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 грузового автомобиля категории N2 с разработкой составного маховика

Шифр ВКР 23.05.01.654.20.СМ.00.00.00. ПЗ

Студент группы С262-12у _____ (подпись) Хисамов Р.Р. (Ф.И.О.)

Руководитель доцент (ученое звание) _____ (подпись) Халиуллин Ф.Х. (Ф.И.О.)

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № от 7 06.2020 г.)
Зав. кафедрой профессор (ученое звание) _____ (подпись) Хафизов К.А. (Ф.И.О.)

Казань – 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Рынок грузовых автомобилей в России переживает в настоящий момент не просто период бурного роста, но и серьезной реструктуризации. Все еще многочисленный парк тяжелых и среднетоннажных грузовиков, оставшийся в наследство от Советского Союза, неотвратимо устаревает, а новая экономика предъявляет к грузовым автомобилям совершенно новые требования. Поскольку регулятором рынка становится в большей степени не государственно-плановая экономика, а спрос потребителей и конкуренция между производителями и продавцами, именно они и предъявляют основные требования к продукту. Традиционные российские автозаводы, чтобы остаться на рынке и быть успешными осваивают новые сегменты и расширяют модельные ряды. На растущий рынок приходят ведущие игроки мирового рынка и используют все имеющиеся в их арсенале инструменты, отработанные на высококонкурентных рынках, чтобы основательно на нем закрепиться.

Эффективность и рентабельностью любых работ в сфере строительства, промышленного производства и торговли в значительной степени зависит от скорости доставки материалов, сырья и транспортировки готовой продукции. Именно поэтому грузовые автомобили относятся к числу наиболее востребованных типов спецтехники. Универсальность, функциональная гибкость и рыночная ликвидность - все эти факторы способствуют повышенному спросу на технику для грузоперевозок, к числу которой относятся грузовые автомобили общего назначения, прицепы и полуприцепы, а также специализированные грузовые автомобили - самосвалы.

1. Анализ состояния вопроса

Автомобильный транспорт России представляет собой наиболее гибкий и массовый вид транспорта. У него ряд важных отличий от других транспортных отраслей. Начнем с того, что основная часть автомобильного парка страны эксплуатируется в нетранспортных организациях. При этом сеть автомобильных дорог наряду с парком коммерческих автомобилей используется также автомобилями, находящимися в личном пользовании граждан. Стало быть, проблемы развития автомобильного транспорта носят комплексный характер.

Ежедневно автотранспортом перевозится около 17 млн. тонн грузов.

В автомобильном транспорте сконцентрировано свыше 97% от всех лицензируемых субъектов транспортной деятельности. В сфере коммерческих и некоммерческих автомобильных перевозок сейчас занято порядка полумиллиона хозяйствующих субъектов. Их деятельность проходит в условиях достаточно высокой внутриотраслевой и межвидовой конкуренции.

В автотранспортных подразделениях предприятий всех отраслей экономики работает более 4 млн. человек. Причем на автотранспортную отрасль приходится более 50% от числа работающих в транспортном комплексе, без учета железнодорожного транспорта.

В условиях оживления реального сектора экономики в 2019 г. автомобильный транспорт освоил более 90% всего прироста объемов внутренних перевозок.

Спрос на грузовые перевозки во многом определяется двумя факторами: динамикой и структурой изменения объемов производства в стране, а также платежеспособностью предприятий и организаций всех отраслей экономики. Грузовые перевозки – это один из наиболее «рыночных» секторов экономики. Российский опыт подтверждает известную закономерность, согласно которой рост рыночной экономики сопровождается, а в

определенной мере и обуславливается опережающим развитием автотранспорта. И понятно почему. Грузопотоки, генерируемые развивающимися рынками товаров и услуг, в первую очередь осваиваются наиболее отзывчивым быстрым и гибким видом транспорта: автомобильным.

В отличие от других видов транспорта автотранспорт во всех возрастающих объемах перевозит международные грузы. Это обусловлено его высокой маневренностью, большой скоростью, обеспечением перевозок от двери отправителя до двери получателя в прямых бесперегрузочных сообщениях. Автомобильный транспорт стал незаменимым средством и при смешанных перевозках. В 2001 году общий объем международных автомобильных перевозок, выполненных отечественными и зарубежными автопервозчиками, составил 19.2 млн. тонн. То есть на 7.3 больше аналогичного показателя предыдущего года.

