

**Е. П. Мельникова, д-р техн. наук**

**Автомобильно-дорожный институт**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФИНИШНЫХ АБРАЗИВНЫХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ**

*Разработан общий теоретический подход к исследованию съема металла и формированию параметров качества обработанной поверхности деталей машин при финишных абразивных методах обработки. Представлены структурная и функциональная схемы, позволяющие установить взаимосвязь первичных и вторичных параметров финишных абразивных методов обработки.*

*Предложенная структурная схема позволяет определить наиболее важные параметры, оказывающие влияние на эксплуатационные свойства автомобильных деталей.*

**Ключевые слова:** детали машин; эксплуатационные свойства, съем металла, обработанная поверхность, финишные абразивные методы обработки

### ***Введение***

Математическое моделирование финишных методов обработки требует их представления и анализа в качестве систем с целью выбора стратегии исследования и разработки, выявления состава и границ работоспособности вновь создаваемого объекта, а также установления связей внутри систем и между ними. Оптимальное управление процессом обработки может быть реализовано только на основе математической модели, адекватно описывающей взаимодействие инструмента (с его микрорельефом) и обрабатываемой детали. Для этого должен быть создан комплекс математических моделей, адекватно отображающих процессы съема материала и формирования поверхностного слоя, дающий на выходе показатели производительности, стойкости инструмента, а также шероховатости и эксплуатационных свойств обрабатываемой поверхности деталей машин и механизмов, автомобилей.

### ***Анализ публикаций***

Создание комплексных динамических моделей процессов взаимодействия инструмента и детали является одной из актуальных и наиболее сложных проблем в области абразивной обработки [1, 2, 3]. Ее решение связано с рядом трудностей, которые обусловлены:

- отсутствием общего подхода к моделированию процессов формирования поверхности детали в условиях совместного действия абразивного, химического и гидродинамического эффектов;
- влиянием большого числа технологических факторов на производительность и качество поверхности при абразивной обработке;
- непрерывным изменением взаимного расположения инструмента и заготовки, состояния рабочей поверхности инструмента, обрабатываемой поверхности и свойств смазочно-охлажденной технологической среды (СОТС);
- стохастической природой исследуемых процессов.

### ***Цель работы***

Целью работы является представление процесса финишной абразивной обработки в виде обобщенной структурной и функциональной схем, как объекта, который управляется, и на который действуют разнообразные внешние воздействия и ограничения.

### *Изложение основного материала*

Объектом исследований в работе являются общие закономерности, характерные для финишных абразивных методов обработки со свободным, частично свободным и закрепленным абразивом, присущие вибрационной обработке, доводке и хонингованию.

Предметом исследований являются функциональные связи между входными технологическими параметрами и процессом обработки, протекающим в технологической обрабатывающей системе (ТОС), а также особенностями и закономерностями влияния состава абразивного инструмента, паст и СОТС на производительность, шероховатость и эксплуатационные свойства обрабатываемых поверхностей деталей автомобилей.

В качестве метода исследований использовано математическое моделирование на базе трех видов моделей: вербальной, аналитической и эмпирико-статистической.

Вербальная (словесная) модель предшествует аналитической. Словесное описание взаимодействия абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью при финишных методах обработки делает аналитическую модель более наглядной. Что позволяет обеспечивать высокую адекватность аналитической модели к физической.

Адекватность аналитических моделей проверялась на эмпирико-статистических и экспериментальных моделях. При отсутствии технической возможности экспериментальной проверки адекватность аналитических моделей проверялась путем численного анализа.

На методологическом уровне использовались все три подхода к моделированию: феноменологический, индуктивный и дедуктивный. Это обусловлено широким диапазоном проводимых исследований. Для эмпирико-статистических моделей использовался феноменологический подход. На основании дедуктивного подхода создавались аналитические модели. Индуктивный подход использован при разработке общей модели расчета.

Целью обработки является достижение требуемых выходных характеристик и физико-механических свойств поверхностного слоя за минимальное время или с минимальной себестоимостью. Таким образом, максимальная производительность или минимальная себестоимость определяются входными характеристиками. Такая задача свойственна классической однокритериальной задаче оптимизации. Исходя из такой постановки, можно рассматривать процесс обработки как управляемый объект, на который действуют разнообразные внешние воздействия.

