

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет
Институт механизации и технического сервиса

Специальность 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»
Специализация «Автомобили и тракторы»

Кафедра «Тракторы, автомобили и энергетические установки»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
на соискание квалификации (степени) «специалист»

Тема: «Проектирование трактора тягового класса 1,4 с разработкой системы топливopитания»

Шифр ВКР.23.05.01.408.20.СП.00.00.00.ПЗ

Студент

C262-12y

Гильманов

подпись

Гильманов Б.Р.

Ф.И.О.

Руководитель

доцент

Усенков

подпись

Усенков Р.А

Ф.И.О.

ученое звание

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол №7 от 6.02.2020 г.)

Зав. кафедрой

д.т.н., профессор

Хафизов

подпись

Хафизов К.А

Ф.И.О.

ученое звание

Казань – 2020 г.

АННОТАЦИЯ

На выпускную квалификационную работу Гильманова Б.Р., выполнившего выпускную квалификационную работу на тему: **«Проектирование трактора тягового класса 1,4 с разработкой системы топливopитания»**.

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку на ____ листах машинописного текста, включающая ____ таблиц, ____ рисунков. Библиографический список содержит ____ наименований. Графическая часть ВКР выполнена на ____ листах формата А1.

В первом разделе дан анализ состояния вопроса, приведены сведения об общем состоянии тракторного парка АПК республики Татарстан, а также о его возрастном составе.

Во втором разделе проведен анализ существующих конструкций, рассмотрены перспективные схемы и предложена проектируемая конструкция.

В третьем разделе произведены необходимые конструктивные расчеты размеров деталей, а также проведен расчет на прочность.

В четвертом разделе производится расчет характеристик двигателя и самого трактора.

В пятом разделе проработаны вопросы технологии изготовления детали, определены режимные параметры.

В шестом разделе дан общий обзор состояния охраны труда, рассмотрены правила по технике безопасности.

В седьмом разделе приводится оценка влияния на окружающую среду, а также разработаны мероприятия по защите окружающей среды.

В восьмом разделе дано экономическое обоснование конструкции. Подсчитан экономический эффект от внедрения конструкции и рассчитан срок окупаемости.

Пояснительная записка завершается выводами и списком литературы.

ANNOTATION

For the final qualifying work of the Bulat R. Gilmanov we performed the final qualifying work is called «Design of a tractor of traction class 1.4 with the development of a fuel supply system ».

The note consists of introduction, __ sections, conclusions and includes __ figures and __ tables and applications. The list of used literature includes __ items.

The first section gives an analysis of the status of the issue, provides information about the general condition of the tractor fleet of the agro-industrial complex of the Republic of Tatarstan, as well as its age composition.

In the second section, an analysis of existing structures is carried out, promising schemes are considered, and a design is proposed.

In the third section, the necessary structural calculations of the dimensions of the parts are made, as well as the strength calculation.

In the fourth section, the characteristics of the engine and the tractor itself are calculated.

In the fifth section, questions of the manufacturing technology of the part are worked out, mode parameters are determined.

In the sixth section, a general overview of the state of labor protection is given, safety rules are considered.

The seventh section provides an assessment of the environmental impact, as well as measures to protect the environment.

The eighth section provides an economic justification for the design. The economic effect of the implementation of the design is calculated and the payback period is calculated.

The note concludes with general conclusions.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	9
1.1 Анализ состояния тракторного парка АПК	9
2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	17
2.1 Конструктивный обзор.....	17
2.2 Схема устройства системы питания дизельного ДВС.....	18
2.3 Система питания турбодизеля.....	21
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	23
3.1 Устройство и конструкция.....	23
3.2 Установка и привод.....	26
3.3 Принцип работы.....	27
3.4 Электромагнитный клапан высокого давления.....	32
3.5 Устройство и конструкция электромагнитного клапана.....	34
3.6 Принцип работы клапана.....	35
3.7 Схема топливного контура.....	36
3.8 Расчет элементов топливоподачи.....	38
4 РАСЧЕТ ТРАКТОРА.....	42
4.1 Тракторы тягового класса 1.4.....	42
4.2 Тепловой расчет двигателя трактора	43
4.3 Расчет потенциальной характеристики трактора	53
4.4 Силовой баланс автомобиля.....	54
4.5 Динамическая характеристика автомобиля.....	57
5 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ	59
5.1 Исходная информация для разработки	60
5.2 Анализ исходной информации.....	61
5.3 Служебное назначение детали.....	62
5.4 Обоснование выбора заготовки.....	65

5.4.1 Выбор общих припусков и расчет размеров заготовки с допусками.....	67
5.4.2 Определение коэффициента использования материала.....	70
5.5 Разработка технологического процесса изготовления детали.....	74
5.5.1 Выбор технологических баз.....	74
5.5.2 Выбор вида и последовательности обработки отдельных поверхностей...	75
5.5.3 Разработка технологического маршрута обработки.....	76
5.5.4 Выбор технологического оборудования.....	79
5.5.5 Разработка технологических операций.....	80
5.5.6 Размерный анализ технологических процессов.....	81
5.5.7 Расчет припусков на механическую обработку.....	82
5.5.8 Расчет режимов резания.....	87
6 РАЗРАБОТКА ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ.....	98
6.1 Токсичность дизельных двигателей.....	98
6.2 Мероприятия по снижению токсичности отработавших газов.....	101
6.3 Испытания двигателей на токсичность.....	103
6.4 Физическая культура на производстве.....	105
7 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ОКРУ- ЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	107
8 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВКР.....	110
8.1 Экономическое обоснование технологии применения конструкции.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	120
ПРИЛОЖЕНИЯ	
СПЕЦИФИКАЦИИ	

ВВЕДЕНИЕ

Современные топливные системы дизелей по способу управления топливоподачей подразделяются, так же как и системы бензиновых двигателей, на два типа: с механическими и электронными устройствами и приборами управления.

В настоящее время двигателестроительные фирмы используют самые различные системы топливоподачи для оснащения дизелей. Сегодня идет поиск новых конструктивных решений при создании автомобильных и тракторных двигателей, в том числе дизелей, позволяющих в большой степени использовать новые средства управления и контроля. В этой связи следует учитывать, что с расширением применения электромагнитных форсунок и электронных систем управления может увеличиваться оснащение дизелей аккумуляторными системами топливоподачи. Эти системы, имеющие постоянное давление топлива, наиболее приспособлены к циклической подаче топлива по сигналам электронных управляющих импульсов различной длительности.

Насос форсунки обеспечивают впрыск в цилиндры двигателя точно отмеренного количества топлива с требуемым давлением впрыска и в точно установленный момент времени, рассчитываемый ЭБУ. Такая точность должна поддерживаться на всех рабочих режимах и в течение всего срока службы двигателя. Насос-форсунки все больше вытесняют топливные системы с обычными форсунками. Насос-форсунки обеспечивают исключительно высокое давление впрыска топлива, что дает положительный эффект протекания характеристик впрыска.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Анализ состояния тракторного парка АПК

Тракторы являются основой машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий. Тракторы в агрегатах с сельскохозяйственными машинами осуществляют основные земледельческие работы, а также выполняют транспортные работы по перевозке сельскохозяйственных и строительных грузов на предприятиях агропромышленного комплекса (АПК). Поэтому количественная оценка тракторного парка, его структуры и возрастного состава является важным показателем, характеризующим возможность сельскохозяйственных производителей качественно и в срок выполнять основные работы и в конечном итоге влияющим на рентабельность сельскохозяйственного производства в целом.

В целом по Российской Федерации существует проблема значительной нехватки тракторов и износа существующей техники. Не всегда новая техника соответствует технико-эксплуатационным требованиям, установленным государственными стандартами. Эта проблема особенно ярко выражена в последнее время, когда Россия принимает стандарты Таможенного союза, которые, как правило, являются более жесткими, чем большинство применяемых в России до сих пор, особенно в части экологического контроля за техникой. Впрочем, такая же проблема существует и в сельском хозяйстве Казахстана и Беларуси, также переходящих постепенно на новые стандарты. После проведения испытаний в машиноиспытательных станциях, находящиеся под ведомством Министерства сельского хозяйства России, было выявлено несоответствии техническим условиям по эксплуатационным характеристикам более 50% представленной техники, а у сельскохозяйственных производителей, органов управления АПК, изготовителей и поставщиков машин и оборудования зачастую нет сравнительной информации эффективности сельскохозяйственной техники и обо-

рудования и их функциональных характеристиках (потребительских свойствах) для конкретных условий эксплуатации. В то же время, в последние годы заметна тенденция снижения общего количества тракторов, а имеющаяся техника зачастую используется за пределами сроков амортизации. По статистике доля техники в возрасте старше 10 лет больше всего приходится на трактора, что составляют более 60%, зерноуборочные комбайны составляют до 50%, кормоуборочные – 45%. Из чего следует, что половина всей сельхозтехники устаревшая техника, требующая больших затрат на ТО и ремонт.

Рассмотрим ситуацию по сельскохозяйственным тракторам в Российской Федерации. РФ уступает ведущим сельскохозяйственным странам по уровню механизации сельского хозяйства. Так если в Германии на 100 га посевных площадей мощность тракторных двигателей составляет 397 л.с., в Дании – 293, во Франции – 273, в США – 156, в Великобритании – 148, то в России всего лишь 56 л.с. Также отмечается что парк сельскохозяйственной техники России изношен более чем на 70%. Возрастной состав тракторов по РФ представлен на рисунке 1.1

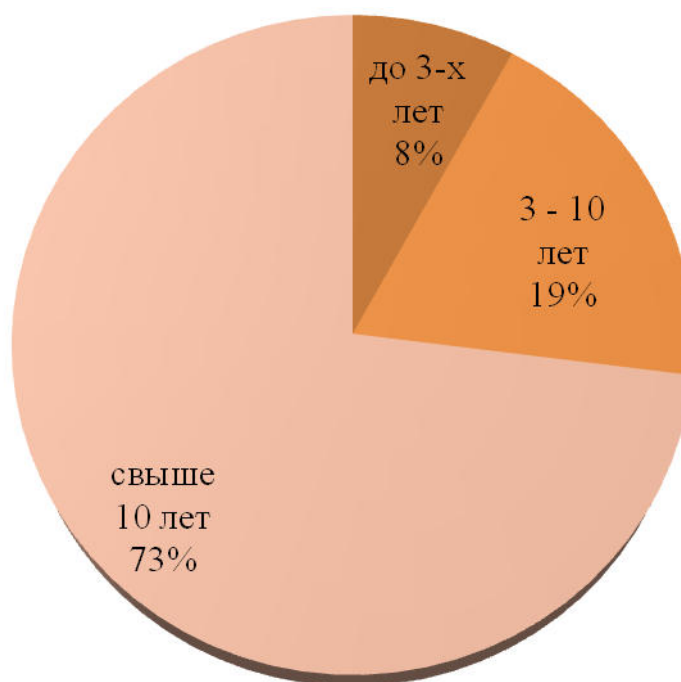


Рисунок 1.1 – Возрастной состав тракторов по РФ

Согласно данным, представленной Федеральной службой государственной статистики идет уменьшение количества тракторов. На рисунке 1.2 показана оснащенность парка тракторами сельскохозяйственных организаций с 2010 по 2015 годы.

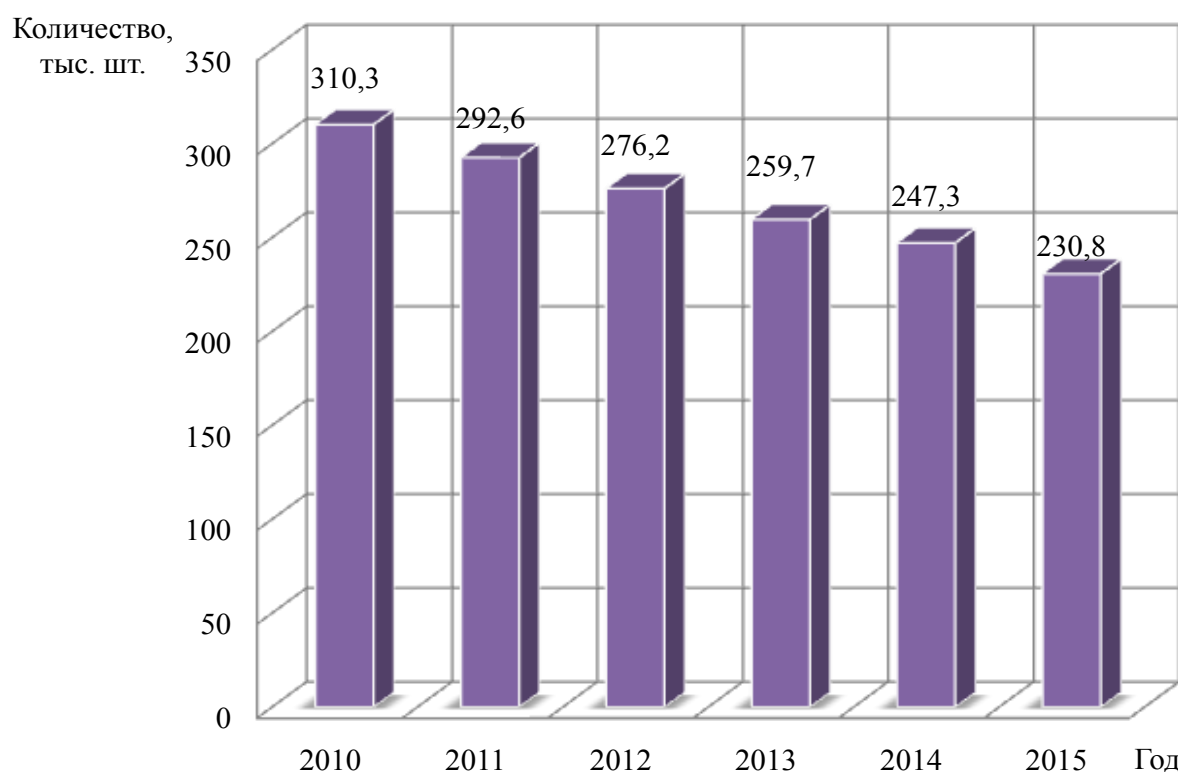


Рисунок 1.2 – Общее количество тракторов по РФ

По сведениям MILKNEWS.RU, рынок российских тракторов за первые 6 месяцев 2016 года сократился на 27% по сравнению с аналогичным периодом 2015 года. За первые полгода 2016 года в России было продано 11 тыс. тракторов, из которых отечественных – только 1,3 тыс. При этом, объем продаж российских сельскохозяйственных тракторов вырос на 6,7%, их доля увеличилась до 11,5% с 7,8%. Доля тракторов иностранных марок снизилась на 3,5% до 21,7%, их продажи упали на 37,4% до 2,4 тыс. единиц. Импорт б/у тракторов упал на 47,3%, в общем объеме рынка их доля уменьшилась на 3,1% до 8,3%. Объем продаж новых тракторов импортного происхождения, в том числе из Беларуси и Казахстана, сократился на 37,5% до 6,6 тыс. единиц. Реали-

зация иностранных тракторов российской сборки, за исключением МТЗ, сократилась на 11,7%. МТЗ российской сборки выросли в продажах на 65,3% до 1,7 тыс. единиц.

По данным источников всего российскими предприятиями в 2013 году было выпущено 7897 тракторов сельскохозяйственного назначения, из них 3027 трактора МТЗ – Беларусь, выпущенный ОАО «ПО «Елабужский автомобильный завод» в Республике Татарстан, что составляет 38,33% доли рынка. Трактора МТЗ – Беларусь выпускаются также в Смоленской области с долей на рынке 2,79%, Оренбургской – 2,24%, Брянской – 2,22%, Алтайской – 2%, Тульской – 1,95%, Волгоградской – 1,71%, Амурской – 0,37%, Саратовской – 0,14%, Пензенской – 0,11% областях. Доля выпускаемых тракторов в РФ на 2013 показана на рисунке 1.3.

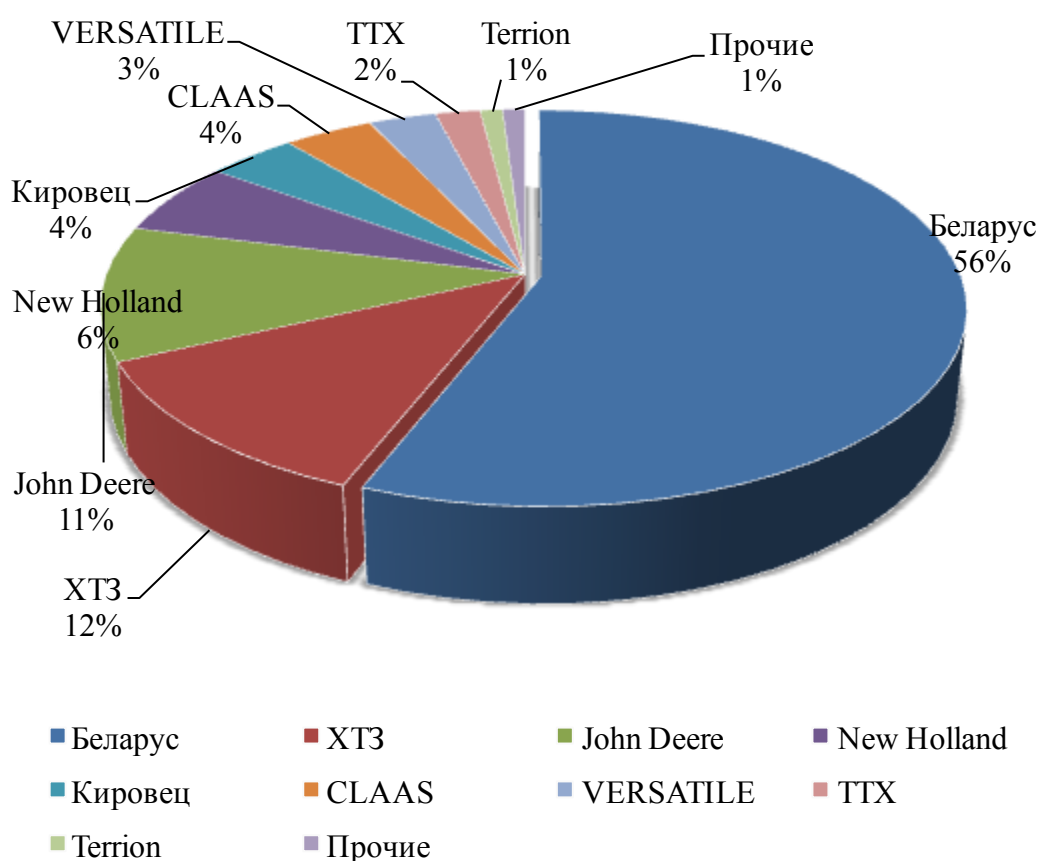


Рисунок 1.3 – Производство тракторов сельскохозяйственного назначения за 2013 год по РФ

Республика Татарстан является важным сельскохозяйственным производителем на территории России, поэтому роль тракторного парка здесь достаточно велика. Рассмотрим ситуацию по сельскохозяйственным тракторам в республике Татарстан. Здесь и далее приводятся данные в соответствии с отчетами Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан (МСХиП РТ) с 2011 по 2014 годы. Возрастной состав техники представлен на рисунке 1.4.

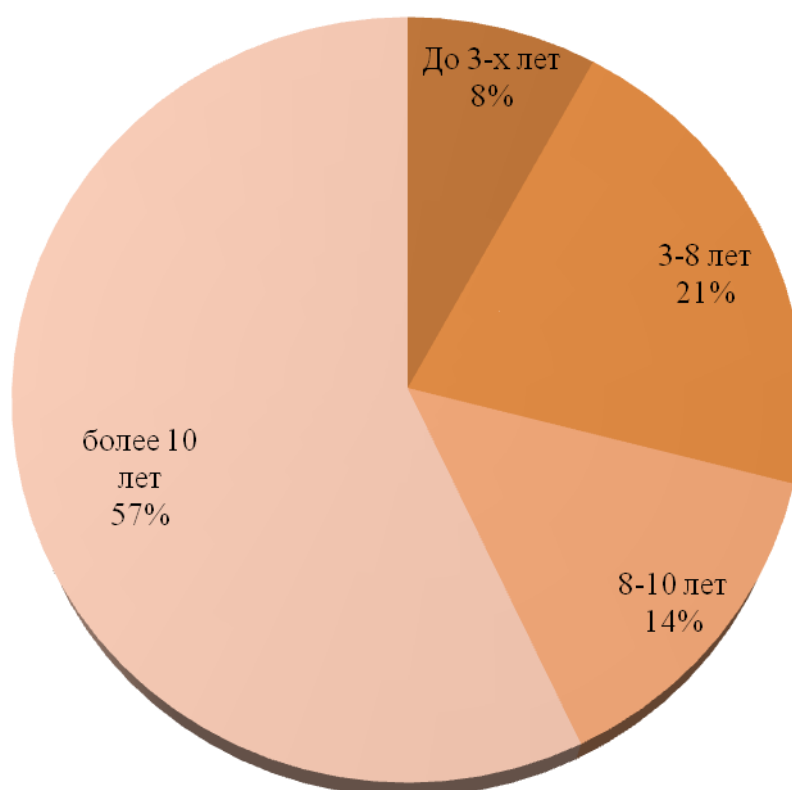


Рисунок 1.4 – Возрастной состав тракторов по РТ (2014)

Очевидно, что в Республике Татарстан возрастная структура тракторов примерно соответствует среднероссийскому уровню. Устаревшие тракторы необходимо заменять на новые. Однако парк тракторов не увеличивается. Данные по количеству тракторов в республике представлены в виде графика на рисунке 1.5. Как видно из рисунка, количество тракторов в целом в последние годы снижается. По данным МСХиП РТ, с 2011 года по 2014 общее количество тракторов снизилось с 16730 единиц до 14321 единицы. Такая тенденция, с одной

стороны, является негативной, с другой стороны, ее можно объяснить переходом республиканского сельского хозяйства на новые технологии, связанные с минимальной обработкой почвы и, как следствие, снижением энергетических затрат на возделывание земли, что позволяет отказаться от использования части техники. Кроме того, идет замещение старой маломощной техники на новые, импортные энергонасыщенные машины, способные эффективнее выполнять сельскохозяйственные работы.

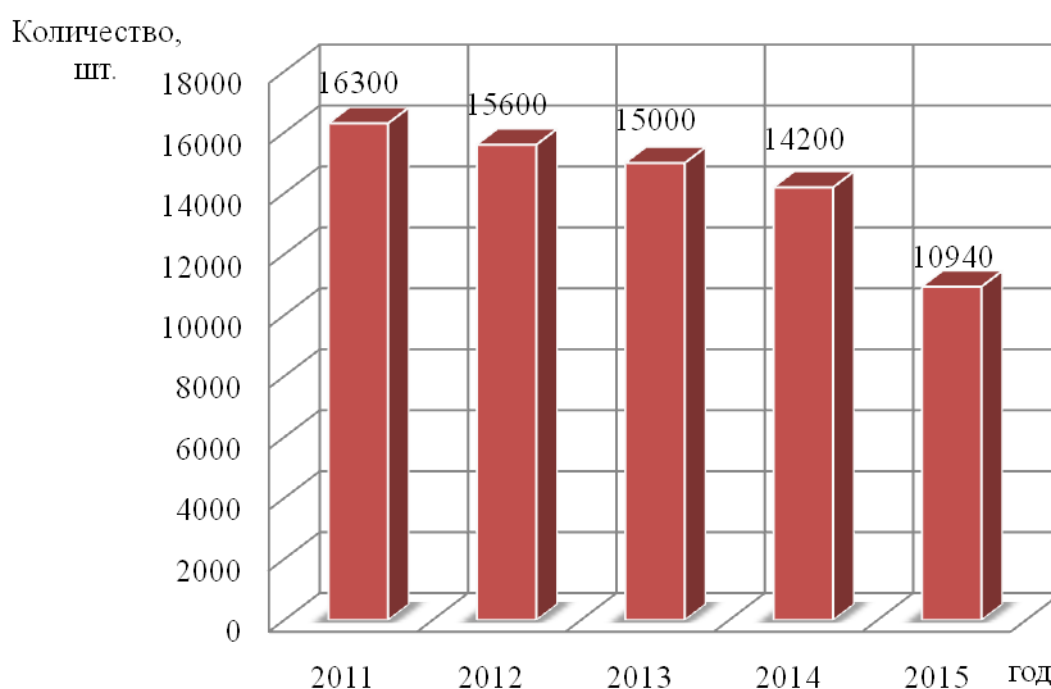


Рисунок 1.5 – Общее количество тракторов по Республике Татарстан

При этом наибольшим спросом в сельском хозяйстве обладают тракторы марок МТЗ-80/82. Согласно данным МСХиП РТ за 2014 г. в Республике Татарстан числилось около 5625 тракторов МТЗ-80/82, которые оснащены двигателями Д-240 и Д-243, которые составляют 39,3% тракторного парка РТ. Как отмечается на полях площадью до 20...25 га для выполнения пахотных работ наибольшей эффективностью обладают агрегаты на базе трактора МТЗ-82, где критерием эффективности показателя используются часовые эксплуатационные затраты агрегата.