На этапе становления рыночных отношений в России сложились объективные предпосылки для ускоренного развития автомобильного транспорта. Возросло его влияние на развитие социально-экономической сферы страны. Так, при перевозках грузов установилась тенденция, подтверждающая практику развитых зарубежных стран: средние темпы роста объемов автомобильных грузовых перевозок соответствуют средним темпам экономического роста, превышая при этом темпы роста объемов перевозок на других видах транспорта.

Ускоренное развитие автомобильного транспорта в России обусловлено следующими основными факторами:

- около 80% производственных и транспортно-распределительных структур, а также большинство населенных пунктов страны не имеют других подъездных путей, кроме автомобильных, что предопределяет в этих условиях безальтернативное использование автомобильного транспорта;

- известные объективные преимущества автомобильного транспорта (обеспечение партионности, возможность организации работы "с колес", доставка "от двери до двери", скорость, гибкость, мобильность, надежность)

позволяет рассматривать его как наиболее рыночно ориентированный вид транспорта.

За последние годы автомобильный транспорт выполняет свыше 55% объемов внутренних грузовых перевозок страны, с тенденцией увеличения этой доли, являясь, таким образом, "главным перевозчиком" для растущих секторов экономики России.

Автомобильному транспорту нет адекватной замены при перевозках дорогостоящих грузов на небольшие и средние расстояния, в транспортном обеспечении розничной торговли, производственной логистики, строительной индустрии, агрокомплекса, а также малого бизнеса, что подтверждается соответствующими объемами перевозок грузов и значительной автотранспортной составляющей в стоимости продукции отдельных секторов экономики:

- в промышленности доля автотранспортных издержек составляет не менее 15%,;

- в строительстве - до 30%;

- в сельском хозяйстве и торговле - до 40% и более.

Суммарно эти издержки, с учетом выполнения погрузочно-разгрузочных и складских работ, составляют не менее 400 млрд. руб. в год или около 6% от валового внутреннего продукта (ВВП) страны.

В процессе международной интеграции значительно возросла роль автомобильного транспорта во внешней торговле. В общей стоимости перевозимых всеми видами транспорта внешнеторговых грузов доля автомобильного транспорта, осуществляющего перевозки наиболее ценной продукции, находится примерно на уровне железнодорожного и морского транспорта.

На приобретение пассажирских и грузовых автомобилей население и бизнес ежегодно вкладывают до 4 миллиардов долларов. Уровень этих инвестиций определяется, прежде всего, объективным ростом мобильности

населения и потребности в автомобильных перевозках и в настоящее время в минимальной степени зависит от регулирующих воздействий государства.

Коммерческий автомобильный транспорт обеспечивает более 10% всех налоговых поступлений от транспорта. На автотранспорте, с учетом автомобильных дорог и инфраструктуры обслуживания, занято около 6% работающего населения, а основные фонды оцениваются в размере не менее 11% всех основных фондов страны. Суммарные издержки на выполнение перевозок грузов и пассажиров, не считая личный легковой автотранспорт, составляют примерно 700 млрд. руб. в год или более 10% от ВВП страны.

Указанный высокий уровень автотранспортных издержек обусловлен не только огромным объемом выполняемой автотранспортом работы, но и недостаточным уровнем государственного регулирования отрасли.Парк грузовых автомобилей в России насчитывает на начало 2019 года более 2,5 млн ед. техники. Из них на иномарки приходится 33,4% (или 836,1 тыс. шт.), а на российские грузовики — 1,67 млн машин.

«КАМАЗ» лидирует по количеству грузовых машин, представленных в автопарке России. На начало 2019 года в стране насчитывается 649 405 грузовиков «КАМАЗ». Грузовых машин марки «ГАЗ» числятся 446 329 ед., а грузовиков «ЗИЛ» — 213 230 шт. В топ-5 производителей грузовиков с наибольшей долей в автопарке страны входят «МАЗ» (207 841 ед.) и «УРАЛ» (110 716 ед.).

