

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный аграрный университет»*

*На правах рукописи*



**Затин Ильдар Мирфаизович**

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ТОРЦОВ  
КОРПУСОВ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВС**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

**доктор технических наук, профессор**

**Шахов Владимир Александрович**

Оренбург 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Состояние вопроса о конструктивных особенностях и износах форсунок дизельных двигателей .....	9
1.1 Конструктивные особенности форсунок дизельных ДВС .....	9
1.1.1 Устройство отечественных форсунок .....	12
1.1.2 Устройство зарубежных форсунок .....	14
1.2 Влияние регулировки форсунки на топливную экономичность дизельных ДВС .....	17
1.3 Износы деталей форсунок .....	21
1.3.1 Корпус распылителя .....	21
1.3.2 Игла распылителя .....	24
1.4 Износ уплотнительного торца корпуса форсунки(УТКФ) и его влияния на топливную экономичность ДВС.....	28
1.5 Способы восстановления уплотнительного торца форсунки (УТКФ) и применяемая технологическая оснастка.....	34
Выводы по главе .....	38
2 Теоретические исследования шлифования и доводки уплотнительного торца корпуса форсунки .....	40
2.1 Теоретические исследования шлифования .....	40
2.1.1 Особенности процесса плоского шлифования .....	40
2.1.2 Кинематика плоского шлифования периферией круга .....	43
2.1.3 Качество поверхностного слоя детали при плоском шлифовании периферией круга .....	45
2.2 Теоретические исследования доводки уплотнительного торца корпуса форсунки .....	55
2.2.1 Теория механизированной доводки .....	48
2.2.2 Теоретический анализ траектории движения деталей по притиру .....	54
2.2.3 Обоснование кинематических параметров приспособления к доводочному станку.....	57
Выводы по главе .....	63
3 Программа и методика экспериментальных исследований .....	65
3.1 Методика экспериментальных исследований .....	65
3.1.1 Исследования износов уплотнительного торца корпуса форсунки .....	66
3.1.2 Исследование процесса механизированной обработки .....	

уплотнительного торца форсунки (УТКФ).....	74
3.1.3 Методика определения параметров шероховатости .....	78
3.1.4 Методика определения твердости .....	79
3.1.5 Исследование влияния состояния уплотнительного торца корпуса форсунки на качественные и экономические показатели форсунки .....	80
3.2 Планирование эксперимента .....	82
3.2.1 Методика проведения многофакторного эксперимента .....	82
3.2.2 Методика планирования эксперимента .....	83
3.2.3 Методика проведения лабораторных исследований .....	90
Выводы по главе	92
4 Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований ...	93
4.1 Анализ получения чистоты (шероховатости) поверхности при механизированной доводке уплотнительного торца корпуса форсунки.....	93
4.2 Анализ результатов лабораторных экспериментов	101
4.3 Анализ производственных экспериментов .....	102
4.3.1 Технология восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки .....	102
4.3.2 Результаты испытаний форсунок с восстановленным уплотнительным торцом корпуса в эксплуатационных условиях	103
Выводы по главе	106
5 Определение экономической эффективности предлагаемой технологии ремонта уплотнительного торца корпуса форсунки .....	108
5.1. Определение капитальных вложений для участка по восстановлению уплотнительного торца корпуса форсунки	108
5.2 Расчеты затрат на изготовление конструкций и приспособлений	109
5.3 Затраты на шлифование и доводку при восстановлении уплотнительных торцов корпусов форсунок .....	118
Выводы по главе	123
Общие выводы .....	124
Литература .....	127
Приложение .....	139

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в стране происходит техническое перевооружение сельскохозяйственного производства поставляется современная энерговооруженная техника

Поэтому необходимо еще больше уделять внимание хранению, техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственного парка тракторов, автомобилей и СХМ АО, МТС и агрохолдингов.

Современные тракторы, комбайны и автомобили оснащены мощными дизельными двигателями, обеспечить работоспособность которых при оптимальных затратах на ремонт и техническое обслуживание возможно лишь на основе выполнения комплекса организационных и технических мер с соблюдением технологических нормативов и высокой квалификации персонала.

Бесперебойная работа тракторных комбайновых и автомобильных двигателей во много зависит от исправности топливной аппаратуры, изготовленной с высокой точностью и чистотой поверхности. В процессе эксплуатации двигателей от 20 до 50% отказов приходится на систему питания по причине изнашивании деталей (особенно прецизионных плунжерных пар, распылителей, поверхности торца корпуса форсунки, нагнетательных клапанов и др.), а также несоблюдения условий технического обслуживания, нарушения правил регулировки при ремонте.

В результате износа изменяется количественная подача топлива, увеличивается неравномерность подачи, запаздывает момент впрыска, ухудшается качество распыливания топлива, впрыскиваемого форсунками.

При возникновении неисправностей и износах деталей топливной аппаратуры, снижается мощность, возникают трудности с запуском, дымность появляются перебои в работе цилиндров.

На техническое обслуживание и ремонт топливной аппаратуры затрачиваются большие материально-технические и трудовые ресурсы. И затраты увеличиваются, если ремонт сводится к замене некоторых деталей, а

часто из них с незначительными износами и дефектами, которые можно устранить, выбраковывается.

Снижение затрат на ремонт топливной аппаратуры во многом зависит от качества восстановления деталей и совершенствования технологии и технической оснастки, при этом повышается долговечность и увеличивается ресурс деталей и повышается производительность труда.

**Степень разработанности темы.** Изучению процесса изнашивания деталей машин в общем и применительно к форсункам автотракторных дизелей посвящены работы К.А. Аллекринского, Д.Д. Бакайкина, Р.М. Баширова, И.И. Габитова, Б.П. Загородских, А.В. Неговора, В.И. Трусова, В.А. Шахова и других авторов. Однако предложенные технологии восстановления УТКФ не обеспечивают повышение ресурса.

Исследования выполнялись в соответствии с программой научных исследований ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ № АААА-А17-117080110078-6 по теме: «Исследование процессов износа корпусов форсунок дизельных ДВС с целью повышения их ресурса».

**Цель исследования.** Повышение эффективности процесса восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок дизельных ДВС.

Для достижения цели работы поставлены следующие **задачи исследований.**

1. Выполнить обзор и обосновать направления повышения полного ресурса форсунок дизельных ДВС.
2. Провести исследования процесса износа уплотнительных торцов корпусов форсунок дизельных ДВС.
3. Теоретически обосновать и разработать приспособления для шлифования и доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок.
4. Разработать методику и провести лабораторные и производственные исследования по оценке послеремонтного ресурса ТККФ (форсунок) с учетом геометрии поверхности.

5. Определить экономическую эффективность разработанной технологии восстановления УТКФ.

**Объект исследования.** Процессы изнашивания и восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок шлифованием и доводкой.

**Предмет исследования.** Закономерности, характеризующие процессы восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок шлифованием и доводкой.

**Методология и методы исследования.** Методы и методология исследований опираются на современные информационные технологии, аналитические исследования процессов износа элементов топливной системы дизельных ДВС с применением законов физики, теоретической, материаловедения и технологии конструкционных материалов, теории вероятностей и математической статистики, теории планирования эксперимента.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования многофакторного эксперимента с использованием программных продуктов «Microsoft Excel», «Math CAD 10», «Statistica 6.10».

**Научная гипотеза:** увеличение полного ресурса форсунок и снижение себестоимости процесса восстановления УТКФ.

**Научная новизна работы:**

– выполнен анализ и систематизированы перспективные технологии и способы восстановления деталей форсунок дизельных ДВС.

– получены аналитические зависимости определения конструктивно-режимных параметров приспособления для доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок;

– установлены граничные значения режимов обработки и абразивного материала (круга) при шлифовании УТКФ с целью минимизации снимаемого материала и невозможности образования прижогов;

– обоснована возможность повышения долговечности форсунок автотракторных дизелей применением разработанной технологии и технологической оснастки.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

– теоретически обоснованы и разработаны приспособления для шлифования и доводки УТКФ;

– установленные в ходе экспериментальных исследований значения параметров процесса доводки позволяют увеличить долговечность и безотказность работы корпуса форсунки за счет минимизации снимаемого слоя материала;

– разработанная технология шлифования и доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок позволяет повысить их ресурс в 2 раза;

– разработано приспособление для шлифования и доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок (патент РФ на полезную модель №169926).

**Вклад автора в проведенное исследование.** Автор является основным исполнителем диссертационной работы. Исследования по установлению зависимостей для обоснования конструктивных параметров приспособления к станку при доводке уплотнительных торцов корпусов форсунок, разработке и изготовлению приспособления для определения величины износа, шлифования и последующей доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок, проведению экспериментальных исследований по влиянию динамических факторов в процессе механической доводки и установлению оптимальных значений для достижения требуемой шероховатости поверхности, проведению экспериментальных и эксплуатационных исследований и экономическому обоснованию выполнены лично автором.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– теоретические положения по обоснованию траектории движения деталей по притиру при доводке уплотнительных торцов корпусов форсунок;

- методика расчёта для определения оптимальных параметров динамических факторов, влияющих на шероховатость уплотнительных торцов корпусов форсунок при доводке на чугунном притире;
- результаты лабораторных исследований и производственных испытаний форсунок с восстановленными уплотнительными торцами корпусов форсунок;
- результаты технико-экономических расчетов внедрения предложенной технологии и технологической оснастки при восстановлении уплотнительных торцов корпусов форсунок.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных (кафедра «Технический сервис» ФГБОУ ВО ОГАУ) и производственных условиях (ООО «Никольская сельхозтехника» Сакмарского района), а также соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами; воспроизводимостью результатов в пределах точности эксперимента, согласием результатов проведенных экспериментов с данными независимых опытов в диапазоне совпадения параметров, удовлетворительным согласием с расчетами по теоретическим моделям.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на международном конгрессе «Сельское хозяйство-драйвер российской экономики» (Санкт Петербург – 2016 г.), международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» (Оренбург – 2013–2017 гг.), представлены и отмечены дипломом победителя (бронзовая медаль) Российской агропромышленной выставки «Золотая осень – 2016» (Москва, ВДНХ), «За внедрение ресурсосберегающих технологий и оборудования при ремонте сельскохозяйственной техники».

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе пять в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ на полезную модель № 169926.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников литературы (118 наименований) и приложений. Работа изложена на 138 страницах и включает 13 таблиц, 50 рисунков, 12 приложений.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ И ИЗНОСАХ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

## 1.1 Конструктивные особенности форсунок дизельных ДВС

Форсунки дизельных ДВС предназначены для введения топлива в камеру сгорания и распыливания его в воздушном заряде. Форсунки вместе с топливными насосами высокого давления должны:

- при объемном смесеобразовании обеспечивать хорошую дисперсность распыливания, характеризующуюся мелкими и одноразмерными каплями, и получение необходимой дальнобойности распыленной струи топлива;
- при объемно-пленочном и пленочном смесеобразовании подавать топливо в пристеночный объем или на стенку камеры;
- распределять вводимое топливо по всему объему камеры сгорания в соответствии с типом камеры сгорания и способом смесеобразования;
- обеспечить высокие давления впрыска топлива в начале и в конце подачи и средние давления впрыска;
- иметь простую конструкцию и возможно меньше подвижных деталей;
- создавать минимальное гидравлическое сопротивление топливу;
- иметь минимальные габаритные размеры с тем, чтобы занимать как можно меньше места в крышках цилиндров и головках дизелей;
- иметь не высокую стоимость изготовления;
- быть надежным и в работе и простыми в обслуживании.

В настоящее время существует большое разнообразие форсунок, отличающихся как по принципу работы, так и по конструктивному оформлению [13,14,18,19,22,31,38,64,66,83,101,102,115,116,118]. В дизелях применяют следующие форсунки: открытые, клапанно-сопловые, клапанные, мембранные, форсунки с запорной иглой: бесштифтовые, аккумулирующие форсунки (рисунок 1.1).

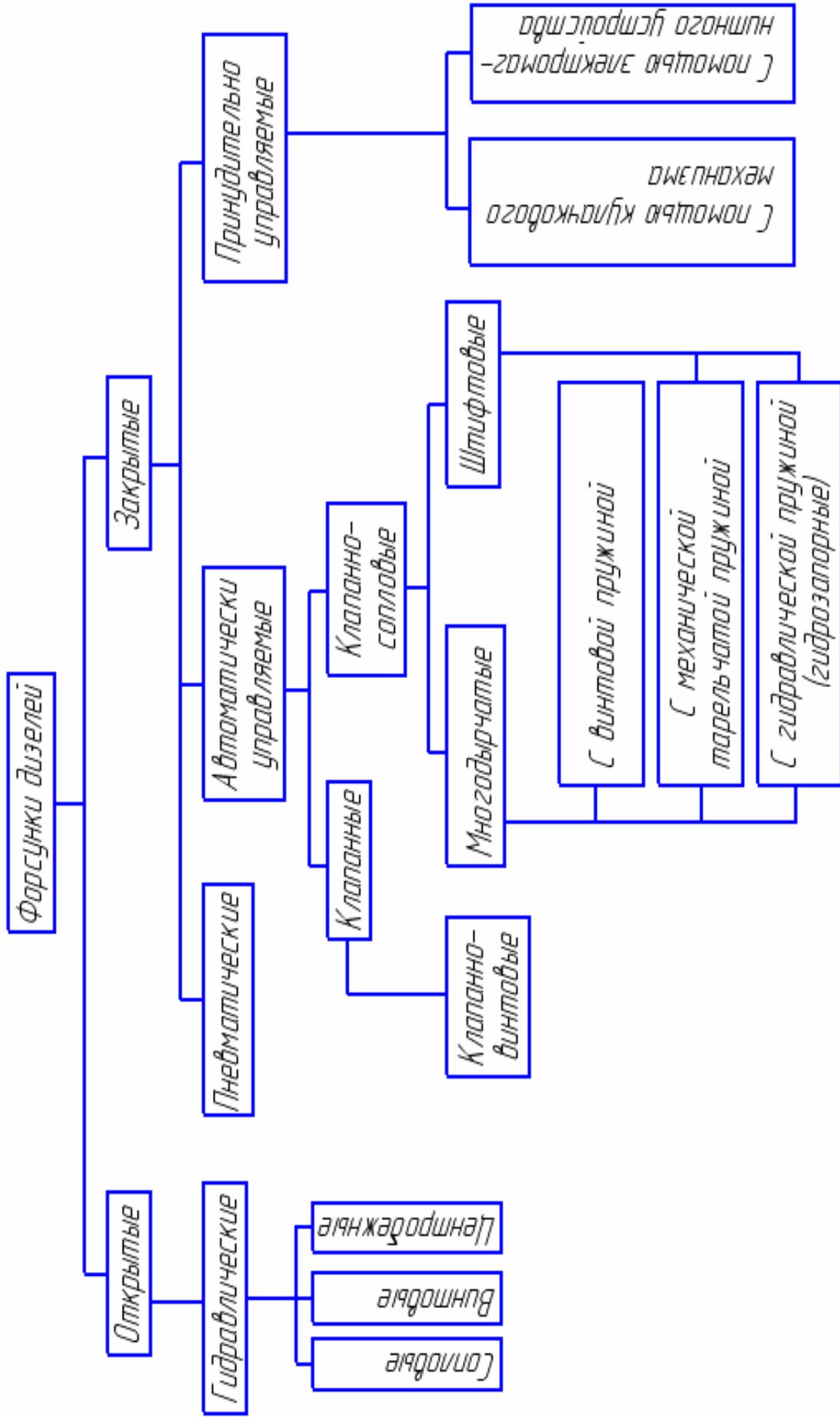


Рисунок 1.1 - Типы форсунок

В сельском хозяйстве на автотракторных дизельных ДВС применяют форсунки непосредственного впрыска - с бесштифтовыми многодырчатыми распылителями. (рисунок 1.2).

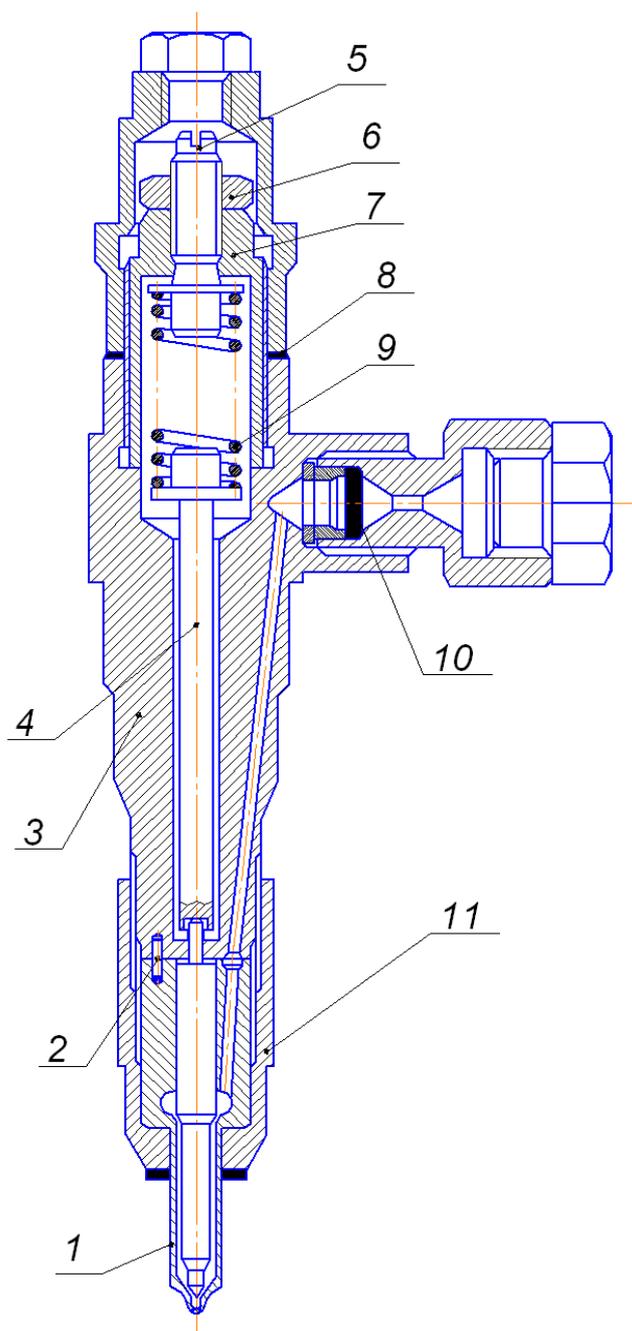


Рисунок 1.2 - Форсунка с бесштифтовым многодырчатым распылителем; 1-распылитель; 2- установочный штифт; 3- корпус форсунки; 4-штанга; 5- регулировочный винт; 6-контрагайка; 7-гайка пружины; 8-прокладки; 9- пружина; 10-фильтр; 11-гайка распылителя.

### 1.1.1 Устройство отечественных форсунок

Отечественные многодырчатые форсунки 6Т2, 6А1, ФД-22 имеют угловую фиксацию распылителя относительно корпуса с помощью штифта и одну и ту же принципиальную схему [9,14,17,40,83, 115,116,118].

Габаритные и присоединительные размеры форсунок регламентируются согласно ГОСТ [34,35], в котором предусмотрен ряд установочных диаметров: 17, 22, 24, 25 мм. Длина 122 - 222 мм. Биение носика распылителя относительно установочного диаметра не должно превышать 0,3 мм. Требования к месту установки форсунок в головках тракторных и комбайновых дизелей регламентируются согласно ГОСТ [36].

Для тракторных и комбайновых двигателей разработана модификация форсунки ФДМ-22, имеющей центровку в головке по корпусу форсунки и модернизированный узел регулировки усилия затяжки иглы форсунки. А также форсунки МДФ с установочным диаметром 22 мм (предусматривается модификация с установочным диаметром 17 мм и  $d_n = 4,5$  мм), имеющей нижнее расположение пружины и укороченную штангу, крепление накидной скобой и уменьшенную до 0,4 кг массу (масса форсунки ФД-22 - 0,75 кг).

**Форсунка марки 14-69-117-1СП** (двигатель Д-108), бесштифтовая, многодырчатая, закрытого типа. Она свободно вставлена в бронзовую втулку, расположенную в головке блока и закреплена прижимными скобами [19,22].

Устройство форсунки показано на рисунке 1.3. Корпус 9 изготовлен из стали 45. Нижний торец корпуса 9 тщательно обработан, снизу крепится нажимной гайкой 6 распылитель 5 с иглой 2. Распылитель и игла подбираются друг к другу так, чтобы зазор между ними был равен 0,001—0,002 мм, и так же, как плунжер с гильзой, являются невзаимозаменяемой парой. На конусной части (носике) распылителя просверлены пять распыливающих отверстий 1 диаметром 0,35 мм. Игла распылителя закрывает эти отверстия своей конической частью. В собранной форсунке между верхним торцом иглы и нижним торцом корпуса имеется зазор  $0,45 \pm$

0,05 мм, величина которого определяет подъем иглы во время впрыска топлива. Пружина 10 через нажимной штифт 7 прижимает иглу к конической поверхности с распыливающими отверстиями. Усилие пружины регулируется винтом 12 с контргайкой 11. В колпачок 13 на регулировочном винте вворачивается штуцер 14, закрепляющий трубку для отвода топлива, просочившегося через зазор между иглой и корпусом распылителя. В корпус форсунки входит подводящий штуцер 17, внутри которого расположен щелевой фильтр 18 с размером щели 0,02—0,04 мм.

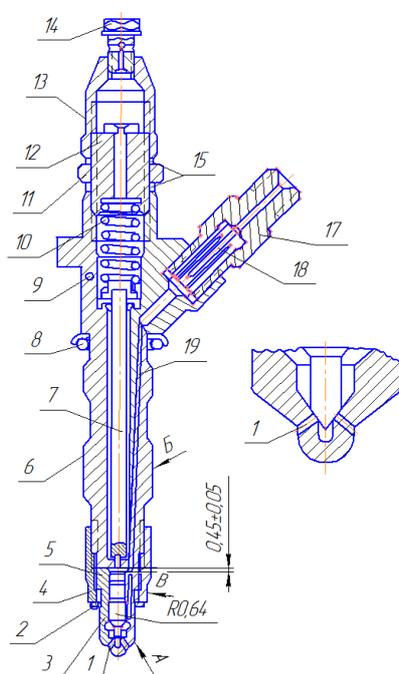


Рисунок 1.3 - Форсунка двигателя Д-108;  
 1 – распыливающие отверстия;  
 2 – игла распылителя; 3 – уплотнительные прокладки; 4 – корпус распылителя;  
 5 – нажимная гайка; 6 – нажимной штифт;  
 7 – корпус форсунки; 8 - уплотнительное кольцо; 9 - пружина; 10 – регулировочный винт; 11 – колпак форсунки; 12 – штуцер;  
 13 – штуцер; 14 - щелевой фильтр;

Между торцом нажимной гайки и дном бронзовой втулки установлено медное уплотнительное кольцо 3, которое конусной поверхностью должно касаться нажимной гайки. Для исключения попадания грязи, масла и воды во втулку форсунки установлено резиновое уплотнительное кольцо 8.

**Форсунка 216.1112010А.** (двигатель Камаз-740) Форсунка закрытого типа с распылителем и гидравлически управляемой иглой. Все детали форсунки размещены в корпусе. К нижнему торцу корпуса гайкой присоединены проставка и корпус распылителя, внутри которого находится игла. Корпус и игла распылителя составляют прецизионную пару.

Распылитель имеет четыре сопловых отверстия. Проставка и корпус зафиксированы относительно корпуса штифтами. Пружина одним концом упирается в штангу, передающую усилие от пружины к игле распылителя, а другим в набор регулировочных шайб [64,83,102].

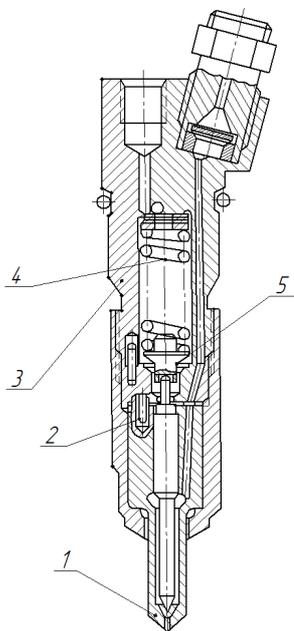


Рисунок 1.4 – форсунка КАМАЗ -740;  
1-распылитель; 2- установочный штифт; 3- корпус форсунки; 4- пружина; 5-шайба упорная;

Просочившееся через зазор между иглой и корпусом распылителя топливо отводится из форсунки через каналы в корпусе. Форсунки установлены в головке цилиндров и закреплены скобой. Торец гайки распылителя уплотнен от прорыва газов медной гофрированной и стальной шайбами. Уплотнительное кольцо предохраняет полость между форсункой и головкой цилиндра от попадания пыли и воды.

### 1.1.2 Устройство зарубежных форсунок

Фирмой «Р. Бош» выпускаются штифтовые и многодырчатые форсунки с установочными диаметрами 17, 21, 25, 26 мм. Корпуса форсунок могут иметь центральный и боковой подвод топлива [17,114].

Основными конструктивными особенностями форсунок являются нижнее расположение пружины с короткой проставкой между пружиной и хвостовиком иглы (бесштанговая конструкция), наличие проставки с прецизионными плоскостями между корпусом и распылителем, регулировка

давления начала подъема иглы шайбами, подкладываемыми под торец пружины (рисунок 1.5). В форсунках могут устанавливаться щелевые фильтры.

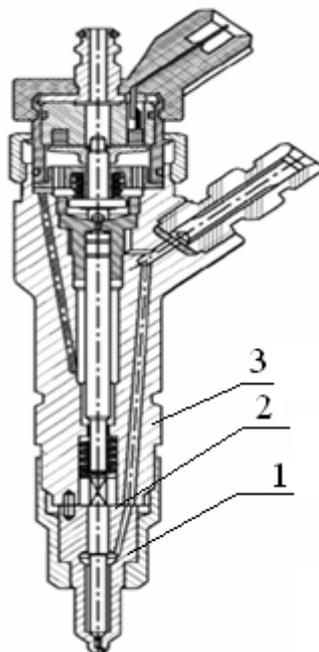


Рисунок 1.5 - Форсунки фирмы «Р. Бош»

1– распылитель; 2- уплотнительный торец корпуса форсунки; 3- корпус форсунки.

Фирма «Р. Бош» выпускает штифтовые распылители двух типов с различным входом цилиндрической части штифта в корпус. При увеличенном значении  $\gamma_{\text{ц}}$  имеет место ступенчатое впрыскивание топлива. В зависимости от типа корпуса момент затяжки гайки, крепящей распылитель к корпусу, варьируется в пределах 40 - 80 Н-м, а момент затяжки гайки нагнетательного трубопровода составляет 15 - 25 Н-м. Давление открытия иглы штифтовых форсунок составляет 13 - 18 МПа. Жесткость пружины варьируется в пределах 241—302 Н/мм. [18,38,102,108].

**Двухпружинные форсунки.** Для снижения уровня шума в двигателях с непосредственным впрыском, особенно на холостом ходу, применяются двухпружинные форсунки со "слабой" пружиной, жёсткость которой определяет, так называемый, предварительный впрыск распылителя, и

пружиной "мощной", которая определяет полное открытие распылителя. Во время впрыска, игла сначала приподнимается на небольшую высоту, даёт возможность впрыснуть небольшое количество топлива, а когда давление в распылителе увеличится, игла поднимается на полный ход и происходит впрыск основного количества топлива (рисунок 1.6) [18,101,108,114].

Слабая пружина поддерживается опорной втулкой, которая определяет предварительный ход иглы распылителя (так же, как втулка в форсунках с одной пружиной), составляющий от 0,03 до 0,06 мм. Вместе с ростом давления топлива в форсунке, опорная втулка начинает подниматься, разрешая дальнейшее движение иглы распылителя вверх.

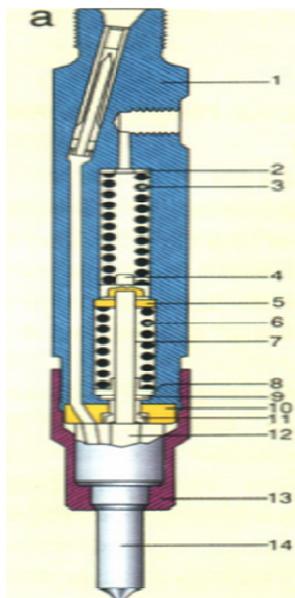


Рисунок 1.6 - Двухпружинные форсунки

1- корпус форсунки; 2, 9 - регулировочные шайбы; 3 - мощная шайба; 4- грибок мощной пружины; 5- шайба, направляющая толкатель форсунки; 6- слабая пружина; 7- толкатель форсунки; 8- грибок слабой пружины; 10- проставка; 11- опорная втулка; 12- игла распылителя; 13- гайка распылителя; 14- распылитель.

Очень важно выдержать соответствие давлений открытия форсунки, например: 130 и 180 бар, а также величину предварительного хода.

В двухпружинных форсунках устанавливаются распылители типоразмера "Р", с иглой без верхнего штифта, а опорная плоскость находится в плоскости проставки форсунки.

Двухпружинные форсунки можно встретить на двигателях фирмы John Deere. А также Mercedes с форкамерами и с вихревыми камерами.

**Ч-образные форсунки.** Оригинальную конструкцию имеют форсунки с диаметром корпуса 9,5 мм, так называемые Ч-образные форсунки, производимые только одной американской фирмой - STANADYNE. Они комплектуются чаще всего дырчатыми распылителями с диаметром 5,4 мм. В форсунках STANADYNE регулируется ход иглы и, с помощью регулировочного винта, давление открытия распылителя[17,114].

Такие форсунки применяются в двигателях фирмы John Deere (рисунок 1.7).

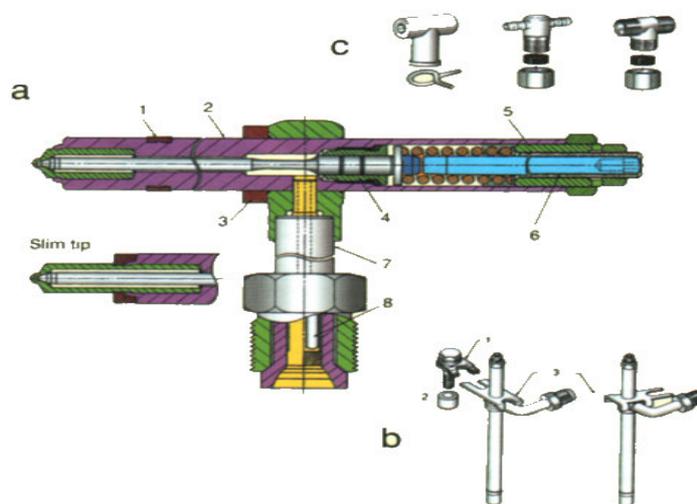


Рисунок 1.7 - Форсунка Ч-образная STANADYNE с коротким дырчатым распылителем типа "Tip" и удлиненным - типа "Slim Tip";

1 - тефлоновый уплотнитель, предохраняющий от прорыва продуктов сгорания и сжатого воздуха; 2 - корпус форсунки; 3 - нейлоновый уплотнитель, предохраняющий от воды и загрязнений; 4 - направляющая иглы распылителя; 5 - регулировка давления открывания; 6 - регулировка хода иглы; 7 - патрубок; 8 - элемент щелевого фильтра;

1 (b) - закрепляющий хомут; 2 (b) - проставка; 3 (b) - пластинка определяющая положение форсунки.

## 1.2 Влияние регулировки форсунки на топливную экономичность дизельных ДВС

Во время работы двигателя в топливной аппаратуре возникают неисправности отдельных узлов и механизмов из-за износа деталей;

нарушаются регулировки; изменяется расположение деталей, накапливаются посторонние отложения в виде кокса, смол, грязи и др.

При этом, качество топлива (чистота) оказывает наибольшее влияние на долговечность всех деталей, а главным образом на прецизионные (сверхточные – плунжерная пара, распылитель, нагнетательный клапан). При плохом хранении горючего и небрежной заправке вместе с топливом вносятся мельчайшие механические частицы пыли и воды. Они попадают в сопряжения прецизионных деталей топливной аппаратуры и сравнительно быстро их выводят из строя [64].

Неисправности узлов и дефекты деталей топливоподающей аппаратуры нарушают работу двигателя и снижают его технико-экономические показатели.

Наиболее слабым узлом топливной аппаратуры является форсунка, у которой быстрее других узлов нарушаются регулировки и рабочие показатели.

Форсунку дизельного двигателя внутреннего сгорания контролируют и регулируют по следующим показателям: мелкость распыления топлива, гидравлическая плотность сопряжения цилиндрической поверхности иглы с корпусом распылителя, герметичность прилегания запирающего конуса иглы к конусу корпуса распылителя, давления начала впрыска топлива (начала подъема иглы распылителя), ход иглы пропускная способность [16,19,22,28,29].

Под мелкостью распыливания подразумевают диаметр частиц и их распределение по факелу распыленного топлива.

Гидравлическая плотность форсунки – это способность сопрягающихся поверхностей сопротивляться просачиванию между ними жидкости (топлива).

Герметичность запирающих конусов – это способность конусов удерживать топливо от просачивания между контактирующими поверхностями при заданном перепаде давления.

Давление начала впрыска топлива – это давление топлива в начале на входе в форсунку в момент начала выхода струи топлива из распылителя форсунки (в момент открытия распылителя) [29,46].

Пропускная способность – это величина, характеризующая гидравлическое сопротивление форсунки прохождению топлива во время работы [58].

Ход иглы распылителя форсунки – это величина перемещения иглы от закрытого положения до положения на упоре в торец корпуса форсунки [58].

Основные структурные и диагностические параметры и признаки состояния форсунки представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные структурные и диагностические параметры и признаки состояния форсунки.

Агрегат (узел)	Структурные параметры	Диагностические параметры и признаки	Технические средства диагностирования
форсунка	Характеристика эффективного проходного сечения сопл. распылителя	Дымность отработавших газов.	Дымомер Устройство КИ-9917
		Мелкость распыливания топлива	Максиметр (электронный прибор)
	Ход иглы	Давление впрыска топлива.	(установка)
	Плотность прилегания запирающих конусов распылителя	Осциллограмма давления впрыска	
		Звучность	
Зазор между иглой и направляющим отверстием распылителя	Вибрация	Прибор вибрационной диагностики.	

Основным регулировочным параметром, влияющим на топливную экономичность двигателя, является давление начала впрыска топлива. Однако при длительной работе форсунок жесткость пружин постепенно снижается. По данным кафедры «Технический сервис и технология конструкционных материалов» Саратовского ГАУ им. Вавилова, жесткость снижается на 5 - 8 кгс/м, после наработки трактором 2500 - 3000 мото-часов. В результате этого снижается давление впрыска, увеличивается пропускная способность форсунки и возрастает неравномерность подачи топлива.

В процессе эксплуатации у новых форсунок или распылителей сравнительно быстро снижается давление начала впрыска. Примерно через 150...200 ч. работы двигателя давление начала впрыска топлива снижается на 3,5...4,5 МПа, после чего этот процесс замедляется [9,30].

В результате работы форсунки на пониженном давлении впрыска мощность двигателя снижается в среднем на 10... 15%, увеличивается расход топлива, образуется нагар и закоксовывается распылитель. Причиной этого служит износ поверхностей деталей форсунки. Заусенцы и микронеровности, которые есть на поверхности новых или мало работавших деталей, в процессе работы форсунки истираются, т.е. взаимно прирабатываются сопряженные детали и быстро снижается давление начала впрыска. В результате увеличивается зазор между иглой и стенкой направляющего отверстия корпуса распылителя, плотность которого снижается, и топливо интенсивно просачивается вдоль иглы [9,30,46].

Значительному износу у корпуса распылителя подвергается запорный конус, уплотненный металл выглядит кольцевой канавкой. Причины износа, как и у запорного конуса иглы - ударная нагрузка пружины форсунки и абразивное действие имеющихся в топливе твердых частиц.

Огромное количество ударов иглы с большой нагрузкой от пружины форсунки воспринимается небольшим притертым пояском (шириной 0,2...0,25 мм) на игле и запорной фаске корпуса распылителя. Металл при такой большой нагрузке претерпевает наклеп, поверхность его уплотняется,

происходят явления усталости металла, при этом микрообъемы шелушатся, а проходящее с большой скоростью топливо вместе с твердыми абразивными частицами в момент впрыска смывает оставшиеся частицы металла [9,46].

Глубина изношенной поверхности седла в среднем достигается 0,05...0,08 мм. В результате износа запорных поверхностей игла проседает, увеличивается высота ее подъема, ухудшается герметичность сопряжения, суммарный износ седла распылителя и запорного конуса дает проседание иглы в пределах 0,15... 0,2мм, причем смещается распиливающий конус относительно кромки соплового отверстия и игла не оказывает должного воздействия на струю топлива. Поэтому качество распыла топлива ухудшается, а нарушение плотности сопряжения приводит к подтеканию распылителя. При работе двигателя этот дефект проявляется дымным выхлопом и увеличением расхода топлива [64,102,103].

### 1.3 Износы деталей форсунок

#### 1.3.1 Корпус распылителя

Распылитель форсунки в сборе (рисунок 1.8) состоит из корпуса, который изготавливают из стали 18Х2Н4ВА, HRC 56...60, и иглы из стали Р18, HRC 60...65. Поверхности корпуса распылителя изнашиваются по направляющему отверстию, запорному гнезду и сопловому отверстию.

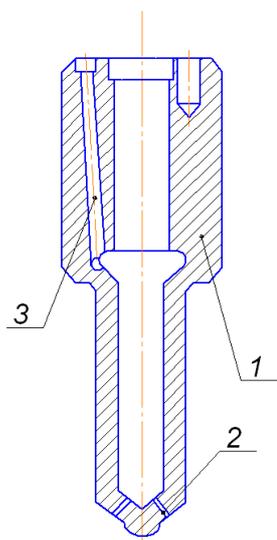


Рисунок 1.8 – Корпус распылителя;  
1 - корпус; 2 – сопло распылителя;  
3 – топливный канал.

Направляющее отверстие корпуса распылителя изнашивается подобно сопряженной с ней поверхности иглы. Цилиндрическое отверстие становится коническим, большее основание конуса направлено к нижнему торцу распылителя, износ у нижней кромки отверстия достигает 0,003...0,005 мм. Характер микрорельефа изношенной поверхности одинаков с иглой, так как износ вызывают одни причины [13,14,22].

Значительному износу у корпуса распылителя подвергается запорный конус, уплотненный металл выглядит кольцевой канавкой. Причины износа такие же, как и у запорного конуса иглы.

Глубина изношенной поверхности седла в среднем достигает 0,05...0,08 мм. В результате износа запорных поверхностей игла проседает, увеличивается высота ее подъема, ухудшается герметичность сопряжения. Суммарный износ седла распылителя и запорного конуса дает проседание иглы в пределах 0,15...0,2 мм, причем смешается распыливающий конус относительно кромки соплового отверстия и штифт не оказывает должного воздействия на струю топлива. Поэтому качество распыла топлива ухудшается, а нарушение плотности сопряжения приводит к подтеканию распылителя. При работе двигателя этот дефект проявляется дымным выхлопом и незначительным увеличением расхода топлива [62,76,91,99].

Сопловое отверстие корпуса распылителя подвергается сильному износу, цилиндрическая форма его нарушается, диаметр увеличивается, выходные кромки закругляются, на стенах отверстия образуются бороздки.

Диаметр отверстия увеличивается на 0,029...0,078 мм, следовательно, сопловое отверстие претерпевает больший износ, чем сопряженный с ним штифт иглы. Наиболее изнашиваются кромки отверстия, особенно выходные, отчего ухудшается распыл топлива [91,101].

У многодырчатых распылителей изнашиваются следующие рабочие поверхности: направляющие отверстия к сопряженным с ними цилиндрическая поверхность иглы, сопловые отверстия, запорный конус.

Многодырчатые распылители тракторных и автомобильных дизелей

подвержены постепенным и внезапным отказам. К постепенным отказам следует отнести абразивное изнашивание поверхностей направляющего отверстия и запорного конуса деталей распылителей. К внезапным отказам относится нарушение подвижности игл, вызванное изнашиванием при заедании. Проникновение горячих газов, внутрь корпуса распылителя создаст благоприятные условия для осмоления рабочих поверхностей сопряжения и отложения кокса. Это приводит к уменьшению зазора между поверхностями корпуса и иглы, что обуславливает повышение трения и нарушение подвижности иглы [6,13,46,103].

В процессе сборки форсунки и установки ее в головку двигателя возникают деформации рабочих поверхностей корпуса распылителя, обусловленных монтажными усилиями.

