(ск1)-3-4-2(ск2)-8-7-1(ск2)	-0,027	0,024	-0,015	0,157	-0,074	0,073	0,164

Выводы:

1) При рассмотрении результатов опытов 1-6 был сделан вывод о том, что при данном соотношении размеров поперечного сечения и глубины закалённого слоя порядок и схема наложения дорожек практически не влияют на остаточные деформации (разброс общих деформаций  $\Delta=0,01$ мм/м).

## УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Довгалеv А.М., Сухоцкий С.А.

ГУВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Республика Беларусь

Важной практической задачей является выявление технологических возможностей нового высокопроизводительного метода магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей, при котором силовое взаимодействие деформирующих шаров с деталью обеспечивается за счет энергии магнитного поля инструмента [1].

В работе представлены результаты исследований шероховатости поверхности от подачи и частоты вращения инструмента при упрочняющей обработке заготовок из алюминиевого сплава Д16Т (90-100 НВ) и стали 45 (200-220 НВ). Размеры заготовок: толщина – 15 мм, ширина – 190 мм, длина – 300 мм. Заготовки предварительно обрабатывали методом торцового фрезерования на станке модели ВФ 130. Материал режущей части фрезы – Т15К6. Режимы фрезерования:  $V = 200$  м/мин,  $S = 60$  мм/мин,  $t = 0,5$  мм. Шероховатость поверхности заготовок после фрезерования  $Ra = 3,2 - 2,5$  мкм.

Для упрочняющей обработки использовали двухрядный магнитно-динамический инструмент с магнитным приводом шаров-ударников, взаимодействующих с деформирующими шарами (рис. 1) [2].

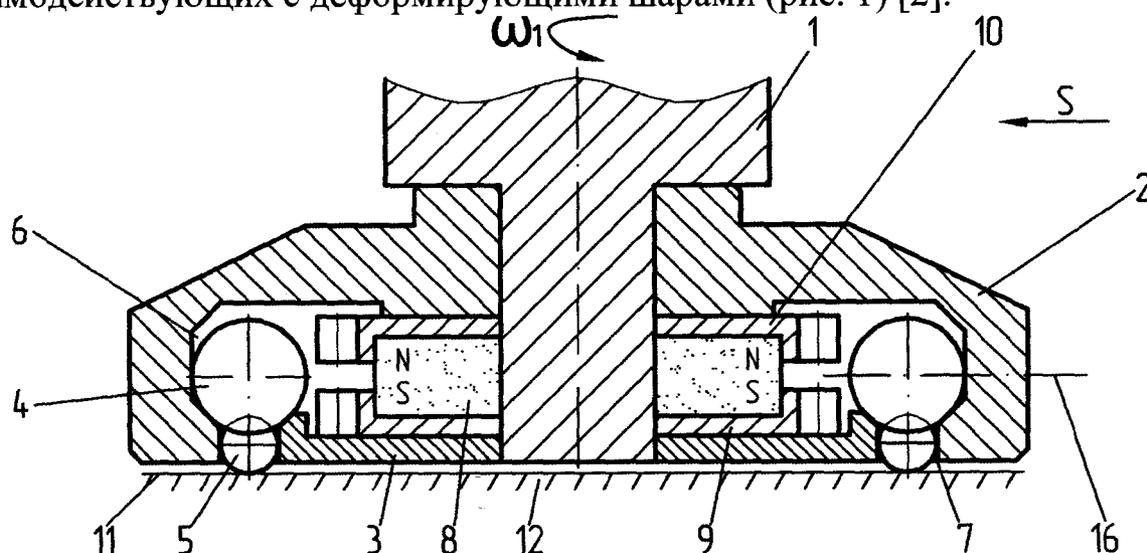


Рисунок 1 – Двухрядный магнитно-динамический инструмент

Инструмент содержит оправку 1, корпус 2, шайбу 3, шары-ударники 4, деформирующие шары 5, кольцевую полость 6 для шаров-ударников, а также осевую кольцевую полость 7 для деформирующих шаров. На оправке закреплен источник магнитного поля 8 в виде постоянного магнита с осевой намагниченностью с размерами ( $D \times d \times h$ ) 71x27x14 мм, предназначенный для разгона шаров-ударников и магнитопровод в виде зубчатых дисков 9, 10. Материал магнита  $SmCo_5$ , зубчатого диска – сталь 3. Деформирующие шары, располагаясь в осевой кольцевой полости 7, выходят в кольцевую полость 6 и

имеют возможность взаимодействовать с шарами-ударниками, а также перемещаться в осевом направлении кольцевой камеры 7 и контактировать с обрабатываемой поверхностью 11 детали 12. Величина магнитной индукции в зоне зубьев диска – 0,45 Тл. Материал шаров-ударников и деформирующих шаров – ШХ15 (62 - 65 HRC). Диаметр шара-ударника – 15 мм, деформирующего шара – 8,9 мм.

Упрочняющую обработку поверхности детали осуществляли на вертикально-фрезерном станке модели ВФ 130. Режимы упрочнения:  $n = 100 - 1600 \text{ мин}^{-1}$ ,  $S = 10 - 200 \text{ мм/мин}$ . Во время обработки осуществляли охлаждение зоны деформирования маслом индустриальным И12А.

Получены рекомендации по выбору рациональных режимов упрочняющей обработки деталей из стали 45 и алюминиевого сплава Д16Т. Установлено, что магнитно-динамическое упрочнение плоских деталей обеспечивает снижение шероховатости поверхности до  $Ra 1,25 - 0,6 \text{ мкм}$ . [3].

1. Довгалев, А.М. Математическое моделирование магнитно-динамического инструмента для упрочняющей обработки плоских поверхностей / А. М. Довгалев, Н. А. Леванович, С.А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Вестн. Белорусско-Российского университета. – 2010. - № 4. – С. 55-65.

2. Пат. 14651 РБ, МПК В 24В 39/02. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоской поверхности / А. М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков; заявитель и патентообладатель Бел. – Рос. ун-т. - № а20081196; заявл. 22.09.2008, опубл. 30.04.2010.

3. Довгалев, А.М. Двухрядные магнитно-динамические инструменты / А. М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д.М. Рыжанков // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2009. - № 2. – С. 12-20.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Емельянов С. Н., Березиенко В. П.

ГУВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Республика Беларусь

В последнее время наблюдается увеличение объема применения сталей с цинкосодержащими покрытиями. Наиболее производительным способом соединения таких сталей является контактная точечная сварка. Наличие цинкового покрытия на свариваемом металле оказывает существенное влияние на протекание процесса контактной сварки и, как правило, снижает качество сварного соединения. В существующей практике параметры режима сварки выбирают, ориентируясь на имеющиеся рекомендации для сварки аналогичных сталей без покрытия. Используемые способы контактной точечной сварки оцинкованных сталей предполагают разрушение и вытеснение цинкового покрытия из зоны сварки [1-3]. Снижающиеся при этом антикоррозионные свойства соединения на лицевых поверхностях восстанавливают после сварки грунтовкой и покраской, что ухудшает экономические показатели процесса изготовления изделий.

Целью исследований являлась разработка рекомендаций по выбору параметров технологического процесса контактной сварки сталей толщиной

0,5 – 2,0 мм с защитными цинкосодержащими покрытиями, обеспечивающих сохранение антикоррозионных и прочностных показателей сварных соединений.

В качестве гипотезы нами принято, что для сохранения защитного покрытия необходимо, чтобы температура металла в контакте электрод-деталь не превышала температуры размягчения покрытия, а фактическое падение напряжения не превышало напряжения размягчения цинкового покрытия. Соблюдение этого условия должно способствовать уменьшению деформации и вытеснению цинкового покрытия в месте контактов электродов с деталями.

Согласно теории электрических контактов зависимость сопротивления контакта от падения напряжения, называемая « $r-u$ » характеристикой, дает представление о характерных значениях падения напряжения размягчения  $U_p$  и напряжения плавления  $U_m$  для данного сочетания металлов. Напряжения размягчения  $U_p$  и напряжения плавления  $U_m$  являются характеристиками материала покрытия, которые связаны с изменением его теплофизических свойств при нагреве, и, как следствие, контактного сопротивления [4].

Проведенные экспериментальные исследования зависимости электрических сопротивлений  $r_{\text{сд}}$  от напряжения в контакте электрод-деталь  $U_{\text{сд}}$  показали, что для обеспечения сохранения покрытия в контакте электрод-деталь необходимо, чтобы фактическое падение напряжения при сварке  $U_{\text{сд}}$  не превышало величины

напряжения, названного в теории электрических контактов напряжением размягчения  $U_p$ .

На основании математического моделирования и экспериментальных исследований нами определены требования к параметрам технологического процесса, обеспечивающим сохранение цинкового покрытия:

– поддержание падения напряжения  $U_{эд}$  на контактах электродов с изделием не выше  $0,9 U_p$  ( $U_p$  – напряжение размягчения, В) и давлений в зоне сварки, не превышающих предел текучести материала покрытия;

– максимальная величина сварочного тока ( $I_{св}$ , кА) должна выбираться по зависимости:  $I_{св} = \frac{0,9 U_p}{r_{эд}}$ . С целью уменьшения тепловыделения в

контактах электродов с деталями сопротивление контактов электродов и деталей ( $r_{эд}$ , мОм) не должно превышать величины, определяемой по формуле:  $r_{эд} = \frac{0,082 U_p}{\sqrt{\delta}}$ . Для снижения сопротивления на начальном этапе

сварки необходимо применять модулированную форму импульса тока. Длительность модуляции ( $\tau_{mod}$ , с) с учетом зависимости  $r_{эд}$  от толщины свариваемых деталей  $\delta$  определяется по формуле:  $\tau_{mod} = \exp\left(\frac{0,59}{\sqrt{\delta}} - 2,89\right)$ ;

– при контактной точечной сварке темп сварки не должен превышать 30 точек в минуту при охлаждении электродов жидкостью с температурой 10 °С. При охлаждении сварочных электродов жидкостью с температурой минус 40 °С темп сварки может быть увеличен в 1,5 раза. Использование электродов с улучшенным охлаждением рабочей поверхности и охлаждающей жидкостью с температурой не выше минус 40 °С позволяет повысить в 3-5 раз стойкость сварочных электродов.

Одним из рекомендуемых нами способов сохранения защитного покрытия является использование промежуточных электродов в виде медной фольги. Выбор толщины фольги осуществляется в зависимости от теплофизических свойств и толщины основного металла и покрытия по разработанным нами рекомендациям [5].

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Вакатов, А. В. Особенности формирования сварных соединений при контактной точечной сварке оцинкованной стали / А. В. Вакатов // Сварочное производство. – 2001. – № 2. – С. 20–21.

Пиетрас А., Точечная сварка оцинкованных листовых материалов в серийном производстве/ Пиетрас А., Папкала Х. // Сварка и родственные технологии. Мировой опыт и достижения: материалы II международ. симп.- Минск.– 2001.– С. 63-71.

Патент № 2066364 (RU) С1. МПК В23К 11/10, 11/16. Способ контактной точечной сварки оцинкованных стальных листов / А.В. Вакатов, Ю.С. Данилов; заявитель и патентообладатель Волжское объединение по производству легковых автомобилей «АвтоВАЗ», заявлено 14.12. 1992, опубликовано 10. 09. 1996.

# **НАСТРОЙКА ПЛАНИРОВЩИКА ЗАДАЧ ОС FREEBSD ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

**Здор Г.Н., Дербан А.Н.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Современные системы автоматизации технологических процессов и производств не мыслимы без гибких, функциональных и адаптируемых, но в тоже время надежных и высокопроизводительных операционных систем. Использование в качестве программной платформы операционных систем, построенных на базе открытых исходных кодов (open source software), например FreeBSD, является приоритетным во всех отраслях экономики не только с точки зрения реализации программ импортозамещения, но и исходя из принципов реализации программы национальной безопасности РБ. Необходимо учитывать, что в течении последних нескольких десятилетий программно-аппаратные средства в индустрии автоматизации практически полностью монополизированы качественными, но в тоже время дорогостоящими зарубежными решениями, модернизация и техническая поддержка которых, как правило, возможна только на основе приобретения новых или продления существующих лицензий. Отсутствие возможностей анализа, корректировки закрытых программных продуктов на уровне исходных кодов ставит национальную экономику в зависимость от зарубежных IT корпораций, заставляя субъектов хозяйствования выводить крупные суммы в валюте за рубеж.

Особенностью распространения ОС FreeBSD является отсутствие необходимости лицензионных отчислений, кроме того нет жестких обязательств по публикации в свободный доступ изменений на уровне исходных кодов, предусмотренных по лицензии для похожих решений ОС семейства Linux, что безусловно делает FreeBSD более привлекательной для реализации коммерческих или закрытых проектов на базе open source.

Ключевым аспектом с точки зрения возможности использования программного обеспечения в системах автоматизации является способность ОС и системного программного обеспечения в целом адекватно реагировать на изменяющиеся параметры функционирования технологических процессов и производств. Одновременно с этим к программной платформе предъявляются жесткие требования с точки зрения экономии аппаратных ресурсов, особенно это актуально для автономных и встраиваемых систем. Безусловным преимуществом open source решений в данном случае является возможность сборки собственного ядра ОС с учетом необходимости использования одно- и многопроцессорной обработки данных, функциональных возможностей различных аппаратных интерфейсов и т.д. Однако не всегда опциональное включение\отключение модулей может быть достаточным с точки зрения

адаптации разрабатываемой автоматизированной системы к реальным технологическим и производственным процессам.

Настройку планировщика многозадачной ОС с учетом времени инициализации, отклика или завершения критичных с точки зрения быстродействия задач можно отнести к одному из финальных этапов адаптации системного программного обеспечения. Существует четкая зависимость: чем короче квант времени, выделяемый планировщиком, тем лучше интерактивный ответ системы, однако более длительные кванты времени обеспечивают лучшую производительность системы, поскольку у ОС будет меньше издержек по осуществлению переключений между задачами, кроме того кеш процессора будет очищаться реже, что значительно повышает коэффициент его использования. При использовании FreeBSD со стандартным планировщиком 4.4BSD используется квант времени в 0,1 секунды, определенный эмпирически, как самый длительный квант времени, который может использоваться без потери нужной чувствительности для интерактивных заданий. Квант времени остался без изменений в течение последних 20 лет, причем первоначально он был выбран на системах с разделением времени с множеством пользователей.

Современные автоматизированные системы, в отличие от рабочих станций пользователей, могут с одной стороны требовать более высокой чувствительности (отклика) ОС, а с другой стороны предъявлять повышенные требования по производительности специфических приложений. Уменьшение кванта времени ниже 0,1 секунды возможно для FreeBSD с планировщиком 4.4BSD на основе редактирования глобальных параметров системы.

С развитием технологий реализации многопроцессорных систем классический планировщик на данный момент практически не используется. Все современные версии ОС FreeBSD, начиная от индекса 5.1, по умолчанию поставляются с планировщиком ULE, который алгоритмически, безусловно, более сложный, но при равных прочих условиях показывает существенно более хорошие результаты по производительности, особенно для аппаратных конфигураций, построенных на нескольких вычислительных ядрах. В отличие от 4.4BSD планировщик ULE построен по принципам планирования процессорного времени на основе многоуровневой модели обработки очередей задач с обратными связями. Эта модель предусматривает управление квантом времени для каждой из задач на основе приоритетов соответствующих очередей, таким образом, критичные к производительности системы процессы обрабатываются в более интерактивном режиме. К настройкам планировщика ULE можно отнести возможности использования ресурсов одного конкретного или фиксированного множества доступных в системе центральных процессоров, управление очередями задач для процессоров, а также поддержка технологии hyper-threading.

Выбор конкретного планировщика задач должен быть обусловлен спецификой решаемых системой задач, с учетом необходимости поддержки многопроцессорных систем, временных характеристик реальных технологических процессов, а также доступных системных ресурсов.

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ПРИВОДАХ ПОДАЧ И ПРИВОДАХ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКОВ. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Здор Г.Н., Сеницын А.В.,**

**Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.**

Белорусский национальный технический университет, Минск,

Республика Беларусь

ООО «Техникон», Минск, Республика Беларусь.

Развитие элементной базы современного электропривода привело к созданию комплектных асинхронных приводов для использования, как в приводах главного движения, так и в приводах подачи. [1,2]

Однако выбор электроприводов на базе асинхронных двигателей имеет ряд особенностей, связанных как с характеристиками асинхронных двигателей, так и с возможностями инвертеров различных типов.

Основопологающим критерием при выборе инвертеров становится функциональное назначение привода (главного движения, подачи) и, как следствие диапазон регулирования.

Использование обратной связи по скорости в виде фотоимпульсных датчиков (энкодеров) позволяет использовать асинхронные приводы в качестве приводов подачи.

В зависимости от функционального назначения и требуемых характеристик привода проектировщик может использовать как общепромышленный асинхронный двигатель, так и специализированный.

Из логики построения системы управления возможно замыкание в асинхронном приводе, как скоростного контура, так и контура регулирования положения. Использование асинхронного привода в контуре положения позволяет организовать мерное перемещение рабочих органов, ориентацию, выполнение определенного цикла работы привода (разгон, перемещение на заданную величину, останов, реверс) по дискретному сигналу и пр.

Отдельной задачей является использование асинхронных приводов в режиме прямого управления моментом, характерном для задач намотки/размотки.

При проектировании электрооборудования станков и других технологических установок необходимо учитывать требования новых стандартов безопасности. Данные стандарты определяют алгоритм управления в различных режимах работы в зависимости от класса опасности оборудования.

Особое внимание в данном случае уделяется организации режимов торможения приводов для обеспечения безопасной и производительной работы станков различных типов.

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ERP- И MES-СИСТЕМЫ. MES-ИНТЕРФЕЙС**

**Здор Г.Н., Сеницын А.В.,**

**Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.**

Белорусский национальный технический университет, Минск,  
Республика Беларусь

ООО «Техникон», Минск, Республика Беларусь.

На современном промышленном предприятии существуют несколько уровней управления.

Нижний уровень управления формируется системами управления технологическим оборудованием – станциями управления станков, технологических установок, цехов и пр.

Следующий уровень – это уровень MES (Manufacturing execution system) – системы управления производством. Еще выше находится уровень ERP (Enterprise resource planning) – глобальное управление всеми активами предприятия. [1,2]

Для эффективной работы предприятия необходима прозрачная передача данных от нижнего уровня управления к MES- и ERP- уровням. Для реализации этой задачи целесообразно использовать MES-интерфейс.

Примером аппаратной реализации MES-интерфейса является модуль MES Interface IT компании Mitsubishi Electric. Спроектированный для использования в качестве шлюза между АСУТП и системами управления предприятием, модуль MES Interface IT устраняет традиционный разрыв между производством и бизнес-системами верхнего уровня, позволяя производить двунаправленную передачу данных с уровня производства в информационные системы предприятия.

Применение этой технологии позволяет устранить потребность в использовании шлюзов на базе ПК со сложным и дорогим программным обеспечением. Благодаря непосредственному доступу к базам данных с уровня контроллера, упрощению работы по интеграции системы, использование модуля MES Interface IT значительно сокращает накладные расходы на внедрение АСУТП на предприятии.

Карданская Н.Л., Чудаков, А. Д. Системы управления производством: анализ и проектирование: Учеб.пособие для вузов. –М.: РДЛ, 1999. – 240 с.

Гайфуллин, Б. Н., Обухов, И. А. Автоматизированные системы управления предприятиями стандарта ERP/MRPII Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Богородский печатник, 2000.

**СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНКОВ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. САПР CADELECTRO ENERGY.  
ИНТЕГРАЦИЯ САПР В СИСТЕМУ КОНСТРУКТОРСКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА И СИСТЕМУ  
АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И УЧЕТА**

**Здор Г.Н., Сеницын А.В.,**

**Шульман А.И., Клебанов Е.А., Кадемик Р.С.**

Белорусский национальный технический университет, Минск,  
Республика Беларусь

ООО «Техникон», Минск, Республика Беларусь.

Одним из направлений развития CAD/CAM/PDM систем является создание специализированных программных продуктов для предприятий, занимающихся разработкой и производством конкретной продукции [1,2].

САПР CADElectro Energy нацелена на создание CAD/CAM/PDM-систем при комплексной автоматизации деятельности малых, средних и крупных компаний, занимающихся разработкой и производством систем автоматизации и электротехнического оборудования.

Основные требования, предъявляемые заказчиками к подобным системам:  
Лаконичный и понятный интерфейс.

Простота освоения продукта пользователями с разным уровнем владения компьютером

Простая с интеграция с системами конструкторско-технологической подготовки производства и с системами автоматизации управления и учета уже используемых на предприятии.

Поддержка национальных стандартов проектирования.

CADElectro Energy позволяет передавать информацию в другие САМ-системы, например M-Print®PRO. В свою очередь M-Print®PRO располагает решениями задач маркировки электротехнического оборудования: клемм; аппаратов; проводов; кабелей; органов управления лицевых панелей; высокотехнологического оборудования для нанесения маркировки.

CADElectro Energy может свободно интегрироваться с системами документооборота предприятия, что позволит систематизировать и хранить конструкторскую документацию. А также осуществлять контроль жизненного цикла изделия, начиная от разработки проектной документации до поставки готового изделия заказчику.

CADElectro Energy — это инструмент, который позволяет существенно сократить и ускорить процесс подготовки конструкторской документации, а также значительно сократить число ошибок при проектировании.

# МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Здор Г.Н., Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика  
Беларусь

На основании предварительных исследований радиоизлучения работающих газотурбинных установок (ГТУ) был разработан и изготовлен специальный радио-датчик, предназначенный для конкретно -направленных исследований.

Схема измерительной установки представлена на рис. 1. Радио-датчик 2 устанавливался в непосредственной близости работающей ГТУ в месте, где отмечался максимум радиоизлучения, либо возле интересующего узла или агрегата 1. Сигнал с высокочастотного выхода радио-датчика поступал на измеритель напряжения высокой частоты 5, а с низкочастотного выхода - на вольтметр 4 и магнитофон 3, последний записывал детектированный сигнал с целью долговременного хранения. Затем в лабораторных условиях исследуемый сигнал, воспроизводимый магнитофоном, подавался на анализатор спектра последовательного типа, и результат фиксировался самопишущим потенциометром.

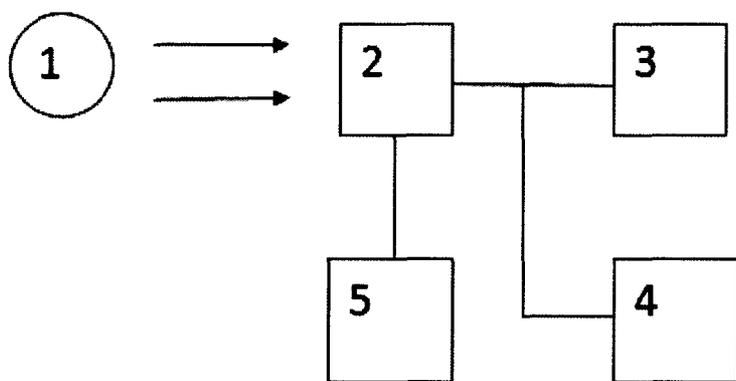


Рис.1. Структурная схема измерительной установки

- исследуемый объект,
- радио-датчик,
- магнитофон,
- измеритель ВЧ напряжения,
- измеритель НЧ напряжения.

Полученные спектрограммы анализировались: определялись частоты, амплитуды и добротности полученных резонансных пиков, находились соответствующие этим пикам частоты колебаний и вращений различных агрегатов ГТУ. Значения этих величин и ряда дополнительных параметров позволяли судить о техническом состоянии работающих агрегатов.

Исследования проводились на нескольких ГТУ в процессе их эксплуатации. Радио-датчик располагался непосредственно у кольцевого газового коллектора у камеры сгорания, где наблюдался максимум радиоизлучения. Измерения проводились на пяти фиксированных частотах – 65 кГц, 80 кГц, 110кГц, 140 кГц, 180 кГц. Спектры модуляций снимались при множителях развёртки анализатора спектра 1 кГц/дел, 100Гц/дел, 20 Гц/дел.

При исследовании радиоизлучения работающей газотурбинной установки была обнаружена ещё одна область максимального сигнала, находящаяся возле точки замера температуры газа перед свободной турбиной у диэлектрической вставки с выводами термопар. Большой уровень сигнала в этой точке можно объяснить значительной проницаемостью диэлектрической вставки для возбуждаемого внутри ГТУ электромагнитного поля.

В результате проведённых измерений можно сделать следующие выводы:

ГТУ в процессе эксплуатации создают широкополосное радиоизлучение.

Это излучение модулировано механическими колебаниями агрегатов ГТУ.

Максимумы радиоизлучения наблюдаются в непосредственной близости от кольцевого газового коллектора и вблизи диэлектрической вставки, на которой установлены выводы термопар для измерения температуры перед свободной турбиной.

Спектрограммы радиоизлучения содержат резонансные пики, амплитуды и частоты которых различны как для разных ГТУ, так и для разных мест установки радио-датчика на одной ГТУ.

Различия в спектрах модуляций штатно функционирующих ГТУ не принципиальны, для ГТУ в предаварийном состоянии они отличаются существенно.

С целью выработки критериев предупреждения аварийных ситуаций необходимо накопление статистических данных, что позволит по наличию либо отсутствию определённых резонансных пиков судить о техническом состоянии ГТУ и предотвращать их преждевременный выход из строя.

## МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ШТАМП ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ШИРОКОГО ФЛАНЦА В ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКЕ

**Исаевич Л.А., Гуринович В.А., Сидоренко М.И.,  
Иваницкий Д.М.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

К полым деталям с широким фланцем относятся те [1], у которых отношение диаметра фланца к диаметру трубной заготовки равно или больше 1,4. Типичным представителем таких деталей является кожух корпуса водила заднего моста автомобилей семейства МАЗ. Технология изготовления сводится к отбортовке нагретого конца заготовки с последующим пластическим формоизменением образовавшегося в процессе отбортовки переходного торообразного участка между фланцем и внутренней полостью трубы. Это возможно за счет перераспределения металла из стенки трубы в торообразный участок формируемой поковки с целью обеспечения минимальной протяженности этого участка [2, 3].

Для таких деталей разработан механизированный штамп, который внедрен на ОАО «Кузнечный завод тяжелых штамповок» (г. Жодино). Трехмерная компьютерная модель нижней части штампа (рис. 1) имеет некоторые особенности. Матрица 1 установлена на подвижной подпружиненной промежуточной плите 2. Это необходимо для того, чтобы после первой операции отбортовки фланца производить локальную деформацию переходного торообразного участка за счет осадки стенки трубной заготовки во второй операции. Между нижней плитой 3 и промежуточной плитой 2 установлены две подвижные кулачковые обоймы 4 и 5. Обойма 4 имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении, а обойма 5 может поворачиваться вокруг своей оси в горизонтальной плоскости.

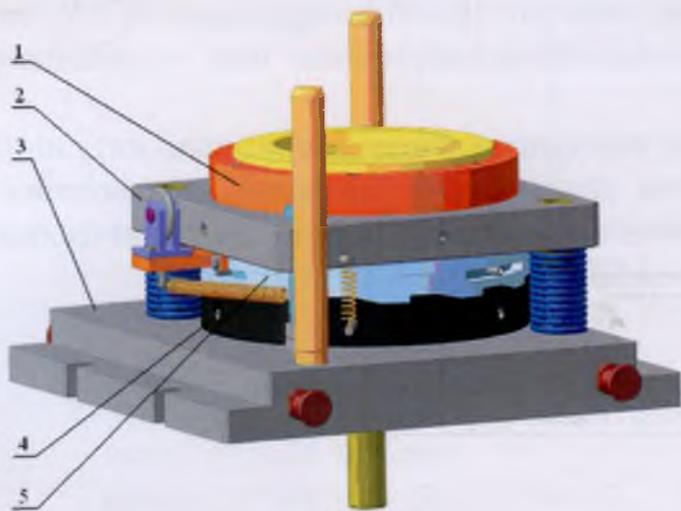


Рисунок 1 – Трехмерная  
компьютерная модель нижней части  
промышленного штампа

На рис. 2 представлена схема промышленного штампа для формообразования широких фланцев в трубных заготовках. Принцип работы штампа заключается в следующем.

Перед началом первой операции отбортовки в полость матрицы 1 загружают заготовку, подвижный пуансонодержатель 6 посредством рукоятки

7 смещают влево до упора 8 и стопорят его в этом положении подпружиненным фиксатором 9. При рабочем ходе ползуна пресса клин 10 своим скосом через ролик 5 поворачивает обойму 4, за счет чего промежуточная подвижная плита 2 фиксируется в исходном верхнем положении. Смонтированные на этой плите рабочая 1 и промежуточная 11 матрицы также будут находиться в своем

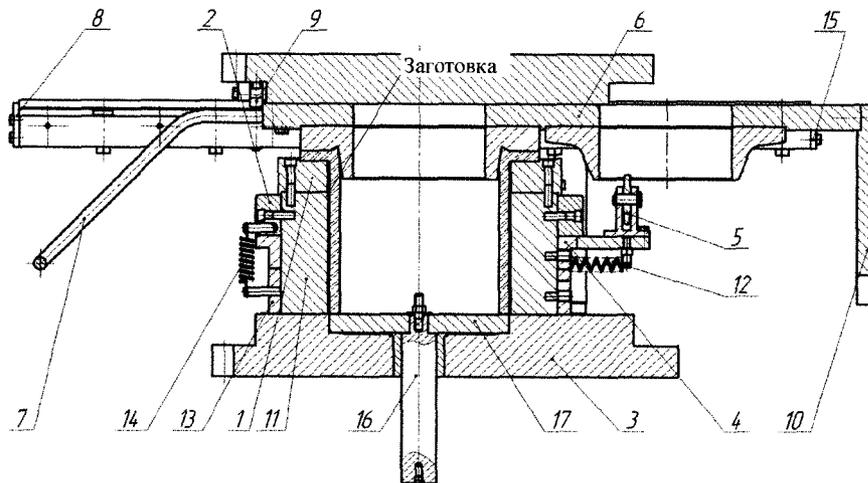


Рисунок 2 – Схема промышленного штампа для формообразования широких фланцев

крайнем верхнем положении. При этом между промежуточной матрицей и нижней плитой 3 образуется заданный зазор.