Кроме того, на начало 2019 года грузовиков марки Volvo насчитывается 95 904 ед., грузовых машин бренда MAN — 90 581 ед., «Сканий» — 80 384 шт., техники марки Isuzu — 70 547 ед., а марки Mercedes-Benz — 69 220 шт.

Добавим, что большая часть грузовиков в автопарке страны — это машины производства 2009 года и старше. Таких грузовых автомобилей числится более 1,7 млн ед. Грузовиков, произведенных в 2012 году, — 136,4 тыс. Еще 124,3 тыс. ед. — это грузовики производства 2011 года.

2. Тепловой расчет двигателя

2.1. Подбор аналогов двигателя и формирование исходных данных расчета

Подбор аналогов проектируемого двигателя осуществляется с целью выяснения компоновки, основных параметров и геометрических размеров двигателей, сходных с проектируемым двигателем. Это позволяет при проведении расчетов грамотно задавать необходимые величины из рекомендуемого диапазона, использовать дополнительные сведения о выпускающихся серийно двигателях.

Исходя из назначения и рабочего объема проектируемого дизеля, в качестве аналогов были выбраны двигатели, характеристики которых приведены ниже:

Таблица 2.1

Показатели	Единицы измерения	Ford Tourneo 2.2 TDCi	Opel Zafira C 2.0 CDTi	Chevrolet Orlando 2.0 VCDi	Проект
$N(e/max)/n_N$	кВт/(об/мин)	92/3500	125/4000	110/3800	110,04/3800
$M(e/max)/n_M$	Н·м/(об/мин)	350/1450	350/1750	360/2000	354,79/2280
Vл	$дм^3$	2,19	1,95	1,99	2,42
ε	-	15,5	16,5	16,3	16
S/D	мм/мм	94/86	90/83	86/86	98/89
Компоновка		R4	R4	R4	R4
Число клапанов на цилиндр		4	4	4	4
Тип наддува и наличие ОНВ		Турбокомпрессор и ОНВ			
Тип системы питания		*Common Rail*			
Тип системы охлаждения		Жидкостное			
Коэффициент приспосабливаемости		1,39	1,27	1,19	1,28
Скоростной коэффициент		0,41	0,44	0,52	0,6
Литровая мощность	кВт/л	41,81	62,5	55,05	45,54

Проанализировав таблицу аналогов, склонимся к двигателю, имеющему рядную компоновку с четырьмя цилиндрами.

Современные дизельные двигатели и их проектирование сводится к получению максимальной его эффективности, соответствия нормам и стандартам токсичности *Euro*. В проектируемом двигателе выбран класс

Euro 5. Одним из наиболее используемых методов повышения эффективности двигателя
является повышение степени сжатия ε, это ведёт к повышению экономичности и экологичности. Анализируя аналоговую таблицу, склонимся к принятию степени
сжатия проектируемого двигателя равной; $\varepsilon = 16$.

Для того чтобы увеличить наполнение цилиндра, а также для расположения форсунки по середине головки двигателя будем использовать 4 клапана на цилиндр. Увеличение числа клапанов на цилиндр свыше четырех не дает заметных результатов и их установка сложнее с технической точки зрения.

После ознакомления с мировыми аналогами, мной были выбраны следующие характеристики проектируемого двигателя:

Номинальная мощность $N_e = 110$ кВт при $n_N = 3800$ об/мин;

Степень сжатия $\varepsilon = 16$.

Число клапанов на цилиндр - 4.

Газотурбинный наддув со степенью сжатия в компрессоре $\pi_к = 2{,}41$.

Тип топливопитания: *Common Rail*.

Компоновка – *R4*

Экологический стандарт, регулирующий содержание вредных веществ в выхлопных газах – *Euro 5*.

Система охлаждения: жидкостное.

2.2. Тепловой расчет двигателя

Скоростные режимы

Для дизельного двигателя принимаем:

1. Режим минимальной частоты вращения $n_{min} = 900$ мин$^{-1}$;
2. Режим максимального крутящего момента при
   $n_M = 0{,}6 \cdot n_N = 0{,}6 \cdot 3800 = 2280$ об/мин;
3. Режим максимальной (номинальной) мощности при $n_N = 3800$ об/мин;
4. Дополнительные режимы: n=1140 об/мин; 1520 об/мин; 2280 об/мин;

   В пояснительной записке приводятся результаты расчетов для режима максимальной мощности. Результаты расчетов для остальных режимов даны в табличном виде.