Все внешние воздействия разделяются на управляемые и возмущения. К управляемым относятся воздействия, которые можно целенаправленно варьировать в определенном диапазоне: скорость обработки, смазочно-охлаждающая технологическая среда, связка и вид абразива инструмента, формообразующая траектория. Такие входные воздействия, как исходная поверхность и материал обрабатываемой детали, являются заданными и выступают в роли возмущений [4, 5, 6, 7].

Процесс финишной абразивной обработки металлических изделий представляет собой сложный комплекс физико-химических явлений. Успешное решение задачи повышения эффективности выходных технологических показателей неразрывно связано с раскрытием основных внутренних связей системы обработки при финишных методах как двух подсистем – подсистемы обработки и подсистемы обеспечения требуемого качества поверхностного слоя детали, а также выявлением процессов и компонентов, образующих подсистемы. Функционирование системы финишной обработки (рисунок 1) проявляется в наличии детерминированной либо стохастической связи между первичными и вторичными параметрами. К первичным параметрам относятся: данные о методе  $M$ , схеме и режимах обработки  $PO$ , детали  $D$ , станке  $Ст$ , приспособлении  $Пр$ , абразивном инструменте  $И$ , технологической среде  $Ср$ . Вторичные параметры характеризуются технологическими показателями. Они определяются как результат воздействия определенного метода обработки, осуществляемого при заданной технологической системе  $ТС$ , и включают в себя: качество  $КП$  и износостойкость  $ИП$

поверхности, точность  $Tч$ , износостойкость абразивного инструмента  $Ии$ , производительность обработки  $П$ , экономичность  $Э$  и экологичность  $Эк$  обработки.