Марочный состав тракторного парка по России весьма различен. Так, например, тракторы МТЗ-80/82 по районам одной только Тверской области со-

ставляют до 46,5% при средней насыщенности парков хозяйств этими тракторами на 13%, а по Костромской области доля тракторов МТЗ-80/82 составляет в целом 56% .

Согласно в 2012 в России произведено 14582 тракторов, 10388 из которых производились по лицензии МТЗ. Отмечают, что российский рынок в сегменте тракторов тягового класса 1,4 на 99,1% состоит из тракторов МТЗ. Структура тракторного парка по РТ показана на рисунке 1.6.

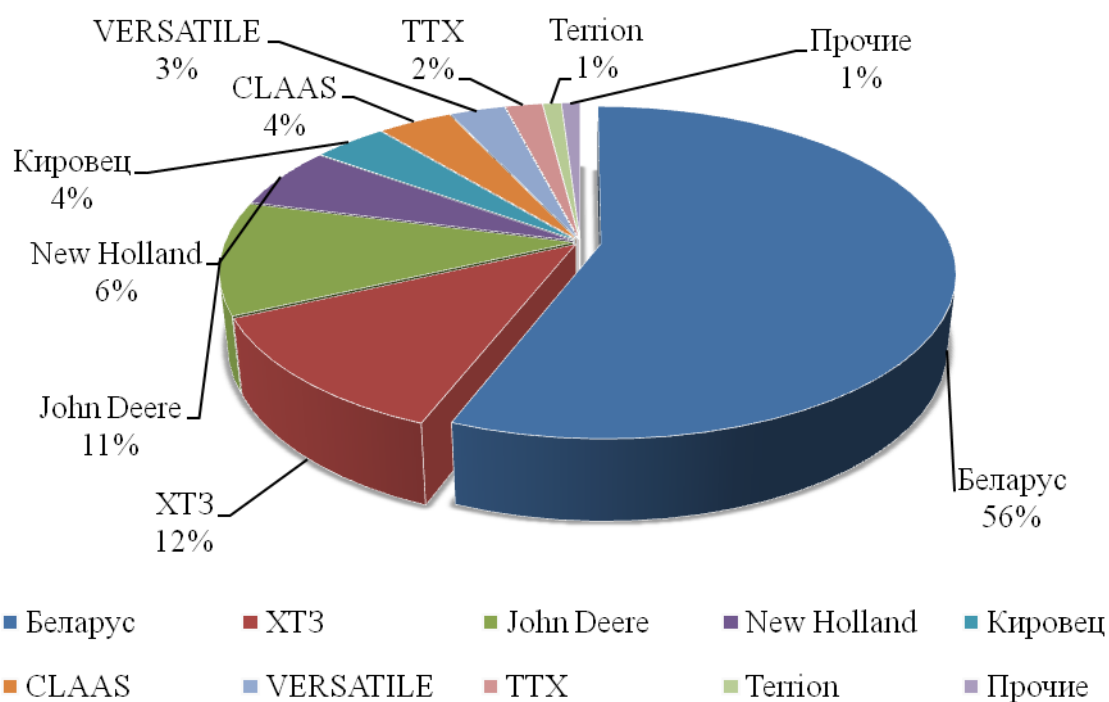


Рисунок 1.6 – Структура тракторного парка по РТ на 2014 г.

В то же время, несмотря на востребованность и эффективность этих тракторов в сельском хозяйстве, возрастной состав их также является в основном устаревшим. В таблице 1.1 приведены данные по тракторам МТЗ-80 и МТЗ-82 для Республики Татарстан.

Таблица 1.1 – Возрастной состав тракторов МТЗ-80/82 по РТ

МТЗ-80					МТЗ-82				
Наличие	в том числе:				Наличие	в том числе:			
всего, шт	до 3 лет	от 3 до 8 лет	от 8 до 10 лет	более 10 лет	всего, шт	до 3 лет	от 3 до 8 лет	от 8 до 10 лет	более 10 лет
2258	14	86	154	2004	3367	499	844	519	1505
в % от общей доли	1	4	7	89	в % от общей доли	15	25	15	45

2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1 Конструктивный обзор

Система питания современного дизельного ДВС представляет собой целый комплекс устройств. Основной задачей становится не просто подача топлива к инжекторным форсункам, а еще и подача горючего под высоким давлением. Давление необходимо для высокоточного дозированного впрыска в камеру сгорания цилиндра. Система питания дизеля выполняет следующие важнейшие функции:

дозирование строго определенного количества топлива с учетом нагрузки на двигатель в том или ином режиме его работы;

эффективный впрыск топлива в заданный промежуток времени с определенной интенсивностью;

распыление и максимально равномерное распределение горючего по объему камеры сгорания в цилиндрах дизельного ДВС;

предварительная фильтрация топлива перед подачей горючего в насосы системы питания и инжекторные форсунки.

Большинство требований к системе питания дизельного мотора выдвигается с учетом того, что дизельное топливо имеет ряд специфических особенностей. Горючее такого рода представляет собой смесь керосиновых и газойлевых соляровых фракций. Дизельное топливо получают после того, как из нефти реализуется отгон бензина.

Дизельное топливо обладает целым рядом свойств, главным из которых принято считать показатель самовоспламеняемости, который оценивается цетановым числом. Представленные в продаже виды дизельного топлива имеют цетановое число на отметке 45–50. Для современных дизельных агрегатов наилучшим топливом является горючее с большим показателем цетанового числа.

Система питания дизельного ДВС обеспечивает подачу хорошо очищенного дизельного топлива к цилиндрам, ТНВД сжимает горючее до высокого давления, а форсунка подает его в распыленном на мельчайшие частицы виде в камеру сгорания. Распыленное дизельное топливо смешивает с горячим (700–900 °С) воздухом, который нагревается до такой температуры от высокого сжатия в цилиндрах (3–5 МПа) и самовоспламеняется.

Дизельное топливо имеет еще и более высокую плотность сравнительно с бензином, а также обладает лучшей смазывающей способностью. Не менее важной характеристикой выступает вязкость, температура застывания и чистота дизельного топлива. Температура застывания позволяет делить топливо на три базовых сорта горючего: летнее дизельное топливо, зимний дизель и арктическое дизельное топливо.

2.2 Схема устройства системы питания дизельного ДВС

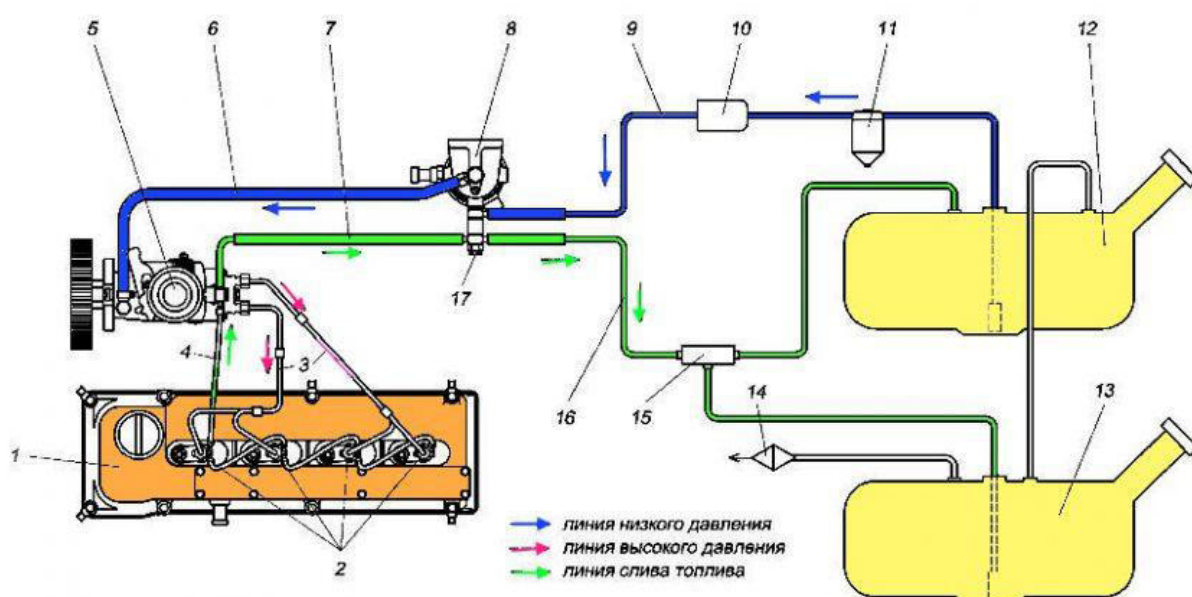


Схема системы питания дизельного двигателя 3МЗ-5143.10 на автомобилях УАЗ с электрическим топливным насосом:
 1 – двигатель; 2 – форсунки; 3 – топливопроводы высокого давления двигателя; 4 – шланг отвода отсечного топлива от форсунок к ТНВД;
 5 – ТНВД; 6 – шланг подвода топлива от ФТОТ к ТНВД; 7 – шланг слива топлива от ТНВД к штуцеру ФТОТ; 8 – ФТОТ; 9 – топливопровод забора топлива от баков; 10 – топливный электронасос; 11 – фильтр грубой очистки топлива; 12 – правый топливный бак; 13 – левый топливный бак; 14 – клапан топливного бака; 15 – струйный насос; 16 – топливопровод слива топлива в баки; 17 – перепускной клапан

Рисунок 2.1- Система питания дизельного двигателя

Система питания дизельного двигателя состоит из: топливный бак (1); фильтр грубой очистки диз.топлива (2); фильтры тонкой очистки топлива (3); топливopодкачивающий насос (4); топливный насос высокого давления (5); инжекторные форсунки (6); трубопровод низкого давления (7); магистраль высокого давления (8); воздушный фильтр (9).

Дополнительными элементами частично становятся электронасосы, выпуск отработанных газов, сажевые фильтры, глушители и т.д. Систему питания дизельных ДВС принято делить на две группы топливной аппаратуры:

- дизельная аппаратура для повода топлива (топливopодводящая);
- дизельная аппаратура для подвода воздуха (воздухopодводящая);

Топливopодводящая аппаратура может иметь различное устройство, но сегодня наиболее распространена система разделенного типа. В такой системе топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунки реализованы в виде отдельных устройств. Топливо подается в дизельный двигатель по магистралям высокого и низкого давления.

Дизельное топливо хранится, фильтруется и подается к ТНВД под невысоким давлением посредством магистрали низкого давления. В магистрали высокого давления ТНВД поднимает давление в системе для осуществления подачи и впрыска строго определенного количества топлива в рабочую камеру сгорания дизельного двигателя в заданный момент.

В системе питания дизеля присутствуют сразу два насоса:

- топливopодкачивающий насос;
- топливный насос высокого давления;

Топливopодкачивающий насос обеспечивает подачу топлива из топливного бака, прокачивает горючее через фильтр грубой и тонкой очистки. Давление, которое создает топливopодкачивающий насос, позволяет осуществить по-

дачу топлива по топливопроводу низкого давления к топливному насосу высокого давления.

ТНВД реализует подачу топлива к форсункам под высоким давлением. Подача происходит в соответствии с порядком работы цилиндров дизельного мотора. Топливный насос высокого давления имеет определенное количество одинаковых секций. Каждая из таких секций ТНВД соответствует определенному цилиндру дизельного двигателя.

Существует также система питания дизельных двигателей неразделенного типа и применяется на дизельных двухтактных двигателях. В такой системе топливный насос высокого давления и форсунка объединены в одном устройстве под названием насос-форсунка.

Данные моторы работают жестко и шумно, имеют небольшой срок службы. В конструкции их системы питания отсутствуют топливопроводы магистрали высокого давления. Указанный тип ДВС не имеет большого распространения.

Вернемся к массовой конструкции дизельного мотора. Дизельные форсунки располагаются в головке блока цилиндров (ГБЦ) дизельного двигателя. Основной их задачей становится точное распыление горючего в камере сгорания двигателя. Топливоподкачивающий насос подает к ТНВД большое количество топлива. Получившиеся избытки горючего и проникающий в систему топливоподдачи воздух возвращаются в топливный бак по специальным трубопроводам, которые называются дренажными.

Инжекторные дизельные форсунки бывают двух видов:

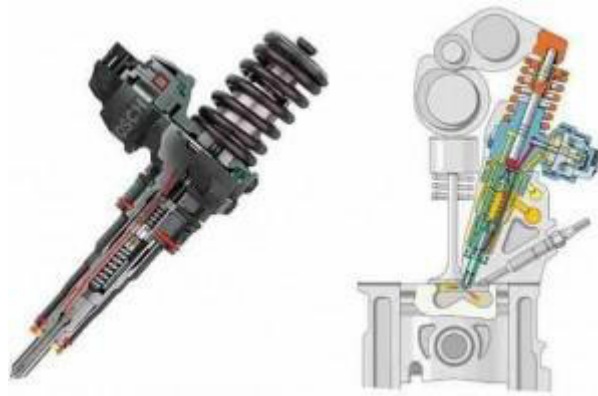


Рисунок 2.2 – Дизельные форсунки

- дизельная форсунка закрытого типа;
- дизельная форсунка открытого типа;

Четырехтактные дизельные моторы преимущественно получают форсунки закрытого типа. В таких устройствах сопла форсунки, которые представляют собой отверстие, закрываются особой запорной иглой.

Получается, что внутренняя полость, расположенная внутри корпуса распылителей форсунок, сообщается с камерой сгорания только во время открытия форсунки и в момент впрыска дизельного топлива.

Ключевым элементом в конструкции форсунки выступает распылитель. Распылитель получает от одного до целой группы сопловых отверстий. Именно эти отверстия и образуют факел топлива в момент впрыска. От их количества и расположения зависит форма факела, а также пропускная способность форсунки.

2.3 Система питания турбодизеля

Система турбонаддува активно применяется для эффективного повышения мощности как бензинового, так и дизельного двигателя без увеличения рабочего объема камеры сгорания в конструкции силового агрегата. Топливоподводящая система в турбированных ДВС остается практически без изменений,

зато схема и способ подачи воздуха в турбомоторах существенно меняется по сравнению с атмосферными агрегатами.

Наддув в дизельном двигателе реализован путем использования турбокомпрессора. Турбина в дизельном моторе использует энергию отработавших газов. Воздух в турбокомпрессоре сжимается, далее охлаждается и нагнетается в камеру сгорания дизельного ДВС под давлением на отметке от 0,15 до 0,2 МПа.

Величина давления позволяет разделить системы турбонаддува:

- решения с низким наддувом, когда давление не превышает 0,15 МПа;
- турбокомпрессор среднего наддува означает, что давление нагнетаемого в цилиндры воздуха соответствует показателю 0,2 МПа;
- высокий наддув подразумевает давление свыше 0,2 МПа;

Основной задачей системы турбонаддува является подача порции воздуха в цилиндры мотора на дизеле или бензине под давлением. Дизельный агрегат с системой турбонаддува называется турбодизельным двигателем.

Использование турбокомпрессора для ДВС улучшает наполнение цилиндров двигателя воздухом. Автоматически происходит повышение эффективности сгорания порции впрыскиваемого топлива. Турбонаддув позволяет увеличить мощность силового агрегата на 30% и более.

Негативными последствиями в результате использования турбонаддува, особенно с высокими показателями давления нагнетаемого воздуха, является увеличение общей температуры в камере сгорания в результате интенсивного горения топлива, а также значительно возрастающие механические нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и газораспределительного механизма (ГРМ) по сравнению с атмосферными силовыми установками.

3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Устройство и конструкция

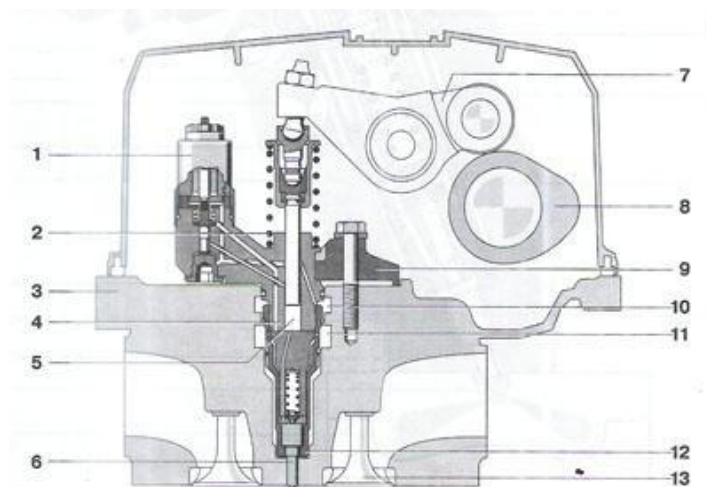


Рисунок 3.1-Устройство и конструкция: 1 - электромагнитный клапан высокого давления, 2 - возвратная пружина, 3 - головка блока цилиндров, 4 - корпус насос-форсунки в сборе, 5 - камера высокого давления, 6 - распылитель в сборе, 7 - коромысло, 8 - кулачок, 9 - прижим, 10 - канал возврата топлива, 11 - вход топлива, 12 - гайка крепления распылителя, 13 клапан двигателя.

Корпус насос - форсунки (4 на рис.3.1) служит как втулка плунжера насоса. Корпус имеет удлиненную часть для крепления электромагнитного клапана (1). Каналы в корпусе насос - форсунки обеспечивают соединения между камерой высокого давления (5) и ступенью низкого давления, перекрываемой электромагнитным клапаном, а также между камерой высокого давления и распылителем (6). Форма насос- форсунки проектируется таким образом, чтобы она могла быть закреплена в головке блока цилиндров (3) посредством специального прижима (9). Возвратная пружина (2) прижимает плунжер постоянный механический контакт во время работы между плунжером, коромыслом и кулачком.

					ВКР 23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Гильманов Б.Р			Насос форсунка			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Усенков Р.А.								19
Консульт.										
Н. контр.		Усенков Р.А								
Зав. кафедр.		Хафизов К.А.						КГАУ каф. ТАиЭУ		

Как только впрыск топлива заканчивается, возвратная пружина перемещает плунжер обратно в его исходное положение. На рис. 3.2 и 3.3 показаны устройство и конструкция деталей насос-форсунок для дизелей легковых и коммерческих автомобилей, соответственно.

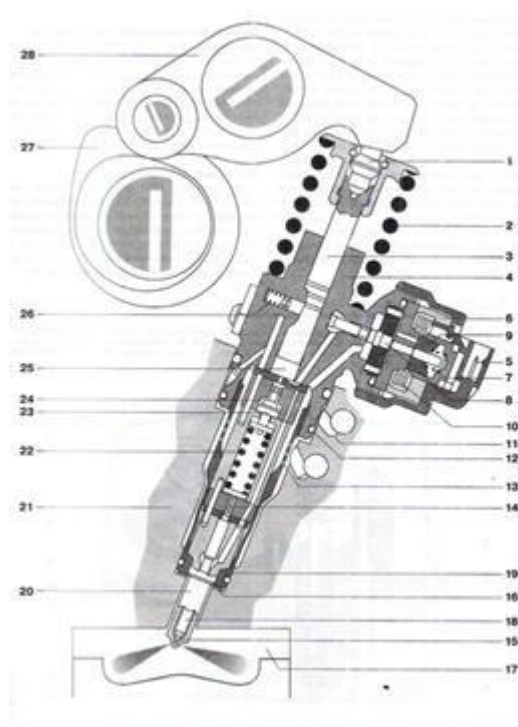


Рисунок 3.2- Устройство насос форсунки для легкового автомобиля: 1 - наконечник со сферической головкой; 2 - возвратная пружина; 3 – плунжер; 4 - корпус насос -форсунки в сборе; 5 - вывод разъема; 6 - магнитный сердечник; 7 - компенсирующая пружина; 8 - игла электромагнитного клапана; 9 – якорь; 10 - катушка электромагнитного клапана; 11 - канал возврата топлива (ступень низкого давления); 12 - уплотнительное кольцо; 13 - впускные отверстия (приблизительно 350 отверстий, выполненных методом лазерного сверления и работающих также в качестве фильтра); 14 - гидравлический демпфирующий элемент, 15 - седло иглы распылителя форсунки, 16 - уплотнительная прокладка, 17 - камера сгорания двигателя, 18 - игла распылителя форсунки, 19 - гайка крепления распылителя, 20 - распылитель в сборе, 21 - головка блока

цилиндров двигателя, 22 - пружина иглы распылителя форсунки, 23 - плунжер аккумулятора, 24 - камера аккумулятора, 25 - камера высокого давления; 26 - пружина электромагнитного клапана, 27 - распределительный вал с кулачками привода насос - форсунок, 28 - коромысло.

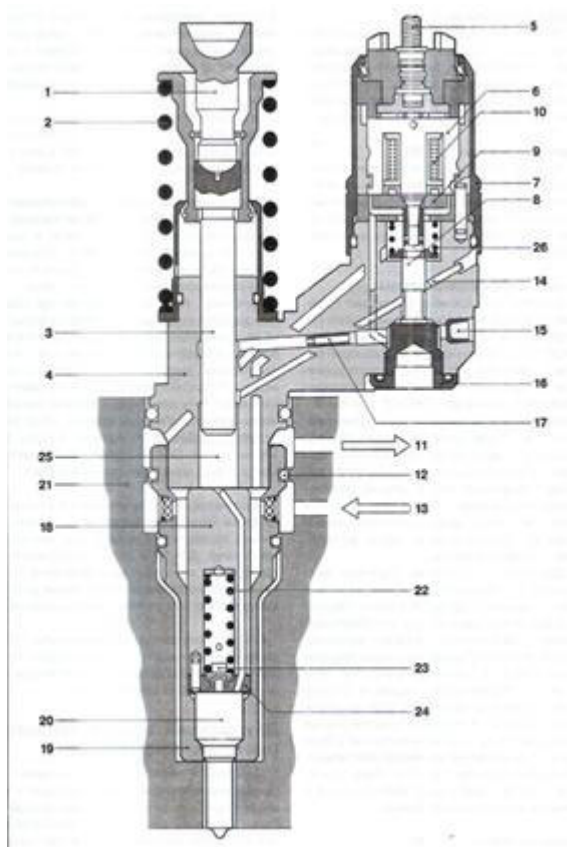


Рисунок 3.3- Насос-форсунка дизеля грузового автомобиля устройство и конструкция: 1 - наконечник со сферической головкой; 2 - возвратная пружина; 3 – плунжер; 4 - корпус насос - форсунки в сборе; 5 - вывод разъема; 6 - магнитный сердечник; 7 - гайка крепления электромагнитного клапана; 8 - игла электромагнитного клапана; 9 – якорь; 10 - катушка электромагнитного клапана; 11 - канал возврата топлива (ступень низкого давления); 12 - уплотнительное кольцо; 13 - вход топлива; 14 - технологические заглушки каналов высокого давления; 15 - технологические заглушки каналов низкого давления; 16 - ограничитель хода иглы электромагнитного клапана; 17 - дроссельное отверстие; 18 -- держатель пружины; 19 - гайка крепления распылителя форсунки; 20 -

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

распылитель форсунки в сборе; 21 - головка блока цилиндров двигателя; 22 - пружина иглы распылителя форсунки; 23 - нажимной штифт; 24 – поставка; 25 - камера высокого давления; 26 - пружина электромагнитного клапана.