В процессе работы распылители нагреваются до температуры, превышающей 180°C, что приводит к снижению поверхностной твердости.

Деформация корпуса распылителя может возникнуть при креплении распылителя гайкой к корпусу форсунки, при закреплении форсунки на головке двигателя, а также вследствие температурных деформаций головки двигателя во время его работы. Деформация направляющей распылителя вследствие указанных факторов может достигнуть 3-5 мкм, а искривление оси корпуса распылителя 5-25 мкм. Основными мероприятиями, уменьшающими деформацию корпуса распылителя, являются уменьшение жесткости гайки с целью компенсации неточностей изготовления; ужесточение допуска на неперпендикулярность опорного торца гайки к оси резьбы (не более 0,04 мм) и исключение контакта гайки с корпусом распылителя по галтели в месте перехода носика корпуса в утолщенную часть корпуса распылителя и перекосов форсунки при креплении в канале головки двигателя [6,9,].

Для уменьшения деформаций корпуса распылителя регламентируется момент затяжки гайки распылителя (таблица 1.2).

Из применяемых в настоящее время способов крепления форсунки

наилучшую центровку обеспечивает вариант крепления центральной нажимной гайкой, хуже крепление накидной скобой, а наихудшую вариант крепления фланцем с помощью шпилек, так как в эксплуатации трудно обеспечить одинаковую затяжку гаек шпилек и исключить перекося форсунки.

Таблица 1.2 - Момент затяжки гайки распылителя

Модель форсунки	6Т2	6А1	ФД-22	267-02
Момент затяжки, Н*м	90	90-100	60±10	70-80

Для уменьшения требуемых усилий, уплотняющих газовый стык между форсункой и головкой, необходимо применять для уплотнения мягкую прокладку из отожженной меди. В последнее время находят применение каркасные фторопластовые прокладки, одновременно являющиеся тепловым экраном. Следует также обеспечить необходимый зазор между носиком распылителя и каналом в головке с тем, чтобы исключить при возможных перекашиваниях форсунки контакт носика распылителя с поверхностью канала головки. Однако при увеличении зазора между носиком и поверхностью канала увеличивается температура распылителя [6,62].

### 1.3.2 Игла распылителя

Игла распылителя. У иглы изнашиваются следующие поверхности: направляющая часть 3, запорный конус 4, верхнее заплеечико 2 и верхний торец хвостовика 1 (рисунок 1.9).

Направляющая поверхность иглы изнашивается с нижней стороны. Величина износа составляет 0,001... 0,003 мм. В результате цилиндрическая поверхность приобретает коническую форму (распылитель РШ6-2Х250) [46].

К наиболее слабым местам иглы относится запорный конус, особенно поддающийся износу. Запорная поверхность иглы воспринимает ударную

нагрузку пружины форсунки и абразивное действие имеющихся в топливе твердых частиц.

Огромное количество ударов иглы с большой нагрузкой от пружины форсунки воспринимается небольшим притертым пояском (шириной 0,2...0,25 мм) на игле и запорной фаске корпуса распылителя. Металл при такой большой нагрузке претерпевает наклеп, поверхность его уплотняется, происходят явления усталости металла, при этом микрообъемы шелушатся, а проходящее с большой скоростью топливо вместе с твердыми абразивными частицами в момент впрыска смывает отставшие частицы металла.

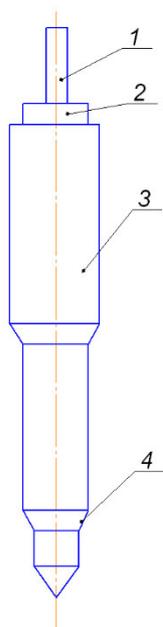


Рисунок 1.9 - Места износа поверхности иглы:  
1-торец хвостовика, 2-верхнее заплечико, 3- направляющая часть, 4- запорный конус

Поверхность запорного конуса иглы изнашивается неравномерно: больше (0,07...0,08 мм) - в средней части, меньше (0,055...0,06 мм) - у нижнего основания и еще меньше (0,04...0,075 мм) - у верхнего [6,46].

Вследствие износа поверхности запорного конуса иглы, а также сопрягаемого с ним седла корпуса распылителя нарушается плотность прилегания их. Топливо у распылителя при закрытой игле до и после впрыска подтекает с последующим нагарообразованием. Так как фаза горения у двигателя короткая (в 10 раз короче, чем у карбюраторного), то крупные капли не успевают сгореть и образуют кокс, нагар на деталях распылителя, поршне и компрессионных кольцах. Значительный износ

запорной части настолько нарушает герметичность посадки иглы, что газы из камеры сгорания прорываются внутрь распылителя, отчего детали перегреваются и обычно игла заедает от коробления или закоксовывания.

В эксплуатационных условиях подтекание распылителя проявляется дымным выхлопом и снижением мощности двигателя [23].

Наибольшему износу на цилиндрических поверхностях иглы подвергается штифт. Поверхность его из цилиндрической становится конической, меньшее основание конуса направлено в сторону нижнего торца. На нижнем конце штифт по диаметру изнашивается на 0,025...0,03 мм, а верхней части - на 0,01...0,12 мм по диаметру [6].

Гидроабразивным износом охватывается участок штифта, находящийся в кольцевой щели между стенками соплового отверстия, поэтому длина бороздок и гребешков штифта равна толщине стенки соплового отверстия корпуса распылителя.

Присутствие на поверхностях штифта и стенках соплового отверстия гребешков с острыми вершинами способствует образованию при впрыске отдельных струе» и такой распыл обычно называют струйным. Он обуславливает нагарообразование на распылителе, поршне и камере сгорания.

Необходимо отметить, что штифт иглы омывается горячими газами камеры сгорания, где при наличии активных кислот процесс коррозии протекает более интенсивно, и поверхность штифта, поэтому сильно разрушается [22,75].

В процессе эксплуатации топливной аппаратуры распыливающий конус изнашивается медленно. Характер износа напоминает кольцевую впадину незначительной глубины, размещенную в середине образующей поверхности конуса. Наибольшая величина износа 0,027... 0,029 мм, по диаметру находится и средней части конуса, верхнее (меньшее) основание конуса изнашивается на 0,015...0,017 мм; износ нижнего основания конуса (на кромке) составляет 0,005...0,000 мм (РШС-2Х250, двигатель Д-240) [6].

Большой износ в средней части поверхности распыливающего конуса определяется характером работы штифтового распылителя: удар топливной струй приходится на среднюю часть поверхности конуса; абразивные частицы, находящиеся в топливе, снимают микростружку, оставляя риски на металле, которые постепенно размываются [6,62].

Износ распыливающего конуса нарастает вместе с увеличением частоты подъема иглы, происходящего в результате износа нижнего торца корпуса форсунки, верхнего заплечика иглы и запорных поверхностей распылителя. Рост износа распыливающего конуса объясняется в этом случае увеличением скорости движения струи топлива в суженной сопловой щели.

Во время работы форсунки игла совершает большое количество подъемов и опусканий, верхний торец направляющей части иглы в момент подъема ударяется о нижний торец корпуса форсунки. Значительная ударная нагрузка, сосредоточенная на малой кольцевой площадке верхнего торца иглы, ведет к износу, сопряженных поверхностей в виде наклепа металла.

Промерами установлено, что износ лежит в пределах 0,045...0,068 мм, подрезка торца в  $90^\circ$  к оси иглы нарушается на  $6...8^\circ$ . Изношенная поверхность занимает примерно  $2/3$  всей плоскости верхнего торца и выглядит кольцевой канавкой матового оттенка [62].

От смятия верхнего торца иглы на кромке образуются заусенцы, которые иногда вызывают зависание иглы в направляющем отверстии распылителя.

Суммарный износ торца направляющей поверхности иглы, нижнего торца корпуса форсунки и запорных конусов распылителя увеличивает высоту подъема иглы на 0,16...0,31 мм (наработку 5000 мото-ч). Предельная высота подъема иглы доходит до 0,7 мм вместо устанавливаемой заводом 0,35...0,42 мм, в связи с чем скорость опускания иглы увеличивается. Поэтому относительно быстро разбивается запорная часть распылителя и прогрессивно нарастает износ распыливающего конуса [46,62].

#### 1.4 Износ уплотнительного торца корпуса форсунки (УТКФ) и его влияние на топливную экономичность ДВС

В процессе эксплуатации наряду с износом корпуса распылителя и уплотнительного конуса иглы распылителя большому износу подвергается нижняя плоскость корпуса форсунки (рисунок 1.10), в которую ударяется игла в момент подъема. Уплотнительный торец корпуса по кольцевой площадке сопрягается с корпусом распылителя, выполнен точно и обработан притиркой, причем плоскость его расположена строго под углом 90° по отношению к геометрической оси корпуса форсунки. При работе форсунки игла распылителя совершает большое количество подъемов и опусканий особенно на малых оборотах двигателя, когда распылитель дает дробящий впрыск. При этом за один ход плунжера совершает 12-14 колебаний. Так как давление впрыска большое (у большинства штифтовых форсунок в пределах 125-130 кгс/см, у многих дырчатых -150-170 кгс/см), а нагрузка воспринимается небольшой кольцевой площадкой уплотнительного УТКФ, но эта поверхность быстро изнашивается.

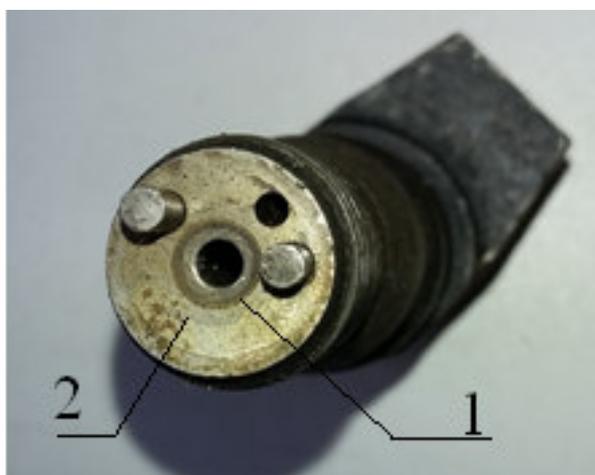


Рисунок 1.10 - Основные места износа плоскости торца корпуса форсунки: 1- место удара иглы распылителя; 2- уплотнительный торец.

Глубина износа достигает 0,10...0,15 мм. Если учесть, тот факт, что торец иглы ударяющийся в корпус, тоже изнашивается то суммарный износ названных поверхностей может достигать 0,25мм [64]. С учетом износа запорных конусов иглы и корпуса распылителя величина хода иглы

достигает 0,6-0,7мм (нормально 0,35... 0,42 мм) [64].

Увеличение хода иглы распылителя приводит к ряду нарушений в нормальной работе форсунки. Так как увеличение хода приводит к увеличению величины эффективного проходного сечения распылителя  $Mpfc$  [102] на рисунке 8 представлена зависимость изменения эффективного проходного сечения от хода иглы [102].

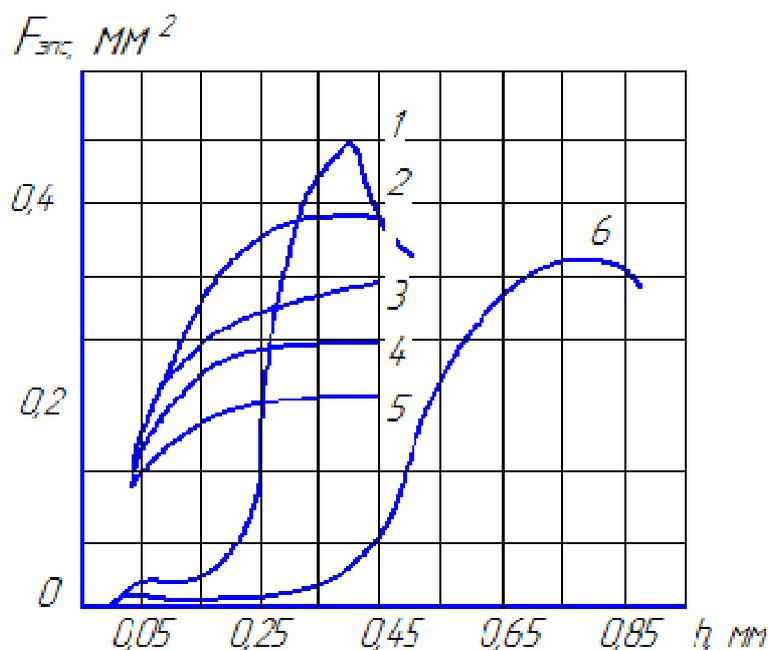


Рисунок 1.11 - Гидравлические характеристики распылителей.

1-штифтовых НЗТА; 2,3-многодырчатых, двигателей ЯМЗ; 4-двигателя Д-240; 5- двигателя Д-37Е; 6-СА

Увеличение эффективного проходного сечения связано с увеличением проходной площади  $fc$  под иглой распылителя, т.к. величина  $Mp$ -коэффициент расхода распылителя форсунки, остается величиной постоянной. Величина  $fc$ , находится по формуле [46].

$$fc = \Pi \left( d_1 - \frac{h_u}{2} \sin 2\alpha \right) h_u \sin \alpha \quad (1.1)$$

где  $d_1$ - диаметр предсоплового канала, м.;

$h_u$  - высота подъема иглы, м.;

$\alpha$  - угол конуса иглы.

Для форсунки с запорной иглой характеристики будут иметь следующий вид [64]:

Перепад давления:

$$P - P_a = \frac{Q^2 P}{2} \left[ \frac{1}{(\mu_p f_c)^2} + \frac{1}{(\mu_c f_c)^2} \right] \quad (1.2)$$

где:  $P$  - давление в полости форсунки,  $Па$ ;

$P_z$  - среднее противодавление среды,  $Па$ ;

$Q$  - расход топлива через форсунку,  $м^3/с$ .;

$\mu_p f_c$  - эффективное проходное сечение под иглой,  $м^2$ ;

$\mu_c f_c$  - эффективное проходное сечение сопел форсунки,  $м^2$ ;

Уравнение статического равновесия:

$$\frac{\pi}{4} [P_{i0} (d_u^2 - d_o^2) + P_z d_o^2] + \tilde{N}_u h_u = \frac{\pi}{4} [P (d_u^2 - d_i^2) + P_1 d_o^2] \quad (1.3)$$

где:  $P_{оф}$  - давление начала подъема иглы,  $Па$ ;

$d_u$  - диаметр иглы,  $м$ ;

$d_{ш}$  - диаметр наконечника иглы,  $м$ ;

$C_n$  - жесткость пружины иглы форсунки;

$h_u$  - текущие значения подъема иглы,  $м$ ;

$P$  - давление под иглой,  $Па$ ;

$$P_1 = \frac{(\mu_p f_c)^2 P + (\mu_c f_c)^2 P_z}{(\mu_p f_c)^2 + (\mu_k f_k)^2} \quad (1.4)$$

Характеристики вычисляются методом подстановки. Для этого задаются несколькими значениями  $h_u$ , для которых определяют  $f_c$ , затем находят  $P$  и наконец, по уравнению для суммарного перепада давления устанавливают расход топлива. По полученным данным строится характеристика форсунки (рисунок 1.12).

Характеристики форсунок, используются для установки ограничения

подъема иглы, оказывающего большое влияние на эксплуатационные показатели форсунки. Кривая характеризующая изменение давления  $P_1$ , в предсопловом канале, остается неизменной, так как зависит от сопротивления сопловых отверстий. Кривая изменения давления  $p$  в кармане форсунки при отсутствии упора и больших расходах приближается к кривой давления  $P-P_1$  становится незначительной при больших расходах топлива  $Q$ , так как большое проходное сечение под иглой уже не оказывает существенного влияния на гидравлическое сопротивление.

Ограничению подъема  $X_{u2}$  иглы соответствует кривая изменения давления  $P_2$  в кармане форсунки. В этом случае характеристика изменяется мало. С момента достижения иглой упора кривая изменения давления в кармане форсунки, принимает вид параболы и становится аналогичной характеристики открытой форсунки. Поэтому и сама форсунка в этом случае работает так же как обычная форсунка с одним дросселирующим сечением.

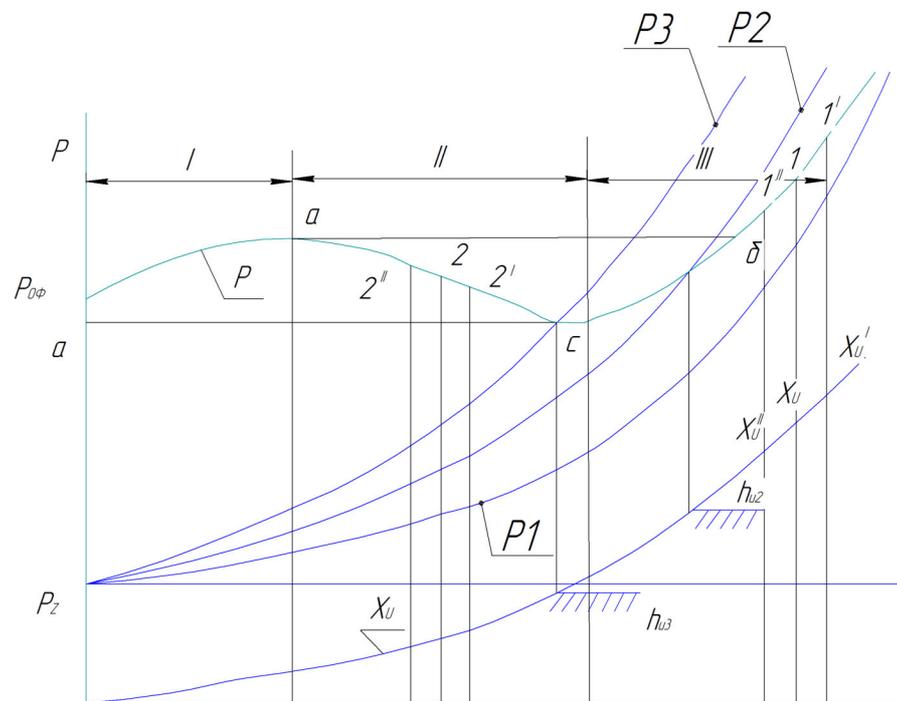


Рисунок 1.12 - Характеристика форсунки с запорной иглой при двух дросселирующих сечениях.

I-III- участки работы форсунки;  $P_1, P_2, P_3$  – кривые характеризующие давления в форсунках.  $X_u$  – кривая характеризующая перемещение иглы.

При установке ограничителя подъема иглы в положении  $X_{из}$  резко нарастает давление  $PЗ$ , перепад давлений  $PЗ-P1$  увеличивается очень резко. Это значит, что сопротивление малого дросселирующего сечения большое, в результате чего происходят бесполезные потери давления.

Таким образом, слишком большой подъем иглы, при которой дросселирование топлива в сечении незначительно приводят к росту сил инерции подвижных масс форсунки, разбиванию седла и к уменьшению срока службы форсунки [46].

Общепринятая методика определения давления топлива, действующего на иглу распылителя, не учитывает характер изменения давления в щели между запорным конусом иглы и седлом, когда давление снижается от  $p_{\phi}$  до  $p'_{\phi}$ . Допущение о линейном характере падения давления в щели не всегда справедливо, так как характер изменения давления зависит от конструкции запорных конусов и является функцией подъема иглы. Кроме того, статическое давление, действующее на иглу на этом участке, может быть существенно меньше  $p'_{\phi}$  вследствие высокой скорости потока. В работе Г. В. Никонова и др. для уточнения давления топлива предлагается рассматривать два дросселирующих сечения на входе и выходе из щели между запорным конусом иглы и седлом с соответствующей, оценкой значений коэффициентов расхода. Эта методика для распылителей автотракторных дизелей неприменима из-за малых размеров запорных конусов и невозможности экспериментальной оценки значений коэффициентов расхода для указанных дросселирующих сечений [46,64].

Увеличение подъема иглы приводит к увеличению объема топлива, освобождаемого иглой при ее подъеме.

Для заполнения этого объема расходуется часть топлива, подаваемого насосом. При посадке иглы это топливо выталкивается в объеме  $V_{\phi}$  форсунки (рисунок 1.12), что может заметно уменьшить давление впрыска топлива  $P_{\phi}$ , тем самым, ухудшая экономические показатели дизеля [64]. Так как высоты

подъема до 0,45... 0,50мм (нормально 0,35...0,42мм) вызывает небольшое увеличение подачи топлива. При значительной высоте подъема (0,60...0,70мм) подача топлива на номинальных оборотах возрастает на 3,7% [8].

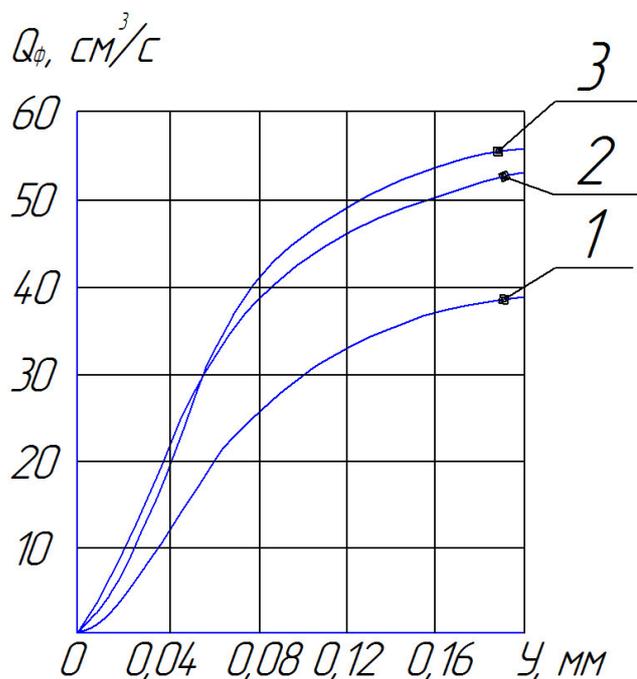


Рисунок 1.13 - Изменение расхода топлива в зависимости от подъема иглы при трех значениях давления пролива:  
 1)  $P_{\phi} = 9,8$  мПа; 2)  $P_{\phi} = 17,6$  мПа; 3)  $P_{\phi} = 19,6$  мПа.

Поскольку износ рассматриваемых поверхностей в комплекте форсунок многоцилиндрового двигателя будут различным, производительность изменяется неодинаково, следовательно, нарушается равномерность подачи топлива.

С увеличением подъема иглы значительно возрастает скорость изнашивания распыливающего конуса у штифтовых форсунок [3].

Кроме этого, во время разборочно-сборочных работ или при хранении на указанной поверхности могут появляться незначительные риски или коррозия, что приводит к нарушению герметичности в соединении, «корпус форсунки - корпус распылителя».

Для устранения вышеперечисленных дефектов при ремонте уплотнительные торцы корпусов форсунок шлифуют на глубину кольцевой канавки или выводят следы износа и коррозии притиркой на чугунных плитах пастами НЗТА и ГОИ.

## 1.5 Способы восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки (УТКФ) и применяемая технологическая оснастка

Вопросу ремонта корпусов форсунок, и в частности восстановлению УТКФ, в настоящее время уделяется недостаточно внимания. В большинстве случаев эти детали восстанавливают ручной доводкой на чугунных плитах (рисунок 1.14) с использованием паст ГОИ и НЗТА. Если глубина кольцевой канавки достигает 0,1мм и более, притирку начинают на грубых пастах, при глубине менее 0,1мм притирку ведут только на средней и тонкой пастах [62]. В тех случаях, когда выведение износа доводкой становится невозможным, деталь выбраковывают.

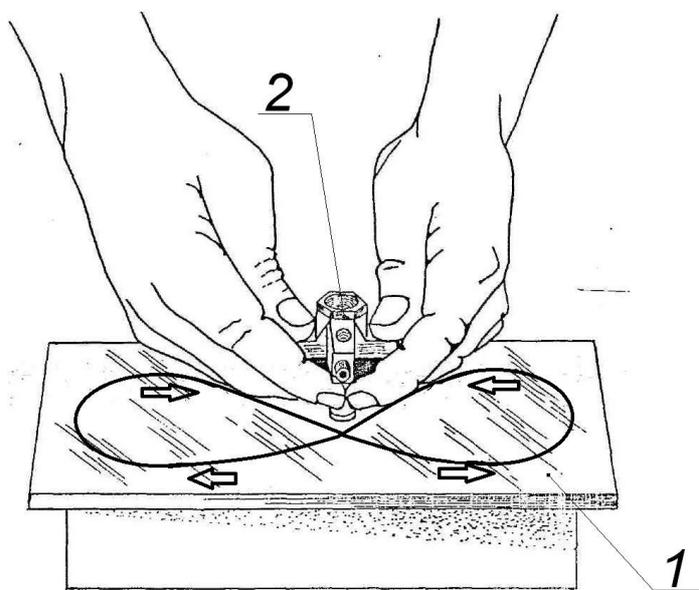


Рисунок 1.14 – Ручное выведение износа нижнего торца корпуса форсунки на доводочной плите: 1 – притир; 2 – корпус форсунки.

На ремонтных предприятиях, где имеются плоскошлифовальные станки, УТКФ с большими износами, которые невозможно вывести доводкой на притире, предварительно шлифуют.

На первоначальном этапе для шлифования применялось одноместное приспособление (рисунок 1.15), в которое заворачивают корпус форсунки до упора и устанавливают приспособление для шлифования на стол

плоскошлифовального станка, наиболее распространенным является станок модели 3Г71.

Окончательная доводка производилась на чугунном притире вручную.

Применение одноместного приспособления для шлифования плоскости торца дает преимущество, но и имеет существенные недостатки.

Во-первых, необходимы большие затраты ручного труда квалифицированных рабочих.

Во-вторых, производительность процесса низка, так как в отдельности притирается торец каждого корпуса.

В-третьих, могут быть допущены при ручной притирке завалы плоскости торца корпуса относительно его оси.

В-четвертых, невозможно при больших износах торца восстанавливать этим способом все детали.

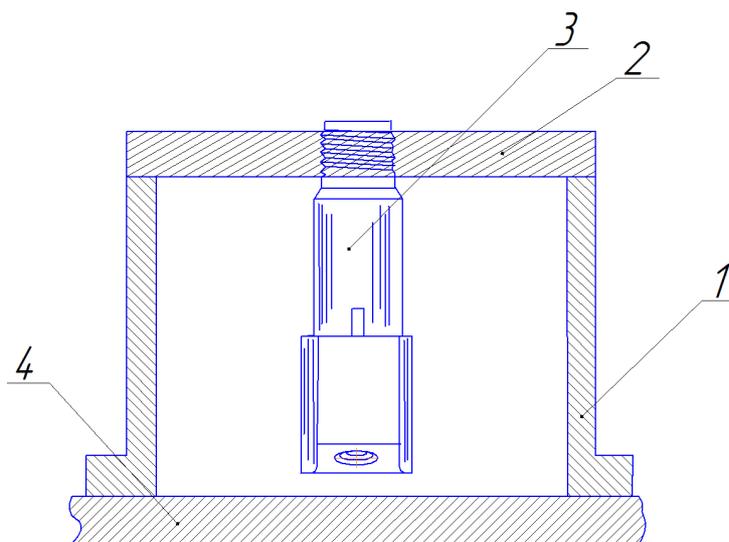


Рисунок 1.15 - Одноместное приспособление для шлифования торца корпуса форсунки: 1 - стойка; 2 - плита установочная; 3 - корпус форсунки; 4 - плита магнитного стола.

Однако при использовании девятиместного приспособления (рисунок 1.16) для шлифования форсунок, имеет существенные преимущества:

- Производительность процесса притирки повышается, т.к. приспособление после шлифования переворачивается на притирочную плиту и производится притирка 9 корпусов форсунок;

- Отсутствует вероятность завала плоскости торца корпуса форсунки.

Но наряду с преимуществами имеются и недостатки. Наиболее существенные из них заключаются в том, что после ремонта значительно снижается ресурс детали. Это происходит вслед того, что при фиксировании деталей во втулках за счет затяжки в результате, поверхности, подлежащие шлифованию, оказываются расположенными не в одной плоскости, так как допуск на размер от конца резьбы до плоскости торца корпуса очень велик.

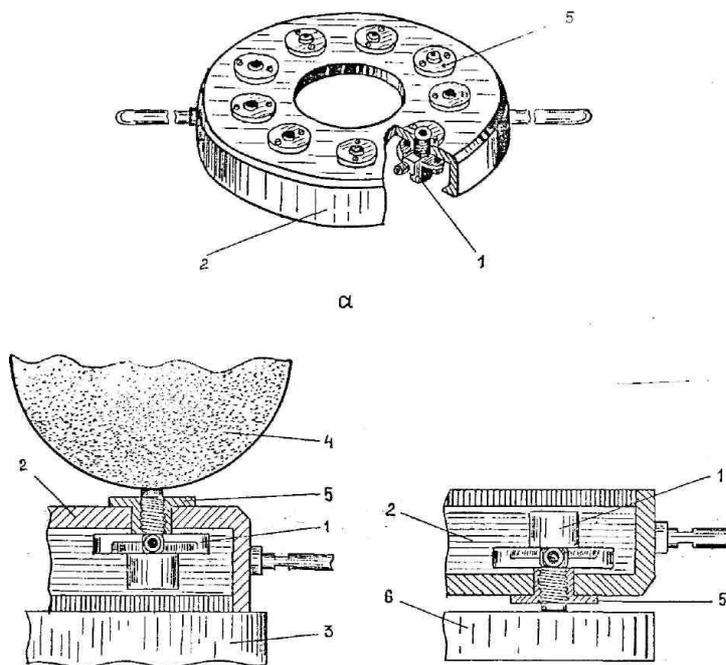


Рисунок 1.16 - Восстановление уплотнительного торца корпуса форсунки:  
а - многоместное приспособление с ввернутыми корпусами форсунок;  
б - шлифовка торца; в - доводка (притирка) торца; 1 - корпус форсунки;  
2 - приспособление; 3 - магнитный стол плоскошлифовального станка;  
4 -шлифовальный круг; 5 - резьбовая втулка; 6 - ручка; 7 - притир доводочного станка.

На основании этих требований на кафедре: «Технический сервис», были разработаны и опробованы на производстве целый ряд конструкций приспособления для шлифования торца корпуса форсунки распылителя.

Одним из первых вариантов стала конструкция приспособления со сварной рамой, в плиту которой заворачиваются в два ряда корпуса форсунок и фиксируются винтами при упоре торца корпуса в плоскость установочной плиты (рисунок 1.17).

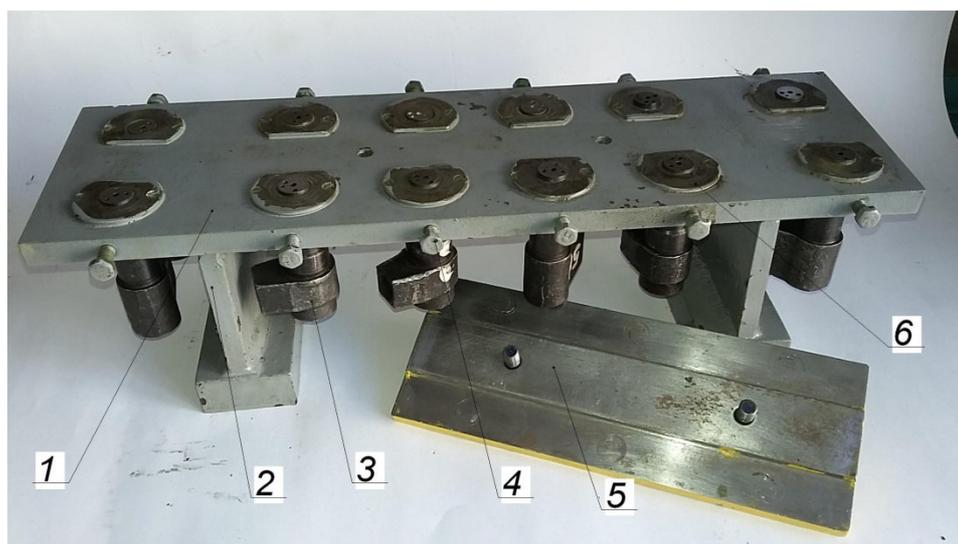


Рисунок 1.15 - Приспособление для шлифования торцов корпусов форсунок со сменными втулками:

1 – основная плита с закрепленными форсунками; 2 – стойка с опорой;  
 3 – винты фиксации корпуса форсунки; 4 - корпус форсунки; 5- контрольная плита;  
 6 – сменные резьбовые втулки.

Многоместное приспособление для шлифования уплотнительных торцов корпусов форсунок, содержит основную плиту 1 с расположенными в ряд вертикальными гнездами, жестко закрепленную на опорах посредством стоек 2 и имеющую резьбовые отверстия под винты фиксации 3, проделанные горизонтально к каждому из гнезд, контрольную плиту 5 со специальными пазами. Основная плита снабжена резьбовыми вставными втулками 6 закрепленными к плите при помощи винтов, в свою очередь втулки имеют различную базу резьбы.

К недостатку этой конструкции приспособления можно отнести сравнительно большую его массу в сборе с корпусами форсунок, которую приходится по несколько десятков раз в смену, работнику ставить и снимать со стола плоскошлифовального станка и то, что доводку торца приходится осуществлять вручную.

В представленных способах ремонта уплотнительного торца корпуса форсунки и применяемой технологической оснастки, просматривается одна взаимосвязь, что все применяемые способы восстановления очень трудоемкие и малопроизводительны. В результате применения ручного

способа доводки УТКФ, невозможно отремонтировать все форсунки, а только те которые имеют небольшую величину износа. При применении шлифования корпусов форсунок данный недостаток ликвидируется, но применяемая технологическая оснастка несовершенна и поэтому производительность низка. А ввиду того, что после шлифования УТКФ необходимо производить его притирку, а процесс притирки, как говорилось ранее, производится вручную, все это приводит к снижению производительности труда [46,52].

В связи с тем, что хозяйства области несут большие убытки из-за перерасхода топлива, связанного с неисправностью топливной аппаратуры. В РТП Оренбургской области за последние годы возросло поступление на ремонт агрегатов топливной аппаратуры. Благодаря этому возросла программа ремонта форсунок дизельных двигателей, но при этом применяемая технология ремонта и технологическая оснастка делает процесс ремонта малопродуктивным и трудоемким, себестоимость ремонта форсунок возросла, применяемая технология приводит к невыполнению программы ремонта и низкому качеству производимых работ [51,52].

Одним из основных направлений повышения качества ремонта форсунок и производительности процессов восстановления; снижения трудоемкости и себестоимости является разработка новой технологии и технологической оснастки, связанной с механизацией работ при ремонте уплотнительного торца корпуса форсунки (УТКФ).

В связи с этим работы по механизации работ при ремонте УТКФ являются актуальными на сегодняшний день.

### **Выводы по главе.**

1) Анализ научных исследований, ведущих ученых показал, что в процессе эксплуатации, большому износу подвергается нижняя плоскость корпуса форсунки, уплотнительный торец в который ударяются заплечики иглы распылителя в момент её подъёма. Величина износа УТКФ достигает

0,10...0,15 мм, а с учетом износа распылителя величина хода иглы распылителя достигает 0,6-0,7 мм. (при нормальных 0,35...0,45мм). Это приводит к увеличению расхода топлива и падению мощностных характеристик дизельного ДВС:

2) Обзор существующих технологических оснасток приспособлений и технологий ремонта уплотнительных торцов корпусов форсунок, показал, что применяемые на данный момент способы восстановления очень трудоемки и малопроизводительны.

3) Увеличение долговечности и безотказности форсунок возможно разработкой технологии ремонта, обеспечивающей высокое качество при незначительном съеме материала с УТКФ, и сохранением характеристик процесса топливоподачи.

## 2. ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛИФОВАНИЯ И ДОВОДКИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО ТОРЦА КОРПУСА ФОРСУНКИ

### 2.1 Теоретические исследования шлифования

#### 2.1.1 Особенности процесса плоского шлифования

Шлифование деталей является одной из заключительных технологических операций при восстановлении деталей., выполняемой после операций точения, фрезерования, строгания, а также термической. В процессе шлифования снимается небольшая величина слоя металла и обеспечивается 4...10- ( $Rz = 40\text{мкм} - Ra = 0,10\text{ мкм}$ ) классы шероховатости обработанной поверхности и точность размеров по 6-11 квалитетам [63,70,82,97].

Высокое качество обработанной поверхности шлифованием, является результатом снятия с поверхности огромного числа стружек и малой величиной силы образующейся в процессе обработки. Анализу процесса шлифования посвящены большое количество трудов как отечественных, так и зарубежных исследователей (С.А. Панов, С.Г. Редько, Е.М. Маслов, А. Окамура, Э. Ольден и др.) [85]. В работах рассматриваются различные формы срезов и введен основной параметр - *толщина среза*. Однако общепринятая модель процесса шлифования основана на анализе движения одного абразивного зерна (рисунок 2.1). Это соответствует кинематике процесса резания с использованием инструментов с постоянным количеством режущих элементов (фрезерование, ленточной пилой и т.д.). Во всех случаях процесс резания сопровождается деформацией материала в процессе сдвига и скалывания отдельных частей (стружки) с помощью режущей кромки в виде клина. Это в большей мере относится и к процессу шлифования металлов [63,70,82].

Однако процесс шлифования имеет существенные отличия и особенности от процесса резания классическим металлическим

инструментом. Вследствие своих особенностей процесс шлифования сопровождается явлениями [63]:

1) процесс массового воздействия шлифующих зерен на обрабатываемую поверхность (слой) и высокой скоростью резания (царапания) приводит к более высокой температуры в зоне контакта абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью. Мгновенная температура в зоне действия отдельных зерен может достигать температуру плавления обрабатываемого материала.

2) большая часть механической работы (до 80-85%) шлифования в следствии разновысотности и отрицательных передних углов абразивных зерен тратится на трение, и лишь в 15-20% на образование (деформацию и отделение) стружки.

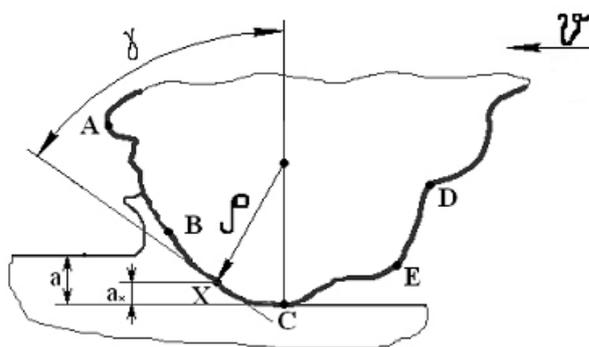


Рисунок 2.1 – Схема микрорезания абразивным зерном:

ABC – передняя поверхность; CED – задняя поверхность;  $a$  – толщина среза

Основные характеристики абразивного инструмента определяется следующими параметрами: формой и размерами, материалом абразивных зерен, связывающим веществом, зернистостью, твердостью и структурой.

Абразивные круги изготавливают разных форм и размеров, выбор обусловлен конфигурацией и размерами обрабатываемой детали, требованиями к качеству обработки, характером и технологией выполняемых операций, типоразмером оборудования. Выпускаемый шлифовальный инструмент регламентирован государственными стандартами. ГОСТ Р 52781-2007, алмазные и эльборовые шлифовальные круги с 01.01.2012 г.

классифицируют по ГОСТ Р 53923-2010. В зависимости от формы сечения и расположения так же выпускаются и нестандартные инструменты специального назначения [63,82].



Рисунок 2.2 – Классификация плоского шлифования:

Зерновой состав шлифовальных порошков характеризующая условный числовой размер зерен основной фракции (мкм.) - называется *зернистостью*.

Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков регламентирует ГОСТ Р 52381 – 2005, порошки алмазные и из кубического нитрида бора (эльбора) ГОСТ Р 53922-2010. В справочной литературе маркировка абразивного инструмента, изготовленного до 2006 года, используют обозначение зернистости по ГОСТ 3647-80 и ГОСТ 9206-80 [63,82].

### 2.1.2 Кинематика плоского шлифования периферией круга

Кинематика микрорезания является одной из основных при установлении уравнений шлифования: длины контакта зерна с деталью, траектория микрорезания шлифующим зерном, толщины слоя, снимаемого одним зерном и суммарная (рисунок 2.3, 2.4). Данные уравнения дают возможность эффективного сравнения различных методов шлифования и указывают пути дальнейшего повышения производительности процесса [63,85].