По окончании первой операции отбортовки трубной заготовки при остановке ползуна пресса в крайнем верхнем положении

клин 10 выходит из зацепления с роликом 5, вследствие чего с помощью боковой пружины 12 обойма 4 поворачивается вокруг своей оси, выводя из противостояния кулачки. При этом подкладная обойма 13 за счет пружин 14 поднимается в свое верхнее положение с образованием зазора между ней и нижней плитой 3. Затем пуансонодержатель 6 освобождают от стопорения посредством фиксатора 9 и с помощью рукоятки 7 перемещают до второго упора 15 в крайнее правое положение, как показано на рис. 2, и снова стопорят фиксатором 9.

При рабочем ходе ползуна пресса подвижная плита 2 с закрепленными на ней рабочей 1 и промежуточной 11 матрицами опускается вниз на регулируемую величину, обеспечивая при этом возможность локальной деформации заготовки в зоне перехода от ее внутренней полости к внешней поверхности фланца за счет осадки металла на этом участке.

Удаление полученной таким путем поковки из полости матрицы осуществляется выталкивателем пресса через толкатель 16 и шайбу 17. После этого пуансонодержатель 6 переводят в крайнее левое положение и процесс формообразования фланца в трубной заготовке повторяют в прежней последовательности.

## **АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С ТРЕХРОТОРНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОЙ В ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННОМ ИСПОЛНЕНИИ**

**Капитонов О.А., Третьяков А.С.**

ГУВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Республика Беларусь

Целью проводимой нами работы является повышение энергетической эффективности, расширение функциональных возможностей и уменьшение массогабаритных показателей асинхронных электродвигателей.

Для решения указанных задач нами разработан асинхронный электродвигатель с трехроторной электромеханикой по конструктивной схеме ДАС (двигатель асинхронный специально предназначенный для работы с регулятором напряжения), который обладает рядом преимуществ по сравнению с асинхронными электродвигателями стандартного исполнения соответствующей мощности и типоразмеров [1].

Электродвигатель работает следующим образом. При снижении переменного напряжения на обмотках статора и наличия замкнутой по частоте вращения силового ротора системы управления, скорость вращения силового ротора будет изменяться вниз от номинальной, но частота вращения малых роторов будет постоянной, близкой к номинальной. Отвод потерь скольжения, выделяющихся в стержневой обмотке силового ротора, будет осуществляться в осевом направлении по обе стороны силового ротора с выходом на вентиляторы - теплорассеиватели. Далее потоками воздуха, забираемого через радиальные отверстия подшипниковых щитов вентиляторами, вращающимися с постоянной, близкой к синхронной, скоростью, потери выводятся через осевые отверстия подшипниковых щитов в окружающую среду.

Особенностью конструкции данного электродвигателя является наличие двух малых роторов, расположенных в полых частях силового ротора на его торцах. На силовом роторе располагаются вентиляторы – теплорассеиватели, выполненные из алюминиевых сплавов высокой теплопроводности; на малых роторах – вспомогательные вентиляторы, вращающиеся с постоянной, не зависящей от скорости вращения силового ротора, частотой. С помощью такого конструктивного решения системы охлаждения электродвигателя происходит интенсивный вывод потерь из силового ротора и части потерь из статора. Применение такой конструкции, а также открытых пазов статора и силового ротора позволило увеличить номинальный ток статора, тем самым – увеличив снимаемую с вала электродвигателя мощность.

Таким образом, возможность снятия с вала электродвигателя большей мощности по сравнению с электродвигателем стандартного исполнения соответствующей мощности и типоразмеров позволяет говорить о нем как о ресурсосберегающем электродвигателе.

Второй отличительной чертой данного электродвигателя является его работа с встроенным в клеммную коробку регулятором напряжения и системы управления с отрицательной обратной связью по скорости. Это позволяет обеспечить управляемый пуск, торможение, регулирование и энергосбережение.

Известны различные схемы силовой части систем управления регулируемых асинхронных электроприводов, с помощью которых осуществляется регулирование скорости асинхронного электродвигателя путем изменения напряжения, подводимого к обмотке статора электродвигателя [2].

Для выбора оптимального варианта реализации регулятора напряжения были разработаны математические и компьютерные модели различных конструкций регуляторов напряжения, а также проведены экспериментальные исследования на физической модели.

В результате проведенных компьютерных и экспериментальных исследований была разработана конструктивная реализация силового электронного модуля, включающая в себя силовую часть тиристорного регулятора напряжения, систему управления и фильтр для улучшения энергетических характеристик и электромагнитной совместимости с питающей сетью.

Применение встроенного электронного модуля делает предлагаемый асинхронный электродвигатель электромехатронным устройством, что позволяет расширить функциональные возможности по сравнению со стандартным асинхронным электродвигателем и решить такие задачи, как: обеспечение плавного пуска и торможения, возможность плавного регулирования скорости вращения ротора в небольшом диапазоне регулирования, работу на пониженной скорости в режиме наладки, обеспечить режим энергосбережения при нагрузке на валу меньше номинальной.

Область применения предлагаемого асинхронного электродвигателя:

1. подъемно – транспортные машины и механизмы;
2. электропривода различного рода нагнетателей;
3. электропривода подачи различного рода машин и механизмов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. а 20071410 РБ, МПК (2006) Н 02К 9/04. Асинхронный электродвигатель для регулируемого привода машин и механизмов / Парфенович О.Н., Третьяков А.С.; заявитель и патентообладатель ГУВПО «Белорусско – Российский университет». - №12180; заявл. 11.21.07; опубл.06.30.09, Бюл. №12 (II ч.). - 18 с.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

## ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Кардаполова М.А., Лапковский А.С., Кавальчук О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Среди существующих методов поверхностной обработки большой интерес представляет упрочнение твердых сплавов лазерным излучением. В отличие от известных способов объемной термической обработки твердых сплавов процесс лазерного воздействия может быть оперативно организован в производственных условиях, с минимальными удельными затратами [1].

В настоящий момент существует три основных направления лазерного упрочнения инструментальных твердых сплавов: импульсная лазерная обработка, непрерывная лазерная обработка, текстурирование передней поверхности лазерным лучом,

Сущность метода **импульсной лазерной обработки (ИЛО)** заключается в воздействии короткими импульсами с высокой плотностью мощности ( $q = 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) направленными на поверхность обрабатываемого материала, что приводит к переходу вещества в плазменное состояние. При расширении плазмы возникают очень большие, как при взрыве давления и, если это явление происходит в том случае, когда время воздействия излучения меньше времени распространения ударной волны, то и возникает ударная волна с большой амплитудой на обрабатываемой поверхности. При распространении этой волны вглубь материала и происходит пластическая деформации, приводящая к упрочнению материала. ИЛО является наиболее изученным и распространенным методом упрочнения твердосплавного инструмента.

**Текстурирование режущего инструмента** лазерным лучом стало возможно в последнее время, благодаря развитию систем транспортирования излучения. Процесс основан на уменьшения сил трения на передней поверхности инструмента, чего добиваются путем нанесения текстур. Эффект снижения коэффициента трения сильно зависит от формы и размера текстуры, значительно более низкие коэффициенты получаются при микро - и наноразмерных текстурах.

Обработка ведется на фемтосекундных лазерах, что позволяет получить необходимые текстуры без значительного теплового вклада в материал. Схемы наложения текстур различают по их положению к направлению схода стружки: перпендикулярная, параллельная и сетчатая текстуры. Наибольшее распространение получила схема с текстурой перпендикулярной к направлению схода стружки. Она позволяет добиться значительного снижения сил резания, а, следовательно, и увеличение стойкости инструмента.

Технологию текстурирования твердых сплавов рекомендуется применять для модифицирования инструмента применяемого при чистовой и

получистой обработке вязких материалов. Текстурированная поверхность выступает концентратором напряжений, что ведет к охрупчиванию материала и не позволяет вести обработку с ударными нагрузками[2].

Применение **непрерывного излучения** для изменения структурно - фазового состава и свойств твердых сплавов является гибким инструментом, позволяющим в более широком, чем для ИЛО, диапазоне изменять условия протекания термических процессов в поверхностных слоях материалов, что соответствующим образом сказывается на изменении их физико–механических характеристик.

Лазерная обработка непрерывным излучением при плотности мощности от  $0,8 \cdot 10^5$  до  $1,4 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> и скорости перемещения луча по образцу 100...900 мм/мин обеспечивает достаточно эффективное упрочнение твердых сплавов группы ВК. При оптимальных режимах облучения стойкость увеличивается в 2...3 раза. Характерным для данного вида обработки, также как и для ИЛО является наличие сетки трещин на поверхности зоны облучения. Однако после удаления дефектного слоя материала износ значительно уменьшается, что указывает на наличие зоны упрочнения, находящейся под слоем, ослабленным трещинами[3]. При обработке непрерывным излучением безвольфрамовых твердых сплавов ТН, с сохранением исходной шероховатость поверхности, микротвердость возрастает в 1,2-1.5 раза и достигает 20,5-22,5МПа. Также наблюдается существенный рост плотности дислокаций в зоне облучения, появление в поверхностном слое значительных сжимающих напряжений первого рода. Совокупность этих факторов позволяет достичь увеличения стойкости инструмента в 2,4 - 4,0 раза.

Применение непрерывного излучения для упрочнения инструмента является производительным методом и предоставляет более широкие возможности для модифицирования свойств поверхности сплавов в сравнении с другими видами лазерной обработки.

## Литература

1) Пинахин И. А., Копченков В. Г. Влияние импульсной лазерной обработки твердосплавных режущих инструментов на эффективность обработки металлов резанием // Вестник ДГТУ.– Ростов н/Д, 2010.– №8. – С.1235 – 1240.

2)Noritaka Kawasegia, Hiroshi Sugimorib, Hideki Morimotoa Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior // Precision Engineering – 2009. – №33. – С. 248–254.

3)Яресько С.И. Физические и технологические основы упрочнения твердых сплавов: Монография / С.И. Яресько. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 244 с.

# УСТРАНЕНИЕ СВАРКОЙ ТРЕЩИН В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ

Кастрюк А.П.,

Полоцкий государственный университет

Наиболее распространенным повреждением прочностного характера корпусных деталей являются трещины (15–27 % от всех повреждений). Применительно к блокам цилиндров автотракторных двигателей наиболее часто трещины возникают в стенках водяных рубашек (5–19 %), перемычках цилиндров (1–7 %), плоскости под головку цилиндров (до 6 %) и бобышках под шпильки крепления головок цилиндров (до 5 %). Трещины в стенках деталей от циклических или разовых динамических нагрузок (сквозные и несквозные) имеют длину от 2 до 500 мм при числе их в одном элементе детали 1–3 и более. Максимальное количество таких повреждений наблюдается в возрасте блоков цилиндров 5–7 лет. Наиболее вероятная длина трещин в стенках водяной рубашки от замерзания воды, отстоящих на 70–80 мм от верхней плиты блока, составляет 140–150 мм. Трещины, образовавшиеся летом из-за перегрева двигателя, имеют длину до 250 мм.

Более часто разрушаются перемычки между цилиндрами у двигателей Д-240 и их модификациях. Трещины зарождаются снизу и в единичных случаях – сверху. Возраст деталей, у которых образовались трещины, более 7 лет. Трещины распространяются только до буртиков под гильзы, они могут быть раскрытые и нераскрытые, большинство из них (до 60 %) сквозные. Если трещины образуются в одной-двух перемычках, то она раскрывается незначительно (до 0,10–0,15 мм). В результате форма отверстия под гильзу также изменяется на это значение. При возникновении трещин одновременно в трех перемычках происходит их раскрытие: в средней перемычке до 0,63 мм, в первой и третьей – до 0,27 мм. Трещины бобышек под шпильки возникают в основном из-за попадания загрязнений или моющей жидкости в резьбовые отверстия перед установкой шпилек.

Трещины корпусных деталей в большинстве случаев устраняют сваркой. Поры и раковины, сопутствующие сварке, обуславливают негерметичность сварных швов. После длительной эксплуатации заваренных блоков цилиндров наблюдается нарушение герметичности швов. Известные процессы не предусматривают повторную сварку деталей с дефектными сварными швами, а изделия направляют в металлолом

Предлагается следующий процесс устранения трещин на стенках и перемычках чугуновых блоков цилиндров. Трещину кернят по ее линии через 15–20 мм, поскольку после зачистке она становится невидимой. Зачищают поверхность вокруг трещины «как чисто» а ее снова кернят, чтобы линия была видна при сварке. Риски от зачистки должны располагаться перпендикулярно предполагаемой линии развития трещины. Вместо кернения края трещины можно заглубить на 1,0–1,5 мм в тело детали. Трещину не разделяют, а ее концы не засверливают.

Наличие на поверхности детали литейной корки, рыхлот, черновин, ржавчины, влаги, пыли и других загрязнений вызывает образование пористости швов, поэтому стенки зачищают до металлического блеска. Масло и влагу выжигают пламенем газовой горелки.

Для смыкания раскрытых трещин полезно свариваемый элемент сжать одной или несколькими накладными струбцинами. Это способствует восстановлению формы отверстий, на которые выходят трещины.

Сварку ведут перпендикулярно трещине швами длиной 15–20 мм с перекрытием на одну треть их ширины. После наложения каждого шва ожидают остывания материала примерно до 40 °С. Концы трещины заваривают на 10–15 мм дальше видимой зоны ее распространения. Если трещина расположена в средней части детали, то ее заваривают, начиная со середины, и далее продолжают заварку попеременно в одну и другую сторону. Если трещина расположена у торца детали, то ее заварку начинают с того конца, который наиболее удален от торца, затем продолжают попеременно в одну и другую стороны от середины и от концов. После наложения швов на середине и концах трещины последующие швы равномерно распределяют по всей длине трещины. Укорачивающиеся швы при охлаждении плотно смыкают поверхности трещины.

Сварку ведут самозащитной проволокой ПАНЧ-11 (состава Ni – 80 %, Cu – 2–3 %, Mn – 1–4 %, редкоземельные элементы – 0,1–0,5 %, Fe – остальное) диаметром 1,2 мм полуавтоматами А-825М, ПДГ-305, А-547 и др. Режим сварки: напряжение 14–16 В (для толстостенных водяных рубашек напряжение повышают до 18 В), сила тока 80–140 А, скорость сварки 4–5 м/ч, полярность обратная. Указанное пониженное напряжение исключает образование холодных трещин. Обратная полярность резко снижает пористость швов. Швы проковке и механической обработке не подвергают. Структура шва представляет собой высоколегированный аустенит с включениями графита и сульфидов с твердостью НВ 170–180. У двигателей, поступивших в очередной ремонт, не наблюдалось повторного возникновения трещин на стенках водяных рубашек, однако отмечены редкие случаи нарушения герметичности сварных швов из-за пор и раковин.

Детали из алюминиевых сплавов сваривают прутками диаметром 3–4 мм того же состава, что и основной металл, а также проволокой Св-АК5 или Св-АК10. Режим аргонодуговой сварки при толщине стенки 4–6 мм следующий: сила тока 150–270 А, напряжение 18–20 В, расход аргона 7–10 л/мин. При добавлении к аргону 10–12 % (по объему) диоксида углерода и 2–3 % кислорода повышается устойчивость горения дуги и улучшается формирование металла. Для аргонодуговой сварки применяют водоохлаждаемые горелки ГРАД-200 или ГРАД-400, подключенные к источникам питания переменного тока УГД-301 или УДГ-501.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

**Клименко А.В.**

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель,  
Республика Беларусь

Объектом исследования в работе являются производственные системы с вероятностными параметрами функционирования при наличии условий потенциальной техногенной опасности и их математические модели. Управление производственной системой в контексте данной работы понимается в смысле упреждения конфликтных ситуаций в функционировании вероятностного технологического процесса. Упреждение достигается с помощью сопряженного аппаратно-программного комплекса, состоящего из средств аппаратного сопряжения с производственной системой и параллельно действующей ЭВМ.

Для разработки алгоритмических моделей управляемых производственных систем (УПС) используются следующие процедуры:

1. Декомпозиция технологического цикла по уровням иерархии технологических операций при детальном представлении алгоритма имитации компонентов.

2. Использование библиотеки агрегатов, состоящей из ограниченного числа типов агрегатов, с помощью которой при изменении состава параметров агрегатов возможно представление любой структуры технологического цикла.

3. Параметризация имитационных моделей, позволяющая проектировщику выполнять компоновку модели из ограниченного состава агрегатов в различных вариантах организации технологического цикла. В состав параметров входят параметры настройки на конфигурацию и параметры для постановки серии имитационных экспериментов.

Для описания динамики проектирования структуры технологического цикла используется представление УПС в виде вероятностного сетевого графика (ВСГР). При реализации предложенного автором подхода используется разработанная в составе авторского коллектива объектно-ориентированная среда проектного моделирования GraphModel.

Проектное моделирование структуры УПС осуществляется многократно экспертом-технологом по единой технологии. Как правило, выполняется следующая последовательность действий: определяются управляющие переменные, выбирается состав контролируемых характеристик, детализируется режим функционирования технологического цикла, определяется технологическая схема УПС с учетом описания внешней среды. С использованием объектно-ориентированной среды GraphModel в автоматическом режиме составляются таблицы коммутации операций и

последовательность их выполнения. Список запросов ресурсов для выполнения каждой технологической операции формируется в процессе моделирования в интерактивном режиме и фиксируется в базе данных имитационных моделей для дальнейшей обработки.

Для принятия проектных решений необходимо, прежде всего, определить цели исследования управляемых производственных систем. Реализация этого шага требует выполнения следующих действий: определения критериев качества функционирования технологического цикла; определения задач исследования УПС с помощью имитационных моделей; конкретизация обобщенного критерия качества для решения поставленных задач исследования.

На данном этапе разработки программного инструментария в качестве задач исследования рассматривались следующие: выбор рационального набора технологических процессов из множества выполняемых на данном предприятии по критериям минимальной стоимости их реализации и максимальной стоимости выпускаемой продукции предприятия; определение пропускной способности управляемой производственной системы для используемого состава оборудования, набора ресурсов и списка исполнителей; оценка снижения пропускной способности оборудования предприятия при заданных вероятностях выполнения ремонтных работ, возникновения аварийных ситуаций из-за некачественного ремонта при использовании изделия после его проведения; нахождение «узких мест» технологического цикла производства из-за сбоев оборудования и дополнительных затрат на ликвидацию отказов оборудования; определение математических ожиданий и дисперсий интегральных откликов расхода ресурсов, материалов, комплектующих и оборудования.

При проектном моделировании структуры технологического цикла УПС используется метод экспертных оценок. В процессе проектирования вводятся функции распределения запросов ресурсов для каждой технологической операции, устанавливаются диапазоны изменения запросов ресурсов и параметров моделирования. При этом выделяются три типа переменных: функционирования компонентов модели УПС, используемые в качестве исходной информации для «запитки» моделей; эталоны поведения ветвей технологического при верификации алгоритмов модели; характеристики сравнения проектируемых структур при проверке адекватности модели.

Перевод формального описания УПС в имитационную модель осуществляется на основе формируемой в интерактивном режиме базы данных элементов модели и библиотек агрегатов-компонентов имитационных моделей.

Таким образом, использование объектной-ориентированной среды GraphModel при проектном моделировании оптимальной структуры технологического цикла управляемых производственных систем позволяет отделить задачу проектирования от методов и средств определения оптимальных параметров технологического цикла с последующим вынесением таких методов в соответствующую базу знаний.

## **ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА**

**Ковриго Ю.М., Бунке А.С.**

Национальный технический университет Украины "Киевский  
политехнический институт", Киев, Украина.

В работе предложена новая функциональная структура алгоритма управления инерционными теплоэнергетическими объектами. Проведенные исследования показали, что решение позволяет достичь более качественного регулирования при действии внешних и внутренних возмущений.

### **Актуальность темы**

Особенности функционирования инерционных контуров регулирования энергоблоков ТЭС, не позволяют добиваться высоких показателей качества переходных процессов и гарантированного запаса устойчивости в рамках стандартных ПИ и ПИД алгоритмов. Задача усложняется существующей на практике неопределенностью из-за возмущений, вызванных изменениями состава топлива, нагрузки, взаимного влияния контуров, а также различного рода нелинейностей, особенно в исполнительной части. Реализация в стандартных ПИ-, ПИД- регуляторах одновременно улучшенных динамических качеств и гарантированного запаса устойчивости возможна только с применением новых структурных решений.

### **Предлагаемые решения**

В качестве усовершенствования алгоритма управления предложено использовать новую структуру регулятора, способную повысить качество переходных процессов и сохранить стабильность системы управления при изменении параметров объекта. Также ставилась задача получить максимально простое для внедрения на действующих системах управления решение. Согласно запатентованной схеме контролера [1], управляющее воздействие формируется с помощью двух параллельных каналов, один из которых является быстродействующим и реализован на базе стандартного ПИ-регулятора, а второй канал – инерционный, в виде звена запаздывания и набора апериодических звеньев с коэффициентом усиления. Инерционный канал является корректирующим, его выход вычитается из выхода быстродействующего канала и результирующий сигнал  $U$  подается на исполнительный механизм. Настройка основного и корректирующего каналов осуществляется исходя из параметров упрощенной модели объекта управления, при этом величина запаздывания корректирующего канала соизмерима с величиной времени объекта. На Рис. 1 показана предложенная схема регулятора.

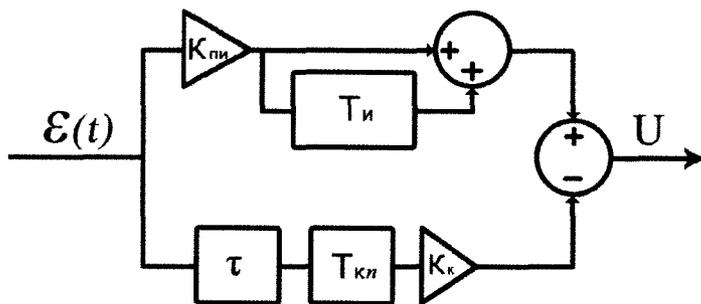


Рис. 1. Структура ПИ-регулятора с динамическим корректором где  $\varepsilon(t)$  – сигнал рассогласования,  $K_{pi}$  – коэффициент усиления быстродействующего канала,  $T_i$  – постоянная времени интегрирования быстродействующего канала,  $\tau$  – величина запаздывания корректирующего канала,  $T_{ки}$  – постоянные времени корректирующего канала,  $K_k$  – коэффициент усиления корректирующего канала.

Корректор дает возможность использования более форсирующих настроек основного канала регулятора, что обеспечивает большее быстродействие системы в начальной стадии переходного процесса и, следовательно, лучшую компенсацию возмущений, при этом сохраняя устойчивость системы на завершающей стадии переходного процесса [2].

### Выводы

Введение корректора улучшает не только динамические характеристики: максимальный заброс, степень затухания и время переходного процесса по сравнению со штатным ПИ-регулятором, но и значительно снижает все интегральные показатели качества переходных процессов, а также обеспечивает устойчивость системы в рабочем диапазоне нагрузок энергоблока, что особенно важно в случае отсутствия системы автоподстройки регулятора.

### Литература

1. Ковриго Ю.М., Коновалов М.А., Голинко И.М., Бунке А.С. Патент на полезную модель “Регулирующий микропроцессорный контроллер” № 44799 UA // Промышленная собственность. 2009. № 19.
2. Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Бунке А.С. Повышение эффективности регулирования котлов путем учета технологических ограничений // Теплоэнергетика. – 2012. — №2. — С. 58-63.

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИНКОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Константинов В.М., Булойчик И.А. Гегеня Д.В.

Белорусский национальный технический университет г. Минск

Современные условия производства диктуют определенные требования к параметрам технологических процессов, заключающиеся в снижении энергоемкости и повышении экологической безопасности производства. Существует множество видов и технологий нанесения коррозионностойких цинковых покрытий и диффузионных слоев. Однако большинство из них характеризуется значительной степенью энергоемкости, что в условиях современного производства требует замены на экономически более выгодный процесс. В связи с этим возникает необходимость поиска новых путей в сфере нанесения защитных цинковых покрытий, повышающих эксплуатационные свойства изделий с учетом вышеперечисленных требований.

При изучении методов цинкования следует обратить внимание на процессы термодиффузионного цинкования в порошковых средах [1]. Данный метод позволяет получать коррозионностойкие диффузионные слои на изделиях практически любых форм и размеров, является экологически безопасным и, в дополнение к этому, перспективен с точки зрения совершенствования технологических параметров процесса. В частности, с целью сокращения времени цинкования и снижения расхода насыщающих компонентов исследуется влияние вакуума и применения псевдооживленных насыщающих сред [2, 3]. Существенное внимание уделяется повышению технологичности насыщающих смесей и снижению в их составе вредных активаторов [4].

Анализ свойств цинковых покрытий (диффузионных слоев) и условий их применения в различных областях промышленности показывает, что цинковые покрытия должны обладать не только повышенной коррозионной стойкостью, но также быть устойчивыми к абразивному изнашиванию и иметь высокую степень сцепления с поверхностью защищаемого изделия. С учетом этого, следует принять во внимание и данные источника [5, 6], где авторы приводят примеры многокомпонентного цинкования с добавлением различных примесных элементов. Присутствие Al, Cu, Ti, Mg и других элементов оказывает положительное влияние на механические характеристики диффузионных слоев и, что наиболее важно, на коррозионную стойкость слоя в целом. Такие слои обладают в 2 – 2,3 раза более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с однокомпонентными цинковыми слоями [5]. При легировании цинковых слоев алюминием, медью и титаном наблюдалось уменьшение хрупкости цинковых слоев в 1,1 – 1,3 раза, а так же повышение их износостойкости в 1,2 – 1,3 раза [5].

В условиях Республики Беларусь существует необходимость в разработке интегрированных технологий термической обработки упругих элементов совместно с процессом нанесения антикоррозионной защиты способом термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих смесях. Реализация данных процессов позволит повысить срок службы пружинных элементов с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку, а так же позволит создать собственную эффективную технологию производства пружинных элементов на территории Республики Беларусь.

В последнее время все большую актуальность приобретает цинкование длинномерных изделий [7]. К одним из перспективных направлений в данной сфере промышленности, помимо термодиффузионного цинкования, следует так же отнести процессы газотермического напыления цинка в совокупности с последующей термообработкой, что позволит получать слои повышенной прочности и износостойкости. Предполагается, что данный метод цинкования будет наиболее перспективен при обработке длинномерных изделий с большой площадью поверхности.

Основными направлениями касающимися интенсификации процессов цинкования является использование высокопроизводительных методов нагрева (индукционный нагрев), возможность применения индукционного нагрева на всем протяжении процесса цинкования (особенно актуально для длинномерных изделий) а так же создание технологий, позволяющих выгодно применять рекристаллизационные процессы (предварительный наклеп металла, прокатка, дробеструйная обработка).

Таким образом, исследование и совершенствование данных методов нанесения защитных цинковых покрытий представляет наибольший интерес с точки зрения создания высокоэффективных, энергосберегающих и экологически безопасных технологий защиты металлов от коррозии.

## Литература

1. Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов, Диффузионные цинковые покрытия, Москва, Металлургия 1972, 248с.
2. Ю.А. Баландин, А.С. Колпаков, Е.В. Жаров, Диффузионное комплексное цинкование в виброкипящем слое как способ повышения коррозионной стойкости деталей машин. // Автомобильная промышленность, 2006, №11 С. 31-32.
3. В.И. Муравьев, П.В. Бахматов, А.А. Евстегнеев, А.А. Дебеляк, Интенсификация процессов диффузионного легирования металлами и металлоидами поверхностных слоев деталей из конструкционных материалов. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009, №6 С. 28-38.
4. Р.Г. Галин, А.Л. Ворошнин, Новая технология изготовления порошковых насыщающих смесей для диффузионного цинкования. // Металловедение и термическая обработка металлов, 1996, №1 С. 21-25.

# КОМПЛЕКСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ И ИЗНАШИВАЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Константинов В.М., Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Актуальной задачей современного металловедения является разработка технологий комплексного повышения эксплуатационных свойств деталей, выполненных из углеродистых и легированных конструкционных сталей, работающих в условиях изнашивания и при динамических нагрузках. Решение этой проблемы возможно при применении новых методов термической обработки наряду с уже существующими способами упрочнения стальных изделий.

Авторами работы была разработана технология циклического термического воздействия на структуру стального изделия, заключающаяся в измельчении зерна, карбидов и нитридов, находящихся в диффузионном слое. Обеспечение мелкодисперсных структур стали и благоприятного перераспределения химических элементов приводит к повышению комплекса эксплуатационных свойств: вязкости, пластичности, твердости, прочности, а также снижению порога хладноломкости.

Технология заключается в окончательной (предварительной или основной) термической обработке изделий с использованием индукционного циклического нагрева (как объемного, так и локального), закалки и отпуска (самоотпуска) изделий. Используется после различных режимов цементации или нитроцементации для устранения дефектов диффузионных слоев и структуры сталей (крупное зерно, неравномерно распределенные карбиды, трооститная сетка). Применяется для предварительной обработки стали при последующем азотировании или цинковании с целью сокращения продолжительности процесса насыщения. Этот эффект обусловлен наличием в стали мелкозернистой структуры, по которой диффузия атомов происходит быстрее в 1,5 раза, чем в крупнозернистом металле.

Практическое апробирование технологии осуществлено на РУП «МЗШ» для упрочнения деталей корпусов плугов (болты, лемеха и оборотные долота) выполненных из конструкционных сталей (65Г и 40Х). Изделия, упрочненные по заводской технологии (закалка и отпуск) имели прочность не более 900 МПа, ударную вязкость не более 30 Дж/см<sup>2</sup> и твердость 45...50 HRC, ресурс эксплуатации 15 га.

Серийные детали, упрочненные по новой технологии, имели твердость 63...66 HRC, ударную вязкость более 35 Дж/см<sup>2</sup> с мартенситной структурой, прочность более 1100 МПа, ресурс эксплуатации 25 га. Ресурс сопоставим с европейскими производителями, такими как норвежская фирма «Kverneland». Результаты испытаний подтверждаются актами Белорусской машиноиспытательной станции (акт № 018 Д 8/1-2009 от 14.23.02.2009 г., акт № 220 Б 1/1-2009 от 24.12.2009 г).

# ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИНИЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

С появлением миниэнергокомплексов (МЭК) и приобретения ими права активного включения в производство как электрической, так и тепловой энергии, возникают вопросы обеспечения их бесперебойной работы. Анализ работы МЭК показывает, что к ним предъявляются требования совместимости их работы с нагрузкой, или с электросистемой, или совместимости их работы с нагрузкой и с электросистемой. Эти требования представляют собой объект научных исследований, решения которых определяет эффективность использования МЭК. Определяющим фактором, ставящим миниэнергетику на новый уровень развития, являются достижения промышленной электроники, микропроцессорной техники, позволяющие по новому решать вопросы автоматизированного, дистанционного управления агрегатами; анализа режима работы; качества электрической энергии .

Важнейшими проблемами для обеспечения конкурентоспособности МЭК с традиционными электростанциями являются проблемы выбора типа генерирующего устройства и его структуры, непрерывного совершенствования и упрощения измерительных систем, систем защиты, автоматизации, синхронизации, вопросы исследования статической и динамической устойчивости работы, решения и упрощения методов запуска электроприводов, соизмеримых с мощностью МЭК. Назначение установки максимально определяет ее структуру. Различают два направления использования МЭК: первое направление - для экономии невозобновляемых энергоресурсов (эти установки предназначены для работы параллельно с энергосистемой, к ним предъявляется требование выработки качественной электроэнергии), второе направление использования МЭК полностью включает в себя первое и дополнительно решает вопросы полного энергообеспечения отдельных объектов с учетом надежности их питания.

Наиболее простой является структура установки, предназначенной только для экономии энергоресурсов. Установка должна выдавать в сеть качественную электроэнергию в количествах, на которое она рассчитана. На установки, предназначенные для энергообеспечения объектов, накладываются требования бесперебойного электроснабжения потребителей как при автономном режиме их работы, так и при параллельной работе их с другими автономными установками, а также при параллельной работе их с электросистемой. Эти требования усложняют работу МЭК, а следовательно принуждают к непрерывным научным разработкам по увеличению конкурентоспособности МЭК по отношению к традиционным энергокомплексам.

Базовый режим работы установки диктует формирование измерительной системы МЭК, а также системы его управления. Анализ показывает, что самым

сложным режимом работы является автономный режим миниэнергоустановки с частыми включениями ее на параллельную работу с другими миниэнергоустановками, работающими на нагрузку, и включение образованной системы на параллельную работу с электросистемой.

Можно выделить следующие режимы работы миниэнергокомплексов:

Автономный режим работы. Этот режим предъявляет к установке следующие требования: надёжное самовозбуждения генератора; надёжный запуск электроприводов мощностью, соизмеримой с генерирующей установкой; поддержание стабильного напряжения; возможность автоматической работы установки и обеспечения её целостности в аварийных режимах. Для выполнения указанных требований необходим большой объем целенаправленных научных исследований и аппаратная реализация специфической контрольно– измерительной аппаратуры.

Автономный режим с возможностью включения на параллельную работу нескольких автономных комплексов. Кроме требований, указанных для первого режима, в этом случае добавляются также требования поддержания постоянной частоты ЭДС, наличия приборов для реализации синхронизации, возможности перевода нагрузки с одной установки на другую, устойчивости работы параллельно работающих установок при резких изменениях нагрузки, т.е. обеспечение статической и динамической устойчивости работы полученной системы

Автономный режим МЭК с периодическим подключением его на работу параллельно с мощной электросистемой. При необходимости периодического подключения МЭК к мощной электрической сети, последний должен надёжно работать в автономном режиме и обеспечивать простоту периодических синхронизаций комплекса с электрической сетью, когда комплекс работает с электрической нагрузкой, перерыв питания которой нежелателен.

Постоянная работа МЭК параллельно с мощной электросистемой. Это наиболее простой режим работы комплекса. Включение МЭК на параллельную работу с сетью возможен по методу самосинхронизации, что требует оборудования МЭК минимальным количеством измерительной аппаратурой и реализации постоянства параметров напряжения и частоты ЭДС на зажимах генерирующего устройства.

Работа МЭК параллельно с сетью, когда напряжение сети подвержено колебаниям. При таком режиме важное значение имеет решение вопросов устойчивости работы МЭК и надёжной защиты комплекса от перегрузок.

Использование электросистемы в качестве демпфера для работы МЭК. Смысл режима заключается в облегчении работы комплекса при набросе нагрузки, обеспечении пусковых режимов асинхронных приводов за счёт использования мощности системы. В нормальном, установившемся режиме МЭК полностью покрывает нагрузку объекта.

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОЛОК РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ В СРЕДЕ $CO_2$ И СМЕСЯХ $Ar+CO_2$

Куликов В.П., Коротеев А.О.

Белорусско-Российский университет, Могилев, Республика Беларусь

Преимущества газовых смесей по сравнению с углекислым газом общеизвестны: лучшие формирование и внешний вид сварного шва, пониженное разбрызгивание и набрызгивание металла шва, меньшая трудоёмкость и себестоимость сварочных работ. Однако, переходя на применение смесей  $Ar+CO_2$ , большинство предприятий не учитывают особенностей процесса и сохраняют те же режимы, технику сварки и сварочные материалы, разработанные для сварки в углекислом газе, что не позволяет в полной мере использовать преимущества газовой смеси по сравнению со сваркой в  $CO_2$ .

Проведённый обзор литературных источников показал, что в отечественной производственной практике недостаточно сведений о возможностях применения относительно дешёвых сварочных проволок с пониженным содержанием элементов раскислителей при сварке в газовых смесях, что существенно снизило бы затраты на сварочные материалы при сохранении высоких эксплуатационных свойств сварного соединения. В большинстве источников указывается на возможность использования наряду с проволокой Св08Г2С проволоки Св08ГС с меньшим содержанием марганца. Однако, каких-либо сравнительных данных о механических свойствах полученного сварного соединения не приводится, что не даёт возможности сделать вывод о сохранении эксплуатационных свойств соединения при такой замене. В некоторых источниках выдвигается предположение о возможном снижении механических свойств соединения при сварке проволокой Св08Г2С в смеси ( $Ar+CO_2$ ), что обусловлено избыточным количеством элементов раскислителей, которые, в свою очередь, переходят в металл сварного шва не прореагировав с кислородом. Также существует неопределённость в возможности использования проволок зарубежных производителей G3Si1 для сварки в углекислом газе, так как они были разработаны для сварки в смеси газов и, согласно химическому составу, обладают меньшим содержанием элементов раскислителей даже по сравнению с проволокой Св08ГС.

Целью экспериментальных исследований являлось определение зависимостей прочностных показателей сварного соединения от химического состава сварочной проволоки и защитной газовой среды.

Результаты исследований могут найти применение при изготовлении металлоконструкций механизированной сваркой в защитных газах. Использование проволок с пониженным содержанием элементов раскислителей позволит снизить затраты на сварочные материалы, а также, в ряде случаев, повысить эксплуатационные свойства сварных соединений.

## НАПЛАВКА ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ КОБАЛЬТОВОГО СПЛАВА НА ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Луначев А.Г., Харчевникова Е.А.,  
Волович И.В.

ГУВПО «Белорусско-Российский университет» Могилев, Республика  
Беларусь Могилев, Беларусь  
ОАО «Мозырский НПЗ»  
Мозырь, Беларусь

Насосный агрегат предназначен для перекачивания углеводорода с платиновой катализаторной пылью и работает при температуре 350 °С, давлении 2,2 МПа при максимальном расходе продукта - 117 м<sup>3</sup>, что вызывает кавитационно-абразивную эрозию элементов проточной части насоса, приводящую к износу формообразующих поверхностей.

Проточная часть центробежного насоса выполнена из кобальтового сплава и состоит из корпуса, улитки, крышки улитки, направляющего лопаточного агрегата.

Основные детали насоса, контактирующие с технологической средой изготовлены в биметаллическом исполнении. Корпус и крышка насоса выполнены в комбинации ASTM A487 CA6NM + Стеллит 21. Проточная часть насоса ASTM A487 CA6NM + Стеллит 6. Химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав восстанавливаемых элементов насоса, %

Сплава	Co	Cr	C	W	Mo	Ni	Si	Fe	Mn	HRC 20 <sup>0</sup> C	HRC 400 <sup>0</sup> C	HRC 600 <sup>0</sup> C
STELLIT 6	Осн.	28.0	1.2	5.0	-	Max. 2.5	1.0	Max. 2.5	1.0	42	34	<20
STELLIT 21	Осн.	27.0	0.25	-	5.5	2.5	1.0	Max. 3.0	1.0	32	20	-
A487	-	12,7	0.06	-	0.7	4.0	0.8	Ост.	0.7			

Основной слой биметалла состоит из стали А487, которая относится к аустенитно-мартенситному классу. Зона термического влияния этой стали содержит закалочные структуры с твердостью до 25 HRC при невысокой пластичности. Поэтому эту сталь следует наплавлять электродами предназначенными для сварки закаливаемых сталей. Нами рекомендуется электроды BOHLER FOX A7. Химический состав сварочных материалов приведен в таблице 2.

Твердость чистого наплавленного металла BOHLER FOX A 7 после наплавки 200НВ, после наклепа 400НВ, что хорошо сочетается с требованиями по созданию самоупрочняющегося буферного слоя перед наплавкой рабочего упрочняющего слоя. Буферный слой, обладая высокими пластическими свойствами в состоянии наплавки, позволил получить качественную наплавку

твердым сплавом: UTP CELSIT 706, имеющего твердость наплавленного слоя – 40...42 HRC, при температуре 600<sup>0</sup>С – 33 HRC. Наплавленный металл буферного слоя способен релаксировать напряжения, возникающие от наплавки твердого слоя, тем самым препятствует образованию трещин.

Рабочий слой проточной части насоса выполнен из кобальтовых сплавов. Кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом, так называемые стеллиты, отличаются замечательными эксплуатационными свойствами: они способны сохранять твердость, вплоть до 800<sup>0</sup>С? обладают стойкостью против коррозии и кавитационной эрозии, а также имеют отличную износостойкость при сухом трении металла по металлу. Сам по себе кобальт не обладает высокой жаропрочностью, это свойство придают присадки хрома (20 – 35%) и вольфрама (3 - 30%). Важным компонентом является и углерод, который образует с вольфрамом и хромом специальные карбиды, улучшающие сопротивление абразивному износу.

Наплавку крышки и корпуса насоса, выполняли покрытыми электродами UTP CELSIT 721(E 20-UM-300-CKTZ), диаметром 3,2 мм. Твердость чистого наплавленного металла- 721 – 30...32 HRC, после наклепа – 45HRC при температуре 600<sup>0</sup>С – 240 НВ.

Наплавку расходного кольца, крыльчатки выполняли покрытыми электродами UTP CELSIT 706(E 20-UM-40-CTZ), диаметром 3,2 мм. Твердость чистого наплавленного металла – 40...42 HRC, при температуре 600<sup>0</sup>С – 33 HRC. Химический состав сварочных материалов приведен в таблице 2.

Таблица 2 Химический состав сварочных материалов, %

Марка	C	Cr	Mo	Ni	Co	W
UTP CELSIT 721	0,3	31,0	5,0	3,5	Основа	-
UTP CELSIT 706	1,1	27,5	-	-	Основа	4,5
BOHLER FOX A 7	0,1	18,8	-	8,8	-	Mn-6,5

Обеспечение минимальной доли основного металла в наплавленном рабочем слое и соблюдение необходимых термических условий сварки является наиболее важными особенностями технологического процесса наплавки кобальтовых сплавов. Эти требования выполнены за счет минимизации теплового воздействия на металл подслоя и снижения доли участия основного металла в металле шва.

Толщину наплавленного буферного слоя рассчитывали из условия оптимального теплового воздействия на поверхность сплавления плакирующего слоя с основным металлом от последующих сварных швов. При этом температура на поверхности сплавления, возникающая от наплавки рабочего слоя не превышала критической точки  $A_{c1}$ . Таким образом, наплавка последующего рабочего слоя приводила к отпуску структур закалки возникших ранее в зоне термического влияния от буферного слоя.

## **СВАРКА ОБЕЧАЕК ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ОБЖИГА ЦЕМЕНТА**

**Лупачев А.Г., Харчевникова Е.А.,  
Тихонович С.И.**

ГУВПО «Белорусско-Российский университет» Могилев, Республика  
Беларусь Могилев, Беларусь

ОАО «Гомельтехмонтаж» Гомель, Беларусь

В последнее время в РБ осваивается производство сварных металлических конструкций с толщиной соединяемых элементов от 20 мм до 50 мм, например: сварка вращающейся печи второй технологической линии по производству цемента сухим способом и углеподготовительного отделения на БЦЗ г. Костюковичи.

Работы предполагалось выполнять на открытом воздухе в монтажных условиях, в возможно короткие сроки. С целью повышения производительности сварочных работ нами рекомендован механизированный способ сварки. Исследовали проволоки ESAB: порошковую ОК Tubrod 14.12 (T422MC1H10) и сплошного сечения ОК Autrod 12.63 (G463MG4Si1).

Сварку в смеси Ar+18%CO<sub>2</sub> (защита M21) сплошной проволокой и сварку в CO<sub>2</sub> (защита C1) порошковой проволокой, выполняли полуавтоматом ESAB MIG 325.

По сравнению со сваркой сплошной проволокой, порошковая проволока имеет большую производительность, лучшее качество шва, меньшее брызгообразование.

Разработку и квалификацию технологического процесса сварки выполняли в соответствии с СТБ ISO 15614-1-2009.

Сварку образцов выполнял сварщик пятого разряда аттестованный по СТБ EN 287-1-2009.

Исследовали четыре варианта технологических процессов механизированной сварки:

Сварка проволокой ОК Autrod 12.63, в среде M21. Корень шва и заполнение разделки выполняли «ниточными» швами вертикально сверху вниз (положение PG). Тип разделки C21.

Сварка проволокой ОК Autrod 12.63, в среде M21. Корень шва выполняли «ниточным» швом в положении PG. Заполнение разделки выполняли с поперечными перемещениями дуги по ширине разделки по мере её заполнения. Тип разделки C25.

Сварка проволокой ОК Tubrod 14.12 в среде C1. Корень шва и заполнение разделки выполняли «ниточными» швами вертикально сверху вниз (положение PG). Тип разделки C21.

Сварка проволокой ОК Tubrod 14.12 в среде С1 и ОК Autrod 12.63, в среде М21. Заполнение разделки выполняли с поперечными перемещениями дуги по ширине разделки. Тип разделки С39.

При всех вариантах технологии исследовали сталь 17Г1С толщиной 25 мм.

Проведенные механические испытания и металлографические исследования позволили установить, что на всех исследованных режимах сварки, при использовании разделки С21, С25 техникой сварки «ниточными» швами в положении сверху вниз (РГ) наблюдаются дефекты типа: несплавление по кромке разделки, межваликовое несплавление, несплавление в корне шва. Причем указанные дефекты возникают как при сварке сплошной так и порошковой проволокой.

Неспавления в корне шва возникают ввиду ограничения возможности манипулирования электрода в районе корня шва по причине недостаточного угла разделки.

Неспавления по кромке разделки, межваликовое несплавление возникают в результате снижения времени контактирования жидкой сварочной ванны с закристаллизовавшейся поверхностью предыдущих валиков и поверхностью разделки при технике сварки сверху вниз. Указанные виды дефекта обусловлены большой интенсивностью термомодеформационного цикла сварки в районе температур солидуса и ниже в виду повышенной скорости охлаждения рассматриваемых участков сварного соединения при данной технике сварки. Подтверждается это наличием цветов побежалости и кристаллического вида излома на фрактограммах разрушенных образцов.

С целью предотвращения дефектов типа, несплавление по кромке разделки и межваликовое несплавление – сварку металла толщиной более 20 мм сплошной проволокой в смеси  $Ar+18\%CO_2$  и порошковой проволокой с дополнительной защитой  $CO_2$ , необходимо выполнять способом сварки в общую сварочную ванну, то есть выполнять поперечные перемещения дуги по ширине разделки по мере её заполнения. Это обеспечивает более длительное контактирование жидкого металла ванны с кромками разделки, и гарантирует зарождение центров кристаллизации и дальнейший рост дендритов на полуоплавленных зёрнах поверхности разделки и предыдущих валиков.

При сварке металла толщиной более 20 мм следует применять разделку С39 вместо разделки С21 и С25, что гарантирует устранение дефектов типа непровар в корне шва.

## СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КОММУТАЦИИ СИЛОВЫХ КЛЮЧЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЕМАГНЕТИЗАТОРА ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ

Мигдалёнок А. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Для уменьшения остаточной намагниченности деталей подшипников их необходимо размагничивать с помощью переменного магнитного поля с уменьшающейся до нуля амплитудой. Для увеличения глубины проникновения магнитного поля в деталь и обеспечения требуемого качества размагничивания необходимо использовать магнитное поле пониженной (по сравнению с 50 Гц) частоты.

Для получения магнитного поля пониженной частоты при питании индуктора демагнетизатора наиболее целесообразно использовать двухзвенный преобразователь частоты с инвертором напряжения (ДПЧ ИН), схема силовой части которого представлена на рис. 1.

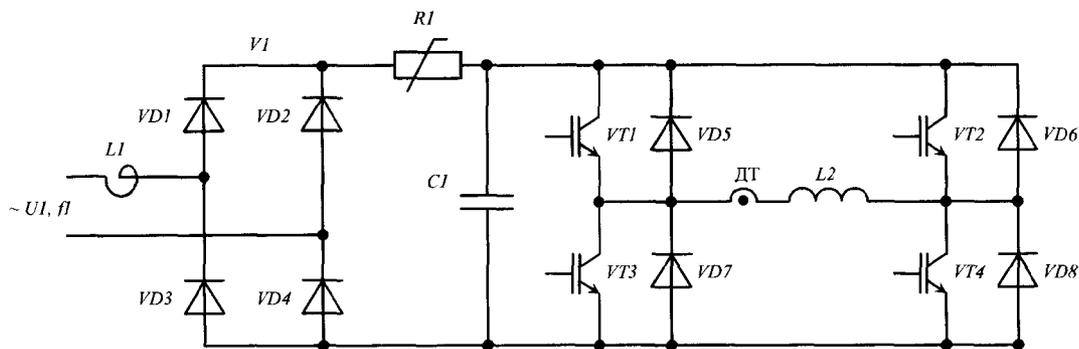


Рис. 1. Схема силовой цепи двухзвенного преобразователя частоты

Для формирования выходной кривой тока возможно использование различных алгоритмов коммутации силовых ключей преобразователя частоты.

Согласно первому алгоритму ключи преобразователя включаются и отключаются попарно (симметричная коммутация) в зависимости от знака сигнала задания тока. При положительной полуволне сигнала задания работают ключи  $VT1$ ,  $VT4$ , при отрицательной полуволне –  $VT2$ ,  $VT3$ . Для регулирования величины тока используется релейный принцип.

Второй возможный алгоритм коммутации ключей инвертора предполагает несимметричную коммутацию с обеспечением трёх режимов работы индуктора демагнетизатора.

режим потребления энергии от конденсатора фильтра, при котором открыта пара ключей  $VT1$  и  $VT4$  или  $VT2$  и  $VT3$ ;

режим рассеивания энергии в контуре нагрузки, при котором открыт один ключ  $VT3$  или  $VT4$ ;

режим возврата энергии от нагрузки в конденсатор фильтра, при котором закрыты все ключи  $VT1...VT4$ .

Переход от одного режима к другому происходит при достижении действительным значением тока заданного значения.

Для сравнения предложенных алгоритмов и выбора наиболее оптимального выполнено компьютерное моделирование работы преобразователя частоты. При моделировании определён гармонический состав кривой выходного тока для каждого алгоритма коммутации, потребляемая из сети мощность и частота коммутации ключей преобразователя (рис. 2). Имитационное моделирование проведено в системе компьютерного моделирования «Matlab Simulink».

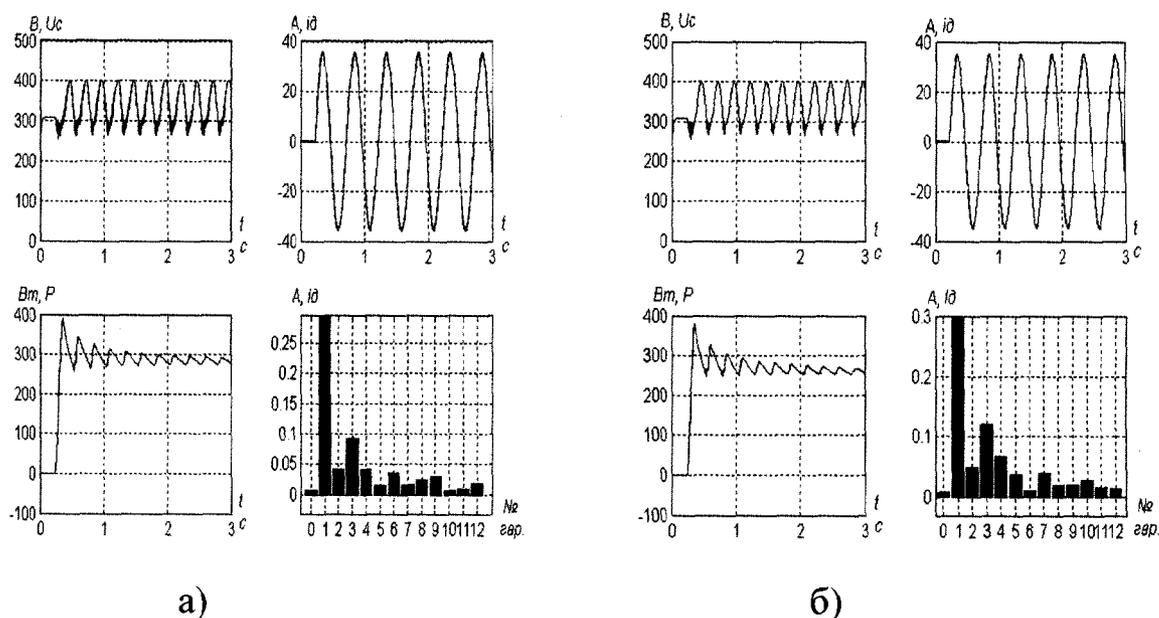


Рис. 2. Графики электрических величин при симметричной (а) и несимметричной (б) коммутации.

Анализ графиков электрических величин показывает, что с точки зрения качества формирования кривой выходного тока индуктора демагнетизатора предложенные алгоритмы практически идентичны. Амплитуды высших гармоник не превышают 0,4 % от амплитуды основной гармоники. Потребляемая из сети мощность меньше для несимметричного алгоритма коммутации, что связано с меньшими потерями на коммутацию силовых ключей инвертора из-за меньшего числа переключений. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным является несимметричный алгоритм коммутации ключей инвертора, так как он позволяет получить кривую выходного тока с заданными параметрами при минимальной частоте переключения ключей, что снижает коммутационные потери.

## СУПЕРФИНИШНАЯ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОБРАБОТКА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Минаков А.П., Ильюшина Е.В.

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
Могилев, Республика Беларусь

Уровень качества гидроцилиндров, выпускаемых предприятиями Беларуси и стран СНГ, ниже в сравнении с западными производителями. Одна из причин выхода из строя гидроцилиндров – нарушение герметичности, за счет интенсивного износа уплотнительных элементов в паре трения гильза – уплотнительное кольцо. Протечки напрямую зависят от качества рабочей поверхности гильзы, шероховатость которой по рекомендациям специалистов в области трибологии не должна превышать  $Ra = 0,1$  мкм [1, 2].

Однако, гильзы большинства предприятий, изготавливаемые из нетермообработанных заготовок, имеют шероховатостью поверхности по параметру  $Ra = 0,16...0,32$  мкм. Некоторые предприятия, например БелАЗ, обеспечивают шероховатость рабочей поверхности гильзы  $Ra = 0,16$  мкм, используя при этом зарубежное оборудование и выполняя термоулучшение перед операциями механообработки с целью улучшения обрабатываемости и механических свойств поверхности, что связано с дополнительными энергозатратами. Получить шероховатость  $Ra \leq 0,1$  мкм практически не возможно традиционно применяемым на предприятиях деформационным упрочнением накатником [3].

В сложившихся условиях многие белорусские предприятия для сборки гидроцилиндров покупают импортные гильзы, что противоречит реализации Государственной программы импортозамещения.

Предлагаемый способ обработки рабочих поверхностей гильз гидроцилиндров, включающий ресурсосберегающую технологию суперфинишной пневмоцентробежной обработки (ПЦО) [4], позволяет решить эти проблемы. Согласно предлагаемой технологии, рабочая поверхность гильзы формируется жестким роликовым деформированием, а дальнейшее снижение шероховатости производится суперфинишной ПЦО до  $Ra \leq 0,1$  мкм. Для обработки используется инструмент с шарами низкой шероховатости  $Ra \leq 0,08$  мкм.

Сущность процесса суперфинишной ПЦО состоит в снижении исходной шероховатости до  $Ra \leq 0,1$  мкм упрочненной поверхности нетермообработанных заготовок гильз гидроцилиндров суперфинишной ПЦО с образованием нового микрорельефа и топографии в результате комбинированного воздействия на поверхность рабочих тел (стальных шаров) с твердостью HRC 62...66 и степенью точности 20 (ГОСТ 3722-81) в турбулентном кольцевом потоке сжатого воздуха в докритическом режиме его

истечения при попутном вращении заготовки и шаров, когда их линейная скорость равна около 11 м/с, в режиме автоколебаний с малой амплитудой при влиянии поверхностно-активной среды, в которой происходит обработка.

В результате обработки на оптимальных режимах достигается шероховатость поверхности гильзы  $Ra = 0,07 - 0,1$  мкм, происходит формирование поверхности с новой топографией, что улучшает эксплуатационные характеристики, превосходя мировых производителей гильз гидроцилиндров (Италия, Германия, Румыния и т.д.) по маслостойкости, гидроплотности, контактной жесткости и износостойкости [5]. Энергозатраты при использовании суперфинишной ПЦО в 10 раз меньше в сравнении с традиционно применяемыми на предприятиях технологиями хонингования гильз.

Такой параметр надежности как «Наработка до отказа» для гидроцилиндров, обработанных по технологии суперфинишной ПЦО, должен возрасти до миллиона циклов, что в несколько раз больше в сравнении с существующими отечественными технологиями обработки, которые дают «Наработку до отказа» - 200...500 тысяч циклов. Решается проблема набирающего темпы импортозамещения заготовок гильз гидроцилиндров на заводах Союзного государства.

Проведены исследования процесса суперфинишной ПЦО, на базе которых разработана модель процесса с учетом особенностей его кинематики, динамики и аэродинамики. Создана методика управления суперфинишной ПЦО на базе установленных взаимосвязей между параметрами шероховатости обработанной поверхности и эксплуатационными свойствами в соответствии со стандартом DIN 4776 [6].

#### Список литературы:

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
2. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения. – Мн.: Университетское, 1991, 397с.
3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Способ обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки: пат. 2244619 Российской Федерации, С1 RU, МПК7 В 24В 39/02. / А.П. Минаков, О.В. Ящук, И.Д. Камчицкая, А.В. Ткачев, Е.В. Титова. - № 2004102354; заявл. 27.01.04. Оpubл. 20.01.2005.
5. Минаков А.П. Сравнительная оценка параметров качества рабочих поверхностей гильз гидроцилиндров, обработанных различными способами / А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина // Прогрессивные технологии, машины и оборудование в машиностроении: сб. докладов. - Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ». - 2008. - С. 86 – 92.

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-УДАРНОЙ ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ**

**Минаков А.П., Юшкевич Н.М., Ильюшина Е.В.**

ГУВПО «Белорусско-Российский университет» Могилев, Республика Беларусь Могилев, Беларусь

С 2003 года на РУП завод «Могилевлифтмаш» внедрено и успешно эксплуатируется технологическое оснащение для ремонта направляющих станин токарных и других станков. Технология включает фрезерование летучим эльборовым резцом с обеспечением шероховатости  $Ra = 0,5...0,8$  мкм и последующую упрочняющую импульсно-ударную пневмовибродинамическую обработку (ИУ ПВДО) стальными шарами с получением шероховатости  $Ra = 1,25$  мкм. Упрочняющая ИУ ПВДО предназначена для обработки направляющих станин, утративших каленый слой.

Технология ИУ ПВДО заключается в разнонаправленном многократном импульсно-ударном воздействии на исходный микрорельеф деформирующих шаров, получающих ударную силу от приводящих шаров, вращающихся под действием струй сжатого воздуха, подводимого к инструменту.

В результате обработки возрастает срок службы станка до 4...5 лет, снижается трудоемкость его ремонта в 2 раза, происходит увеличение маслостойкости поверхности за счет создания на ней сетки микролунок, уменьшается износ поверхности направляющих в процессе эксплуатации, глубина деформационно-упрочненного слоя составляет до 0,2 мм с твердостью поверхности HRC 40.

Создание эффективного и надежного инструмента для реализации процесса ИУ ПВДО плоских поверхностей напрямую связано с увеличением производительности, улучшением качества обработки, повышением эксплуатационных свойств поверхностей и снижением уровня звукового давления.

Анализ существующих конструкций инструментов показал, что первые инструменты для ИУ ПВДО имели один ряд шаров, разделенных лопастями сепаратора, приводимого во вращение струями сжатого воздуха. Однако это не позволяло шарам развивать большую центробежную силу, процесс обработки был малопродуктивен.

Поэтому результатом дальнейшей работы стало создание инструментов с усложненной траекторией движения деформирующих шаров, которые свободно располагались в камере расширения, имея шесть степеней свободы и совершая одновременно с вращательным движением осциллирующее перемещение. Это позволило увеличить производительность и улучшить качество обработки.

Однако наибольший интерес представляют инструменты, имеющие в своей конструкции два ряда шаров – приводящие и деформирующие.

Пластическое деформирование поверхности происходит за счет нанесения ударов приводящими шарами по деформирующим в зоне обработки, а теми в свою очередь по заготовке. Преимуществами этого инструмента стало увеличение степени деформационного упрочнения обрабатываемой поверхности и повышение производительности обработки.

Эта идея реализована в новой усовершенствованной конструктивной схеме инструмента для ИУ ПВДО плоских поверхностей, рисунок 1.