Устройство насос - форсунки может быть подразделено на следующие функциональные блоки:

Создание высокого давления. Основными деталями, вовлеченными в процесс создания высокого давления, являются в корпус насос - форсунки в сборе (4), плунжер (3) и возвратная пружина (2) (рис. 3.2 и 3.3).

Электромагнитный клапан высокого давления. Электромагнитный клапан высокого давления осуществляет управление началом (моментом) впрыска топлива и продолжительностью подачи, Основными деталями электромагнитного клапана являются катушка (10), игла (8), якорь (9), магнитный сердечник (6) и пружина (26).

Распылитель форсунки в сборе. Распылитель (20) форсунки служит для распыления топлива и распределения его по камере сгорания в точно отмеренных дозах. Распылитель формирует кривую характеристики впрыска топлива. Распылитель в сборе прикрепляется к корпусу насос - форсунки с помощью гайки распылителя (19).

3.2 Установка и привод

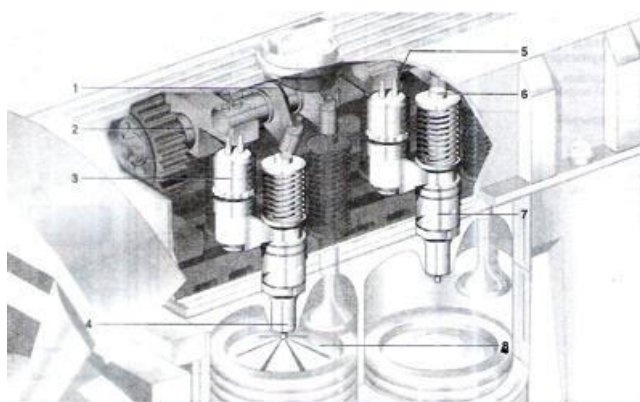


Рисунок 3.4 Установка насос - форсунок: 1 - коромысло, 2 - распределительный вал двигателя, 3 - электромагнитный клапан, 4 - распылитель в сборе,

5 - электрические выводы, 6 - плунжер насос - форсунки, 7 - корпус насос-форсунки, 8 - камера сгорания двигателя.

Каждый цилиндр имеет свою собственную насос-форсунку, которая устанавливается непосредственно в головке цилиндров (рис. 3.4). Распылитель форсунки (4) устанавливается в корпусе насос - форсунки и выступает внутрь камеры сгорания (8). Распределительный вал (2) двигателя имеет для каждой насос-форсунки индивидуальный кулачок, усилие от которого передается плунжеру (6) через коромысло (1), так что плунжер совершает возвратно-поступательное движение под совместным действием коромысла и возвратной пружины.

В дополнение к электрическому пусковому сигналу момент начала впрыска и количество впрыскиваемого топлива являются функциями мгновенной скорости перемещения плунжера, которая определяется формой кулачка. Это является одной из причин высокой точности, которая требуется при изготовлении распределительного вала. На точность воспроизведения цикловой подачи по цилиндрам и протекание характеристик впрыска вредное влияние оказывают крутильные колебания распределительного вала, возникающие из-за приложения сил, действующих в процессе работы. Следовательно, для уменьшения этих вибраций необходимо, чтобы индивидуальные приводы насос-форсунок были сконструированы как можно более жесткими (это касается как привода распределительного вала, так и самого вала, коромысел и их подшипников).

3.3 Принцип работы

Основной впрыск топлива. Работа таких топливных систем с одно - плунжерными насос-форсунками может быть подразделена на четыре рабочие стадии (рис. 3.5).

Ход впуска топлива (а). Возвратная пружина (3) перемещает плунжер (2) вверх. Топливо, постоянно находящееся под давлением, поступает из ступени

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

низкого давления в камеру (6) электромагнитного клапана через отверстия в блоке цилиндров двигателя и впускной канал (7).

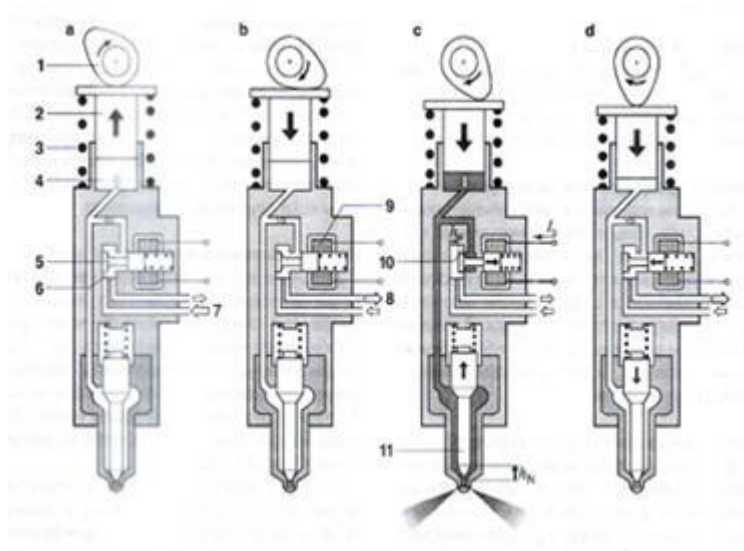


Рисунок 3.5- Принцип действия насос-форсунок и индивидуальных ТНВД: а -Ход впуска; б - Предварительный ход; с - Рабочий ход и впрыск топлива; d-Заключительный ход. 1 – Кулачок; 2 - Плунжер насоса; 3 - Возвратная пружина; 4- Камера высокого давления; 5 - Игла электромагнитного клапана; 6 - Камера электромагнитного клапана; 7 - Канал впуска топлива; 8 - Канал возврата топлива; 9 - Катушка электромагнитного клапана; 10 - Седло клапана; 11 - Распылитель в сборе. IS - Ток катушки, hM - Ход иглы электромагнитного клапана, p_e Давление впрыска, hN Ход иглы распылителя форсунки.

Ход впуска топлива (а). Возвратная пружина (3) перемещает плунжер (2) вверх. Топливо, постоянно находящееся под давлением, поступает из ступени низкого давления в камеру (6) электромагнитного клапана через отверстия в блоке цилиндров двигателя и впускной канал (7).

Предварительный ход (б). Кулачок (1), продолжая поворачиваться, заставляет плунжер перемещаться вниз. Электромагнитный клапан открыт на-

столько, что плунжер может выталкивать топливо через канал возврата (8) в ступень низкого давления.

Рабочий ход и впрыск топлива (с). В этот момент времени ЭБУ выдает пусковой сигнал на электромагнитный клапан (9), в результате чего игла клапана садится на седло (10), и соединение между камерой высокого давления и ступенью низкого давления прекращается. Этот момент означает “электрическое начало впрыска”, или геометрическое начало подачи, (также более известно, как “геометрическое начало периода . впрыска”). Закрытие электромагнитного клапана, то есть посадка его иглы на седло, вызывает изменение тока в катушке электромагнитного клапана. Это воспринимается ЭБУ как сигнал действительного начала впрыска топлива и означает расчет дальнейшего процесса впрыска.

Дальнейшее движение плунжера вниз вызывает повышение давления топлива в камере высокого давления, а также повышение давления в распылителе. Как только давление в распылителе достигает величины, соответствующей давлению начала подъема иглы форсунки (приблизительно 300 бар), игла (11) поднимается с седла, и топливо впрыскивается в камеру сгорания двигателя (этот процесс называется “действительное начало впрыска”, или “начало подачи”). Поскольку при движении плунжера обеспечивается максимальная подача топлива, давление топлива продолжает увеличиваться в течение всего периода впрыска.

Заключительный ход (d). Как только катушка электромагнитного клапана обесточивается, клапан после короткой задержки открывается и открывает соединение между камерой высокого давления и ступенью низкого давления.

Максимальное давление впрыска топлива достигается во время переходной фазы между ходом впрыска и заключительным ходом. В зависимости от типа насос - форсунки величина максимального давления впрыска находится в пределах от 1800 до 2050 бар. Как только электромагнитный клапан открывается, давление резко падает, и когда давление станет ниже давления посадки иглы

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

форсунки на седло, сопловые отверстия распылителя закрываются, и процесс впрыска прекращается.

Оставшееся топливо, которое продолжало подаваться плунжером до достижения выступа кулачка, выталкивается в ступень низкого давления через канал возврата топлива.

Этим топливным системам, обслуживающим отдельные цилиндры, свойственна высокая безопасность. Другими словами, в случае неисправной работы самая большая неприятность, которая может случиться, это один неконтролируемый впрыск топлива.

Например, если электромагнитный клапан остается открытым, то процесса впрыска не происходит, так как топливо вытекает обратно в ступень низкого давления и, следовательно, увеличение давления невозможно. И поскольку камера высокого давления может быть заполнена топливом только через электромагнитный клапан, когда он остается закрытым, то топливо попасть в нее не может. В этом случае может иметь место только один единственный впрыск.

Насос-форсунка устанавливается в головке блока цилиндров двигателя и, следовательно, подвергается воздействию высоких температур. Для того чтобы поддерживать температуру насос - форсунки возможно более низкой, она охлаждается топливом, вытекающим обратно в ступень низкого давления.

Специальные измерения температуры топлива на входе в насос-форсунку показали, что разница температур топлива от цилиндра к цилиндру является минимальной.

Двухфазный впрыск топлива (легковые автомобили)

Двухфазный впрыск топлива с механико-гидравлическим управлением реализуется в насос - форсунках дизелей легковых автомобилей. Он служит для снижения шума сгорания и эмиссии вредных веществ (см. главу “Процесс сгорания в дизелях”). Цикл работы насос - форсунки при двухфазном впрыске

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

может быть подразделен на четыре рабочие стадии (рис. 4.6):

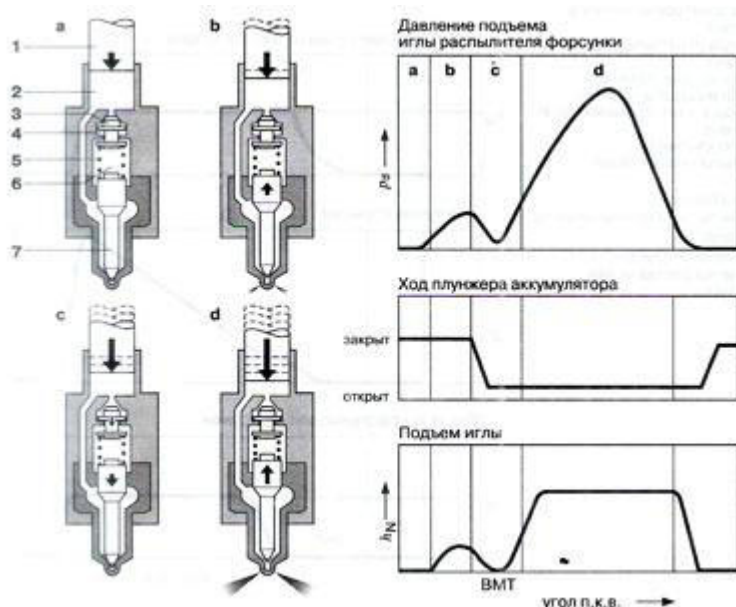


Рисунок 3.6 а - исходное положение, b - начало предварительного впрыска, с - конец предварительного впрыска, d - начало основного впрыска. 1 - плунжер насос-форсунки, 2 - камера высокого давления, 3 - плунжер аккумулятора, 4 - камера аккумулятора, 5 - пружина, 6 - полость возвратной пружины, 7 - игла распылителя форсунки.

1 Исходное положение. Игла (7) распылителя форсунки и плунжер аккумулятора (3) находятся на своих седлах. Электромагнитный клапан открыт - это означает, что давление повышаться не может.

2 Начало предварительного впрыска. Давление впрыска топлива начинает повышаться, как только электромагнитный клапан закрывается. При достижении давления начала подъема иглы распылителя форсунки игла поднимается с седла, после чего начинается предварительный впрыск. В течение этой фазы ход иглы распылителя форсунки ограничивается гидравлическим демпфирующим устройством.

3 Конец предварительного впрыска. Дальнейшее повышение давления приводит к подъему со своего седла плунжера аккумулятора, в результате чего осуществляется соединение между камерами высокого (2) и низкого (4) давления. Это приводит к падению давления, что сопровождается увеличением предварительной затяжки пружины (5) и посадкой иглы распылителя форсунки на седло. Таким образом, обозначается конец предварительного впрыска топлива.

В большинстве случаев объем топлива в предварительном впрыске приблизительно равен 1,5 мм³ и определяется давлением подъема плунжера аккумулятора. Интервал между основным и предварительным впрысками является, по существу, функцией величины хода плунжера аккумулятора.

4 Начало основного впрыска топлива. Дальнейший ход плунжера насос - форсунки приводит к продолжению повышения давления в камере высокого давления. Фаза основного впрыска начинается, как только давление достигнет величины, соответствующей максимальному подъему иглы. В течение действительной фазы основного впрыска давление впрыска топлива увеличивается до 2050 бар.

Открытие электромагнитного клапана означает окончание фазы основного впрыска. Игла распылителя форсунки и плунжер аккумулятора возвращаются в свое исходное положение.

3.4 Электромагнитный клапан высокого давления

Электромагнитный клапан высокого давления служит для обеспечения начала впрыска топлива в точно установленный момент времени, точного дозирования подачи топлива в цилиндры двигателя и исключительно точной продолжительности впрыска.

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

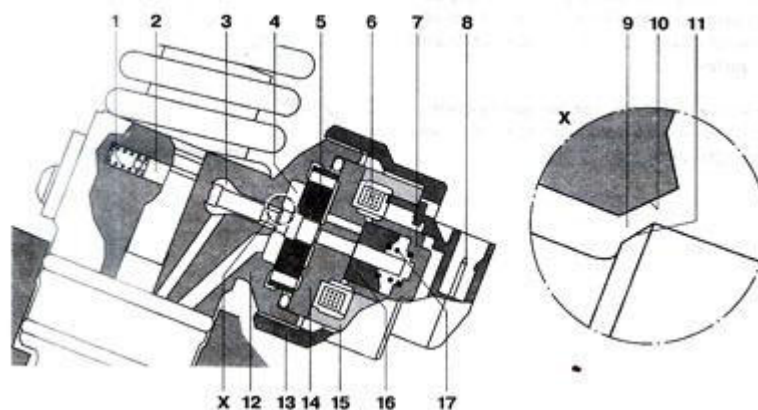


Рисунок 3.7- Электромагнитный клапан высокого давления (насос-форсунка дизеля легкового автомобиля): 1 - пружина клапана; 2 - игла клапана; 3 - камера высокого давления; 4 - камера низкого давления; 5 – поставка; 6 – катушка; 7 – упор; 8- вывод разъема; 9 -сечение в области седла для прохода топлива; 10 - коническая уплотнительная поверхность в корпусе клапана; 11 - коническая уплотнительная поверхность иглы клапана; 12 - корпус клапана (интегрированный с корпусом насос-форсунки); 13 - гайка крепления; 14 - магнитный диск; 15 - магнитный сердечник; 16 – якорь; 17 - компенсирующая пружина.

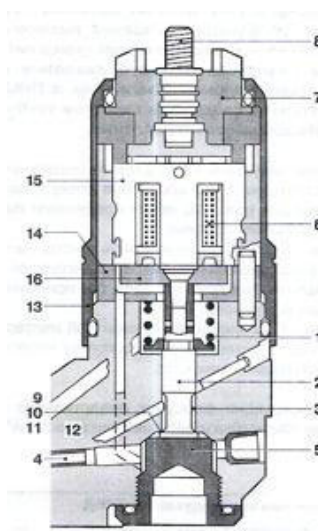


Рисунок 3.8 Электромагнитный клапан высокого давления (насос-форсунка дизеля грузового автомобиля): 1 - пружина клапана; 2 - игла клапана;

3 - камера высокого давления; 4 - камера низкого давления; 5 – упор; 6 – катушка; 7 – крышка; 8 - вывод разъема; 9 - сечение в области седла для прохода топлива; 10 - уплотнительная поверхность (седло в корпусе клапана); 11 - коническая уплотнительная поверхность иглы клапана; 12 - корпус клапана (интегрированный с корпусом насос-форсунки); 13 - гайка крепления; 14 - регулировочный элемент для остаточного воздушного зазора; 15 - магнитный сердечник; 16 - якорь.

3.5 Устройство и конструкция электромагнитного клапана

Устройство электромагнитного клапана высокого давления подразделяется на два основных блока: клапан и магнит.

3.5.1 Устройство клапана. Собственно клапан включает в себя иглу клапана (2), корпус клапана (12) как общую часть корпуса насос-форсунки и пружину клапана (1) (рис. 3.7 и 3.8). Коническая уплотнительная поверхность (10) в корпусе клапана является седлом иглы (2), также имеющей коническую уплотнительную поверхность (11). Угол конической поверхности иглы немного больше угла конической поверхности корпуса клапана. При закрытом клапане, когда игла прижата к седлу корпуса, контакт между иглой и корпусом осуществляется по кольцевой линии (не по поверхности), что и представляет собой седло клапана. В результате обеспечивается очень эффективное уплотнение при посадке иглы на седло (двойное коническое уплотнение). Для обеспечения точной посадки иглы на седло должна быть применена прецизионная обработка соответствующих конических поверхностей.

3.5.2 Магнит. Магнит включает в себя статор и подвижный якорь (16): Статор включает в себя магнитный сердечник (15), катушку (6) и электрический вывод (8) в разъеме. Якорь закреплен на игле клапана.

При отсутствии питания между статором и якорем имеется воздушный зазор.

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.6 Принцип работы клапана

Электромагнитный клапан имеет два переключаемых положения - “клапан открыт” и “клапан закрыт”. Клапан открыт, когда напряжение питания на катушку не подается. Клапан закрывается при подаче напряжения питания от задающего каскада ЭБУ.

Клапан открыт. Под усилием пружины клапана игла (2) прижимается к упору (7), в результате чего обеспечивается проход топлива через поперечное сечение (9) между иглой и корпусом в области седла клапана. Теперь камеры высокого (3) и низкого (4) давления соединены между собой. В этом исходном положении топливо может как втекать в камеру высокого давления, так и вытекать из нее.

Клапан закрыт. Когда наступает момент впрыска топлива, на катушку клапана подается напряжение питания от задающего каскада ЭБУ. Ток срабатывания вызывает магнитный поток в элементах магнитного контура (магнитный сердечник и якорь), который генерирует силу магнитного притяжения для перемещения якоря к статору. В результате движение якоря останавливается иглой при ее посадке на седло в корпусе. При этом между якорем и статором остается небольшой воздушный зазор. Клапан теперь закрыт, и при движении плунжера насос-форсунки вниз осуществляется впрыск топлива.

Сила магнитного притяжения используется не только для подтягивания якоря, но и для преодоления силы действия пружины клапана и, соответственно, удерживания якоря. Кроме того сила магнитного притяжения прикладывается к уплотнительным поверхностям седла для удерживания их в контакте друг с другом. Якорь удерживается в данном положении до тех пор, пока на катушку клапана подается напряжение питания.

Чем сильнее магнитный поток, тем ближе располагается к статору якорь. После закрытия клапана можно уменьшить ток до удерживающего уровня. Клапан, таким образом, остается закрытым, а потери мощности и, следовательно, выделение тепла, оказываются минимальными.

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для прекращения процесса впрыска топлива должна быть прекращена подача напряжения на катушку клапана, то есть прекращен ток в катушке. В результате магнитный поток исчезает, как и сила магнитного притяжения, и пружина перемещает иглу клапана в ее исходное положение на упоре. Проход топлива через седло клапана открывается.

Включение/выключение электромагнитного клапана должно быть исключительно быстрым, чтобы обеспечить допустимые отклонения, являющиеся требованиями топливной системы и касающиеся момента начала впрыска топлива (угла опережения впрыска) и количества впрыскиваемого топлива (цикловой подачи). Такая исключительно высокая точность должна поддерживаться от цикла к циклу и от насоса к насосу независимо от эксплуатационных условий и режима работы двигателя.

3.7 Схема топливного контура

Топливо засасывается механическим топливным насосом через фильтр из топливного бака и подается по питающей магистрали в головке блока к насос - форсункам. Избыточное топливо подается обратно в топливный бак через сливную магистраль в головке блока, датчик температуры топлива и охладитель топлива.

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

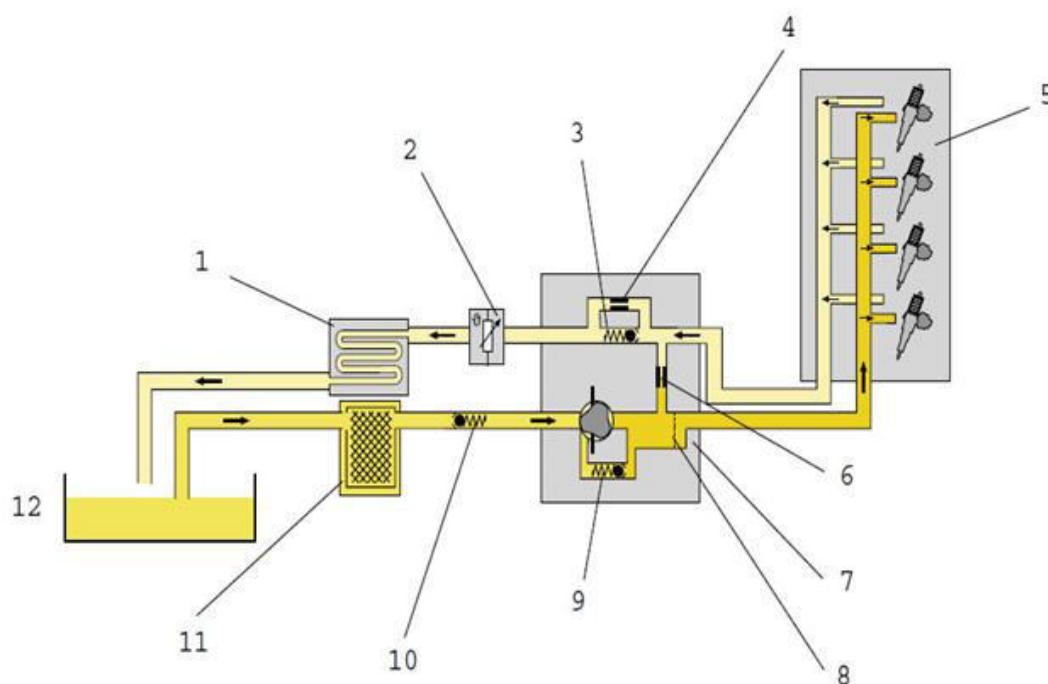


Рисунок 3.9-Схема топливного контура

3.7.1 Охладитель топлива охлаждает сливаемое топливо для предупреждения попадания в топливный бак слишком горячего топлива.

3.7.2 Датчик температуры топлива определяет температуру топлива в сливной магистрали и посылает соответствующий сигнал блоку управления двигателю

3.7.3 Ограничительный клапан поддерживает давление в сливной магистрали на уровне 1 бар. Благодаря этому достигается постоянство давления топлива на игле электромагнитного клапана.

3.7.4 Байпас Если в топливной системе имеется воздух, к примеру при выработанном топливном баке, ограничительный клапан остается закрытым. Воздух выжимается поступающим топливом из системы

3.7.5 Головка блока

3.7.6 Магистрали. Через дроссельное отверстие отводятся пары топлива, которые могут быть в питающей магистрали

3.7.7 Топливный насос подает топливо из топливного бака через фильтр к насос-форсункам

3.7.8 Сетка-фильтр улавливает пузырьки воздуха и газа в питающей магистрали. Затем они отводятся через дроссельное отверстие и сливную магистраль

3.7.9 Ограничительный клапан регулирует давление топлива в питающей магистрали. При давлении топлива более 7,5 бар клапан открывается, и топливо направляется в зону всасывания топливного насоса

3.7.10 Обратный клапан предотвращает слив топлива от топливного насоса в топливный бак при остановке двигателя (давление открытия топлива 0,2 бар)

3.7.11 Топливный фильтр защищает топливный контур от загрязнения и попадания в него инородных частиц и воды

3.7.12 Топливный бак

3.8 Расчет элементов топливоподачи

3.8.1 Исходные данные: Эффективная мощность $N_e = 155$ кВт; частота вращения коленчатого вала двигателя $n = 2100$ мин⁻¹; число цилиндров $i = 6$; удельный эффективный расход топлива $g_e = 220$ г/см³; плотность топлива $\rho_T = 0,842$ г/см³; давления в конце сжатия $p_c = 8,669$ МПа; давления в конце сгорания $p_z = 11,307$ МПа.