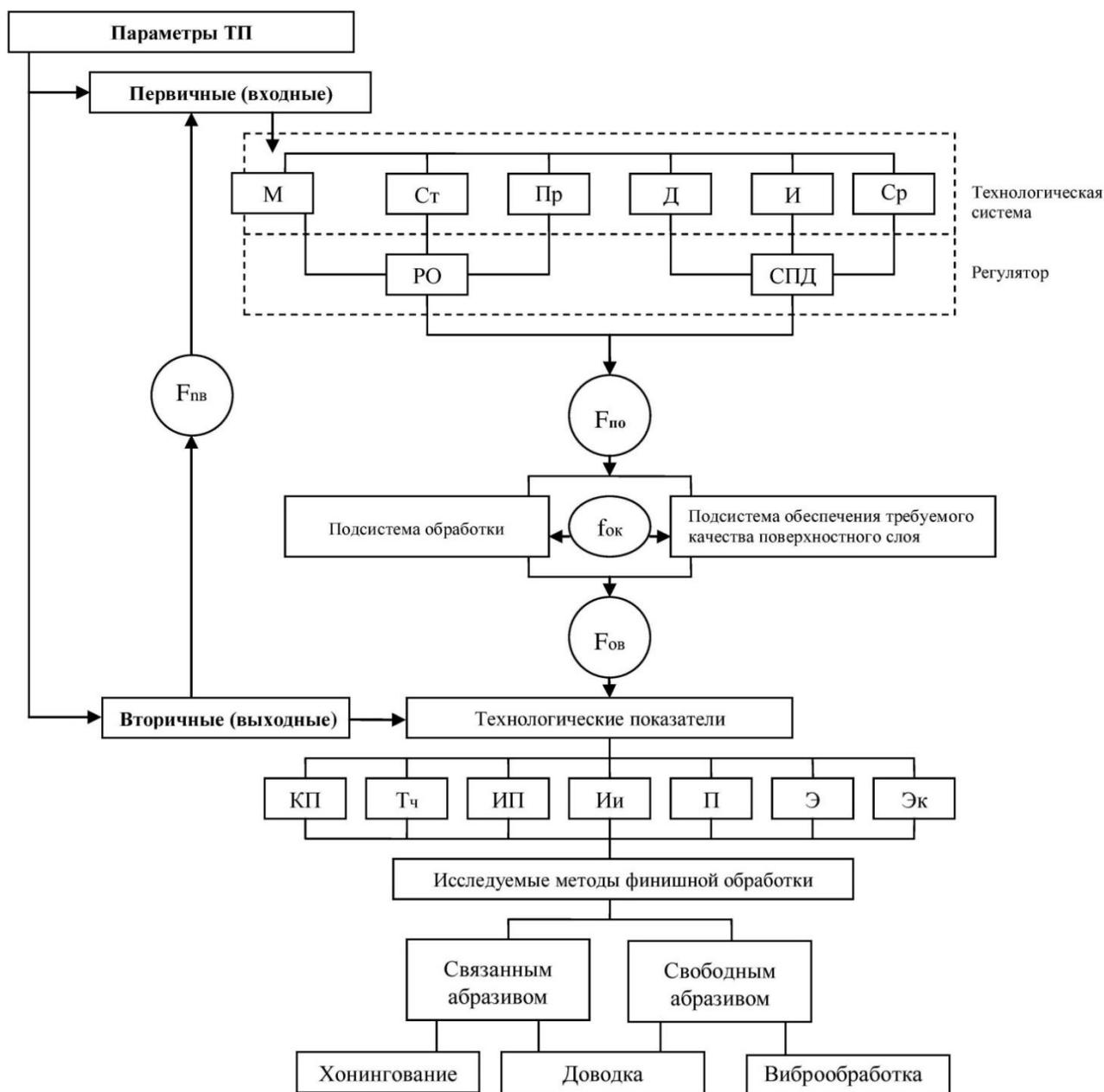


Рисунок 1 – Структурная схема финишных методов обработки

Процесс обработки является звеном, связывающим первичные и вторичные параметры, его параметры определяются совокупным действием кинематики и физическими явлениями в зоне обработки (таблица 1).

Механика процесса обработки описывает условия механического взаимодействия абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью с учетом упругой и пластической деформации, трения, а также образования системы СПД, состоящей из СОТС и продуктов диспергирования. Система СПД выполняет роль третьего тела, находящегося между обрабатываемой деталью и абразивным инструментом. Более полное представление обеспечивает учет химических явлений, происходящих в зоне обработки.

Экономичность и экологичность обработки зависят от показателей функционирования обеих подсистем. Стабильность заданных получаемых значений вторичных параметров в последнее время становится одним из основных критериев выбора метода обработки.

Таблица 1 – Элементы структурной и функциональной связи финишной абразивной обработки

Параметры	Элемент		Показатель	
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Входные (первичные)	Методы обработки	М	Связанным абразивом Свободным абразивом	– –
	Станок	Ст	Тип, модель	–
	Приспособление	Пр	Тип, схема	–
	Инструмент	И	Связующее, абразив (зернистость, концентрация)	$N_z$ $K_c$
	Деталь	Д	Предел текучести материала	$\sigma_T$
	Смазочно-охлаждающая технологическая среда (СОТС)	Ср	Состав Способ подачи	– –
	Режимы обработки	РО	Скорость	$v$
	СОТС + продукты диспергирования	СПД	Вязкость Предельное напряжение сдвига	$\mu$ $\tau_0$
Выходные (вторичные)	Качество поверхности	КП	Высота микронеровностей	$R_a$
	Точность обработки	Тч		
	Износостойкость обработанной поверхности	ИП	Твердость поверхностного слоя	$HB$
	Износостойкость абразивного инструмента	Ии	Износ абразивного инструмента	$I_a$
	Производительность	Пр	Удельный объемный съём обрабатываемого материала	$Q$
	Экологичность	Эк	Использование нетоксичных, пожаробезопасных компонентов для изготовления абразивных инструментов, паст и СОТС.	
	Экономичность	Э	Себестоимость изготовления абразивного инструмента, паст и СОТС	$S$
Функции	Функция, связывающая первичные параметры и процесс обработки	$F_{ПО}$	Определяется кинематикой движения	
	Функция, связывающая процесс обработки с вторичными параметрами	$F_{ОВ}$	Рациональный выбор режимов обработки, обеспечивающий заданные вторичные параметры	
	Функция, связывающая вторичные параметры с задаваемыми первичными параметрами	$F_{ПВ}$	Обратная связь между качеством обработки и оптимальным выбором первичных параметров	
	Взаимообусловленность подсистем обработки и обеспечение требуемого качества поверхностного слоя	$f_{ОК}$	Взаимосвязь пластической, упругой деформации и микрорезания	

Функциональная схема абразивных финишных методов обработки (рисунок 2) состоит из нескольких основных блоков и является замкнутой (с обратными связями).