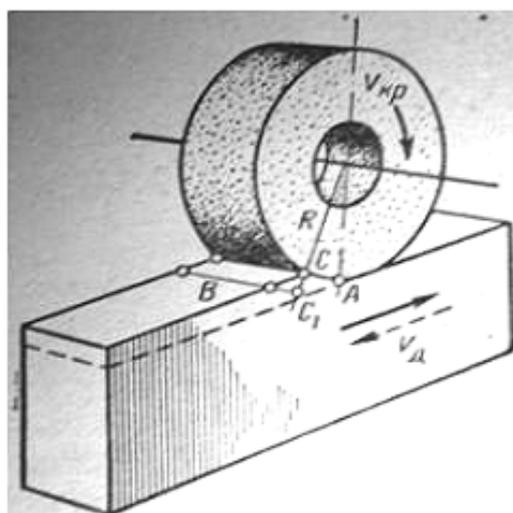


Рисунок 2.3 – Схема плоского шлифования периферией круга

$R$  – радиус круга, м;  $CC_1$  – суммарная толщина среза всеми зернами круга, мм.;  $B$  – ширина шлифуемой поверхности, м.;

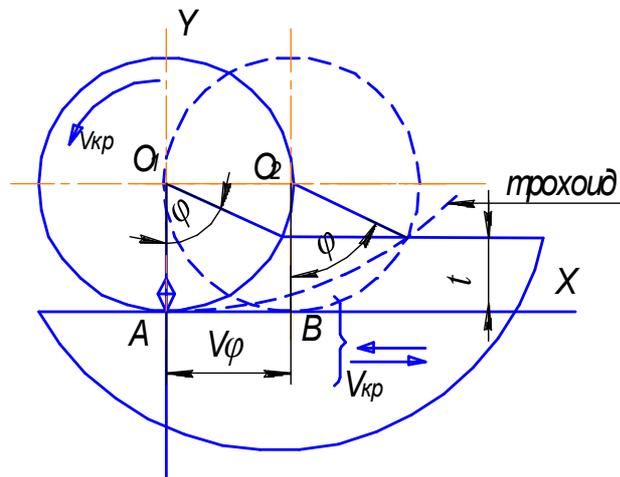


Рисунок 2.4 – Схема движения зерна при плоском шлифовании периферией круга.

$R$ - радиус круга;  $V_д$ - скорость движения обрабатываемой детали;  
 $V_{кр}$ - скорость шлифовального круга;  $\varphi$ - угол контакта;  $t$ - величина снимаемого слоя материала;

В исследованиях В.И. Курдюкова [63] выведено уравнение траектории микрорезания и полная длина дуги при плоском шлифовании, равномерно вращающимся шлифовальным кругом:

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \sin\varphi \pm \frac{v_д \cdot R}{v_{кр}} \cdot \varphi \\ y &= R \cdot (1 - \cos\varphi) \end{aligned} \quad (2.1)$$

где:  $R$ - радиус круга, м.;

$\varphi$ - угол контакта;

$v_д$  - скорость движения обрабатываемой детали, м/с.;

$v_{кр}$ - скорость шлифовального круга, м/с.;

Знак <-> принимается при совпадении направления вращения круга и поступательного движения детали, знак <+> если не совпадают.

Согласно исследованиям [63,70] полная длина кривой контакта круга с деталью при плоском шлифовании будет иметь окончательный вид:

$$L_{nl} = \left( 1 \pm \frac{v_д}{v_{кр}} \right) \cdot \sqrt{D \cdot t} \quad (2.2)$$

где:  $D$ - диаметр круга, м.;

$t$ - величина снимаемого слоя материала, м.;

Анализируя выражения (2.2) и работы Е.М. Маслова [70], получим уравнение зависимости толщины слоя металла, срезаемого одним зерном за один оборот, от остальных параметров процесса шлифования:

$$a_{z_{cp}}^{пл.} = \frac{\vartheta_{\partial}}{\vartheta_{кр} \pm 2\vartheta_{\partial}} \cdot \sqrt{t_{\phi} \cdot l_{cp}} \cdot \frac{S}{B} \cdot \sqrt{\frac{l}{D} + \frac{\alpha}{d}}, \quad (2.3)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент, ( $\alpha = 0$  для плоского шлифования периферией круга);

$l_{cp}$  – расстояние между соседними режущими зёрнами, м;

$d$  – диаметр детали (круглое шлифование), м;

$S$  – поперечная подача обрабатываемого материала, м/об;

$B$  – ширина шлифуемой поверхности, м;

Конечная уравнение зависимости толщины слоя металла, срезаемого одним зерном за один оборот, от остальных параметров в процессе плоского шлифования будет иметь вид:

$$a_{z_{cp}}^{пл.} = \frac{\vartheta_{\partial}}{\vartheta_{кр} \pm 2\vartheta_{\partial}} \cdot \sqrt{t_{\phi} \cdot l_{cp}} \cdot \frac{S}{B} \cdot \sqrt{\frac{l}{D}}, \quad (2.4)$$

### 2.1.3 Качество поверхностного слоя детали при плоском шлифовании периферией круга

Качественная обработка при ремонте торца корпуса форсунки, подразумевает удаление следов износа. Помимо снятия определенной величины объема металла с поверхности уплотнительного торца необходимо придать этой поверхности определенную шероховатость.

Шероховатость — это своего рода совокупность микронеровностей поверхностного слоя детали характеризуются чистоту ее обработки. Параметром, наиболее отражающим чистоту обработки поверхности детали, считается среднеарифметическое значение высоты микронеровностей ( $R_a$ ),

взятое по определенной базовой длине поверхности и выраженной в микрометрах [57,67].

Нельзя не отметить что большинство известных зависимостей шероховатости поверхности от параметров плоского шлифования периферией круга, являются экспериментально определенными как для конкретных материалов, так и способа шлифования [63,70,82,85].

Наиболее благоприятное влияние на шероховатость из элементов режима резания оказывает окружная скорость шлифовального круга. В свою очередь на более высоких скоростях разница в зернистости круга в значительно меньшей степени сказывается на шероховатости шлифованной поверхности.

Из работы Е.Н. Маслова [70] шероховатость обработанной поверхности имеет следующую зависимость от режима и условий шлифования:

$$R_a = \frac{C_{Ra} \cdot v_d^p \cdot t^z \cdot S^g \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{v_{кр} \cdot d^\mu} \quad (2.5)$$

где:  $C_{Ra}$  - коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала;  $v_d^p$  - скорость подачи заготовки, м/с;  $v_{кр}^\omega$  - скорость круга, м/с;  $t^z$  - фактическая глубина шлифования, м;  $d^\mu$  - диаметр заготовки, м.;  $S^g$  - скорость поперечной подачи заготовки, м/с;  $k_1$  - коэффициент, учитывающий зернистость шлифовального круга;  $k_2$  - коэффициент, учитывающий состав охлаждающей жидкости;  $k_3$  - коэффициент, учитывающий влияние зачистных ходов.

Уравнение (2.5), устанавливает зависимость шероховатости обработанной поверхности от окружной скорости детали, продольной и поперечной подач, а также соответствует положению о толщине слоя, снимаемого одним абразивным зерном. Данное уравнение применимо для выбора режима резания, исходя из требуемой по технической документации шероховатости шлифованной поверхности.

### *Поверхностный слой закаленных деталей.*

В процессе шлифования на поверхности закаленной детали можно наблюдать участки с измененной структурой (прижоги) в виде сплошного слоя измененной структуры (покрывающей всю обработанную поверхность) или отдельных крупных пятен (отдельных полос и штрихов).

Вопросам появления прижогов и формирования структуры поверхностных слоев деталей при шлифовании занимались многие видные отечественные и зарубежные ученые: П. Я. Дьяченко, Б. И. Коетецкий, А. И. Исаев, Э. В. Рыжов, Е. Н. Маслов, П. И. Ящерцын, А. А. Маталин, Л. В. Худобин, А. В. Якимов, Д. Р. Евсеев и др. [63,70,85,105].

Прижоги бывают видимые и невидимые невооруженным глазом. Видимые прижоги определяются по цветам побежалости, являющимися следствием образования оксидной пленки, толщина которой составляет доли микрометра [63]. Данные прижоги образуются в следствии наличия больших объемов металла с измененной структурой. Невидимые же прижоги определяются путем травления в растворах соляной или азотной кислоты.

Прижоги делятся на два класса: прижоги с отпуском, и прижоги с подкалкой. При температуре шлифуемой поверхности, не превышающей критическую точку  $AC_1$ , возникают прижоги с отпуском. Глубина прижогов отпуска может достигать 3...4 мм. Прижоги с подкалкой возникают при разогреве шлифуемой поверхности выше температуры фазовых превращений. Глубина подкаленного слоя достигает 0,5 мм. Под закалившимся слоем находится зона отпуска [63,70,105].

В процессе прогрева шлифуемой поверхности выше точки  $AC_1$ , но при скорости охлаждения ниже критической, проявляется ожог неполной закалки. Структура которого включает в себя верхний сильно опущенный слой лежащий на закаленном слое, который, в свою очередь, переходит снова в опущенный.

К прижогам относятся еще штриховые циклические – включающие отдельные участки с измененной структурой, появляющиеся через

определенные расстояния, связанных с вибрацией или дисбалансом шлифовального круга.

Кроме прижогов на поверхности детали после шлифования могут появиться дефекты другого вида - трещины. Высоким мгновенным температурам и прижогам часто сопутствуют шлифовочным трещинам, снижающими твердость и износостойкость поверхностного слоя детали (рисунок 2.5).

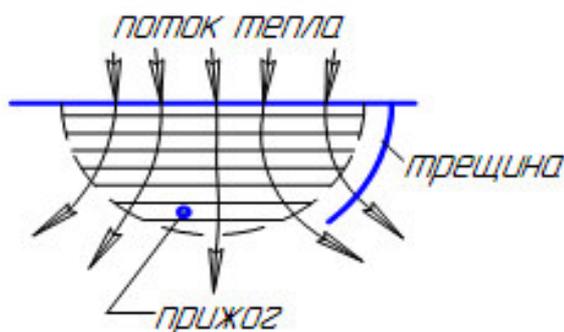


Рисунок 2.5 – Схема взаимного расположения прижога и трещины

Бывают случаи, когда при наличии сильных прижогов трещины не образуются, тогда как слабые прижоги могут вызвать их. Велика вероятность меньшего влияния внутренних напряжений имеющиеся в детали до шлифования, чем напряжения, возникающие при неправильном шлифовании.

Согласно [63,70] формула определения величины остаточных напряжений имеет следующий вид:

$$\sigma = \frac{E}{3b^2} \cdot (a - \Delta a)^2 \cdot \frac{df}{da} \quad (2.6)$$

где:  $E$  - модуль упругости материала,  $H/m^2$ ;

$a$  - исходная толщина образца,  $m$ ;

$\Delta a$  - толщина удаленного слоя,  $m$ ;

$l$  - длина рабочего участка детали,  $m$ ;

$df/da$  - изменение длины прогиба на конце консоли исследуемого образца в процессе удаления поверхностного слоя.

Качество обработанной поверхности зависит от многих параметров, основные из которых – характеристики шлифовального инструмента и смазывающих охлаждающих жидкостей (СОЖ); режимы шлифования.

Использование высокоэффективных СОЖ способствует получению более качественных поверхностей деталей и повышению производительности. Правильность выбора схемы подачи СОЖ в зону контакта, существенно повышает эффективность за счет более высокого процента отвода выделенной теплоты в процессе шлифования. В последние годы все более широкое применение получают полусинтетические и синтетические жидкости.

Установление в процессе экспериментов оптимальных значений параметров плоского шлифования периферией круга позволит нам реализовать процесс получения необходимой шероховатости уплотнительного торца корпуса форсунки с обеспечением минимальной величины снимаемого слоя и снижением временных затрат при восстановлении.

## **2.2 Теоретические исследования доводки материала**

### **2.2.1 Теория механизированной доводки**

Наиболее распространенным и вместе с тем наиболее трудоемким методом окончательной обработки деталей является механическая абразивная доводка, позволяющая получать шероховатости поверхности  $Ra = 0,04-0,02$  мкм и  $Rz = 0,1-0,025$  мкм (12-14 й класс) и отклонение от правильной геометрической формы обрабатываемых поверхностей до 0,1-0,3 мкм. Эксплуатационное качество поверхности после абразивной доводки, как правило, могут быть выше, чем после тонкого шлифования, суперфиниша или хонингования.

Доводка деталей осуществляется на доводочных станках различных типов: однодисковых с жесткой и фрикционной связью между деталями и

инструментом – притиром; двухдисковых плоскошпинделльных станках – планетарных, эксцентриковых и др.

Применяется четыре метода абразивной суспензии, с нанесением абразивной пасты на рабочую поверхность притира, притирами или плитами, шаржированными зёрнами паст, абразивными дисками.

Наиболее производительным методом является доводка деталей свободным абразивом в составе суспензии. Формообразование происходит в результате взаимного абразивного изнашивания поверхностей детали и инструмента – притира, совершающих относительное перемещение. Процесс доводки деталей может занимать от нескольких минут до нескольких десятков минут. Процесс доводки плоских поверхностей закаленных стальных деталей алмазными пастами обычно занимает 2-20 минут в зависимости от снимаемого припуска, требований к качеству поверхности, условий и режимов доводки. Окончательная доводка цилиндрических поверхностей деталей топливной аппаратуры на двухдисковых эксцентриковых станках занимает 25-50с. [84]

Правка рабочей поверхности притиров производится обычно 1-4 раза в смену или реже, в зависимости от требуемой точности обработки деталей. Поэтому определяющими факторами точности обработки деталей в условиях производства, особенно когда время доводки деталей намного меньше времени между двумя правками притира, является состояние рабочей поверхности притира и кинематический режим обработки.

Факторы, определяющие выходные параметры (показатели) процесса доводки: производительность, величина съема материала детали и показатели качества обработки (точность геометрической формы и размеров обработанной поверхности детали, микро- и субмикро - геометрию поверхности и состояние поверхностных слоев) можно разделить на четыре группы (рисунок 2.6):



Рисунок 2.6 - Факторы, определяющие выходные параметры (показатели) процесса доводки

Процесс доводки деталей осуществляется композиционным инструментом, состоящим из трех элементов: рабочей поверхности притира, абразивных зерен, рабочей жидкости суспензии (или неабразивной части пасты), комплексно выполняющих одну основную функцию – удаления припуска на обработку с целью получения требуемых размеров детали, формы обработанной поверхности и качества поверхностного слоя.

Физической основой процесса доводки является процесс абразивного изнашивания взаимодействующих твердых тел: детали, абразивных зерен и притира.

Удаление припуска с детали по своей природе является стохастическим процессом - многократного и массового динамического воздействия на поверхностные слои детали абразивных зерен.

При решении большинства встречающихся на практике задач формообразования поверхностей деталей необходимо учитывать наличие

некой «переходной» формы поверхности, отличной от исходной геометрической формы и полученной в результате естественного процесса абразивного изнашивания, происходящего по определенному закону в соответствии с выбранными условиями и режимами доводки.

На практике можно стабилизировать точность геометрической формы обработанных поверхностей деталей во времени при достижении требуемого качества поверхностного слоя обработанной детали по двум принципиально различным направлениям: восстановление (сохранение) исходной геометрической формы рабочей поверхности притира; поиск комплекса факторов процесса доводки, обеспечивающих в любой момент времени для данного состояния рабочей поверхности притира минимальные отклонения от требуемой формы поверхности детали, точности получаемых размеров.

Поиск путей стабилизации точности обработанных поверхностей по форме и размеру посвящены работы: Ф. Престона, М.Н. Семибратова, А.Н. Бардина, С.М. Кузнецова, К.Г. Куманина, С.В. Винокура, Л.С. Цеснека и др. М.Н. Семибратовым была выполнена большая работа по теории и практике управления процессом доводки поверхностей по кинематическим показателям и созданию методики расчета инструмента для управляемого процесса полирования [71,84,105].

Второе направление может быть реализовано путем целенаправленного изменения во времени одного или нескольких факторов процесса доводки, например.

а) путем программированного перемещения детали по траектории движения, вид которой определяется, исходя из условия достижения минимально возможной величины погрешности формы детали и зависит, прежде всего, от формы рабочей поверхности притира;

б) посредством определенного «воздействия» на обрабатываемую поверхность в нужном направлении в зависимости от формы рабочей поверхности притира (изменение силового фактора – давления по длине траектории движения детали по притиру, изменение геометрического

фактора – создание «каблучков» на притире, создание условий направленного движения абразива и т.д.).

Третье направление управления точностью формы обработанной поверхности детали наименее изучено и является перспективным как в условиях массового, так и мелкосерийного производства.

Восстановление (сохранение) рабочей поверхности притиров непосредственно в процессе доводки путем изменения кинематических, геометрических, динамических и технологических факторов процесса доводки по методу свободного притира: 1) применение вспомогательных средств правки притира (в процессе обработки правильными кольцами, специальными сепараторами и т.д.); 2) выбор и расчет кинематических и геометрических факторов (распределение деталей по зонам на блоке, «плане», создание «каблучного» инструмента, расчет и выбор соотношения угловых и линейных скоростей. 3) управление кинематическими, геометрическими и динамическими факторами (изменение закона распределения давления по зонам поверхности инструмента и т.д.); 4) циклическое изменение по величине и направлению угловой (линейной) скорости звеньев исполнительного механизма доводочного станка (способ кинематической правки); 5) циклическое изменение кинематических и динамических факторов процесса доводки (изменение по величине и направлению скорости и давления во времени); 6) управление путем направленности движения абразивной суспензии по поверхности притира (сочетание кинематических факторов и формы канавок для подвода абразива); 7) выбор и расчет всего комплекса факторов процесса доводки, позволяющих стабилизировать исходную форму рабочей поверхности притира во времени.

В общем случае многообразие явлений, происходящих при абразивной доводке деталей, не позволяет проводить разделение факторов на главные и второстепенные и фактически такое деление является условным.

Износ элементарных площадок поверхности притира и доводимой детали ( $U$ ) за время  $\Delta t_i$  можно представить следующим образом [84]:

для детали:

$$(U_{д.})_{ki} = \sum_{g=1}^{g=n} K_{п.з.} \int_{t_{g-1}}^{t_g} v_{zi}(t) dt; \quad (2.7)$$

для притира:

$$(U_{п.})_{ki} = \sum_{g=1}^{g=n} K_{п.п.} \int_{t_{g-1}}^{t_g} v_{pi}(t) dt; \quad (2.8)$$

где:  $(U_{д.})_{ki}$ ;  $(U_{п.})_{ki}$  – износ  $ki$ -ой площадки нижней поверхности детали и поверхности притира, м;

$v_{zi}(t)$  и  $v_{pi}(t)$  – скорость относительного движения заготовки по притиру и притира по заготовке.

$K_{п.з.}$ ;  $K_{п.п.}$  – усредненное значение интенсивности изнашивания материала заготовки и притира,

$n$ - число промежутков времени, соответствующим заданным значениям факторов процесса доводки;

Для создания управляемого процесса доводки для конкретных условий необходимо стабилизировать все факторы процесса, кроме давления, скорости и толщины (зазора) прослойки. Тогда основными факторами, влияющими на износ  $U$  детали, будут являться зависимые переменные: давление  $P$ , скорость  $v$  и независимая переменная – время  $t$ . Изменение толщины абразивной прослойки в зоне контакта деталь – притир будет определять величину контактного давления:

$$U_{a(n)} = \sum_{g=1}^{g=n} K_g^{(ст)}(t) \cdot k_g^{(дин)}(t) \cdot \int_{t_{g-1}}^{t_g} v_{pi} \cdot dt; \quad (2.9)$$

где:  $K_g^{(ст)}(t)$  и  $k_g^{(дин)}(t)$  - интенсивность изнашивания материала заготовки и коэффициент динамичности нагружения системы; заготовка-абразивная прослойка – притир, являющимися функциями факторов процесса изнашивания материала и притира.

Решение данного уравнения представляет значительные трудности. Поэтому, используя уравнение (2.6.), износ элементарных площадок детали можно определить через интенсивность изнашивания материала, которая может определяться с помощью физического моделирования процесса абразивного изнашивания по методике П.Н.Орлова [84].

Таким образом, при доводке деталей с постоянными скоростями  $v$  расчет износа поверхности детали можно осуществить по формуле, исходя из «пропорциональности» износа  $U$  длине  $L$  пути относительного движения детали.

$$U = K_{cm} K_{дин} L = K_{cm} K_{дин} \int_{t_{k-1}}^{t_k} v(t) dt, \quad (2.10)$$

где:  $K_{cm}$  – интенсивность изнашивания материала элементарной площадки поверхности детали при  $v=const$ ;

$K_{дин}$  – коэффициент зависящей от динамичности нагружения системы.

### **2.2.2 Теоретический анализ траектории движения деталей по притиру**

На первоначальном этапе необходимо было определить кинематику рабочего движения станка. Как правило, движение при доводке является сложным. Оно состоит из нескольких движений - доводочного притира и обрабатываемой детали. При этом каждая точка детали движется относительно притира по сложной криволинейной траектории; пересечение траекторий образует своеобразную сетку, равномерность и форма которой зависит от соотношения скоростей составляющих движений. Изменяя эти скорости можно эффективно воздействовать на процесс доводки, так как установлено, что кинематика существенным образом влияет на производительность процесса, микрорельеф доведенной поверхности, точность, как обработанных деталей, так и инструмента – притира.

При выборе параметров режима доводки должно обеспечиваться получение равномерной сетки траектории, т.е. штрихов на поверхности детали, пересекающихся под углами 30 - 60°. В этом случае абразивные зерна работают наиболее эффективно, с обрабатываемой поверхностью контактируют попеременно их различные вершины и грани, а частое пересечение траекторий движения зерен способствует скалыванию вершин зерен, т.е. самозатачиванию. Равномерная на всех участках поверхности притира сетка траекторий способствует поддержанию исходной плоскостности притира за счет его одинакового износа по всей поверхности притира. Одновременно улучшаются условия смазки. Это способствует повышению долговечности детали в условиях трения либо контактного сжатия.

Можно выделить пять основных групп рабочего движения плоско доводочных станков:

1. рабочее движение складывается из вращательных движений притира и детали;
2. вращение притира сочетается с планетарным движением сепаратора с деталями;
3. притир неподвижен, планетарно перемещается сепаратор с деталями;
4. возвратно - поступательное движение осуществляется в двух направлениях: либо деталями при неподвижных притирах, либо плитой - притиром;
5. вращение притира сочетается с возвратно поступательным движением детали.

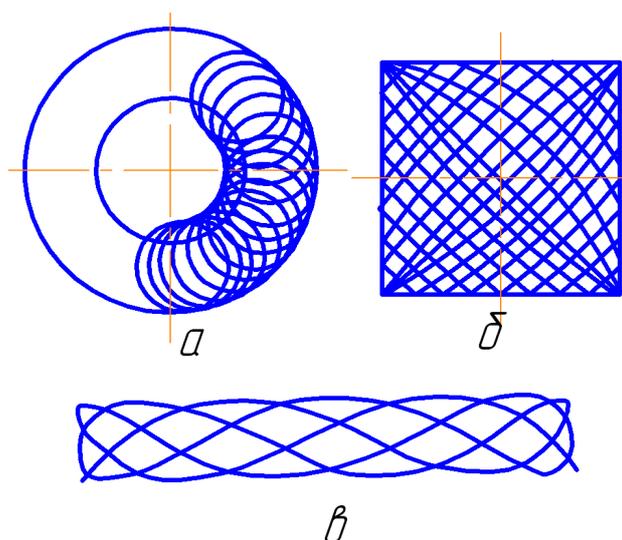


Рисунок 2.7 - Траектории рабочего движения на доводочных станках: а - циклоидальная, б - растровая, в - синусоидальная.

У станков первых трех групп траектории рабочего движения представляют собой кривые циклоидального типа (рисунок 2.7, а), у станков четвертой группы - растровые (рисунок 2.7, б) либо синусоидальные (рисунок 2.7, в), у станков пятой группы - кривые эвольвентного типа. [17]

Проанализировав структуру притирочных станков, было выявлено, что в основном они имеют рабочее движение складывается из вращательных движений притира и детали. Для увеличения производительности, снижения себестоимости и получения оптимальной траектории движения предлагается модернизировать эти станки с целью сочетания вращения притира с возвратно поступательным движением детали.

Модернизация заключается в введении дополнительного приспособления, которое включает в себя механизм, позволяющий совершать одновременно вращательные и возвратно - поступательные движения.

### 2.2.3 Обоснование кинематических параметров приспособления к доводочному станку

Для разработки данного приспособления необходимо обосновать кинематические параметры, такие как, длина шатуна, радиус кривошипа, передаточное число цепной передачи, радиус установки деталей и частота

вращения мотор редуктора.

Возвратно-поступательное движение деталей по притиру обусловлено вращением кривошипа  $r$  вокруг точки  $O$  (рисунок 2.8). При этом возвратно-поступательное перемещение детали происходит по дуге, очерчиваемой точкой  $D$  балки вокруг неподвижной опоры  $B$ .

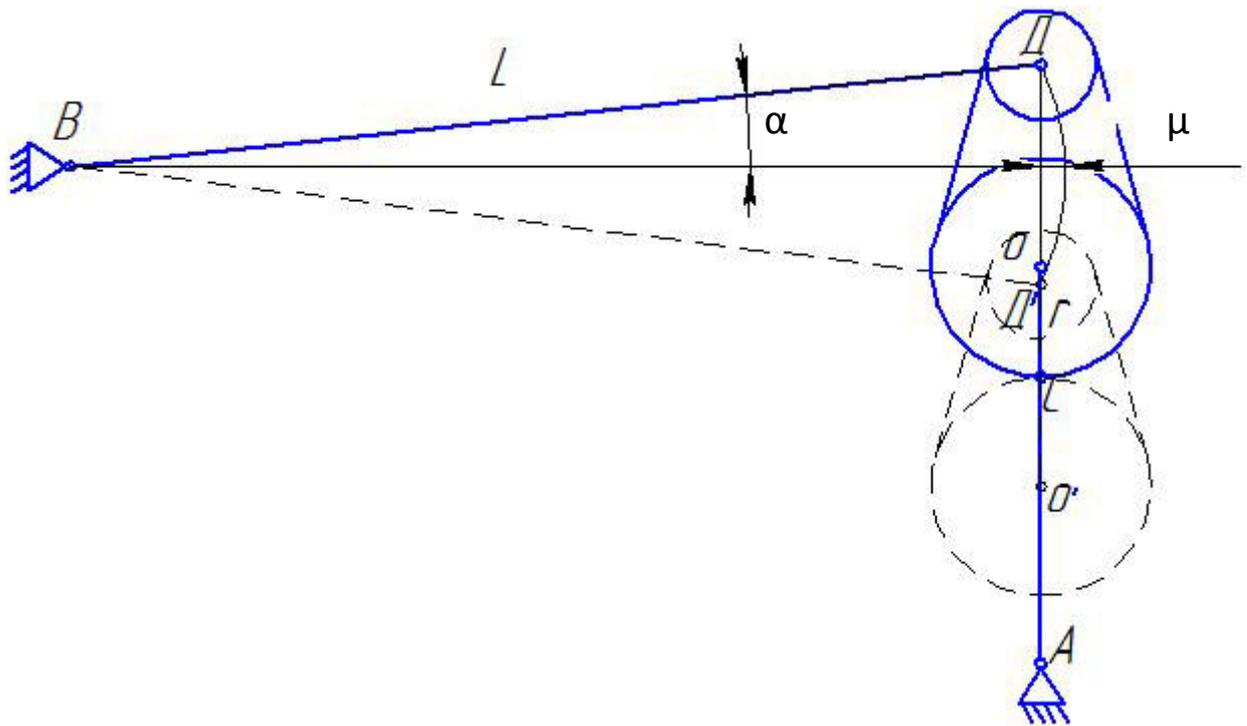


Рисунок 2.8 - Кинематическая схема привода

Максимальное отклонение балки равно радиусу кривошипа  $r$ . В данном случае отклонение возвратно-поступательного движения от прямолинейного можно характеризовать величиной  $\mu$ :

$$\mu = l - l \cdot \cos \alpha \quad (2.12)$$

где:  $l$  - длина шатуна, м.;

$\alpha$  – угол отклонения балки, град.

В свою очередь:

$$\sin \alpha = \frac{r}{l}.$$

Соответственно

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2}.$$

Так как конструктивно отношение  $\frac{r}{l}$  мало, то, принимая с достаточной точностью можно сказать, что  $\cos \alpha$  стремится к единице, а  $\mu$  к нулю. Поэтому можно принять возвратно–поступательное движение детали по прямой линии.

В этом случае кинематическая схема упростится (рисунок 2.9), что даёт возможность выявить математическую модель возвратно–поступательного движения доводимой детали.

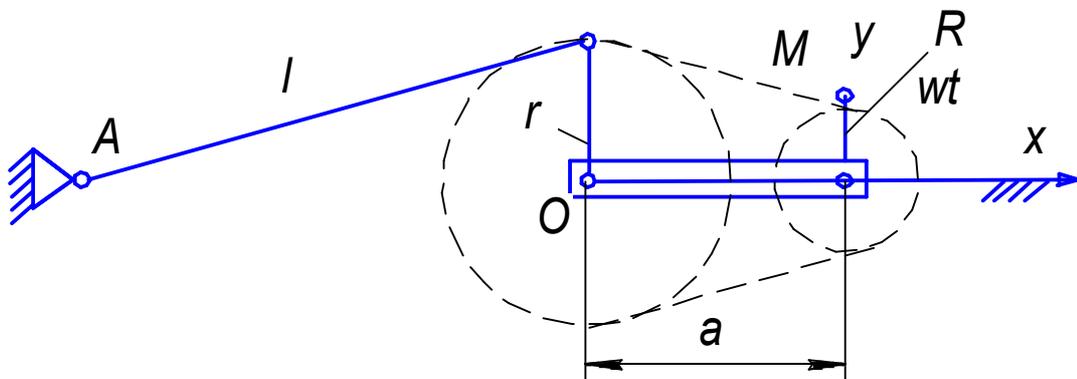


Рисунок 2.9 - Упрощенная кинематическая схема механического привода

В расчетах и схемах механического привода УТКФ примем в обозначении точкой  $M$  корпус форсунки, а двигатель, приводящий в движение механизм, точкой  $D$ .

На первом этапе рассмотрим вращение детали  $M$  на расстоянии  $R$  вокруг точки  $D$ .

При этом изменение координат точки  $M$  представим в виде параметрических уравнений:

:

$$\begin{cases} x_M = R \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ y_M = R - R \cdot \cos(\omega \cdot t) \end{cases} \quad (2.13)$$

Теперь рассмотрим вращательное движение вокруг точки  $O$ . Вращение кривошипа  $r$  будет зависеть от передаточного числа цепной передачи  $n$ . Точка  $O$ , как и точка  $D$ , в этом случае будут совершать возвратно-поступательное движение по оси  $x$ , которое описывается следующим уравнением:

$$x_o = -a - r \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t) \quad (2.12)$$

где:  $a$  – межосевое расстояние цепной передачи, м;

Так как межосевое расстояние,  $a$  неизменно и принадлежит одной платформе, на которой находятся точка  $O$  и точка  $D$ , то перемещение точки  $D$  будет иметь вид:

$$x_D = -r \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t) \quad (2.13)$$

Уравнение сложного движения притираемой детали найдется как сумма векторов простых движений по соответствующим координатам. Используя теорию неразрывности точек, получаем следующий закон движения притираемой детали по притиру выраженного параметрической зависимостью:

$$\begin{cases} x = R \cdot \sin(\omega \cdot t) - r \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t) \\ y = R(1 - \cos(\omega \cdot t)) \end{cases} \quad (2.14)$$

Как видим, на траекторию движения детали по притиру влияют только расстояние установки деталей от оси вращения, радиус кривошипа и передаточное число цепной передачи.

Расстояние установки деталей от оси вращения зависит от размеров корпусов форсунок. Поэтому  $R$  не может быть менее 0,2 м, иначе корпуса мешают друг другу при вворачивании в кассету. Для того чтобы разрабатываемая технологическая оснастка была более компактной принимаем  $R=0,2$  м.

Радиус кривошипа определяет возвратно-поступательное движение кассеты по поверхности притира. Для обеспечения равномерного износа притира необходимо, чтобы детали проходили по всей поверхности притира.

Это условие соблюдается при условии:

$$2R + 2r = D, \quad (2.15)$$

где  $D$  – диаметр притирочного диска (для станка 3E814 он составляет 0,7 м).

Отсюда радиус кривошипа  $r=0,15$  м.

Длина шатуна  $l$  подбирается таким образом, чтобы при положении кривошипа  $r$  в нейтральном положении центр вращения деталей совпадал с центром доводочного диска.

Таким образом, необоснованным кинематическим параметром остается передаточное число цепной передачи.

При выборе передаточного числа необходимо обеспечивать получение такой траектории, при котором направления движения детали пересекались бы под углами  $30 \sim 60^\circ$ . Наиболее простым движением обеспечивающее это условие является движение по линии напоминающей «восьмерку». Эту траекторию используют и при ручной доводке. Траектории движения детали по притиру при различных передаточных числах представлены на рисунке 2.10.

Как видим, увеличение передаточного отношения положительно влияет на траекторию движения детали по притиру. Однако с другой стороны увеличение передаточного отношения ведет за собой увеличение конструктивных параметров возвратно-поступательного механизма. Тут можно отметить, что пересечение траекторий наблюдается только при кратном увеличении передаточного числа. Увеличение передаточного отношения с 2 до 3 позволила получить две точки перегиба в траектории движения, что позволяет увеличить производительность. Дальнейшее увеличение передаточного отношения не прибавляет точек пересечения

траекторий под углами  $30 \sim 60^\circ$ , поэтому принимаем передаточное отношение  $n=3$ .

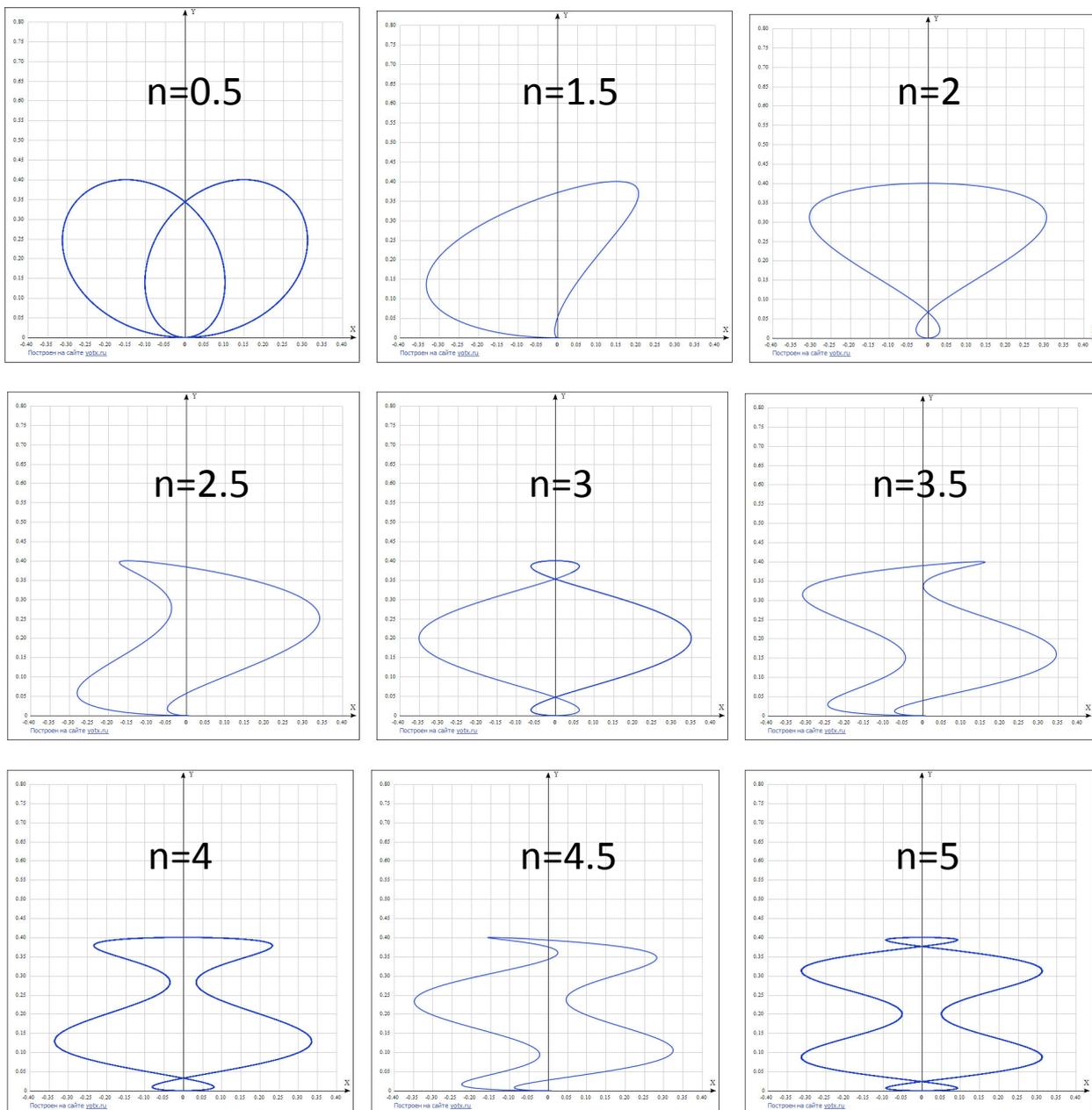


Рисунок 2.10 Траектория движения детали по притиру.

Определим относительную скорость для полученного уравнения (2.14).  
Дифференцируя по времени  $t$  выражение получим:

$$\begin{aligned}
 V_x &= \frac{dx}{dt} = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) - r \cdot n \cdot \omega \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) \\
 V_y &= \frac{dy}{dt} = R \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

Тогда полная относительная скорость перемещения детали по притиру определится, как  $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$  отсюда имеем;

$$V = \sqrt{(R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) - r \cdot n \cdot \omega \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t))^2 + (R \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t))^2} \quad (2.17)$$

Скорости движения детали по притиру при доводке плоских поверхностей невелики - от 5 до 32 м/мин и зависят от размеров детали и требуемого качества отделки поверхности. Например, маленькие поверхности доводят на более низкой скорости, чем большие, а окончательную тонкую доводку ведут на меньшей скорости, чем предварительную. Возвратно поступательная скорость при доводке плоскостей составляет 0,3 - 0,5 от величины окружной скорости.

Из формулы 2.23 можно определить частоту вращения  $\omega$ . Для обеспечения скорости движения до 32 м/мин необходимо, чтобы  $\omega$  была равна  $1,9 \text{ с}^{-1}$ .

Под данную частоту вращения подбираем мотор редуктор, у которого  $\omega = 1,884 \text{ с}^{-1}$  (18 об/мин).

Результаты теоретических исследований процесса механизированной доводки позволили нам получить оптимальные кинематические параметры установки к универсально-доводочному станку 3Е814. Что в свою очередь позволит составить оптимальную программу экспериментальных исследований по влиянию динамических факторов на чистоту (шероховатость) поверхности уплотнительного торца корпуса форсунки.

### **Выводы по главе.**

1) В результате теоретических исследований процесса плоского абразивного шлифования периферией круга определены основные зависимости режима доводки и зернистости, позволяющие снимать

минимальный слой материала уплотнительных торцов корпусов форсунок с получением заданной шероховатости ( $Ra = 0,01 \mu\text{м}$ );

2) Рассмотрены основные факторы, влияющие на выходные параметры доводки, позволившие выяснить, что величина износа притира и детали при постоянной скорости ( $v\text{-const}$ ) зависит от коэффициента интенсивности изнашивания материала элементарной площадки поверхности детали ( $K_{ст}$ ) и коэффициента, зависящего от динамичности нагружения системы. ( $K_{дин}$ );

3) Исследование процесса движения деталей в процессе притирки позволило оптимизировать рабочий процесс обработки УТКФ сочетанием одновременно вращательного движения притира и возвратно-поступательного УТКФ.

4) Теоретические исследования процесса механизированной доводки с целью получения оптимальной траектории движения обеспечивающей получение равномерной сетки (штрихов на поверхности детали, пересекающихся под углами  $30\text{--}60^\circ$ ), позволили обосновать оптимальные кинематические параметры приспособления к универсально-доводочному станку: радиус кривошипа  $r = 0,15 \text{ м}$ ; передаточное число цепной передачи  $n=3$ ; радиус установки деталей  $R = 0,2 \text{ м}$ ; частота вращения мотор редуктора  $n = 18 \text{ об/мин}$ . Это позволило составить оптимальную программу экспериментальных исследований и установить динамические факторы, влияющие на шероховатость поверхности уплотнительного торца корпуса форсунки. И минимизировать снятие слоя металла с УТКФ при восстановлении.