Продолжительность подачи топлива в градусах поворота коленчатого вала принимаем равной $\Delta\varphi = 18^\circ$

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.8.2 Расчет форсунки. Расчет форсунки к определению диаметра сопловых отверстий. Объем топлива (мм³/цикл), впрыскиваемого форсункой за один рабочий ход четырехтактного дизеля (цикловая подача):

$$V_{\text{ц}} = g_{\text{е}} \cdot N_{\text{е}} \cdot 10^3 / (30n \cdot i \cdot \rho_{\text{Т}}), \text{мм}^3/\text{цикл}$$

где $g_{\text{е}}$ - удельный эффективный расход топлива;

$N_{\text{е}}$ - эффективная номинальная мощность двигателя;

n – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя;

i – число цилиндров двигателя;

$\rho_{\text{Т}}$ - плотность топлива.

$$V_{\text{ц}} = 220 \cdot 155 \cdot 10^3 / (30 \cdot 2100 \cdot 6 \cdot 0,842 = 107 \text{ мм}^3/\text{цикл}$$

Время истечения топлива (с):

$$\Delta t = \Delta \varphi / (n6), \text{с}$$

$$\Delta t = 18 / (2100 \cdot 6) = 0,0014 \text{с}$$

где $\Delta \varphi$ - угол поворота коленчатого вала, град. Продолжительность подачи задают в зависимости от типа смесеобразования дизеля. При пленочном смесеобразовании $\Delta \varphi = 15 \dots 25^\circ \text{п.к.в.}$, а при объемном и объемно-пленочном, где требуется более высокая скорость впрыскивания, $\Delta \varphi = 10 \dots 20^\circ$.

Средняя скорость истечения топлива (м/с) через сопловые отверстия распылителя определяется по формуле:

$$\omega_{\text{ф}} = \sqrt{\left(\frac{2}{\rho_{\text{Т}}}\right) (p_{\text{ф}} - p_{\text{ц}})} \text{м/с},$$

где $p_{\text{ф}}$ — среднее давление впрыскивания топлива, Па;

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$p_{ц} = (p_c + p_z)/2$ - среднее давление газа в цилиндре в период впрыскивания;

p_c и p_z - давления в конце сжатия и сгорания, определяемые по данным теплового расчета дизеля.

$$p_{ц} = \frac{8,669 + 11,307}{2} = 9,988 \text{ МПа}$$

$$\omega_{\phi} = \sqrt{\left(\frac{2}{842}\right)(40 - 9,988)} = 267 \text{ м/с}$$

Суммарная площадь сопловых отверстий форсунки находится из выражения:

$$f_c = \frac{V_{ц}}{\mu_{\phi} \omega_{\phi} \Delta t \cdot 10^3} \text{ мм}^2 ,$$

где μ_{ϕ} — коэффициент расхода топлива, равный 0,65...0,85.

$$f_c = \frac{107}{0,85 \cdot 267 \cdot 0,0014 \cdot 10^3} = 0,34 \text{ мм}^2$$

Диаметр соплового отверстия форсунки:

$$d_c = \sqrt{4f_c/(\pi m)} \text{ мм},$$

где m — число сопловых отверстий.

$$d_c = \sqrt{4 \cdot 0,34/(3,14 \cdot 6)} = 0,27 \text{ мм}$$

Количество и расположение сопловых отверстий выбирается исходя из формы камеры сгорания и способа смесеобразования. В дизелях с пленочным смесеобразованием применяют одно- и двух- дырчатые распылители с диаметром отверстия 0,4 - 0,6 мм, а в дизелях с объемным и объемно-пленочном сме-

сеобразованием - многодырчатые распылители с диаметром отверстий 0,2 мм и более.

					ВКР.23.05.01.408.20.СС.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 РАСЧЕТ ТРАКТОРА

4.1 Тракторы тягового класса 1.4

Классификация тракторов по тяговому классу позволяет разделять машины на несколько групп. Это позволяет быстро определять, для какой работы подойдет та или иная модель, не изучая ее технических характеристик. Разделение имеет весьма четкие границы, поэтому путаницы с присвоением трактору определенного значения не возникает. Тяговые классы сельскохозяйственных тракторов определяются путем измерения максимального тягового усилия, развиваемого машиной на стерне при нормальной влажности и твердости, и буксовании не более 3% для гусеничных моделей, и не более 15% для колесных. Для промышленной спецтехники этот показатель определяется аналогичным образом, но не на стерне, а на сухом песке. Промышленные тракторы всегда имеют более высокий тяговый класс, чем их сельскохозяйственные собратья, базирующиеся на том же шасси.

Класс тяги тракторов служит едва ли не основным критерием при выборе техники. Чем выше этот показатель, тем в более сложных условиях сможет работать трактор. Но не всегда необходима самая мощная из всех существующих машин. При невысокой вязкости грунта для работы достаточно и трактора с небольшой тягой. Более мощная модель потребляет и больше топлива и других технических жидкостей. Таким образом, если вся полезная мощность трактора не идет на выполнение поставленных задач и часть просто растрачивается в пустую, это приводит к финансовым убыткам. Так что лучше выбирать модель, наиболее подходящую к эксплуатации в определенной местности. Это позволит получить максимальную производительность и даст возможность избежать неоправданных затрат. В конце концов, любой бизнес ориентирован на получение максимальной прибыли, поэтому необоснованные издержки в таком деле никому не нужны.

Классификацию тракторов по классам следует рассмотреть подробнее на конкретных примерах. К классам 0,1 и 0,2 относятся мотоблоки и мелкогабаритные тракторы. Эта техника предназначена для решения простейших задач и работ на самых простых типах грунта. Зачастую используется в индивидуальных хозяйствах или в качестве вспомогательного оборудования. Она обладает очень низким уровнем проходимости, поэтому для нормальной работы требует хорошо укатанного плотного дорожного покрытия. Техника классов 0,4, 0,6 и 0,9 относится к колесным тракторам малой мощности. В основном данные машины применяются на посевных и уборочных работах, где нет необходимости в использовании мощной техники.

Тракторы класса 1,4 открывают серию техники со средней мощностью. К данному классу относятся универсально-пропашные машины, которые задействуются на посевных и овощеуборочных работах, на распашке, орошении, удобрении и культивации полей, на лесозаготовительных производствах. Отдельные модификации также применяются коммунальными службами на землеройных и бульдозерных работах.

4.2 Тепловой расчет двигателя трактора

Номинальная мощность: $N_e = 90 \text{ кВт}$;

Номинальная частота вращения: $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$;

Степень сжатия: $\varepsilon = 17$;

Количество цилиндров: $i = 4$

Для проведения теплового расчета выберем скоростные режимы

$n = 960, 1200, 1440, 1680, 1920, 2160, 2400 \text{ об/мин}$.

Для определения эффективности конструкторской разработки, необходимо произвести тепловой расчет и определить тепловой баланс двигателя

при работе штатного насоса системы охлаждения на номинальном режиме и с учетом работы насоса переменной производительности.

Топливо в соответствии с ГОСТ 305-82 для рассчитываемого двигателя принимаем дизельное топливо (для работы в летних условиях-марки Л и для работы в зимних условиях – марки З).

Средний элементарный состав дизельного топлива

$$C=0,870; H=0,126; O=0,004$$

Низшая теплота сгорания топлива

$$H_{и} = 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9H + W) = 33,91 \cdot 0,870 + 125,6 \cdot 0,126 - 10,89 \cdot 0,004 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,126 = 42437 \text{ кДж/кг} \quad (1.1)$$

4.2.1 Определение параметров рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, L_0 , вычисляется формулой:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad (4.1)$$

где 0,23 – массовое содержание кислорода в 1 кг воздуха.

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,497 \text{ кг/моль}.$$

Коэффициент избытка воздуха принимают в диапазоне $\alpha = 1,6 \dots 1,8$.

Уменьшение коэффициента избытка воздуха α до возможных пределов уменьшает размеры цилиндра и, следовательно, повышает литровую мощность дизеля, но одновременно с этим значительно возрастает теплонапряженность двигателя, особенно деталей поршневой группы, увеличивается дымность выпускных газов. На дизельных двигателях применяют неразделённые камеры сгорания и разделенные с предкамерой. Для нашего случая мы применим неразделённую камеру сгорания, так как у неё можно достичь наибольшего коэффициента избытка воздуха. Принимаем: коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,7$.

Действительный расход воздуха L , для номинального режима работы двигателя вычисляется по формуле:

$$L = \alpha \cdot L_0; \quad (4.2)$$

$$L = 1,7 \cdot 0,497 = 0,8449 \text{ кмоль.}$$

Количество свежего заряда, M_1 вычисляется по формуле:

$$M_1 = L + \frac{1}{m_T}, \quad (4.3)$$

где m_T – молекулярная масса топлива;

$$m_T = 190.$$

$$M_1 = 0,8449 + \frac{1}{190} = 0,8502 \text{ к/моль.}$$

При неполном сгорании топлива продукты сгорания представляют собой смесь углекислого газа CO_2 , водяного пара H_2O , кислорода O_2 и азота N_2 .

Количество отдельных компонентов, входящих в состав продуктов сгорания:

– углекислый газ;

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12}; \quad (4.4)$$

где C – количество углерода в кг.топлива;

$$C = 0,87 \text{ к/моль.}$$

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{0,87}{12} = 0,0725 \text{ кмоль.}$$

– водяной пар;

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2}; \quad (4.5)$$

где H – количество водорода в кг.топлива;

$$H = 0,126 \text{ к/моль.}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,126}{2} = 0,063 \text{ кмоль.}$$

– кислород;

$$M_{O_2} = 0,209 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0; \quad (4.6)$$

$$M_{O_2} = 0,209 \cdot (1,7 - 1) \cdot 0,497 = 0,0728 \text{ кмоль.}$$

– азот;

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0;$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot 1,7 \cdot 0,497 = 0,6732 \text{ кмоль.}$$

Общее количество продуктов сгорания, M_2 вычисляется по формуле:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}; \quad (4.7)$$

$$M_2 = 0,0725 + 0,063 + 0,0728 + 0,6732 = 0,8815 \text{ кмоль.}$$

Химический коэффициент молекулярного изменения, β' , вычисляется по формуле:

$$\beta' = \frac{M_2}{M_1}; \quad (4.8)$$

$$\beta' = \frac{0,8815}{0,8502} = 1,0368.$$

Параметры окружающей среды и остаточные газы.

4.2.2 Атмосферные условия

$$P_0 = 0,1 \text{ МПа. } T_0 = 293 \text{ К.}$$

Давление окружающей среды для дизелей с наддувом $p_0 = 1,7 \text{ МПа}$.

Температура окружающей среды для дизелей;

$$\text{с наддувом } T_k = T_0 (p_k / p_0)^{(p_k - 1) / n_k} = 293 (0,17 / 0,1)^{(1,65 - 1) / 1,65} = 361 \text{ К}$$

4.2.3 Температура и давление остаточных газов.

$$\text{с наддувом } T_r = 850 \text{ К } p_r = 0,94 \text{ } p_k = 0,94 \cdot 0,17 = 0,159 \text{ МПа}$$

4.2.4 Процесс впуска

Параметры окружающей среды:

– давление окружающей среды $P_0 = 1,7 \text{ МПа}$;

– температура окружающей среды $T_0 = 361$ К.

Степень подогрева свежего заряда на номинальном режиме двигателя $\Delta T_N = 10^\circ$. Среднюю скорость поршня принимаем $C_N = 8,86$ м/с.

Температура воздуха после компрессора вычисляется по формуле:

$$T_{kN} = T_0 \cdot \left(\frac{P_{kN}}{P_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}, \quad (4.9)$$

P_{kN} – давление наддува, МПа;

$P_{kN} = 0,17$ МПа;

n_k – показатель политропы сжатия компрессора;

$n_k = 1,7$;

Плотность заряда, поступающего в двигатель, на номинальном режиме вычисляется по формуле:

где – удельная газовая постоянная для воздуха, Дж/кгК;

$R_B = 287$ Дж/кгК;

Потери давления на впуске в двигателе:

Температура охлаждения надвучного воздуха выбрана на основе данных современных систем ОНВ.

$$T'_k = T_k - \Delta T_{\text{ОНВ}} = 421,34 - 108,34 = 313 \text{ К}$$

Потери давления во впускном трубопроводе:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{тр max}} \cdot \bar{n} = 0,002 \cdot \frac{1900}{1900} = 0,002 \text{ МПа},$$

где $\Delta P_{\text{тр max}} = 0,002 \dots 0,004 = 0,002$ МПа.

Давление во впускном трубопроводе, перед клапаном:

$$P_{\text{тр}} = P'_k - \Delta P_{\text{тр}} = 0,235 - 0,002 = 0,233 \text{ МПа};$$

Плотность заряда во впускном трубопроводе перед клапаном:

$$\rho_{\text{тр}} = 10^6 \cdot \frac{P_{\text{тр}}}{287 \cdot T'_k} = 10^6 \cdot \frac{0,233}{287 \cdot 313} = 2,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Давление остаточных газов:

$$P_r = P_{\text{тр}} \cdot 0,95 = 0,233 \cdot 0,95 = 0,222 \text{ МПа}$$

С целью получения хорошего наполнения двигателя на номинальных режимах принимаем температуру подогрева свежего заряда $\Delta T_N = 10^\circ\text{C}$. На остальных режимах значения ΔT рассчитываются по формуле:

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) = 0,1159 \cdot (110 - 0,0125 \cdot 1900) = 10 \text{ K},$$

где: $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$

При $n_N = 1900$ об/мин:

$$A_T = 10 / (110 - 0,0125 \cdot 1900) = 0,1159.$$

Потери давления на впуске при учете качественной обработки внутренних поверхностей впускных систем можно принять: $\beta^2 + \xi_{вп} = 2,4$ и $\omega_{вп} = 80$ м/с. Тогда ΔP_a на всех скоростных режимах двигателей рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_a = (\beta^2 + \xi_{вп}) \cdot (\omega_{вп} \cdot n / n_N)^2 \cdot \rho_{тр} \cdot 10^{-6} / 2 = 2,4 \cdot (80 \cdot 1900 / 1900)^2 \cdot 2,599 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,01996 \text{ МПа.};$$

Давление в конце впуска:

$$P_a = P_{тр} - \Delta P_a = 0,2335 - 0,01996 = 0,21354 \text{ МПа}$$

Задаемся значением коэффициента $\theta_{доз}$ [6], а также значением коэффициента очистки $\xi_{оч}$ [6] для каждой из расчетных частот вращения, данные которых приведены в таблице 3.2 [6]

Тогда при $n_N = 1900$ мин⁻¹:

$$\gamma_r = \frac{T_{\kappa} + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\xi_{оч} P_r}{\varepsilon \theta_{доз} P_a - \xi_{оч} P_r} = \frac{313 + 10}{711} \cdot \frac{0,94 \cdot 0,222}{18 \cdot 1,08 \cdot 0,2135 - 0,94 \cdot 0,222} = 0,024$$

Коэффициент использования теплоты для современных дизелей с неразделенными камерами сгорания и хорошо организованной струйным смесеобразованием можно принять для двигателей с наддувом в связи с повышением теплонапряженности двигателя и созданием более благоприятных условий для протекания процесса сгорания $\xi = 0,86$, при использовании помпы с изменяемыми характеристиками коэффициент использования теплоты можно

принять $\xi = 0,92$.

Средний показатель адиабаты сжатия k_1 определяется по номограмме (Рис. 4.4, стр. 73, [7]), средний показатель политропы сжатия n_1 принимается несколько меньше k_1 . При выборе n_1 учитывается, что с уменьшением частоты вращения теплоотдача от газов в стенки цилиндра увеличивается, а n_1 уменьшается по сравнению с k_1 более значительно. Так при $n_N = 1900 \text{ мин}^{-1}$, $T_a = 333,44 \text{ К}$ и $\varepsilon = 18$ показатель адиабаты сжатия определен по номограмме (Рис. 4.4, стр. 73, [7]) k_1 .

Давление в конце сжатия при $n_N = 1900 \text{ об/мин}$:

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,2135 \cdot 18^{1,358} = 10,818 \text{ МПа.}$$

Температура в конце сжатия:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 333,44 \cdot 18^{1,358-1} = 938,43 \text{ К.}$$

4.2.5 Средняя мольная теплоемкость в конце сжатия:

4.2.5.1 Свежей смеси (воздуха)

$$(mc_v)_{t_0}^{tc} = 20,6 + 2,67 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43 = 22,355 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С},$$

$$t_{det_c} = T_c - 273 = 938,43 - 273 = 665,43 ^\circ\text{С};$$

4.2.5.2 CO_2 в продуктах сгорания

$$\begin{aligned} (mc_v)_{\text{CO}_2} &= 27,941 + 0,019 \cdot 665,43 - 0,0005487 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43^2 = \\ &= 38,155 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С}; \end{aligned}$$

4.2.5.3 CO в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{\text{CO}} = 20,597 + 2,67 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43 = 22,374 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С};$$

4.2.5.4 H_2O в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{\text{H}_2\text{O}} = 24,953 + 5,359 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43 = 28,519 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С};$$

4.2.5.5 H_2 в продуктах сгорания

$$\begin{aligned} (mc_v)_{\text{H}_2} &= 20,684 + 0,000206 \cdot 665,43 + 0,000588 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43^2 = \\ &= 21,081 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С}; \end{aligned}$$

4.2.5.6 N_2 в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{\text{N}_2} = 20,398 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43 = 22,062 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{С};$$

4.2.5.7 O₂ в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{O_2} = 20,93 + 0,004641 \cdot 665,43 - 0,000084 \cdot 10^{-3} \cdot 665,43^2 = \\ = 23,646 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{C};$$

4.2.5.8 (mc_v)_{t₀}^{tc} остаточных газов

$$(mc_v)_{t_0}^{tc} = (1/M_2) \cdot (M_{CO_2} \cdot (mc_v)_{CO_2} + M_{H_2O} \cdot (mc_v)_{H_2O} + M_{N_2} \cdot (mc_v)_{N_2} + \\ M_{O_2} \cdot (mc_v)_{O_2}) = (1/0,88) \cdot (0,0725 \cdot 38,155 + 0,063 \cdot 28,519 + 0,672 \cdot 22,062 + 0,073 \cdot \\ 23,646) = 23,979 \text{ кДж/кмоль} \cdot ^\circ\text{C}.$$

4.2.6 Процесс расширения и выпуска

Средний показатель адиабаты расширения k_2 определяется по номограмме (см. рис. 4.8, стр. 82, [7]) при заданном ε для соответствующих значений α и T_z , а средний показатель политропы расширения n_2 принимается несколько меньше k_2

Степень последующего расширения:

$$\delta = \varepsilon / \rho = 18/1,884 = 9,555$$

Давление и температура в конце расширения:

$$P_b = P_z / \delta^{n_2} = 12,5 / 9,555^{1,287} = 0,68 \text{ МПа.}$$

$$T_b = T_z / \delta^{n_2-1} = 1971,019 / 9,555^{1,287-1} = 1031,243 \text{ К.}$$

$$T_r^{\epsilon} = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{1031,243}{\sqrt[3]{\frac{0,68}{0,222}}} = 708,36 \text{ К.}$$

4.2.7 Индикаторные параметры рабочего цикла:

Теоретическое среднее индикаторное давление:

$$P_i' = \frac{P_a \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\lambda \cdot (\rho - 1) + \frac{\rho \lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = \\ = \frac{0,2135 \cdot 18^{1,358}}{18 - 1} \left[1,16 \cdot (1,884 - 1) + \frac{1,884 \cdot 1,16}{1,287 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,555^{1,287-1}} \right) - \frac{1}{1,358 - 1} \left(1 - \frac{1}{18^{1,358-1}} \right) \right] = 1,805 \text{ МПа};$$

Среднее индикаторное давление:

$$P_i = \varphi_u P_i' = 0,95 \cdot 1,805 = 1,715 \text{ МПа};$$

Индикаторный КПД и индикаторный удельный расход топлива:

$$\begin{aligned}\eta_i &= (P_i \cdot T_k' \cdot M_1 \cdot 8,315) / (P_k' \cdot H_u \cdot \eta_v \cdot 10^3) = \\ &= (1,715 \cdot 313 \cdot 8,315 \cdot 0,849) / (42437 \cdot 0,9503 \cdot 0,2355) = 0,399 \\ g_i &= 3600 / (H_u \eta_i) = 3600 / (42,437 \cdot 0,399) = 212,63 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}.\end{aligned}$$

Среднее индикаторное давление для дизельных двигателей с штатной помпой:

$$p_i = \varphi_{II} p_i' = 0,95 \cdot 0,854 = 0,811 \text{ МПа};$$

Среднее индикаторное давление для дизельных двигателей с помпой с регулируемыми характеристиками:

$$p_i = \varphi_{II} p_i' = 0,95 \cdot 1,309 = 1,243 \text{ МПа};$$

Индикаторный КПД для дизельного двигателя с штатной помпой:

$$\eta_i = 0,96 \cdot 14,453 \cdot 1,7 / (0,001 \cdot 42437 \cdot 2,02 \cdot 42437 \cdot 0,79) = 0,29$$

Индикаторный КПД для дизельного двигателя с помпой с изменяемой характеристикой:

$$\eta_i = 1,23 \cdot 14,453 \cdot 1,7 / (0,001 \cdot 42437 \cdot 2,42 \cdot 42437 \cdot 0,89) = 0,46$$

Индикаторный удельный расход топлива (кВт ч);:

$$g_i = 3600 / (H_u \eta_i) \quad (4.11)$$

Для дизельного двигателя с штатной помпой системы охлаждения:

$$g_i = 3600 / (0,001 \cdot 42437 \cdot 0,29) = 291$$

Для дизельного двигателя с помпой с изменяемыми характеристиками:

$$g_i = 3600 / (0,001 \cdot 42437 \cdot 0,46) = 181$$

4.2.8 Эффективные показатели двигателя. Среднее давление механических потерь. МПа,

$$p_M = 0,089 + 0,0118 \nu_{н.ср.}$$

$$p_M = 0,089 + 0,0118 \cdot 10,2 = 0,209$$

где средняя скорость поршня предварительно принята $\nu_{ср} = 10,2 \text{ м/с}$

Средне эффективное давление и механический КПД для дизельного двигателя с штатной помпой:

$$p_e = p_i - p_M = 0,811 - 0,209 = 0,602 \text{ МПа};$$

$$\eta_M = p_e / p_i = 0,602 / 0,811 = 0,74$$

Средне эффективное давление и механический КПД для дизельного двигателя с помпой с регулируемыми характеристиками.

$$p_e = p_i - p_M = 1,243 - 0,209 = 1,03 \text{ МПа};$$

$$\eta_M = p_e / p_i = 1,03 / 1,243 = 0,82$$

4.2.9 Основные параметры цилиндра и двигателя:

Рабочий объем одного цилиндра(л):

$$V_h = V'_l / i$$

$$V_h = 4,7493 / 4 = 1,1873 \text{ л}$$

Примем отношение $S/D=1,13$. Тогда диаметр D и ход S поршня:

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{4V_h / (\pi S / D)} = 100 \cdot \sqrt[3]{4 \cdot 1,1873 / (3,14 \cdot 1,13)} = 110,2 \text{ мм}$$

Примем $D=110$ мм, тогда

$$S = 125 \text{ мм}$$

Действительный полный рабочий объем:

$$V_l = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^6) = 3,14 \cdot 110^2 \cdot 125 \cdot 4 / (4 \cdot 10^6) = 4,7493 \text{ л}$$

Площадь поршня:

$$F_{\Pi} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 110^2 / 4 = 95,03 \text{ см}^2$$

Средняя скорость поршня:

$$v_{n.c.p} = S n / (3 \cdot 10^4) = 110 \cdot 2400 / (3 \cdot 10^4) = 10 \text{ м/с}$$

Эффективная мощность:

$$N_e = p_e V_l n / (30 \tau) = 0,94 \cdot 4,7493 \cdot 2400 / (30 \cdot 4) = 89,8 \text{ кВт}$$

Эффективный крутящий момент:

$$M_e = 3 \cdot 10^4 N_e / (\pi \cdot n) = 3 \cdot 10^4 \cdot 89,8 / (3,14 \cdot 2400) = 357,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Часовой расход топлива:

$$G_T = N_e g_e = 89,8 \cdot 179,79 / 1000 = 16,14 \text{ кг} / \text{ч}$$

Литровая мощность:

$$N_l = N_e / V_l = 89,8 / 4,74 = 18,9 \text{ кВт} / \text{дм}^3$$

Таблица 4.1 - Внешняя скоростная характеристика двигателя

n, об/мин	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400
N _e , кВт	41,192	58,821	66,264	71,911	77,453	83,531	89,804
M _{кр} , Н*м	409,955	468,321	439,652	408,958	385,419	369,475	357,501
g _e , г/кВт*ч	168,522	163,247	165,502	168,877	172,675	175,644	179,795
G _{час} , кг/ч	6,941827	9,602409	10,96691	12,14419	13,37435	14,67181	16,14644

4.3 Расчет потенциальной характеристики трактора

Для выполнения расчета известны следующие данные

4.3.1 Марка автомобиля и его колесная формула.