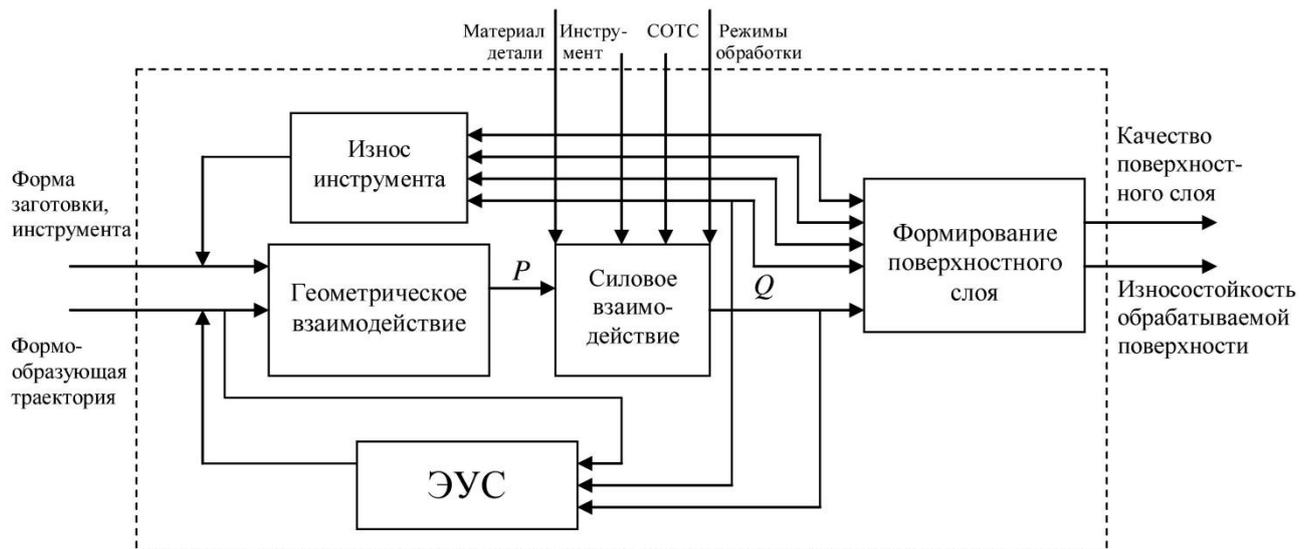


Рисунок 2 – Функциональная схема процесса финишных методов обработки

Для финишных методов обработки качество и износостойкость обрабатываемой поверхности являются определяющими. Такие параметры зависят от состава СОТС, паст, инструмента и фактической траектории формообразующего движения, что и определяет взаимное расположение инструмента и обрабатываемой детали. В результате геометрического взаимодействия, со съемом части материала детали, формируется обработанная поверхность, а также ее макрогеометрия, качество и эксплуатационные характеристики. Таким образом, одним основным геометрическим параметром, который характеризует протекание процесса обработки, является сила  $P$ , имеющая нормальную и тангенциальную составляющие и определяющая текущие параметры срезаемого слоя. Силовое взаимодействие представлено соответствующим блоком на функциональной схеме. Причем, поскольку текущие параметры срезаемого слоя связаны с формообразующим движением, которое выполняется в технологической обрабатывающей системе, то на выходе блока действует удельный объемный сьем  $Q$ , характеризующий производительность процесса обработки.

Наиболее сложные процессы происходят при формировании физико-механических свойств поверхностного слоя. Поэтому блок, который представляет этот процесс на функциональной схеме, связан со многими возмущениями и управляющими воздействиями. Все три основных блока на функциональной схеме формируют основной канал процесса обработки как управляемого объекта. Кроме этого канала существуют несколько каналов обратной связи, которые играют важную роль в структуре управляемого объекта.

Прежде всего процесс обработки осуществляется в упругой технологической обрабатывающей системе (на схеме представлена блоком эквивалентной упругой системы – ЭУС), на которую влияет как сила  $P$  и силовое возмущение  $Q$ , так и формообразующее движение, которое выполняют разнообразные узлы ТОС (кинематическое возмущение). В результате в ТОС возникают упругие деформации, которые искажают заданную траекторию формообразования, а значит и заданное взаимное расположение инструмента и детали, что приводит к изменению параметров срезаемого слоя и обрабатываемой поверхности.

Математическая модель процесса обработки при таком представлении состоит из математических моделей блоков, входящих в систему, с учетом связей между ними.