### **3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

#### **3.1 Методика экспериментальных исследований**

Анализ литературных источников, результаты проведенных теоретических исследований позволили нам разработать и изготовить технологическую оснастку для восстановления УТКФ (уплотнительного торца корпуса форсунки). Теоретические исследования позволили нам определить основные параметры, влияющие на технологический процесс и получение заданной чистоты (шероховатости) уплотнительных торцов корпусов форсунок.

В качестве объекта исследования был выбран износ уплотнительного торца корпуса форсунки. Материал корпуса форсунки – Сталь 45 закалка ТВЧ: HRC – 56-60, шероховатость поверхности  $R_a = 0,08$  мкм. [35, 62].

В соответствии с поставленными задачами, была определена программа экспериментальных исследований, которая позволит в полной мере определить степень влияния предложенной технологической оснастки на качественные показатели при ремонте УТКФ, включающая в себя несколько этапов:

1. Исследование величин износов уплотнительных торцов корпусов форсунок;
2. Исследование влияния технологических параметров шлифования уплотнительных торцов корпусов форсунок на качество обработанной поверхности;
3. Исследование влияния технологического процесса механизированной доводки на чистоту (шероховатость) обработанной поверхности, а также на производительность процесса;
4. Исследование влияния восстановленных уплотнительных торцов корпусов форсунок на качественные и топливо-экономические показатели дизельного двигателя;

Испытания по восстановлению ресурса УТКФ проводились в лабораториях кафедры «Технический сервис» ФГБОУ ВО Оренбургского ГАУ.

В качестве исследуемой и обрабатываемой поверхности использовались УТКФ устанавливаемых на основные автотракторные дизельные двигатели РФ: ЯМЗ -236,238 и их модификациях (Ярославский моторный завод); Д-240, Д-260.1 (Минский моторный завод); А-01, А-41 (Алтайский моторный завод).

### **3.1.1 Исследование износов уплотнительного торца корпуса форсунки**

Анализ применяемых многоместных приспособлений, позволяющих повысить производительность ремонта УТКФ, выявило ряд недостатков. Одним из существенных является то что, износ УТКФ различен и в процессе шлифования или доводки с некоторых корпусов снимается больше, чем необходимо металла. Тем самым снижается послеремонтный ресурс детали.

Поэтому следует проводить ремонт уплотнительных торцов корпусов форсунок (УТКФ), предварительно рассортировав их по группам износа, но проведенный литературный анализ показал недостаточность информации по данным износам. Получение данной информации, возможно проведя экспериментальные исследования по износу в месте удара заплечиков иглы распылителя и кольцевой поверхности торца в месте контакта с корпусом распылителя. Места износов УТКФ (рисунок 1.10), а также их анализ рассмотрены в п. 1.4 «Износ уплотнительного торца корпуса форсунки и его влияние на топливную экономичность ДВС».

Одним из ответственных этапов измерения износов УТКФ является выбор средств измерения линейных размеров и изготовление специальной оснастки. Для достижения этой цели использовалось специально изготовленное приспособление (рисунок 3.1) содержащее корпус 1 выполненного в виде салазок, с установленным в нем втулкой 3, стопорный винт 2, индикаторную головку с цифровым отчетным устройством (ИЦ) 4 со

специально изготовленным наконечником (стержнем). При перемещении салазок по плоскости торца, стержень индикаторной головки копирует поверхность и показывает величину износа как в местах ударов заплечиков иглы распылителя, так и по месту контакта корпуса распылителя.

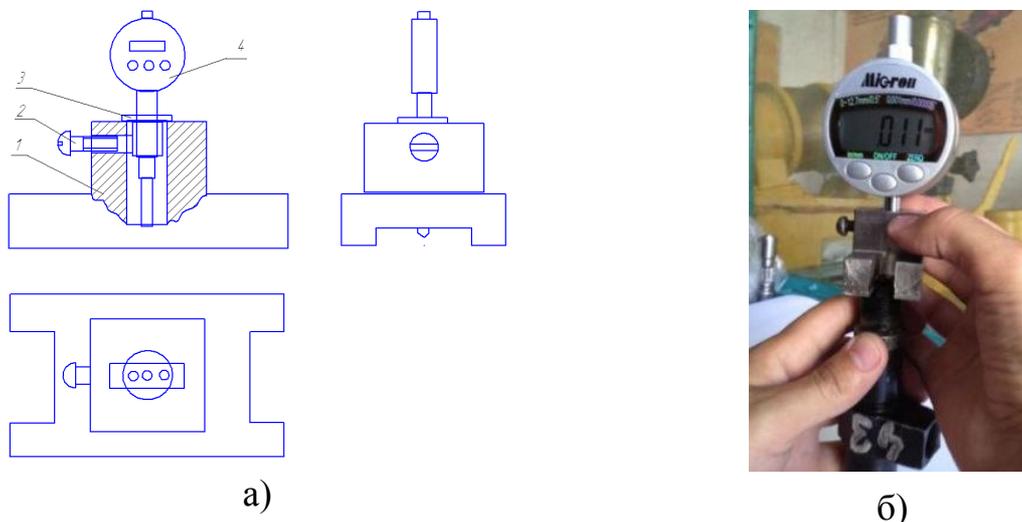


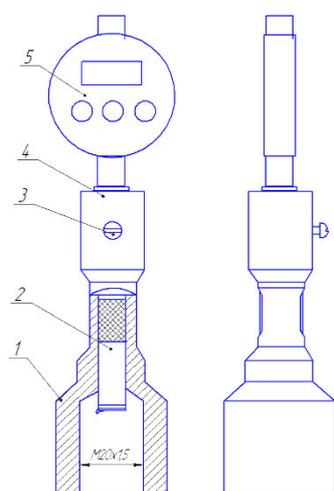
Рисунок 3.1 - Приспособление для определения износа уплотнительного торца. а- конструкция; б - способ применения;

1 – корпус, 2 – стопорный винт, 3 - втулка, 4 - индикаторная головка (ИЦ)

Для определения неперпендикулярности уплотнительного торца относительно геометрической оси корпуса форсунки использовалось разработанное приспособление (рисунок 3.2).

Приспособление состоит из корпуса с резьбой 1, внутри которой имеется стержень с наконечником 2, стопорного винта 3, втулкой 4, индикаторную головку с цифровым отчетным устройством (ИЦ) 5. Приспособление работает следующим образом: корпус наворачивается на резьбовую часть корпуса форсунки до упора, после чего проводится вращение стержня, который связан с отсчетным механизмом. Наконечник стержня проводит «ощупывание» поверхности торца, и на отсчетном механизме выдаётся величина отклонения от перпендикулярности.

Таким образом, предлагаемые приспособления и приборы позволяют определить износ уплотнительного торца корпуса форсунки и обоснованно решить вопрос о его восстановлении и постановки на него нового распылителя.



а)



б)

Рисунок 3.2 - Приспособление для определения неперпендикулярности уплотнительного торца относительно геометрической оси корпуса форсунки:  
а- конструкция; б - способ применения;

1- корпус с резьбой, 2 - стержень с наконечником, 3 - стопорный винт, 4 - втулка, 5 - индикаторная головка (ИЦ).

Следующим этапом этой работы необходимо определить количество форсунок необходимых для исследования. Определение количества форсунок и обработку полученных данных планируем проводить, опираясь на основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники [89,95] Для определения многих показателей надежности сельскохозяйственной техники (ресурс, срок службы, износ и т.д.), чаще всего встречается закон распределения Вейбулла (ЗРВ) и закон нормального распределения (ЗНР). Поэтому для определения количества форсунок с целью определения износов УТКФ предварительно выбираем закон распределения Вейбулла [89,95].

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{x_{(1-\alpha; 2N)}^2}, \quad (3.1)$$

где:  $\sigma$  - возможная относительная ошибка,

$b$  - коэффициент для закона распределения Вейбулла

Для решения данного уравнения необходимо было задаться величиной доверительной вероятности  $\alpha_0$  и возможной доверительной ошибки  $\sigma$ .

Примем  $\alpha_0 = 0,95$ ,  $\sigma = 0,05$  и в соответствии с таблицей 4 приложение 1. [95], коэффициент вариации  $\nu = 0,663$ ,  $b = 3,35$ ,

Таким образом, подставив значения в уравнение (3.1) получим:

$$(0,05 + 1)^{3,35} = 1,18$$

Опираясь на значения таблицы 14 приложения [95], находим значение количества наблюдений  $N > 100$

Вследствие этого нами были исследованы 130 корпусов форсунок дизельных двигателей семейства ЯМЗ и Д-245(260), при проведении ТО-3 (960-1000 мото-часов) в ряде предприятий Оренбургской области и результаты измерений представлены в (приложении 1). Из таблицы видно, что износ в месте контакта с корпусом распылителя незначителен по сравнению с износом в месте контакта иглы распылителя. Поэтому обработку результатов измерения износа будем вести по износу в месте удара заплечиков иглы по уплотнительному торцу, т.к. он больше по величине.

Для составления интервального ряда распределения износов, область значений разбивается на определенные частичные интервалы каждый из которых имеет верхнюю и нижнюю границы.

Количество интервалов определяется из уравнения [95].

$$n = \sqrt{N} \quad (3.2)$$

где:  $N$  – количество измерений, шт.;

$$n = \sqrt{130} \approx 11,4$$

Принимаем 11 интервалов.

Далее определяется значения частоты по интервалам по формуле:

$$P_{on} = \frac{m_i}{N_i} \quad (3.3)$$

где:  $m_i$  – частота (попадания величины износа в заданные интервалы верхних и нижних границ).

$N_i$  – число испытываемых форсунок, шт.

Определяем также накопленные частности по формуле:

$$\sum P_{on} = \sum \frac{m_i}{N_i} \quad (3.4)$$

На основании полученных результатов расчетов составляется статистический ряд информации износов УТКФ представленных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 -Статистический ряд распределения износа УТКФ.

Частичные интервалы, мм.	0-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,07	0,07-0,08	0,08-0,09	0,09-0,1	0,1-0,11
Середины интервалов, $U_{uci}$	0,005	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,105
Частоты, $m_i$	14	46	28	21	13	3	1	1	1	1	1
Частость, $P_{Opi} = \frac{m_i}{N}$	0,107	0,354	0,215	0,161	0,10	0,023	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Накопленные частоты, $\sum P_{Opi} = \sum \frac{m_i}{N}$	0,107	0,461	0,676	0,837	0,937	0,960	0,968	0,976	0,984	0,992	1,000

По данным измерений строим гистограмму и полигон распределения износов уплотнительного торца корпуса форсунки (УТКФ) (рисунок 3.3).

Анализ таблицы 3.1 и рисунка 3.3 выявил, что абсолютное большинство значений  $U_{и}$  износа попали в первый, второй, третий, четвертый и в пятый интервалы, поэтому с вероятностью примерно 0,95 можно утверждать, что износ УТКФ будет изменяться от 0,01, но не более чем до 0,05мм.

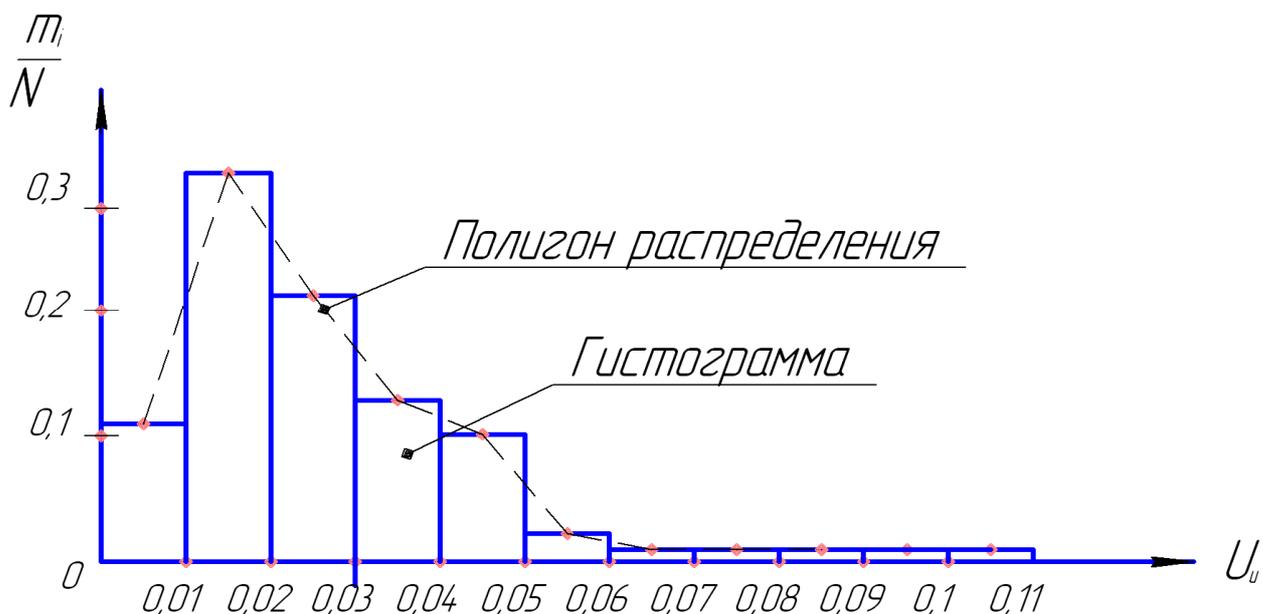


Рисунок 3.3 - Гистограмма и полигон распределения износов уплотнительного торца корпуса форсунки.

Средний износ уплотнительных торцов корпусов форсунок равен

$$U_u = \sum U_{uci} \cdot \frac{m_i}{N_i}, \quad (3.5)$$

где:  $U_{uci}$  - величина износа, соответствующая середине  $i$  - го интервала.

$$U_u = 0,005 \times 0,107 + 0,015 \times 0,354 + 0,025 \times 0,215 + 0,035 \times 0,162 + 0,045 \times 0,10 + 0,055 \times 0,023 + 0,065 \times 0,008 + 0,075 \times 0,008 + 0,085 \times 0,008 + 0,095 \times 0,008 + 0,105 \times 0,008 = 0,026 \text{ мм.}$$

Разброс величины износа оценивается среднеквадратическим отклонением  $\delta$ , которая рассчитывается по формуле.

$$\delta = \sqrt{\sum (U_{uci} - U_u)^2 \cdot \frac{m_i}{N_i}} \quad (3.6)$$

$$\delta^2 = (0,005-0,026)^2 \cdot 0,108 + (0,015-0,026)^2 \cdot 0,354 + (0,025-0,026)^2 \cdot 0,215 + (0,035 - 0,026)^2 \cdot 0,162 + (0,045 - 0,026)^2 \cdot 0,10 + (0,055-0,026)^2 \cdot 0,023 + (0,065-0,026)^2 \cdot 0,008 + (0,075-0,026)^2 \cdot 0,008 + (0,085-0,026)^2 \cdot 0,008 + (0,095-0,026)^2 \cdot 0,008 + (0,105-0,026)^2 \cdot 0,008 = 0,000306 \text{ мм}^2$$

$$\delta = 0,0175 \text{ мм.}$$

Степень рассеивания случайной величины износа определяется и безразмерной числовой характеристикой -коэффициентом вариации

$$V = \frac{\delta}{U_u - t_{cm}} \quad (3.7)$$

где:  $t_{cm}$  - величина смещения зоны рассеивания;

$U_u$  –средний износ торца корпусов

Смещение нужно принимать численно равным нижней границе первого частичного интервала из таблицы ряда распределения случайной величины. В нашем случае  $t_{cm} = 0$

$$V = \frac{0,0175}{0,026} = 0,673$$

Теоретический закон распределения (ТЗР) износа можно подобрать по значению коэффициента вариации;

если  $v < 0,33$  - выбирается нормальный закон распределения;

если  $v > 0,33$  - выбирается закон распределения Вейбулла

Так как в рассматриваемом примере  $v = 0,673$ , что больше 0,33 то следует, что закон распределения Вейбулла (ЗРВ) выбран правильно, для которого интегральная функция распределения износов будет иметь вид:

$$f(u) = \frac{b}{a} \frac{(U)^{b-1}}{a} \cdot e^{-\frac{(U) \cdot b}{a}} \quad (3.8)$$

$$F(U) = 1 - e^{-\frac{(U)b}{a}} \quad (3.9)$$

Значение коэффициентов  $b$  находим по приложению 3 таблица 4 [95].

$b = 1,54$ ;  $K_b = 0,9$ ;  $C_b = 0,597$ , коэффициент  $a$  определяется по формуле:

$$a = \frac{\delta}{C_b} = \frac{0,0173}{0,597} = 0,034$$

Уточняем средний износ  $U_u$  для ТЗР по формуле:

$$U_u = a \cdot K_b + t_{cm} \quad (3.10)$$

где:  $t_{cm}$  – величина смещения зоны рассеивания,  $t_{cm} = 0$

$$U_u = 0,029 \times 0,9 + 0 = 0,0261 \text{ мм}$$

Уточненная величина среднего износа соответствует ранее определенному.

Дифференциальная функция распределения будет иметь вид:

$$f(u) = 53,1 \left( \frac{U}{0,029} \right)^{0,540} \cdot e^{-\left( \frac{U}{0,029} \right)^{1,54}} \quad (3.11)$$

Интегральная функция распределения износов будет иметь вид:

$$f(u) = 1 - e^{-\left( \frac{U}{0,029} \right)^{1,54}} \quad (3.12)$$

На графике (рисунок 3.4) совместно наносятся графики эмпирической и интегральной функций распределения износов.

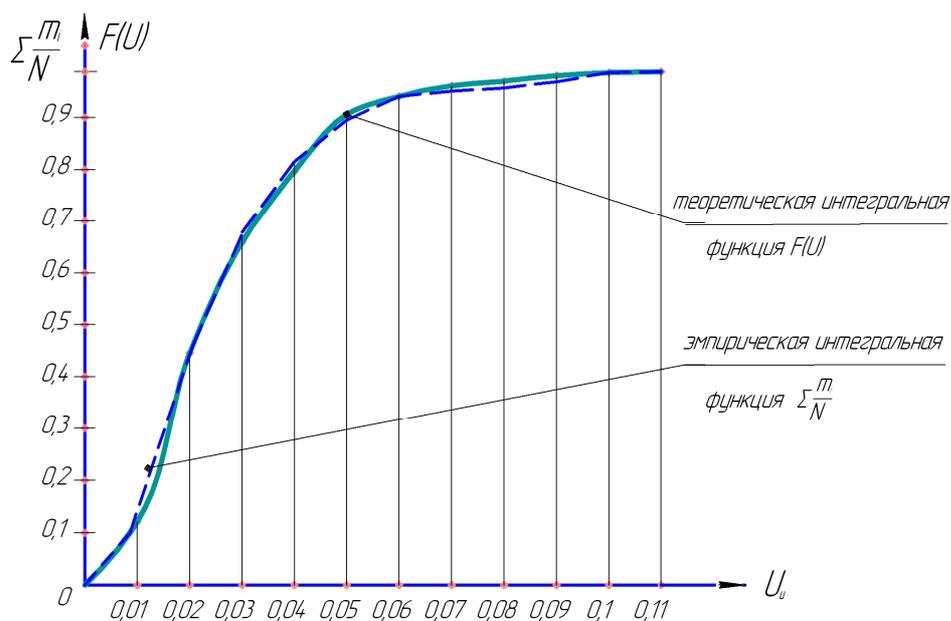


Рисунок 3.4 – Интегральная и эмпирическая функция распределения износов уплотнительного торца корпусов форсунок.

Исходя из выше указанных расчетов можно сделать вывод, что средний износ УТКФ равен:  $U_{\text{ср}} = 0,026\text{мм}$ . Вероятность наиболее часто встречающегося износа (рис.4) находятся в пределах от 0,01 до 0,05 мм. В связи с этим при ремонте форсунок предлагается разделить на 4 группы по износу УТКФ. Это позволит минимизировать величину снимаемого слоя металла, тем самым повысить послеремонтный ресурс детали.

I - группа – от 0мм до 0,02 мм.

II - группа – от 0,02мм. до 0,04 мм.

III - группа – от 0,04мм. до 0,05 мм.

IV - группа - свыше 0,05 мм.

Шлифование и доводку УТКФ предлагается проводить комплектами, по количеству мест для их крепления в разработанных для этого приспособлениях, что увеличивает производительность труда и снижает величину выбраковки корпусов форсунок.

### **3.1.2 Исследование процесса механизированной обработки уплотнительного торца корпуса форсунки (УТКФ)**

#### *3.1.2.1 Процесс шлифования*

Подбор оборудования для исследования влияния технологических параметров процесса шлифования, осуществлялся на основании РТМ 700001021-82 «Восстановление форсунок автотракторных дизелей» [92].

Данный документ не дает четкой рекомендации по режимам шлифования. Учитывая то обстоятельство, что глубина износов поверхностей может быть различной, необходимо чтобы глубина шлифования зависела от неплоскостности и максимальной величины износа УТКФ (рисунок 3.5).

Формула для расчета глубины шлифования в этом случае будет выглядеть следующим образом:

$$L_M = l_{\text{max}} - l_{\text{min}} + U_{\text{max}}, \quad (3.13)$$

где:  $L_M$  - глубина шлифования, мм;

$l_{max}$  - расстояние от шлифуемой плоскости максимально выступающего торца детали до плиты приспособления, мм;

$l_{min}$  - расстояние от шлифуемой плоскости минимально выступающего торца детали до плиты приспособления, мм;

$U_{max}$  - максимальная глубина износа минимально выступающего торца детали, мм.

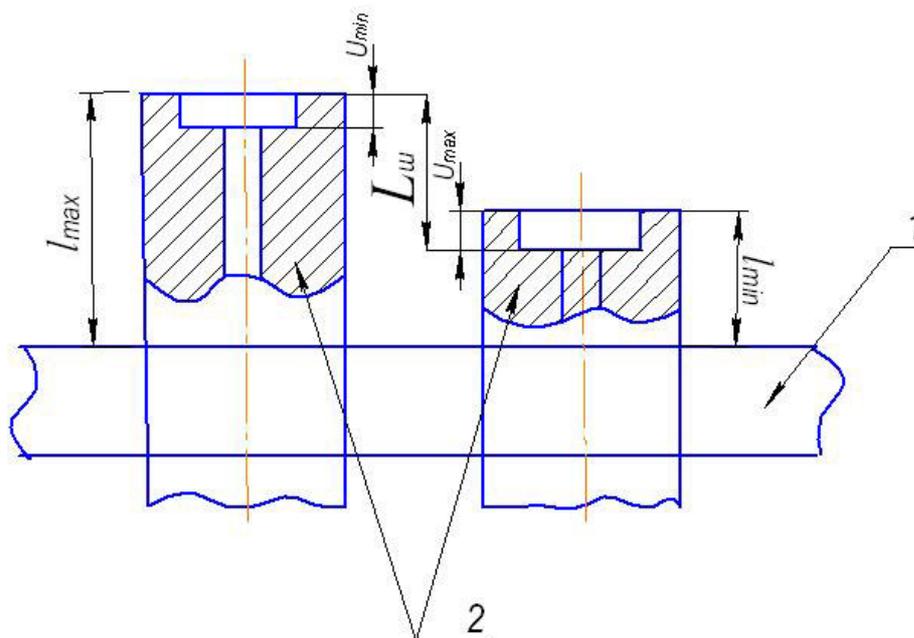


Рисунок 3.5 - Схема определения глубины шлифования при расположении торцов корпусов форсунок в разных плоскостях: 1- плита приспособления; 2 - корпуса форсунок;

При имеющейся разнице между  $l_{max}$  и  $l_{min}$  и больших значениях  $U_{max}$  ресурс некоторых деталей из комплекта после шлифования значительно сокращается, так как плоскость торца закаливается на глубину 4мм [92], а глубина шлифования неоправданно велика. Для установления оптимальной глубины шлифования необходимо: во-первых, подбирать в комплект детали с приблизительно равными износами (по группам износа); во-вторых, добиваться установки шлифуемых поверхностей в одной плоскости.

Определение оборудования осуществлялся с определения марки плоскошлифовального станка. В нашем случае мы остановились на высокоточном плоско шлифовальном станке марки ЗГ71.



Рисунок 3.6 - Шлифование УТКФ на станке 3Г71:  
 1 – магнитный стол; 2 – станина; 3 - плита для шлифования и доводки;  
 4 – абразивный круг

На магнитный стол, которого устанавливается разработанное многоместное приспособление для шлифования уплотнительных торцов корпусов форсунок (патент РФ на полезную модель №169926) (рисунок 3.6).

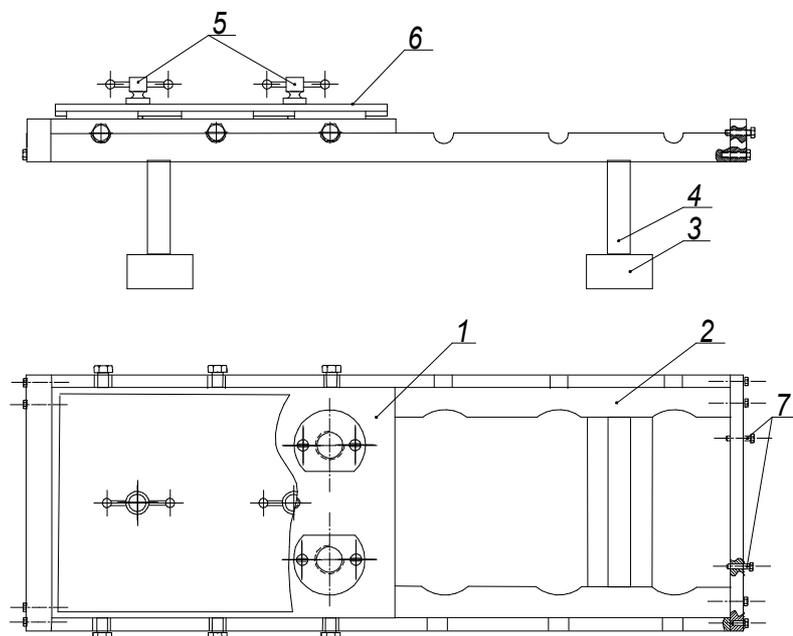


Рисунок 3.7 - Приспособление для шлифования и притирки уплотнительных торцов корпусов форсунок:  
 1 – плиты; 2 – рама; 3 – опоры; 4- стойки; 5 – винты крепления контрольной плиты; 6 – контрольная плита; 7 –винты фиксации плит;

При шлифовании контрольную плиту 6 крепят на каждую половину плиты приспособления 1 посредством винтов 5 (рисунок 3.7). Корпуса форсунок с одинаковыми износами уплотнительных торцов заворачивают снизу во втулки 8 до упора торцов в поверхность паза контрольной плиты 6 и этим обеспечивают выступание подлежащих шлифованию поверхностей на одинаковую величину, равную глубине паза. От проворачивания при шлифовании и притирки, форсунки фиксируют винтами. Приспособление устанавливают на магнитный стол плоскошлифовального станка для выполнения основной операции - шлифования уплотнительных торцов корпусов форсунок до выведения следов износа.

Процесс шлифования проводится с учетом теории шлифования до выведения следов износа. По окончании процесса шлифования плита с форсунками снимается с установочных опор, и перемещаются для притирки поверхности уплотнительных торцов корпусов форсунок.

### *3.1.2.2 Процесс механизированной притирки (доводки)*

Для определения влияния технологических параметров механизированной притирки (доводки) на качество обработанной поверхности нами использовался доводочный станок (переоборудованный станок модели ЗЕ814).

Предлагаемое приспособление монтируется на универсальном доводочном станке модели ЗЕ814 (рисунок 3.8) и состоит из притирочной плиты 2 установленной на столе 1 станка, «кассетницы» 3, жестко соединённой с валом. Вал в свою очередь соединён с выходным валом мотор - редуктора 6, который вертикально закреплен на раме 7. Рама установлена на штоке станка. Шток позволяет совершать перемещения в вертикальной плоскости при помощи пневмоцилиндра. Процесс притирки производится качественно, если движения, совершаемые деталью, будут сложными (т.е. сочеталось вращательное и возвратно-поступательное движения) для выполнения этого условия приспособление имеет специальный механический привод 5.

Приспособление работает следующим образом: плита с набранными в ней корпусами форсунок устанавливается в рамку «кассетницы». Накладывается замок, и плита фиксируется двумя болтами. После чего при помощи пневмоцилиндра шток с установленным на нем приспособлением, опускается на притирочную плиту и за счет пружин плотно прижимает уплотнительные торцы к притиру. Затем производится запуск мотор - редуктора и электродвигателя привода стола. «кассетница» и притирочная плита вращаются в противоположные стороны и за счет цепного привода совершают возвратно - поступательные движения.

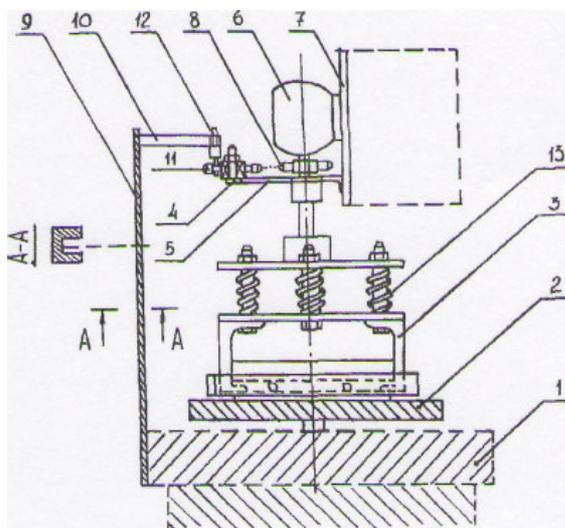


Рисунок 3.8 Схема доводочного станка.

1 – станина; 2 - притир; 3 - кассетница; 4 - эксцентрик; 5- крепление эксцентрика; 6 - мотор - редуктор; 7 - подвижная опора; 8 - ведущая звездочка цепной передачи; 9 - неподвижная опора; 10 - шатун; 11 - ведомая звездочка цепной передачи; 12 - палец крепления шатуна с эксцентриком; 13 - компенсирующий механизм.

### 3.1.3 Методика определения параметров шероховатости

По окончании процесса механической обработки, форсунки подвергались исследованию по изучению влияния выбранного режущего инструмента и режимов резания при шлифовании, а так же влияния выбранных динамических факторов при доводке, на качество обработанной поверхности (шероховатость) уплотнительного торца корпуса форсунки определяется контактным методом с использованием измерителя шероховатости (профилометра) модели SRT-6100 дающем показания среднеарифметической высоты неровностей поверхности  $R_a$  (рисунок 3.9) и дальнейшее сравнение с требованиями РТМ.



Рисунок 3.9 – Измерение шероховатости уплотнительного торца корпуса форсунок;

1 – измеритель шероховатости (профилометр), 2 – уплотнительный торец корпус форсунок, 3 – приспособление для шлифования и доводки.

### 3.1.4 Методика определения твердости

Для измерения твердости поверхностного слоя УТКФ и определения его отклонений от номинальных характеристик для стали 45 подверженной закалке использовался твердомер ТК-2 (рисунок 3.10). Твердомер устроен и работает подобно твердомеру Бринелля, но оставляет отпечатки гораздо меньших размеров. Это обеспечивает конус (индентор) с углом при вершине  $120^\circ$  (алмазный или твердосплавный), что позволяет испытывать не только образцы, но и рабочие детали.



Рисунок 3.10 – измерения твердости с использованием твердомера ТК – 2; 1- твердомер, 2 - индикаторный указатель твердости, 3 – конус (индентор), 4 – уплотнительный торец корпуса форсунок

В соответствии с требованиями к образцам поверхность испытываемого

изделия должна иметь низкую шероховатость  $R_a \approx 1.25$  мкм. Измерения проводились после механических обработок (шлифования и доводки), по шкале HRC с соответствующим набором грузов (150 кг). Замеры производились в зоне (месте) контакта торца иглы распылителя с уплотнительным торцом корпуса форсунки и месте контакта УТКФ с корпусом распылителя. Полученные результаты замеров сравнивались с техническими данными РТМ [92].

В связи с жесткими требованиями в отношении перпендикулярности испытываемой поверхности к направлению перемещения наконечника твердомера, в процессе работы использовалась специально подготовленная подставка.

### **3.1.5 Исследование влияния состояния уплотнительного торца корпуса форсунки на качественные и экономические показатели форсунки**

Для определения качественных и экономических характеристик форсунок дизельных ДВС используются ряд диагностических стендов и приборов:

Для определения давления начала открытия иглы распылителя, а также мелкости распыливания дизельного топлива использовался прибор КИ-3333 (рисунок 3.11), оснащенный вентилятором для засасывания топливной пыли, так же в нем предусмотрен гидравлический аккумулятор, позволяющий гасить толчки жидкости при прокачке топлива плунжерной парой, тем самым повышая точность замера давления впрыска. Он состоит из корпуса, который одновременно служит и топливным баком; насоса высокого давления; топливных кранов, манометра, гидроаккумулятора, камеры впрыскивания с подсветкой факела распыливаемого топлива, вентилятора.

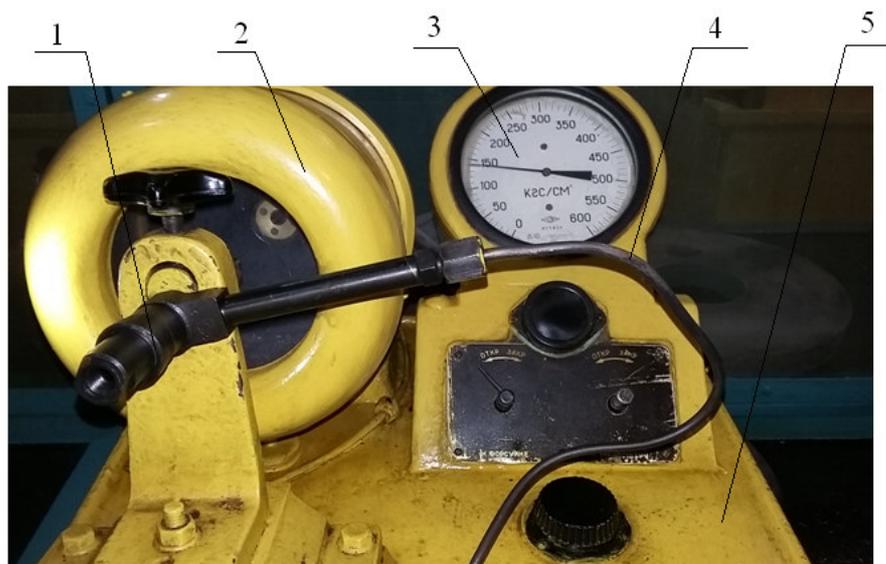


Рисунок 3.11 Прибор КИ -3333 для регулировки и испытания форсунок.  
1 – форсунка; 2 - камера впрыска с подсветкой; 3 - манометр;  
4 – топливопровод высокого давления; 5 – корпус прибора.

Испытания заключались в контроле давлений начала срабатывания, а также наличия протечек топлива в местах сопряжения распылителя с корпусом форсунки. Проверке подвергались форсунки с износами и после удаления следов износа в процессе восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки.

Для оценки пропускной способности форсунки использовался диагностический стенд КИ- 15711М-01-ГОСНИТИ (рисунок 3.12), предназначенный для испытания и регулировки топливных насосов с числом секций до 12.

Стенд оснащен электронным измерительным блоком с цифровыми индикаторами, которые выдают численное значение следующих параметров: частота вращения главного вала (приводящего в движение испытуемый топливный насос), число циклов подачи испытуемым насосом (число впрыска топлива), угол начала впрыска. Так же стенд оснащен манометрами, указывающими давление в трубках высокого давления (от насоса к форсунке), в гидравлической системе привода стенда.



Рисунок 3.12 Стенд для испытания дизельной топливной аппаратуры КИ-15711М-01-ГОСНИТИ.

1 – маховик; 2 – пульт управления; 3 – мерные сосуды; 4 – топливный насос (ТНВД); 5 - топливопровод высокого давления.

## 3.2 Планирование эксперимента

### 3.2.1 Методика проведения многофакторного эксперимента

При разработке ремонтно-технологической оснастки для ремонта уплотнительного торца корпуса форсунки, необходимо выбрать такие факторы, которые оказывают основное или наибольшее влияние на параметры качества поверхности уплотнительного торца, и выбирать их реально возможные значения, задавшись интервалом возможных значений, определяемым как теоретически, так и эмпирически. В данном случае речь идет об управляемых факторах – факторах, на которые имеет возможность влиять исследователь [11, 21, 25,27, 32, 37, 45,]. Планирование эксперимента – это средство построения математической модели рассматриваемых в исследовании явлений и процессов, способствующее снижению затрат времени и средств, а также повышению производительности труда исследователя [3,77]. Исходя из того, что факторы, определяющие оптимальные параметры рассматриваемых нами процессов, происходящих при движении уплотнительного торца корпуса форсунки по притиру доводочного станка достаточно многочисленны, то было признано

целесообразным проведение многофакторного эксперимента. Данный многофакторный эксперимент планировался на основании известных методик планирования [56].

Чтобы выбрать план эксперимента, необходимо сформулировать критерий его оптимальности. Среди математических методов планирования эксперимента широкое распространение получили методы построения ортогональных планов. Достоинство ортогональных планов заключается в простоте их построения, в обеспечении максимальной точности определения выборочных коэффициентов модели и в существенном уменьшении вычислительных операций. Особенно эти достоинства проявляются по мере увеличения числа факторов, то есть при увеличении сложности задачи [3,77].

### 3.2.2 Методика планирования эксперимента

При проведении многофакторного эксперимента по определению влияния технологии механизированной доводки на качество обработанной поверхности уплотнительного торца корпуса форсунки нами применяется ортогональное планирование эксперимента первого порядка [38,39]. Если представить результаты наблюдения за каждым фактором в виде координат векторов в пространстве наблюдений, то коэффициент корреляции между двумя факторами, равен косинусу угла между векторами, который будет равен нулю, если эти векторы перпендикулярны, т.е. ортогональны. Условие ортогональности векторов – равенство нулю их скалярного произведения (равенство нулю коэффициентов корреляции). При построении ортогонального плана эксперимента необходимо обеспечить следующие условия ортогональности:

$$\sum_{i \neq j}^N X_i \cdot X_j = 0 ; i = 1, 2, 3 \dots, k ; j = 1, 2, 3 \dots, k ; \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^N X_i = 0 ; i = 1, 2, 3 \dots, k ; \sum_{i=1}^N X_i^2 = N ; i = 1, 2, 3 \dots, k ; \quad (3.14)$$

где  $N$  – число опытов;

$k$  – число факторов.

Построение ортогонального плана эксперимента базируется на формировании матрицы планирования. Для ее построения необходимо натуральные значения переменных (управляемых факторов, воздействующих на параметр оптимизации) перевести в кодированные, варьирующие на двух уровнях. Следовательно, перед планированием и построением матрицы необходимо выбрать параметр, рассматриваемый с точки зрения оптимизации и факторы, оказывающие на него влияние. В данном случае рассматриваем только управляемые факторы, т.е. только те, на значения которых мы можем оказать непосредственное и подлежащее объективной оценке воздействие (факторы, значениями которых мы можем управлять независимо от различных условий). В связи с необходимостью оценки влияния предложенной технологии механизированной доводки на качество уплотнительного торца корпуса форсунки параметром оптимизации нами принята шероховатость (чистота) обработанной поверхности. Данный параметр позволяет рассматривать, а также по возможности и проводить регулировку режимных показателей при механизированной доводке уплотнительного торца корпуса форсунки. При этом необходимо учитывать, что данный параметр должен соответствовать руководящим техническим материалам (РТМ) [92]. В результате анализа математической модели процесса получения требуемой чистоты при доводке (глава 2) а также опираясь на опыт других авторов, занимавшихся данными исследованиями, было установлено, что в виду многообразия факторов, влияющих на процесс доводки, нами для исследования был выбран динамический фактор. В процессе исследований было необходимо установить влияние на чистоту обработанной поверхности (за показатель чистоты была выбрана шероховатость поверхности Ra) таких факторов как:

- скорость движения притира и детали;
- усилие прижатия корпуса форсунки к притиру;
- продолжительность контакта корпуса форсунки с притиром;
- зернистость абразивного материала (пасты), наносимый на притир при

доводке;

При формировании методики определения влияния скорости движения детали и притира на чистоту (шероховатость) поверхности УТКФ, а так же износ притира в процессе плоской доводки, примем суммарную скорость движения при доводке постоянной  $v = 1,25$  м/мин. При этом степень влияния на шероховатость (чистоту) обрабатываемой поверхности остальных режимных факторов требует уточнения.