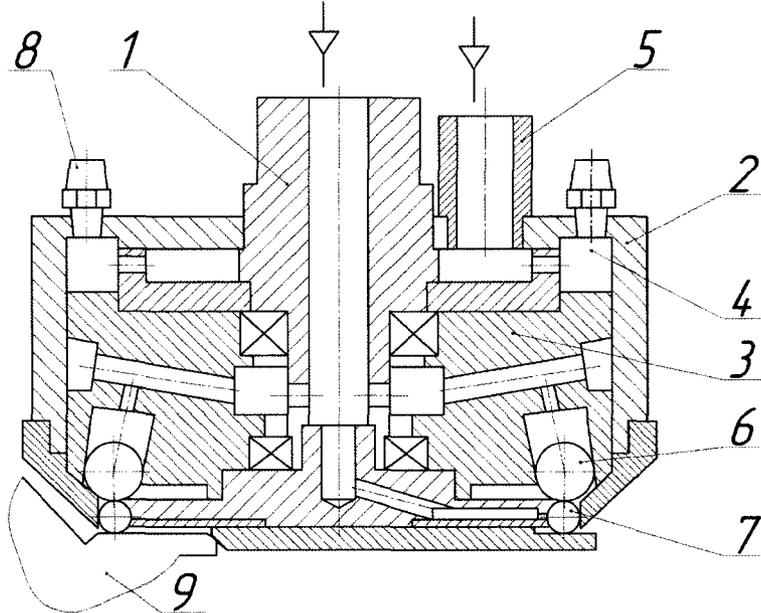


Рисунок 1 – Конструкционная схема инструмента

1 – полый вал, 2 - корпус, 3 – диск, 4 – лопатки, 5 – штуцер, 6 – приводящие шары, 7 – деформирующие шары, 8 – пневмоглушители, 9 – заготовка.

Под действием сжатого воздуха, подводимого от системы питания через штуцер 5 и сопла на лопатки 4 инструмента, диск 3 вместе с приводящими шарами 6, размещенными в его гнездах, начинает вращаться вокруг оси полого вала 1. При этом приводящие шары 6 под действием центробежной силы прижимаются к деформирующим 7 и наносят по ним удары, а те в свою очередь – по обрабатываемой поверхности 9. Вращение диска совместно с приводящими шарами обеспечивает не только их высокую скорость, но и большую силу удара по деформирующим шарам с учетом массы диска. В результате происходит пластическое деформирование и упрочнение обработанной поверхности, создается сетка лунок, увеличивая тем самым маслостойкость.

Проблема звука в инструменте решена использованием пневмоглушителей 8. Для регулировки усилия прижатия и охлаждения зоны обработки к приводящим шарам 6 предусмотрена подача сжатого воздуха, подаваемого через осевой канал вала 1. Этот же осевой канал использован и для замедления вращения деформирующих шаров 7, сжатый воздух к которым подается через сопла. Таким образом, можно управлять процессом ИУ ПВДО, что упрощает обработку.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА В СИСТЕМЕ MATLAB-SIMULINK

**Миронович А.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Компрессором называется машина, предназначенная для преобразования механической энергии в энергию сжатого газа. В настоящее время компрессоры находят широкое применение в различных технологических процессах, основными из которых являются: получение сжатого воздуха для систем пневмопривода, сжатие паров хладагента в холодильных и морозильных установках, перекачивание газообразных сред по трубопроводам. В первых двух случаях обычно применяются компрессоры объёмного действия (поршневые и роторные), в третьем – лопастные машины (центробежные и осевые). Лопастные компрессоры, как правило, выпускаются на огромные мощности (мегаватты) и являются штучным товаром. Подавляющее же большинство серийно выпускаемых компрессоров относится к машинам объёмного действия.

Особый интерес представляют поршневые машины, которые исторически появились раньше всех остальных и, несмотря на свои многочисленные недостатки, сегодня повсеместно применяются в пневматических и холодильных системах. Большинство современных поршневых компрессоров снабжены индивидуальными электроприводами, что упрощает построение систем автоматизации, делает компрессорные установки компактными и надёжными. На этапе проектирования системы электропривода часто возникает необходимость смоделировать поведение будущей системы на компьютере. Ниже рассматривается один из вариантов моделирования поршневого компрессора с помощью программы Matlab-Simulink.

С точки зрения электропривода основной задачей при моделировании является определение закона изменения момента сопротивления на валу двигателя от скорости. В случае же с поршневым компрессором более важной является зависимость момента сопротивления от угла поворота вала двигателя. Для получения этой зависимости рассмотрим процесс сжатия в компрессоре. Очевидно, что реальный процесс сжатия достаточно сложен, поэтому рассмотрим так называемый идеальный процесс сжатия. Он предполагает, что: не учитывается трение поршня; механическое и гидравлическое сопротивления клапанов отсутствуют; нагнетание происходит при постоянном давлении в ресивере; давление и температура всасываемого воздуха не изменяются; в конце сжатия в цилиндре не остаётся воздуха. Кроме того, будем считать, что сжатие газа в цилиндре происходит изотермически, то есть при постоянной температуре (за счёт хорошего теплоотвода).

В результате компоновки различных блоков математических функций получаем схему моделирования поршневого компрессора (рисунок 1).

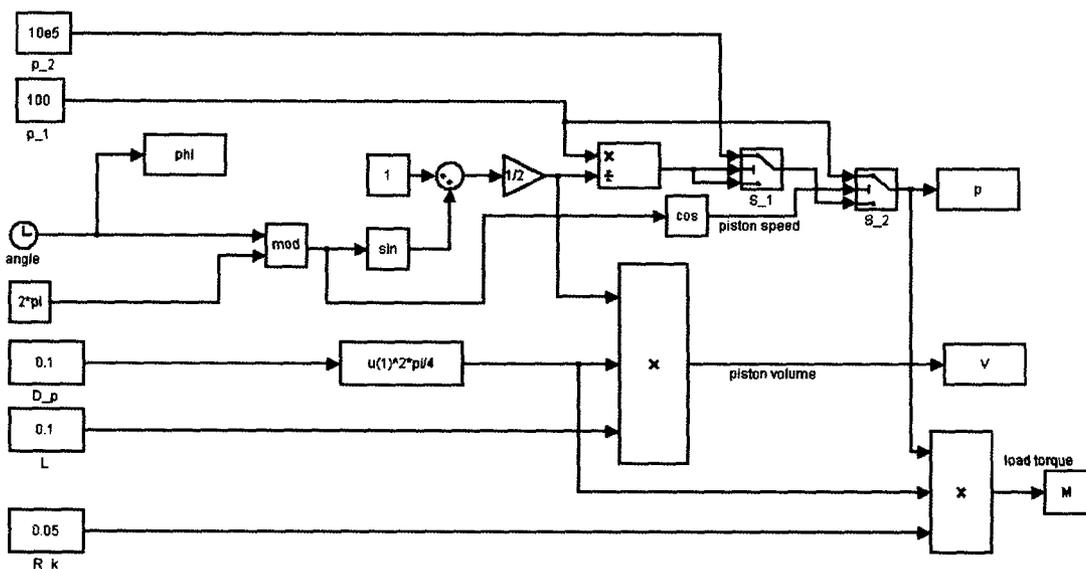


Рисунок 1 – Схема моделирования поршневого компрессора

Для данной структуры требуется ввести такие параметры, как: начальное и конечное давления ( $p_1$  и  $p_2$ ), диаметр поршня ( $D_p$ ), максимальную длину хода поршня ( $L$ ), длину кривошипа ( $R_k$ ). Входным сигналом будет являться угол поворота вала двигателя ( $angle$ ). Главным выходным сигналом является момент сопротивления на валу двигателя (load torque). На рисунке 2 приведен фрагмент временных диаграмм работы модели компрессора.

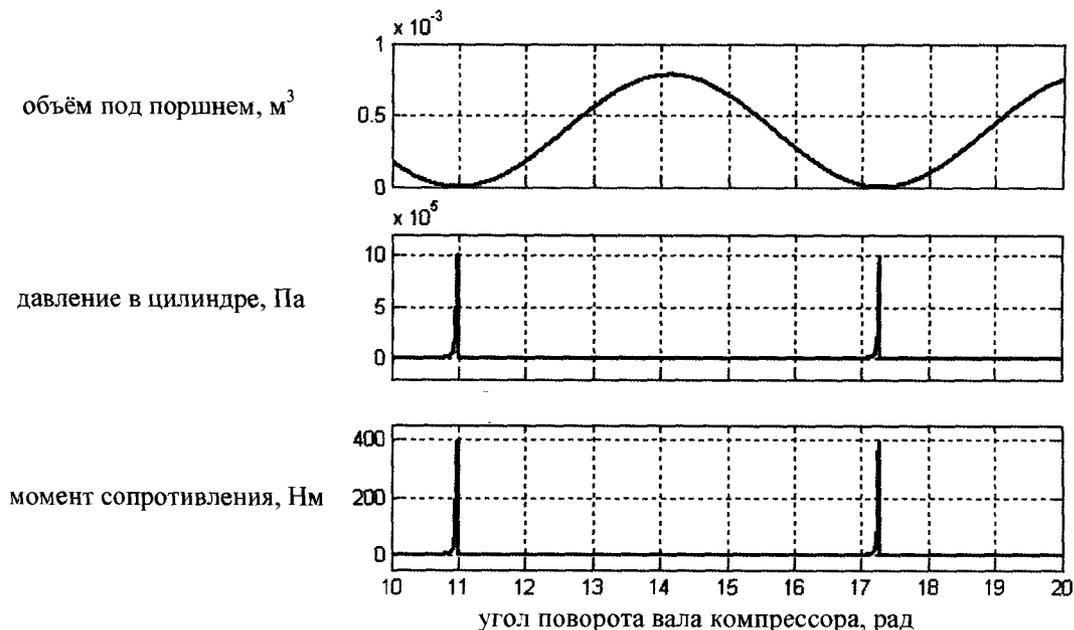


Рисунок 2 – Диаграммы, полученные моделированием

Как видно из диаграмм, модель достаточно хорошо отражает пульсирующий характер нагрузки на вал двигателя. Данная модель может быть скомпонована в подсистему, которую можно использовать в сочетании с имитационной моделью асинхронного электропривода.

## СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОСТАТИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

А.Е. Моисеев

ГУВПО «Белорусско-Российский университет»,  
Могилев, Республика Беларусь

Широкое применение в промышленности, медицине и ветеринарии получили термостатирующие установки. К данному классу относятся устройства необходимые для поддержания температуры тех или иных используемых материалов на определенном значении. Будь то печи для поддержания температуры расплавленного алюминия в промышленности или термостаты биологические для размораживания криоконсервированного в жидком азоте биологического материала сельскохозяйственных животных, в которых осуществляется нагрев и стабилизация температуры исследуемых образцов.

Для оптимизации регулирования температуры термостатирующих установок был разработан способ и устройство для его реализации путем усовершенствования схемы автоматического контроля и регулирования процесса нагрева, которые позволяют достигнуть стабилизации температуры на заданном значении в термостатирующих установках за минимальное время [1].

Задача достигается тем, что способ регулирования температуры термостатирующих установок включает подключение устройства к питающей сети, задание параметров нагревания, регулирования температуры с помощью микроконтроллера за счет подачи дозированного количества энергии к нагревательному блоку по нелинейному закону, соответствующему температурной зависимости теплоёмкости материала рабочей камеры.

Посредством задатчика температуры выставляют необходимое значение температуры стабилизации  $T_{ст}$ ; датчиками температуры выполняют измерение температуры окружающей среды  $T_{ср}$  и температуры сосуда термостатирующей установки  $T_c$  и, полученные значения передают на микроконтроллер. Микроконтроллером выбирают необходимую программу нагрева из устройства ПЗУ и передают коды управления в силовой блок системы управления нагревательного блока.

Происходит нагрев сосуда термостатирующей установки в течение времени  $T_1$ . По истечении времени  $T_1$  датчики выполняют измерение температуры и передают информацию на микроконтроллер.

Если температура не достигает температуры стабилизации  $T_{ст}$ , то осуществляют выбор новой программы и цикл повторяют.

Если же температура стабилизации  $T_{ст}$  достигнута, то микроконтроллер выбирает решение о том, что изменение программы не будет и подаёт сигнал на устройство цифровой индикации, что термостатирующее устройство готово к работе; далее микроконтроллер выбирает необходимую программу

стабилизации температуры из постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и осуществляют поддержание температуры в заданном диапазоне.

Для реализации способа регулирования температуры термостатирующих установок было разработано устройство, в котором используют нагревательный блок, задатчик температуры, микроконтроллер, устройство ПЗУ, силовой блок системы управления, сосуд термостата, датчик температуры, измеряющий температуру сосуда термостата и устройство цифровой индикации. Согласно изобретению нагревательный блок выполнен, по меньшей мере, из одной секции.

Устройство дополнительно снабжено датчиками температуры, которые служат для измерения температуры окружающей среды, и подключенными к микроконтроллеру; силовым блоком системы управления и задатчиком температуры.

Программа для микроконтроллера выполнена в виде постоянного запоминающего устройства (ПЗУ).

Устройство дополнительно снабжено цифровой индикацией, состоящей из светодиодов, жидкокристаллического дисплея, звукового извещателя, что позволяет облегчить визуальный и звуковой контроль над режимами работы устройства.

Изобретение позволяет уменьшить время выхода температуры на заданное значение в термостатирующих установках за счет усовершенствования схемы автоматического контроля и регулирования процесса нагрева.

Так же нагревательный блок дополнительно снабжен, по меньшей мере, одной дополнительной секцией, расположенной одна над другой, что позволяет регулировать подачу энергии в разных слоях нагревательного блока, что, в свою очередь, позволяет осуществлять более равномерный разогрев жидкости внутри сосуда термостата.

Датчики температуры, которые служат для измерения температуры окружающей среды, позволяют учитывать изменяющиеся внешние воздействия и оптимизировать программу нагрева, что позволяет уменьшить время выхода температуры на заданное значение и приведет к экономии электрической энергии.

## Литература

1. Способ регулирования температуры термостатирующих установок и устройство для его осуществления: заявка на патент Респ. Беларусь / Г. С. Леневский, А. Е. Моисеев; заявитель – Бел.-Рос. ун-т. – № а 20120022; заявл. 06.12.2012.

## ЖИВУЧЕСТЬ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Морозько О.А., Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Надежность управляемого асинхронного электропривода является проблемной областью давно интересующей ученых и производителей. В частности, в данном вопросе заинтересованы инженеры военной и аэрокосмической промышленности. Целесообразность использования понятия «живучесть» объясняется тем, что в ряде применений имеется необходимость обеспечить функционирование электропривода для завершения технологической операции либо для соблюдения безопасности персонала даже после возникновения неисправности. Смысл «живучей системы» заключается в том, что система будет продолжать работать без обеспечения оптимальных условий. Необходимость в таких «живучих» системах вдохновляла к множеству исследований в данной области.

Целью данной статьи является анализ топологий (структур) инверторов и методов управления, представленных в [1-4] и сравнение особенностей, затрат на реализацию, ограничений производительности каждого из методов по сравнению со стандартным трехфазным инвертором на IGBT модулях.

С целью определения затрат, связанных с каждой из топологий будет полезно ввести относительный показатель выходной мощности (ОПВМ):

$$\text{ОПВМ} = \frac{\text{максимальная мощность при наличии неисправности (кВА)}}{\text{максимальная мощность стандартного исправного инвертора (кВА)}}$$

Для

сравнения затрат связанных с добавлением полупроводниковых приборов в отказоустойчивую схему введем показатель относительных затрат на полупроводники (ПОЗП):

$$\text{ПОЗП} = \frac{\text{взвешенный показатель мощности всех ключей (кВА)}}{\text{показатель мощности ключей стандартного инвертора (кВА)}}$$

Необходимо также учесть, что при вычислении ПОЗП, верны следующие выражения:

$$1 \text{ SCR} = 0,5 \text{ IGBT}; 1 \text{ TRIAC} = 1 \text{ IGBT}. \quad (1)$$

С целью упрощения сравнения топологий, требуемые обратные диоды для IGBT включены в модуль силового ключа. Возможные варианты неисправностей: а) закорочен один ключ инвертора; б) закорочена одна фаза инвертора; в) один ключ инвертора постоянно разомкнут; г) обрыв одной фазы инвертора (снаружи или внутри инвертора).

В таблице 1 представлены свойства и требования различных живучих топологий, представленных в различных источниках [1-4]. Для сравнения в таблицу включен стандартный трехфазный инвертор. Данные таблицы используются для построения системы, обладающей свойством живучести.

Таблица 1 – Характерные показатели различных отказоустойчивых топологий инверторов

Топология	Кол-во предохранителей	Исп. средн. точки шины пост. тока?	Доп. ключи	Токовый показатель для доп. ключей (о.е.)	ОПВМ	ПОЗП	Живучесть при			
							1 ключ закорочен	Фаза закорочена	1 ключ пост. разомкнут	Обрыв фазы
Стандартная	0	-	-	-	0	1	не отказоустойчива			
С 1 изб. ключ. для обрыва фазы	0	+	1 (TRIAC)	1.73	0.50	1.29				X
С 1 изб. ключ. для закороч. ключа	3	+	3 (TRIAC)	1.00	0.50	1.50	X		X	
С 1 изб. ключом	3	+	3 (TRIAC) 1 (TRIAC)	1.00 1.73	0.50	1.79	X		X	X
С 2 изб. ключ. с 4-хтерм. дв-лем	8	-	8 (SCR) 2 (IGBT)	1.00 (SCR) 1.73 (IGBT)	0.58	2.24	X	X	X	X
С изб. фазой и 3-хтерм. дв-лем	6	-	6 (SCR) 3 (TRIAC) 2 (IGBT)	1.00 (SCR) 1.00 (TRIAC) 1.00 (IGBT)	1.0	2.33	X	X	X	X

#### ЛИТЕРАТУРА

D. Kasta and B. K. Bose, "Investigation of fault modes of voltage-fed inverter system for induction motor drive," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 30, pp. 1028–1038, July/Aug. 1994.

N. Bianchi, S. Bolognani, and M. Zigliotto, "Analysis of PM synchronous motor drive failures during flux weakening operation," in Conf. Rec. IEEE Power Electronics Specialists Conf., vol. 2, 1996, pp.1542–1548.

N. Ertugrul, W. Soong, G. Dostal, and D. Saxon, "Fault tolerant motor drive system with redundancy for critical applications," in Conf. Rec. IEEE Power Electronics Specialists Conf., vol. 3, 2002, pp. 1457–1462.

A. G. Jack, B. C. Mecrow, and J. A. Haylock, "A comparative study of permanent magnet and switched reluctance motors for high-performance fault-tolerant applications," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 32, pp. 889–895, July/Aug. 1996.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

**Москаленко А.А., Кононенко З.И., Худенко Д.О.**

Белорусский национальный технический университет

В работе рассматриваются задачи математического моделирования автоматизированной системы управления (регулирования), которая является одной из важных задач апробации работоспособности систем.

За основу выбрана одноконтурная система управления с запаздыванием:

$$H_M(s) = \frac{k_M e^{-s\tau_M}}{T_M s + 1}.$$

Дальнейшее расширение функции может быть достигнуто за счет разработки дополнительных модулей.

Программа моделирования разработана в интегрированной среде Delphi. Схема алгоритма моделирования показана на рисунке 1.

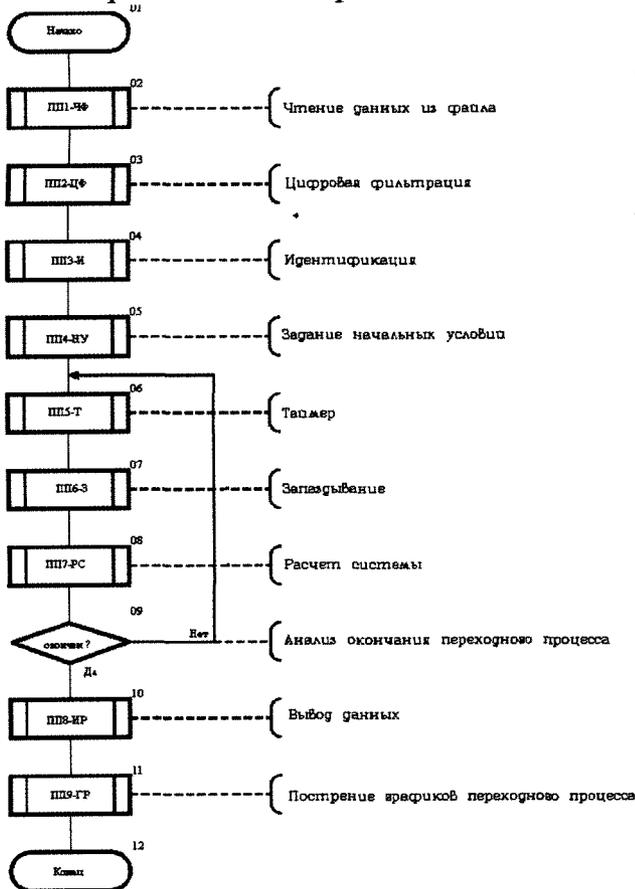


Рисунок 1.

звеньев через передаточные функции; далее осуществляется переход к временным функциям  $y_i(t)$  с переходом к разностным уравнениям  $y_i(nT_\epsilon)$  в виде рекуррентных формул, где  $T_\epsilon$  - время квантования непрерывной функции. Затем разрабатывается алгоритм вычисления дискретных значений сигналов в каждой точке системы путём движения по замкнутому контуру (контурам) от выбранной начальной точки обхода системы и формируется условие окончания переходного процесса.

В основу моделирования положен метод с использованием разностных уравнений в рекуррентном виде. При данном методе схема управления представляется в виде элементарных

При моделировании системы управления должна осуществляться цифровая фильтрация экспериментальных данных с объекта управления, идентификация параметров объекта в соответствии с выбранной моделью, расчёт параметров регулятора, вывод исходной и расчётной информации оператору и построение графиков переходного процесса, по которым оператор может оценить качество регулирования (управления) и соответствие качества выбранному критерию оптимальности.

Экспериментальные данные, снятые непосредственно на объекте управления записываются в файл данных, который считывается при запуске программы.

Данные с объекта управления имеют разброс, т.к. на объект управления в промышленных условиях действуют продольные и поперечные помехи. Поэтому, кроме специальных мер по борьбе с помехами, обязательно данные с объекта управления подвергаются цифровой фильтрации. В данной программе использован модифицированный  $\alpha - \beta$  фильтр Калмана с ограничениями для входных переменных.

Далее на основе сглаженных данных проводится идентификация параметров выбранной модели объекта ( $k_m$ ,  $T_m$  и  $\tau_i$ ).

Блок задания начальных условий необходим так же, как и при решении дифференциальных уравнений, т.к. программа должна знать значения на выходах всех узлов системы в момент времени  $t=0$ . В этом же блоке рассчитываются параметры регулятора, зависящие от параметров объекта управления в соответствии с заданным критерием асимптотической устойчивости, который допускает перерегулирование, не превышающее 4%.

Затем программируется система: блок запаздывания объекта системы и узлы системы. Предусмотрено два режима: в темпе машинного и реального времени.

Затем выводятся расчётные параметры и строятся графики переходных процессов для ошибки регулирования и выходного значения объекта управления при подаче на вход единичного пробного задания.

На основании графиков переходных процессов делается вывод о качестве работы системы управления и целесообразности её внедрения на промышленном объекте.

Данная моделирующая программа легко трансформируется для моделирования двухконтурных и многоконтурных систем управления. Так, например, для моделирования двухконтурных систем с дифференциатором, которые широко используются на электрических станциях, необходимо записать два файла данных, дважды обратиться к блоку цифровой фильтрации, дважды обратиться к блоку идентификации объекта, а для моделирования системы ввести две расчётные формулы в рекуррентном виде.

Программа прошла апробацию на кафедре РТС ФИТР и внедрена в учебный процесс.

## **НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В КАТОДНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

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

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

Электролитно-плазменная обработка (ЭПО) металлических материалов является анодным процессом и предназначена для очистки поверхности, снижения шероховатости и снятия заусенцев путём удаления материала. ЭПО является безопасной и более производительной технологией по сравнению с альтернативными видами обработки. В результате исследований режимов и технологических характеристик процесса ЭПО установлено, что кроме анодного режима ЭПО может применяться и в других режимах поляризации: в катодном и биполярном. В катодном режиме ЭПО обеспечила осаждение на катоде (заготовке) металлических покрытий, состоящих из растворенных в электролите ионов металлов. Это позволило использовать ЭПО в качестве метода нанесения гальванических покрытий.

Проведены эксперименты по нанесению цинковых и никелевых покрытий на плоские образцы из стали Ст3 в режиме катодной ЭПО. В качестве электролитов использовались сульфаты металлов, формирующих гальванические покрытия (сульфат цинка и сульфат никеля). Установлено, что формирование качественных покрытий возможно в следующих диапазонах технологических параметров: концентрация электролита – 16...24 %, температура электролита – 75...90 °С, рабочее напряжение – 200...260 В, продолжительность обработки – 30...90 сек.

Разработанная схема нанесения покрытий представлена на рисунке 1. Обрабатываемое изделие 2 закрепляется над поверхностью бака с электролитом и подключается к отрицательному полюсу источника питания 1. Электролит из бака 6 с помощью циркуляционного насоса 7 прокачивается через спрейер 3 и направляется на поверхность заготовки-катада. В спрейере находится электрод 5, подключенный к положительному полюсу источника питания.

Положительно поляризованный электролит, выходя из спрейера, создает на поверхности заготовки-катада парогазовую оболочку, в которой одновременно протекают два процесса: электролиз в жидкой среде за счет разности потенциалов между заготовкой (катодом) и рабочей ванной (анодом) и возникновение электрических разрядов в парогазовой оболочке вокруг поверхности заготовки, за счет чего происходит формирование электролитной плазмы. Эти особенности процесса катодной ЭПО обеспечивают высокую адгезию наносимого гальванического покрытия. Исследования позволили установить, что полученные в режиме катодной ЭПО покрытия обладают повышенной адгезионной прочностью по сравнению с гальваническими покрытиями, полученными классическими методами.

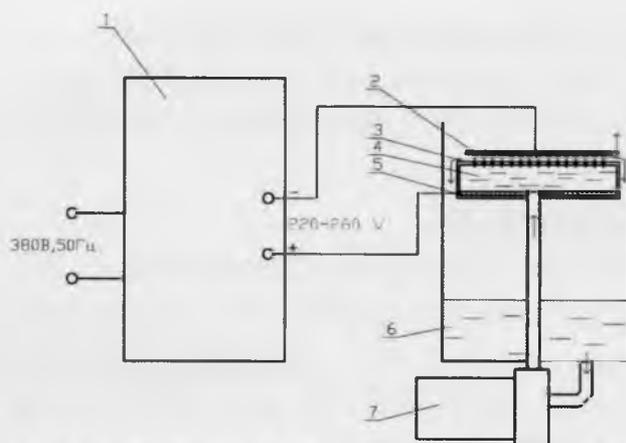
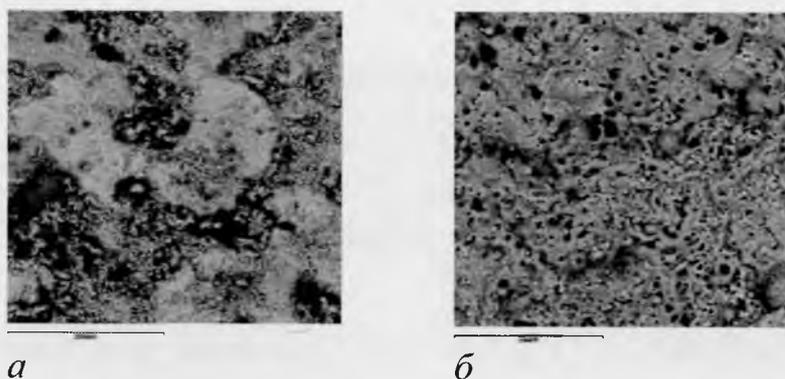


Рисунок 1 – Схема нанесения гальванических покрытий на плоские образцы в режиме катодной ЭПО

Установлено, что прочное соединение покрытия с основой достигается за счет электрических разрядов в электролитной плазме, которые приводят к локальному нагреву микрон детали и осажденного покрытия выше температуры плавления и получению сплава материала детали и покрытия. В результате образуется плавный переход от материала детали к материалу покрытия без переходной зоны, в отличие от традиционного гальванического покрытия.

Проведенные микроструктурные исследования полученных цинковых и никелевых покрытий, позволили установить, что в зависимости от технологических параметров обработки толщина наносимого покрытия может достигать 30...40 мкм. Структура полученных гальванических покрытий показана на рисунке 2.



*а – цинк; б - никель*

Рисунок 2 – Структура покрытий, полученных в катодном режиме ЭПО

Исследование технологических особенностей разработанного метода позволило сделать вывод о том, что наиболее перспективной областью его применения является нанесение гальванических покрытий на поверхности плоских и цилиндрических профилей бесконечной длины, получаемых прокаткой и волочением и требующих защиты от коррозии. В частности метод может быть использован для нанесения покрытий на поверхность катанки, ленты, листа, проволоки, прутка, арматуры и др.

# ПОДХОД К ВЫБОРУ НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ «КОЭФФИЦИЕНТОВ» ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

**Новиков С.О.**

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

В качестве прикладной задачи рассмотрим задачу позиционного управления электроприводом постоянного тока (ЭПТ) по критерию минимума электрических потерь с учетом локальных ограничений.

Для применения модифицированного принципа максимума необходимо заменить время  $t$  на одну из фазовых переменных, в данной задаче это скорость  $v$ . Методика применения модифицированного принципа максимума может быть описана следующим образом. Уравнение равновесия моментов на валу ЭПТ может быть представлено в виде:

$$J(\alpha) \frac{dv}{dt} = \mu_s - \hat{\mu}_h(\alpha, v), \quad (1)$$

где  $\hat{\mu}_h(\alpha, v) = \mu_h + (v^2/2) * (dJ(\alpha)/d\alpha)$ ;  $\mu_h = \text{const}$ .

Учитывая, что для электропривода  $dq/dt = i^2$  и  $d\alpha/dt = v$ , перепишем систему уравнений движения электропривода (1) в виде:

$$\frac{dq}{dt} = i^2, \quad J(\alpha) \frac{dv}{dt} = i - \hat{\mu}_h, \quad \frac{d\alpha}{dt} = v, \quad (2)$$

где  $q$  – потери;  $i$  – ток якоря, который в относительных единицах равен  $\mu_s$ .