При разработке технологических процессов обработки деталей машин важной проблемой является получение высокого уровня эксплуатационных характеристик обрабатываемых поверхностей. Указанная проблема имеет широкую связь научных исследований в области технологии машиностроения с практическими задачами. При этом важное значение имеет характер микрорельефа обработанных поверхностей.

## **Выводы**

Предложенная структурная схема позволяет определить направление исследований и наиболее важные параметры, оказывающие влияние на эксплуатационные свойства автомобильных деталей. Это позволит производить оптимальный выбор метода обработки и прогнозировать эксплуатационные свойства деталей машин. Оптимальным будем считать такое сочетание первичных параметров и воздействие их на процесс обработки, которое обеспечит максимум производительности (минимум себестоимости) при удовлетворении всех требований ограничений.

## **Список литературы**

1. Матюха, П. Г. Научные основы стабилизации выходных показателей алмазного шлифования с помощью управляющих воздействий на рабочую поверхность круга : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / П. Г. Матюха. – Донецк, 1995. – 456 с.
2. Петраков, Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю. В. Петраков. – К. : УкрНДИАТ, 2004. – 384 с.
3. Проволоцкий, А. Е. Развитие комбинированных методов обработки, как база интегрированных технологий / А. Е. Проволоцкий // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Х., 2003. – № 1. – С. 103–112.
4. Мельникова, Е. П. Повышение долговечности тормозных дисков автомобилей за счет совершенствования технологии механической обработки / Е. П. Мельникова, В. В. Быков // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – С. 162–167.
5. Мельникова, Е. П. Динамические особенности работы резцедержателей с гидравлической системой выравнивания сил резания / Е. П. Мельникова, В. В. Быков // Прогресивні технології системи машинобудування : міжнар. зб. наук. пр. – 2011. – № 41. – С. 221–224.
6. Мельникова, Е. П. Математическая модель объекта адаптивного управления / Е. П. Мельникова, В. В. Быков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : наук.-вироб. зб. – 2010. – № 2 (11). – С. 10–15.
7. Технологические и трибологические основы повышения эффективности абразивной финишной обработки : моногр. / К. С. Ахвердиев [и др.]. – Ростов н/Д. : Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – 309 с.

***Е. П. Мельникова***

***Автомобильно-дорожный институт***

***ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка***

**Исследование взаимодействия параметров технологической системы  
при финишных абразивных методах обработки**

Разработан общий теоретический подход к исследованию съема металла и формированию параметров качества обработанной поверхности деталей машин при финишных абразивных методах обработки.

Представлены структурная и функциональная схемы, позволяющие установить взаимосвязь первичных и вторичных параметров финишных абразивных методов обработки.

Предложенная структурная схема позволяет определить направление исследований и наиболее важные параметры, оказывающие влияние на эксплуатационные свойства автомобильных деталей. Это позволит производить оптимальный выбор метода обработки и прогнозировать эксплуатационные свойства деталей машин. Оптимальным считаем такое сочетание первичных параметров и воздействие их на процесс обработки, которое обеспечит максимум производительности (минимум себестоимости) при удовлетворении всех требований ограничений.

**ДЕТАЛИ МАШИН: ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, СЪЕМ МЕТАЛЛА, ОБРАБОТАННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ФИНИШНЫЕ АБРАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ**

*E. P. Melnikova*  
***Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka***  
**Study of the Parameters Interaction of the Technological System  
at Final Abrasive Processing Methods**

The general theoretical approach to the study of the metal-removing action and quality parameters formation of the machine component processed surface at final abrasive processing methods is developed.

Structure and functional schemes allowing to establish relationship of primary and secondary parameters of final abrasive processing methods are presented.

Suggested structure scheme allows to determine study direction and the most important parameters influenced on operating abilities of automobile parts. It will allow to make an optimal choice of the processing method and to predict operating abilities of automobile parts. The optimal combination of primary parameters and their impact on the processing process is considered such combination, which provides maximum productivity (minimum cost price) at meeting all limitation requirements.

**AUTOMOBILE PARTS: OPERATING ABILITIES, METAL-REMOVING ACTION, PROCESSED SURFACE,  
FINAL ABRASIVE PROCESSING METHODS**

**Сведения об авторе**

**Е. П. Мельникова**

SPIN-код: 6737-6600

Телефон: +38 (050) 534-25-41

Эл. почта: melnikova\_adi@mail.ru

*Статья поступила 05.04.2016*

*© Е. П. Мельникова, 2017*

*Рецензент: Б. В. Намаконов, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»*