Методика проведения эксперимента включает этапы предварительного исследования:

- 1) Определить величину зернистости абразивного материала (пасты) наносимой на притир ( $F$ ), усилия прижатия корпуса форсунки к притиру ( $P$ ), времени их контакта с притиром ( $T$ ), которые обеспечат чистоту (шероховатость) поверхности в пределах  $Ra = 0,10$  мкм (10 класса).
- 2) Из общего числа полученных диапазонов возможных вариантов режимных параметров доводки, усилия прижатия корпуса форсунки к притиру, времени доводки и зернистости абразивной пасты, выбрать те, которые обеспечат минимальное время доводки, наименьший съем металла, а также чистоту (шероховатость) УТКФ.

Для установления степени влияния управляемых режимных параметров процесса доводки на шероховатость (чистоту) УТКФ и определения их оптимальных значений, воспользуемся методикой проведения многофакторного эксперимента, изложенной в работах [11,12,21,32,45].

Для этого зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности от управляемых факторов процесса доводки представим в виде уравнения линейной регрессии, которое для 3-факторного эксперимента имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.15)$$

где  $y = \lg R_a$  - логарифмическое выражение параметра чистоты (шероховатости)  $R_a$  уплотнительного торца корпуса форсунки (отклик модели);

$x_1, x_2,$  и  $x_3$  - переменные факторы в закодированном виде, соответствующие зернистости абразивного материала (пасты)  $F$ , времени доводки  $T$  и усилию прижатия  $P$  соответственно;

$b_0, b_1, b_2, b_3,$  - коэффициенты регрессии при переменных факторах, являющиеся оценками их значимости;

$b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$  - коэффициенты регрессии, учитывающие значимость взаимного влияния переменных факторов на процесс доводки.

Кодирование факторов  $x_1, x_2, x_3,$  в уравнении регрессии (3.15) осуществляется по следующим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\lg F - \lg F_{max})}{\lg F_{max} - \lg F_{min}} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(\lg T - \lg T_{max})}{\lg T_{max} - \lg T_{min}} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(\lg P_y - \lg P_{y_{max}})}{\lg P_{y_{max}} - \lg P_{y_{min}}} + 1; \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

Расчет коэффициентов регрессии  $b_0, b_1, b_2, b_3,$  в уравнении (3.16) осуществляется с учетом знака ( $\pm$ ) при переменных факторах по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i; \\ b_j &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{y}_i \\ b_{ij} &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{jik} \bar{y}_k \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

где:  $\bar{y}_i$  - среднее значение логарифма шероховатости по трем параллельным опытам.

Оценка значимости коэффициентов регрессии осуществляется при помощи t-критерия Стьюдента. Коэффициент регрессии  $b_j$  статически

значим, если выполняется условие:

$$b_j \geq \pm t_{T(p, \bar{f}_i)} S_{b_j}, \quad (3.18)$$

где  $t_{T(p, \bar{f}_i)}$  - табличное значение критерия Стьюдента;

$S_{b_j}$  - среднеквадратичное отклонение коэффициентов регрессии.

При уровне доверительной вероятности  $p = 0,95$  и числе степеней свободы дисперсии адекватности  $f_{\bar{y}} = N(k - 1) = 8(3 - 1) = 16$  табличное значение критерия Стьюдента составляет  $t_{T(0,96;16)} = 2,12$  (приложение 3).

Среднеквадратичное отклонение коэффициентов регрессии определяется:

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S_{\bar{y}_i}^2}{N}}, \quad (3.19)$$

где  $S_{\bar{y}_i}^2$  - оценка среднего значения дисперсии воспроизводимости опытов:

$$S_{\bar{y}_i}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (3.20)$$

где  $S_i^2$  - дисперсии воспроизводимости параллельных опытов.

Для начала определимся с уровнями варьирования факторов.

Исходя из норм времени при доводке закаленных сталей на механизированных станках, принимаем крайние значения времени с применением доводочного станка от 1 до 5 мин. [71,105]. Нами упоминалось, что доводка плоских поверхностей проводится свободным абразивом с нанесением на дисковый притир абразивной пасты. Это связано с расположением зерен и упругостью основы. При установке нижних значений уровня варьирования времени доводки также закладывалось условие удаления с поверхности уплотнительного торца следов износа шлифования [63,71, 105].

Уровни варьирования усилия прижатия корпуса форсунки, к

поверхности притира исходя из обеспечения максимально возможной нагрузки, при которой будет обеспечено наличие абразивной пленки между притиром и деталью  $-0,1-0,2$  МПа. ( $1-2$  кг/см<sup>2</sup>) [63,71].

В ходе проведения экспериментов нами учитывались влияние на чистоту притираемой поверхности свойства и зернистость притирочных материалов. Согласно исследований Курдюкова В.И., Масловского ВВ, при механической доводке для достижения требуемой чистоты (шероховатости) рекомендуемые зернистости паст ( $5-28$  мкм), наносимых в виде суспензии [63,71].

Таблица 3.2 - Уровни варьирования переменных факторов при доводке уплотнительного торца корпуса форсунки.

Уровень варьирования	Зернистость абразивного материала (пасты)		Продолжительность контакта корпуса форсунки с притиром		Усилия прижатия корпуса форсунки к притиру	
	<i>F, мкм</i>	$x_1$	<i>T, мин..</i>	$x_2$	<i>P, Н.</i>	$x_3$
Основной	13	0	3	0	50	0
Верхний	28	+1	5	+1	80	+1
Нижний	5	-1	1	-1	20	-1

Согласно методике проведения полного факторного эксперимента, с тремя переменными факторами на двух уровнях, нам требуется провести восемь независимых опытов ( $N = 2^3$ ) [40]. Каждый из опытов при этом должен соответствовать граничной точке экспериментирования.

Ниже (таблица 3.2) приведена матрица плана проведения эксперимента, в которой строки отвечают проводимым опытам, а столбцы  $X_j$  - параметрам независимого и взаимного влияния. Знаку (+) соответствует максимальное значение параметра в эксперименте, знаку (-) минимальное значение. Для достоверности полученного результата по каждому независимому опыту рекомендуется проводить не менее 3 параллельных опытов с определением каждый раз параметра шероховатости и вычислением

его среднего арифметического значения. При построении уравнения регрессии в логарифмических координатах, следует представлять полученные экспериментально значения шероховатости  $Ra$  как логарифм их значений с символом  $y_{ik}$ , а среднее арифметическое логарифмов как  $y_2$ .

Таблица 3.3 – Матрица плана трехфакторного эксперимента  $N=2^3$

№ опыта, $N$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-	-	+	-
3	+	+	-	+	-	+	-	-
4	+	-	-	+	+	-	-	+
5	+	+	+	-	+	-	-	-
6	+	-	+	-	-	+	-	+
7	+	+	-	-	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+	+	+	-

Ниже приведена формула для перевода натуральных значений факторов в кодированные:

$$t_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (3.21)$$

где  $t_i$  – кодированное значение  $i$ -го фактора;

$X_i$  – текущее натуральное значение  $i$ -го фактора;

$X_{i0}$  – натуральное значение нулевого (основного) уровня  $i$ -го фактора;

$\Delta_i$  – натуральное значение интервала варьирования  $i$ -го фактора.

Натуральные значения интервала варьирования и нулевого (основного) уровня  $i$ -го фактора определяются по формулам:

$$\Delta_i = \frac{X_{i \max} - X_{i \min}}{2}, \quad X_{i0} = \frac{X_{i \max} + X_{i \min}}{2}, \quad (3.22)$$

где  $X_{i \max}$  и  $X_{i \min}$  – натуральные максимальное и минимальное значения  $i$ -го фактора соответственно.

Оценка воспроизводимости параллельных опытов в логарифмическом выражении осуществляется по G-критерию Кохрена, согласно которому гипотеза воспроизводимости опытов принимается, если расчетное значение  $G_p$ -критерия будет меньше его табличного значения:

$$G_p \leq G_T(p, N, f_i), \quad (3.23)$$

где  $p$  – уровень доверительной вероятности, принимаемой в эксперименте;

$N$  – число опытов;

$f_i$  – число степеней свободы каждого из них.

Для принятых в эксперименте условий опытов:

$p = 0,95$ ;  $N = 8$ ;  $f_i = k - 1 = 3 - 1 = 2$  табличное значение критерия Кохрена составляет:  $G_T(0,95; 8; 2) = 0,516$  (приложение 4).

Расчетное значение  $G_p$ -критерия Кохрена определяется по формуле [42]:

$$G_p = S_{i \max}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (3.24)$$

где  $S_i^2$  – дисперсия воспроизводимости  $i$ -го независимого опыта;

$S_{i \max}^2$  – максимальное значение дисперсии воспроизводимости из всех опытов;

$N$  – число независимых опытов.

Дисперсия воспроизводимости по каждому опыту определяется как:

$$S_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (y_{ik} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.25)$$

где  $k = 3$  - число параллельных опытов.

### 3.2.3 Методика проведения лабораторных исследований

Для подготовки к производственным испытаниям и получения достоверных результатов, нами были проведены лабораторные исследования, которые состояли из нескольких этапов.

На первом этапе опираясь на результаты теоретических исследований по определению оптимальных параметров конструкции приводного и возвратно-поступательного механизма для обеспечения траектории движения и максимального использования площади притира при доводке уплотнительных торцов корпусов форсунок. Нами установлены основные параметры, которые влияют на усилия, прилагаемые к доводочным элементам, сопротивление перемещению корпусов форсунок по притиру и на мощность:

- частота вращения притира и приводного возвратно-поступательного механизма ( $c^{-1}$ );
- усилия прижатия корпуса форсунок к притиру (Н);
- времени контакта корпуса форсунок с притиром до выведения износов или припусков (с.);

Основываясь на полученных данных и исследованиях, проводимых в этой области другими учеными, нами были определены диапазоны варьирования этих параметров (таблица 3.3).

Таблица 3.4 – Диапазоны варьирования параметров, влияющих на чистоту поверхности уплотнительного торца корпуса форсунки и энергетические характеристики технологии механизированной доводки.

Параметры	Ед. изм.	Минимальное значение	Максимальное значение	Шаг варьирования
Зернистость абразивного материала (пасты)	мкм.	5	28	5
Продолжительность контакта корпуса форсунки с притиром	мин.	1	5	1
Усилие прижатия корпуса форсунки к притиру	Н.	20	80	15

## **Выводы по главе**

1) Разработанная методология экспериментальных исследований, подобранное оборудование и средства измерения позволяют: подбирать комплектно УТКФ с равными износами (разница менее 5%) по четырем группам износа; добиваться установки шлифуемых поверхностей в одной плоскости (погрешность не более 3%);

2) Закономерности, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований, позволили обосновать конструкции приспособления для механической обработки УТКФ с получением заданной шероховатости поверхности по требованиям РТМ.

3) Разработана частная методика экспериментальных исследований процессов шлифования и доводки УТКФ с использованием разработанной технологической оснастки (приспособление для шлифования и доводки УТКФ патент РФ на полезную модель №169926) для закрепления корпусов форсунок.

4) Предложена методика проведения многофакторного эксперимента для установления степени влияния управляемых режимных параметров процесса доводки (зернистость абразивного материала, усилие прижатия корпуса форсунки к притиру и продолжительность контакта форсунки с притиром) на шероховатость УТКФ и определения их оптимальных значений;

5) Разработаны приспособления к универсально-доводочному станку (с учетом теоретического обоснования кинематики) и многоместное приспособление для одновременного закрепления шести корпусов форсунок в одной плоскости УТКФ (отклонение не менее 3%).

## **4. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1 Анализ получения чистоты (шероховатости) поверхности при механизированной доводке уплотнительного торца корпуса форсунки**

При поиске оптимальных значений процесса механической доводки уплотнительного торца корпуса форсунки, необходимо определиться со значением выходного показателя, отвечающим требуемым эксплуатационным характеристикам исследуемого процесса.

Наиболее предпочтительным с точки зрения практики, это получить трехмерный график зависимости выходного параметра от режимных параметров механической доводке свободным абразивом, выбор и совокупность которых обеспечивал бы необходимый уровень шероховатости (чистоты) поверхности при обработке.

Построение данных графиков возможно при наличии математической модели (зависимости) чистоты поверхности (шероховатости) от приведенных факторов, поверхность отклика которой можно представить, как геометрическое место точек значений режимных параметров, отвечающих одному конкретному параметру чистоты поверхности (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки.

Опираясь на требования руководящих технических материалов (РТМ) [92], нами приняты значения чистоты поверхности (шероховатость) соответствующие 10а классу (0,1кмк.). Достижение этого значения будет считаться необходимым при признании режима механической доводки отвечающими цели эксперимента.

Результаты значения чистоты поверхности (шероховатости) УТКФ (уплотнительных торцов корпусов форсунок), полученные в процессе проведения эксперимента, представлены в приложении *Б*.

Основываясь на результаты, полученные в процессе проведенных экспериментов обрабатывались в программе Statistika 10. Для динамических

параметров доводки были получены значения коэффициентов регрессии, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты эксперимента по доводке уплотнительных торцов корпусов форсунок и их обработка

N=720	Итоги регрессии для зависимой переменной: Y (Таблица_данных1_(Восстановлен)) R= ,43744585 R2= ,19135887 Скоррект. R2= ,18340874 F(7,712)=24,070 p<0,0000 Станд. ошибка оценки: ,08000					
	БЕТА	Ст.Ош. БЕТА	B	Ст. Ош. B	T(712)	p-знач.
<i>Св. член</i>			0,332618	0,050804	6,54707	0,000000
<i>X1</i>	-0,036270	0,283244	-0,000404	0,003157	-0,12805	0,898143
<i>X2</i>	-0,919221	0,244883	-0,057499	0,015318	-3,75371	0,000188
<i>X3</i>	-0,439133	0,160250	-0,002323	0,000848	-2,74029	0,006292
<i>X1*X2</i>	0,356749	0,354413	0,000958	0,000952	1,00659	0,314473
<i>X1*X3</i>	0,012624	0,315691	0,000002	0,000053	0,03999	0,968112
<i>X2*X3</i>	0,529846	0,284568	0,000476	0,000256	1,86193	0,063025
<i>X1*X2*X3</i>	-0,101789	0,376176	-0,000004	0,000016	-0,27059	0,786786

Таблица 4.2 – Результаты расчета коэффициентов регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$
0,332618	-0,000404	-0,057499	-0,002323	0,000958	0,000002	0,000476	-0,000004

С учетом результатов регрессивного анализа для параметра чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки Y (таблица 4.1), оценки значимости коэффициентов и подставив значения в уравнение (3.15), которое будет иметь следующий вид примет вид:

$$Y = 0,332618 - 0,000404x_1 - 0,057499x_2 \pm 0,002323x_3 + 0,000958x_1x_2 + 0,000002x_1x_3 0,000476x_2x_3 + 0,000004x_1x_2x_3 \quad (4.1)$$

Те из коэффициентов, у которых вероятность статистической ошибки (Ст. Ош. B) для факторов и взаимодействий факторов больше выбранного уровня значимость – 0,05 (или 5 %), исключались из уравнения регрессии. После корректировки и замены кодированных значений соответствующими параметрами уравнение (4.1) примет следующий вид:

$$Y = 0,332618 - 0,057499 \cdot T - 0,002323 \cdot P \quad (4.2)$$

Проверка адекватности полученной зависимости (4.1) экспериментально полученным значениям чистоты (шероховатости) УТКФ при механической доводке осуществляется по F-критерию Фишера, расчетное значение которого должно быть больше (равно) его табличного значения при принятых условиях эксперимента, т.е.:

$$F_p \geq F_T(p; f_{ад}; f_{\bar{y}}) \quad (4.2)$$

При принятых в эксперименте известных  $p = 0,95$ ,  $f_{\bar{y}} = 16$  и новом условии - числе степеней свободы дисперсии адекватности, определяемом, как  $f_{ад} = N - (k + 1) = 8 - (3 + 1) = 4$ , табличное значение критерия Фишера составляет:

$$F(0,95; 4; 16) = 3,01 \text{ (приложение 3).}$$

Расчетное значение критерия Фишера определяется из сравнения оценок дисперсий [16]:

$$F_p = \frac{S_{\bar{y}}^2}{S_{ад}^2}, \quad (4.3)$$

где  $S_{ад}^2$  - дисперсия адекватности;  $S_{\bar{y}}^2$  - среднее значение дисперсии воспроизводимости опытов.

Дисперсия адекватности рассчитывается по формуле:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (4.4)$$

где  $\bar{y}_i$  - экспериментально полученное среднее арифметическое значение параметра шероховатости в  $i$ -м независимом опыте;

$\hat{y}_i$  - рассчитанное по уравнению (4.1) значение параметра шероховатости в этом же опыте;

$f_{ад} = N - (k + 1)$  - число степеней свободы дисперсии адекватности.

$$\text{Сумма невязок опыта } \sum_{i=1}^8 (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 = 0,2008$$

Дисперсия адекватности составит:

$$S_{ад}^2 = \frac{0,2008 \cdot 10^{-4}}{4} = 0,0502 \cdot 10^{-4}$$

В этом случае расчетное значение F-критерия Фишера равно:

$$F_p = \frac{16,51 \cdot 10^{-4}}{0,0502 \cdot 10^{-4}} = 328,9$$

Расчетное значение F-критерия Фишера больше его табличного значения  $F(0,95; 4; 16) = 3,01$ , что говорит об адекватности модели (4.1) и служит основанием для ее принятия в качестве рабочей при описании зависимости параметра шероховатости в исследованном факторном пространстве.

По результатам экспериментов были построены поверхности отклика, отражающие зависимость чистоты (шероховатости) УТКФ (уплотнительного торца корпуса форсунки) от зернистости доводочной пасты, продолжительности доводки, усилия прижатия УТКФ к доводочной плите.

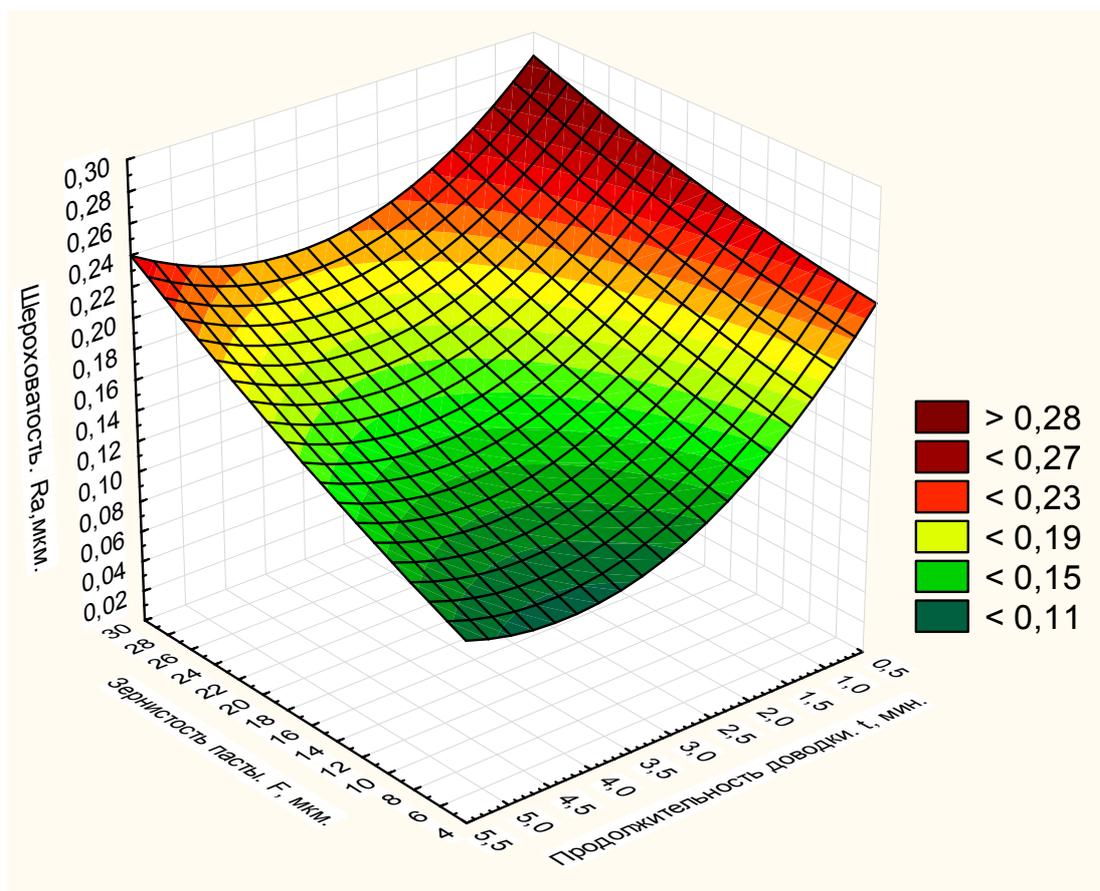


Рисунок 4.1 – Зависимость шероховатости уплотнительного торца корпуса форсунки от зернистости доводочных паст при продолжительности доводки.

Полученная поверхность отклика показывает, что оптимальным значением чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса

форсунки, находящееся в точке 0,1 мкм., что соответствует значению зернистости доводочной пасты 10 мкм, и продолжительности доводки 3,5 мин.

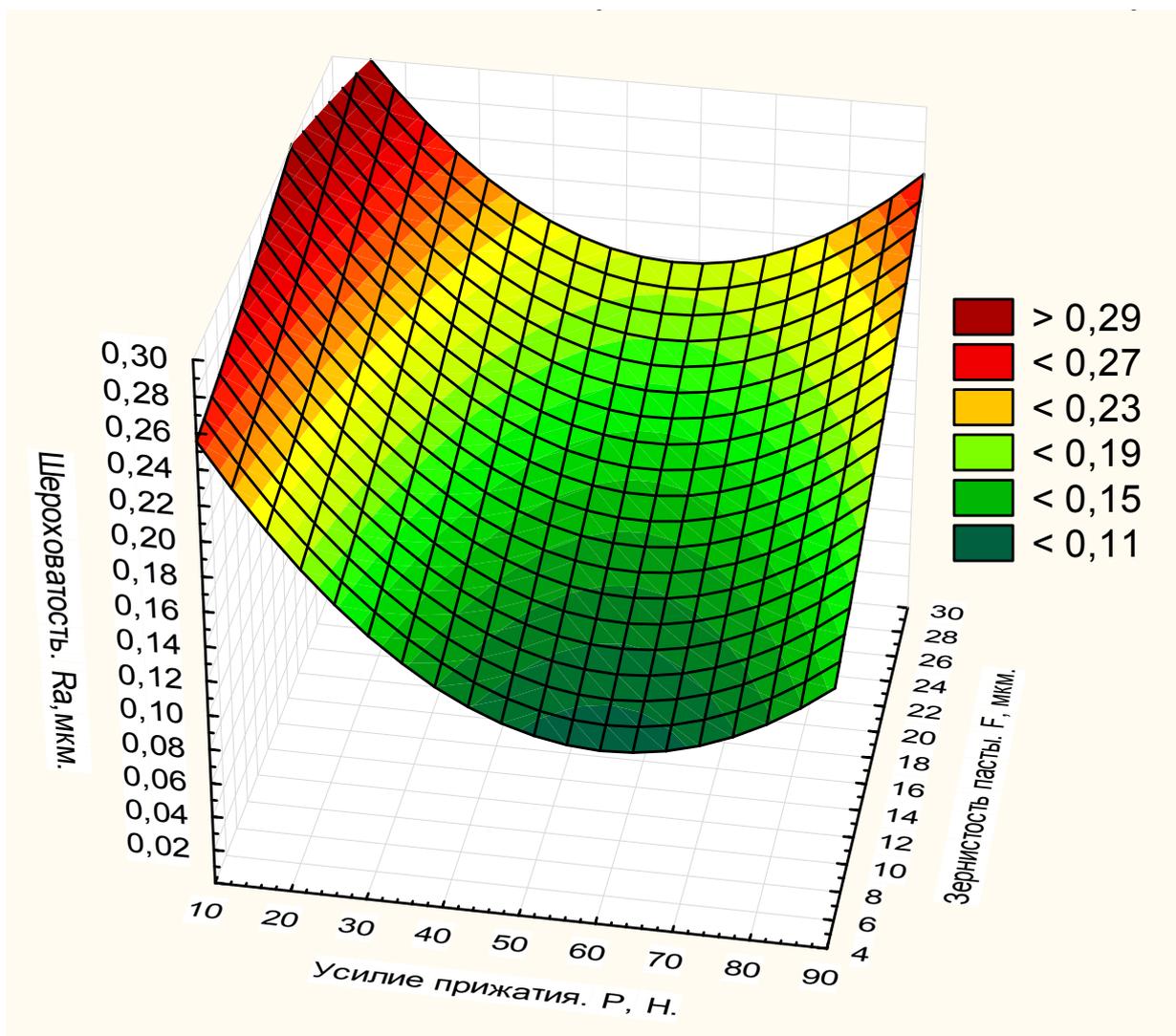


Рисунок 4.2 – Зависимость шероховатости уплотнительного торца корпуса форсунки от зернистости доводочных паст и усилия прижатия.

Из графического изображения поверхности отклика видно, что оптимальными параметрами соответствующей чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки  $Ra = 0,1$  мкм, достигается при оптимальной зернистости доводочной пасты 6 мкм, и усилия прижатия корпуса форсунки к притиру в 55 Н.

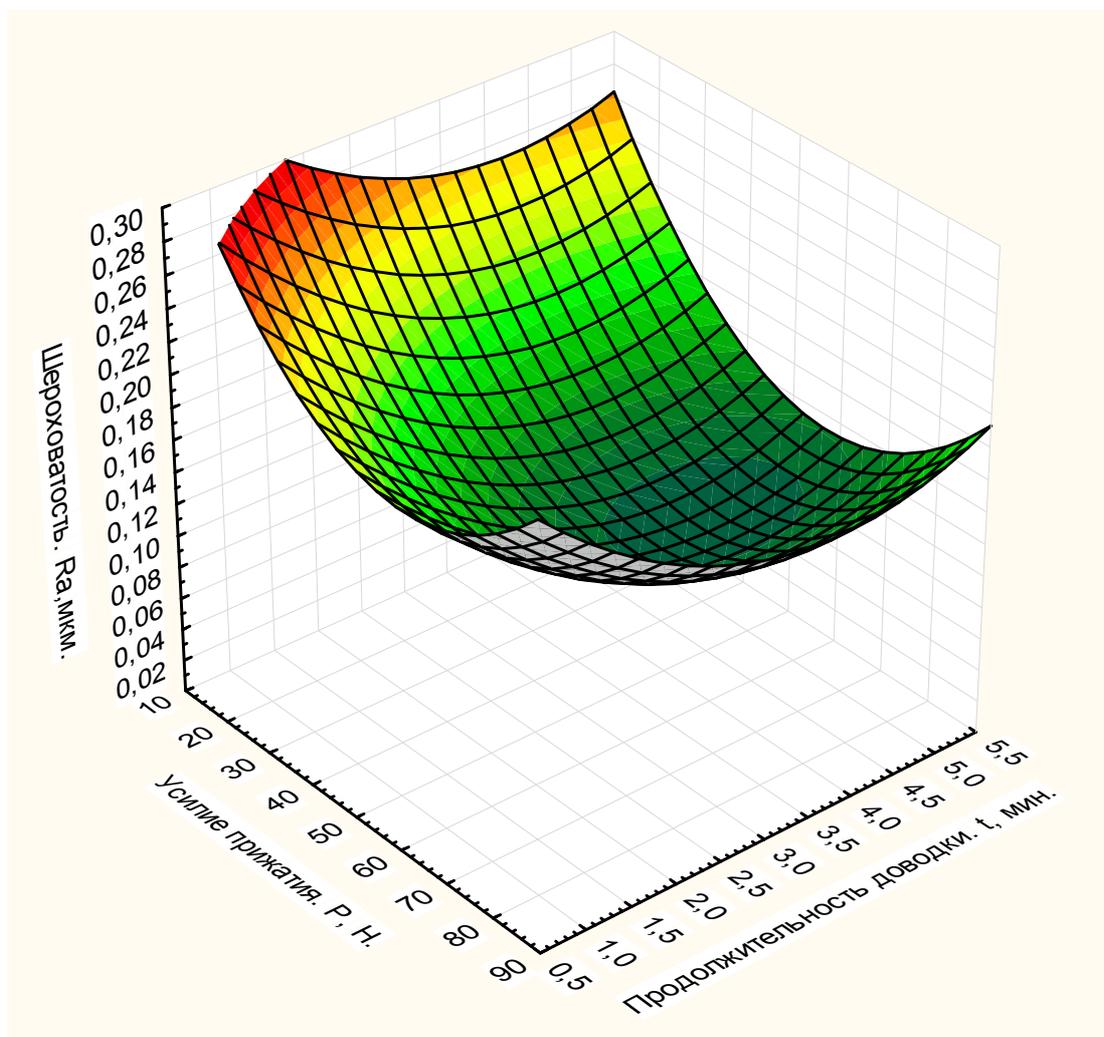


Рисунок 4.3 – Зависимость шероховатости уплотнительного торца корпуса форсунки от усилия прижатия и продолжительности доводки.

Анализируя полученное изображение поверхности отклика видно, что для соответствующей чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки  $Ra = 0,1$  мкм, оптимальными является усилие прижатия корпуса форсунки к притиру в интервале от 55 Н. и продолжительности доводки 4 мин.

В ходе проведенного анализа поверхностей отклика (рис.4.1,4.2,4.3) были определены следующие оптимальные режимные параметры доводки УТКФ на разработанном доводочном станке;

- зернистость доводочной пасты 7мкм;
- усилие прижатия корпуса форсунки к притиру 55Н;
- продолжительность доводки -3,5мин.

При определении оптимальных значений ставилась цель снижения продолжительности доводки настолько, насколько возможно при существующих интервалах варьирования режимных параметров процесса.

По результатам проведенных экспериментов так же были построены графики интегральной зависимости чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки от зернистости доводочной пасты, продолжительности доводки, а также усилия прижатия корпуса форсунки к притиру в процессе доводки на чугунном притире.

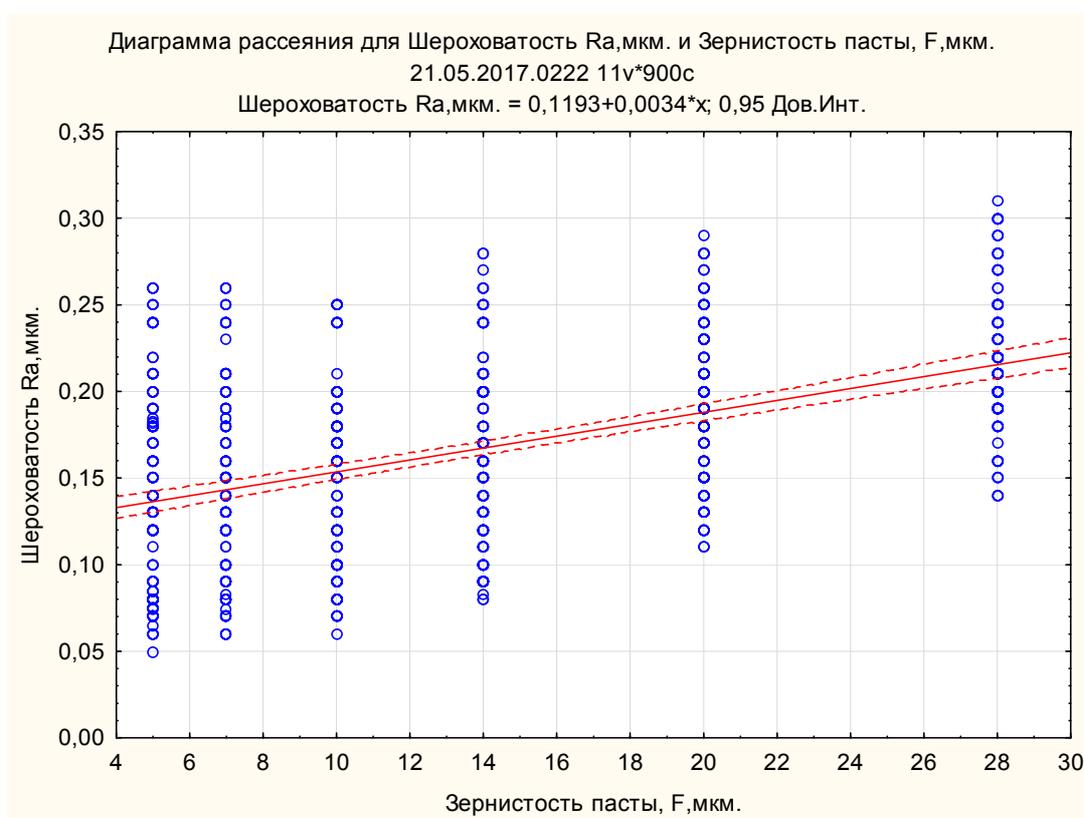


Рисунок 4.4 Интегральная характеристика зависимости чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки от зернистости доводочной пасты в процессе доводки на чугунном притире.

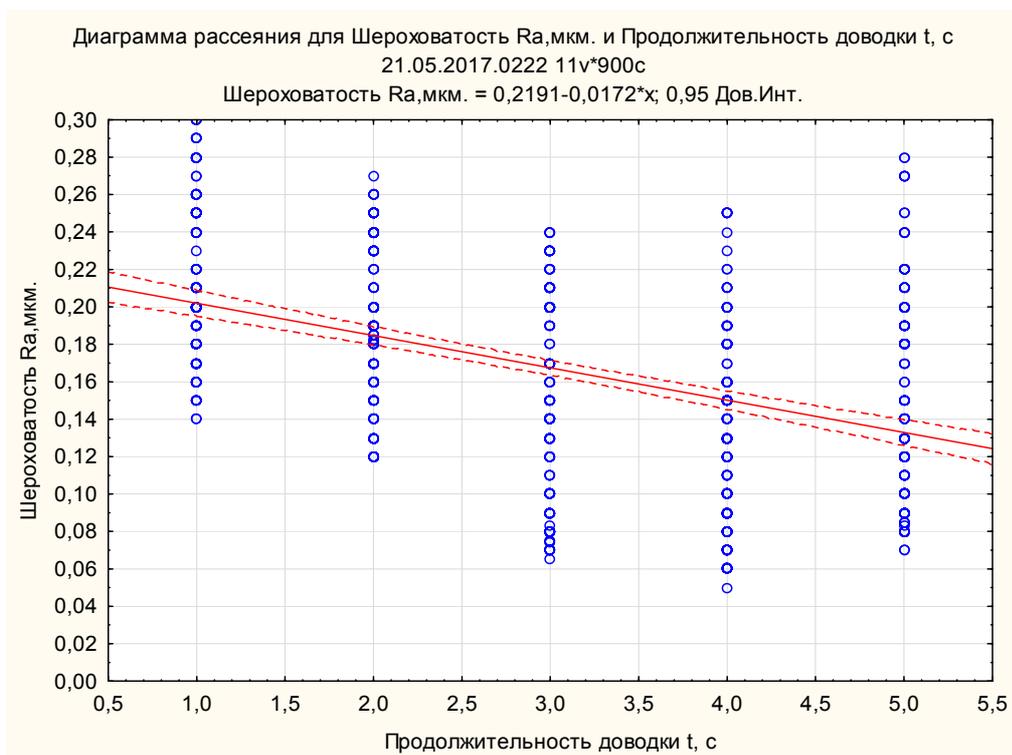


Рисунок 4.5 Интегральная характеристика зависимости чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки от продолжительности процессе доводки на чугунном притире.

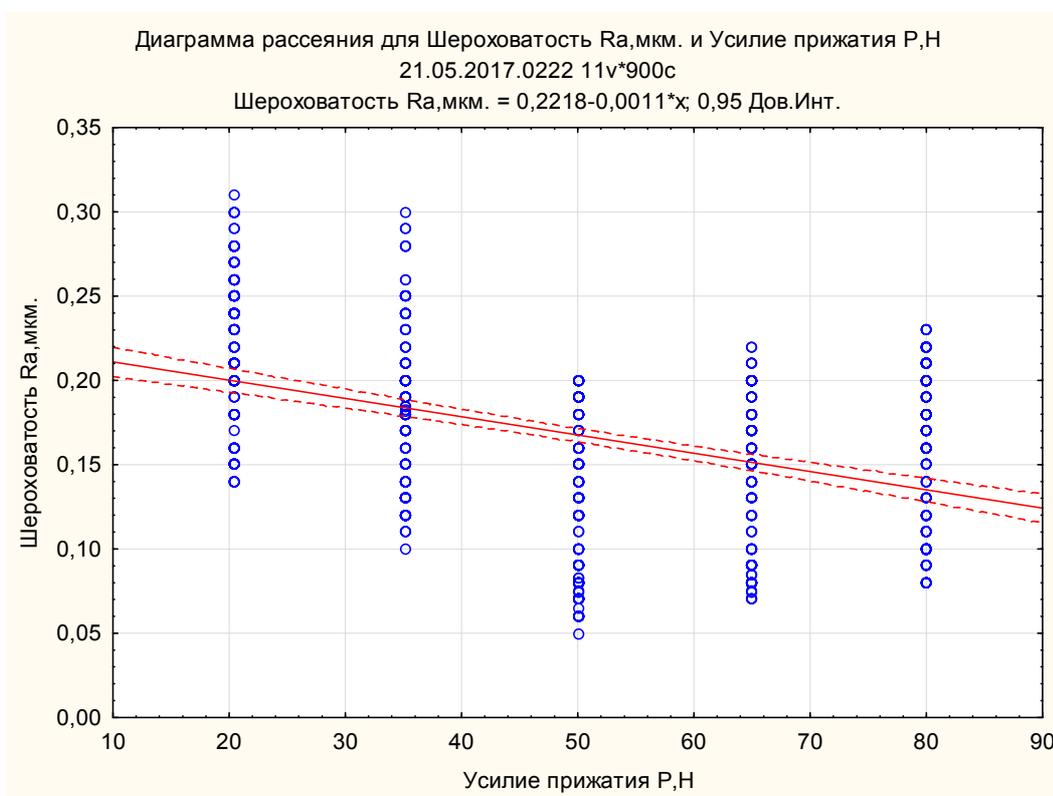


Рисунок 4.6 Интегральная характеристика зависимости чистоты (шероховатости) уплотнительного торца корпуса форсунки от усилия прижатия корпуса форсунки к притиру в процессе доводки на чугунном притире.

Сравнение чистоты (шероховатости) уплотнительных торцов корпусов форсунок, определенных экспериментальным путем и расчетным в ходе теоретических исследований, показало, что они статистически неразличимы, что свидетельствует об адекватности полученной математической модели.

#### 4.2 Анализ результатов лабораторных экспериментов

Оценка влияние предложенной технологии на качественные и топливо экономические показатели работы форсунки, такие как давление впрыска, мелкость распыливания топлива, герметичность, пропускная способность, использовались стенды по диагностике и проверке топливной аппаратуры дизельных ДВС. (КИ-3333; КИ-15711М-01 «ГОСНИТИ»).

Для проведения стендовых испытаний была отобрана партия форсунок из 12 новых форсунок, затем у 6 форсунок были заменены корпуса на восстановленные по соответствующей технологии. Форсунки имели одинаковые характеристики по  $\mu\text{f}$ , гидроплотности, герметичности, качеству распыла.

Сравнительный анализ пропускной способности форсунок двигателя ЯМЗ с восстановленным уплотнительным торцам корпуса форсунки и новых, проведенный на стенде КИ-15711М-01 «ГОСНИТИ» с установленным топливным насосом высокого давления двигателя ЯМЗ- 240, показал соответствие техническим требования и расхождения составляло не более 5% ( $\pm 1\text{см.}^3$ ), график представлен на рисунке 4.7.