4.3.2 Масса загруженного автомобиля - m_а;

4.3.3 База автомобиля - L;

4.3.4 Высота автомобиля - H_а;

4.3.5 Ширина автомобиля - B_а;

4.3.6 Передаточные числа трансмиссии:

- первой передачи основной коробки – u₁;
- второй передачи основной коробки - u₂;
- третьей передачи – u₃;
- высшей передачи основной коробки - u_в;
- главной передачи - u_г;

4.3.7 Коэффициент аэродинамического сопротивления – c_х;

4.3.8 Значения максимальной мощности $N_{\max}$ при соответствующей частоте вращения вала n_N и максимального крутящего момента $M_{\max}$ при соответствующей частоте вращения вала n_M ;

4.3.9 Привод - задний;

4.3.10 Колесная формула 215/75 R17,5.

Таблица 4.2 – характеристика автомобилей

m_{ω} кг	L , мм	B_{ω} мм	H_{ω} мм	u_1	u_2	u_3	u_4	u_6	u_7	c_x	$N_{\max}$, кВт	$M_{\max}$, Нм
7400	3310	2164	2245	6,55	3,93	2,37	1,44	1	3,41	0,65	90	422

4.4 Силовой баланс автомобиля

Уравнение силового баланса является формой записи уравнения движения автомобиля. Оно связывает тяговую силу P_T на ведущих колесах с силами сопротивления движению:

$$P_T = P_K + P_{\Pi} + P_B + P_{\text{и}} = P_{\text{д}} + P_B + P_{\text{и}}, \quad (4.12)$$

где P_K - сила сопротивления качению; P_{Π} - сила сопротивления подъему, P_B - сила сопротивления воздуха, $P_{\text{и}}$ - приведенная сила инерции; $P_{\text{д}} = P_K + P_{\Pi}$ - сила сопротивления дороги. Для удобства решения и графического представления уравнение силового баланса может быть записано с использованием свободной силы тяги $P_{\text{св}} = P_T - P_B$:

$$P_{\text{св}} = P_{\text{д}} + P_{\text{и}} \quad (4.13)$$

Это связано с тем, что зависимость $P_{\text{св}}$ от скорости V движения автомобиля определяется только параметрами автомобиля и его двигателя; скоростной характеристикой двигателя, передаточным числом $u_{\text{тр}}$ и КПД трансмиссии, динамическим радиусом r_k колес и аэродинамической формой и площадью F лобового сопротивления автомобиля. Эта сила не зависит от ускорения автомоби-

ля и дорожных условий. Часто уравнение силового баланса решают при условии полной подачи топлива в двигатель, используя внешнюю скоростную характеристику двигателя.

Графоаналитическое решение уравнения силового баланса осуществляется следующим образом.

Определяется скорость движения автомобиля в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

$$V = \frac{\pi n r_{\kappa}}{30 u_{\text{тр}}} \quad (4.14)$$

где r_{κ} - радиус качения колеса.

$u_{\text{тр}} = u_{\kappa} \cdot u_{\Gamma}$ - передаточное число трансмиссии;

u_{κ} - передаточное число коробки передач;

u_{Γ} - передаточное число главной передачи.

Радиус колеса может быть определен по маркировке шин как:

$$r = d / 2 + \Delta(1 - \lambda)B$$

где d - посадочный диаметр колеса, м (1 дюйм = 0,0254 м);

$\Delta = H/B$ - отношение высоты H профиля шины к ее ширине B ;

$\lambda = 0,10-0,16$ - коэффициент радиальной деформации шины.

Задаются несколькими значениями частоты вращения от $n_{\min}$ до $n_{\max}$ для каждой ступени коробки передач определяют скорости V .

Диапазон рассчитанных скоростей зависит от передаточного числа трансмиссии, то есть от той ступени коробки передач, которая включена.

Сила тяги представляет отношение тягового момента $M_{\text{т}}$, подводимого при равномерном движении к полуосям ведущих колес, к радиусу ведущих колес:

$$P_{\text{т}} = M_{\text{т}} / r = M_{\text{е}} \cdot u_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}} / r. \quad (4.15)$$

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8
4 передача							
$v, \text{ м/с}$	7,494	67	11,241	13,114	14,988	16,861	18,735
$P_T, \text{ Н}$	4389,4	5022,6	4711,3	4378,6	4131,8	3960,1	3831,3
$P_B, \text{ Н}$	108,6	169,7	244,4	332,7	434,5	549,9	678,9
$P_{св}, \text{ Н}$	4280,8	4852,8	4466,9	4046,0	3697,3	3410,2	3152,4
$P_{т.сш}, \text{ Н}$	71083,9	71083,9	71083,9	71083,9	71083,9	71083,9	71083,9
$P_{св.сш}, \text{ Н}$	70975,3	70914,2	70839,5	70751,2	70649,4	70534,0	70405,0
$P_d, \text{ Н}$	580,8	580,8	580,8	580,8	580,8	580,8	580,8
5 передача							
$v, \text{ м/с}$	10,806	13,508	16,209	18,911	21,613	24,314	27,016
$P_T, \text{ Н}$	3043,9	3483,1	3267,2	3036,5	2865,3	2746,3	2656,9
$P_B, \text{ Н}$	225,9	352,9	508,2	691,7	903,5	1143,4	1526,9
$P_{св}, \text{ Н}$	2818,1	3130,1	2759,0	2344,8	1961,9	1602,8	1130,1
$P_{т.сш}, \text{ Н}$	71083,9	71083,9	71083,9	71083,9	71004,9	70925,9	70689,0
$P_{св.сш}, \text{ Н}$	70858,0	70731,0	70575,7	70392,2	70101,5	69782,5	69162,1
$P_d, \text{ Н}$	640,1	673,5	714,3	762,5	818,1	881,2	1077,2

4.5 Динамическая характеристика автомобиля

Динамической характеристикой автомобиля называется зависимость динамического фактора от скорости движения автомобиля. Эта характеристика удобнее тяговой характеристики при сравнении свойств автомобилей разной массы.

$$Da = \frac{P_{св}}{G} = \frac{P_t - P_B}{G} \quad (4.19)$$

Для ее расчета следует задаться несколькими значениями частоты вращения n коленчатого вала и для них вычислить динамический фактор Da по данному уравнению. Результатом расчета являются зависимости $Da=f(v)$ для каждой ступени коробки передач. Затем строим график $Da=f(v)$ динамической характеристики (рис.17.3). Определяется динамический фактор по условию равномерного движения на данной дороге:

$$D = \psi = f \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (4.20)$$

где ψ - коэффициент сопротивления дороги.

Вычисленная зависимость $D=f(v)$ наносится на график динамической характеристики. Абсцисса точки пересечения кривых $Da(v)$ и $D(v)$ опреде-

ляет максимальную скорость равномерного движения автомобиля на данной дороге.

На график динамической характеристики следует нанести динамический фактор по сцеплению $D_{сц} = (P_{т.сц} - P_e)/G$, который определяется как:

$$D_{сц} = \frac{a\varphi \cos \alpha}{L - h(\varphi + f)} - \frac{P_e}{G} \text{ - для заднеприводных автомобилей.}$$

Таблица 4.4 – Динамическая характеристика

1 передача							
v, м/с	1,648553723	2,0606922	2,4728306	2,88496902	3,29710745	3,70924588	4,12138431
D_{a1}	0,27478618	0,314395	0,2948564	0,27396481	0,25844033	0,24761098	0,23946068
Φ	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
$D_{сц}$	0,173663036	0,1736223	0,1735725	0,17351369	0,17344581	0,17336887	0,17328288
2 передача							
v, м/с	2,747589539	3,4344869	4,1213843	4,80828169	5,49517908	6,18207646	6,86897385
D_{a1}	0,164714015	0,1883906	0,1765591	0,16389595	0,15443343	0,14776827	0,14269083
Φ	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
$D_{сц}$	0,173534307	0,1734212	0,1732829	0,17311946	0,17293089	0,17271718	0,17247833
3 передача							
v, м/с	4,548093289	5,6851166	6,8221399	7,95916326	9,09618658	10,2332099	11,3702332
D_{a1}	0,099077251	0,1131391	0,105696	0,09769696	0,09157771	0,08709469	0,08351715
Φ	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
$D_{сц}$	0,17318432	0,1728743	0,1724954	0,17204762	0,17153094	0,17094537	0,17029091
4 передача							
v, м/с	7,49394567	9,3674321	11,240919	13,1144049	14,9878913	16,8613778	18,7348642
D_{a1}	0,058968415	0,066849	0,0615331	0,0557345	0,05093152	0,04697635	0,04342549
Φ	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
$D_{сц}$	0,172239164	0,1713975	0,1703688	0,16915308	0,16775032	0,16616052	0,16438368
5 передача							
v, м/с	10,80626966	13,507837	16,209404	18,9109719	21,6125393	24,3141067	27,0156741
D_{a1}	0,03881982	0,0431185	0,0380063	0,03230021	0,02702537	0,02207926	0,01556692
Φ	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,00456971	0,00543823	0,00640893
$D_{сц}$	0,170624132	0,168874	0,166735	0,16420705	0,16129019	0,15798442	0,15270232

5 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Для того чтобы машиностроение было прибыльной и эффективной отраслью промышленности, необходима технология машиностроения. Согласно определению, технология машиностроения - это область технической науки, которая занимается изучением связей и закономерностей в процессе производства машин. Цель технологии машиностроения - это разработка теории технологического обеспечения. А также повышение качества продуктов машиностроения с наиболее низкой себестоимостью их выпуска.

Объект технологии машиностроения - это технологический процесс, а предмет - установление и исследование внутренних и внешних связей, и закономерностей технологического процесса.

Технология машиностроения предусматривает проведение исследований в таких областях:

- технологичность конструкции машины, с точки зрения объекта производства;
- математическое моделирование методов сборки изделий машиностроения, изготовления деталей и технологических процессов;
- технологические операции, процессы, позиции, переходы, установки и рабочие хода, которые обеспечивают повышение качества изделий, а также снижают себестоимость их выпуска;
- совершенствование существующих, а также разработка новых способов обработки и сборки, для повышения качеств изделий и снижения уровня себестоимости их выпуска;
- технологическая наследственность в процессе машиностроения;
- методы оптимизации и проектирования технологических процессов;
- технологическое обеспечение, а также повышение долговечности и точности деталей машины и качеств поверхностного слоя;

- особенности управления разными технологическими процессами в машиностроительной промышленности.

Технологии машиностроения имеют много направлений, вот примеры некоторых из них:

- 1) Разработка и обобщение основ наилучшего обеспечения эксплуатационных характеристик деталей, с технической точки зрения.
- 2) Повышение технологической эффективности обработки на станках, на основе изучения методами голографической и лазерной интерферометрии теплового и напряженно-деформированного состояния режущего инструмента.
- 3) Ионно-плазменное модифицирование поверхностей деталей ГТД, для многократного повышения эксплуатационных свойств.
- 4) Оптимизация и математическое моделирование наукоемких технологических процессов.

5.1 Исходная информация для разработки

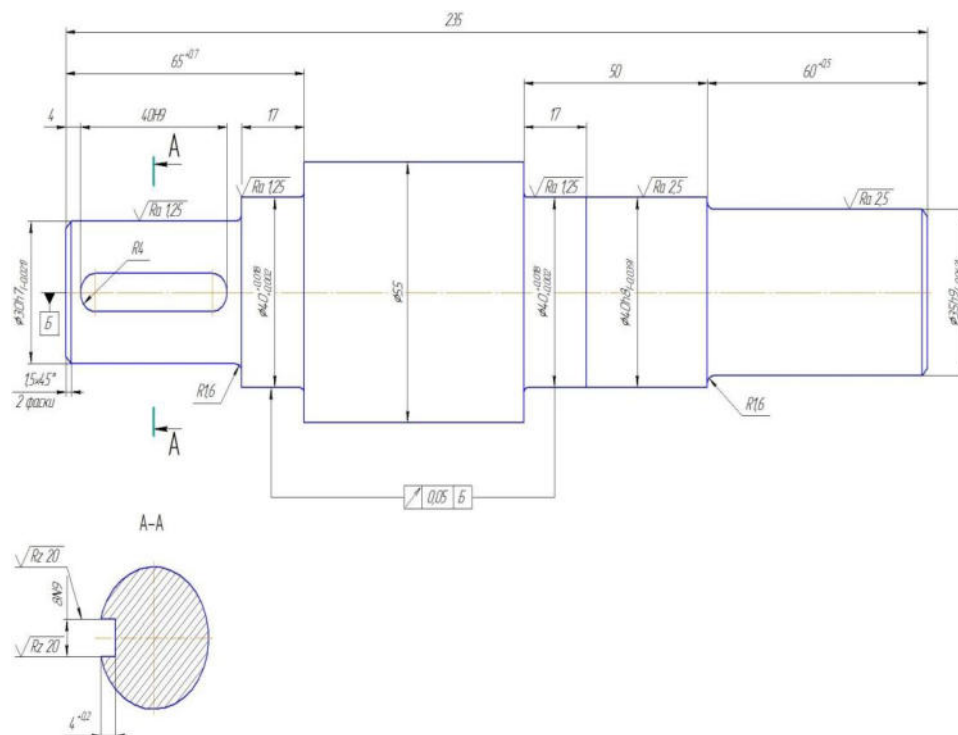


Рисунок 5.1-Чертеж детали

Годовая программа выпуска детали – 50000шт.

5.2 Анализ исходной информации

В данном разделе необходимо разработать технологический процесс механической обработки детали – Вал. Для этого необходимо проанализировать требования к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, оформить маршрутную карту, карты эскизов, операционную карту на выбранную операцию. Заполнить технологическую карту и описать схему наладки.

Вал (рис. 5.2) изготавливается из конструкционной углеродистой качественной стали 45 ГОСТ 1050-88. Для снятия заданного припуска с заготовки и получения фасок торцевые и наружные поверхности заготовки подвергаются токарной обработке. Шпоночный паз наружной поверхности получается в ходе обработки заготовки горизонтально-фрезерным станком. Заданное значение радиального биения относительно оси поверхности Б достигается круглошлифовальным станком. Указанные значения шероховатостей для наружных и торцевых поверхностей достигаются круглошлифовальным станком. Для поверхностей с неуказанными параметрами шероховатости берется общее значение шероховатости R_z40 . Для торцевых поверхностей и шпоночного соединения указаны допуски посредством ряда основных отклонений, предельных отклонений и квалитетов. На основе технических требований для размеров с неуказанными предельными отклонениями установлены следующие значения: H14, $h14, \pm \frac{IT14}{2}$.

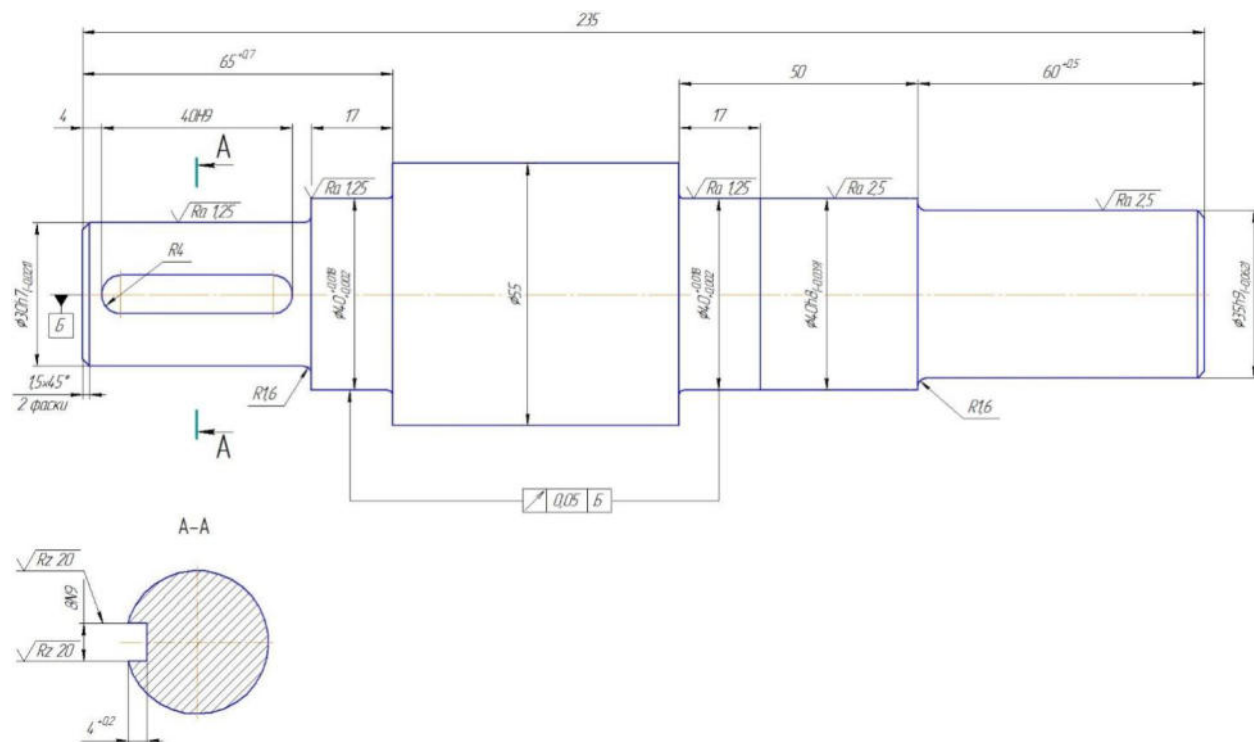


Рисунок 5.2-Поверхности детали

5.3 Служебное назначение детали

Вал-деталь машин предназначенная для передачи крутящего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на нем деталей и опор.

При изготовлении вала используется конструкционная качественную сталь 45 ГОСТ 1050-88. Сталь 45 используют также для изготовления осей, валов, вал-шестерней, плунжеров, штоков, коленчатых и кулачковых валов, колец, шпинделей, оправок, реек, губчатых венцов, болтов, полуосей, втулок.

Далее приводиться химический состав (табл.5.1) и механические свойства (табл. 5.2) стали 45. Следует обратить внимание на способ термообработки стали.

Таблица 5.1-Химический состав в % материала стали 45 ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
0,40- 0,50	0,17- 0,37	0,5-0,8	0, 045	0, 045	0.30	0, 30

Таблица 5.2-Механические свойства стали 45 ГОСТ 1050-88

Термообработка, состояние поставки	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	a_H Д ж/см ²	H В
Закалка 860 °С, масло.	36	6	1	5		
Отпуск 500 °С, вода или масло	0	10	6	0	0	241

Условные обозначения:

σ_T —Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа];

σ_B - Предел кратковременной прочности, [МПа];

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%];

ψ - Относительное сужение, [%];

a_H - Ударная вязкость, [кДж / м²];

HВ- Твердость по Бринеллю, [МПа]

Для определения типа производства детали пользуются табличным и расчетно-аналитическим способами.

Табличный способ. Зная массу детали и годовую программу выпуска изделия можно определить тип производства[1]. Учитывая, что объем выпуска равен 50000 и масса детали равна 2,48 кг следует, что тип производства – среднесерийное (табл. 5.3).

Таблица 5.3-Зависимость типа производства от объема выпуска (шт.) и массы детали

Масса детали, кг	Тип производства				
	единичное	мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное	массовое
<1,0	< 10	10-2000	1500-100000	75000-200000	200000
1,0-2,5	< 10	10-1000	1000-50000	50000-100000	100000
2,5-5,0	< 10	10-500	500-35000	35000-75000	75000
5,0-10	< 10	10-300	300-25000	25000-50000	50000
>10	< 10	10-200	200-10000	10000-25000	25000

Расчетно-аналитический способ. Определение типа производства производится ориентировочно, характеризуется коэффициентом закрепления операций $K_{з.о}$ согласно ГОСТ3.1108-74 по формуле (2.1):

$$K_{з.о} = \frac{Q}{P_M} \quad (5.1)$$

где Q- число различных операций;

P_M — число рабочих мест, на которых выполняются данные операции.

Коэффициент закрепления операций:

- больше 40 — определяет единичное производство;
- 20...40 — определяет мелкосерийное производство;
- 10...20 — определяет среднесерийное производство;
- 1...10 — определяет крупносерийное производство;
- не больше 1 — определяет массовое производство.

Таким образом, деталь вал входит в среднесерийный тип производства.

Серийное производство — тип производства, характеризующийся ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска.

По всем технологическим и производственным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента серийности (коэффициента закрепления операций) различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Далее выполняем анализ технологичности конструкции детали по коэффициентам точности обработки детали (5.2) и шероховатости поверхности детали (5.3):

$$K_{ТЧ} = \frac{Q_{ТЧ.н}}{Q_{ТЧ.о}} \quad (5.2)$$

где $Q_{ТЧ.н}$ – число размеров необоснованной степени точности обработки;

$Q_{ТЧ.о}$ – общее число размеров, подлежащих обработке.

$$K_{ТЧ} = \frac{0}{5} = 0$$

$$K_{ш} = \frac{O_{ш.н}}{O_{ш.о}} \quad (5.3)$$

где $O_{ш.н}$ - число поверхностей детали необоснованной шероховатости;

$O_{ш.о}$ - общее число поверхностей детали, подлежащих обработке.

$$K_{ш} = \frac{0}{6} = 0$$

На основе полученных значений коэффициентов предлагаются рекомендации по изменению конструкции детали, улучшающих ее технологичность.

5.4 Обоснование выбора заготовки

Выбор заготовки производится на основании анализа конфигурации детали, рассмотрения материала и его технологических свойств, типа производств, технических требований, экономических и других факторов.

От правильного использования выбора заготовки, т.е. установления ее формы, размеров припусков на обработку, точности размеров и твердости материала, зависящих от способа изготовления заготовки, трудоемкости и в итоге получения себестоимости изготовления в целом. Если заготовка будет достаточно точно и хорошо изготовлена с припусками не более чем это необходимо для обработки, то механическая обработка может быть сведена к минимальному числу операций, минимальной трудоемкости и себестоимости.

При разработке процесса изготовления детали могут быть два принципиальных направления:

- получение заготовки, наиболее приближенной по размерам и форме к готовой детали, где значительная доля трудоемкости на заготовительные цеха, и минимальная на механические.

- получение грубой заготовки с большими припусками, на механическую обработку приходится основная доля трудоемкости и себестоимости изготовления детали.

В зависимости от масштаба и типа производства выбирается то или иное производство или какое-либо промежуточное между ними.

Заготовки можно изготавливать различными способами. Например:

- Поковка – технологический процесс, получения заготовки методомковки нагретого металла в открытых штампах на молотах или ручным инструментом.
- Штамповка - процесс обработки материалов давлением в результате пластической деформации заготовки в закрытых штампах.
- Литье - технологический процесс изготовления заготовки или изделия из различных расплавов, принимающих конфигурацию полости заданной формы и сохраняющих конфигурацию после затвердевания.

- Прокат - технологический процесс изготовления заготовки горячей или холодной прокаткой.

В нашем случае наиболее эффективным способом является получения заготовки методом поковки т.к. данный способ обеспечит наименьший сход материала в стружку, себестоимость заготовки, меньший износ инструментами время на механическую обработку.