Граничные условия при этом имеют вид

$$v(0) = 0, \quad v(T) = 0, \quad \alpha(0) = 0, \quad \alpha(T) = \alpha_T. \quad (3)$$

Требуется на решениях системы (2) при соблюдении условий (3) выбрать такой закон изменения тока якоря, который доставит минимум функционалу:

$$q = \int_0^T i^2 dt \rightarrow \min. \quad (4)$$

После замены аргумента  $t$  на  $v$  система уравнений привода (2) примет вид

$$\frac{dq}{dv} = \frac{J(\alpha)i^2}{i - \hat{\mu}_h(\alpha, v)}, \quad \frac{dt}{dv} = \frac{J(\alpha)}{i - \hat{\mu}_h(\alpha, v)}, \quad \frac{d\alpha}{dv} = \frac{J(\alpha)v}{i - \hat{\mu}_h(\alpha, v)}. \quad (5)$$

Граничные условия для этой задачи имеют вид

$$q(0) = 0, \quad v(0) = v_0 = 0, \quad v(T) = v_T = 0, \quad \alpha(0) = 0, \quad \alpha(T) = \alpha_T. \quad (6)$$

Для системы (6) запишем функцию Л.С. Понтрягина

$$H = \frac{(\psi_0 i^2 + \psi_1 + \psi_2 v) J(\alpha)}{i - \hat{\mu}_h(\alpha, v)}. \quad (7)$$

Уравнения для сопряженных переменных, «коэффициентов», имеют вид

$$\frac{d\psi_0}{dv} = -\frac{\partial H}{\partial q} \equiv 0; \quad \frac{d\psi_1}{dv} = -\frac{\partial H}{\partial t} \equiv 0; \quad (8)$$

$$\frac{d\psi_2}{dv} = -\frac{\partial H}{\partial \alpha} = -\frac{(\psi_0 i^2 + \psi_1 + \psi_2 v)}{(i - \hat{\mu}_n(\alpha, v))^2} \left[ \frac{\partial J(\alpha)}{\partial \alpha} (i - \hat{\mu}_n(\alpha, v)) + \left(\frac{v^2}{2}\right) \frac{\partial^2 J(\alpha)}{\partial \alpha^2} \right].$$

Из условия  $\partial H / \partial i = 0$ , выбираем  $\psi_0 = -1$  и определяем оптимальный закон изменения тока якоря:

$$i^* = \hat{\mu}_n(\alpha, v) \pm \sqrt{\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v}. \quad (9)$$

Обозначим некоторую степень постоянства  $J(\alpha)$  и  $\psi_2$  индексом  $j$ , а следующую за ней индексом  $j+1$ . Точки разрывов кусочно-постоянной функции  $J(\alpha)$  от аргумента  $v$  не зависят. Поэтому гамильтониан в оптимальном процессе непрерывен. Исходя из этого приравниваются соответствующие индексы  $j$  и  $j+1$ :

$$\frac{(i_j^{*2} + \psi_1 + \psi_{2j} v_j) J_j}{i_j^* - \hat{\mu}_{nj}} = H_j = H_{j+1} = \frac{(i_{j+1}^{*2} + \psi_1 + \psi_{2j+1} v_{j+1}) J_{j+1}}{i_{j+1}^* - \hat{\mu}_{nj+1}}. \quad (10)$$

Отсюда, с учетом выражения для тока (9), получаем

$$\pm J_j i_j^* = \pm J_{j+1} i_{j+1}^*, \quad (11)$$

где знак «+» соответствует участку разгона; знак «-» участку торможения.

Подставляя (9) в (11), получаем формулу для определения  $\psi_{2j+1}$  в виде

$$\psi_{2j+1} = ((J_j i_j^* / J_{j+1} + \hat{\mu}_{nj+1}(\alpha, v))^2 - \hat{\mu}_{nj+1}^2 - \psi_1) / v_j. \quad (12)$$

Для моделирования работы системы управления с регулятором (9), необходимо выбрать начальные значения для «коэффициентов»  $\psi_1$  и  $\psi_2$ . Поскольку в начальный момент времени  $v=0$ , то начальное значение  $\psi_2$  может быть практически любым, а (9) примет вид

$$i^* = \mu_n \pm \sqrt{\mu_n + \psi_1}. \quad (13)$$

Отсюда, принимая во внимание ограничения, которые накладываются на ЭПТ, условие (4) и производится выбор начального значения для  $\psi_1$ . Процесс позиционирования имеет участки разгона и торможения. Из непрерывности гамильтониана в оптимальном процессе следует непрерывность оптимального управления (тока  $i^*$ ), и поэтому переключение на торможение происходит при скорости  $v = v_n$ , определяемой из условия  $\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v = 0$ . Задаваясь для системы (2) с регулятором (9) начальными значениями констант  $\psi_1$  и  $\psi_2$  так, чтобы выполнялись граничные условия (3). Полученный процесс и является решением задачи в исходной постановке.

# ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ПОЛУАВТОМАТА МНОГОЦВЕТНОЙ ВЫШИВКИ

Новиков Ю.В.

УО «Витебский государственный технологический институт», г. Витебск

Исследована последовательность срабатывания механизмов опытного образца, разработана тактограмма. Временные интервалы срабатывания механизмов могут изменяться с учетом изменения скоростей и ускорений на валах шаговых электродвигателей. Для уточнения согласованной работы механизмов разработана функциональная схема полуавтомата (рисунок 1).

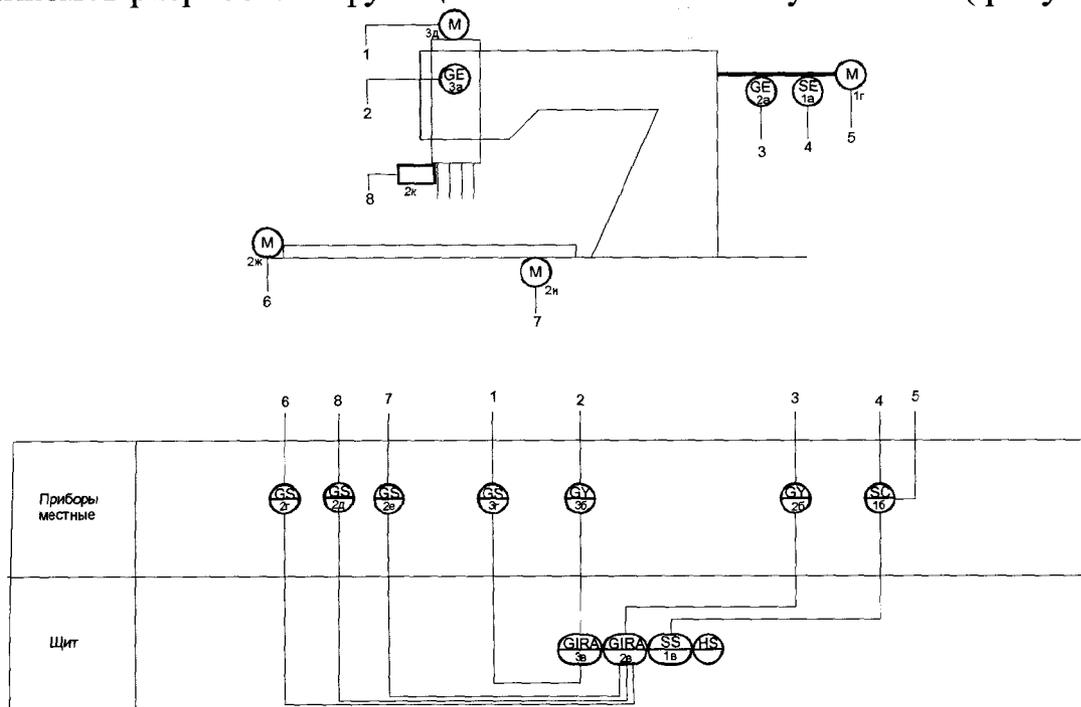


Рисунок 1 - Функциональная схема

Полуавтомат содержит следующие каналы управления:

Контроль и регулирование скорости вращения главного вала автоматизированного электропривода. Канал включает в себя: датчик скорости вращения главного вала, устройство регулирования скорости, устройство управления по скорости, двигатель главного вала.

Контроль положения иглы путем измерения угла поворота главного вала, перемещение координатного стола и обрезка нитки. Канал включает в себя: датчик положения иглы, вторичный преобразователь, устройство управления по положению, переключатели для шаговых двигателей, переключатель для электромагнита, шаговые двигатели, электромагнит.

Контроль положения базы игольницы, ее перемещение при смене игл. Канал включает в себя: датчик положения базы игольницы, вторичный преобразователь, устройство управления игольницей, переключатель, шаговый двигатель перемещения игольницы.

С целью оптимизации управляющей программы разработан краткий алгоритм.

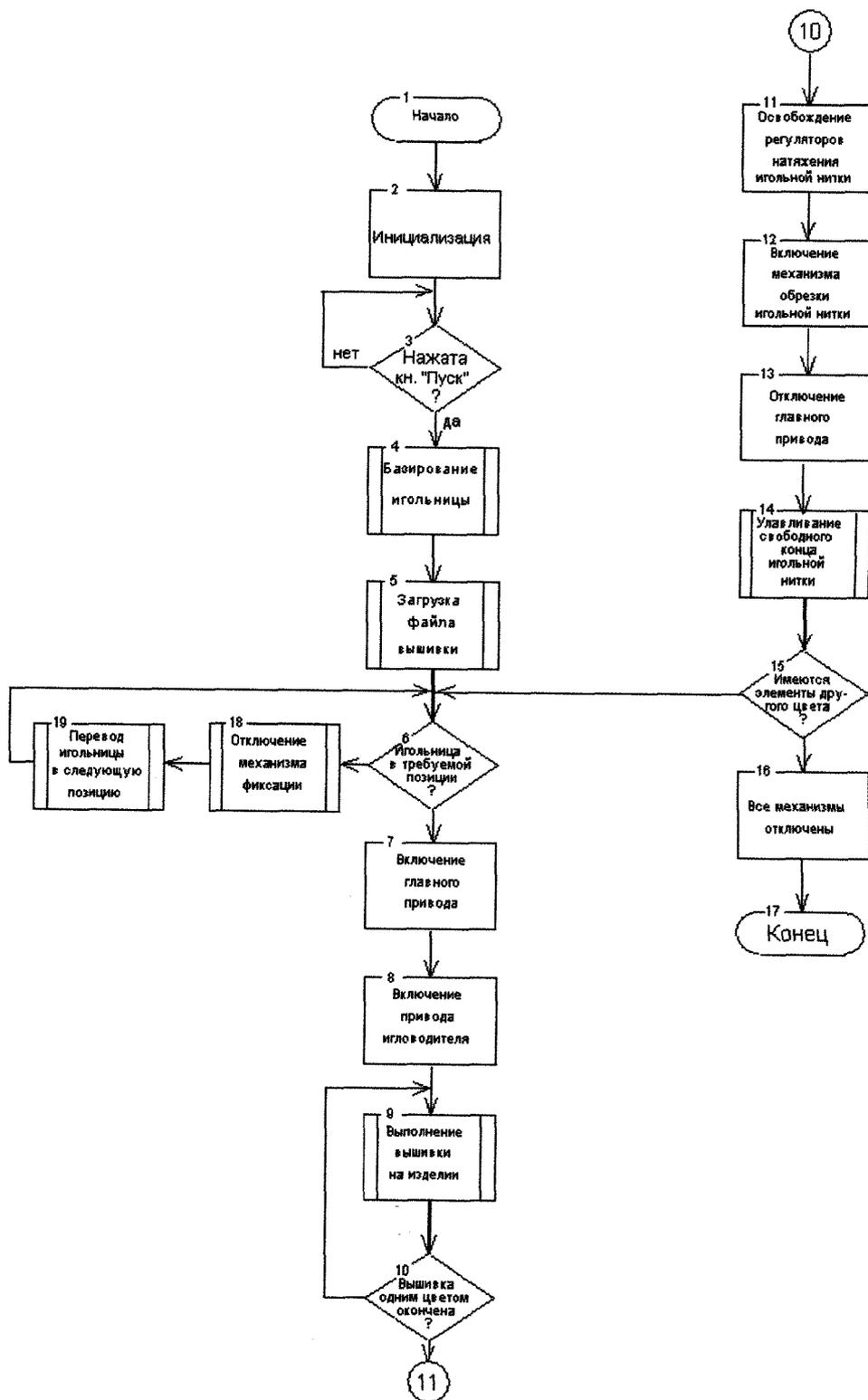


Рисунок 2 Краткий алгоритм управляющей программы

Необходимо более детально исследовать время запаздывания сигналов поступающих от управляющей программк рабочим органам машины.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА НАБЛЮДАТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Однолько Д. С.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Динамические свойства асинхронного двигателя (АД) определяются на основе математической модели, из которой устанавливается связь между выходными и входными величинами. Входными величинами являются напряжения обмоток статора и частота, а выходными – угловая скорость ротора, электромагнитный момент и угол поворота ротора. Математическая модель АД составляется на основе уравнений обобщенной электрической машины в соответствующей системе координат [1].

Для исследования АД наиболее часто применяются математические модели в фазных осях, не учитывающие потери в стали и эффект насыщения магнитной системы. В некоторых режимах это приводит к существенным количественным и качественным отклонениям расчетных динамических и статических характеристик привода от реальных. Отметим, что насыщение по основному магнитному потоку влияет на параметры и свойства АД, но не препятствует реализации возможностей АД в регулируемых электроприводах.

Задача параметрической идентификации объекта управления, как правило, решается в три этапа, вначале определяется состав вектора оцениваемых параметров, далее выбирается математическая структура объекта управления, а затем на основании известных методов оптимального управления синтезируется идентификатор.

Задача идентификации асинхронного двигателя традиционно понимается как определение по результатам измерений параметров его схемы замещения. Однако в работе [2] было показано, что такая постановка задачи не состоятельна. Идентификация двигателя должна принципиально пониматься как задача определения четырех значений параметров, полностью определяющих значения коэффициентов уравнений (конкретным значениям коэффициентов уравнений соответствуют одни и только одни значения активного сопротивления и индуктивности статора, обобщенного коэффициента рассеяния и постоянной времени ротора).

Теперь, когда решен вопрос о размерности вектора неизвестных и требующих оценки параметров, возникает задача выбора фиктивных фаз для описания электромагнитных процессов в машине. Оптимальный выбор двухфазной математической модели АД позволяет синтезировать эффективный наблюдатель для оценки его параметров. На практике выбор ограничивается чаще всего двумя вариантами: система координат неподвижна относительно обмоток статора (оси  $\alpha\beta$ ); система ориентирована по вектору потокосцепления ротора (оси  $d-q$ ).

При этом в случае выбора системы  $(\alpha-\beta)$  [3] исключается необходимость выполнять координатные преобразования вектора состояния системы (токов, напряжения), данный вариант также позволяет совместно с оценкой параметров машины реализовать систему бездатчикового управления электроприводом. Однако при этом напряжения и токи являются периодическими функциями. Вследствие чего, синтез наблюдателя не позволяет использовать ряд упрощения, которые открываются перед разработчиками, работающими с вращающейся системой координат  $(d-q)$  [4]. Данный выбор фиктивных фаз позволяет в статике оперировать с постоянными значениями всех переменных, что в ряде случаев позволяет получить рациональную процедуру синтеза наблюдателя. Однако и тут есть свои недостатки, связанные с необходимостью установки датчика скорости, и выполнения координатных преобразований фазных переменных. А так как для этого необходимо владеть информацией о параметрах схемы замещения, то синтез наблюдателя становится затруднителен. Проведенный анализ показал, что в условиях перехода к бездатчиковым системам управления и широким возможностям микропроцессорной техники, которая позволяет реализовать сложные вычислительные алгоритмы, выбор систем координат  $\alpha-\beta$  более приемлем.

Данный выбор координатных осей во многом обуславливает использование регрессионных методов в процедуре идентификации. Идентификация в этом случае осуществляется практически непрерывно, а то, что эти методы являются последовательными, позволяет реализовать их сравнительно быстро при небольшом объеме требуемой памяти микропроцессора. Кроме того, исключается необходимость владеть информацией о внешних помехах, влияющих на систему, так как алгоритмы, основанные последовательном методе наименьших квадратов, робастны по отношению к таким возмущениям.

Таким образом, проведенные исследования позволяют разработчику выполнить синтез эффективной системы идентификации электромагнитных параметров АД с учетом особенностей выдвигаемых на каждом шаге проектирования наблюдателя.

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

2 Изосимов, Д. Б. Свойства уравнений обобщенного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором / Д.Б. Изосимов, Е.Н. Аболемов // Электричество. – 2008. – №4. – с.35-39.

3 Пересада, С. М. Оценка параметров асинхронного двигателя при известном активном сопротивлении статора / С.М. Пересада, А.Н. Серeda // Системы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник НТУ «ХПИ». Выпуск 43. –2004. – С. 28-31.

4 Кучер, Е. С. Исследование условий текущей идентифицируемости параметров асинхронного электропривода / Е.С. Кучер, В.В. Панкратов // Электричество. – 2011. – №5. – с. 48-52.

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ» В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.**

**Околов А.Р., Трекало А.А., Николаенок А.В.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В настоящее время актуальность темы облачных вычислений продолжает неуклонно расти. Использование облачных технологий внесло принципиально новые возможности в ставшую привычной за несколько десятков лет картину организации вычислений, заставило по-новому взглянуть на весь процесс создания автоматизированных систем обработки информации, а также решить проблемы быстрого развертывания приложений, выхода на новые рынки. Если раньше программное обеспечение, хранение информации и её обработка осуществлялась на компьютере конечного пользователя, то уже сегодня программное обеспечение и вычислительные мощности предоставляются пользователю за абонентскую плату. В этом есть много плюсов, например, низкая стоимость обслуживания, профессиональная техническая поддержка, сокращение затрат на инфраструктуру и ее последующего поддержания, автоматизация бизнеса.

В облачных вычисления можно выделить следующие характеристики которые могут влиять на решение задач повышения доходов и снижения расходов организации, повышения эффективности создаваемых систем:

1) Масштабируемость – позволяет выдерживать большую нагрузку, за счет увеличения количества одновременно запущенных экземпляров;

2) Эластичность - услуги могут быть предоставлены, расширены, сужены в любой момент времени, без дополнительных издержек на взаимодействие с поставщиком, как правило, в автоматическом режиме;

3) Мультитенантность — это один из способов снижения расходов за счет максимального использования общих ресурсов для обслуживания различных групп пользователей, разных организаций, разных категорий потребителей;

4) Оплата использованных ресурсов — это еще один атрибут облачных вычислений, позволяющий перевести часть капитальных издержек в операционные. Приобретая только необходимый объем ресурсов, можно оптимизировать расходы, связанные с работой информационных систем организации;

5) Самообслуживание по требованию - потребитель самостоятельно определяет и изменяет вычислительные потребности, такие как серверное время, скорости доступа и обработки данных, объём хранимых данных без взаимодействия с представителем поставщика услуг.

Можно выделить следующие основные сервисы, предоставляемые облачными платформами:

1) SaaS - модель предоставления программного обеспечения как сервиса

обеспечивает возможность аренды приложений. Потребителями данного типа сервисов являются конечные пользователи, которые работают с приложениями, предоставляемыми в «облаке»;

2) PaaS - модель предоставления платформы как сервиса предоставляет возможность аренды платформы, которая обычно включает операционную систему и прикладные сервисы. Платформа как сервис облегчает разработку, тестирование, развертывание и сопровождение приложений без необходимости инвестиций в инфраструктуру и программную среду. SaaS наиболее востребованная область облачных вычислений;

3) IaaS - Модель предоставления инфраструктуры (аппаратных ресурсов) как сервиса предоставляет возможность аренды таких инфраструктурных ресурсов, как серверы, устройства хранения данных и сетевое оборудование. Управление всей инфраструктурой осуществляется поставщиком сервисов, а потребитель управляет только операционной системой и установленными приложениями.



Рис. 1 Основные сервисы облачных вычислений

При использовании облачных вычислений, потребители информационных технологий могут существенно снизить капитальные расходы — на построение центров обработки данных, закупку серверного и сетевого оборудования, аппаратных и программных решений по обеспечению непрерывности и работоспособности. Кроме того, длительное время построения и ввода в эксплуатацию крупных объектов инфраструктуры информационных технологий и высокая их начальная стоимость ограничивают способность потребителей гибко реагировать на требования рынка, тогда как облачные технологии обеспечивают возможность практически мгновенно реагировать на увеличение спроса на вычислительные мощности.

Особый интерес представляет возможность использования облачных платформ в системе высшего образования при подготовке инженеров по автоматизации и информационным технологиям. Это позволит не только обеспечить быстрый и дешевый доступ практически к любым программным и информационным ресурсам всего мира, но и в недалеком будущем отказаться от собственных компьютерных центров с дорогостоящим оборудованием, расходами на электроэнергию, зарплатами обслуживающему персоналу и вычислительными ресурсами, которые не всегда эффективно используются.

## УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Асинхронные электродвигатели с питанием от преобразователей частоты находят широкое применение в промышленных и транспортных установках, для привода звеньев роботов и манипуляторов. Управление моментом асинхронного двигателя (АД) применяется для создания режимов ускорения и торможения систем позиционирования, а так же при необходимости стабилизации давления на обрабатываемую поверхность.

Момент, развиваемый асинхронным электродвигателем, ограничен несколькими факторами. Так, передаваемое от двигателя к рабочему органу усилие должно находиться в допустимых пределах, чтобы не вызывать чрезмерных деформаций элементов кинематической цепи, что приводит к погрешностям позиционирования и упругим колебаниям. С другой стороны, электромагнитный момент асинхронного двигателя ограничен значением критического момента, а так же по условиям нагрева двигателя. Критический момент АД прямо пропорционален квадрату напряжения питания обмотки статора. В условиях колебаний напряжения питания находятся средства электрического транспорта и автономные установки, получающие питание от аккумуляторных батарей. В средствах электротранспорта применяется двухзонное регулирование, когда управление моментом сопровождается ослаблением потокосцепления двигателя. Поэтому управлению моментом АД, в частности при двухзонном регулировании, в литературе уделяется значительное внимание.

Целью данной работы является определение условий, при которых при ограничении напряжения питания двигатель развивает наибольший электромагнитный момент в установившихся режимах, и определение выражения для наибольшего значения электромагнитного момента.

Для установившегося режима постоянства потокосцепления и момента справедливо выражение

Анализ оценивания параметров выполнен путем имитационного моделирования. Структура модели содержит имитационную модель АД и модели вычислительных устройств, выполняющих алгоритмы идентификации. Модель позволяет сравнивать функционирование различных алгоритмов в режиме реального времени.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод об эффективности метода наименьших квадратов, если на идентификацию может быть выделен достаточно большой интервал времени. Такое допустимо для медленно меняющихся параметров.

Алгоритмы, основанные на применении адаптации, обеспечивают быстрое действие, однако имеют и большую вычислительную сложность.

## СИСТЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

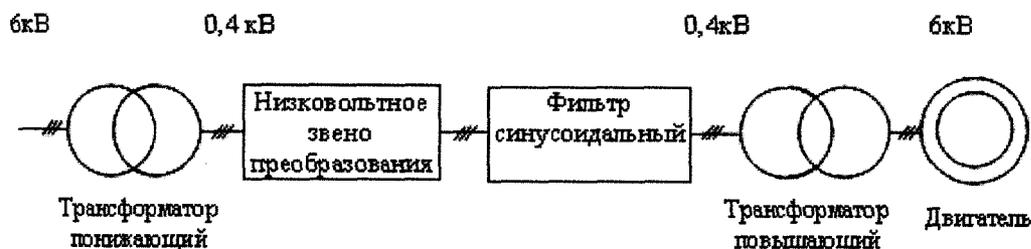
Павлович С.Н., Шишмарев Д.И.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Использование высоковольтных преобразователей частоты (ВПЧ) для мощных электроприводов насосов и вентиляторов дает большой энергосберегающий эффект. Например [1], в России за 10 лет (с 1995 г.) специалистами ОАО «ВНИИЭ» на ТЭЦ и насосно-перекачивающих станциях тепловых сетей было внедрено 28 частотно-регулируемых асинхронных электроприводов мощностью от 500 до 4000 кВт напряжением 3300 и 6000 В, что обеспечило годовую экономию электроэнергии около 1 млрд. кВт·ч.; в США в результате реконструкции 60 энергоблоков ТЭС в период с 1986 по 1995 годы введено более 300 высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов мощностью от 630 до 4500 кВт, что обеспечило годовую экономию электроэнергии около 1 млрд. кВт·ч.

Для высоковольтных частотно-регулируемых электроприводов в настоящее время находят применение *три основные системы* [2]:

**1-я).** Система электропривода (рис. 1) с понижающим трансформатором, преобразователем частоты на напряжение 400...700 В и LC-фильтром, повышающим трансформатором до высокого напряжения 3...10 кВ, на которое изготовлен асинхронный электродвигатель (АД);



**Рисунок**

**1**

**2-я).** Система электропривода с многоуровневым преобразователем частоты, где в преобразовательных мостах в каждом плече используется несколько полупроводниковых приборов, включённых последовательно. Напряжение между ними распределяется с помощью конденсаторов, включённых последовательно в звене постоянного тока, и разделительных диодов. В каждый момент времени в режиме ШИМ работает не все плечо, а только один из последовательно включенных приборов. Вследствие этого значительно уменьшаются потери мощности в высоковольтном преобразователе;

**3-я).** Каскадные преобразователи частоты (рис. 2), где в каждой фазе нагрузки имеется несколько низковольтных преобразователей частоты, выходы которых соединяются последовательно и образуют высоковольтный источник напряжения. Питание низковольтных ПЧ осуществляется через многообмоточный трансформатор, который подключается к сети 6 или 10 кВ. Каждый силовой модуль, как показано на рис. 2, состоит из диодного выпрямителя и однофазного автономного инвертора напряжения (на транзисторах IGBT) с ШИМ.

Поскольку в *двухтрансформаторных ВПЧ* (1-я система) в силовой цепи осуществляется двукратное преобразование электрической энергии, то сразу можно предположить, что потери активной мощности  $\Delta P$  (и электрической энергии соответственно) в них будут больше, чем в *однотрансформаторных ВПЧ* (2-я и 3-я системы).

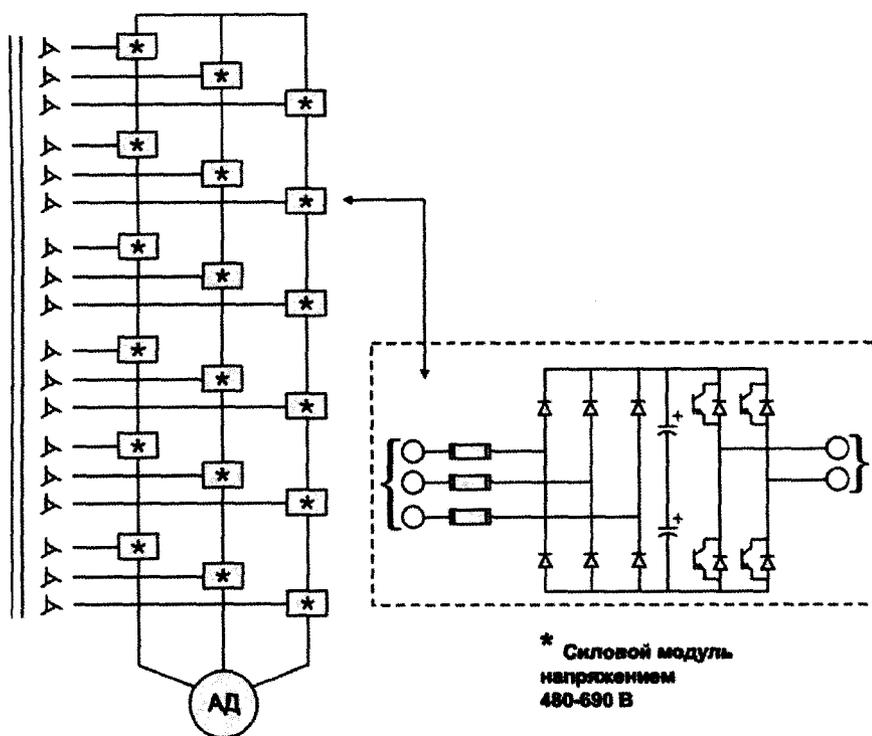


Рисунок 2

Численные расчеты  $\Delta P$  (проведенные совместно с д.т.н., профессором Фираго Б.И.) в ВПЧ серии ВПЧА московской компании «Л-Старт», выполненных по 3-й системе, и в ВПЧ серии ACS800 фирмы АВВ, выполненных по 1-й системе, для АД мощностью 1250 кВт при номинальной нагрузке, показали, что  $\Delta P$  в ВПЧ 1-й системы на 87,5 кВт (или в 2,25 раза) больше, чем в ВПЧ 3-й системы, т.е. *каскадные ВПЧ являются более энергосберегающими.*

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ИБП

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Для поддержания высокой надежности работы автоматизированных системах управления ответственными объектами (автоматизированными электроприводами, сложными технологическими процессами, современными персональными компьютерами) возникает необходимость использования источников бесперебойного питания (ИБП), которые по *принципу действия* классифицируют, в соответствии с международным стандартом МЭК IEC 60146-4, на три типовые группы: 1) OFF-Line; 2) Line-Interactive; 3) On-Line .

К основным техническим характеристикам современных ИБП относятся: *форма выходного напряжения, мощность, диапазоны входного питающего напряжения и частоты, время переключения режимов, допустимая нагрузка, время автономной работы, срок службы батарей.*

**Форма выходного напряжения.** Для нагрузки именно эта характеристика ИБП имеет большое значение. При работе ИБП от аккумуляторных батарей на нагрузку может подаваться выходное переменное напряжение, по форме близкое к прямоугольной, аппроксимированной синусоиде или чистой синусоиде (из-за сглаживающих свойств фильтров). Наиболее близкая к синусоиде форма напряжения достигается применением в ИБП широтно-импульсной модуляции, что характерно только для структуры On-Line и некоторых устройств Line-Interactive.

**Мощность.** Полная выходная мощность измеряется в В·А.

**Диапазоны входного питающего напряжения и частоты ИБП** определяются пределами их допустимых значений в сети, при которых ИБП способен поддерживать напряжение на выходе, не переключаясь на питание от аккумуляторной батареи.