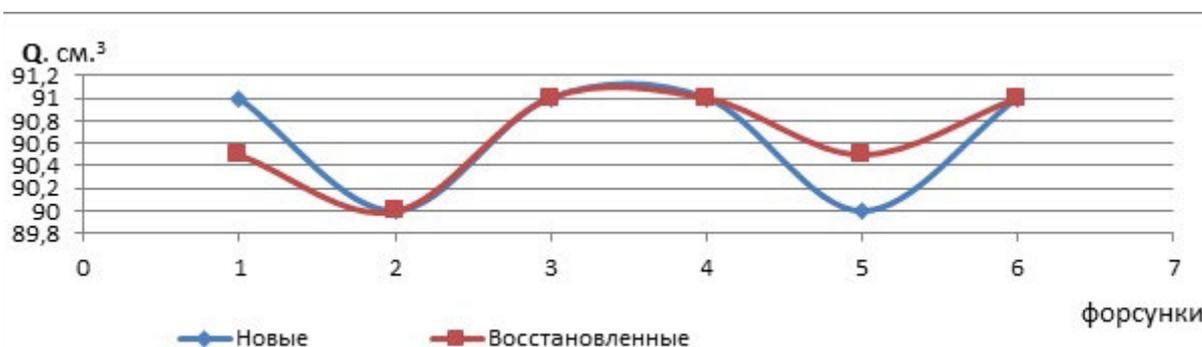


Рисунок 4.7 - Результаты испытаний форсунок двигателя ЯМЗ на производительность

### **4.3 Анализ производственных экспериментов**

#### **4.3.1 Технология восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки.**

Изготовленный опытный образец приспособления для доводки уплотнительных торцов корпусов форсунок, который монтируется на переоборудованный вертикально-доводочный станок модели 3E814, проходил испытания в производственных условиях. Исследования проводились на предприятиях по ремонту топливной аппаратуры дизельных ДВС Сакмарского района (ООО «Никольская сельхозтехника») и г. Оренбурга (ОАО «Южное РТП»).

Целью было установить их работоспособность и провести корректировку результатов теоретических исследований, для установления окончательных значений параметров их работы.

При проведении производственных исследований были окончательно установлены значения эксплуатационных параметров, влияющих на энергетические характеристики и работу переоборудованного станка.

В процессе исследований эффективности технологической оснастки при шлифовании и доводки уплотнительных торцов форсунок сравнивали с применяемыми технологиями на предприятии.

Проанализировав полученные результаты исследований методов восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок [54], можно сделать заключение о преимуществах механизации работ по выполнению этих операций, а именно:

1. Простота использования предлагаемой оснастки;
2. Низкая вероятность нарушения перпендикулярности уплотнительного торца относительно оси резьбы;
3. Повышение производительности;

Достоверность и адекватность полученных результатов достигнута количеством корпусов форсунок, у которых проводили восстановление уплотнительного торца.

Качество поверхности уплотнительного торца корпуса форсунок (перпендикулярность, шероховатость) определялась согласно РТМ [92].

В частности, применение приспособления для шлифования уплотнительного торца корпуса форсунки привело к обеспечению хорошего качества ремонта при незначительном съеме материала с торца форсунки и повышению почти в 3 раза производительности труда. Применение установки для доводки (притирки) уплотнительного торца корпуса форсунки привело к повышению производительности труда до 4 раз при доводке торца на чугуновой плите.

Применение предложенной технологии восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки имеет не малое значение на пути снижения себестоимости ремонтной продукции.

#### **4.3.2 Результаты испытаний форсунок с восстановленным уплотнительным торцом корпуса в эксплуатационных условиях**

Эксплуатационные испытания проводились в условиях рядовой эксплуатации как на различных сельскохозяйственных, так и на транспортных работах.

Для испытания были поставлены 30 форсунок на 9 тракторов (три трактора модели ХТЗ-17221, три трактора МТЗ -1221.2 и три трактора К-744Р1). На каждом тракторе экспериментальные форсунки устанавливались через одну серийную (рисунок 4.8а.).

Перед установкой был проведен микрометраж уплотнительных торцов корпусов форсунок и сняты все показатели форсунки на стендах (давление начала впрыскивания топлива, гидроплотность, качество распыливания топлива, пропускная способность, ход иглы).

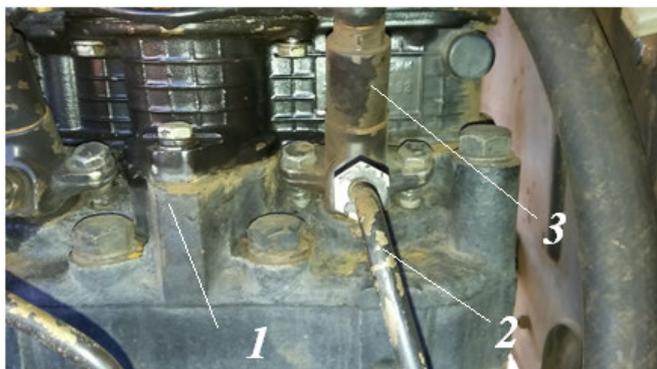
Для ведения учета работы тракторов, расхода топлива, проводимых технических обслуживании, фиксирования отказов топливной аппаратуры велся полевой журнал.

Информацию по надежности при испытаниях собирали и обрабатывали согласно методики представленной в работе Габитова И.И. [29,30].

Объектом исследования являлись форсунки дизелей ЯМЗ установленных на тракторы ХТЗ-17221 и К-744Р1 и двигателей Д-260 установленных на трактор МТЗ -1221.

Для выполнения целей и задач исследования подбиралось необходимое количество форсунок согласно литературным данным [24,28,33,46,95]. Из анализа литературы, установлено, что отказы форсунок подчиняются в основном нормальному закону распределения.

Таким образом, для проведения эксплуатационных испытаний были отобраны случайным образом 30 корпусов форсунок с восстановленными уплотнительными торцами. Учитывая, что на тракторах ХТЗ-17221 и МТЗ-1221 устанавливается по 6, а на тракторе К-744Р1 8 форсунок и испытания проводились в двух хозяйствах на девяти тракторах, для испытаний было собрано 30 форсунок.



а)



Рисунок 4.8 - Эксплуатационные испытания двигателя Д-260.2 (МТЗ-1221.2)  
а) двигатель с установленной форсункой. б) определение износа УТКФ.: 1- двигатель; 2 –топливопровод ВД.; 3 - форсунка

При наработке 500 мото-ч. (ТО-2), форсунки снимались с двигателей и проходили процесс проверки, по ряду критериев:

- давление начала впрыскивания, качества распыла топлива, а также на производительность (пропускную способность).

- величина износа уплотнительных торцов корпусов форсунок в местах контакта с корпусом распылителя и иглы (рисунок 8 б.).

Анализ величины износов в месте удара заплечиков иглы распылителя

и кольцевой поверхности торца в месте контакта с корпусом распылителя, новых форсунок и с восстановленными уплотнительными торцами корпусов проводился согласно п. 3.1.1 главы 3. Полученные результаты в процессе эксплуатационных испытаний представлены в приложение Д и графический анализ по одному из марок тракторов на рисунках 4.9, 4.10, 4.11.

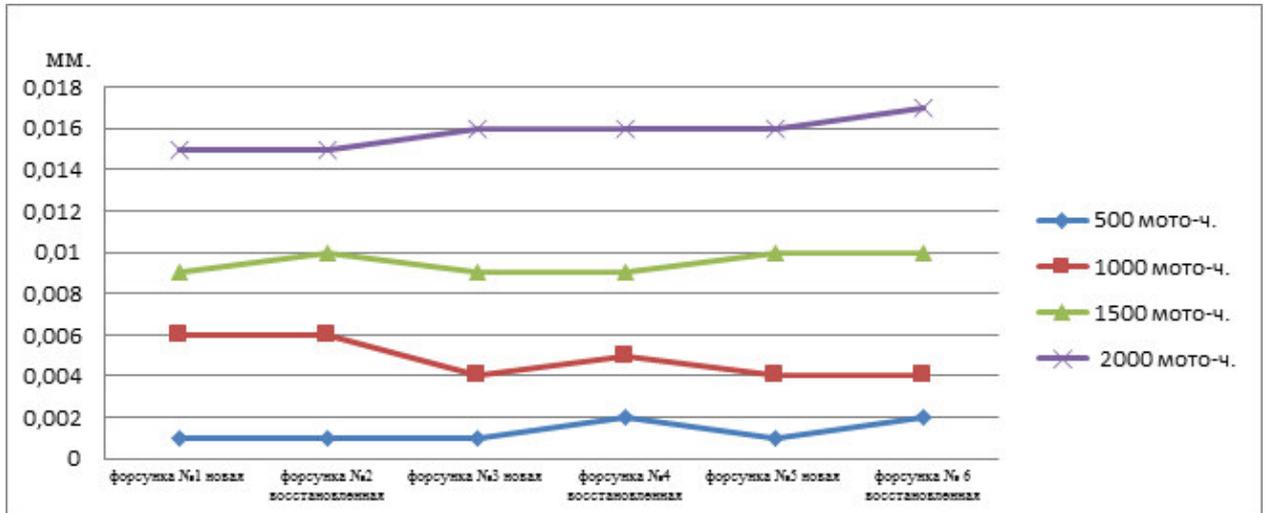


Рисунок 4.9 – Износ уплотнительных торцов корпусов форсунок в процессе наработки трактора К-744Р1.

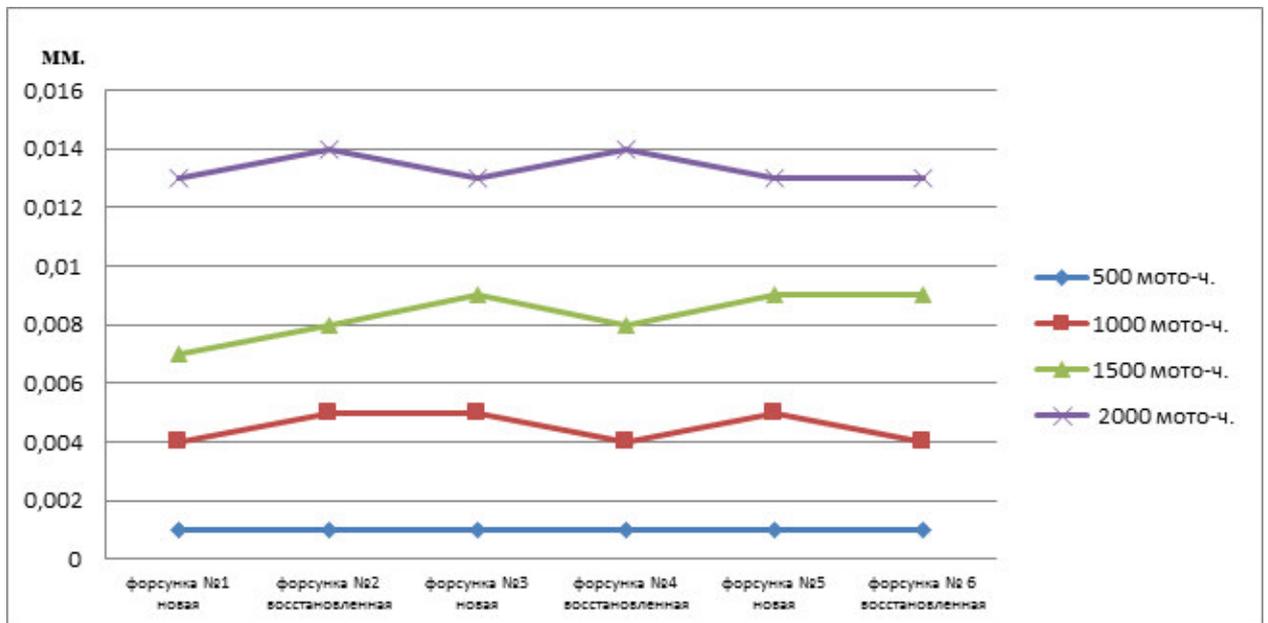


Рисунок 4.10 – Износ уплотнительных торцов корпусов форсунок в процессе наработки трактора ХТЗ - 17221.

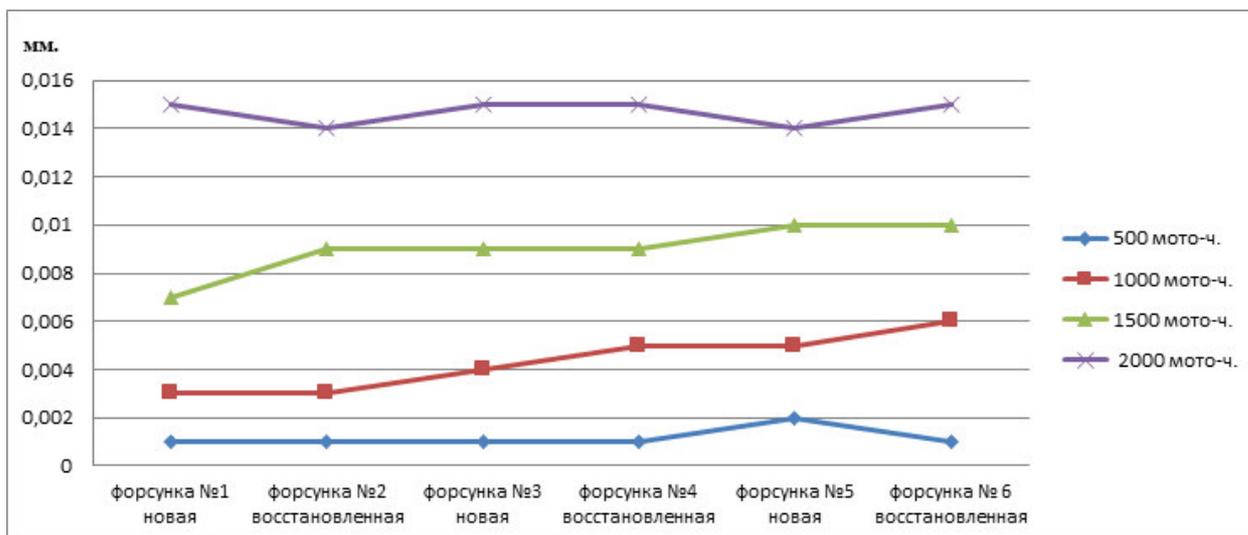


Рисунок 4.11 – Износ уплотнительных торцов корпусов форсунок в процессе наработки трактора МТЗ - 1221.2

Данные полученные в процессе эксплуатации форсунок, участвующих в испытаниях, показал, что при ТО-2 (500 мото-ч.) износ уплотнительных торцов форсунок не превышает 0,001мм у тракторов марок ХТЗ-17221, МТЗ - 1221 и 0,002мм у К-744. При ТО-3 (1000 мото-ч.) и до ТР (2000 мото-ч.), наблюдается интенсивность роста величины износа УТКФ участвующих в эксперименте. Это в свою очередь подтверждает теоретические исследования о зависимости интенсивности износа от величины хода иглы распылителя рассмотренные в п. 1.2, 1.3, 1.4 (глава1).

Аналитический и графический анализ полученных данных в процессе эксплуатации форсунок, показал, что расхождение интенсивности износа восстановленных уплотнительных торцов корпусов форсунок и новых не превышает 5% и лежит в интервале погрешности измерительного инструмента (0,001мм).

### Выводы по главе

1) По результатам многофакторного эксперимента было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость влияния динамических факторов (усилие прижатия корпуса форсунки к притиру, зернистость

притирочной пасты, продолжительность доводки) на шероховатость УТКФ.;

2) В результате экспериментов были определены следующие оптимальные параметры динамических факторов: усилие прижатия корпуса форсунки к притиру  $P = [50\sim60]$  Н; зернистость доводочной пасты  $F = [5 \sim 7]$  мкм.; продолжительность доводки  $T = [3 \sim 4]$  мин., при которых достигается (шероховатость УТКФ  $Ra \leq 0,01$  мкм. что соответствует РТМ на ремонт форсунок;

3) В условиях ООО «Никольская сельхозтехника» проведена апробация в производственных условиях разработанной технологии и технологической оснастки для восстановления УТКФ. Получена требуемая шероховатость УТКФ при незначительном съеме материала, при этом в 3 раза повысилась производительность труда при шлифовании, в 4 раза при доводке на чугунном притире.

4) При сравнительных лабораторных (стендовых) и эксплуатационных (установленных на двигатели) испытаниях восстановленных корпусов форсунок установлено, что при наработке до 500 мото-часов (ТО-2) износ УТКФ практически не наблюдается, (находится в интервале погрешности измерительного инструмента), а при более 1000 мото-часов (ТО-3), наблюдается интенсивный рост величины износа УТКФ как восстановленных, так и новых. Это в свою очередь подтверждает теоретические исследования о влиянии увеличение хода иглы распылителя на интенсивность износа.

## **5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО ТОРЦА КОРПУСА ФОРСУНКИ**

Экономическая эффективность применения и использования результатов научно-исследовательских разработок, изобретений и технологий ремонтно-обслуживающей техники определяется по степени их влияния на конечные показатели ремонтного производства. Главными показателями принято считать прирост прибыли и повышение производительности труда за счет улучшения качества продукции, сокращения затрат труда и снижения себестоимости произведенной продукции и получаемый предприятием годовой экономический эффект. При проведении экономической оценки использовались известные методики [65, 78].

Экономическая оценка по совершенствованию технологии и организации производственного процесса проводится на основе сравнения показателей стоимости восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки и стоимостью нового серийно выпускаемого корпуса.

Для оценки экономической эффективности предлагаемой технологии, необходимо рассчитать затраты на изготовление (модернизацию) конструкции технологической оснастки, себестоимость ремонта, годовую экономию, удельные капитальные вложения, целевые приведенные затраты, срок окупаемости [65, 78].

### **5.1. Определение капитальных вложений для участка по восстановлению уплотнительного торца корпуса форсунки**

Сумма стоимостей производственного здания, оборудования, приборов, инструмента, приспособлений и инвентаря определяется категорией капитальные вложения.

Участок плазменной наплавки проектируется расположить в уже имеющемся цехе, поэтому затраты на строительство помещения учитывать не будем.

Оборудование участка состоит из двух комплектов, в которые входят:

- Плоскошлифовальный станок модели 3Г71, при условии его приобретения. Его стоимость в настоящее время по рыночным ценам составляет 98000 руб. («Станочный мир» - <https://stanok-kpo.ru/>).

Тогда балансовая стоимость станка 3Г71 составит

$$C_{\text{бал}}^{\text{шл.}} = 98000 \cdot (1+0,1) = 107800 \text{ руб.}$$

- Вертикально – доводочный станок модели, его стоимость в настоящее время по рыночным ценам составляет 138000 руб. («Станочный мир» - <https://stanok-kpo.ru/>).

Балансовая стоимость станка 3Е814 составит;

$$C_{\text{бал}}^{\text{дов.}} = 138000 \cdot (1+0,1) = 151800 \text{ руб.}$$

Общая стоимость оборудования составляет:

$$C_{\text{об.}} = 107800 + 151800 = 259600 \text{ руб.}$$

## 5.2 Расчеты затрат на изготовление конструкций и приспособлений

Затраты на изготовление конструкций и приспособлений  $C_{\text{кон.}}$  руб., определяются по формуле:

$$C_{\text{кон.}} = C_{\text{пр.}} + C_{\text{пэ.}} + C_{\text{н.мат.}} + 3П_{\text{изг.}} + 3П_{\text{сб.}} + O_{\text{соц.}} + H_{\text{расх.}} + П_{\text{расх.}} \quad (5.1)$$

где:  $C_{\text{пр.}}$  – затраты на проектирование оборудования, руб.;

$C_{\text{пэ...}}$  - стоимость покупных изделий, руб.;

$C_{\text{н.мат.}}$  - стоимость материалов на изготовление нестандартных изделий, руб.;

$3П_{\text{изг.}}$  - фонд заработной платы рабочих, занятых изготовлением нестандартных изделий, руб.;

$3П_{\text{сб.}}$  - фонд заработной платы рабочих, занятых сборкой, руб.;

$O_{соц}$  – отчисления на социальные нужды, руб.;

$H_{расх.}$  – накладные расходы, руб.

Определение затрат на проектирование:

$$Зр. = ЗП_{пр.} + O_{соц.} + З_{мат.} + З_{эл.} + A + З_{конт.} + H_{пр.} \quad (5.2)$$

Затраты на основную и дополнительную заработную плату исполнителей, разрабатывающих проект, определяются по формуле:

$$ЗП_{пр.} = K_{доп.} \cdot \sum t_i \cdot C_i. \quad (5.3)$$

где:  $ЗП_{пр.}$  – основная и дополнительная заработная плата при проектировании, руб.;

$K_{доп.}$  - коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату;

$t_i$  – трудоемкость, человеко-дни;

$C_i$  – средневзвешенная ставка заработной платы с учетом доплат, руб.

Расчет затрат на заработную плату на основании данных об этапах работ, количестве и квалификации исполнителей, представлен в таблице 5.1.

Продолжительность работ рассчитывается по формуле:

$$t_i = T_i \cdot \frac{1+a}{R_i} \cdot t_{см} \cdot K_v, \quad (5.4)$$

где:  $T_i$  – трудоемкость выполнения отдельных этапов работ, чел-час.;

$a$  - доля дополнительных работ, выполняемых данной группой,  $a = 0,2$ ;

$R_i$  – число исполнителей этапа работ, чел.;

$t_{см}$  – продолжительность смены, (8 час.);

$K_v$  – коэффициент использования рабочего времени,  $K_v = 0,8$ .

Таблица 5.1 Состав и трудоемкость работ

№ этапа	Содержание работы	Трудоемкость чел-час	Среднедневная ставка, руб.	Продолжительность работ, дни
1	Эскизное проектирование	15	250	2,8
2	Техническое проектирование	20	250	3,8
3	Рабочее проектирование	16	250	3,0
4	Доводка	5	250	0,9
	ВСЕГО	56		10,5

$$З_{ПР} = 1,14 \cdot 250 \cdot 10,5 = 2992,5 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды исполнителей определяются по формуле:

$$O_{соц.} = \frac{З_{ПР} \cdot П_{соц.}}{100} \quad (5.5)$$

где:  $П_{соц.}$  - процент отчислений на социальные нужды, который включает единый социальный налог (26%) и отчисления на обязательное страхование от несчастных случаев и профзаболеваний (0,2%) для научных и проектных работ).

$$O_{соц} = 0,262 \cdot 2992,5 = 784 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы на стадии проектирования рассчитываем укрупнено в размере 3–5 % от фонда основной и дополнительной заработной платы исполнителей [65]:

$$З_{\text{мат}} = 0,05 \cdot 2992,5 = 149,6 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию учитывают ее расход для работы компьютера, принтера и сканера, общей мощностью 1 кВт:

$$Z_{\text{эн}} = T \cdot W \cdot C_{\text{эн}}, \quad (5.6)$$

где  $T$  – суммарная продолжительность работ по проектированию, час.  
(таблица 5.1);

$W$  – потребляемая мощность, кВт.,

$C_{\text{эн}}$  - тариф на электроэнергию, руб./ кВт-час.

$$Z_{\text{эн}} = 56 \cdot 1,0 \cdot 2,68 = 150,08 \text{ руб.}$$

Амортизация технических средств определяется за период выполнения работ. Балансовая стоимость используемых технических средств составляет: компьютер – 22000 руб.; принтер – 3500 руб., сканер – 5000 руб. Норма амортизации для вычислительной техники определяется по сроку полезного использования (2 группа: от 2 до 3 лет) в размере 30%.

$$A = (22000 + 3500 + 5000) \cdot 0,3 \cdot 19,8/365 = 496,35 \text{ руб.}$$

Контрагентские расходы определяются на основе договоров и контрактов, заключенных со сторонними организациями на выполнение определенных работ по проектированию. Их размер может быть принят укрупненно в процентах от фонда основной и дополнительной заработной платы на стадии проектирования (5-10%) [78]:

$$Z_{\text{конт}} = 0,05 \cdot 2992,5 = 149,6 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (аренда или амортизация помещений при проектировании, зарплата АУП и ВОП с отчислениями на социальные нужды, отопление, освещение, содержание и ремонт помещений и т.д.) определяются по формуле:

$$H_{\text{нр.}} = (0,5-0,8) \cdot Z_{\text{нр.}} \quad (5.7)$$

$$H_{\text{нр.}} = 0,5 \cdot 2992,5 = 1496,3 \text{ руб.}$$

Затраты на проектирование оборудования будут следующие;

$$Z_p = 2992,5 + 1478,5 + 149,5 + 150,08 + 496,35 + 149,6 + 1496,3 = 6912,83 \text{ руб.}$$

В соответствии с федеральным законом №39-ФЗ инвестиционные проекты проходят обязательную экспертизу. Оплата экспертизы составляет 3-5% от издержек на разработку проекта. Тогда общие издержки на разработку и экспертизу проекта составят:

$$Z_{пр.} = (1,03 - 1,05) \cdot Z_p \quad (5.8)$$

где  $Z_p$  – затраты на разработку проекта, руб.

$$Z_{пр.} = 1,05 \cdot 6912,83 = 7258,5 \text{ руб.}$$

Издержки на приобретение проекта включаются в состав инвестиций с учетом нормы прибыли на проектные работы, которая не должна превышать 30%. В результате цена проекта (размер инвестиций на его разработку, экспертизу и приобретение) составит:

$$C_{ПР.} = \frac{Z_{ПР.} \cdot (1 + R_{ПР.})}{100} \quad (5.9)$$

где:  $R_{ПР.}$  - норма прибыли на проектные работы (10-30%).

$$C_{ПР.} = \frac{7258,5 \cdot (1 + 30)}{100} = 2250,13 \text{ руб.}$$

Стоимость покупных деталей, узлов  $C_{пэ.}$ , руб., определяется по формуле:

$$C_{пэ} = \sum C_i \cdot n_i \cdot k_{тр.} \quad (5.10)$$

где:  $C_i$  – цена  $i$ -го вида покупного изделия, руб.;

$n_i$  – количество единиц  $i$ -го вида изделия, руб.;

$k_{тр.}$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы,  $k_{тр.} = 1,07 - 1,1$  [65];

Таблица 5.2 Стоимость покупных деталей, узлов

Наименование покупных изделий	Количество, ед.	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Болт М6 - 20	6	8	48
Болт М12 -50	8	12	96
Болт М8 -20	4	10	40
Болт М8 - 41	1	10	10
Болт М8 -45	16	10	160
Болт М6 - 21	16	8	128
Гайка М10	8	8	48
ГайкиМ8	1	6	6
Гайка М6	2	6	12
Пружина	8	20	160
Редуктор	1	15000	15000
Электродвигатель	1	9000	9000
Звездочка	1	350	350
Звездочка	1	680	680
Цепь (шаг 19,05-3м)	1	1240	1240
Паста ГОИ	1	500	500
Круг (плита) доводочный	1	4350	4350
<b>ИТОГО:</b>			<b>31828</b>

Стоимость покупных деталей и узлов:  $C_{ПЭ} = 31828$  руб.

*Определение стоимости материалов на изготовление нестандартных изделий.*

Стоимость материалов на изготовление нестандартных изделий  $C_{н. мат.}$  руб., определяется по формуле:

$$C_{\text{мат.}} = M_{\text{черн.}} \cdot C_{\text{мат.}} \cdot k_{\text{тр}} - M_{\text{отх.}} \cdot C_{\text{отх.}} \quad (5.11)$$

где:  $M_{\text{черн.}}$  – вес заготовки, кг;

$C_{\text{мат.}}$  – цена 1 кг материала, руб.;

$M_{\text{отх.}}$  – масса возвратных отходов, кг;

$C_{\text{отх.}}$  – цена 1 кг возвратных отходов, руб.; Цену отходов можно принять в размере 10% стоимости материала [65];

Расчет стоимости материалов сведен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Стоимость материалов.

Деталь	Mt, кг	A	n	Ц, i руб/кг	№шт	C <sub>м</sub> , руб.
Швеллер	10,200	1,1	0,95	12	1	122,4
Плита Втулка	5,500 0,070	1,7	0,98 0,98	126	1	66
Уголок Б-50х50х4	5	1,1	0,95	12	2	122
Уголок Б-20х20х2	4	1,1	0,95	12	1	49,6
<b>ИТОГО:</b>						<b>360</b>

Таблица 5.4 Стоимость отходов

Наименование детали	Марка материала	Масса отходов, кг	Цена за 1 кг, руб.	Количество, ед.	Общая стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
Швеллер	Сталь 45	0,5	7	1	3,5
Плита Втулка	Ст.3	0,5	7	4	14
Уголок Б-50х50х4	Ст.3	1	7	2	14
Уголок Б-20х20х2	Ст.3	0,5	7	1	3,5
<b>Всего</b>					<b>35</b>

Подставляя полученные значения в формулу (5.11), получаем:

$$C_{\text{мат}} = 360 \cdot 1,1 - 35 = 361 \text{ руб.}$$

Определение заработной платы рабочих, занятых на изготовлении нестандартных изделий

Заработная плата рабочих, занятых на изготовлении нестандартных изделий  $ЗП_{изг}$ , руб., определяется по формуле:

$$ЗП_{изг} = ЗП_{тар} \cdot (1 + k_{допл.} + k_{пр.} + k_{дзн}) \cdot k_p, \quad (5.12)$$

где:  $ЗП_{тар}$  – заработная плата рабочих по тарифным ставкам, руб;  
 $k_{допл.}$  – коэффициент доплат по тарифным ставкам,  $k_{допл.} = 0,3 \dots 0,4$  [78];  
 $k_{пр.}$  – коэффициент, учитывающий премии,  $k_{пр.} = 0,4$  [78];  
 $k_{дзн}$  – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату,  $k_{дзн} = 0,14$  [78];  
 $k_p$  – районный коэффициент,  $k_p = 1,15$  [78];

Тарифный фонд заработной платы  $ЗП_{тар}$ , руб., определяется по формуле:

$$ЗП_{тар} = T_{из} \cdot C_{часi}, \quad (5.13)$$

где:  $T_{из}$  - трудоемкость изготовления элементов изделия, чел-ч,  
 $T_{из.ш} = 20$  чел-ч, -при шлифовании,  
 $T_{из.п} = 50$  чел-ч,- при доводке  
 $C_{часi}$  – часовая тарифная ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду, руб. ;  
 $C_ч = 145$  руб. (по данным ряда ремонтных предприятий за 2016г.)..

$$ЗП_{тар.} = (20+50) \cdot 145 = 10150 \text{ руб.}$$

В итоге затраты на заработную плату рабочих, занятых на изготовлении нестандартных изделий составляют;

$$ЗП_{изг} = 10150 \cdot (1 + 0,4 + 0,4 + 0,14) \cdot 1,15 = 22645 \text{ руб.}$$

*Определение заработной платы рабочих, занятых на сборке конструкций и приспособлений.*

Заработная плата рабочих, занятых на сборке конструкций и приспособлений определяется по формулам (5.12, 5.13), трудоемкость сборки приспособлений для шлифования составляют  $T_{сб.ш} = 4$  чел-ч. И  $T_{сб.ш} = 20$  чел-ч.- сборке конструкций при доводке.

$$ЗП_{\text{тар.сб.}} = (20+4) \cdot 145 = 3480 \text{ руб.}$$

В итоге фонд заработной платы рабочих, занятых на сборке стенда, составляет:

$$ЗП_{\text{сб.}} = 3480 \cdot (1+0,4+0,4+0,14) \cdot 1,15 = 7764 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{соц.}}$ , руб., определяются по формуле:

$$O_{\text{соц.}} = 0,267 \cdot (ЗП_{\text{изг.}} + ЗП_{\text{сб.}}). \quad (5.14)$$

$$O_{\text{соц.}} = 0,267 \cdot (22645 + 7764) = 8119,2 \text{ руб.}$$

Накладные расходы  $H_{\text{расх.}}$ , руб., определяются по формуле:

$$H_{\text{расх.}} = 1,5 \cdot (ЗП_{\text{изг.}} + ЗП_{\text{сб.}}). \quad (5.15)$$

$$H_{\text{расх.}} = 1,5 \cdot (22645 + 7764) = 45613,5 \text{ руб.}$$

Прочие расходы  $П_{\text{расх.}}$ , руб., определяются по формуле:

$$П_{\text{расх.}} = 0,04 \cdot (C_{\text{нэ.}} + C_{\text{мат.}} + ЗП_{\text{изг.}} + ЗП_{\text{сб.}} + O_{\text{соц.}} + H_{\text{расх.}}). \quad (5.16)$$

$$П_{\text{расх.}} = 0,04 \cdot (31828 + 360 + 22645 + 7764 + 8119,2 + 45613,5) = 4653,2 \text{ руб.}$$

В итоге затраты на изготовление конструкций и приспособлений, составляют:

$$C_{\text{кон.}} = 2250,13 + 31828 + 360 + 22645 + 7764 + 8119,2 + 45613,5 + 4653,2 = 100655 \text{ руб.}$$

### ***Балансовая стоимость конструкции***

Для определения балансовой стоимости конструкции  $B$  к затратам на её изготовление (приобретение) добавляются расходы на транспортировку,

установку и монтаж в размере 10...20% (при предложении этих расходов) [65]:

$$B_{\Pi} = 1,2 \cdot (C_{\Gamma} + C_{об.}), \quad (5.17)$$

$$B_{\Pi} = 1,2 \cdot (100655 + 259600) = 432306 \text{ руб.}$$

### **5.3 Затраты на шлифование и доводку при восстановлении уплотнительных торцов корпусов форсунок.**

Определяем себестоимость восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок:

$$C_{в.} = C_{спр.н.} + C_{э.} + C_{оп} + C_{ох} + C_{вп}, \quad (5.18)$$

где:  $C_{спр.н.}$  - заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.;

$C_{э.}$  - затраты на электроэнергию, руб.;

$C_{оп}$  - общепроизводственные расходы, руб.;

$C_{ох}$  - общехозяйственные расходы, руб.;

$C_{вп}$  - внепроизводственные накладные расходы, руб.;

Зарботная плата производственных рабочих с начислениями:

$$C_{спр.н.} = 1,8 \cdot T_{осн} \cdot C_{ч}, \quad (5.19)$$

где: 1,8 - коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, дополнительную зарплату, начисления на социальное страхование;

$T_{осн.}$  - трудоемкость, чел. ч;

$T_{осн.} = 0,88$  чел./ч. – при шлифовании уплотнительных торцов корпусов форсунок;

$T_{осн.} = 0,015$  чел./ч. – при доводке уплотнительных торцов корпусов форсунок;

$C_{ч}$  - часовая тарифная ставка рабочих по среднему разряду,  $C_{ч} = 145$  руб.

при шлифовании:  $C_{спр.н. шл.} = 1,8 \cdot 0,88 \cdot 145 = 230$  руб.

при доводке:  $C_{спр.н. дов.} = 1,8 \cdot 0,015 \cdot 145 = 4$  руб.

Заработная плата производственных рабочих с начислениями при шлифовании и доводки 1 комплекта корпусов форсунок составят  $C_{\text{пр.н.}} = 234$  руб.

Затраты на электроэнергию:

$$C_{\text{э}} = Q_{\text{э}} \cdot C_{\text{к}}, \quad (5.20)$$

где:  $Q_{\text{э}}$  - расход электроэнергии;

$C_{\text{к}}$  - стоимость 1 кВт/ч,  $C_{\text{к}} = 5,4$  руб. (ОАО «ЭнергосбыТ Плюс»)

Расход электроэнергии:

$$Q_{\text{э}} = P \cdot T_{\text{шт}}, \quad (5.21)$$

где:  $P$  - мощность станка, кВт;

$P = 4$  кВт. – плоскошлифовальный шлифовальный станок модели 3Г71;

$P = 3$  кВт. – доводочный станок модели 3Е814

$T_{\text{шт}}$  - время необходимое; на шлифование,  $T_{\text{шт}} = 0,3$  ч.

на доводку,  $T_{\text{шт}} = 0,08$  ч.

Затраты на электроэнергию составляют:

при шлифовании:  $C_{\text{э. шл}} = 4 \cdot 0,3 \cdot 5,4 = 6,5$  руб.

при доводке:  $C_{\text{э. дов.}} = 3 \cdot 0,08 \cdot 5,4 = 1,3$  руб.

Затраты электроэнергии на шлифование и доводку 1 комплекта корпусов форсунок составят  $C_{\text{э.}} = 7,8$  руб.

Общепроизводственные расходы определяются по формуле:

$$C_{\text{оп}} = \frac{R_{\text{оп}} \cdot C_{\text{пр.н.}}}{100}, \quad (5.22)$$

где:  $R_{\text{оп}}$  - процент общепроизводственных расходов;

$R_{\text{оп}} = 60,5\%$  [78];

$$C_{OP} = \frac{60,5 \cdot 234}{100} = 141,6 \text{ руб.}$$

Общехозяйственные расходы определяются по формуле

$$C_{OX} = \frac{R_{OX} \cdot C_{ПР.Н}}{100} \quad (5.23)$$

где:  $R_{OX}$  - процент общехозяйственных расходов,  $R_{OX} = 12,8\%$  [78];

$$C_{OX} = \frac{12,8 \cdot 234}{100} = 30 \text{ руб.}$$

Внепроизводственных расходы определяются по формуле;

$$C_{ВП} = \frac{R_{ВП} \cdot C_{ПР.Н}}{100} \quad (5.24)$$

где:  $R_{ВП}$  - процент внепроизводственных расходов.  $R_{ВП} = 0,18\%$  [78];

$$C_{ВП} = \frac{0,18 \cdot 234}{100} = 0,42 \text{ руб.}$$

Себестоимость восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки составит:

$$C_B = 234 + 7,8 + 141,6 + 30 + 0,42 = 413,8 \approx 414 \text{ руб.}$$

### ***Удельные капитальные вложения***

$$K_{уд} = \frac{B}{Q}, \quad (5.25)$$

где:  $B$  - балансовая стоимость приспособлений и конструкций, руб.;

$Q$  - годовой объем работ, шт.;

За годовой объем восстанавливаемых форсунок примем количество форсунок, восстановленных в ООО «Никольское СХТ» за 2016г. ( $Q = 1800$  шт./ год.). Восстановление производится одновременно 6 корпусов

согласно мест в приспособлениях, следовательно, годовой объем можно представить, как  $Q = 1800/6 = 300$  комп.

Удельные капитальные вложения будут равны:

$$K_{уд.} = \frac{432306}{1800} = 240,2 \text{ руб./шт.}$$

$$K_{уд.ком.} = \frac{432306}{300} = 1441 \text{ руб./комплект.}$$

***Удельные приведённые затраты***

$$J = C_B + E \cdot K_{уд.}, \quad (5.26)$$

где:  $E$  - нормальный коэффициент экономической эффективности,  
 $E_H = 0,12$  [65];

$$J = 414 + 0,12 \cdot 1441 = 586,92 \approx 587 \text{ руб.}$$

Стоимость нового корпуса форсунки выпускаемого серийно предприятием «ОАО Ярославский завод дизельной аппаратуры» («ЯЗДА») (номер по каталогу 26.1112020), устанавливаемый на двигатели ЯМЗ-236Д-3 и ЯМЗ-238НД5 и их модификации равен 403 руб. (официальный сайт завода [yzda.ru](http://yzda.ru)).

Восстановление корпусов форсунок производится комплектно (6 шт. в приспособлении), следовательно, комплект новых корпусов будет стоить  $6 \times 403 = 2418$  руб.

Себестоимость восстановления 1 комплекта корпусов форсунок предложенной технологией с использованием разработанной конструкции и приспособлений будет равен  $C_{п} = 587$  руб.

***Годовой экономический эффект составит***

$$\text{ЭГ} = (C_H - C_B) \cdot N_{ф}, \quad (5.27)$$

где:  $C_H$  - стоимость нового корпуса форсунки, руб.;

Св- себестоимость восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки

Na – годовой объем ремонтных работ.

В год восстанавливаются  $n=300$  комплектов (1 комплект = 6 корпусам форсунок);

$$\text{Эг} = (2418-587) \cdot 300 = 549300 \text{ руб.}$$

Определяем срок окупаемости:

$$T = \frac{B_{\Pi}}{\text{Эг}}, \quad (5.28)$$

$$T = \frac{432306}{549300} = 0,78 \text{ лет,}$$

Таблица 5.3 - Показатели экономической эффективности

Наименование показателя	Базовая технология	Разработанная технология
Годовой объем ремонтных работ, шт.	1800	1800
Технологическая себестоимость восстановления корпуса форсунки, руб./шт.	403	97,8
Трудоемкость объема работ чел-ч.	-	0.89
Удельные капитальные вложения руб./шт.	-	240,2
Удельные приведённые затраты, руб./комп.	-	587
Годовая экономический эффект от внедрения способа восстановления, руб.	-	549300
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	-	0,78

## **Выводы по главе**

1) Расчет технико-экономических показателей технологии восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок с применением разработанной технологической оснастки при восстановлении 1800 УТКФ показал:

- экономию в размере 549300 руб.
- себестоимость восстановления УТКФ составила 97,8 руб./шт., снижение на 307,2 рубля.
- увеличение производительности труда в 4 раза по сравнению с существующими технологиями.