5.4.1 Выбор общих припусков и расчет размеров заготовки с допусками

Для экономического сравнения возьмем две заготовки, полученные методом горячей объемной штамповки и проката.

Метод поковки. Припуски и допуски выбираем по ГОСТ 7505-74*. Первоначально определим массу поковки (5.4):

$$M_{п.р} = M_d K_p \quad (5.4)$$

,где $M_{п.р}$ - расчетная масса поковки, кг;

M_d - масса детали, кг (см. п 5.2);

K_p - расчетный коэффициент равный 1,3...1,6

$$M_{п.р} = 2,48 * 1,3 = 3,224 \text{ кг}$$

Сталь 45 удовлетворяет промежутку с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65% включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0% включительно (табл.5.1) соответственно, группа стали – М2. Определим степень сложности, используя формулу (5.5):

$$C = \frac{G_{п}}{G_{ф}} \quad (5.5)$$

где $G_{п}$ — масса поковки, кг;

$G_{ф}$ — масса фигуры, кг.

$$C = \frac{2,48}{4,35} = 0,57$$

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм:

диаметр - 55 (55х 1,05);

длина - 235 (235 х 1,05) (где 1,05 - коэффициент).

Следовательно, степень сложности С2согласно ГОСТ 7505-89

Воспользуемся формулами для определения диаметральных (5.6) и длиновых (5.7) припусков в табл. 5.4

$$D_{\text{заг}} = d_{\text{дет}} \pm 2z, \text{ мм} \quad (5.6)$$

$$L_{\text{заг}} = l_{\text{дет}} + z, \text{ мм} \quad (5.7)$$

,где $D_{\text{заг}}$ — диаметр заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ — диаметр детали, мм;

z - величина припуска, мм;

$L_{\text{заг}}$ — длина заготовки, мм;

$L_{\text{дет}}$ — длина детали, мм.

Таблица 5.4 - Размеры детали и заготовки с допусками

Размеры детали, мм	Размеры заготовки, мм	Размеры заготовки, мм
Ø30h7	$30 + 2z_1 = 38 + 1,4 * 2 = 32,8$	Ø32,8 ^{+1,0} _{-0,5}
Ø35h9	$35 + 2z_2 = 35 + 1,9 * 2 = 38.8$	Ø38.8 ^{+1,0} _{-0,5}

продолжение таблицы 5.4

1	2	3
$\varnothing 40k6$	$40 - 2z_2 = 40 - 1,9 \cdot 2 = 43,8$	$\varnothing 43,8^{+1,0}_{-0,5}$
$\varnothing 55$	$55 + 2z_3 = 55 + 1,5 \cdot 2 = 58$	$\varnothing 58^{+1,0}_{-0,6}$
L235	$235 + z_4 = 235 + 2 \cdot 1,8 = 238,6$	$238,6^{+1,3}_{-0,7}$
L110	$110 + z_5 = 110 + 1,5 = 111,5$	$111,5^{+1,0}_{-0,6}$
L65	$65 + z_6 = 65 + 1,5 = 66,5$	$66,5^{+1,0}_{-0,6}$

В зависимости от глубины полости ручья штампа устанавливается минимальная величина радиуса закругления наружной поковки. В нашем случае, $R_{\min} = 1$

мм. Выбираем значения штамповочных уклонов заготовки для наружных 1° [7]. Далее, определив величину припусков и допускаемых

отклонений, а также радиусы закругления и штамповочные уклоны выполняем чертеж поковки

(рис. 5.3)

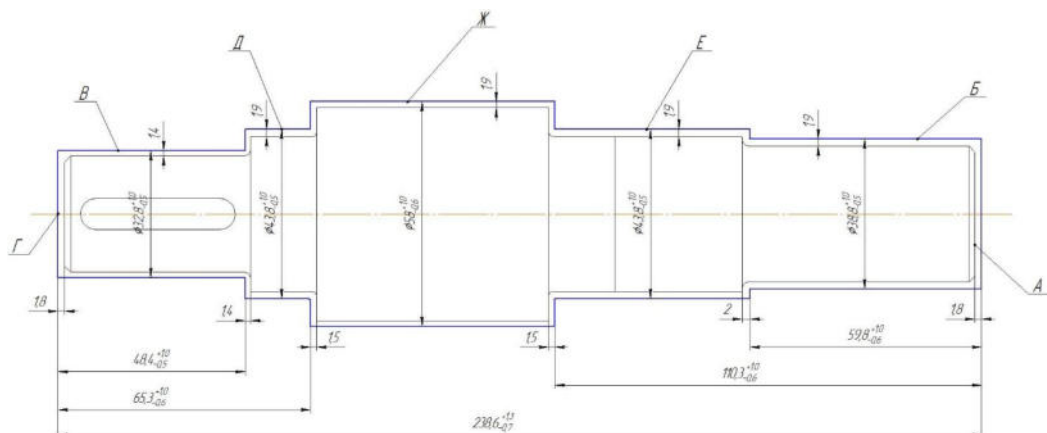


Рисунок 5.3-Чертеж заготовки детали (поковка)

5.4.2 Определение коэффициента использования материала

Коэффициент использования материала вычисляется по следующей формуле (5.8):

$$K_{им} = \frac{G_d}{G_{зп}} \quad (5.8)$$

где: G_d - масса детали, кг;

$G_{зп}$ – расход материала на одну заготовку с учетом технологических потерь, кг.

Масса детали и заготовки вычисляется по следующей формуле (5.9):

$$G = V\rho, \quad \text{кг} \quad (5.9)$$

где: V - объем, м^3 ;

ρ - плотность стали 45, $7825 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Объем цилиндрической фигур высчитывается через формулу (5.10):

$$V = \frac{\pi d^2}{4} l, \quad \text{м}^3 \quad (5.10)$$

Расход материала на одну заготовку с учетом технологических потерь (5.11):

$$G_{зп} = \frac{G_z(100+\Pi)}{100}, \quad \text{кг} \quad (5.11)$$

Годовая экономия материала от выбранного метода получения заготовки с учетом технологических потерь (5.12):

$$\mathcal{E}_{м.н} = (G_{з.п}^{\cdot} - G_{з.п}^{\cdot\cdot})N, \quad \text{кг} \quad (5.12)$$

где $G_{з.п}^{\cdot}$ - расход материала на одну деталь при первом методе получения заготовки, кг;

$G_{з.п}''$ - расход материала на одну деталь при втором методе получения заготовки, кг;

N - программа выпуска деталей, шт.

Стоимость заготовки (5.13):

$$C_{зп} = C_m G_{зп} - (G_{зп} - G_d) \frac{C_{отх}}{1000}, \quad \text{тг} \quad (5.13)$$

где: C_m - цена 1 кг материала заготовки, тг;

$C_{отх}$ - цена 1 т отходов материала, тг.

Таким образом, основываясь на размерах детали, высчитаем объем (рис.5.1):

$$V_d = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad (5.14)$$

Используя формулу (5.13) определяем объем каждой составной части детали:

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} l_1 = \frac{3,14 * 35^2}{4} * 60 = 576975,5 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} l_2 = \frac{3,14 * 40^2}{4} * 50 = 62800 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} l_3 = \frac{3,14 * 27,5^2}{4} * 60 = 142477,5 \text{ мм}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi d_4^2}{4} l_4 = \frac{3,14 * 40^2}{4} * 17 = 21352 \text{ мм}^3$$

$$V_5 = \frac{3,14 * 30^2}{4} * 48 = 33912 \text{ мм}^3$$

Далее находим общий объем детали:

$$\begin{aligned} V_d &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 - V_5 = \\ &= (57697,5 + 62800 + 142477,5 + 21352 + 33912) * 10^{-9} \text{ м}^3 \\ &= 318239 * 10^{-9} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Вычислим массу детали по формуле:

$$G_d = V_d \cdot \rho = 318239 * 10^{-9} * 7,825 * 10^3 = 2,48 \text{ кг}$$

Найдем объем заготовки, полученной методом поковки. Разобьем заготовку на простые фигуры .

Объем заготовки вычислим таким же образом, только с учетом припусков:

$$V_3 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

Используя формулу (5.12) определяем объем каждой составной части заготовки:

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} l_1 = \frac{3,14 * 32,8^2}{4} * 48 = 40537,65 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} l_2 = \frac{3,14 * 43,8^2}{4} * 17 = 51203,16 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} l_3 = \frac{3,14 * 58^2}{4} * 60 = 158444,4 \text{ мм}^3$$

$$V_4 = \frac{3,14 * 43,8^2}{4} * 33 = 49697,18 \text{ мм}^3$$

$$V_5 = \frac{3,14 * 38,8^2}{4} * 60 = 70906,224 \text{ мм}^3$$

Далее находим общий объем заготовки:

$$V_3 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 = 370788,43 * 10^{-9} \text{ м}^3$$

Вычислим массу заготовки (штамповка) с учетом припусков по формуле:

$$G_3 = V_3 \cdot \rho = 370788,43 * 10^{-9} \text{ м}^3 * 7,825 * 10^3 = 2,89 \text{ кг}$$

Вычислим расход материала на одну заготовку с учетом технологических потерь по формуле.

Для ПОКОВКИ:

$$G_{\text{зп}} = \frac{2,89 * (100 + 10)}{100} = 3,179 \text{ кг}$$

где: П– технологические потери (для объемной горячей штамповки составляет 10%, для проката 15%[3]).

Вычислим коэффициент использования материала по формуле.

$$K_{\text{им}} = \frac{2,48}{3,179} = 0,78$$

Определим годовую экономию материала от выбранного метода получения заготовки с учетом технологических потерь по формуле:

$$Э_{\text{м.н}} = (3,179 - 2,48) * 50\,000 = 34950 \text{ кг}$$

Вычислим стоимость одной заготовки по формуле:

Для поковки

$$C_{\text{зп}} = 112,191 * 3,179 - (3,179 - 2,48) * \frac{112191}{1\,000} = 278,22 \text{ тг}$$

5.5 Разработка технологического процесса изготовления детали

5.5.1 Выбор технологических баз

Важным вопросом при разработке технологических процессов обработки является вопрос правильного выбора базирования (установки) деталей на станке. От способа установки зависят точность обработки заготовки, надежность обработки (вероятность появления брака) и величина вспомогательного времени.

При механической обработке заготовок на станках, базированием принято считать, придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

Базами являются поверхности, линии, точки и их совокупности, служащие для ориентации детали (или заготовки) на станках, для расположения деталей в узле или изделия, для измерения детали.

Первоначально определимся с черновой технологической базой. В качестве черновой технологической базы следует выбрать поверхность B заготовки (рис.5.3), т.к. данная поверхность позволяет обработать будущую чистовую технологическую базу A и способствует обработке торцевой поверхности с образованием фаски. Чистовая технологическая база A также совмещает в себе измерительную базу, т.е. соблюдается принцип совмещения баз, что позволяет указать на значение погрешности базирования $\varepsilon_b = 1$. Все дальнейшие технологические операции будут проходить, базирясь на технологических базах A и B при обработке заготовки.

5.5.2 Выбор вида и последовательности обработки отдельных поверхностей

Виды и последовательность обработки отдельных поверхностей детали выбираются с учетом точности и шероховатости поверхности.

Для выбора последовательности механической обработки нужно ориентироваться на типовые технологические процессы, рекомендации справочной литературы, а также пользоваться заводскими технологическими процессами на обработку аналогичных деталей. Промежуточные припуски и допуски для каждой операции определяют, начиная от финишной операции к начальной, т.е. в направлении, обратном ходу технологического процесса обработки заготовки.

Заготовка устанавливается на поверхность Б, которая является черновой технологической базой (рис.5.3).Первоначальной обработки подвергнется торцевая поверхность А заготовки. Она будет являться чистовой технологической базой. В ходе обработки торцевая поверхность А подвергается черновой токарной обработке (подрезание), достигая при этом нужной шероховатости $R_z=50\text{мкм}$ со следующим образованием фаски. Следующий этап - переход закрепления заготовки на чистовую технологическую базу Б.Обрабатывается торцевая поверхность А черновой токарной обработкой (подрезание) с последующим растачиванием фасок.

Заготовка устанавливается на торцевую поверхность А и подвергается токарной получистовой обработке наружной цилиндрической поверхности В, а также подрезанию торцевой поверхности.

Наружная цилиндрическая поверхность В заготовки подвергается горизонтально-фрезерной обработке в результате, которой образовывается шпоночный паз (рис. 5.1) при помощи концевой шпоночной фрезы с цилиндрическим хвостовиком. Завершающий этап –окончательный контроль.

Последующие операции идут шлифовальные. Технологической базой является торцевая поверхность А.Обработка наружной цилиндрической по-

верхности В круглошлифовальным станком до значения шероховатости $R_a=1,25$ мкм. Далее крепление заготовки на торцевая базовую поверхность Г. Обработка наружной цилиндрической поверхности Б круглошлифовальным станком до значения шероховатости $R_a=2,5$ мкм.

5.5.3 Разработка технологического маршрута обработки

Разработка маршрутного технологического процесса механической обработки являются основой всего курсового проекта.

Обязательным условием для составления техпроцесса является наличие чертежа, на котором обозначены все размеры, технические условия и название детали, которое определяет ее назначение.

От правильности и полноты разработки маршрутного технологического процесса зависят организация производства и дальнейшие технико-экономические расчеты.

Маршрут изготовления детали устанавливается последовательностью выполнения технологических операций; в первую очередь следует обрабатывать поверхности заготовки, которые являются базами для дальнейшей обработки; затем следует обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольший припуск, т.к. при этом легче обнаружить дефекты заготовки (раковины, включения, трещины) и освободиться от внутренних напряжений, вызывающих деформации; операции, где существует вероятность появления брака из-за дефектов в материале или сложности механической обработки, должны выполняться в начале процесса; далее последовательность операций устанавливается в зависимости от требуемой точности поверхности: чем точнее должна быть поверхность, тем позднее она должна обрабатываться, т.к. обработка каждой последующей поверхности может вызвать искажение ранее обработанной поверхности; поверхности, которые должны быть наиболее точными, обрабатываться последними; этим исключается или уменьшается возможность изме-

нения размеров и повреждения, окончательно обработанных поверхностей; совмещение черновой и чистовой обработки на одном и том же станке может привести к снижению точности обработанной поверхности вследствие влияния значительных сил резания и сил зажима при черновой обработке и большего изнашивания деталей станка.

На основе анализа исходной информации и вышеуказанной информации составляется технологическая схема изготовления детали вала (табл. 5.5).

Таблица 5.5-Технологическая схема изготовления детали вала

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции, технологические базы	Станок
005	Токарная (черновая) Подрезание торцевой поверхности Г и образование фаски на торце заготовки (рис. 3). Обтачивание наружной цилиндрической поверхности В,Д,Ж и образование радиуса скругления R1. Технологическая база – торцевая поверхность А	Токарный-винторезный станок 1К62
010	Токарная (черновая) Подрезание торцевой поверхности А и растачивание фасок. Обтачивание наружной цилиндрической поверхности Б,Е. Технологическая база - торцевая поверхность Г и А	Токарный-винторезный станок 1К62

015	Токарная (Чистовая) Обтачивание наружной цилиндрической поверхности В,Д,Ж. Подрезание торцевой поверхности Г. Технологическая база - торцевая поверхность А и Г.	Токарный- винторезный станок 1К62
020	Токарная (чистовая) Обтачивание наружной цилиндрической поверхности Б.Е. Подрезание торцевой поверхности А. Технологическая база - торцевая поверхность Г и А	Токарный- винторезный станок 1К62
025	Фрезерная (чистовая) Фрезерование наружной цилиндрической поверхности В для образования шпоночного паза. Технологическая база - торцевые поверхности А и Г.	Консольно-фрезерный горизонтальный 6Т82
030	Шлифование (чистовая) Шлифование торцевых и наружной цилиндрических поверхностей. Технологическая база - торцевая поверхность А и Г.	Круглошлифовальный станок 3Б151
035	Моечная	Моечная машина
040	Контроль окончательный	ИЩ-I-150

5.5.4 Выбор технологического оборудования

Выбор станочного оборудования является одной из важнейших задач при разработке технологического процесса механической обработки заготовки. От правильного его выбора зависит производительность изготовления детали, экономное использование производственных площадей, механизации и автоматизации ручного труда, электроэнергии и в итоге себестоимость изделия. Выбор каждого вида станка должен быть экономически обоснованным.

При выборе станочного оборудования необходимо учитывать:

- характер производства;
- методы достижения заданной точности при обработке;
- соответствие станка размерам детали;
- удобство управления и обслуживания станка;
- наименьшая затрата времени на обработку.

В случае решения вопроса о том, какой станок выбрать для выполнения данной операции, следует произвести технико-экономическое сравнение обработки данной детали на разных станках и принять ту модель станка, которая обеспечивает наименьшую трудоемкость и наименьшую себестоимость обработки.

В таблицах 5.6, 5.7 и 5.8 приводятся технические характеристики станков 1К62, 3Б151, 6Т82.

Токарно-винторезный станок 1К62 является универсальным станком и предназначен для выполнения разнообразных токарных работ, в том числе для нарезания левых и правых резьб. может использоваться для обработки закаленных заготовок, так как шпиндель станка установлен на специальных подшипниках, обеспечивающих его жесткость. Токарная обработка разнообразных материалов может производиться с ударной нагрузкой без изменения точности

обработки. Станок отличается превосходное сочетание качества работы и неприхотливость в обслуживании

5.5.5 Разработка технологических операций

Разработка технологических операций производится после разработки технологического процесса. Обязательным для составления технологического процесса является наличие чертежа, на котором обозначены все размеры, технические условия и название детали. При разработке технологического процесса необходимо выбрать и обосновать заготовку, определить общий припуск на заготовку,

На поле операционного эскиза обрабатываемая деталь показывается в том состоянии, которое она приобретает в результате выполнения данной операции.

Обрабатываемые поверхности детали на операционном эскизе делаются сплошной линией толщиной 2S...3S по ГОСТ 2.303.

На эскизе указываются все данные, необходимые для выполнения операции: размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости поверхности, технические требования и др. В содержании технологической операции необходимо указывать все элементы операции, выполняемые в технологической последовательности при обработке детали. Запись содержания переходов производится в соответствии с ГОСТ 3.1702. Форма записи содержания перехода включает: ключевое слово, например: точить, сверлить, фрезеровать, шлифовать и др; наименование предметов производства обрабатываемых поверхностей, конструктивных элементов, например: поверхность, канавку, контур, торец и др.

При наличии графической информации, т.е. операционного эскиза, выполняется сокращенная форма записи со ссылкой на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изделия, условное обозначение на

операционном эскизе выполняется арабскими цифрами, которые ставят в кружках диаметр 6...8 мм и соединяют их линией с обрабатываемой поверхностью.

На эскизе должны быть изображены установочные и зажимные элементы приспособлений и связь приспособления со станком.

5.5.6 Размерный анализ технологических процессов

Чертеж исходной заготовки отличается от чертежа готовой детали прежде всего тем, что на всех обрабатываемых поверхностях предусматриваются припуски, соответственно изменяющие размеры, а иногда и форму заготовки.

Общим припуском на обработку называется слой материала, удаляемый с поверхности исходной заготовки в процессе механической обработки с целью получения готовой детали.

Операционный припуск – это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции.

Операционный припуск равняется сумме промежуточных припусков, т.е. припусков на отдельные переходы, входящие в данную операцию.

Минимальный операционный припуск – разность наименьшего предельного размера до обработки и наибольшего предельного размера после обработки на данной операции.

Максимальный операционный припуск – разность наибольшего предельного размера до обработки и наименьшего предельного размера после обработки на данной операции.

Допуск припуска – это разность между максимальным и минимальным значениями размера припуска.

Номинальный (расчетный) операционный припуск – разность номинальных размеров изделия до и после обработки на данной операции.

5.5.7 Расчет припусков на механическую обработку

Минимальный припуск на обработку заготовки

для поверхностей типа тел вращения (наружных и внутренних):

$$2Z_{\min} = 2(R_z + T + \sqrt{\rho^2 + \varepsilon^2}) \quad (5.15)$$

для плоских поверхностей:

$$Z_{\min} = R_z + T + \rho + \varepsilon \quad (5.16)$$

где: R_z – высота микронеровностей поверхности, оставшихся при выполнении предшествующего технологического перехода, мкм;

T – глубина дефектного поверхностного слоя, оставшихся при выполнении предшествующего технологического перехода, мкм;

ρ – суммарные отклонения расположения, возникшие на предшествующем технологическом переходе, мкм;

ε – величина погрешностей установки заготовки при выполняемом технологическом переходе, мкм.

Значения R_z и T устанавливаются из табличных данных [7].

Максимальный припуск на обработку заготовки

для поверхностей типа тел вращения (наружных и внутренних):

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + \delta_{Dn} - \delta_{Dв} \quad (5.17)$$

для плоских поверхностей:

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \delta_{Dn} - \delta_{Dв} \quad (5.18)$$

где δ_{Dn} – допуск на размер на предшествующем переходе, мм;

$\delta_{Dв}$ – допуск на размер на выполняемом переходе, мм.

Суммарные отклонения расположения заготовки определяются по формуле:

$$\rho_o = \sqrt{\rho_{om}^2 + \rho_{ц}^2} \quad (5.19)$$

где ρ_{om} - величина отклонения расположения (местная или общая), мкм;

$\rho_{ц}$ - величина отклонения расположения заготовки при центровке, мкм.

Погрешность установки на заготовку определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{б}^2 + \varepsilon_{зк}^2} \quad (5.20)$$

где $\varepsilon_{б}$ – погрешность базирования, мкм;

$\varepsilon_{зк}$ – погрешность закрепления заготовки, мкм.

Минимальные (максимальные) промежуточные размеры определяют методом прибавления (для валов) или вычитания (для отверстий) минимальных (максимальных) значений промежуточных припусков:

$$D_{\min} = D_{\min i} \pm 2Z_{\min i} \quad (5.21)$$

$$D_{\max} = D_{\max i} \pm 2Z_{\max i} \quad (5.22)$$

где $D_{\max i}$, $D_{\min i}$ – предельные размеры поверхностей по операциям (переходам), мм;

$2Z_{\max i}$, $2Z_{\min i}$ - предельные (округленные) в сторону увеличения согласно степени точности припуски на операцию (переход), мм.

Расчет припусков. Определим операционные припуски и размеры при обработке поверхности Б (рис. 5.3) $\varnothing 38,8^{+1,0}_{-0,5}$.

Вычисляем величину отклонения расположения заготовки:

$$\rho_{om} = 2\Delta_y L_k \quad (5.23)$$

где Δ_y – величин удельного отклонения расположения, мкм/мм. Устанавливается из табличных значений [7];

L_k - расстояние от сечения, для которого определяют величину отклонения расположения до места крепления заготовки, мм. ($L_k \leq 0,5L$, L – длина заготовки)

$$\rho_{ом} = 2 * 1,5 * 0,5 * 58,9 = 89,7 \text{ мкм}$$

Определим величину расположения заготовки при зацентровке:

$$\rho_{ц} = 0,25\sqrt{\delta_3^2 + 1} \quad (5.24)$$

где δ – допуск на диаметр базовой поверхности заготовки, использованной при центровке, мм.

$$\rho_{ц} = 0,25\sqrt{1,5^2 + 1} = 0,450 \text{ мм}$$

Определим суммарное отклонение расположение заготовки по формуле :

$$\rho = \sqrt{89,7^2 + 450^2} = 458 \text{ мкм}$$

Вычислим погрешность установки на заготовку по формуле :

$$\varepsilon = \sqrt{1 + 300^2} = 301 \text{ мкм}$$

$\varepsilon_б = 1$, т.к. технологическая и измерительная базы совпадают.