Для некоторых моделей ИБП диапазон входного питающего напряжения зависит от нагрузки. Например, при 100%-ной нагрузке этот диапазон может составлять 15...20 % от номинального напряжения, при 50%-ной нагрузке - 20...27 %, а при 30%-ной нагрузке - 40 % от номинального напряжения.

При нормальных условиях эксплуатации ИБП *отклонение частоты* от номинального значения обычно не превышает 1 Гц.

**Время переключения режимов** характеризует инерционность ИБП, которое для различных источников составляет примерно 4...15 мс.

**Допустимая нагрузка** характеризует устойчивость ИБП при перегрузках по мощности. Этот параметр задается в процентах по отношению к номинальной мощности.

**Время автономной работы ИБП** определяется емкостью батарей и величиной нагрузки. Например, для типовых ИБП небольшой мощности и персональных компьютеров оно составляет 5...10 минут.

**Срок службы батарей** составляет 4-5 лет. Однако реальный срок службы батарей существенно зависит от условий эксплуатации, частоты переключений в автономный режим, условий зарядки, от окружающей среды.

В докладе приводится конкретная информация о технических характеристиках современных типовых ИБП производства ряда зарубежных фирм. К примеру, в табл.1 приведены некоторые технические характеристики типовых ИБП производства американской фирмы **IMV (Invertomatic Victron Energy System)** серии *MATCH*, выполненных по структуре *Line-Interactive*, а в табл.2 - ИБП этой же фирмы серии *LanPro*, выполненных по структуре *On-Line*.

Таблица 1

Технические характеристики типовых ИБП серии *MATCH* (IMV)

Параметр	MATCH Lite				MATCH		
	300	500	700	1000	1500	2200	3000
Мощность, В·А	300	500	500	1000	1500	2200	3000
Напряжение батарей, В	12	12	24	36	36	36	48
Кол-во $\times$ Емкость батарей, Ач	1x7	1x7	2x7	3x7	3x12	6x7	8x7
Время автономной работы при типовой нагрузке, мин	15	7	12	13	16	7	7
Время заряда батарей до 90% емкости, ч	3	3	2	2	2		2
Вес с батареями, кг	6,5	7,4	10,0	18,7	23,0	20,5	22,6
Время переключения, мс	4...10						

Таблица 2

Технические характеристики типовых ИБП серии *LanPro* (IMV)

Параметр	LP3-11	LP5-11/31T	LP6-11/31T	LP8-11/31T
Мощность, кВт·А	3	5	6	8
Батареи, В/Ач	240/7	240/7	240/7	240/14
Время автономной работы при нагрузке 50/100%, мин	12	12	10	12
Вес с батареями, кг	85	110/180	115/185	165/270

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

Польский Е.А.<sup>1</sup>, Артюхов А.С.<sup>1</sup>, Никонов О.А.<sup>2</sup>

1) Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Российская Федерация;

2) ЗАО «УК «Брянский машиностроительный завод», г. Брянск, Российская Федерация

Проектирование маршрута обработки элементарной поверхности на этапах автоматизированного конструирования следует начинать с представления поверхности детали в виде набора конструкторско-технологических элементов (КТЭ) отдельных поверхностей, для которых легко подобрать все возможные способы обработки, и, проведя последовательно анализ всех этих вариантов выбрать самый приемлемый, то есть задача состоит в построении конструкторско-технологической модели (КТМ).

Существует множество классификаторов типовых технологических поверхностей для различных классов деталей, в которых, в наиболее обобщенном виде, накоплены знания и опыт многих специалистов. Проанализировав, существующие классификаторы, можно определить набор частных КТЭ необходимых для описания КТМ деталей различных классов.

Анализ различных моделей многофункционального технологического оборудования показал, что в общем случае производители станков, используя модульный принцип построения, могут предложить множество различных компоновок одного и того же вида. Несмотря на это, важно отметить, что в данной работе важным является не физическая компоновка станка, а его теоретическая компоновка, т.е. наличие тех или иных составных частей станка и соответствующих им движений. На рис. 1 представлена схема видов движений современных станков, применяемая в данной работе.

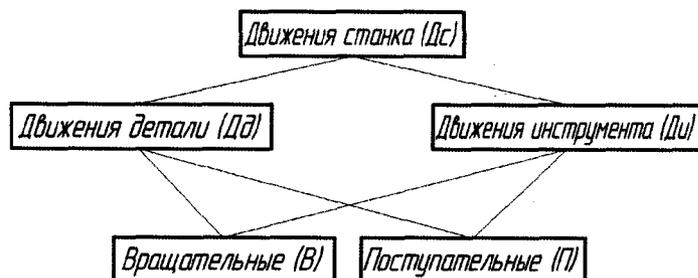


Рис.1. Схема представления движений многофункциональных станков

Структура конструкторско-технологической модели формообразования детали  $Q_{КТ}$ , можно представить следующим образом:

$$Q_{КТ} = \langle Z, M_{КТ}, C_{КТ}, S \rangle; \quad (1.1)$$

где  $Z = \langle Z_1, \dots, Z_n \rangle$  - данные для идентификации детали и общие сведения о ней;  $M_{KT} = \langle \mathcal{E}_{KT}, O_{KT} \rangle$  - структурный состав детали;  $\mathcal{E}_{KT}$  - множество конструкторско-технологических элементов (КТЭ);  $O_{KT}$  - множество отношений над ними;  $C_{KT} = \langle \mathcal{E}_{KT}, I \rangle$  - множество схем обработки конструкторско-технологического элемента;  $I = \langle I_1, \dots, I_n \rangle$  - данные об инструменте, образующем  $i$ -ю схему обработки;  $S = \langle B_c, D_c \rangle$  - структурный состав станка;  $B_c$  - множество блоков станка;  $D_c$  - множество движений блоков станка.

В отличие от обобщенной КТМ, в данном определении отсутствуют основные технологические базы, предполагается, что их определение является одной из функций комплексной системы автоматизации проектирования технологического процесса (САПР ТП). Кроме того, используется единственный уровень расчленения детали.

В свою очередь любой КТЭ состоит из геометрических элементов. Набор элементов составляющих КТЭ унифицирован, и не зависит от форматов обмена информацией в САПР, используемым для представления геометрической модели детали на выходе САПР конструкторского назначения. Использование двойственного представления детали (двумерный чертеж и трехмерная модель) позволяет, с одной стороны, эффективно получать негеометрическую информацию из чертежа (параметры точности, качества поверхностей и т.д.), с другой стороны, трёхмерная модель наилучшим образом описывает геометрию и топологию детали и наиболее близка к реальной (рис. 2).

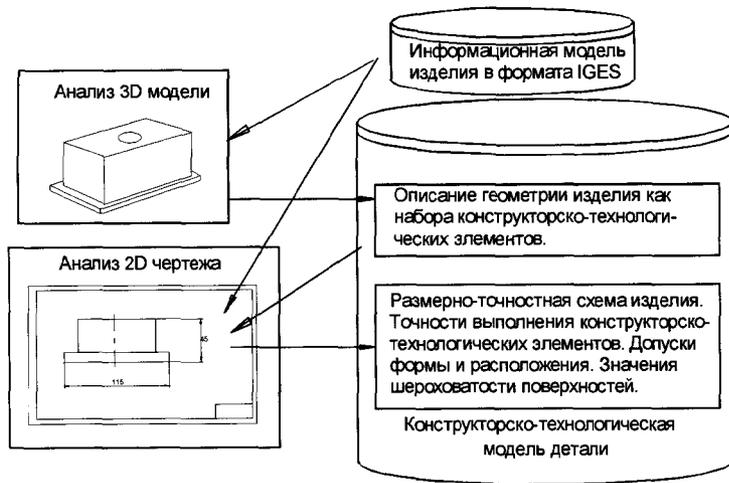


Рис.2. Схема преобразования информационной модели детали

Одной из основных задач, которую необходимо решить технологу, является грамотное назначение финишного технологического перехода в общем маршруте обработки элементарной поверхности. При этом единственным параметром, который может нам помочь подтвердить, что при данной схеме обработки на выбранном оборудовании при использовании соответствующего инструмента и приспособления, мы сможем достичь соответствующей точности обработки, на финишном технологическом переходе является расчет суммарной погрешности обработки.

**ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ПРИ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ ПАКЕТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ****Поляков А.Ю., Фурманов С.М., Березиенко В.П.**

Белорусско – Российский университет

Могилев, Республика Беларусь

Ранее первоочередной задачей автоматического регулирования процесса рельефной сварки ставилось поддержание отдельных основных параметров процесса на постоянном уровне при действии совокупности возмущений [1]. Данная задача была частично решена посредством создания регуляторов параметра произведения сварочного тока на время его протекания  $(I_{св})^n \times \tau_{св}$ , произведения  $I_{св}^2 \times \tau_{св}$ , а также сварочного тока и напряжения на электродах [2].

Однако, регуляторы параметра  $(I_{св})^n \times \tau_{св}$  недостаточно увеличивали время протекания сварочного тока при уменьшении величины тока, т.е. работали с недокомпенсацией. Регуляторы  $I_{св}^2 \times \tau_{св}$  в ряде случаев недостаточно увеличивали длительность протекания тока, что вызывало рост зоны термического влияния в сварном соединении и уменьшало производительность процесса сварки, причем регуляторы не компенсировали изменения рабочей поверхности электродов, усилия сжатия электродов, шунтирования и др. Регуляторы сварочного тока позволили учесть и скомпенсировать колебание напряжения питающей сети, изменение параметров контура сварочной машины, изменение сопротивления свариваемых деталей и др., но они работали только при определенных программах изменения сварочного тока, а быстрдействие их могло составлять до 2,5 периодов. При этом данные регуляторы не учитывали те же возмущения, что и регуляторы  $I_{св}^2 \times \tau_{св}$ . Регуляторы напряжения на электродах позволили обеспечить постоянство мощности, выделяемой в деталях, но только при сварке единичных точек.

Для полного решения вышеуказанной задачи необходимо добиться поддержания всех параметров процесса на постоянном уровне при действии совокупности возмущений. Это представляется возможным только при введении некоторого обобщающего показателя, наглядно и численно выражающего общую картину процесса с учетом всех возмущений.

Мощность и энергия, выделяющиеся в зоне межэлектродного промежутка при контактной рельефной сварке, являются наиболее информативными параметрами данного процесса в сравнении со сварочным током, падением напряжения между электродами, длительностью протекания тока, усилием сжатия электродов и т.д. Это объясняется невозможностью учета при изменении каждого из перечисленных основных параметров режима сварки всей совокупности возмущающих воздействий [3].

Сущность разработанного нами способа регулирования можно описать поэтапно: 1. В ходе быстропротекающего процесса рельефной сварки с помощью

датчиков тока, напряжения и линейного перемещения устройство сбора данных

*NATIONAL INSTRUMENTS (NI)* автоматически регистрирует мгновенные сигналы сварочного тока, падения напряжения между электродами и перемещения подвижного электрода; 2. Полученные сигналы за сотые доли секунды визуализируются в программной среде *LABVIEW (LVW)*, представляющей собой симулятор любых электротехнических приборов, а в данном случае датчиков и платы *NI*; 3. С помощью специальных операторов умножения, деления, интегрирования и др. в среде *LVW* автоматически строятся кривые сопротивления, мощности и энергии зоны сварки на различных стадиях осадки рельефов [4]; 4. Далее в *LVW* автоматически с помощью блока «*Greter or Equal*» происходит сравнение фактических максимальных значений энергии (или мощности) зоны сварки и пороговых значений, достижение которых является неотъемлемым условием формирования соединений с полным проплавлением, соединений с частичным проплавлением либо соединений в твердой фазе. Это объясняется тем, что на производстве зачастую влияние возмущающих воздействий достаточно велико, и при замене, к примеру, точечной сварки на рельефные соединения при одних и тех же отклонениях параметров режима примерно в 1,5 раза более прочные в сравнении с точечными. При достижении фактических значений энергии (или мощности) заданным устройством *NI* посредством среды *LVW* с помощью блока "*Simulate Arbitrary Signal*" происходит подача информационного сигнала напряжения заданной амплитуды на блок «*DAQ Assistant OUTPUT*», который выдаёт сигнал напряжения на аналоговый выход *A0* устройства *NI*, который связан с аналоговым входом регулятора цикла сварки *PKC-801*. При этом можно изменять длительность импульсов тока по отдельности или их величины (при сварке пакетных соединений рекомендуется многоимпульсный режим сварки). При использовании в экспериментальной установке цифро – аналогового преобразователя можно увеличить число аналоговых выходов платы до 4 и более, что даст возможность регулировать несколько параметров режима комбинационно.

### Использованные источники информации

1. Кочергин, К.А. Контактная сварка. / К.А. Кочергин – Л.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
2. Гладков, Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. / Э.А. Гладков – М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 432 с.
3. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Прокофьев А.Н.

Брянский государственный технический университет,  
Российская Федерация.

Одним из наиболее широко распространенных элементов деталей машин является резьба. В особенности это относится к крепежным деталям - винтам, болтам, шпилькам, гайкам, которые широко применяются в самых разнообразных отраслях промышленности. Функции резьбовых соединений весьма разнообразны. Они служат для соединения между собой отдельных деталей и узлов, арматуры, трубопроводов, передачи значительных осевых нагрузок и крутящих моментов, осуществления точнейших перемещений в механизмах.

Качество резьбовых соединений в значительной степени определяется [2] точностью соединения, шероховатостью боковых сторон профиля резьбы, физико-механическими свойствами поверхностного слоя, формируемыми на стадии изготовления резьбы. Обеспечение качественных параметров резьбы при изготовлении зависят как от свойств материала, так и от ряда технологических факторов, таких как метод и схема формообразования, конструкция и геометрия инструмента, режимы обработки. Исходя из этого, применяемая технология получения резьбовой детали должна стабильно обеспечивать комплекс ее геометрических параметров и параметров состояния поверхностного слоя, определяющих эксплуатационные показатели соединения исходя из его функционального назначения.

Если существующие методы обработки наружных резьб позволяют стабильно обеспечивать высокие требования к качеству резьбы и производительности обработки [1], то при получении точных внутренних резьб они не всегда дают необходимые результаты. Общей проблемой при обработке внутренних резьб является достижение высокой точности (4Н и выше) и низкой шероховатости поверхности витков ( $Ra < 2,5 \mu\text{м}$ ). Так, нарезание метчиками не гарантирует стабильности получения точности; при этом шероховатость  $Ra > 2,5 \mu\text{м}$ , обеспечиваемая метчиком, особенно в глухих отверстиях, недостаточна. Обработка резьбовыми резцами требует для точных резьб большого числа рабочих ходов, что снижает производительность. Бесстружечные метчики обеспечивают высокое качество резьб только для высокопластичных материалов. Таким образом, проблема обработки точных качественных резьб потребовала разработки новых технологий резьбообработки и конструкций инструментов для различных типов деталей, материалов и требований к параметрам резьбы. Для точных внутренних резьб разработаны новые методы формообразования [1,2], которые перечислены ниже. Для деталей типа "корпус" разработаны:

Технология и конструкция одинарных комбинированных метчиков для резьб М6...М36 с шагом до 2,5мм в корпусах из алюминиевых и магниевых сплавов для серийного и массового производства при обработке на агрегатных станках и сверлильных станках с ЧПУ. Наличие в конструкции метчика режущих и деформирующих зубьев позволяет стабильно получать резьбу точности 4Н и шероховатости Ra до 0,32 мкм.

Технология и конструкция комплектных комбинированных метчиков из двух штук для резьб диаметром 24...52 мм с шагом более 2,5мм в различных материалах средней и низкой пластичности при обработке на многоцелевых станках с ЧПУ, универсальных сверлильных станках.

Технология и конструкция однозубой резьбонарезной фрезы, оснащенной пластиной SANDVIK Coromant.

Для деталей типа "гайка" разработаны:

Технология обработки и конструкция комбинированных метчиков с углом на длине режущей части и винтовым затылованием по профилю резьбы (из быстрорежущей стали и оснащенных твердосплавными пластинками) для резьб М6...М36 в материалах средней пластичности при обработке их как на универсальном оборудовании, так и на автоматах. Конструктивные и геометрические особенности метчика позволяют получить на калибрующей части бочкообразную форму зуба, что исключает подрезание профиля калибрующими витками, способствует уменьшению шероховатости по боковым сторонам профиля. Такие метчики обеспечивают шероховатость резьбы Ra до 1,25мкм и точность 4Н.

Технология обработки и конструкция комбинированных метчиков-протяжек для резьб диаметром свыше 40мм с крупным шагом в различных материалах при обработке их на универсальных токарных станках в условиях мелкосерийного и серийного производства. За счет наличия в конструкции режущей и режуще-деформирующей секций таким метчиком-протяжкой можно получать резьбу точности 4Н и шероховатости Ra=0,5...0,8мкм.

Технология обработки и конструкция круглых многониточных резцов для резьб диаметром свыше 24мм в различных материалах при обработке их на токарных станках с ЧПУ в условиях серийного производства. Резец имеет комбинированную схему резания, позволяющую производить обработку за 3-4 рабочих хода, при этом обеспечивать стабильно точность по среднему диаметру в пределах 0,01...0,02мм, шероховатость боковых сторон профиля Ra до 1,25 мкм.

1.Прокофьев А.Н., Стешков А.Е. Научные основы обработки высокоточных внутренних резьб// Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века.-Донецк, ДонГТУ, 1999.-С.299-301.

2.Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений/ Под общ. ред. А.Г. Суслова.- М.: Машиностроение, 2006.-448с.

## МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСКАТЫВАНИЕ

Сви́репа Д.М. Довгале́в А.М.

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Анализ существующих методов ППД показывает, что они находят ограниченное применение в промышленности по причине введения в технологический процесс дополнительной операции упрочняющей обработки, увеличивающей себестоимость изготовления деталей. В этой связи возрастает актуальность разработки высокопроизводительных методов ППД, в том числе реализуемых на основе ранее неиспользуемых видов энергии.

В Белорусско-Российском университете разработан метод поверхностного пластического деформирования с магнитным и электромагнитным приводом деформирующих шаров, при котором энергия магнитного поля инструмента преобразуется в колебательные движения деформирующих шаров.

Проведено математическое моделирование процесса раскатывания отверстия детали деформирующими шарами, свободно расположенными в кольцевой камере и периодически воспринимающими энергию магнитного поля от вращающейся магнитной системы инструмента.

На основе выполненных теоретических исследований разработан метод магнитно-динамического раскатывания (рис. 1).

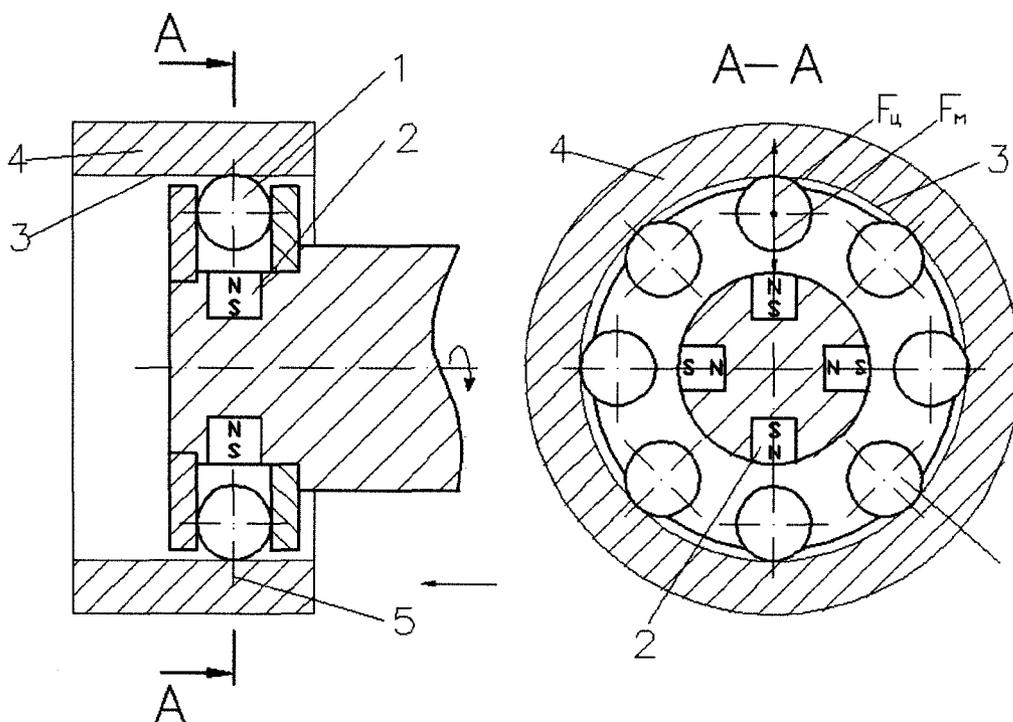


Рисунок 1 – Схема магнитно-динамического раскатывания

Согласно методу деформирующие шары 1 и источники магнитного поля 2 вводят в отверстие 3 детали 4 и перемещают с подачей вдоль упрочняемой

поверхности. Вектор индукции магнитного поля направляют радиально к упрочняемой поверхности, а вектор силы магнитного притяжения деформирующих шаров 1 к источникам магнитного поля 2 размещают в плоскости их вращения 5. Источники магнитного поля 2 вращают, периодически воздействуя на деформирующие шары 1 магнитным полем. В результате обеспечивается периодическое превышение радиальной составляющей силы магнитного притяжения  $F_m$  над центробежной силой  $F_c$ , прижимающей их к поверхности отверстия. Деформирующие шары 1 при этом вращаются в окружном направлении, получают радиальные колебания и осуществляют динамическое упрочнение.

Для реализации метода магнитно-динамического упрочнения разработаны одно- и многокамерные раскатники.

Проведены комплексные исследования по выявлению технологических возможностей разработанного метода. Исследована шероховатость формируемой поверхности и выполнена оптимизация режимов упрочняющей обработки. Проведены исследования точностных возможностей разработанного метода, рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя деталей после упрочнения. Исследована износостойкость упрочненной поверхности, а также проведены стойкостные испытания инструмента.

Метод магнитно-динамического раскатывания позволяет осуществлять отделочно-упрочняющую обработку отверстий деталей из различных материалов с поверхностной твердостью до 62 HRC, с подачей инструмента 20 – 500 мм/мин, частотой вращения инструмента 1000 – 4000 мин<sup>-1</sup> и обеспечивает:

снижение шероховатости поверхности по параметру Ra с 6,3 – 3,2 до 0,6 – 0,2 мкм;

повышение производительности процесса упрочнения в 2 – 5 раз по сравнению с виброобкатыванием алмазным выглаживателем;

увеличение размера отверстия детали в пределах величины исходной шероховатости и сохранение исходного качества точности обработки отверстий стальных деталей, полученного чистовым растачиванием;

формирование в поверхностном слое металла наноразмерной субзеренной структуры, увеличение плотности дислокаций до 14,5 %, создание остаточных напряжений сжатия до –158 МПа (после упрочняющей обработки деталей из стали 45 (42 – 44 HRC))

период стойкости деформирующих шаров при обработке стали 45 (220...240 НВ) составляет 8 часов.

## ПРЯМОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРОЛЛЕЙБУСА

Симонович А. В., Петренко Ю. Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Системы векторного управления асинхронными двигателями (АД) обеспечивают хорошие показатели регулирования [1]. Однако их функционирование в значительной мере зависит от параметров двигателя, которые, как известно, могут изменяться в процессе работы двигателя, и от точности определения скорости вращения ротора. Изменение параметров двигателя вызывает проблему перенастройки (адаптации) системы управления. Совершенствование показателей частотно-регулируемых приводов стало возможно благодаря применению теории разрывных управляющих воздействий. В 1995г. компания АВВ предложила преобразователи частоты ACS600 с новой системой прямого управления моментом (ПУМ)- Direct Torque Control (DTC). Применение систем ПУМ особенно актуально для тягового привода, где главным является формирование заданного момента, а не стабилизация скорости. Электропривод с ПУМ не требует использования датчиков скорости, что является существенным преимуществом для троллейбуса, как с точки зрения экономических затрат, так и с точки зрения надежности работы.

Система ПУМ базируется на уравнении напряжения статора обобщенной электрической машины в неподвижной системе координат  $\alpha$ - $\beta$  и выражения для электромагнитного момента через потокосцепления статора и ротора

$$\dot{U}_{1\alpha\beta} = R_1 \dot{I}_{1\alpha\beta} + \frac{d}{dt} \Psi_{1\alpha\beta} \quad (1)$$

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{K_1}{\sigma L_2} (\Psi_{1\beta} \Psi_{2\alpha} - \Psi_{1\alpha} \Psi_{2\beta}) \quad (2)$$

где  $K_1 = \frac{L_m}{L_1}$  – безразмерный множитель;  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}$  – коэффициент рассеяния машины.

Остальные величины отображены согласно общепринятым обозначениям [2]. Проведя ряд преобразований, получим выражения для проекций потокосцеплений и момента:

$$\Psi_{1\alpha} = \Psi_{1\alpha \text{ нач}} + \Delta \Psi_{1\alpha} = \Psi_{1\alpha \text{ нач}} + U_{1\alpha} * \Delta t \quad (3)$$

$$\Psi_{1\beta} = \Psi_{1\beta \text{ нач}} + \Delta \Psi_{1\beta} = \Psi_{1\beta \text{ нач}} + U_{1\beta} * \Delta t \quad (4)$$

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{K_1}{\sigma L_2} |\dot{\Psi}_1| |\dot{\Psi}_2| \sin \theta \quad (5)$$

где  $\Psi_{1\alpha \text{ нач}}$ ,  $\Psi_{1\beta \text{ нач}}$  – начальные значения проекций вектора потокосцепления, до изменения вектора  $\dot{U}_1$ ;  $\Delta t$  – интервал времени действия нового вектора напряжения  $\dot{U}_1$ ;  $\theta$  – угол между векторами  $\dot{\Psi}_1$  и  $\dot{\Psi}_2$ .

Из выражений (3..5) видно, что воздействуя на значение вектора  $\dot{U}_1$ , можно изменять значение вектора  $\dot{\Psi}_1$  и угол  $\theta$ . При этом будет соответствующим образом изменяться момент  $M$ . Из (5) следует, что при данных значениях модулей потокосцеплений статора и ротора  $|\dot{\Psi}_1|$  и  $|\dot{\Psi}_2|$ , момент будет возрастать, если будет увеличиваться угол  $\theta$ , т.е. если вектор  $\dot{\Psi}_1$  будет поворачиваться по направлению вращения двигателя. И наоборот, момент будет уменьшаться, если угол  $\theta$  будет уменьшаться, т.е. если вектор  $\dot{\Psi}_1$  будет поворачиваться против направления вращения двигателя. Таким образом, получаем, что для увеличения потокосцепления и момента  $\uparrow \Psi_1, \uparrow M$  в первом секторе  $\theta = \left[0, \frac{\pi}{3}\right]$  ( $\uparrow$  - увеличение,  $\downarrow$  - уменьшение) надо установить вектор  $\dot{U}_{12}(110)$ ;  $\uparrow \Psi_1, \downarrow M$  - вектор  $\dot{U}_{16}(101)$ ;  $\downarrow \Psi_1, \uparrow M$  - вектор  $\dot{U}_{13}(010)$ ;  $\downarrow \Psi_1, \downarrow M$  - вектор  $\dot{U}_{15}(001)$ . Рассмотренные изменения  $\Psi_1$  и  $M$  для всех секторов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Состояние ключей инвертора для асинхронного привода с прямым управлением моментом.

№ сектора		Сектор 1 $\left[0, \frac{\pi}{3}\right]$	Сектор 2 $\left[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right]$	Сектор 3 $\left[\frac{2\pi}{3}, \pi\right]$	Сектор 4 $\left[-\pi, -\frac{2\pi}{3}\right]$	Сектор 5 $\left[-\frac{2\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}\right]$	Сектор 6 $\left[-\frac{\pi}{3}, 0\right]$
Увеличение потока $\uparrow \Psi_1$	Увеличение момента $\uparrow M$	$\dot{U}_{12}$ (110)	$\dot{U}_{13}$ (010)	$\dot{U}_{14}$ (011)	$\dot{U}_{15}$ (001)	$\dot{U}_{16}$ (101)	$\dot{U}_{11}$ (100)
	Уменьшение момента $\downarrow M$	$\dot{U}_{16}$ (101)	$\dot{U}_{11}$ (100)	$\dot{U}_{12}$ (110)	$\dot{U}_{13}$ (010)	$\dot{U}_{14}$ (011)	$\dot{U}_{15}$ (001)
Уменьшение потока $\downarrow \Psi_1$	Увеличение момента $\uparrow M$	$\dot{U}_{13}$ (010)	$\dot{U}_{14}$ (011)	$\dot{U}_{15}$ (001)	$\dot{U}_{16}$ (101)	$\dot{U}_{11}$ (100)	$\dot{U}_{12}$ (110)
	Уменьшение момента $\downarrow M$	$\dot{U}_{15}$ (001)	$\dot{U}_{16}$ (101)	$\dot{U}_{11}$ (100)	$\dot{U}_{12}$ (110)	$\dot{U}_{13}$ (010)	$\dot{U}_{14}$ (011)

Таким образом, получена таблица состояний ключей инвертора, которая определяет значение потокосцепления  $\Psi_1$  и момента двигателя  $M$  в любой точке плоскости и при этом не требует значения скорости и координатных преобразований.

#### ЛИТЕРАТУРА

Петренко Ю. Н., Симонович А. В. Векторное управление асинхронным приводом троллейбуса. Материалы международной научно-технической конференции "Наука – образованию, производству, экономике". Т. 1.-Мн.: УП "Технопринт". 2003–С. 225 – 228.

Опейко О.Ф., Петренко Ю.Н. Микропроцессорные средства в автоматизированном электроприводе: учеб. пособие.-Мн.: Амалфея,2008.-340 с.

## МИНИСТЕНД ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Сиротин Ф.Л., Голубчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Достоинства микроконтроллеров (МК) общеизвестны: минимальные габариты, простота изменения программы в существующих устройствах, невысокая стоимость, низкое потребление энергии. Однако, если сравнивать МК, например, с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), разработка программ для МК требует более глубоких знаний. В связи с этим разработан стенд для освоения программирования МК.