2) Срок окупаемости капитальных вложений с применением разработанной технологии восстановления УТКФ составит менее одного года.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

- 1) Анализ исследований показал, что применяемые на данный момент способы восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок (УТКФ) очень трудоемки и малопроизводительны, а также сопровождаются снятием большого слоя металла, что в свою очередь снижает качество и ресурс. Устранить данный недостаток возможно применением новой технологии и технологической оснастки, связанной с механизацией работ при восстановлении УТКФ.
- 2) Проведенные исследования показали, что средний износ УТКФ равен:  $U_{\text{ср}} = 0,026$  мм. Диапазон износов находится в пределах от 0,01 до 0,05 мм. Поэтому при дефектации УТКФ необходимо разделить на 4 размерные группы по величине износа: I группа –  $[0 \sim 0,02]$  мм; II группа –  $[0,02 \sim 0,04]$  мм.  
III группа –  $[0,04 \sim 0,05]$  мм; IV группа – более 0,05 мм. Это позволит минимизировать величину снимаемого слоя металла, тем самым повысить полный ресурс УТКФ.
- 3) Теоретические исследования процесса механизированной доводки с целью получения оптимальной траектории движения обеспечивающей получение равномерной сетки (штрихов на поверхности детали, пересекающихся под углами  $30\text{--}60^\circ$ ), позволили обосновать оптимальные кинематические параметры приспособления к универсально-доводочному станку: радиус кривошипа  $r = 0,15$  м; передаточное число цепной передачи  $n=3$ ; радиус установки деталей  $R = 0,2$  м; частота вращения мотор редуктора  $n = 18$  об/мин. Это позволило составить оптимальную программу экспериментальных исследований и установить динамические факторы, влияющие на шероховатость поверхности уплотнительного торца корпуса форсунки. И минимизировать снятие слоя металла с УТКФ при восстановлении.
- 4) В ходе экспериментальных исследований были определены оптимальные

режимные параметры доводки УТКФ на модернизированном доводочном станке и разработанной технологической оснастке (приспособления для доводки УТКФ).

- зернистость доводочной пасты 5~7 мкм;
- усилие прижатия корпуса форсунки к притиру 50~60 Н;
- продолжительность доводки – 3~4 мин.

обеспечивающие:

- значение шероховатости Ra в пределах 10 класса чистоты обработки (0,1–0,16 мкм);
- сохранение твердости в пределах 56–62 HRC, как показателя отсутствия прижогов.
- отклонение от перпендикулярности относительно оси корпуса не более 0,03мм;
- увеличивается производительность труда при шлифовании до 4-х раз.

5) Результаты эксплуатационных исследований восстановленных форсунок показывают, что при наработке до 500 мото-часов (ТО-2) износ УТКФ практически не наблюдается, (находится в интервале погрешности измерительного инструмента), а при более 1000 мото-часов (ТО-3), наблюдается интенсивный рост величины износа УТКФ как восстановленных, так и серийно выпускаемых. Это в свою очередь подтверждает теоретические исследования о влиянии увеличения хода иглы распылителя на интенсивность износа.

6) Эксплуатационные испытания показали, что межремонтный ресурс восстановленных УТКФ в сравнении с новыми составляет не менее 95 %. Это достигается за счет сохранения физико-механических свойств и геометрии поверхности УТКФ, а также тщательной регулировкой топливной системы перед установкой;

7) Расчет технико-экономических показателей технологии восстановления уплотнительных торцов корпусов форсунок с применением

разработанной технологической оснастки при восстановлении 1800 УТКФ показал:

- экономию в размере 549300 руб.
- себестоимость восстановления УТКФ составила 97,8 руб./шт., снижение на 307,2 рубля.
- увеличение производительности труда в 4 раза по сравнению с существующими технологиями.

Срок окупаемости капитальных вложений с применением разработанной технологии восстановления УТКФ менее одного года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. 774930 СССР Кн. В24В 37/04 Устройство для доводки деталей / Ю.М. Ермаков – опубл. 20.10. 80. Бюл. № 40
2. А.С. 566720 СССР Кн. В24В 37/04 Способ доводки деталей / Г.С. Антоненко, Б.И. немировский, Э.Х. Ройтерштейн, Е.И. Файнгольд. – опубл.30.07.77. Бюл. № 28
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Машиностроение, 1976. – 279 с.
4. Алекринский, К.А. Пути улучшения топливной экономичности тракторных дизелей [Текст] / Сборник научных трудов ЦНИТА. – Л.: 1987. С.6-12.
5. Аллилуев, В.А. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / В.А. Аллилуев, А.Д. Ананьин, В.М. Михлин.- М.: Агропромиздат, 1991.- 367с.
6. Антипов, В.В и др. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры двигателей тракторов и комбайнов.[Текст] /В.В. Антипов, Б.А. Гоголев, Б.П. Загородских // Изд. 2-е, доп. и перераб. - М.: Россельиздат, 1978. – 127с.
7. Ансеров, М.А. Приспособление для металлорежущих станков. .[Текст] / М.А. Ансеров - Л.: «Машиностроение», 1975. – 658с.
8. Астахов И.В. Подача и распыление топлива в дизелях. [Текст] /И.В. Астахов, В.И.Трусов, А.С. Хачиян и др. - М.: Машиностроение, 1971. - 359 с.
9. Ачкасов, К.А., Вегера В.А. Справочник начинающего слесаря; Ремонт и регулирование приборов системы питания и гидросистемы тракторов, автомобилей, комбайнов. Изд, 2-е перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1987.-352с., ил.

10. Баженов С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов. [Текст] /С.П. Баженов, Б.Н. Казьмин, С.В. Носов. – М.: Академия. 2010.- 336с.
11. Базаров, М. К. Статистическая обработка результатов наблюдений средствами Microsoft Excel [Текст] : учебное пособие / М. К. Базаров. - 3-е изд., доп. - Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2013. - 110 с.
12. Базаров, М. К. Мах информации при min сложности методов количественного анализа (пособие начинающему исследователю) [Текст] / М. К. Базаров, П. И. Огородников. - Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2008. - 357 с
13. Бакайкин Д.Д. Диагностирование электромагнитных форсунок ДВС на тестовых режимах [Текст] /Д.Д. Бакайкин, А.В. Гриценко, Д.А. Абросимов// АПК России. 2015. Т. 72. № 1. С. 16-18.
14. Барановский, Ю.В. и др. Режимы резания металлов. [Текст]: Справочник./ Ю.В. Барановский - М.: «Машиностроение», 1972. – 363с.
15. Баширов, Р. М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета [Текст] / Р.М. Баширов. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. - 336 с.
16. Баширов, Р М. Основные показатели работы топливных систем автотракторных дизелей [Текст] [учебное пособие] / Р.М. Баширов; М-во сел. хоз-ва СССР, Ульяновский СХИ. - Ульяновск: [УСХИ], 1978. - 85 с.
17. Баширов, Р.М. Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей [Текст] /Р.М. Баширов –Уфа: Башкирский ГАУ, 2004.-232с.
18. Баширов, Р. М.Топливные системы для автотракторных дизелей: Учеб. пособие [Текст] : учебное пособие / Р.М. Баширов. - Уфа : Гилем, 2005. - 202 с.: ил.
19. Белявцев, А.В. Топливная аппаратура автотракторных двигателей. [Текст] / А.В. Белявцев, А.С. Процеров. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.
20. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

21. Венцель, Е.С. Теория вероятности [Текст] /Е.С. Венцель. - М.: Физматгиз, 1962. - 560 с.
22. Вихерт, М.М. Топливная аппаратура автомобильных двигателей [Текст] / М.М. Вихерт, М.В. Мазинг - М.: Машиностроение, 1976. 176 с.
23. Власов, П.А. Особенности эксплуатации дизельной топливной аппаратуры [Текст] / П.А. Власов. - М.: Агропромиздат, 1987. – 127 с
24. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. [Текст] / Е.Л. Воловик - М.: «Колос», 1981-351с.
25. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных [Текст] / В.Г. Вольф. - М.: Колос, 1966. - 255с.
26. Вуколов Э.Л. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операции с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL [Текст]: учеб. пособие /Э.Л. Вуколов //2-е изд., испр. и доп.- М.: Форум, 2008. – 464с.
27. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. - М.: Наука, 1969, 870 с.
28. Габитов, И.И. Передовые технологии технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры дизелей / И.И. Габитов, А.В. Нагора.// Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (35). С. 40-44.
29. Габитов И.И. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. [Текст] / И.И. Габитов, Л.В. Грехов, А.В. Нагора. – М.: Легион-Авто. 2008.- 248с.
30. Габитов, И.И. Обеспечение надежности топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственного назначения в процессе ее эксплуатации [Текст] / И.И. Габитов – Санкт-Петербург.: Санкт-Петербургский ГАУ, 2000.-317 с.
31. Габитов, И.И. Надежность топливной аппаратуры зарубежных дизелей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и СХМ,- №2001 .-№2. с. 41-42.

32. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. [Текст] / В.Е. Гмурман.//изд. 5 – е, перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 2000. – 479 с.
33. Гольверк, А.А. Методика испытаний топливной аппаратуры дизелей [Текст] /А.А. Гольверк, И.В. Вагнер - Киев: Урожай, 1964. - 149 с.
34. ГОСТ 15059-88 Форсунки автотракторных дизелей. Габаритные и присоединительные размеры [Текст]: с изменениями №1 принятыми в октябре 2003г. –М: Издательство стандартов, 2004-10с.
35. ГОСТ 10579-88 Форсунки дизелей. Общие технические условия [Текст]. - Введ. 1990-01-01 - М.: Изд-во стандартов, 1988.-8 с.
36. ГОСТ 20000-88 Дизели тракторные и комбайновые. [Текст]: общие технические условия. – с изменениями №1,2,3, утвержденными 12.05.1992 №469 снято ограничение срока действия.- М. ИПК издательство стандартов. 1997.-16с.
37. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. - Введ. 1988-24-03 - М.: Изд-во стандартов, 1988.-46 с.
38. Гриценко А.В Теоретическое исследование работы электромагнитной форсунки и ее влияние на процесс топливоподачи / А.В. Гриценко, С.С. Куков, Д.Д. Бакайкин// Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2012. № 3 (54). С. 40-41.
39. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта [Текст] / Р.С. Гутер, В.В. Овчинский. – М.: Наука, 1970.
40. Дизельные двигатели А-01-А-01М-А-41 (устройство, эксплуатация, ремонт) [Текст] / Э.М. Лев [и др.] –Москва: Колос, 1972. – 232с.
41. Драгайцев, В.И. Эффективность технического обслуживания и ремонта в сельском хозяйстве [Текст] / В.И. Драгайцев - М. Россельиздат, 1983. – 152с.

42. Драйпер Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Драйпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1986. – 366с.
43. Дунаев, А.В. Совершенствование технической эксплуатации машинно-тракторного парка АПК [Текст] / А.В. Дунаев, В.И. Балабанов // Техника и оборудование для села №11 – 2014. – С.28-31.
44. Дьянов В. Mathcad2001[Текст]: учебный курс./ В. Дьянов - СПб.: Питер, 2001.-624с.: ил.
45. Заварыкин, В.М. Численные методы: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. пед. ин-тов / В.М. Заварыкин, В.Г. Житомирский, М.П. Лапчик. - М.: Просвещение, 1990. - 176 с.
46. Загородских Б.П., Хатько В.В. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотранспортных и комбайновых двигателей [Текст] /Б.П. Загородских, В.В. Хатько. - М.: Россельхозиздат, 1986. - 142с., ил.
47. Затин И.М. Износы уплотнительного торца корпуса форсунки/ В.П. Чернышев, И.М. Затин, А.А. Подковыров// Сельский механизатор.-2012. - №9 –г. Москва- стр. 36.
48. Затин И.М. Методика экспериментальных исследований и обработки результатов по износу уплотнительного торца корпуса форсунки / В.П. Чернышев, И.М. Затин, А.А. Подковыров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2013. № 3 (41). С. 84-87.
49. Затин И.М. Результаты исследования восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки/ В.П. Чернышев, И.М. Затин, Р.Г. Сеницын// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2015.- №4. Издательский центр ОГАУ, г. Оренбург. с. 66-69
50. Затин И.М. Методика обработки результатов измерений износа уплотнительного торца корпусов форсунок/ И.М. Затин// Сборник статей международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» 2013г. Издательский центр ОГАУ, г. Оренбург, с. 137-143.

51. Затин И.М. Повышение производительности восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки с использованием новой технологической оснастки. [Текст] /В.П. Чернышев, И.М. Затин, Р.Г. Сеницын// Сборник статей международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» - Оренбург, 2015.- с. 123-129.
52. Затин И.М. Ремонтно-технологическая оснастка для восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки/ В.П. Чернышев, Р.Р. Хайбуллин, И.М. Затин// Сборник статей международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» 2014г. Издательский центр ОГАУ, г. Оренбург. с. 123-129.
53. Захаров, Ю.А. Проверка, диагностика и испытание форсунок дизелей [Текст] / Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. С. 43-47.
54. Захаров Ю.А. Актуальность проведения диагностики, испытания и проверки форсунок дизельных двигателей мобильных машин / Ю.А. Захаров, А.Е. Кульков // Современные научные исследования и инновации.- М.: издательство: Международный научно-инновационный центр. 2015. Том 47. №3. – С. 95-98
55. Иванов А.И. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве [Текст] Справочник/ А.И. Иванов, А.А. Куликов, Б.С. Третьяков. - М.: «Колос», 1984-352с.
56. Карасев, Л.И. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / Л.И. Карасев. – М.: Статистика, 1979. – 279 с.
57. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник. / А.Г.

- Косилова. Р.К. Мещеряков. М.А/ Калинин — М.: «Машиностроение», 1976. - 288с.
58. Козлов А.В. Восстановление работоспособности форсунок тракторных дизелей путем совершенствования технического обслуживания и ремонта. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Саратов, 2001. – 21с.
  59. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа [Текст] / Б.И. Костецкий - Киев: Знание, 1981.-30 с.
  60. Костин, А. К. Работа дизелей в условиях эксплуатации Справочник [Текст]/ А. К. Костин, Б. П. Пугачев, Ю. Ю. Кочинев; Под общ. ред. А. К. Костина. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 284 с.
  61. Кравченко, И.Н. Основы надежности машин [Текст]: учебное пособие для вузов/И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин, Г.И. Бондарева. – В 2-х частях. – М.: Издательство 2007-224с.
  62. Кривенко, П. М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных двигателей [Текст] : учебное пособие / П. М. Кривенко, И. М. Федосов. - М.: Колос, 1980. - 288 с.
  63. Курдюков, В.И. Основы абразивной обработки [Текст]: учебное пособие/ В.И. Курдюков. - Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. - 195 с.
  64. Латышевский А.С. Системы питания дизелей [Текст]: учебное пособие / А.С. Латышевский. - М.: «Машиностроение», 1981. – 216 с., ил.
  65. Лебедев В.В. Экономическая оценка эффективности мероприятий по совершенствованию ремонтно-обслуживающего производства в агропромышленном комплексе. [Текст] : учебно- методическое пособие для студентов факультета механизации сельского хозяйства/ В.В. Лебедев. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2002. – 36с.
  66. Ленин И.М. Системы топливоподачи автомобильных и тракторных двигателей. [Текст] / И.М. Ленин - М., «Машиностроение», 1976. 287с.
  67. Лукьянов В.С. Определение шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-

- 73 / В.С. Лукьянов. – М. Измерительная техника, 1974. - №12. – 64с.
68. Лялякин В.П. Восстанавливать дешевле, чем купить [Текст] /В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. // Наука и техника 2016.-№6. – С42-43.
69. Марков, А.И. Оптимизация и управление процессом резания труднообрабатываемых материалов//Вестник машиностроения, 1996. - №10. –с. 19-22.
70. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст] / Е.Н. Маслов. – М.: «Машиностроение», 1974. - 320с.
71. Масловский В.В. Справочник по доводочным работам [Текст] /В.В. Масловский. – Харьков: Прапор,1985. – 121с.
72. Матвеев И.А., Техническое нормирование ремонтных работ в сельском хозяйстве [Текст]/ И.А. Матвеев, И.И. Пустовалов - М.: «Колос», 1979. – 288с.
73. Машиностроение. Энциклопедия. Том 1-3: Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин/ К.С. Колесников, Д.А. Александров, В.К. Асташев и др - М.: Машиностроение, 1994. - 534с.
74. Махиянов У.А. Совершенствование технологических приемов ремонта малогабаритных форсунок автотракторных дизелей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.03 / Махиянов Урал Азатович// дис. канд. техн. наук Башкир. гос. аграр. ун-т. - Уфа, 2012. - 138с.: ил.
75. Махиянов У.А. Исследование влияния эксплуатационных факторов на рабочие характеристики форсунки [Текст] / У.А. Махиянов, А.В. Неговора, А.В. Факиев // Сборник научных трудов, посвященный 80-летию БГАУ. Уфа: БГАУ, 2010. - С.91-92.
76. Махиянов У.А. Метод объективной оценки качества распыливания форсунки [Текст]/ У.А. Махиянов //Энергетический вестник (Материалы научно-практической конференции). -СПб-Пушкин: СПбГАУ, 2011, С.127-129.

77. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст]/ С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1972. – 200 с.
78. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / Под рук. академика ВАСХНИЛ Г.М. Лозы. – М.: Колос, 1980. – 112 с.
79. Муратов К.Р. Динамика изменения формы поверхности в процессе абразивной доводки [Текст] / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев //Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение» 2014. Том 14. №4. С.46-54
80. Надежность и ремонт машин [Текст]/Под редакцией В.В. Курчаткина.- М.: «Колос», 2000-776с.
81. Назаров Н.Г. Моделирование технологического процесса доводки партии одновременно обрабатываемых деталей / Н.г. Назаров, И.И. Данилов //Наука и образование МГТУ им. Баумана. Электронный журнал 2015.№9. С.122-134.
82. Некрасов, С. С. Обработка материалов резанием [Текст] : учебное пособие / С. С. Некрасов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Колос , 1997. - 320 с.
83. Неговора, А. В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей [Текст]: учеб.-практ. пособие для инженеров и специалистов по техническому сервису топливной аппаратуры дизелей / А. В. Неговора. - Уфа: Изд-во ООО "Башдизель", 2006.- 149 с.
84. Орлов П.Н. Техническое обеспечение качества деталей методами доводки [Текст] /П.Н. Орлов. - М.: Машиностроение, 1988.-384с.
85. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования [Текст] / В.И. Островский. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1981. – 144с. ил.
86. Патент РФ RU 2080978, МПК В24 В 37/04 Плоскодоводочный станок /

Ю.И. Гуркин

87. Патент РФ на полезную модель № 13178. опубл. 27.03.200 бюл. №9.
88. Плис, А.И. MathCAD 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров: Учеб. Пособие / А.И. Плис, Н.А. Сливина. - М.: Финансы и статистика, 2000.- 656с.
89. Практикум по надёжности технических систем сельскохозяйственных машин [Текст]: учебное пособие /В. Е. Рогов, В. П. Чернышев, В. А. Шахов и др. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2012. - 75 с.
90. Практикум по ремонту сельскохозяйственных машин [Текст]: учебное пособие /С.А. Соловьев [и др.]; ред. В.Е. Рогов. – Москва: Колос, 2007.- 336с.
91. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / Б. П. Загородских, В. П. Лялякин, П. А. Плотников. - М. : ФГНУ "Росинформагротех", 2006. - 212 с.
92. РТМ.70.0001.021 - 82 Восстановление форсунок автотракторных дизелей [Текст] - М.: ГОСНИТИ, 1982. - 8с.
93. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры тракторных, комбайновых и автомобильных дизелей [Текст] - М.: ГОСНИТИ, 1990. 186 с.
94. Сафин, Ф.Р. Стенд для проверки форсунок топливных систем дизелей [Текст] / Ф.Р. Сафин, А.А. Шарафеев // Материалы Международной научнопрактической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ»: «Молодежная наука и АПК» - Уфа: ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ», 2010.- С. 80-82.
95. Селиванов А.И., Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. [Текст]/ А.И. Селиванов, Ю.Н. Артемьев - М.: «Колос», 1978. -247с.
96. Сомов В.А. Повышение моторесурса и экономичности дизелей. [Текст] / В.А. Сомов - Л.: «Машиностроение», 1971. – 192 с.
97. Терган В.С. Справочник молодого шлифовальщика по плоскому

- шлифованию [Текст]/ В.С. Терган, А.В. Терган . - М.: «Высшая школа», 1975.-214с.
98. Териченко А.В. влияние микрогеометрии поверхности на ее износостойкость – планирование эксперимента / А.В. Териченко, В.А. Валетов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург.- Том 8. №3 2008. С.108-112.
99. Технология контроля и восстановления экологических показателей дизелей в условиях эксплуатации. М.: ГОСНИТИ, 1994. 88с.
100. Трофимова, Т.И. Сборник задач по физике [Текст]: учебное пособие для ВТУЗов / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1996. – 303 с.
101. Трусов, В.И. Форсунки автотракторных дизелей [Текст] / В.И. Трусов, В.П. Дмитренко, Г.Д. Масляный - М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
102. Файнлейб, Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей [Текст]: справочник / Б. Н. Файнлейб. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1990. - 352 с.
103. Челпан, Л.К. Влияние неравномерности подачи топлива на рабочий цикл тракторного дизеля [Текст] / Труды ЦНИТА – Л.: 1963. С.26-37.
104. Чернавский С.А. Проектирование механических передач [Текст]/ С.А. Чернавский - М.: «Машиностроение», 1984. – 560с.
105. Шальнов В.А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. [Текст]/ В.А. Шальнов -М.: «Машиностроение», 1972. – 272с.
106. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Ч. 1. Статика. Кинематика: Учебник для техн. вузов. – 6-е изд. испр. / А.А. Яблонский. – М.: Высш. шк., 1984. – 344 с., ил.
107. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Ч. 2. Динамика: Учебник для техн. вузов. – 6-е изд. испр. / А.А. Яблонский. – М.: Высш. шк., 1984. – 423 с., ил.

108. Bosch Diagnostics Soft. ESI tronic. Automotive. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Aftermarket. D-76225 Karlsruhe, 2005/1.
109. Dieselmotorische Einspritzratenformung unter dem Einfluss von Druckmodulation und Nadelsitzdrosselung, eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation, der Universität Hannover, 2004
110. Dolenc. A. The injection equipment of future high speed DI diesel engine with respect to power and pollution requirements. I.Mech.E lecture, London, United Kingdom. 1990.
111. Denso. Electronical Technical Service Information, 2002.
112. Operating Instructions. KMA 802/822. Description of unit. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket. Test Equipment. 1 689 979 674 UBF 851/3 De,En,Fr,Sp,It,Sv (2005-02-28). Printed in Germany.
113. Tsunemoto H., etal. Spray motion on the walls of combustion chambers of various shaper in direct injection diesel engines// SAE Review/- 1984. №9 P.16.
114. <http://diesel-adi.at.ua> – официальный сайт компании «ADI» г. Харьков.
115. [www.azpi.ru](http://www.azpi.ru) – официальный сайт Алтайского завода прецизионных изделий.
116. [www.belarus-tractor.com](http://www.belarus-tractor.com) - Официальный сайт Минского тракторного завода.
117. [www.dta-stend.ru](http://www.dta-stend.ru) – Официальный сайт стендового оборудования для испытания ТА дизелей.
118. [www.yardizapp.ru](http://www.yardizapp.ru) – официальный сайт Ярославского завода дизельной аппаратуры (ЯрДизель Аппаратуа.)

# Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ А

*Результаты измерения величины износа, плоскости торца корпуса форсунки.*

№ п/п	Износ в месте удара заплечиков иглы распылителя	Износ в месте контакта с корпусами распылителя	№ п/п	Износ в месте удара заплечиков иглы распылителя	Износ в месте контакта с корпусом распылителя
1	2	3	4	5	6
1	0,033	0,010	20	0,018	0,004
2	0,049	0,009	21	0,017	0,007
3	0,031	0,010	22	0,037	0,005
4	0,025	0,010	23	0,015	0,060
5	0,019	0,019	24	0,029	0,012
6	0,016	0,012	25	0,021	0,006
7	0,013	0,007	26	0,023	0,010
8	0,014	0,004	27	0,02	0,006
9	0,024	0,010	28	0,003	0,005
10	0,013	0,007	29	0,026	0,012
11	0,045	0,012	30	0,000	0,000
12	0,013	0,005	31	0,015	0,006
13	0,014	0,010	32	0,042	0,014
14	0,053	0,009	33	0,104	0,008
15	0,049	0,002	34	0,018	0,009
16	0,02	0,011	35	0,023	0,013
17	0,020	0,002	36	0,02	0,004
18	0,021	0,009	37	0,005	0,003
19	0,031	0,004	38	0,037	0,015

## Продолжение приложения А

1	2	3	4	5	6
39	0,015	0,021	65	0,042	0,001
40	0,007	0,009	66	0,01	0,003
41	0,009	0,006	67	0,031	0,010
42	0,02	0,008	68	0,019	0,002
43	0,027	0,009	69	0,013	0,004
44	0,041	0,005	70	0,02	0,012
45	0,013	0,004	71	0,013	0,003
46	0,023	0,003	72	0,017	0,006
47	0,034	0,020	73	0,036	0,004
48	0,007	0,008	74	0,017	0,004
49	0,058	0,007	75	0,013	0,003
50	0,024	0,006	76	0,008	0,005
51	0,000	0,006	77	0,026	0,006
52	0,037	0,002	78	0,067	0,004
53	0,007	0,003	79	0,044	0,007
54	0,030	0,010	80	0,036	0,002
55	0,004	0,005	81	0,022	0,004
56	0,037	0,003	82	0,01	0,007
57	0,017	0,010	83	0,028	0,002
58	0,027	0,005	84	0,049	0,008
59	0,042	0,003	85	0,019	0,010
60	0,018	0,003	86	0,041	0,012
61	0,014	0,002	87	0,040	0,015
62	0,018	0,011	88	0,018	0,005
63	0,009	0,002	89	0,034	0,006
64	0,016	0,006	90	0,041	0,003

## Продолжение приложения А

1	2	3	4	5	6
91	0,024	0,004	114	0,017	0,009
92	0,018	0,009	115	0,04	0,005
93	0,092	0,010	116	0,044	0,002
94	0,087	0,006	117	0,005	0,003
95	0,039	0,002	118	0,019	0,006
96	0,012	0,003	119	0,054	0,006
97	0,034	0,004	120	0,034	0,010
98	0,017	0,006	121	0,026	0,007
99	0,032	0,008	122	0,02	0,005
100	0,013	0,010	123	0,011	0,004
101	0,025	0,008	124	0,017	0,009
102	0,030	0,011	125	0,025	0,005
103	0,016	0,004	126	0,009	0,004
104	0,021	0,006	127	0,040	0,012
105	0,025	0,007	128	0,018	0,009
106	0,037	0,010	129	0,021	0,001
107	0,019	0,007	130	0,024	0,010
108	0,018	0,015	131	0,01	0,005
109	0,021	0,010	132	0,012	0,010
110	0,027	0,008	133	0,009	0,002
111	0,029	0,006	134	0,023	0,009
112	0,038	0,010	135	0,043	0,015
113	0,023	0,004			

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1-Хронометраж затрат времени на операциях по шлифованию  
уплотнительных торцов корпусов форсунок одноместными приспособлениями

№ Форсунки Операция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Дефектация, мин.	2	2,5	2,5	2,3	2	2,1	2,5	2,1	2	2	2	2,5	2,1	2,5	2	2
Ввертывание одной форсунки в приспособление, с.	9	9,2	9,7	8,8	9,1	7,5	7,4	7,1	9,5	9,8	12	11,4	8,5	8,2	11	8
Установка приспособления на шлифовальный станок, с.	8	7	7	7	8	7	7	7	8	8	9	8	7	7	7	7
Включение станка и подведение шлифовального круга, с.	30	32	32	29	28	28	30	31	31	30	29	28	31	30	30	29
Шлифование, мин.	4,2	6	6	6,1	6,2	5,5	5,9	4,9	5	5,5	6,3	5,5	5,2	5	6,2	6,3
Выключение станка, с.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Снятие приспособления со станка, с.	4	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4
Вывертывание форсунки из приспособления, с	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	4	6	4	5	4
Притирка, мин.	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Таблица 2-Хронометраж затрат времени на операциях по восстановлению уплотнительных торцов корпусов форсунок механизированным способом.

№ Форсунки операция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Дефектация, мин.	2	2,5	1,5	1,5	2	2,1	2,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,1	2,5	2	2
Комплектование по износам, с.	5	4	4	5	3	4	5	5	4	4	3	3	5	5	5	4
Ввертывание форсунки в плиту, с.	9	9,2	9,7	8,8	9,1	7,5	7,4	7,1	9,5	9,8	12	11,4	8,5	8,2	11	8
Установка приспособления на шлифовальный станок, с.	10					12					12					
Включение станка и подведение шлифовального круга, с.	30					35					35					
Шлифование, мин.	15					17					18					
Выключение станка, с.	8					8					8					
Снятие приспособления со станка, с.	5					4					5					
Установка приспособления на притирочный станок, с.	7					6					6					
Притирка, с.	35					35					35					
Снятие приспособления со шлифовального станка, с.	7					8					7					
Вывертывание форсунки из плиты, с.	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	4	6	4	5	4

ПРИЛОЖЕНИЯ В

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИТИРКИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО  
ТОРЦА КОРПУСА ФОРСУНКИ**

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
1.	28	1	20,375	0,3
2.	28	1	20,375	0,31
3.	28	1	20,375	0,29
4.	28	1	20,375	0,3
5.	28	1	20,375	0,3
6.	28	1	20,375	0,3
7.	20	1	20,375	0,28
8.	20	1	20,375	0,29
9.	20	1	20,375	0,28
10.	20	1	20,375	0,28
11.	20	1	20,375	0,27
12.	20	1	20,375	0,28
13.	14	1	20,375	0,26
14.	14	1	20,375	0,27
15.	14	1	20,375	0,26
16.	14	1	20,375	0,26
17.	14	1	20,375	0,28
18.	14	1	20,375	0,28
19.	10	1	20,375	0,25
20.	10	1	20,375	0,25
21.	10	1	20,375	0,25
22.	10	1	20,375	0,25
23.	10	1	20,375	0,24
24.	10	1	20,375	0,24
25.	7	1	20,375	0,25
26.	7	1	20,375	0,25
27.	7	1	20,375	0,26
28.	7	1	20,375	0,26
29.	7	1	20,375	0,25
30.	7	1	20,375	0,26
31.	5	1	20,375	0,26
32.	5	1	20,375	0,26
33.	5	1	20,375	0,24
34.	5	1	20,375	0,26
35.	5	1	20,375	0,25
36.	5	1	20,375	0,25
37.	28	2	20,375	0,25
38.	28	2	20,375	0,25
39.	28	2	20,375	0,24
40.	28	2	20,375	0,26
41.	28	2	20,375	0,25

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
42.	28	2	20,375	0,26
43.	20	2	20,375	0,25
44.	20	2	20,375	0,26
45.	20	2	20,375	0,26
46.	20	2	20,375	0,25
47.	20	2	20,375	0,27
48.	20	2	20,375	0,26
49.	14	2	20,375	0,24
50.	14	2	20,375	0,25
51.	14	2	20,375	0,25
52.	14	2	20,375	0,25
53.	14	2	20,375	0,24
54.	14	2	20,375	0,24
55.	10	2	20,375	0,24
56.	10	2	20,375	0,25
57.	10	2	20,375	0,24
58.	10	2	20,375	0,25
59.	10	2	20,375	0,24
60.	10	2	20,375	0,24
61.	7	2	20,375	0,24
62.	7	2	20,375	0,24
63.	7	2	20,375	0,23
64.	7	2	20,375	0,24
65.	7	2	20,375	0,24
66.	7	2	20,375	0,24
67.	5	2	20,375	0,24
68.	5	2	20,375	0,24
69.	5	2	20,375	0,24
70.	5	2	20,375	0,25
71.	5	2	20,375	0,24
72.	5	2	20,375	0,24
73.	28	3	20,375	0,24
74.	28	3	20,375	0,24
75.	28	3	20,375	0,23
76.	28	3	20,375	0,23
77.	28	3	20,375	0,24
78.	28	3	20,375	0,23
79.	20	3	20,375	0,23
80.	20	3	20,375	0,23
81.	20	3	20,375	0,24
82.	20	3	20,375	0,23
83.	20	3	20,375	0,23
84.	20	3	20,375	0,23
85.	14	3	20,375	0,21
86.	14	3	20,375	0,21

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
87.	14	3	20,375	0,21
88.	14	3	20,375	0,22
89.	14	3	20,375	0,22
90.	14	3	20,375	0,21
91.	10	3	20,375	0,2
92.	10	3	20,375	0,2
93.	10	3	20,375	0,2
94.	10	3	20,375	0,2
95.	10	3	20,375	0,2
96.	10	3	20,375	0,2
97.	7	3	20,375	0,2
98.	7	3	20,375	0,21
99.	7	3	20,375	0,21
100.	7	3	20,375	0,21
101.	7	3	20,375	0,21
102.	7	3	20,375	0,21
103.	5	3	20,375	0,2
104.	5	3	20,375	0,2
105.	5	3	20,375	0,21
106.	5	3	20,375	0,22
107.	5	3	20,375	0,22
108.	5	3	20,375	0,21
109.	28	4	20,375	0,25
110.	28	4	20,375	0,25
111.	28	4	20,375	0,24
112.	28	4	20,375	0,25
113.	28	4	20,375	0,25
114.	28	4	20,375	0,25
115.	20	4	20,375	0,23
116.	20	4	20,375	0,22
117.	20	4	20,375	0,2
118.	20	4	20,375	0,21
119.	20	4	20,375	0,21
120.	20	4	20,375	0,22
121.	14	4	20,375	0,16
122.	14	4	20,375	0,17
123.	14	4	20,375	0,16
124.	14	4	20,375	0,16
125.	14	4	20,375	0,16
126.	14	4	20,375	0,16
127.	10	4	20,375	0,15
128.	10	4	20,375	0,15
129.	10	4	20,375	0,15

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
130.	10	4	20,375	0,16
131.	10	4	20,375	0,16
132.	10	4	20,375	0,16
133.	7	4	20,375	0,14
134.	7	4	20,375	0,15
135.	7	4	20,375	0,15
136.	7	4	20,375	0,15
137.	7	4	20,375	0,15
138.	7	4	20,375	0,15
139.	5	4	20,375	0,14
140.	5	4	20,375	0,15
141.	5	4	20,375	0,15
142.	5	4	20,375	0,14
143.	5	4	20,375	0,14
144.	5	4	20,375	0,14
145.	28	5	20,375	0,27
146.	28	5	20,375	0,28
147.	28	5	20,375	0,28
148.	28	5	20,375	0,27
149.	28	5	20,375	0,27
150.	28	5	20,375	0,27
151.	20	5	20,375	0,24
152.	20	5	20,375	0,24
153.	20	5	20,375	0,24
154.	20	5	20,375	0,24
155.	20	5	20,375	0,25
156.	20	5	20,375	0,25
157.	14	5	20,375	0,21
158.	14	5	20,375	0,2
159.	14	5	20,375	0,2
160.	14	5	20,375	0,2
161.	14	5	20,375	0,2
162.	14	5	20,375	0,2
163.	10	5	20,375	0,18
164.	10	5	20,375	0,18
165.	10	5	20,375	0,18
166.	10	5	20,375	0,18
167.	10	5	20,375	0,18
168.	10	5	20,375	0,18
169.	7	5	20,375	0,18
170.	7	5	20,375	0,19
171.	7	5	20,375	0,19
172.	7	5	20,375	0,18
173.	7	5	20,375	0,18
174.	7	5	20,375	0,18

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
175.	5	5	20,375	0,18
176.	5	5	20,375	0,19
177.	5	5	20,375	0,18
178.	5	5	20,375	0,18
179.	5	5	20,375	0,18
180.	5	5	20,375	0,18
181.	28	1	35,153	0,29
182.	28	1	35,153	0,3
183.	28	1	35,153	0,28
184.	28	1	35,153	0,28
185.	28	1	35,153	0,29
186.	28	1	35,153	0,28
187.	20	1	35,153	0,25
188.	20	1	35,153	0,26
189.	20	1	35,153	0,26
190.	20	1	35,153	0,25
191.	20	1	35,153	0,25
192.	20	1	35,153	0,25
193.	14	1	35,153	0,24
194.	14	1	35,153	0,24
195.	14	1	35,153	0,24
196.	14	1	35,153	0,24
197.	14	1	35,153	0,25
198.	14	1	35,153	0,25
199.	10	1	35,153	0,2
200.	10	1	35,153	0,2
201.	10	1	35,153	0,21
202.	10	1	35,153	0,2
203.	10	1	35,153	0,2
204.	10	1	35,153	0,2
205.	7	1	35,153	0,2
206.	7	1	35,153	0,2
207.	7	1	35,153	0,2
208.	7	1	35,153	0,2
209.	7	1	35,153	0,21
210.	7	1	35,153	0,21
211.	5	1	35,153	0,21
212.	5	1	35,153	0,21
213.	5	1	35,153	0,21
214.	5	1	35,153	0,2
215.	5	1	35,153	0,2
216.	5	1	35,153	0,19
217.	28	2	35,153	0,24
218.	28	2	35,153	0,24
219.	28	2	35,153	0,25

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
220.	28	2	35,153	0,25
221.	28	2	35,153	0,25
222.	28	2	35,153	0,25
223.	20	2	35,153	0,23
224.	20	2	35,153	0,23
225.	20	2	35,153	0,24
226.	20	2	35,153	0,23
227.	20	2	35,153	0,23
228.	20	2	35,153	0,24
229.	14	2	35,153	0,2
230.	14	2	35,153	0,21
231.	14	2	35,153	0,2
232.	14	2	35,153	0,2
233.	14	2	35,153	0,2
234.	14	2	35,153	0,2
235.	10	2	35,153	0,19
236.	10	2	35,153	0,19
237.	10	2	35,153	0,19
238.	10	2	35,153	0,19
239.	10	2	35,153	0,19
240.	10	2	35,153	0,19
241.	7	2	35,153	0,185
242.	7	2	35,153	0,19
243.	7	2	35,153	0,185
244.	7	2	35,153	0,18
245.	7	2	35,153	0,18
246.	7	2	35,153	0,18
247.	5	2	35,153	0,18
248.	5	2	35,153	0,185
249.	5	2	35,153	0,18
250.	5	2	35,153	0,183
251.	5	2	35,153	0,182
252.	5	2	35,153	0,18
253.	28	3	35,153	0,21
254.	28	3	35,153	0,2
255.	28	3	35,153	0,2
256.	28	3	35,153	0,2
257.	28	3	35,153	0,2
258.	28	3	35,153	0,2
259.	20	3	35,153	0,2
260.	20	3	35,153	0,2
261.	20	3	35,153	0,2
262.	20	3	35,153	0,19
263.	20	3	35,153	0,19
264.	20	3	35,153	0,2

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
265.	14	3	35,153	0,17
266.	14	3	35,153	0,18
267.	14	3	35,153	0,18
268.	14	3	35,153	0,17
269.	10	3	35,153	0,17
270.	10	3	35,153	0,17
271.	10	3	35,153	0,17
272.	10	3	35,153	0,17
273.	10	3	35,153	0,16
274.	10	3	35,153	0,16
275.	7	3	35,153	0,16
276.	7	3	35,153	0,15
277.	7	3	35,153	0,14
278.	7	3	35,153	0,14
279.	7	3	35,153	0,15
280.	7	3	35,153	0,15
281.	5	3	35,153	0,14
282.	5	3	35,153	0,15
283.	5	3	35,153	0,14
284.	5	3	35,153	0,13
285.	5	3	35,153	0,14
286.	5	3	35,153	0,14
287.	28	4	35,153	0,2
288.	28	4	35,153	0,2
289.	28	4	35,153	0,19
290.	28	4	35,153	0,19
291.	28	4	35,153	0,19
292.	28	4	35,153	0,19
293.	20	4	35,153	0,15
294.	20	4	35,153	0,15
295.	20	4	35,153	0,15
296.	20	4	35,153	0,15
297.	20	4	35,153	0,14
298.	20	4	35,153	0,16
299.	14	4	35,153	0,12
300.	14	4	35,153	0,12
301.	14	4	35,153	0,13
302.	14	4	35,153	0,13
303.	14	4	35,153	0,12
304.	14	4	35,153	0,12
305.	10	4	35,153	0,11
306.	10	4	35,153	0,1
307.	10	4	35,153	0,11
308.	10	4	35,153	0,12
309.	10	4	35,153	0,12