Таблица 2.2

n	0,23	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800

Топливо

В соответствии с заданной степенью сжатия ε = 16 можно использовать дизельное топливо Л-0,05-40 ГОСТ 305-82.

Средний элементарный состав и молекулярная масса дизельного топлива:

C = 0,87; H = 0,126; O = 0,004 и m_T = 190 кг/кмоль.

Низшая теплота сгорания топлива

$$H_u = 33{,}91C + 125{,}60H – 10{,}89\,(O – S) – 2{,}51\,(9H + W) = 33{,}91\cdot$$
$$\cdot 0{,}87 + 125{,}60 \cdot 0{,}126 – 10{,}89 \cdot 0{,}004 – 2{,}51 \cdot 9 \cdot 0{,}126 =$$
$$= 42{,}437 \text{ МДж/кг} = 42437 \text{ кДж/кг}.$$

Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

$$L_0 = 1/0{,}208\,(C/12 + H/4 – O/32) = 1/0{,}208\,(0{,}87/12 + 0{,}126/4 – 0{,}004/32) =$$
$$= 0{,}499 \text{ кмоль воздуха/кг топл.};$$

$$l_0 = 1/0{,}23\,(8/3\,C + 8\,H – O) = 1/0{,}23\,(8/3 \cdot 0{,}87 + 8 \cdot 0{,}126 – 0{,}004) =$$
$$= 14{,}452 \text{ кг воздуха/кг топл.}$$

Коэффициент избытка воздуха выбираем из соображений стремления получить двигатель с достаточно хорошими мощностными характеристиками, при этом избежать дымления двигателя на малых оборотах. Также учитываем, что на двигатель установлен наддув [2]. Строим график изменения коэффициента избытка воздуха (Рисунок 2.1).

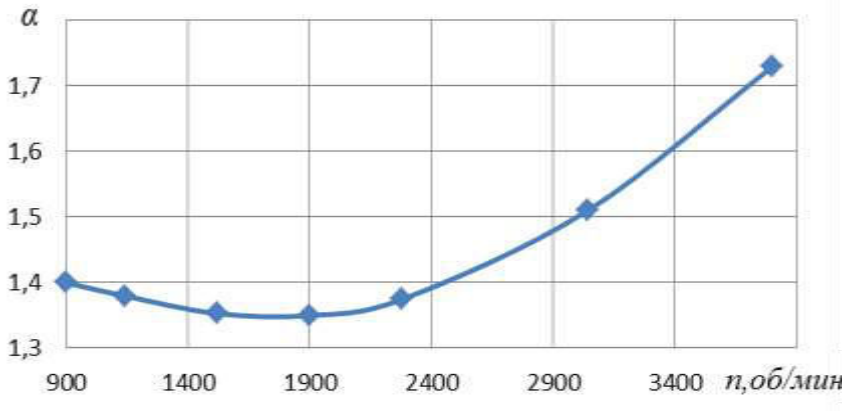


Рисунок 2.1. Изменение коэффициента избытка воздуха

Количество свежего заряда:

$$M_1 = \alpha L_0 = 1{,}73 \cdot 0{,}499 = 0{,}863$$
$$\text{кмоль св.зар./кг топл.}$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания:

$$M_{CO2} = C/12 = 0{,}87/12 = 0{,}0725 \text{ кмоль}CO_2\text{/кг топл};$$
$$M_{H2O} = H/2 = 0{,}126/2 = 0{,}063 \text{ кмоль}H_2O\text{/кг топл};$$

$$M_{N2} = 0{,}792\alpha L_0 = 0{,}792 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}499 = 0{,}6842 \text{ кмоль}N_2/\text{кг топл};$$

$$M_{O2} = 0{,}208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 = 0{,}208 \cdot (1{,}73 - 1) \cdot 0{,}499 = 0{,}0758 \text{ кмоль}O_2/\text{кг топл}.$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{O2} + M_{CO2} + M_{H2O} + M_{N2} = 0{,}0758 + 0{,}0725 + 0{,}063 + 0{,}6842 =$$
$$= 0{,}8955 \text{ кмоль пр.сг./кг топл};$$