Стенд отвечает следующим требованиям:

- наличие интерфейса USB, что позволяет использовать его совместно с персональными или портативными компьютерами типа notebook и netbook;
- низкое энергопотребление, для возможности питания от USB порта;
- достаточное количество органов управления и средств визуализации.

Использование в стенде МК фирмы Atmel связано с их широким распространением. МК Atmega8 обладает малыми габаритами и стоимостью, но позволяет изучить практически все аспекты программирования МК.

Наличие двух кнопок позволяет создать необходимое количество управляющих входных сигналов от простого выбора режима работы при нажатии соответствующих кнопок, до реализации сложных кодовых комбинаций с выдержками по времени.

Для визуализации процесса выполнения программы применены четыре светодиода и микродвигатель. Светодиоды обеспечивают индикацию 16 комбинаций статических и гораздо большее количество динамических (режим «включено-выключено»). Для питания микродвигателя используется микросхема-драйвер. Управление микродвигателем (направления вращения, время вращения, скорость вращения) осуществляет МК, по заданной программе. К примеру, управление скоростью вращения двигателя осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Для записи программы в МК используется USB программатор, который преобразует интерфейс USB компьютера в интерфейс SPI микроконтроллера. Программатор состоит из такого же МК Atmega8, и ряда электронных элементов: резисторы, диоды и прочие, - которые необходимы для согласования напряжений и токов двух выше приведенных интерфейсов.

Достоинствами устройства являются: простота, малые габариты, отсутствие дополнительного источника питания, достаточные функциональные возможности.

Использование стенда позволяет значительно упростить процесс освоения программирования микроконтроллеров за счет визуализации процесса выполнения программы.

## МЕТОДОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ SCADA СИСТЕМ

Сиротин Ф.Л., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет

Совершенствование систем управления технологическими процессами и производствами привело к появлению SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- диспетчерское управление и сбор данных) систем. Применение таких систем позволяет достичь высокого уровня автоматизации, повысить эффективность взаимодействия диспетчера с системой, сократить сроки и затраты на разработку систем управления.

При подготовке специалистов владеющих SCADA-технологией целесообразно поэтапное освоение ее элементов: знакомство с общей структурой SCADA систем, графические средства, организация взаимодействия с исполнительными элементами, средства анимации, обмен данными между отдельными компонентами системы.

Знакомство со SCADA системой можно осуществить при наличии только ПК с соответствующим П.О., например, при наличии программного продукта Citect GxDeveloper. При этом программа, написанная для ПЛК и загруженная в симулятор, может быть графически представлена с помощью программного продукта Citect. Кроме того, возможна организация взаимодействия между отдельными компонентами системы, при которой манипуляции в симуляторе будут отображаться в графическом изображении, а управляющие сигналы с графической страницы передаваться в симулятор.

Наличие реального ПЛК позволяет перейти от моделирования SCADA системы к ее физической реализации. При этом ПЛК выполняет функцию управления каким-то оборудованием или процессом и через него осуществляется взаимодействие с верхним уровнем SCADA-системы. Полученное на ПК графическое изображение отображает состояние реального процесса, созданные органы управления (например, кнопки) позволяют управлять исполнительными механизмами, подключенными к ПЛК.

При необходимости включения в SCADA систему дополнительных устройств, практика обмена с которыми не предусмотрена в программе, можно использовать ПЛК в качестве концентратора. С точки зрения процесса обучения это позволит достичь нескольких целей: построить иерархическую систему, организовать взаимодействие между ПЛК и другими компонентами системы (микроконтроллерами, частотными преобразователями, датчиками и т.п.).

Предложенный вариант изучения SCADA системы отличается простотой и доступностью программных и технических средств, позволяет приобрести необходимый набор базовых знаний для дальнейшего самостоятельного глубокого изучения системы.

## КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ СУХОГО ТРЕНИЯ

Сорокин С.В.

Брянский государственный технический университет, г. Брянск,  
Российская Федерация

Разработка нового изделия – сложная задача, при решении которой конструкторско-технологические службы предприятия должны обеспечить высокий технический уровень и требуемые эксплуатационные качества проектируемого изделия. В настоящее время задачи проектирования деталей, входящих в узлы трения скольжения, могут быть решены на качественно новом уровне с использованием интегрированных САПР (CAD/CAM/CAE-систем), поэтому актуальным, в частности, остается вопрос разработки концепции процесса автоматизации проектирования деталей пар трения скольжения, в условиях применения интегрированных САПР.

При проектировании обеспечения требуемой долговечности узлов трения можно выделить следующие традиционные этапы технической подготовки производства, связанные с решением задач обеспечения эксплуатационных свойств деталей пар трения: 1) определение условий функционирования узла трения; 2) предварительный выбор материала; 3) эскизный проект и проверочные обсчеты модели на обеспечение эксплуатационных свойств; 4) разработка технического задания на проектируемое изделие с окончательно определенными материалом, конфигурацией поверхностей деталей.

В соответствии с этой схемой была разработана концепция автоматизации проектирования цилиндрических пар трения скольжения, предполагающая расширение функциональных возможностей интегрированных САПР путем разработки модулей автоматизированной системы (рис. 1). Методически концепция представлена в виде процесса, в рамках которого осуществляется последовательное применение модулей автоматизированной системы.

*Определение условий функционирования механизма* является основой для формирования технического задания на изделие, в котором отражается исходная информация (нагрузочно-скоростные характеристики работы механизма, эксплуатационные, геометрические и конструктивные, экономические, технологические и другие требования) системы проектирования деталей пар трения.

*Выбор материала.* В настоящей работе предлагается методика построения математической модели выбора материалов деталей при проектировании узлов трения скольжения, работающих без смазки или материала покрытия и способа его создания.

*Анализ интенсивности изнашивания и выбор метода финишной обработки* проводится на основе зависимости, связывающей параметры качества поверхностей трения и интенсивность изнашивания. На данном этапе

определяются точностные требования к проектируемым деталям, параметры качества, а также выбираются методы технологического обеспечения эксплуатационных характеристик.



Рис. 1. Концепция автоматизации проектирования деталей, работающих в условиях трения скольжения без смазки.

**Анализ силового взаимодействия.** Для пары трения «вал – втулка» в рамках рассматриваемой модели решаются следующие вопросы: определение сближения в цилиндрическом стыке за счет собственной деформации вала и втулки, определение контактной равнодействующей давления в цилиндрическом стыке, описывается закон распределения нагрузки вдоль втулки, определяется зависимость давления от приложенной нагрузки.

**Анализ фактической площади контакта.** Для решения задачи контактирования двух твердых тел предлагается использование пространственной модели поверхностей трения, построенной на основе метода конечных элементов.

**Анализ динамического взаимодействия.** Известно, что все материалы в большей или меньшей степени обладают вязкоупругостью и вязкопластичностью. В рамках рассматриваемой модели используется реологическая модель Кельвина-Фойгта, отражающая свойства реальных тел.

**Анализ термодинамического взаимодействия** учитывает исходную температуру элемента, среднюю объемную температуру элемента (обусловленную теплопроводностью материала детали) и температуру вспышки на пятне контакта.

В соответствии с предложенной методикой созданы структурно-функциональные схемы и математические модели основных подсистем.

## НАКЛОННО-ПОВОРОТНЫЕ СТОЛЫ

Талашко А.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день как токовой классификации наклонно-поворотных столов не существует, однако функционально выделяются следующие виды поворотных столов: делительно-поворотные столы; поворотные столы; наклонно-поворотные столы. Компоновки можно разделить на 2 группы: 1) консольные; 2) двухопорные

Первые два вида можно считать частными случаями третьего вида, так как наклонно-поворотные столы включает в себя те же элементы, что и они и дополнены наклонной частью. Особенностью первой группы является экономия рабочего пространства станка, допускает более свободные перемещения рабочих органов и снижению металлоемкости стола, т.к. его можно встраивать в несущую систему станка, но это накладывает дополнительные требования к опоре поворотной части, что ведет к необходимости увеличения ее жесткости, точности, а следовательно и стоимости. Второй – занимают больше рабочего пространства и, в связи с тем, что имеется вторая опора, накладываются определенные требования на движение рабочих органов станка и закреплению заготовки. Возможны случаи, когда поддерживающая опора мешает обработке и не допускает ее в определенной области. Однако возможно допущение, что консольные (как и вращательные, поворотные, поворотно-делительные) является частным случаем двухопорного, т.к. принципиально они отличаются лишь применением у последних поддерживающей опоры. В связи с этим далее будем рассматривать только двухопорные 5С-столы.

Столы данного типа имеют два основных узла: 1) наклонный – включает привод наклона, датчик угла наклона и механизм фиксации, опоры наклонной части; 2) поворотный – привод поворота планшайбы, датчик угла поворота и скорости, механизм фиксации и опоры шпинделя с планшайбой.

Каждый из узлов наклонно-поворотного стола условно можно разделить на два основных механизма: механизм поворота (для наклонного – наклона); механизм фиксации.

Привод поворота планшайбы должен обеспечивать жесткость, кинематическую точность, повторяемость, постоянство дискретности. В связи с этим распространение получили следующие виды привода: червячный; встроенный электродвигатель; планетарно-цевочный. Важным элементом в поворотной части 5С-стола является так же и механизм фиксации планшайбы в необходимой позиции. Основной задачей этого механизма является обеспечение неподвижности планшайбы в процессе обработки. В связи с этим сам механизм как токовой конструктивно может отсутствовать, но его функцию в таком случае косвенно выполняют другие элементы привода. Возможны

следующие варианты фиксации: устройством с большим количеством одинаковых элементов; гидравлически; фрикционным механизмом; фиксация деформирующимся элементом; динамическая фиксация; фиксация, обеспечиваемая конструкцией привода. Опоры шпинделя планшайбы применяются такие же, как и для шпинделя главного движения в тихоходных станках вертикальной компоновки. Однако в последнее время распространились подшипники со скрещивающимися роликами для применения в опоре планшайбы, т.е. подшипник устанавливается не на шпиндель стола, а, как и упорный, под него. К приводу наклона стола предъявляются те же требования, что и для привода поворота планшайбы.

При проектировании наклонно-поворотного стола следует опереться на опыт ведущих фирм-производителей данных столов. Эти фирмы представляют мало информации по своей продукции, но ее достаточно для определения самого важного при проектировании, от чего будет зависеть конструкция, требования, компоновка – технический уровень 5С-стола.

Под фразой «опереться на опыт ведущих фирм-производителей» понимается проведение обзора их продукции от нескольких производителей и определение посредством построения различных графиков зависимостей интересующих показателей (рис. 1). Эти графики помогут ограничить творческое пространство и позволят получить удачную конструкцию с наименьшими затратами сил и времени, т.к. эти конструкции фирмами за много лет хорошо отработаны и однозначны.

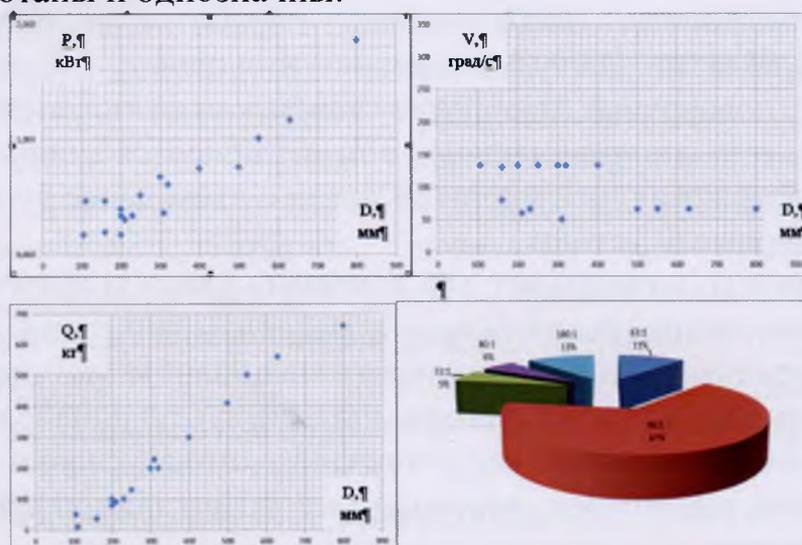


Рисунок 1 – Зависимости основных технических характеристик 5С-столов:

а) требуемой мощности  $P$  от диаметра планшайбы  $D$ ; б) максимальной скорости поворота планшайбы  $V$  от диаметра планшайбы  $D$ ; в) Максимального веса заготовок  $Q$  от диаметра планшайбы  $D$ ; г) наиболее используемые передаточные числа привода поворота.

Данный способ хорош еще тем, что этот обзор так же можно использовать при исследовании конкурентоспособности проектируемого стола и аналогов ему, а этот критерий является основным при определении целесообразности его изготовления.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ**

**Телюк Н.Е., Осипов М.А., Петренко Ю.Н.**

**Белорусский национальный технический университет**

Большое число технологических комплексов, находящихся в эксплуатации, нуждается в модернизации системы управления, что позволяет усовершенствовать алгоритмы управления и расширить их функциональные возможности за счет применения современной элементной базы на основе использования микропроцессорных технологий. Весьма важным обстоятельством при этом является возможность наладки модернизированной системы в режиме “off-line”, т.е. без остановки производства.

Здесь представлена разработанная и реализованная микропроцессорная система управления лабораторным стендом (ЛС), обладающим достаточной гибкостью в смысле реализации разнообразных алгоритмов управления. Стенд состоит из пяти редукторных двигателей РД-09-А, 127В, включение которых обеспечивается коммутационными силовыми реле ТКЕ52ПД1 и ТКЕ56ПД1, а контроль перемещения – герконовыми реле. Назначение стенда – реализация различных видов алгоритмов работы исполнительных механизмов. В частности: порядок их включения, направление вращения (движения) и обрабатываемое перемещение, задаваемые программным путем.

Комплектация элементной базы системы управления и силовой части ЛС объясняется экономическими соображениями. В тоже время микропроцессорная система (МПС) управления должна быть реальной для возможности реализации разнообразных алгоритмов управления.

Проектирование микропроцессорной системы осуществлялось в несколько этапов. После проведенного анализа силовых элементов на эксплуатационную пригодность, был составлен пакет технической документации, в состав которой вошли принципиальные электрические схемы установки, спецификация элементов лабораторного стенда, описание и принцип действия комплекса. По завершению работы на данном этапе появилась возможность составить техническое задание на модернизацию стенда и перечень требований к микропроцессорной системе управления:

- широкий вариационный спектр реализуемых алгоритмов работы стенда;
- удобный интерфейс пользователя;
- экономичность принимаемых технических решений.

Следующий этап работы предусматривал имитационное моделирование, реализованное с помощью библиотек Simulink и SimPowerSystems пакета Matlab R2009b, для проверки предварительно составленных алгоритмов управления стендом, а задействованный в синтезе с ними графический интерфейс пользователя (GUI) пакета Matlab позволил разработать интерфейс

системы управления, посредством которой осуществляется процесс задания алгоритма работы установки.

Практическая составляющая проекта в полной мере проявилась при работе над основным элементом системы управления – микропроцессорной системе на базе отладочной платы eZdsp TMS320F2812 от корпорации Texas Instruments, являющейся специализированной под выполнение операций управления электроприводами и обладающей параметрами:

- рабочая частота 150 МГц;
- 12-битный АЦП, 16 каналов, со скоростью преобразования 80 нс;
- до 56 выводов общего назначения (GPIO);
- три 32-битных таймера.

Использование высокопроизводительного DSP процессора TMS320F2812 [1] обусловлено, прежде всего, не столько возможностью выполнения поставленной задачи именно этим типом МП, сколько дальнейшего возможного его применения в системах с задачами на порядок сложнее.

Программирование отладочной платы осуществлялось на языке высокого уровня С в среде программирования Code Composer Studio v3.2.

Завершающий этап модернизации комплекса проводился при выполнении работ по подключению микропроцессорной платы к узлам элементов комплекса, введении обратных связей в контур регулирования, а также частичной замене узлов принципиальной схемы, морально и физически устаревших. Обобщенная функциональная схема реализованной системы управления комплексом представлена на рисунке 1.

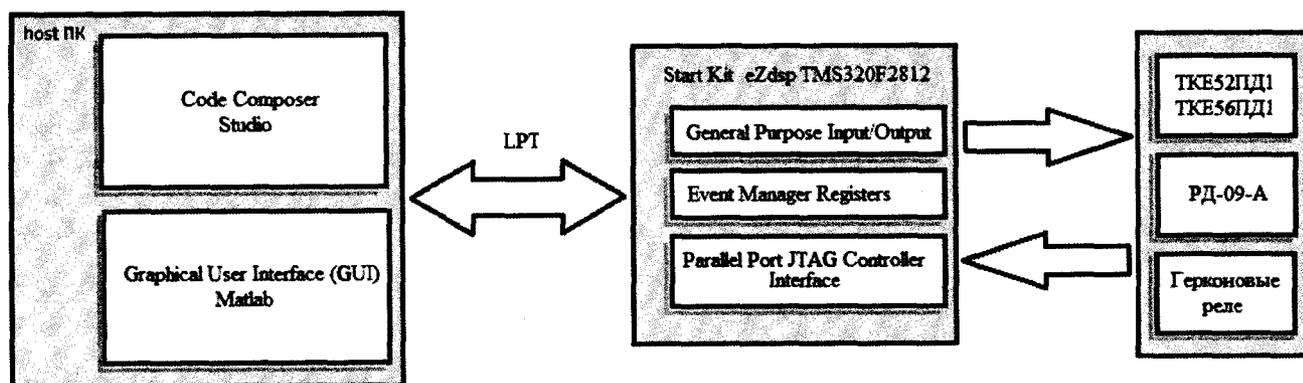


Рисунок 1 – Функциональная схема модернизируемой системы управления лабораторным стендом.

Разработанный лабораторный стенд может успешно использоваться в учебном процессе для изучения и отработки всех этапов проектирования системы управления автоматизированного комплекса, что позволяет повысить профессиональную техническую подготовку специалистов наиболее эффективным способом.

# ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЯ ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Ткачѐнко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Используемые на предприятиях методы упрочнения стальных изделий науглероживанием поверхностного слоя с последующим объемным упрочнением, являются традиционными и общепринятыми. Цементации подвергают низкоуглеродистые (0,1...0,2 %) и низколегированные стали, которые имеют не высокую закаливаемость и прокаливаемость. Цементация сталей проводят в газовых и порошковых средах, а также в вакууме. Данные технологические процессы объединяет общая температура (950 °С) и последующая закалка (с повторного нагрева) с низким отпускком (180 °С). В результате изделия приобретают твердую (58...63 HRC) поверхность и вязкую (80 Дж/см<sup>2</sup>) сердцевину, устойчивую к ударным нагрузкам. Цементации отдают предпочтение при производстве наиболее нагруженных деталей машин – зубчатых колес, валов-шестерен, крупногабаритных колец подшипников, шарниров синхронного хода и других.

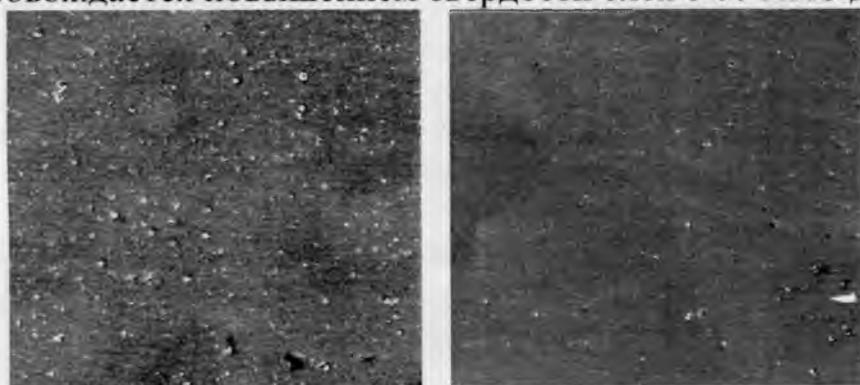
Использование сталей легированных карбидообразующими элементами позволяет в течение длительной выдержки в науглероживающем газе (с углеродным потенциалом 0,8...1,0 %) формировать в слое избыточные карбиды. Образованные карбиды повышают износостойкость (до 3 раз) и контактную выносливость (0,5...0,8 раз). Однако температура (950 °С), длительность выдержки (более 5 часов) и высокий углеродный потенциал (1 %) приводят к браку по структуре цементованного слоя. Качество слоя резко снижается из-за укрупнения зерна (слоя и сердцевины), образования сетки цементита, большого количества остаточного аустенита (25 %), окисления легирующих элементов и образования трооститной сетки. Вследствие этого низкая твердость, вязкость слоя и сердцевины изделия. Данные недостатки структуры не всегда устраняются закалкой с повторного нагрева.

Перспективным методом термического упрочнения цементуемых сталей является термоциклическая обработка (ТЦО). Исследования и практический опыт показали эффективность использования метода ТЦО для понижения порога хладноломкости, повышения прочности, пластичности, вязкости и других эксплуатационных свойств стали.

Автором были выполнены исследования по структурообразованию диффузионного слоя и сердцевины, стальных образцов (сталь 40Х) подвергнутых, цементации в стационарных условиях с последующей ТЦО. Образцы стали 40Х насыщали при 900±50 °С и выдерживали в течение 7 часов. При такой обработке на поверхности образцов формировался диффузионный слой с заэвтектонидной концентрацией углерода (0,9...1,0 %). Последующая термическая обработка образцов представляла собой многократную фазовую

перекристаллизацию, заключающуюся в скоростном индукционном нагреве (30...60 °C/c) выше точки  $A_{c3}$  на 50 °C с последующим охлаждением на спокойном воздухе (3...5 °C/c) до температуры полного распада аустенита (ниже  $A_{r1}$  на 50 °C). В последнем цикле охлаждение проводили в масле. Количество циклов от 1 до 4.

Было установлено, что в диффузионном слое образуется мелкоигольчатый мартенсит (4...8 мкм), а в сердцевине стального образца – 8...12 мкм. Диспергирование мартенситной структуры обусловлено многократными фазовыми переходами, способствующими новообразованию, измельчению цементита (с 15 мкм до 2 мкм) в диффузионном слое. В результате площадь цементитной фазы (рис. 1) в диффузионном слое заметно больше (4 цикла), нежели в цементованном слое после стационарного режима насыщения (без последующей ТЦО). Увеличение дисперсности структур (цементит, мартенсит) сопровождается повышением твердости слоя с 60 HRC до 66 HRC (сталь 40X).



а; ?400

б; ?400

а – циклическая ТО, закалка; б – закалка

Рисунок 1 – Растровая микроскопия диффузионного слоя стали 40X

Ударная вязкость образцов с увеличением количества циклов ТЦО повышалась. Закаленные и отпущенные на мартенсит образцы стали показали сопротивление разрушению в  $35 \pm 3$  Дж/см<sup>2</sup>. Отпущенные на троостит образцы показали значительный прирост вязкости  $60 \pm 3$  Дж/см<sup>2</sup>.

Таким образом циклический индукционный нагрев после цементации:

- измельчает зерно аустенита, что приводит формированию мелкоигольчатого мартенсита (4...8 мкм);
- вызывает увеличение количества карбидной фазы в диффузионном слое в 3 раза;
- увеличивает дисперсность карбидной фазы (менее 2 мкм);
- повышает ударную вязкость диффузионного слоя, и сердцевины изделия из среднеуглеродистой стали в 2...2,5 раза;
- твердость возрастает с 60 HRC до 66 HRC.

Стандартная термическая обработка низкоуглеродистых сталей после цементации обеспечивает твердость слоя 60 HRC, вязкость разрушения сердцевины изделия до 80 Дж/см<sup>2</sup> и остаточный аустенит 25 %.

## **ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕ-ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ**

**Фролов Е.Н., Надуваев В.В.**

Брянский государственный технический университет,  
г. Брянск, Российская Федерация

Качество и продолжительность эксплуатации наиболее ответственных деталей машин в значительной степени определяется состоянием и свойствами поверхностного слоя рабочих поверхностей, подвергаемых различным видам финишной обработки.

В последние годы в качестве окончательной обработки ответственных поверхностей деталей машин наиболее перспективными являются комбинированные упрочняюще-отделочные процессы, которые создаются на базе электрофизических методов обработки, позволяющих наиболее гибко управлять свойствами рабочих поверхностей тяжело нагруженных деталей. Предлагаемые методы финишной обработки решающим образом влияют на такие служебные и эксплуатационные свойства деталей, как износостойкость, сопротивление усталости, контактная жесткость, виброустойчивость и многие другие.

В предлагаемых исследованиях рассматривалась комбинированная упрочняюще-отделочная обработка на основе лазерного или электромеханического упрочнения и последующей отделочной обработки с применением инструментов из синтетических сверхтвердых материалов.

Поскольку лазерная и электромеханическая обработка вызывают существенное повышение поверхностной микротвердости поверхностных слоев (до 8000...9000 МПа), а также учитывая то, что поверхностные слои имеют ограниченную глубину упрочнения, в качестве отделочных операций целесообразно принять методы поверхностного пластического деформирования (алмазное выглаживание), а также методы алмазно-абразивной обработки (алмазное виброполирование).

В результате комбинированной механической обработки, основанной на использовании лазерного и электромеханического упрочнения и последующих алмазного выглаживания или алмазного виброполирования, удается осуществить, с одной стороны, управление физико-механическими свойствами поверхностных слоев (в частности поверхностной микротвердостью, глубиной и другими показателями упрочнения) за счет изменения режимов упрочнения и учета закономерностей влияния технологической наследственности и, с другой стороны, управление геометрическими параметрами поверхностных слоев (в частности параметрами шероховатости, характеризующими распределение её ординат по высоте, а также форму неровностей) за счет выбора методов и изменения условий осуществления отделочной обработки.

На основе комбинированной упрочняюще-отделочной обработки, осуществляемой лазерным упрочнением и последующим алмазным виброполированием, предложен метод, защищенный авторским свидетельством (а.с. 1148350, МКИ4 С 21 D 1/09), обеспечивающий создание нового класса поверхностей с регулярным рельефом (с отношением шага неровностей к высоте от 1000 до 2000 ) и имеющих микротвердость поверхностных слоев на упрочненных участках до 10 000 МПа и позволяющий снизить величину начального износа трущихся поверхностей на 30 % и в 2–3 раза сократить период их приработки.

Исходя из различной интенсивности съема материала с упрочненных и неупрочненных лазерной обработкой-участком при алмазном полировании получены уравнения, позволяющие теоретически определить важнейшие в функциональном отношении параметры регулярного рельефа (высота и радиус выступов, наибольшую высоту неровностей рельефа) в зависимости от плотности энергии лазерного излучения, времени полирования и соотношения площадей поверхностей, упрочненных и не упрочненных лазерной обработкой.

Так, интенсивность изнашивания пар трения «упрочненная цементацией и электромеханической обработкой цилиндрическая поверхность детали из стали 40ХН2МА – контртело из бронзы Бр05Ц5С5» в условиях граничного трения при изменении метода отделочной обработки упрочненных поверхностей (со шлифования на алмазное выглаживание) уменьшается с 1,69 до 0,84 мг/с, т.е. в 2 раза, в то время как, для пар трения, у которых образец подвергался ЭМО, она уменьшается по сравнению с парами трения, у которых образец подвергался цементации с 1,61 до 0,91 мг/с, т.е. лишь в 1,77 раза.

Комбинированная обработка на основе электромеханического упрочнения и последующего алмазного выглаживания. С помощью такой обработки удается снизить интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей (по сравнению с цементацией и последующим шлифованием) с  $1,09 \cdot 10^{-10}$  до  $2,2 \cdot 10^{-11}$ , т.е. в 4,95 раза и контртел из бронзы с 0,47 до 0,17 мг/км, т.е. в 2,76 раза.

Исследовался способ комбинированной упрочняюще-отделочной обработки на основе импульсного электромеханического уточнения, позволяющий получить новый класс поверхностей с регулярной микротвердостью, величины которой соизмеримы со значениями, характерными для лазерной обработки. Применение такой обработки для упрочнения рабочих поверхностей стальных деталей по данным стендовых испытаний позволяет в сравнении с закалкой ТВЧ снизить интенсивность изнашивания антифрикционных втулок из сплава ЦАМ 10–5 в 1,63 раза.

## МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА И МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ

Хамутовский А.Н.<sup>1</sup>, Корогода О.П.<sup>2</sup>  
Хомич Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> УП «Полимаг», Минск, Республика Беларусь

Современный этап развития ядерной энергетики характеризуется улучшением технико-эксплуатационных характеристик АЭС, повышением надежности и увеличением ресурса атомных реакторов. В активной зоне реактора циркониевые компоненты тепловыделяющих сборок, в частности оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭлов), подвергаются коррозии и наводороживанию [1]. Эти факторы ограничивают эксплуатационный ресурс оболочек ТВЭлов, влияют на эффективность работы и безопасность атомных реакторов. Повышение эксплуатационных свойств оболочек ТВЭлов напрямую зависит от качества их обработки.

Альтернативой традиционно применяемым экологически вредным технологиям обработки оболочек ТВЭлов является технология магнитно-абразивной обработки (МАО) [2]. В результате МАО повышаются механические напряжения сжатия и снижается шероховатость поверхности [3]. Модифицированный поверхностный слой, образованный МАО, определяет не только механические, но и коррозионные свойства оболочек ТВЭлов [4].

Установка модели Т11 (рисунок 1), разработанная и изготовленная в УП «Полимаг», создана для реализации процесса МАО поверхностей оболочек ТВЭлов диаметром 4-15 мм и длиной до 3000 мм.