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
310.	10	4	35,153	0,12
311.	7	4	35,153	0,12
312.	7	4	35,153	0,12
313.	7	4	35,153	0,13
314.	7	4	35,153	0,13
315.	7	4	35,153	0,13
316.	7	4	35,153	0,13
317.	5	4	35,153	0,13
318.	5	4	35,153	0,13
319.	5	4	35,153	0,13
320.	5	4	35,153	0,12
321.	5	4	35,153	0,12
322.	5	4	35,153	0,12
323.	28	5	35,153	0,21
324.	28	5	35,153	0,22
325.	28	5	35,153	0,22
326.	28	5	35,153	0,21
327.	28	5	35,153	0,22
328.	28	5	35,153	0,22
329.	20	5	35,153	0,18
330.	20	5	35,153	0,17
331.	20	5	35,153	0,16
332.	20	5	35,153	0,17
333.	20	5	35,153	0,18
334.	20	5	35,153	0,17
335.	14	5	35,153	0,14
336.	14	5	35,153	0,15
337.	14	5	35,153	0,15
338.	14	5	35,153	0,14
339.	14	5	35,153	0,14
340.	14	5	35,153	0,14
341.	10	5	35,153	0,13
342.	10	5	35,153	0,13
343.	10	5	35,153	0,12
344.	10	5	35,153	0,13
345.	10	5	35,153	0,13
346.	10	5	35,153	0,13
347.	7	5	35,153	0,12
348.	7	5	35,153	0,13
349.	7	5	35,153	0,13
350.	7	5	35,153	0,13
351.	7	5	35,153	0,12
352.	7	5	35,153	0,13
353.	5	5	35,153	0,13
354.	5	5	35,153	0,13

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
355.	5	5	35,153	0,11
356.	5	5	35,153	0,12
357.	5	5	35,153	0,13
358.	5	5	35,153	0,13
359.	28	1	50	0,2
360.	28	1	50	0,2
361.	28	1	50	0,2
362.	28	1	50	0,2
363.	28	1	50	0,2
364.	28	1	50	0,2
365.	20	1	50	0,2
366.	20	1	50	0,2
367.	20	1	50	0,19
368.	20	1	50	0,18
369.	20	1	50	0,18
370.	20	1	50	0,19
371.	14	1	50	0,18
372.	14	1	50	0,19
373.	14	1	50	0,19
374.	14	1	50	0,18
375.	14	1	50	0,18
376.	14	1	50	0,19
377.	10	1	50	0,16
378.	10	1	50	0,17
379.	10	1	50	0,17
380.	10	1	50	0,18
381.	10	1	50	0,18
382.	10	1	50	0,17
383.	7	1	50	0,15
384.	7	1	50	0,14
385.	7	1	50	0,14
386.	7	1	50	0,15
387.	7	1	50	0,15
388.	7	1	50	0,15
389.	5	1	50	0,16
390.	5	1	50	0,16
391.	5	1	50	0,15
392.	5	1	50	0,15
393.	5	1	50	0,15
394.	5	1	50	0,16
395.	28	2	50	0,2
396.	28	2	50	0,2
397.	28	2	50	0,19
398.	28	2	50	0,19
399.	28	2	50	0,19

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
400.	28	2	50	0,2
401.	20	2	50	0,19
402.	20	2	50	0,19
403.	20	2	50	0,19
404.	20	2	50	0,19
405.	20	2	50	0,19
406.	20	2	50	0,18
407.	14	2	50	0,14
408.	14	2	50	0,14
409.	14	2	50	0,15
410.	14	2	50	0,15
411.	14	2	50	0,15
412.	14	2	50	0,15
413.	10	2	50	0,13
414.	10	2	50	0,13
415.	10	2	50	0,12
416.	10	2	50	0,13
417.	10	2	50	0,12
418.	10	2	50	0,12
419.	7	2	50	0,12
420.	7	2	50	0,13
421.	7	2	50	0,12
422.	7	2	50	0,12
423.	7	2	50	0,13
424.	7	2	50	0,13
425.	5	2	50	0,12
426.	5	2	50	0,12
427.	5	2	50	0,12
428.	5	2	50	0,12
429.	5	2	50	0,12
430.	5	2	50	0,12
431.	28	3	50	0,15
432.	28	3	50	0,15
433.	28	3	50	0,14
434.	28	3	50	0,14
435.	28	3	50	0,15
436.	28	3	50	0,14
437.	20	3	50	0,12
438.	20	3	50	0,11
439.	20	3	50	0,11
440.	20	3	50	0,12
441.	20	3	50	0,12
442.	20	3	50	0,12
443.	20	3	50	0,12
444.	20	3	50	0,12

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
445.	14	3	50	0,09
446.	14	3	50	0,09
447.	14	3	50	0,09
448.	14	3	50	0,09
449.	14	3	50	0,09
450.	14	3	50	0,083
451.	10	3	50	0,08
452.	10	3	50	0,08
453.	10	3	50	0,08
454.	10	3	50	0,08
455.	10	3	50	0,08
456.	10	3	50	0,08
457.	7	3	50	0,07
458.	7	3	50	0,07
459.	7	3	50	0,08
460.	7	3	50	0,08
461.	7	3	50	0,07
462.	7	3	50	0,074
463.	5	3	50	0,07
464.	5	3	50	0,075
465.	5	3	50	0,07
466.	5	3	50	0,07
467.	5	3	50	0,07
468.	5	3	50	0,065
469.	28	4	50	0,16
470.	28	4	50	0,16
471.	28	4	50	0,16
472.	28	4	50	0,17
473.	28	4	50	0,16
474.	28	4	50	0,16
475.	20	4	50	0,13
476.	20	4	50	0,13
477.	20	4	50	0,13
478.	20	4	50	0,13
479.	20	4	50	0,13
480.	20	4	50	0,13
481.	14	4	50	0,09
482.	14	4	50	0,09
483.	14	4	50	0,09
484.	14	4	50	0,08
485.	14	4	50	0,09
486.	14	4	50	0,09
487.	10	4	50	0,07
488.	10	4	50	0,07
489.	10	4	50	0,07

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
490.	10	4	50	0,07
491.	10	4	50	0,07
492.	10	4	50	0,06
493.	7	4	50	0,06
494.	7	4	50	0,06
495.	7	4	50	0,06
496.	7	4	50	0,07
497.	7	4	50	0,07
498.	7	4	50	0,06
499.	5	4	50	0,07
500.	5	4	50	0,06
501.	5	4	50	0,06
502.	5	4	50	0,06
503.	5	4	50	0,05
504.	5	4	50	0,06
505.	28	5	50	0,19
506.	28	5	50	0,19
507.	28	5	50	0,19
508.	28	5	50	0,19
509.	28	5	50	0,19
510.	28	5	50	0,19
511.	20	5	50	0,15
512.	20	5	50	0,14
513.	20	5	50	0,13
514.	20	5	50	0,13
515.	20	5	50	0,14
516.	20	5	50	0,13
517.	14	5	50	0,1
518.	14	5	50	0,1
519.	14	5	50	0,1
520.	14	5	50	0,1
521.	14	5	50	0,1
522.	14	5	50	0,1
523.	10	5	50	0,09
524.	10	5	50	0,09
525.	10	5	50	0,09
526.	10	5	50	0,09
527.	10	5	50	0,09
528.	10	5	50	0,09
529.	7	5	50	0,083
530.	7	5	50	0,08
531.	7	5	50	0,08
532.	7	5	50	0,08
533.	7	5	50	0,08
534.	7	5	50	0,08

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность в доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
535.	5	5	50	0,08
536.	5	5	50	0,08
537.	5	5	50	0,07
538.	5	5	50	0,07
539.	5	5	50	0,08
540.	5	5	50	0,08
541.	28	1	65	0,21
542.	28	1	65	0,21
543.	28	1	65	0,21
544.	28	1	65	0,22
545.	28	1	65	0,22
546.	28	1	65	0,21
547.	20	1	65	0,2
548.	20	1	65	0,2
549.	20	1	65	0,2
550.	20	1	65	0,2
551.	20	1	65	0,2
552.	20	1	65	0,2
553.	14	1	65	0,2
554.	14	1	65	0,2
555.	14	1	65	0,2
556.	14	1	65	0,2
557.	14	1	65	0,2
558.	14	1	65	0,2
559.	10	1	65	0,17
560.	10	1	65	0,17
561.	10	1	65	0,17
562.	10	1	65	0,17
563.	10	1	65	0,16
564.	10	1	65	0,16
565.	7	1	65	0,17
566.	7	1	65	0,17
567.	7	1	65	0,16
568.	7	1	65	0,16
569.	7	1	65	0,17
570.	7	1	65	0,16
571.	5	1	65	0,17
572.	5	1	65	0,18
573.	5	1	65	0,17
574.	5	1	65	0,17
575.	5	1	65	0,18
576.	5	1	65	0,18
577.	28	2	65	0,2
578.	28	2	65	0,2
579.	28	2	65	0,2
580.	28	2	65	0,2

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
581.	28	2	65	0,2
582.	28	2	65	0,2
583.	20	2	65	0,2
584.	20	2	65	0,2
585.	20	2	65	0,19
586.	20	2	65	0,19
587.	20	2	65	0,19
588.	20	2	65	0,2
589.	14	2	65	0,16
590.	14	2	65	0,17
591.	14	2	65	0,17
592.	14	2	65	0,17
593.	14	2	65	0,17
594.	14	2	65	0,17
595.	10	2	65	0,15
596.	10	2	65	0,15
597.	10	2	65	0,15
598.	10	2	65	0,16
599.	10	2	65	0,16
600.	10	2	65	0,14
601.	7	2	65	0,15
602.	7	2	65	0,15
603.	7	2	65	0,14
604.	7	2	65	0,15
605.	7	2	65	0,14
606.	7	2	65	0,14
607.	5	2	65	0,14
608.	5	2	65	0,13
609.	5	2	65	0,12
610.	5	2	65	0,13
611.	5	2	65	0,13
612.	5	2	65	0,13
613.	28	3	65	0,2
614.	28	3	65	0,2
615.	28	3	65	0,2
616.	28	3	65	0,2
617.	28	3	65	0,19
618.	28	3	65	0,19
619.	20	3	65	0,14
620.	20	3	65	0,15
621.	20	3	65	0,15
622.	20	3	65	0,14
623.	20	3	65	0,14
624.	20	3	65	0,14
625.	14	3	65	0,13
626.	14	3	65	0,13

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
627.	14	3	65	0,13
628.	14	3	65	0,13
629.	14	3	65	0,13
630.	14	3	65	0,13
631.	10	3	65	0,12
632.	10	3	65	0,12
633.	10	3	65	0,1
634.	10	3	65	0,1
635.	10	3	65	0,1
636.	10	3	65	0,1
637.	7	3	65	0,09
638.	7	3	65	0,09
639.	7	3	65	0,09
640.	7	3	65	0,09
641.	7	3	65	0,09
642.	7	3	65	0,08
643.	5	3	65	0,08
644.	5	3	65	0,075
645.	5	3	65	0,074
646.	5	3	65	0,08
647.	5	3	65	0,08
648.	5	3	65	0,08
649.	28	4	65	0,18
650.	28	4	65	0,18
651.	28	4	65	0,19
652.	28	4	65	0,18
653.	28	4	65	0,18
654.	28	4	65	0,18
655.	20	4	65	0,14
656.	20	4	65	0,13
657.	20	4	65	0,15
658.	20	4	65	0,15
659.	20	4	65	0,15
660.	20	4	65	0,15
661.	14	4	65	0,09
662.	14	4	65	0,1
663.	14	4	65	0,09
664.	14	4	65	0,09
665.	14	4	65	0,09
666.	14	4	65	0,08
667.	10	4	65	0,08
668.	10	4	65	0,08
669.	10	4	65	0,09
670.	10	4	65	0,08
671.	10	4	65	0,08
672.	10	4	65	0,08

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
673.	7	4	65	0,08
674.	7	4	65	0,08
675.	7	4	65	0,08
676.	7	4	65	0,08
677.	7	4	65	0,07
678.	7	4	65	0,07
679.	5	4	65	0,08
680.	5	4	65	0,07
681.	5	4	65	0,07
682.	5	4	65	0,08
683.	5	4	65	0,08
684.	5	4	65	0,08
685.	28	5	65	0,2
686.	28	5	65	0,2
687.	28	5	65	0,2
688.	28	5	65	0,2
689.	28	5	65	0,2
690.	28	5	65	0,2
691.	20	5	65	0,15
692.	20	5	65	0,15
693.	20	5	65	0,14
694.	20	5	65	0,15
695.	20	5	65	0,15
696.	20	5	65	0,15
697.	14	5	65	0,12
698.	14	5	65	0,11
699.	14	5	65	0,11
700.	14	5	65	0,12
701.	14	5	65	0,11
702.	14	5	65	0,1
703.	10	5	65	0,09
704.	10	5	65	0,09
705.	10	5	65	0,09
706.	10	5	65	0,09
707.	10	5	65	0,09
708.	10	5	65	0,9
709.	7	5	65	0,09
710.	7	5	65	0,09
711.	7	5	65	0,09
712.	7	5	65	0,09
713.	7	5	65	0,09
714.	7	5	65	0,9
715.	5	5	65	0,09
716.	5	5	65	0,085
717.	5	5	65	0,08
718.	5	5	65	0,085

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
719.	5	5	65	0,08
720.	5	5	65	0,085
721.	28	1	80	0,22
722.	28	1	80	0,21
723.	28	1	80	0,22
724.	28	1	80	0,23
725.	28	1	80	0,22
726.	28	1	80	0,22
727.	20	1	80	0,21
728.	20	1	80	0,21
729.	20	1	80	0,21
730.	20	1	80	0,22
731.	20	1	80	0,2
732.	20	1	80	0,21
733.	14	1	80	0,2
734.	14	1	80	0,2
735.	14	1	80	0,2
736.	14	1	80	0,2
737.	14	1	80	0,2
738.	14	1	80	0,2
739.	10	1	80	0,18
740.	10	1	80	0,18
741.	10	1	80	0,18
742.	10	1	80	0,18
743.	10	1	80	0,18
744.	10	1	80	0,19
745.	7	1	80	0,2
746.	7	1	80	0,2
747.	7	1	80	0,19
748.	7	1	80	0,2
749.	7	1	80	0,19
750.	7	1	80	0,21
751.	5	1	80	0,18
752.	5	1	80	0,19
753.	5	1	80	0,19
754.	5	1	80	0,2
755.	5	1	80	0,2
756.	5	1	80	0,19
757.	28	2	80	0,23
758.	28	2	80	0,23
759.	28	2	80	0,22
760.	28	2	80	0,23
761.	28	2	80	0,22
762.	28	2	80	0,23
763.	20	2	80	0,2
764.	20	2	80	0,22

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
765.	20	2	80	0,21
766.	20	2	80	0,2
767.	20	2	80	0,21
768.	20	2	80	0,21
769.	14	2	80	0,15
770.	14	2	80	0,15
771.	14	2	80	0,16
772.	14	2	80	0,16
773.	14	2	80	0,16
774.	14	2	80	0,16
775.	10	2	80	0,18
776.	10	2	80	0,17
777.	10	2	80	0,17
778.	10	2	80	0,17
779.	10	2	80	0,17
780.	10	2	80	0,16
781.	7	2	80	0,16
782.	7	2	80	0,17
783.	7	2	80	0,16
784.	7	2	80	0,16
785.	7	2	80	0,16
786.	7	2	80	0,17
787.	5	2	80	0,16
788.	5	2	80	0,17
789.	5	2	80	0,17
790.	5	2	80	0,16
791.	5	2	80	0,16
792.	5	2	80	0,16
793.	28	3	80	0,2
794.	28	3	80	0,21
795.	28	3	80	0,22
796.	28	3	80	0,21
797.	28	3	80	0,22
798.	28	3	80	0,21
799.	20	3	80	0,17
800.	20	3	80	0,16
801.	20	3	80	0,17
802.	20	3	80	0,16
803.	20	3	80	0,17
804.	20	3	80	0,17
805.	14	3	80	0,15
806.	14	3	80	0,14
807.	14	3	80	0,14
808.	14	3	80	0,13
809.	14	3	80	0,15
810.	14	3	80	0,15

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
811.	10	3	80	0,14
812.	10	3	80	0,14
813.	10	3	80	0,13
814.	10	3	80	0,13
815.	10	3	80	0,13
816.	10	3	80	0,11
817.	7	3	80	0,1
818.	7	3	80	0,1
819.	7	3	80	0,1
820.	7	3	80	0,1
821.	7	3	80	0,1
822.	7	3	80	0,1
823.	5	3	80	0,09
824.	5	3	80	0,09
825.	5	3	80	0,08
826.	5	3	80	0,08
827.	5	3	80	0,08
828.	5	3	80	0,08
829.	28	4	80	0,2
830.	28	4	80	0,21
831.	28	4	80	0,2
832.	28	4	80	0,2
833.	28	4	80	0,2
834.	28	4	80	0,21
835.	20	4	80	0,18
836.	20	4	80	0,18
837.	20	4	80	0,19
838.	20	4	80	0,18
839.	20	4	80	0,18
840.	20	4	80	0,18
841.	14	4	80	0,11
842.	14	4	80	0,12
843.	14	4	80	0,11
844.	14	4	80	0,1
845.	14	4	80	0,1
846.	14	4	80	0,1
847.	10	4	80	0,11
848.	10	4	80	0,1
849.	10	4	80	0,1
850.	10	4	80	0,1
851.	10	4	80	0,1
852.	10	4	80	0,1
853.	7	4	80	0,1
854.	7	4	80	0,1
855.	7	4	80	0,1
856.	7	4	80	0,1

Продолжение приложения В

<i>№ п/п.</i>	<i>Зернистость пасты, F, мкм.</i>	<i>Продолжительность доводки. T, мин.</i>	<i>Усилие прижатия корпуса к притиру. P, Н.</i>	<i>Чистота (шероховатость). Ra, мкм.</i>
857.	7	4	80	0,1
858.	7	4	80	0,09
859.	5	4	80	0,09
860.	5	4	80	0,08
861.	5	4	80	0,08
862.	5	4	80	0,08
863.	5	4	80	0,08
864.	5	4	80	0,08
865.	28	5	80	0,21
866.	28	5	80	0,22
867.	28	5	80	0,22
868.	28	5	80	0,22
869.	28	5	80	0,21
870.	28	5	80	0,21
871.	20	5	80	0,18
872.	20	5	80	0,16
873.	20	5	80	0,18
874.	20	5	80	0,18
875.	20	5	80	0,19
876.	20	5	80	0,19
877.	14	5	80	0,12
878.	14	5	80	0,12
879.	14	5	80	0,13
880.	14	5	80	0,13
881.	14	5	80	0,12
882.	14	5	80	0,12
883.	10	5	80	0,11
884.	10	5	80	0,1
885.	10	5	80	0,1
886.	10	5	80	0,1
887.	10	5	80	0,1
888.	10	5	80	0,1
889.	7	5	80	0,12
890.	7	5	80	0,11
891.	7	5	80	0,12
892.	7	5	80	0,12
893.	7	5	80	0,11
894.	7	5	80	0,12
895.	5	5	80	0,1
896.	5	5	80	0,1
897.	5	5	80	0,09
898.	5	5	80	0,09
899.	5	5	80	0,09
900.	5	5	80	0,1

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**Таблица значений критерия Фишера (F критерия)**

	$f_1$										
$f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20

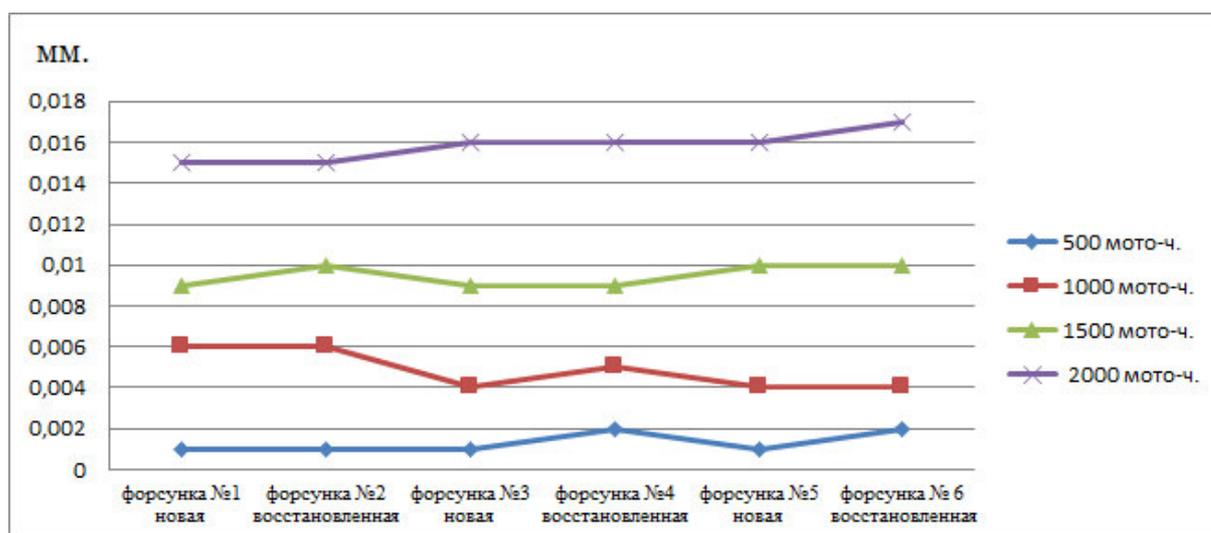


## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Результаты исследований интенсивности износа уплотнительных торцов корпусов форсунок в процессе эксплуатации в ООО «Красный родник», Северного района, Оренбургской области.

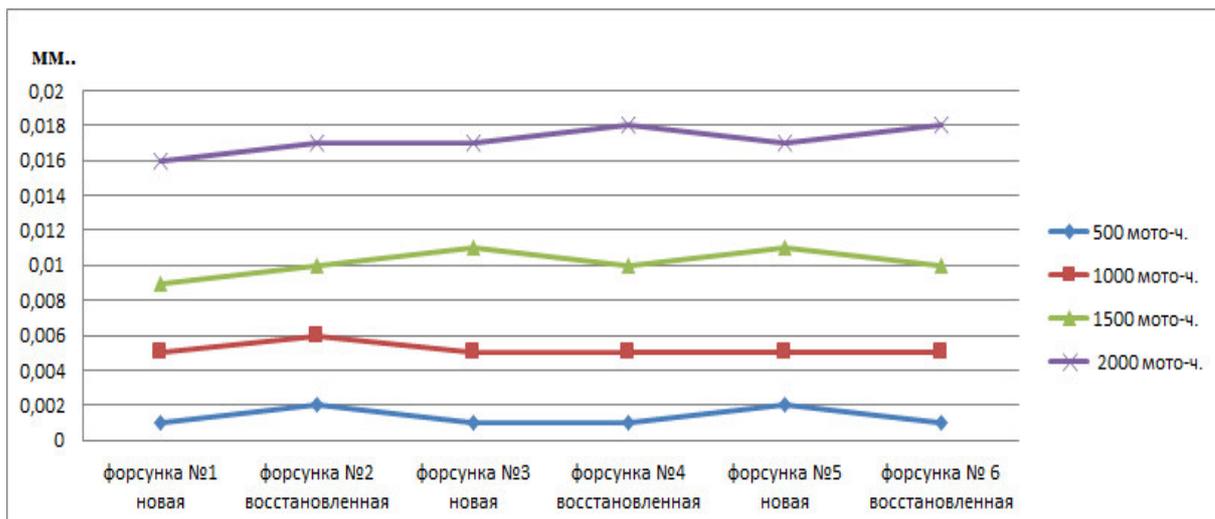
Трактор К 744 с двигателем ЯМЗ 238Н № 8852819

Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,005	0,009	0,016
форсунка №2 восстановленная	0,002	0,006	0,01	0,017
форсунка №3 новая	0,001	0,005	0,011	0,017
форсунка №4 восстановленная	0,001	0,005	0,01	0,018
форсунка №5 новая	0,002	0,005	0,011	0,017
форсунка № 6 восстановленная	0,001	0,005	0,01	0,018



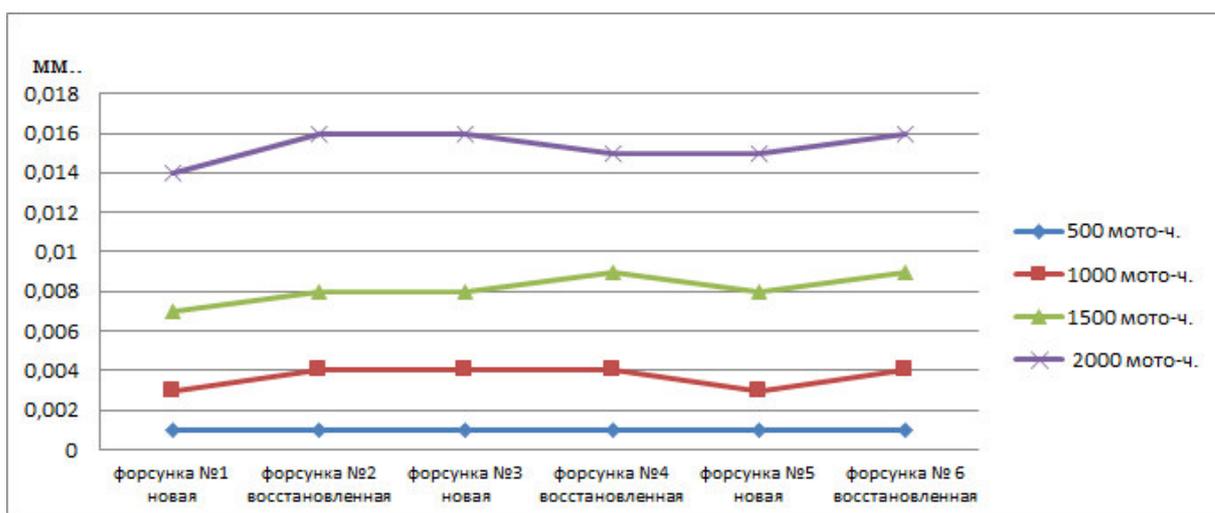
Трактор К 744 с двигателем ЯМЗ 238Н № 031668

Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,006	0,009	0,015
форсунка №2 восстановленная	0,001	0,006	0,01	0,015
форсунка №3 новая	0,001	0,004	0,009	0,016
форсунка №4 восстановленная	0,002	0,005	0,009	0,016
форсунка №5 новая	0,001	0,004	0,01	0,016
форсунка № 6 восстановленная	0,002	0,004	0,01	0,017



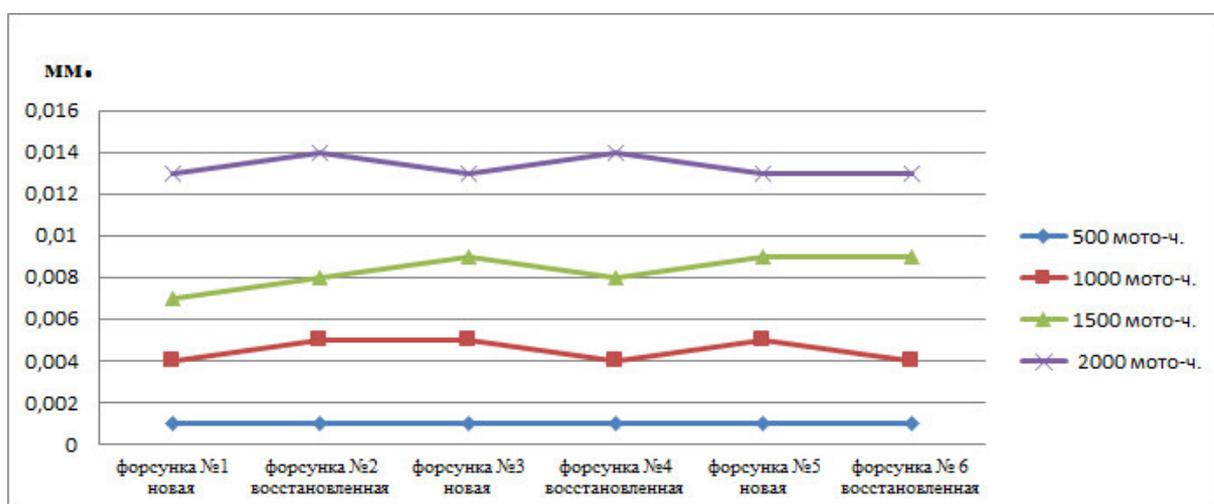
Трактор ХТЗ -17221 с двигателем ЯМЗ 236Н № А031668

Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,003	0,007	0,014
форсунка №2 восстановленная	0,001	0,004	0,008	0,016
форсунка №3 новая	0,001	0,004	0,008	0,016
форсунка №4 восстановленная	0,001	0,004	0,009	0,015
форсунка №5 новая	0,001	0,003	0,008	0,015
форсунка №6 восстановленная	0,001	0,004	0,009	0,016



Трактор ХТЗ -17221 с двигателем ЯМЗ 236Н № А0391925

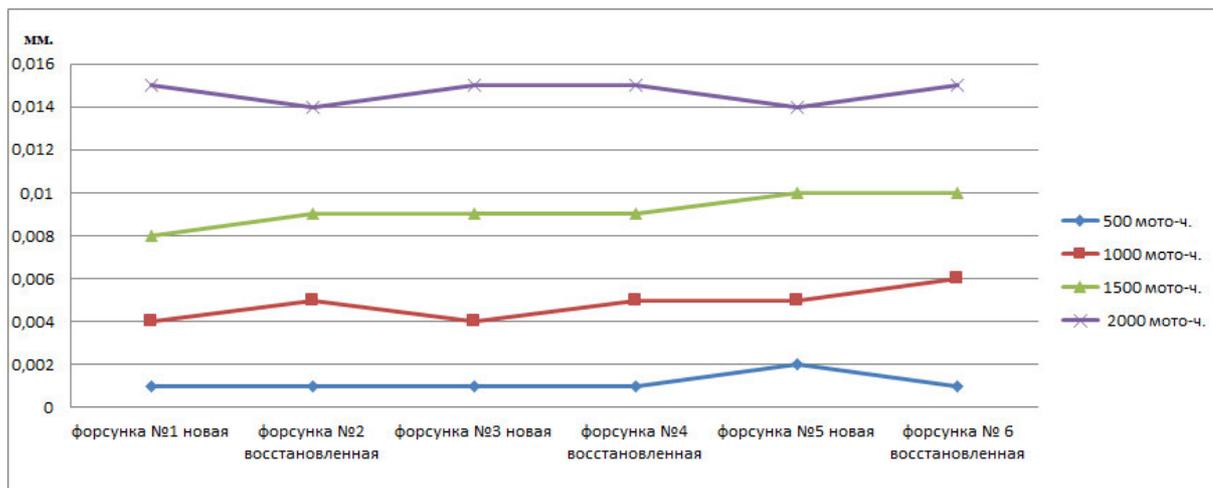
Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,003	0,007	0,014
форсунка №2 восстановленная	0,001	0,004	0,008	0,016
форсунка №3 новая	0,001	0,004	0,008	0,016
форсунка №4 восстановленная	0,001	0,004	0,009	0,015
форсунка №5 новая	0,001	0,003	0,008	0,015
форсунка № 6 восстановленная	0,001	0,004	0,009	0,016



Трактор МТЗ – 1221.2 с двигателем Д – 260 № 025029

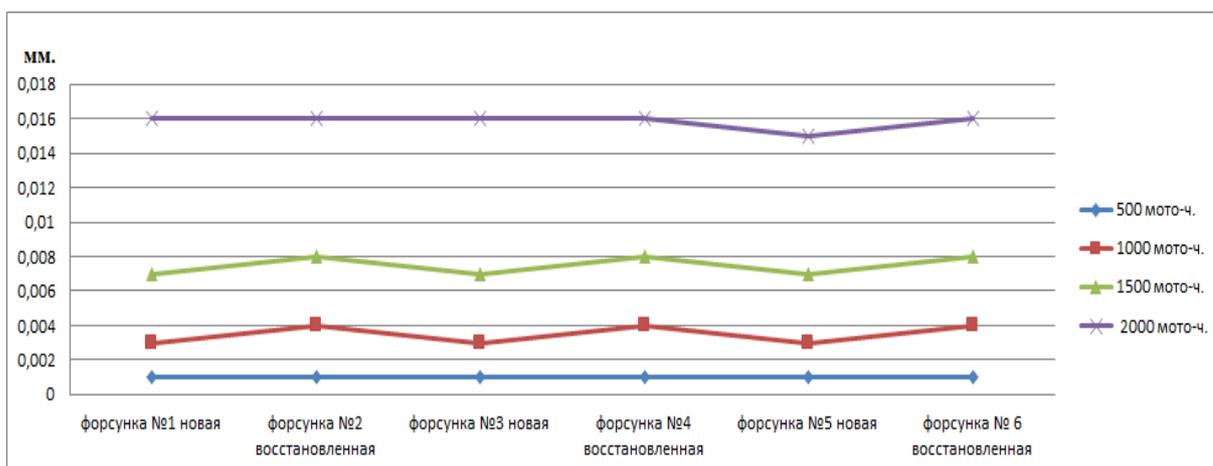
Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,004	0,008	0,015
форсунка №2 восстановленная	0,001	0,005	0,009	0,014
форсунка №3 новая	0,001	0,004	0,009	0,015
форсунка №4 восстановленная	0,001	0,005	0,009	0,015
форсунка №5 новая	0,002	0,005	0,01	0,014
форсунка № 6 восстановленная	0,001	0,006	0,01	0,015

Продолжение приложения Д



Трактор МТЗ – 1221.2 с двигателем Д – 260 № 029513

Испытуемые форсунки	Наработка в мото-ч.			
	500	1000	1500	2000
форсунка №1 новая	0,001	0,003	0,007	0,015
форсунка №2 восстановленная	0,001	0,003	0,009	0,014
форсунка №3 новая	0,001	0,004	0,009	0,015
форсунка №4 восстановленная	0,001	0,005	0,009	0,015
форсунка №5 новая	0,002	0,005	0,01	0,014
форсунка №6 восстановленная	0,001	0,006	0,01	0,015



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

УТВЕРЖДАЮ.  
Проректор университета по  
научной работе  
д.с-х.н., профессор Петрова Г.В.

«28 октября» 2015 г.



УТВЕРЖДАЮ.  
Директор ОАО «Южное РТП»  
Шейн А.В.

«28 октября» 2015 г.



### Акт внедрения научно-исследовательской работы

Приспособления для шлифования уплотнительного торца корпуса форсунки  
наименование работы

«28» октября 2015 г. Комиссия в составе: представителей предприятия:  
директора ОАО «Южное РТП» Шейна А.В., главного инженера Кривова С.А.  
должность, фамилия, имя, отчество

и представителей ФГБОУ ВО Оренбургского государственного аграрного  
университета профессора кафедры «Технический сервис» к.т.н., Чернышева  
В.П., профессора кафедры «Технический сервис» д.т.н. Шахова В.А.,  
аспиранта Затина И.М., заведующий лабораторией кафедры «Технический  
сервис» Подковырова А.А.,

составила настоящий акт о том, что в ОАО «Южное РТП» г. Оренбург  
наименование предприятия, хозяйства

внедрено Приспособление для шлифования уплотнительного торца корпуса  
форсунки, который позволит повысить качество обработки,  
наименование процесса, материала, машины и т.д.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы \_\_\_\_\_  
В 2015 году была разработана технологическая оснастка для механизации  
процесса шлифования при ремонте уплотнительного торца корпуса форсунки
2. Техничко-экономические показатели Применение приспособления для  
шлифования уплотнительного торца корпуса форсунки привело к  
обеспечению хорошего качества ремонта при незначительном съеме  
материала с торца форсунки и повышает почти 2,6 раза производительность  
труда.
3. Предложения о дальнейшем внедрении работы и др. замечания: Для более  
широкого внедрения механизации процесса ремонта уплотнительного торца  
корпуса форсунки, можно рекомендовать разработку сотрудников ОГАУ к  
применению в ремонтных предприятиях, занимающихся ремонтом  
топливной аппаратуры дизельных двигателей.

Представители ФГБОУ ВО ОГАУ

\_\_\_\_\_/В.П. Чернышев/  
\_\_\_\_\_/В.А. Шахов/  
\_\_\_\_\_/И.М. Затин /  
\_\_\_\_\_/А.А. Подковыров /

Представители ОАО «Южное РТП»

\_\_\_\_\_/А.В. Шейн/  
\_\_\_\_\_/Кривов С.А./





## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УТВЕРЖДАЮ.  
Проректор университета по  
научной работе  
д. с.-х. н., профессор Петрова Г.В.

«28» октября 2015 г.



УТВЕРЖДАЮ.  
Директор ОАО «Южное РТП»  
Шейн А.В.

2015 г.



### Акт внедрения научно-исследовательской работы

Установка для доводки (притирки) уплотнительного торца корпуса форсунки  
наименование работы

«28» октября 2015 г. Комиссия в составе: представителей предприятия:  
директора ОАО «Южное РТП» Шейна А.В., главного инженера Кривова С.А.  
должность, фамилия, имя, отчество

и представителей ФГБОУ ВО Оренбургского государственного аграрного  
университета профессора кафедры «Технический сервис» к.т.н., Чернышева  
В.П., профессора кафедры «Технический сервис» д.т.н. Шахова В.А.,  
аспиранта Затина И.М., заведующий лабораторией кафедры «Технический  
сервис» Подковырова А.А.,

составила настоящий акт о том, что в ОАО «Южное РТП» г. Оренбург  
наименование предприятия, хозяйства

внедрена Установка для доводки (притирки) уплотнительного торца корпуса  
форсунки, которая позволит повысить качество обработки.  
наименование процесса, материала, машины и т.д.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы В 2015 году была  
разработана установка для механизации процесса доводки (притирки) при  
ремонте уплотнительного торца корпуса форсунки дизельных двигателей.  
Установка выполнена на базе плоскополировального станка модели ЗЕ81.

2. Технико-экономические показатели Применение установки для доводки  
(притирки) уплотнительного торца корпуса форсунки привело к повышению  
производительности труда в 4 раза при доводке торца на чугунной плите.

3. Предложения о дальнейшем внедрении работы и др. замечания: Для более широкого  
внедрения механизации процесса ремонта уплотнительного торца корпуса  
форсунки, можно рекомендовать разработку сотрудников ОГАУ к  
применению в ремонтных предприятиях, занимающихся ремонтом  
топливной аппаратуры дизельных двигателей.

Представители ФГБОУ ВО ОГАУ

\_\_\_\_\_/В.П. Чернышев/  
\_\_\_\_\_/В.А. Шахов/  
\_\_\_\_\_/И.М. Затин /  
\_\_\_\_\_/А.А. Подковыров /

Представители ОАО «Южное РТП»

\_\_\_\_\_/А.В. Шейн/  
\_\_\_\_\_/Кривов С.А./







ПРИЛОЖЕНИЕ К

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 169926

**ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ И ПРИТИРКИ  
УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ТОРЦОВ КОРПУСОВ ФОРСУНОК**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Затин Ильдар Мирфаизович (RU), Чернышев Виктор Павлович (RU), Подковыров Алексей Алексеевич (RU), Шахов Владимир Александрович (RU)*

Заявка № 2015151508

Приоритет полезной модели 01 декабря 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 06 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 01 декабря 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



## ПРИЛОЖЕНИЕ М

Федеральная служба по интеллектуальной  
собственности  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение  
«Федеральный институт  
промышленной собственности»  
(ФИПС)  
Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993  
Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № 21/3679 от 23.12.2016  
(21) Наш № 2016142999/02(068806)  
При переписке просим ссылаться на номер заявки и  
сообщить дату получения данной корреспонденции  
от 13.01.2017

*Чернышев* Форма № 91 ПМ-2015  
911,371

ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, отдел патентных  
исследований  
ул. Челюскинцев, 18  
г. Оренбург  
460014

### УВЕДОМЛЕНИЕ о положительном результате формальной экспертизы заявки на полезную модель

- (21) Заявка № 2016142999/02(068806)
- (22) Дата подачи заявки 31.10.2016
- (85) Дата начала рассмотрения международной заявки (РСТ) на национальной фазе
- (71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Оренбургский  
государственный аграрный университет", RU
- (54) Название полезной модели ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ДОВОДКИ  
УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ТОРЦОВ КОРПУСОВ ФОРСУНОК

По результатам формальной экспертизы заявитель уведомляется о том, что формальная экспертиза заявки на полезную модель, проведенная в соответствии с п. 1 и п. 3 ст. 1390 Кодекса\*, завершена с положительным результатом.

Экспертиза заявки по существу, предусмотренная п. 1 ст. 1390 Кодекса\*, будет начата в первый рабочий день, следующий за днем направления настоящего уведомления.

(см. на обороте)

01	ДПМ 09.01.2017 ППД 09.01.2017	200136
----	----------------------------------	--------