$\varepsilon_{зк} = 300$ мм. Устанавливается из табличных значений [7].Рассчитаем минимальный припуск на черновую токарную обработку по формуле:

$$2Z_{min} = 2(150 + 200 + \sqrt{458^2 + 301^2}) = 1796 \text{ мкм}$$

Определим максимальный припуск на черновую токарную обработку по формуле (5.22):

$$2Z_{\max} = 1\,796 + 900 - 740 = 1\,956 \text{ мкм}$$

Определяем величину остаточного суммарного расположения заготовки после выполнения перехода (операции):

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \rho \quad (5.25)$$

где K_y —коэффициент уточнения;

ρ - суммарное отклонение расположения заготовки.

$$\rho_{\text{ост}} = 0,06 * 458 = 27,48 \text{ мкм}$$

Определяем величину погрешности установки при чистовой токарной обработке поверхности заготовки:

$$\varepsilon_{y.ч} = K_y \varepsilon \quad (5.26)$$

где K_y —коэффициент уточнения;

ε - погрешность установки на заготовку.

$$\varepsilon_{y.ч} = 0,06 * 301 = 18,6 \text{ мкм}$$

При последующей обработке поверхности детали погрешности установки из-за малости ее величины в расчет не принимаем.

Вычислим расчетный минимальный и максимальный припуски на полу-чистовую обработку поверхности детали по формулам:

$$2Z_{\min} = 2(30 + 30 + \sqrt{27,48^2 + 18,6^2}) = 186 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max} = 186 + 740 - 190 = 736 \text{ мкм}$$

Рассчитаем расчетный минимальный и максимальный припуски на шлифовальную обработку поверхности детали по формулам:

$$2Z_{\min} = 2(5 + 15) = 40 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max} = 40 + 190 - 46 = 184 \text{ мкм}$$

Определим промежуточные расчетные размеры по обрабатываемым поверхностям:

$$D_{\text{р.шлиф}} = 35 + 0,04 = 35,04 \text{ мм}$$

$$D_{\text{р.получ}} = 35,04 + 0,175 = 35,215 \text{ мм}$$

$$D_{\text{р.з}} = 35,215 + 1,631 = 36,846 \text{ мм}$$

Вычислим минимальные промежуточные размеры по формуле (5.21):

$$D_{\text{minшлиф}} = 34,954 + 0,04 = 34,994 \text{ мм}$$

$$D_{\text{minполуч}} = 34,994 + 0,175 = 35,169 \text{ мм}$$

$$D_{\text{minзаг}} = 35,169 + 1,631 = 36,800 \text{ мм}$$

Рассчитаем максимальные предельные промежуточные размеры по формуле (5.22):

$$D_{\text{махшлиф}} = 35 + 0,184 = 35,184 \text{ мм}$$

$$D_{\text{махполуч}} = 35,184 + 0,725 = 35,909 \text{ мм}$$

$$D_{\text{махзаг}} = 35,909 + 2,391 = 38,300 \text{ мм}$$

Результаты расчетов припусков, допусков и промежуточных размеров по технологическим операциям вносим в табл.5.6

Таблица 5.6 – Расчет припусков, допусков и промежуточных размеров по технологическим операциям

Вид заготовки и технологические операции	Точность обработки	Допуск на размер δ , мм	Элементы припуска, мм				Промежуточные размеры, мм		Промежуточные припуски, мм	
			Rz	T	ρ	ε	D_{max}	D_{min}	Z_{max}	Z_{min}
Штамповка	-	1,5	150	200	458	-	38,300	36,800	-	-

продолжение таблицы 5.6

Токарная		0,74	30	30		301	35,90	35,169		1,631
Черновая	12	0,19	15	15	27,48	18,0	93	3	2,391	0,175
чистовая	10				-	6	5,184	5,994	0,725	
Шлифова- ние чисто- вое	7	0,046	5	15	-	-	35	34,954	0,184	0,04

5.5.8 Расчет режимов резания

Для того чтобы обработать заготовку резанием и получить в результате этого обработанные поверхности той или иной детали, заготовка и применяемый режущий инструмент должны совершать определенные движения. Эти движения разделяются на основные (служащие для осуществления процесса резания) и вспомогательные (служащие для подготовки к процессу резания и для завершения операции).

Основные два движения: движение резания (или главное движение) и движение подачи.

При обработке на токарном станке движения резания – вращательное – совершает заготовка, тем или иным способом скрепленная со шпинделем станка, а движение подачи – поступательное – получает режущий инструмент (резец), жестко закрепленный в резцедержателе.

Движение резания позволяет осуществлять процесс резания (образования стружки), движение подачи же дает возможность вести этот процесс (обработку) по всей длине заготовки.

Глубина резания (t) – величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности. Глубина резания всегда перпендикулярна направлению движения подачи.

Скорость резания (v) – величина перемещения точки режущей кромки относительно поверхности резания в процессе осуществления движения резания.

При продольно точении скорость резания имеет постоянную величину на протяжении всего времени резания (или диаметр заготовки вдоль всей ее длины одинаков, а частота вращения неизменна). При подрезке торцов, когда резец перемещается от периферии к центру, скорость резания при постоянной частоте вращения переменна. Она имеет большое значение у периферии и равна нулю в центре.

Переменной вдоль обработанной поверхности скорость резания будет и при отрезке. Однако в этих случаях учитывают максимальную скорость резания.

Подача (S) – величина перемещения режущей кромки относительно обработанной поверхности в единицу времени в направлении движения подачи. При токарной обработке может быть продольная подача, когда резец перемещается в направлении параллельном оси заготовки: поперечная подача, когда резец перемещается в направлении, перпендикулярном оси заготовки наклонная подача-под углом к оси заготовки (например, при точении конической поверхности).

5.5.8.1 Исходные данные

Деталь - Вал

Операция –Обточка наружной цилиндрической поверхности Б (рис. 3), черновая

Обрабатываемый материал – Сталь конструкционная качественная $45\sigma_B=72\text{кГ/мм}^2$

Характер заготовки – поковка $\emptyset 58 \times 238,6$

Вес заготовки – 2,89 кг

Станок – Токарный-винторезный 1К62

Инструмент – резец проходной, $\varphi=45^\circ$, Т5К10, 1 шт.

Паспортные данные станка 1К62: число оборотов шпинделя n в минуту – 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 830; 1060; 1250; 1600; 200.

Подачи продольные S в мм/об - 0,07; 0,074; 0,084; 0,097; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,17; 0,21; 0,26; 0,34; 0,39; 0,43; 0,47; 0,52; 0,61; 0,78; 1,04; 1,9; 2,08; 2,8; 3,12; 3,8; 4,16.

Наибольшая сила, допускаемая механизмом продольной подачи - 360 кг.

Мощность электродвигателя - 10 кВт.

По величине общего припуска на обработку 1,9 мм (на сторону) с учетом необходимости оставления припуска на получистовую обработку и шлифование $t=0,35$ мм устанавливается глубина резания $t=1,55$ мм для обработки по наружному диаметру $\varnothing 38,8$ мм.

По карте 1 [8] определяется подача, величина которой для обработки стали резцом с размером державки 20x32 мм при точении детали диаметром до 40 мм с глубиной резания $t=3$ мм рекомендуется в пределах 0,4-0,5 мм/об.

Принимается среднее значение подачи $S=0,45$ мм/об. Ближайшее значение подачи по паспорту станка $S=0,47$ мм/об, которое и принимается для работы. Выбранная подача сопоставляется с паспортными данными станка. Принятая для работы подача проверяется по осевой силе резания, допускаемой прочностью механизма подач.

По карте 6[8] определяется скорость резания. Для обработки стали $\sigma_B=61$ кГ/мм² с $t=1,9$ мм, $S=0,47$ мм/об скорость резания для работы резцом с углом в плане $\varphi=45^\circ$ составляет 73 м/мин.

По установленной скорости резания определяется число оборотов шпинделя; оно равно:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

где v – скорость резания, м/мин;

D –наибольший диаметр поверхности резания, мм;

n –частота вращения шпинделя, об/мин.

$$n = \frac{1000 * 73}{3,14 * 38,8} = 599 \text{ об/мин}$$

Найденное число оборотов корректируется по паспорту станка; подбирается ближайшее значение для перехода. Принимаем для перехода число оборотов $n=630$ об/мин.

Находим фактическую скорость резания:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

$$v = \frac{3,14 * 38,8 * 630}{1000} = 76 \text{ м/мин}$$

По карте 7 [8] определяется мощность, потребляемая на резание. Для обработки стали $\sigma_b = 61 \text{ кГ/мм}^2$ с $t=1,9$ мм, $S=0,47$ мм/об, $v=73$ м/мин мощность, потребляемая на резание для работы резцом с углом в плане $\phi=45^\circ$ составляет 2,4 кВт, т.е. меньше, чем допускается механизмом станка ($N=55 \text{ кВт}$).

Следовательно, выбранная мощность по станку не лимитирует режим резания.

Основное (технологическое) время на переход при точении определяем по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{S_M} i = \frac{l+l_1+l_2}{nS} i$$

где L – длина пути, проходимого инструментом в направлении подачи, в мм;

l –длина обрабатываемой поверхности в мм;

l_1 – величина врезания и перебега инструмента в мм, рассчитываемая исходя из конструкции режущих элементов инструмента, вида и условий обработки.

l_2 – дополнительная длина на взятие пробной стружки в мм (5-10 мм);

n – число оборотов шпинделя в минуту;

S_M – подача инструмента в мм за 1 мм;

S – подача инструмента в мм/об (при нагревании резьбы равна шагу резьбы);

i – число проходов.

Значения подачи инструмента $S=1,09$ мм/об, число оборотов шпинделя $n=556$ об/мин и число проходов $i=1$ были установлены в расчетах на определение режима резания. Длина пути, проходимого инструментом в направлении подачи составляет $l=32,55$ мм (рис. 3)[8]. Величина врезания и перебега определяется из приложения 4 [8]. Тип резца – проходной, $\phi=45^\circ$, глубина резания $t=1,0$ мм соответственно значение величины врезания и перебега принимается $l_1=2$ мм. Дополнительную длину на взятии пробной стружки примем равным $l_2=5$ мм. Определим основное (технологическое) время на переход при обточке по формуле (4.16):

$$t_0 = \frac{61,8 + 2 + 5}{630 * 0,47} = 0,21 \text{ мин}$$

Определим вспомогательное время [2]:

$$T_{\text{в}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}}$$

,где $T_{\text{у.с}}$ – время на установку и снятие детали, мин;

$T_{\text{з.о}}$ – время на закрепление и открепление детали, мин;

$T_{\text{уп}}$ – время на приемы управления, мин;

$T_{\text{из}}$ – время на обслуживание рабочего места, мин.

В качестве крепления заготовки используем патрон с зажимом крепления:

$$T_{\text{в}} = 0,08 + 0,024 + 0,01 + 1,5 = 1,641 \text{ мин}$$

Вычислим оперативное, дополнительное и штучное время:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}}$$

$$T_{\text{оп}} = 0,065 + 1,641 = 1,679 \text{ мин}$$

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{об}} + T_{\text{от}} = 0,17T_{\text{оп}}$$

$$T_{\text{доп}} = 0,17 * 1,679 = 0,28 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{доп}}$$

$$T_{\text{шт}} = 1,679 + 0,28 = 1,959 \text{ мин}$$

5.5.8.2 Исходные данные

Деталь - Вал

Операция – Шлифование наружной цилиндрической поверхности Б
(рис. 3)

Обрабатываемый материал – Сталь конструкционная качественная 45 $\sigma_{\text{в}} = 61 \text{ кГ/мм}^2$

Характер заготовки –поковка $\varnothing 58 \times 238,6$

Вес заготовки – 2,89 кг

Станок –Круглошлифовальный 3Б151

Инструмент –круг шлифовальный с размерами 32x125

Паспортные данные станка 3Б151: высота центров над столом – 110 мм.

Мощность привода шлифовального круга – 7,5 кВт;

По величине общего припуска на обработку 1,9 мм (на сторону) устанавливается глубина шлифования $t=0,05$ мм для обработки по наружному диаметру $\varnothing 38,8$ мм.

По карте 6 [8] определяют число оборотов детали.

Для поверхности Б (рис.3) [8] $D_d=130$ мм, $n_d=63-400$ об/мин. Принимаем по паспорту станка $n=167$ об/мин.. Определим при данном значении числа оборотов детали скорость вращения детали по формуле (4.15):

$$v_d = \frac{3,14 * 130 * 80}{1000} = 32,65 \text{ м/мин}$$

По разделу II карты 6 [8] находим продольную подачу:

$$S_B = (0,25 - 0,5) D_d$$

$$S_B = 0,5 * 130 = 80 \text{ мм/об}$$

По разделу III карты 6 [7] находим поперечную подачу при обработке поверхности:

$$S_{t_x} = 0,0028 \text{ мм/ход}$$

С учетом поправочного коэффициента для припуска на диаметр $h=0,05$ мм:

$$S_{t_x} = 0,0028 * 0,8 = 0,00224 \text{ мм/ход}$$

Определим мощность, потребляемую на шлифование:

$$N = 1,44(v_d S_B S_{t_x})^{0,7} K_1 K_2$$

где K_1 и K_2 — поправочные коэффициенты, определяемые по карте 5 [8].

$$N = 1,44 * (32,65 * 80 * 0,00224)^{0,7} * 1 * 1 = 4,95 \text{ кВт}$$

Мощность, потребляемая на шлифование составляет 3,64 кВт, т.е. меньше, чем допускается механизмом станка ($N=7,5$ кВт).

Следовательно, выбранная мощность по станку не лимитирует режим резания.

Определим основное (технологическое) время на шлифование поверхности:

$$t_0 = \frac{A}{W} = C_T D_d l_d h$$

где A – объем металла, снимаемого с обрабатываемой поверхности при шлифовании, в мм^3 ;

W – минутный съем металла в $\text{мм}^3/\text{мин}$;

C_T – коэффициент пропорциональности, среднее значение которого для круглого наружного и внутреннего шлифования приблизительно составляет 0,05 – 0,07.

$$t_0 = 0,05 * 80 * 32,55 * 0,05 = 6,51 \text{ мин}$$

Определим вспомогательное время [8] по формуле (4.17):

В качестве крепления заготовки используем самоцентрирующийся патрон с пневматическим зажимом крепления:

$$T_{\text{в}} = 0,08 + 0,024 + 0,01 + 3,0 = 3,114 \text{ мин}$$

Вычислим оперативное, дополнительное и штучное время по формулам (4.18-4.20):

$$T_{\text{оп}} = 6,51 + 3,114 = 9,624 \text{ мин}$$

$$T_{\text{доп}} = 0,17 * 9,624 = 1,636 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 9,624 + 1,636 = 11,26 \text{ мин}$$

5.5.8.3 Исходные данные

Деталь - Вал

Операция – Фрезерование наружной цилиндрической поверхности В (рис. 3), чистовое.

Обрабатываемый материал – Сталь конструкционная качественная 45, $\sigma_B = 61 \text{ кГ/мм}^2$

Характер заготовки – горячая штамповка $\varnothing 58 \times 238,6$

Вес заготовки – 0,84 кг

Станок - Консольно-фрезерный горизонтальный 6Т82

Инструмент –Концевая шпоночная фреза с цилиндрическим хвостовиком, $D=8 \text{ мм}$, $Z=5$, $b=8 \text{ мм}$ $P=18$, 1 шт.

Паспортные данные станка 6Т82:

Размеры рабочей поверхности стола, мм – 320×1250 ;

Пределы частот вращения шпинделя, мин^{-1} – $31,5 \dots 1600$;

Пределы продольных и поперечных подач стола, мм/мин – $12,5 \dots 1600$.

Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт – 7,5

По величине общего припуска на обработку для образования шпоночного паза устанавливается глубина резания $t=7 \text{ мм}$.

По карте 161 [8] определяем подачу на один зуб фрезы S_Z .

Для обработки стали 45 $\sigma_B = 61 \text{ кГ/мм}^2$ фрезой, оснащенной твердым сплавом марки P18 при работе станка с концевой фрезой $D=8 \text{ мм}$, $Z=5$, $b=8 \text{ мм}$ и $t=4 \text{ мм}$ устанавливается соответственно подача на один зуб фрезы $S_Z=0,018-0,012 \text{ мм/зуб}$. Примем среднее значение подачи на один зуб $S_Z=0,015 \text{ мм/зуб}$.

По карте 162 [8] определим скорость резания, число оборотов фрезы и минутную подачу. Для обработки шпоночного паза концевой фрезой с нормальными зубьями, $\frac{D}{Z} = \frac{16}{4}$, $b=16 \text{ мм}$, $h=10-25 \text{ мм}$ и $S_Z=0,045 \text{ мм/зуб}$ табличные

значения соответствуют скорости резания $v = 35$ м/мин, числу оборотов в минуту $n = 690$ и минутной подаче $S_M = 112$ мм/мин.

По карте 120 [8] определяется поправочный коэффициент, зависящий от механической характеристики стали. Для обработки стали $\sigma_b = 61 \text{ кГ/мм}^2$ этот коэффициент равен 0,9; тогда с учетом поправочного коэффициента:

$$v = 35 * 1 = 35 \text{ м/мин}$$

$$n = 690 * 1 = 690 \text{ об/мин}$$

$$S_M = 112 * 1 = 112 \text{ мм/мин}$$

Выбранный режим резания корректируется по паспорту станка: подбираются ближайшие значения n и S_M . Устанавливается $n = 710$ об/мин и $S_M = 100$ мм/мин. Отсюда после корректирования находим фактические скорость резания (4.15) и подачу на один зуб фрезы:

$$v = \frac{3,14 * 8 * 710}{1000} = 17,835 \text{ м/мин}$$

$$S_Z = \frac{S_M}{nZ}$$

где S_M —минутная подача, мм/мин;

n —число оборотов, об/мин;

Z — число зубьев фрезы.

$$S_Z = \frac{100}{710 * 5} = 0,028 \text{ мм/зуб}$$

Проверяем выбранный режим по мощности. По карте 163 [8] определяем мощность, потребная на резание. При обработке стали $\sigma_b = 61 \text{ кГ/мм}^2$, $S_Z = 0,028$ мм/зуб, $b = 8$ мм, $h = 10$ мм, $S_M = 112$ мм/мин фрезой, мощность, потребная на резание, составляет 1,5 кВт, т.е. меньше, чем допускается механизмом станка ($N = 7,5$ кВт).

Следовательно, установленный режим резания по мощности осуществим.

Определим основное (технологическое) время по формуле (4.16):

$$t_0 = \frac{25 + 11 + 10}{100} = 0,46 \text{ мин}$$

Определим вспомогательное время [8] по формуле (4.17):

$$T_{\text{в}} = 0,24 + 0,024 + 0,02 + 1,8 = 2,084 \text{ мин}$$

Вычислим оперативное, дополнительное и штучное время по формулам (4.18-4.20):

$$T_{\text{оп}} = 0,46 + 2,084 = 2,544 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{доп}} = 0,17 * 2,544 = 0,432 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{шт}} = 2,544 + 0,432 = 2,96 \text{ мин.}$$

6 РАЗРАБОТКА ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

6.1 Токсичность дизельных двигателей

Если сравнивать содержание основных токсичных компонентов в отработавших газах бензиновых и дизельных двигателей, то можно сделать вывод, что оксида углерода в отработавших газах дизелей в 10-25 раз меньше, чем в бензиновых ДВС, при примерно одинаковом содержании оксидов азота и меньшем содержании углеводородов.

Основные особенности горения, состав продуктов сгорания, воздействие их на человека и способы снижения токсичности отработавших газов изложены ниже.

а) дизельное топливо:

Дизельное топливо характеризуется более высокой температурой кипения, чем бензин. В дизеле отводится меньше времени на приготовление топливо-воздушной смеси, что является одной из причин ее меньшей однородности. Дизели всегда работают на бедных смесях ($\alpha > 1$); недостаточное количество воздуха в смеси приводит к увеличению выброса сажи, СО и СН.

б) процесс сгорания:

Сгорание начинается при впрыскивании топлива через форсунку. Время впрыскивания оказывает основное влияние на эффективный к.п.д. двигателя. Повышение температуры сгорания увеличивает образование в отработавших газах оксидов азота (NO_x).

в) оксид углерода СО:

Оксид углерода образуется в результате незавершённости процесса горения и концентрация СО во многом определяется коэффициентом избытка воздуха α . В связи с особенностями организации рабочего процесса

(обеднённая смесь), концентрация СО в продуктах сгорания дизелей в среднем на порядок ниже, чем концентрация СО в бензиновом двигателе.

При попадании СО в организм человека, СО объединяется с гемоглобином крови, тем самым препятствуя насыщению организма кислородом. При вдыхании большой концентрации оксида углерода может произойти летальный исход.

г) оксиды азота NO_x :

NO_x образуется во фронте пламени и в зоне догорания. Наиболее благоприятными условиями образования оксидов азота являются зоны повышенных температур ($> 2000 \text{ K}$). В дизелях максимальное образование оксидов азота наблюдается в тех локальных зонах, которые сгорают первыми и длительное время находятся в зоне высоких температур.

Оксиды азота воздействуют на нервную систему, слизистую оболочку глаз и способствуют образованию бурого смога в атмосфере.

д) сажа:

Сажеобразование происходит в результате процессов термического пиролиза, то есть разложения углеводородов горючего при $T > 1600 \text{ K}$ в отсутствие окислителя. Наиболее благоприятным диапазоном сажеобразования является диапазон $\alpha = 0,3 \div 0,7$. Наличие переобогащённых локальных зон характерно для диффузионного горения, реализуемого в дизеле. В предварительно перемешанных смесях (гомогенное горение), характерных для бензиновых двигателей, сажа образуется при работе на богатых смесях. Образование сажи зависит также от сорта топлива и от давления.

Сажа является механическим загрязнителем организма человека. Основная опасность заключается в способности сажевых частиц поглощать и переносить канцерогенные вещества, в частности, бензапирен, вызывающий онкологические заболевания.

е) свинец:

Наиболее токсичными из соединений свинца являются соли свинца. До 70% свинца, присутствующего в топливе, преобразуется в соли свинца и выбрасываются в атмосферу. Негативное влияние солей свинца заключается в их токсичности. Соли свинца проникают в организм человека через кожный покров и дыхательные пути, накапливаются и не выводятся из него. Они негативно воздействуют на центральную нервную систему, приводя к тяжёлым психическим расстройствам. Для дизельных двигателей характерен неприятный запах отработавших газов, что объясняется содержанием в них альдегидов, главным образом формальдегида и акреолина. Они образуются в цилиндрах дизеля в период предпламенной реакции. Примерный состав продуктов сгорания в зависимости от типа топлива, используемого в двигателе, представлен в таблице № 6.1

Таблица 6.1- Состав продуктов сгорания

Компонент продуктов сгорания	дизельный ДВС	бензиновый ДВС
CO, % по объёму	0,01÷0,5	0,1÷8
C_nH_m , млн ⁻¹	100÷500	200÷4000
CO ₂ , % по объёму	2÷12	2÷13
NO _x , млн ⁻¹	500÷5000	300÷5000
Сажа, $\frac{мг}{м^3}$	0÷20000	0÷100
Свинец, $\frac{мг}{м^3}$	-	0÷60
Оксиды серы, $\frac{мг}{м^3}$	0÷0,015	0÷0,003

6.2 Мероприятия по снижению токсичности отработавших газов

а) камера сгорания:

Двигатели с отдельными камерами сгорания обеспечивают получение меньших концентраций оксидов азота в отработавших газах по сравнению с двигателями с непосредственным впрыском топлива. С другой стороны, последние характеризуются лучшей топливной экономичностью. Для получения рабочей смеси, обеспечивающей полное сгорание, вихревое движение воздуха в камере сгорания должно сочетаться с правильно подобранным факелом топлива.

б) впрыскивание топлива:

Позднее впрыскивание позволяет снизить выброс оксидов азота (NO_x), однако слишком позднее впрыскивание приводит к увеличению расхода топлива и повышенному выбросу углеводородов (CH). Увеличение на 1° (по углу поворота коленчатого вала) начала впрыскивания может привести к повышению на 5% выбросов NO_x , в то время как выбросы CH при этом могут увеличиться на 15%.

Электронные системы управления способны поддерживать оптимальный момент впрыскивания с высокой степенью точности. Очень высокая точность может быть достигнута за счет управления началом впрыскивания непосредственно через форсунку при использовании датчика перемещения игольчатого клапана (управление началом впрыскивания топлива).

Топливо, попадающее в камеру сгорания после окончания процесса сгорания, будет поступать непосредственно в выпускную систему в несгоревшем виде, повышая уровень выброса углеводородов в отработавших газах.