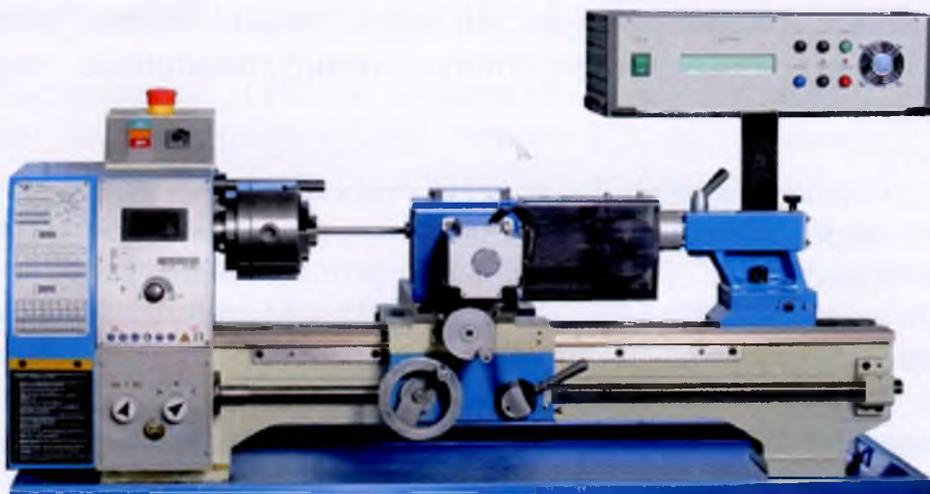
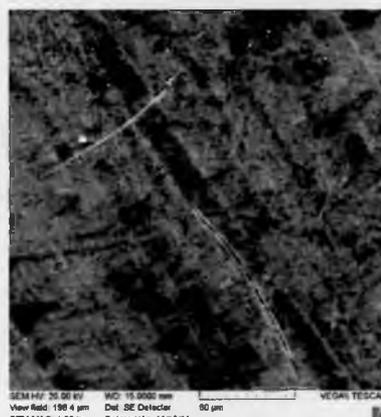


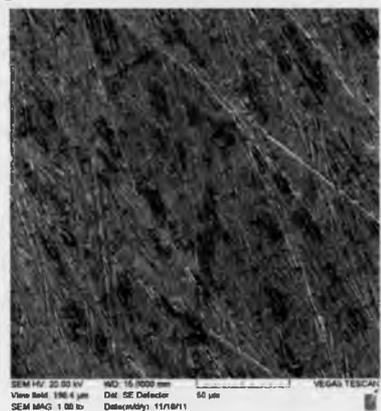
Рисунок 1 – Общий вид установки модели Т11 для МАО оболочек ТВЭлов

МАО оболочек твэлов с применением СОТС обеспечивает шероховатость поверхности с параметром  $Ra=0,15-0,20$  мкм (рисунок 2, б) при исходном значении  $Ra=0,40-0,45$  мкм (рисунок 2, а), при этом съём материала на сторону составляет 8,0-12,0 мкм. При МАО без СОТС шероховатость поверхности образцов твэлов снижается незначительно и составляет  $Ra=0,35$  мкм, при этом съём материала на сторону 2,0-4,0 мкм.

В поверхностном слое в результате МАО повышается содержание элементов ферроабразивного порошка. При минимальном внедрении железа (0,2-0,3 вес. %) повышается содержание, например, титана (1,0-1,3 вес. %), что может способствовать улучшению механических и коррозионных свойств поверхностей оболочек твэлов. Кроме того обнаружено снижение содержания углерода и кислорода в поверхностном слое после МАО.



а) состояние поверхности до МАО



б) состояние поверхности после МАО

Рисунок 2 – Топография поверхности образцов твэлов (?1000)

Проведенные поисковые исследования показали, что в результате МАО происходит обработка и модификация поверхности оболочек твэлов – легирование элементами, входящими в состав применяемых ферроабразивных порошков и СОТС, что позволит улучшить эксплуатационные свойства обработанных изделий.

#### Список литературы

1. Маркелов В. А. Совершенствование состава и структуры сплавов циркония в обеспечение работоспособности твэлов, ТВС и труб давления активных зон водоохлаждаемых реакторов с увеличенным ресурсом и выгоранием топлива: автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.16.01 / НИЯУ МИФИ. – Москва, 2010. – 51 с.
2. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С. Хомич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218 с.
3. Свойства поверхностного слоя после полирования в магнитном поле / Хомич Н.С., Корогода О.П., Иванова С.В., Шлепов И.А., Хамутовский А.Н. // *Warstwa wierzchnia technologicznie kształtowana*. – Gorzow Wlkp., 2011. – С. 193-203.
4. Модификация поверхности циркониевых компонентов ТВС реакторов на тепловых нейтронах с целью повышения их эксплуатационных свойств / С.В. Иванова [и др.] // *Физика и химия обработки материалов* – 2009. – №3. – С. 5-17.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ В АППАРАТАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Хвасько В.М., Дудяк А.И.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

В современных областях науки и техники широкое применение находят три основных модификации нитрида бора: графитоподобная (ГНБ), кубическая (КНБ) и вюрцитная. Области термодинамической стабильности имеют только ГНБ и КНБ, вюрцитная модификация является метастабильной и образуется, как промежуточная фаза при переходе одной стабильной модификации в другую, или обусловлена наличием примесей [1].

В результате теоретических и экспериментальных исследований полиморфных превращений графита в алмаз с использованием данных о плавлении углерода и нитрида бора ученые Банди и Венторф получили диаграммы состояния углерода и нитрида бора (рис. 1) [1].

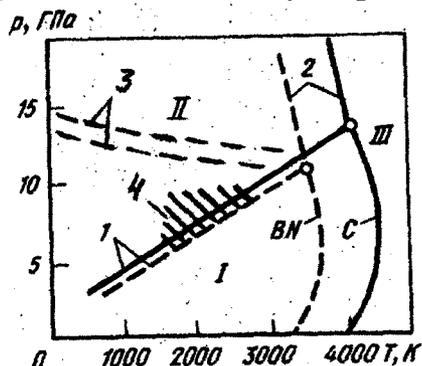


Рисунок 1 – Диаграмма состояния углерода и нитрида бора. Области стабильности графита и ГНБ (I), алмаза и КНБ (II), жидких фаз (III): 1 – линии равновесия графит – алмаз и КНБ – ГНБ; 2 – плавления углерода и нитрида бора

Превращение ГНБ в кубическую модификацию может происходить прямым или каталитическим путем. Прямое превращение протекает при высоких давлениях и температурах без помощи каких-либо катализаторов или растворителей [1]. На рис. 1 температурный ход порогового давления прямых фазовых превращений показан областью между штриховыми линиями 3.

Для получения кристаллов алмазов при более низких давлениях в условиях, приближенных к равновесным, превращение графита в плотную модификацию должно осуществляться в присутствии материалов-растворителей [1]. На рис. 1 такое каталитическое превращение соответствует заштрихованной области 4.

Ученые установили, что в качестве катализаторов-растворителей хорошо применимы щелочные и щелочно-земельные металлы, их нитриды и бориды, а также сурьма, олово, свинец [2]. Именно в таких условиях возможно получение крупных кристаллов алмазов с хорошей огранкой.

Однако большое значение на параметры синтеза и качество кристаллов влияет исходное состояние порошка графитоподобного нитрида бора: степень неупорядоченности кристаллической структуры, размер исходного зерна графита [1].

Для создания условий, удовлетворяющих перечисленным требованиям, применяются аппараты высокого давления различных конструкций. Наиболее широко известны три типа аппаратов высокого давления: 1) наковальни с углублениями; 2) цилиндрические аппараты, известные как аппараты «белт»; 3) многопуансонные конструкции [3].

В настоящее время для синтеза алмазов используются наковальни с углублениями различной формы (сферической, конусоподобной и др.), рабочий ресурс которых составляет от нескольких десятков до тысяч рабочих циклов.

На выход и качество кристаллов алмазов сильное влияние оказывает температурный режим реакционной ячейки аппарата высокого давления. Обычно синтез ведут либо при стабилизации напряжения, либо при стабилизации мощности нагрева реакционной смеси.

Теоретический анализ данных режимов показал, что при стабилизации напряжения нагрева с течением времени синтеза мощность, расходуемая для нагрева реакционной ячейки, заметно снижается. При этом синтез прекращается и, как результат, снижается качество кристаллов алмаза и выход за одно пресс-спекание. При стабилизации мощности нагрева в высокотемпературной ячейке происходит заметный рост температуры. Это приводит к частичной графитизации полученных кристаллов алмаза за счет его перегрева, а также прекращается зарождение новых кристаллов и рост уже полученных, так как происходит выход по температуре и давлению в область термодинамической стабильности графита.

Однако при синтезе кристаллов алмаза имеется возможность контролировать три параметра нагрева реакционной ячейки: действующее значение тока, напряжения и мощности. Контроль этих параметров можно осуществлять таким образом, чтобы мощность, затраченная на нагрев реакционной ячейки, была примерно одинаковой в течение всего времени процесса синтеза. Ток и напряжение определяют мощность, расходуемую на нагрев реакционной смеси.

Использование предложенного метода управления нагревом реакционной ячейки позволяет стабилизировать температурные условия в реакционной смеси, что приводит к увеличению времени нахождения смеси в области термодинамической стабильности алмаза за один и тот же промежуток времени синтеза. В результате этого улучшается качество синтетических кристаллов алмаза и увеличивается их выход за одно пресс-спекание.

#### Литература

1. Курдюмов А.В. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора. – М.: Металлургия, 1994. – 318 с.
2. Свенсон К. Физика высоких давлений. – М.: Мир. – 1963. – 203 с.

# ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА МАКЕТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ПРИ РАЦИОНАЛЬНОМ РАЗБИЕНИИ ИЗДЕЛИЯ НА СЛОИ В ПРОЦЕССАХ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА

Хейфец М.Л.

ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

Анализ особенностей методов получения деталей машин без формообразующей оснастки стереолитографией (Stereolithography Application – SLA), селективным лазерным спеканием (Selective Laser Sintering – SLS), послойным формированием моделей из листового материала (Laminated Object Manufacturing – LOM), послойной заливкой экструдированным расплавом (Fused Deposition Modeling – FDM) и другими процессами позволяет рассмотреть частные и выделить общие принципы построения технологий послойного синтеза.

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства (SLA, SLS, LOM, FDM и др.) предложена методика рационального разбиения на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия (рис. 1). При использовании методики для различных методов послойного синтеза возможен выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия.

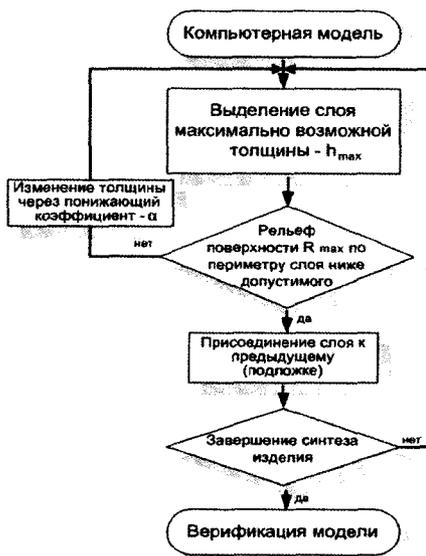


Рис. 1. Блок-схема алгоритма разбиения изделия на слои

Схема алгоритма разбиения изделия на слои состоит из 7 блоков:

1. *Компьютерная модель изделия*, включающая его геометрическое описание, определение критериев оптимальности конструкции путем выявления «мертвых» зон для формообразующих потоков энергии или вещества, в которых достижение требуемых параметров качества поверхности проблематично.

2. *Выделение слоя максимально возможной толщины  $h_{max}$*  с проверкой и корректировкой слоя, если он является последним. При этом в LOM- и FDM-процессах используется разбивка на слои одинаковой толщины и разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль (рис. 2, а), при

использовании SLA- и SLS-процессов – толщина неравномерна для различных слоев (рис. 2, б). Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности ( $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$  и др.).

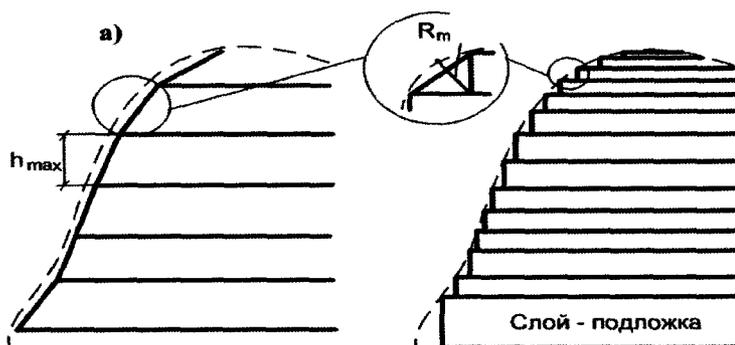


Рис. 2. Схема разбиения изделия на слои:

а – для LOM- и FDM-процессов; б – для SLA- и SLS-процессов

3. Оценка рельефа поверхности  $R_{max}$  по периметру слоя осуществляется путем проверки параметров качества поверхности, получаемых в текущем слое.

4. Корректировка путем изменения толщины слоя с использованием коэффициентов понижения  $\alpha$  производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например:  $\alpha = 0,7 \dots 0,8$  для SLA- и SLS-процессов;  $\alpha = ?$ ,  $1/2$ ,  $1/4$ , ... – для LOM- и FDM-процессов).

5. Присоединение слоя к предыдущему или подложке сопровождается проверкой сцепления текущего слоя с предыдущим по размеру площади перекрытия слоев.

6. Проверка завершения синтеза изделия заканчивает цикл послойного «выращивания» и подсчитывает общее количество слоев изделия.

7. Верификация модели – завершающий этап компьютерного сопоставления «выращенной» модели с исходной.

Расчет общего количества слоев (блоке б) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов (SLA, SLS, LOM, FDM и др.).

Верификация модели послойного синтеза (блок 7) дает возможность проверить удовлетворение требований к геометрическим параметрам качества сложнопрофильных поверхностей, заложенных в компьютерную модель изделия (блок 1).

Регулирование толщины слоя (блок 4) и угла «разделки» его кромок (блок 2) позволяет управлять геометрическими параметрами качества сложнопрофильной поверхности (блок 3) и вносить корректировки в начальный выбор методов оперативного макетирования и производства.

Проверка сцепления слоев изделия в ряде случаев, чаще всего связанных с использованием различных материалов для соседних слоев, требует, помимо определения площади их перекрытия (блок 5), также анализа рельефа плоской или сложнопрофильной поверхности. Последний вариант обычно используется при нанесении оболочек или покрытий на послойно «выращенное» изделие.

# **ПОДСИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЭНЕРГОБЛОКА НА ПРОГРАММНОМ УРОВНЕ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЛЕРОВ**

**Цыбулько П.В., Гутич И.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.

Подсистема дистанционного управления локальными объектами энергоблока представляет собой комплекс программных и технических средств, реализующих заданные функции дистанционного управления на контроллерном уровне. Программное обеспечение разработано с помощью инструментальной системы Step 7 и ориентировано для применения в программируемых логических контроллерах SiemensS7-400, обеспечивающих двухстороннюю связь с объектами контроля и управления. Программное обеспечение позволяет реализовать управление следующими группами объектов, оснащенных электроприводом:

- 1) запорная арматура (задвижки);
- 2) регулирующая арматура (регулирующие клапана);
- 3) запорно-отсечная арматура (предохранительно-запорные клапана);
- 4) механизмы собственных нужд ;

Непосредственно управление объектами выполняется с помощью команд, выдаваемых операторами блочного щита управления с операторских станций, или же выдаваемых на программном уровне другими подсистемами, функционирующими в контроллерах. Команды могут выдаваться с помощью функциональной клавиатуры или манипулятора “мышь” путем нажатия кнопок, специальных панелей управления, вызываемых на операторских станциях. Подсистема не исключает возможность управления объектами традиционными средствами – ключами, установленными на блочном или местных щитах управления, т.е. допускается возможность параллельного использования обоих способов дистанционного управления с отображением на операторских станциях и экранах коллективного пользования текущего состояния объектов независимо от применяемого способа. В качестве информационного обеспечения при разработке используется входная информация, заводимая в контроллеры с объектов дистанционного управления и определяющая их состояния, используется информация подсистем технологических защит и инженерной станции (управляющие команды, логические запреты на управление пользователями более низкого приоритета). При разработке программного обеспечения использована информация о типах модулей ввода-вывода, обеспечивающих прием и выдачу дискретных сигналов; типах первичных датчиков, установленных на объектах управления; количестве, типах самих объектов управления, электрических схемах электроприводов, определяющих алгоритмы управления и структуру программного обеспечения

в целом. Структура программного обеспечения подсистемы дистанционного управления (ДУ) определена компоновкой и конфигурацией технических средств, предназначенных для контроля и управления. Контроллеры скомпонованы в соответствии с составом решаемых задач. Программное обеспечение разработано с учетом возможности исполнения в одном или нескольких контроллерах, в зависимости от технологического назначения, распределения объектов управления между ними, адресной емкости контроллеров (количества модулей ввода-вывода, установленных в каждом из них).

Управление объектом представляет собой совокупность функций, которые выполняются в определенной последовательности и реализуют требуемый алгоритм управления в зависимости от типа объекта. К ним относятся:

- формирование импульсных команд управления;
- контроль питания схемы управления;
- контроль состояния каналов ввода-вывода;
- контроль реализации команд управления;
- контроль залипания задвижки в состоянии “Открыта” или “Закрыта”;
- контроль времени полного хода задвижки;
- выявление неконтроллерного хода задвижки;
- формирование признака команды управления;
- формирование слова состояния объекта управления.

В полном объеме указанные функции реализованы в алгоритмах управления задвижками.

Алгоритмом дистанционного управления объектами предусмотрена обработка команд технологических защит и блокировок (ТЗБ), команд логического (автоматического) управления (АУ), команд от операторской станции (ОС). Каждая из команд имеет свой приоритет (высший у команд технологических защит и блокировок, средний у команд оператора, низший у команд логического управления), который необходимо соблюдать при обработке входных сигналов, чтобы избежать противоположных команд. Например, при действии запрета на открытие задвижки от ТЗБ должны блокироваться команды на открытие от оператора или от логического управления.

Таким образом, АСУ дистанционного управления обеспечивает достаточную автоматизацию на уровне программируемого логического контроллера, позволяет значительно упростить процесс управления таким сложным теплоэнергетическим объектом, снижая нагрузку на верхний уровень управления.

## **СИСТЕМА ШТРИХОВОГО КОДИРОВАНИЯ НА СБОРОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ**

**Шардыко П.П., Барсукевич И.А.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь.

Среди многообразия хозяйственных операций учет готовой продукции является наиболее трудоемким. Одна из основных задач учета готовой продукции состоит в правильной организации учета, позволяющей своевременно получать информацию о ходе поступления товаров, о выполнении договорных обязательств поставщиками и получателями продукции, о состоянии товарных запасов, о ходе отгрузки ценностей и контроля их сохранности.

Для того чтобы правильно и своевременно осуществлять учет результатов производственной деятельности организация должна выбрать и закрепить в своей учетной политике ряд основополагающих принципов и методов по учету готовой продукции, варианты которых изложены и закреплены в законодательных актах и рекомендациях Министерства финансов Республики Беларусь.

В последние годы наиболее перспективным и быстро развивающимся направлением автоматизации процесса ввода, обработки информации становится штриховое кодирование. Сейчас штриховой код наносится на большинство продукции.

В отличие от выполненных работ и оказанных услуг, готовая продукция выделяется в самостоятельный объект учета в связи с тем, что при производстве продукции момент завершения процесса производства и момент реализации имеют разрыв во времени.

Основными задачами учета готовой продукции и товаров являются:

- а) формирование фактической себестоимости готовой продукции;
- б) правильное и своевременное документальное оформление операций и обеспечение достоверных данных по поступлению и отпуску готовой продукции и товаров;
- в) контроль сохранности готовой продукции и товаров в местах их хранения (эксплуатации) и на всех этапах их движения;
- г) контроль соблюдения установленных организацией норм по выпуску готовой продукции, обеспечивающих ее бесперебойный выпуск, выполнение работ и оказание услуг;
- д) своевременное выявление ненужных и излишних запасов готовой продукции и товаров с целью их возможной продажи или выявления иных возможностей вовлечения их в оборот;
- е) проведение анализа эффективности использования товарных запасов и запасов готовой продукции.

Система штрихового кодирования на сборочном конвейере предназначена для регистрации прохождения изделий по технологическим точкам. Каждая учетная точка оборудована сканером для считывания штрихового кода с изделия и экраном для отображения результата обработки. Считанная информация обрабатывается на ПК в режиме реального времени и результат обработки отображается на экране в соответствующем окне и на удалённых экранах на учетных точках.

Точки контроля изделий располагаются также в начале и конце конвейера. Рабочий при помощи ручного сканера считывает необходимую последовательность штрих-кодов на комплектующих (это может быть узел и несколько деталей). Информация через преобразователь по сети поступает на сетевой шкаф и на ПК. На ПК штрих-кодовая последовательность проверяется по базам данных и регистрируется. Ответ передаётся обратно рабочему.

При считывании штриховых кодов, если считана верная их последовательность, идёт проверка по базе данных узлов и деталей. Если данный узел или деталь зарегистрированы в базе данных, то на экран выводится сообщение «ОК» и рабочий переходит к следующей последовательности.

Данная система позволяет обнаруживать ошибки, которые могут возникнуть в результате работы оборудования:

- устранимые повторным считыванием: получили неправильную группу данных (это может быть так, что первым по конвейеру пришёл не узел или пришло не то количество деталей, необходимое для сборки данной модели изделия);

- устранимые на доводке: получили правильную группу данных, но нет модели узла в базе данных, нет деталей в справочнике, для данной модели изделия неизвестно число деталей;

- нельзя считывать: нет доступа к сетевым базам данных, не работает оборудование.

На экран выводится сообщение о соответствующей ошибке.

Данная система позволяет также обнаруживать ошибки, которые могут возникнуть в процессе сборки:

- устранимые повторным считыванием - получили неправильную группу данных (это может быть так, что первым по конвейеру пришёл не тот узел или деталь, необходимые для сборки данной модели изделия);

- устранимые на доводке - получили правильную группу данных, но нет модели узла в базе данных, нет детали в справочнике, для данной модели устройства неизвестно число узлов;

- нельзя считать - нет доступа к сетевым базам данных, не работает оборудование.

На экран выводится сообщение о соответствующей ошибке.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ПОЛИРОВАНИЯ) КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН (Ø 100 ММ) НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВО ПЛАСТИН**

**Якубовская С.В., Бабаскина С.Ю., Корбит А.А., Олехнович О.Н.**

Белорусский национальный технический университет, Минск,

Республика Беларусь

ОАО "ИНТЕГРАЛ" Филиал "Камертон", Пинск, Республика Беларусь

Финишные операции обработки материалов определяют морфологию поверхности, дефектность приповерхностного слоя. Современная технология изготовления кремниевых пластин (Ø 100 мм), которая используется в настоящее время на предприятиях электронной промышленности РБ (ОАО "Интеграл"), в качестве финишной операции обработки поверхности включает в себя операцию механического полирования алмазной суспензией. Основной целью алмазного полирования является обеспечение высокого качества поверхности, требуемых геометрических параметров и минимального нарушенного слоя.

Как известно, показатели процесса полирования определяются технологическими, кинематическими, динамическими и геометрическими факторами. К технологическим факторам, оказывающим наиболее значительное влияние на процесс алмазного полирования относятся, в том числе, эксплуатационные свойства алмазной суспензии; технологические параметры процесса, такие как скорость подачи алмазной суспензии, скорость вращения полировальника, продолжительность.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния технологических параметров процесса алмазного полирования кремниевых пластин (Ø 100 мм) на производительность процесса и качество пластин.

Процесс алмазного полирования кремниевых пластин (Ø 100 мм, КЭС 0,01 (111)4<sup>0</sup>) осуществляли на станках двухсторонней полировки СДП-100 с использованием разработанной нами ранее алмазной суспензии САО АСМ 2/1, обладающей высокими эксплуатационными свойствами. Производительность процесса полирования характеризовали скоростью съема. Качество полированных кремниевых пластин определяли по методикам ТУ РБ 200181967026-2002 на соответствие требованиям КЭ 07622489.20202.00016. Скорость подачи алмазной суспензии варьировали в интервале 45-130 кап/мин; скорость вращения полировальника – 35-80 об/мин (75-140 V).

Согласно полученным экспериментальным данным, увеличение скорости подачи алмазной суспензии от 45 до 70 кап/мин (скорость вращения полировальника – 115 V) сопровождается значительным повышением средней скорости съема кремния от 2,12 до 3,15 мкм/мин. Это обусловлено увеличением концентрации алмазных зерен, участвующих в процессе полирования. При

дальнейшем повышении скорости подачи алмазной суспензии до 80 кап/мин и, далее, до 95 кап/мин отмечается вначале незначительное, а затем более заметное снижение средней скорости съема, стабилизирующееся в интервале значений 2,16-2,19 мкм/мин. Вероятно, снижение интенсивности съема кремния следует объяснить увеличением толщины жидкой суспензионной прослойки, ухудшающей условия контакта поверхности кремниевых пластин, алмазных зерен и полирующей поверхности. Стабилизация значений средней скорости съема в интервале значений скорости подачи суспензии 80-95 кап/мин свидетельствует о достижении определенного постоянства отношения между увеличивающейся толщиной жидкой демпферной прослойки и увеличивающейся концентрацией алмазного микропорошка в ее объеме. При скорости подачи алмазной суспензии более 85 кап/мин на поверхности кремниевых пластин наблюдается большое количество микроцарапин, на многих пластинах присутствуют длинные царапины. Наблюдается также ухудшение геометрических параметров пластин.

Увеличение скорости вращения полировальника от 35 до 60-75 об/мин (скорость подачи суспензии – 60 кап/мин) приводит к значительному увеличению средней скорости съема кремния от 1,62 до 2,82 мкм/мин. При дальнейшем увеличении скорости вращения полировальника до 80 об/мин, средняя скорость съема уменьшается, что можно объяснить уменьшением продолжительности нахождения алмазной суспензии в зоне контакта с полируемой и полирующей поверхностями. В интервале скорости вращения полировальника 35-60 об/мин (75-115 V) качество поверхности кремниевых пластин, характеризующееся количеством микроцарапин, а также геометрические характеристики (клин, прогиб) соответствуют требованиям нормативной документации: на пластинах присутствует незначительное количество микроцарапин; клин составляет 5-7 мкм. Однако, при большей скорости вращения полировальника (более 65 об/мин) на поверхности пластин отмечается увеличение количества микроцарапин и появление царапин, что не допускается требованиями НД.

Согласно полученным данным, оптимальной скоростью подачи алмазной суспензии САО АСМ 2/1 является скорость 60-70 кап/мин, а оптимальной скоростью вращения полировальника – 58-60 об/мин (110-115 V). При этом достигается высокая средняя скорость съема, обеспечивающая повышение производительности процесса полирования кремниевых пластин на 20-30%, и хорошие геометрические параметры пластин. Так, параметр TTV не превышает 3,01 мкм; TIR – 3,0 мкм; BOW – 10,3 мкм; WARP – 21,7 мкм. Процесс полирования протекает в условиях уменьшенных контактных давлений и высокой степени пластической деформации, следствием чего является формирование достаточно совершенной микроструктуры поверхности полированных кремниевых пластин (Ø 100 мм) с незначительной шероховатостью, что значительно облегчает задачу по достижению требуемых параметров товарных пластин на последующей операции химико-механического полирования.

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПНК МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЛА**

**Яцына Ю.Ф., Гриднев Ю.В., Пальцев А.Н.  
ФТИ НАН Беларуси**

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) является частью беспилотного авиационного комплекса (БАК), в основной состав которого кроме БЛА входят: наземный пункт управления (НПУ) с человеком-оператором и дуплексная линия радиосвязи между НПУ и БЛА. НПУ обеспечивает через линию радиосвязи прием с борта БЛА информации, ее обработку, отображение и регистрацию, а также управление полетом БЛА и целевой нагрузкой в 2-х режимах: в автоматическом с помощью программного обеспечения при полете по заранее заданному маршруту или в полуавтоматическом с помощью оператора и автопилота. Общая компоновка БЛА включает планер с аэродинамической схемой, целевую нагрузку в виде TV/IR камеры и пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) с автопилотом (АП) и бесплатформенной инерциальной навигационной системой (БИНС). ПНК представляет собой комплекс аппаратно-программных средств (бортовую аппаратуру управления), которые обеспечивают все режимы полета и выполнение функциональных задач целевой нагрузки.

При проектировании четырехканального автопилота возникает проблема обеспечения его точностных характеристик при внешних и внутренних возмущениях при полете БЛА по заданной пространственно-временной траектории. При изменении вида планера БЛА и соответственно его передаточной характеристики для оптимального управления его полетом необходимо изменять управляющий сигнала для каждого канала автопилота. Данную проблему можно решить с помощью автопилота с электронной моделью, который позволяет компенсировать вышеперечисленные изменения и возмущения, однако при малом весе малоразмерных БЛА его применение ограничено. Предпочтительнее использовать робастные автопилоты, имеющие одинаковые точностные характеристики с АП с электронной моделью и меньший вес. Проверка работоспособности робастного АП и оценка его характеристик в ФТИ НАН Беларуси производится путем компьютерного моделирования, а также натурными испытаниями в процессе реального полета БЛА с разрабатываемым АП без предварительной продувки планера в аэродинамической трубе. Полученные после полета БЛА телеметрические параметры функционирования всех систем позволяют судить о качестве работы ПНК.

БИНС, как часть ПНК, включает взаимосвязанные систему угловой ориентации БЛА в пространстве и систему навигации для определения координат местоположения БЛА. Датчиками БИНС малоразмерных БЛА являются гироскопические датчики угловых скоростей вращения БЛА вокруг центра тяжести и датчики линейных ускорений по трем осям координат

планера. Взаимное положение БЛА (связанной системы координат) и Земли (географической системы координат) определяется кинематическими параметрами: углами Эйлера-Крылова, направляющими косинусами, параметрами Родрига-Гамильтона. Алгоритмы работы трех БИНС через эти параметры были проверены путем компьютерного моделирования в программе MATLAB-SIMULINK. Наименьшие ошибки преобразования сигналов наблюдаются в БИНС с одним уравнением Пуассона (с направляющими косинусами), особенно при малом отношении сигнал/шум. Ошибки преобразования сигналов в БИНС с углами Эйлера-Крылова и гиперкомплексными параметрами Родрига-Гамильтона имеют один порядок. Недостатком алгоритмов БИНС с углами Эйлера-Крылова и уравнениями Пуассона является нелинейность уравнений преобразования по всем трем углам (особенно при большой амплитуде входных сигналов) и неспособность решать задачу ориентации при угле тангажа, равном 90 градусов. Наиболее удобными для БИНС являются параметры Родрига-Гамильтона (кватернионы), кинематические уравнения которых линейны и интегрируемы при любых углах курса, тангажа и крена.