Для предотвращения этого явления объем топлива между посадочным отверстием форсунки и распылительным наконечником должен быть мини-

мальным. Необходимо также исключить подтекание топлива из форсунки и позднее впрыскивание.

Мелкодисперсная струя распыла топлива способствует образованию оптимальной смеси топлива с воздухом. Мелкодисперсный распыл, снижающий выброс сажи (твердых частиц) и углеводородов, может быть получен при высоком давлении впрыскивания и оптимальной геометрии отверстий распылителя. Коэффициент избытка воздуха должен быть не ниже

$$\alpha = 1,1 \dots 1,2.$$

в) температура воздуха на впуске:

Чем выше температура воздушного заряда, тем выше температура сгорания и, следовательно, выше концентрация оксидов азота в отработавших газах. На двигателях с турбонаддувом охлаждение сжатого воздуха на впуске (промежуточное охлаждение) представляет собой эффективный способ снижения NO_x .

г) рециркуляция отработавших газов:

Часть отработавших газов направляется во впускную систему для уменьшения количества кислорода в свежем заряде с одновременным увеличением его теплоемкости. Оба эти фактора приводят к понижению температуры сгорания и, таким образом, снижению образования NO_x . Большое количество рециркулируемых газов вызывает более высокие выбросы сажи и оксида углерода из-за недостатка воздуха в смеси. Поэтому количество рециркулируемых отработавших газов должно быть ограниченным.

д) очистка отработавших газов:

Выброс углеводородов может быть уменьшен при использовании в впускной системе каталитических нейтрализаторов. Применение каталитических нейтрализаторов позволяет дожигать продукты неполного сгорания CH_4 , CO и разлагать оксиды азота. Каталитическое действие нейтрализаторов основано на беспламенном поверхностном окислении токсичных веществ в присутствии катализатора, ускоряющего химическую реакцию. Процесс окисле-

ния происходит во время прохождения отработавших газов через слой носителя с нанесенным на него катализатором, причем скорость реакции сгорания зависит от температуры носителя.

Наилучшую очистку отработавших газов дают двухсекционные каталитические нейтрализаторы, позволяющие после прохождения первой секции уменьшать содержание NO_x , а после ввода во вторую секцию дополнительно воздуха – содержание CO и CH .

В последнее время наибольшее распространение нашли трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы, оборудованные системой обратной связи с лямбда-зондом, позволяющим одновременно при восстановлении NO окислять CO и CH .

Одним из способов ограничения выбросов твердых частиц дизельных ДВС является применение сажевых фильтров. За рубежом наибольшее распространение получили механические

6.3 Испытания двигателей на токсичность

Все более ужесточающиеся нормы определяют снижение предельного содержания количества токсичных компонентов в отработавших газах. Эти выбросы могут быть замерены при заданных определенных условиях работы двигателя.

Как правило, выбросы токсичных веществ с отработавшими газами двигателей определяются на испытательном моторном стенде. Многие нормы предельного содержания токсичных компонентов в отработавших газах и методы испытаний автомобилей на токсичность были впервые внедрены в США, где способ отбора проб газа постоянного объема был применен в качестве эффективного способа для контроля за выбросом твердых частиц при динамических испытаниях. При этой процедуре отработавшие газы разбавляются отфильтро-

ванным окружающим воздухом и отбираются посредством ротационного насоса во время стандартизованного цикла испытаний. Разбавление отработавших газов воздухом устраняет вероятность конденсации в них влаги и одновременно удерживает их температуру на уровне, требуемом для измерения содержания твердых частиц (52°C).

Одна проба пропускается через специальный бумажный фильтрующий элемент, где осуществляется определение уровня выброса твёрдых частиц за счёт изменения увеличения массы пробы.

Вторая проба газа направляется в пламенно – ионизационный детектор, в котором производится непрерывный контроль за концентрацией углеводородов. Третья проба отправляется в сборник отработавших газов. После окончания цикла испытаний его содержимое направляется в газоанализатор, где производятся замеры концентраций CO, NO_x, CO₂.

В Европе автомобили полной массой свыше 3,5 т, которые имеют более чем 9 мест для сиденья, проходят 13-режимные испытания, регламентируемые правилами ЕЭК R49. Последовательность испытания – это серия из тринадцати различных стационарных рабочих режимов.

Первоначально принятые предельные нормы выбросов газообразных компонентов были ужесточены, и в новые нормативы включены требования по предельным выбросам твердых частиц в отработавших газах. Существующие предельные значения выбросов в странах ЕС приведены в нормативах Стадии 1 (EUROI) и Стадии 2 (EUROII) ЕЭС директив ЕЭС 91/542; последние предназначены для автомобилей серийного производства, начиная с октября 1996 г. Дополнительное снижение норм предельной токсичности было осуществлено в 1999 г. Пересмотр испытательного цикла также предполагается осуществить на Стадии 3 (EUROIII).

Тем временем нормы, касающиеся контроля за дымностью отработавших газов дизелей, работающих при полной нагрузке (директива ЕЭК R24), были

оставлены без изменения, хотя имеющее место значительное снижение уровней твердых частиц в отработавших газах делает их не совсем приемлемыми.

Испытания дизелей на токсичность осуществляются как в виде дополнительной процедуры, так и во время проведения регулярных техосмотров автомобилей. Для этой цели применяются два стандартизованных метода. По первому методу определенное количество отработавшего газа пропускается через фильтрующий элемент. Степень обесцвечивания фильтра характеризует содержание сажи в отработавших газах. Абсорбционный метод (испытание на непрозрачность или потемнение газа) основан на определении снижения яркости луча света, пропускаемого через отработавшие газы. Определение дымности отработавших газов дизелей должно осуществляться под нагрузкой. Здесь наиболее распространены два метода проведения испытаний;

а) испытания при полной нагрузке, осуществляемые на испытательной трассе с торможением автомобиля;

б) испытания при свободном ускорении с кратковременным нажатием на педаль газа; нагрузка при этом создается возвратно-поступательно перемещающимися и вращающимися массами самого двигателя, работающего в режиме ускорения.

6.4 Физическая культура на производстве

Физическая культура на производстве – это важный фактор ускорения научно-технического прогресса и производительности труда. Поэтому выпускник Казанского ГАУ, освоивший программу специалитета, должен обладать способностью использовать методы и средства физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Основным средством физической культуры являются физические упражнения, направленные на совершенствование жизненно важных сторон индивидуума, способствуя развитию его двигательных качеств, умений и навыков, не-

обходимых для профессиональной деятельности. С этой целью используются следующие способы и методы по развитию физических способностей:

- ударные дозированные движения в вынужденных позах;
- выработка вращательных движений пальцев и кистей рук;
- развитие статической и динамической выносливости мышц пальцев и кистей рук;
- развитие ручной ловкости, кожной и мышечно-суставной чувствительности, глазомера;
- развитие силы и статической выносливости позных мышц спины, живота и разгибателей бедра;
- развитие точности усилий мышцами плечевого пояса.

Занятия по физической культуре на производстве должны включать различные виды спорта, благодаря которым сохраняется здоровье человека, его психическое благополучие и совершенствуются физические способности. Творческое использование физкультурно-спортивной деятельности в этих условиях направлено на достижение жизненно-важных и профессиональных целей индивидуума.

7 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В соответствии с требованиями Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ при осуществлении хозяйственной и иной деятельности должны быть предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды, восстановлению природной среды, рациональному применению и воспроизводству природных ресурсов, обеспечению экологической безопасности [10].

Деятельность различных предприятий должна исполняться в соответствии с «Системой стандартов в сфере охраны природы и улучшения использования природных ресурсов», которая содержит следующие государственные стандарты и нормативные акты:

- 1) ГОСТ 17.0.0.01-76 "Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения".
- 2) ГОСТ 17.1.1.01-77* (СТ СЭВ 3544-82) "Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения"
- 3) ГОСТ 17.1.1.04-80 "Охрана природы. Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования"
- 4) ГОСТ 17.2.1.01-76* " Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу"
- 5) ГОСТ 17.2.3.01-86 "Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов"
- 6) ГОСТ 17.2.3.02-78 "Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями"

- 7) ГОСТ Р ИСО 14004-98 "Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования"
- 8) Законом РФ «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ от 13.12.2005г.
- 9) Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 22 августа 2004 года)
- 10) Водный кодекс Российской Федерации (в ред. Федеральных законов от 04.12.2006 N 201-ФЗ, от 19.06.2007 N 102-ФЗ, от 14.07.2008 N 118-ФЗ)

Кроме того, деятельность хозяйствующих субъектов регулируется республиканским законодательством. В частности Экологическим кодексом РТ от 15 января 2009 г. № 5–ЗРТ с изменениями от 12.05.2010 (Закон РТ № 20-ЗРТ «О внесении изменений в Экологический кодекс РТ от 15 января 2009 г. № 5–ЗРТ»).

Для выполнения условий законодательства в сфере охраны окружающей среды необходимо особенно тщательно следить за техническим состоянием мобильных машин в АПК. Следить за герметичностью масло- и топливопроводов, состоянием топливной аппаратуры, правильными установками углов опережения зажигания. Необходимо уделять внимание комплектованию МТА, поскольку это в конечном итоге влияет на уплотнение почвы и изменение ее структуры. Необходимо вовремя очищать и заменять все фильтрующие элементы на машинах. Отработанные технические жидкости утилизировать согласно действующему законодательству.

Предлагаемая в работе конструкция – гидравлического амортизатора с регулируемыми характеристиками – позволит несколько снизить расход топлива мобильными машинами за счет сокращения времени езды по плохим дорогам на низших передачах, что приведет к сокращению времени пути, а следова-

тельно к сокращению общего расхода, и в конечном итоге — к сокращению выбросов в атмосферу.

8 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВКР

8.1 Экономическое обоснование технологии применения конструкции

Экономическая эффективность новых или усовершенствованных машин определяется множеством факторов: трудоемкостью, себестоимостью, фондоемкостью, энерго- и материалоемкостью и пр. применение машин, более эффективных с точки зрения технико-экономических показателей имеет важное значение для сельского хозяйства, поскольку обеспечивает его конкурентоспособность и позволяет снижать издержки производства, что увеличивает рентабельность агропромышленного производства. Проведем расчеты по экономическому обоснованию технологии применения насос форсунки.

Для внедрения такого рода форсунки потребуется рассчитать также и эффект от капитальных вложений. Эффективность капитальных вложений измеряется набором показателей, в который входит общий эффект капитальных вложений, срок окупаемости, сравнительная эффективность и др. Показатели экономической эффективности капитальных вложений используются для сопоставления предлагаемого проекта и базового (существующего) и выбора оптимального проекта.

Масса конструкции определяется по формуле [16]:

$$G = G_K + G_T \cdot K, \quad (8.1)$$

где G_K – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

G_T – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

K – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов ($K = 1,05 \dots 1,15$) [16].

Подставляя числовые значения в формулу (4.1), получим:

$$G = 0 + 0,747 \cdot 1,10 = 0,8271 \text{ кг}.$$

Таблица 8.1 – Расчет массы сконструированных деталей

Наименование детали и материала	Объем детали, см ³	Удельный вес, кг/см ³	Масса детали, кг	Количество деталей, шт	Общая масса, кг
Корпус форсунки, сталь	49,063	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,383	1	0,383
Клапан управления, сталь	10,35	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,081	1	0,081
Распылитель, сталь	6,51	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,051	1	0,051
Штанга с иглой, сталь	15,71	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,122	1	0,122
Гайка распылителя, сталь	5,34	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,042	1	0,042
Штуцер, сталь	8,64	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,068	1	0,068

Определение балансовой стоимости новых конструкций производится на основе сопоставления ее отдельных параметров по сопоставимости массы:

$$C_{\delta 1} = \frac{C_{\delta 0} \cdot G_1 \cdot \sigma}{G_0}, \quad (8.2)$$

где $C_{\delta 0}$, $C_{\delta 1}$ – соответственно балансовая стоимость существующей и проектируемой конструкции, руб;

G_0 , G_1 – соответственно масса существующей и проектируемой конструкции, кг;

σ – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов ($\sigma = 0,90 \dots 0,95$) [4].

Подставляя числовые значения в формулу (6.2) , получим:

$$C_{\delta 1} = \frac{854 \cdot 0,747 \cdot 0,9}{0,800} \approx 757 \text{ руб.}$$

Расчет технико-экономических показателей конструкции и их сравнение
 Прежде чем приступить к расчету, сведем все исходные данные в таблицу

8.2

Таблица 8.2 – Исходные данные сравниваемых конструкций

Наименование	Проектируемый	Базовый
Масса конструкции, кг	0,747	0,800
Балансовая стоимость, руб	757	854
Потребная мощность, кВт	0,024	0,025
Количество обслуживающего персонала, чел	1	1
Разряд работы	5	5
Тарифная ставка, руб/час	50	50
Норма амортизации, %	10	10
Норма затрат на ремонт и ТО, %	7,7	7,5
Годовая загрузка конструкции, ч	1350	1350

С помощью этих данных рассчитываются технико-экономические показатели эффективности. При расчетах показатели базового варианта обозначаются X_0 , а проектируемого – X_1 .

Часовую производительность конструкции определяем по формуле:

$$W_q = \frac{5,0 \cdot F_y}{\sqrt{\tau}} \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot \gamma, \quad (8.3)$$

где F_y – площадь проходного сечения, м²;

τ – коэффициент сопротивления ($\tau = 0,0121$) [16];

Δp – перепад давлений, кгс/см² ($\Delta p = 0,5$ кгс/см²) [16];

γ – удельный вес жидкости, кг/см³ ($\Delta p = 7,8$ кг/см³) [16].

Подставляя числовые значения в формулу (6.3), получаем:

$$W_q^{x0} = \frac{5,0 \cdot 0,0000016956}{\sqrt{0,0121}} \cdot \sqrt{0,5} \cdot 7,8 = 4,21 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W_q^{x1} = \frac{5,0 \cdot 0,0000016942}{\sqrt{0,0121}} \cdot \sqrt{0,5} \cdot 7,8 = 4,25 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Энергоемкость процесса определяем по выражению:

$$\mathfrak{E}_e = \frac{N_e}{W_q}, \quad (8.4)$$

где N_e – потребляемая конструкцией мощность, кВт;

W_q – часовая производительность конструкции, ед/час.

Подставляя числовые значения в формулу (8.4), получаем:

$$\mathfrak{E}_e^{x0} = \frac{0,025}{4,21 \cdot 10^3} \approx 0,0060 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/ед.}$$

$$\mathfrak{E}_e^{x1} = \frac{0,024}{4,25 \cdot 10^3} \approx 0,0057 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/ед.}$$

Металлоемкость продукции определяют по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_q \cdot T_{год} \cdot T_{ед}}, \quad (8.5)$$

где G – масса конструкции, кг;

W_q – часовая производительность конструкции, ед/час;

$T_{год}$ – годовая загрузка конструкции, час;

$T_{ед}$ – срок службы конструкции, лет.

Подставляя числовые значения в формулу (8.5), получаем:

$$M_e^{x0} = \frac{0,800}{4,25 \cdot 10^3 \cdot 1350 \cdot 5} \approx 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ кг/ед.}$$

$$M_e^{x1} = \frac{0,747}{4,21 \cdot 10^3 \cdot 1350 \cdot 5} \approx 2,96 \cdot 10^{-3} \text{ кг/ед.}$$

Фондоемкость процесса определяем по формуле:

$$F_e = \frac{C_{\sigma}}{W_q \cdot T_{\text{год}}}, \quad (8.6)$$

где C_{σ} – балансовая стоимость конструкции, руб;

Подставляя числовые значения в формулу (8.6), получаем:

$$F_e^{x0} = \frac{854}{4,25 \cdot 10^3 \cdot 1350} \approx 0,1488 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$F_e^{x1} = \frac{757}{4,21 \cdot 10^3 \cdot 1350} \approx 0,1480 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Трудоемкость процесса находят из выражения:

$$T_e = \frac{n_p}{W_q}, \quad (8.7)$$

где n_p – количество рабочих, чел.

Подставляя числовые значения в формулу (8.7), получаем:

$$T_e^{x0} = \frac{1}{4,25 \cdot 10^3} \approx 0,238 \cdot 10^{-3} \text{ чел.ч/ед.}$$

$$T_e^{x1} = \frac{1}{4,21} \approx 0,235 \cdot 10^{-3} \text{ чел.ч/ед.}$$

Себестоимость работ определяется по формуле:

$$S = C_{\text{зп}} + C_{\text{э}} + C_{\text{пто}} + A, \quad (8.8)$$

Затраты на заработную плату определяются по формуле:

$$C_{\text{зп}} = Z \cdot T_e, \quad (8.9)$$

Затраты на электроэнергию определяют по формуле:

$$C_{\text{э}} = \Pi_{\text{э}} \cdot \mathcal{E}_e, \quad (8.10)$$

где C_{ε} – комплексная цена электроэнергии, руб/кВт.

Затраты на ремонт и ТО определяют по формуле:

$$C_{PTO} = \frac{C_{\delta} \cdot H_{PTO}}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}}, \quad (8.11)$$

где H_{PTO} – суммарная норма затрат на ремонт и техобслуживание, %.

Амортизационные отчисления по конструкции вычисляют по формуле:

$$A = \frac{C_{\delta} \cdot a}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}}, \quad (8.12)$$

где a – норма амортизации, %.

$$C_{\text{эл}}^0 = 120 \cdot 0,238 \cdot 10^{-3} = 11,9 \cdot 10^{-3} \text{ руб / ед}$$

$$C_{\text{эл}}^1 = 120 \cdot 0,235 \cdot 10^{-3} = 11,75 \cdot 10^{-3} \text{ руб / ед}$$

$$C_{\varepsilon}^{x0} = 3,8 \cdot 0,006 \cdot 10^{-3} \approx 0,028 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{\varepsilon}^{x1} = 3,8 \cdot 0,0057 \cdot 10^{-3} \approx 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{PTO}^{x0} = \frac{854 \cdot 7,7}{100 \cdot 4,25 \cdot 10^3 \cdot 1350} = 0,011 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{PTO}^{x1} = \frac{757 \cdot 7,5}{100 \cdot 4,21 \cdot 10^3 \cdot 1350} = 0,010 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$A^{x0} = \frac{854 \cdot 10}{100 \cdot 4,25 \cdot 10^3 \cdot 1350} = 0,015 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$A^{x1} = \frac{757 \cdot 10}{100 \cdot 4,21 \cdot 10^3 \cdot 1350} = 0,014 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Запишем окончательные числовые значения для формулы (8.8):

$$S^{x0} = (11,9 + 0,028 + 0,011 + 0,015) \cdot 10^{-3} = 11,954 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$S^{x1} = (11,75 + 0,022 + 0,010 + 0,014) \cdot 10^{-3} = 11,796 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Годовую экономию определяют по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{год}} &= S_0 - S_1 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}} \\ \mathcal{E}_{\text{год}} &= (11,954 - 11,796) \cdot 10^{-3} \cdot 4,25 \cdot 10^3 \cdot 1350 = 897,993 \approx 898 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (8.13)$$

Приведенные затраты определяют по формуле:

$$C_{\text{прив}} = S + E_H \cdot F_e = S + E_H \cdot F_e, \quad (8.14)$$

где E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

F_e – фондоемкость процесса, руб/ед;

k – удельные капитальные вложения, руб/ед.

$$C_{\text{прив0}} = 11,954 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 0,1488 \cdot 10^{-3} = 11,97632 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

$$C_{\text{прив1}} = 11,796 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 0,1480 \cdot 10^{-3} = 11,8182 \cdot 10^{-3} \text{ руб/ед.}$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$E_{\text{год}} = (C_{\text{прив0}} - C_{\text{прив1}}) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}, \quad (8.15)$$

руб.

$$E_{\text{год}} = 907,2135 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости (в годах) капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{б1}}}{E_{\text{год}}}, \quad (8.16)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{757}{898} \approx 0,84 \text{ года.}$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений определяют по формуле:

$$E_{\text{эф}} = \frac{E_{\text{год}}}{C_{\text{б}}}, \quad (8.17)$$

$$E_{\text{эф}} = \frac{898}{823} \approx 1,09.$$

Сведем все полученные показатели в таблицу 8.3

Таблица 8.3 – Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкций

п/ п	Наименование показателей	Базовый	Проект	Проект в % к базов.
	2	3	4	5
1	Часовая производительность, ед/час	$4,21 \cdot 10^3$	$4,25 \cdot 10^3$	100,95
2	Фондоемкость процесса, руб/ед	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$	99,46
3	Энергоемкость процесса, кВт/ед	$0,0060 \cdot 10^{-3}$	$0,0057 \cdot 10^{-3}$	95,00
4	Металлоемкость процесса, кг/ед	$3,14 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$	94,27
5	Трудоемкость процесса, чел·ч/ед	$0,238 \cdot 10^{-3}$	$0,235 \cdot 10^{-3}$	98,74
6	Уровень эксплуатационных за- трат, руб/ед.	$11,954 \cdot 10^{-3}$	$11,796 \cdot 10^{-3}$	98,68
7	Уровень приведенных затрат, руб/ед	$11,97632 \cdot 10^{-3}$	$11,8182 \cdot 10^{-3}$	98,70
8	Годовая экономия, руб	898		-
9	Годовой экономический эф- фект, руб	907,2135		-
10	Срок окупаемости капитальных сложений, лет	0,90		-
11	Коэффициент эффективности капитальных вложений	1,20		-

Анализируя данные таблицы 8.3 можно прийти к выводу о целесообразности применения конструкции. Следует также учесть, что данные расчета приведены по отношению к эффекту от одной форсунки. Следовательно, выигрыш в экономическом отношении будет еще выше для разных типов двигателей в зависимости от числа цилиндров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Обеспечение АПК страны высокоэффективной техникой является важной народнохозяйственной задачей, которая напрямую влияет на себестоимость производимой продукции.

2 Значительная часть тракторного парка АПК республики Татарстан физически устаревшая. Так например около 50% тракторов имеют возраст более 8 лет, что не может не сказываться на величине производственных затрат.

3 При разработке системы топливоподачи были проанализированы основные достоинства и недостатки существующих схем, определена схема конструкции и его основные параметры.

4 Произведены необходимые конструктивные расчеты, составлен сборочный чертеж конструкции и рабочие чертежи деталей.

5 Произведены расчеты технико-экономических показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сведения о наличии, состоянии сельскохозяйственной техники и поступлении топлива на 1 января 2010-2016 года. / Министерство сельского хозяйства и Продовольствия Республики Татарстан. Государственное унитарное предприятие республиканский информационно-вычислительный центр.

2 Годовой отчет о наличии и возрастном составе сельскохозяйственной техники на 1 января 2010-2016 года. / Министерство сельского хозяйства и Продовольствия Республики Татарстан. Государственное унитарное предприятие республиканский информационно-вычислительный центр.

3 Булгариев Г.Г., Методические указания по анализу хозяйственной деятельности предприятий в дипломных проектах (для студентов ИМ и ТС). / Г.Г. Булгариев; Р.К. Абдрахманов; М.Н. Калимуллин; Н.В. Булатова. – Казань, 2011. – 21-25 с.

4 Булгариев Г.Г., Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов и выпускных квалификационных работ. – Казань: 2009.

5 Республика Татарстан. Транспорт и связь // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан. URL:http://tatstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tatstat/ru/statistics/enterprises/transport/ (Дата обращения: 10.03.2016).

6 Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко "Пластинчатые и спиральные теплообменники"; Бажан П. И "Справочник по теплообменным аппаратам" 2003 – с. 472 .

7 Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.: Машиностроение, 1973. - 288 с.

8 Машиностроение. Энциклопедия //Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; Под общ.ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. — М.: Машиностроение, 2013. - 784 с.

9 Салова Т.Ю. Кудласевич А.А. Метод оценки тепломассообменных процессов энергетических установок //Словацкий международный научный журналСловакия. Slovak international scientific journal Partizanska, 1248/2 Bratislava, Slovakia 811 03 email: info@sis-journal.com site: http://sis-journal.com 2016, №1, с.64-67.

10 Государственные доклады о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан за 2016 год // Официальный сайт Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. URL: <http://eco.tatarstan.ru/>

11 Панов А. А. и др. Обработка металлов резанием. М: Машиностроение,1988. 736 с.