Для остальных скоростных режимов значения: α, M_1, M_2, M_{CO2}, M_{CO}, M_{H2O}, M_{H2}, M_{N2} приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Частота вращения кол.вала *n об/мин*	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
Коэффициент избытка воздуха α	1,4	1,38	1,353	1,35	1,375	1,51	1,73
Количество св. см. M_1, кмоль/кг	0,699	0,689	0,675	0,674	0,686	0,754	0,863
Количество CO_2, кмоль/кг	0,0725	0,0725	0,0725	0,0725	0,0725	0,072	0,0725
Количество H_2O, кмоль/кг	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
Количество N_2, кмоль/кг	0,5537	0,5458	0,5351	0,5339	0,5438	0,5972	0,6842
Количество O_2, кмоль/кг	0,0415	0,0394	0,0366	0,0363	0,0389	0,0529	0,0758
Количество пр. сг. M_2, кмоль/кг	0,7307	0,7207	0,7073	0,7058	0,7182	0,7857	0,8955

Процесс впуска, параметры окружающей среды и остаточные газы

Давление и температура окружающей среды при работе двигателей без наддува p_0 = 0,101325 МПа и T_0 = 293 К. Учитывая рекомендации по применению компрессоров [2] и систем охлаждения надувочного воздуха, задаем $\pi_к$, $n_к$ и вычисляем $T_к$. $n_к = 1{,}7$ – показатель политропы сжатия в компрессоре [2], $\pi_к = 2{,}41$ – степень сжатия компрессора.

Учитывая заданные определенные значения n и α, принимаем значения T_r для расчетных режимов двигателя и строим график (Рисунок 2.2).

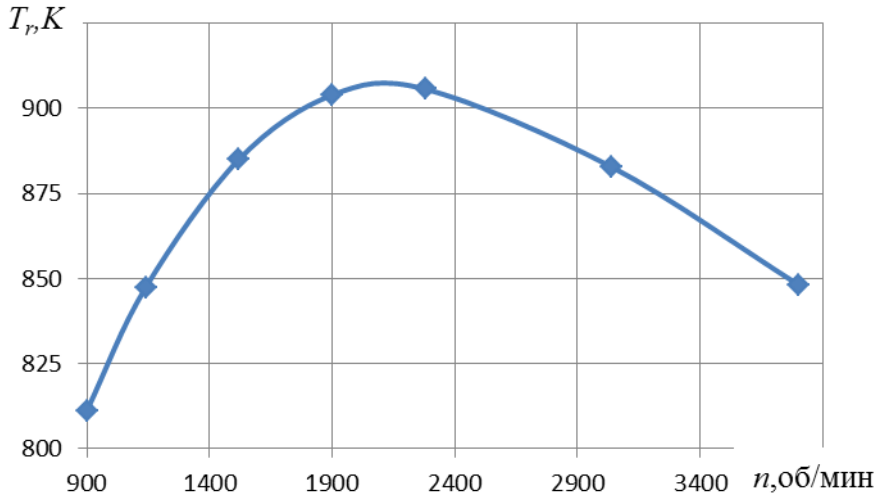


Рисунок 2.2. Изменение температуры остаточных газов T_r

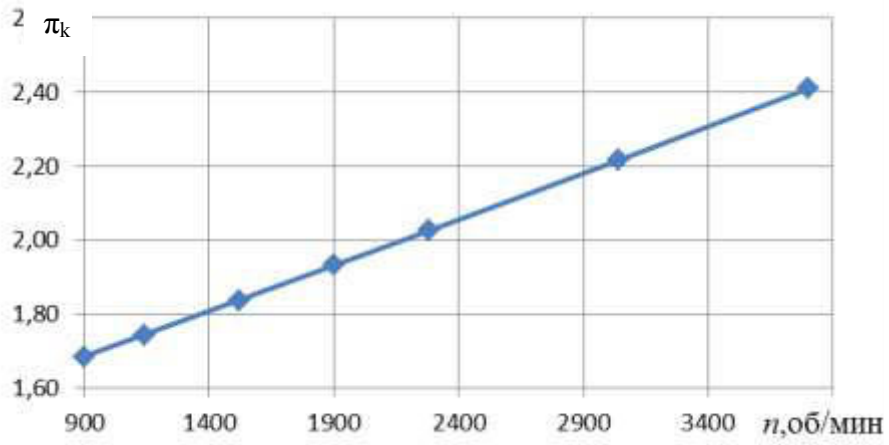


Рисунок 2.3. Степень сжатия в компрессоре π_k

Давление за воздухоочистителем:

$$P_0' = P_0 - \Delta P_{в/о} = 0{,}101325 - 0{,}0022 = 0{,}099325 \text{ МПа}$$

где $\Delta P_{в/о} = 0{,}002$ МПа [2] - потеря давления на воздухоочистителе

Давление за компрессором:

$$P_к = \pi_к \cdot P_0' = 2{,}41 \cdot 0{,}099325 = 0{,}239 \text{ МПа}$$

Температура за компрессором:

$$T_к = T_0 \cdot \pi_к^{(пк-1)/пк} = 293 \cdot 2{,}41^{(1{,}7-1)/1{,}7} = 420{,}89 \text{ К}$$

Давление за охладителем наддувочного воздуха:

$$P_к' = P_к - \Delta P_{онв} = 0{,}239 - 0{,}0045 = 0{,}2345 \text{ МПа},$$

где $\Delta P_{онв} = 0{,}0045$ МПа [2] - потеря давления в охладителе наддувочного воздуха.

Температура заряда за ОНВ:

Рассчитаем температуру заряда за ОНВ при $n_N = 3800$ об/мин

$$T_k' = T_k - \sigma \cdot (T_k - T_0) = 420{,}89 - 0{,}72 \cdot (420{,}89 - 293) = 328 \text{ К}$$

$\sigma = 0{,}72$ [2] – коэффициент эффективности ОНВ.

Строим графики изменения коэффициент эффективности ОНВ для расчетных режимов двигателя (Рисунок 2.4).

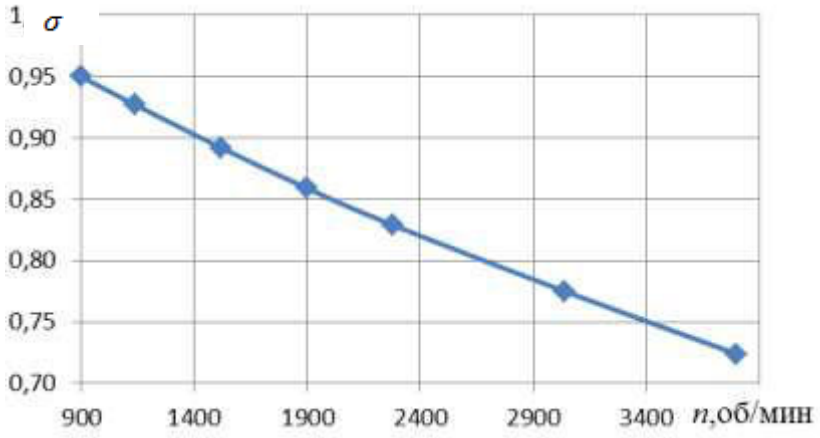


Рисунок 2.4. Изменение коэффициента эффективности ОНВ

Давление во впускном трубопроводе:

$$P_{тр} = P_к' - \Delta P_{тр} = 0{,}2345 - 0{,}0192 = 0{,}2153 \text{ МПа},$$

где $\Delta P_{тр} = 0{,}0192$ МПа [2] - потеря давления во впускном трубопроводе.

Давление остаточных газов:

$$P_r = P_{тр} \cdot 0{,}95 = 0{,}2345 \cdot 0{,}95 = 0{,}2228 \text{ МПа}.$$

Примем температуру подогрева свежего заряда $\Delta T_N = 15$ ºС. На остальных режимах значения ΔT рассчитываются по формуле:

$$\Delta T = A_T(110 - 0{,}0125n) = 0{,}24 \cdot (110 - 0{,}0125 \cdot 3800) = 15 \text{ К},$$

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

При $n_N = 3800$ об/мин:

$$A_T = 15/(110 - 0{,}0125 \cdot 3800) = 0{,}24.$$

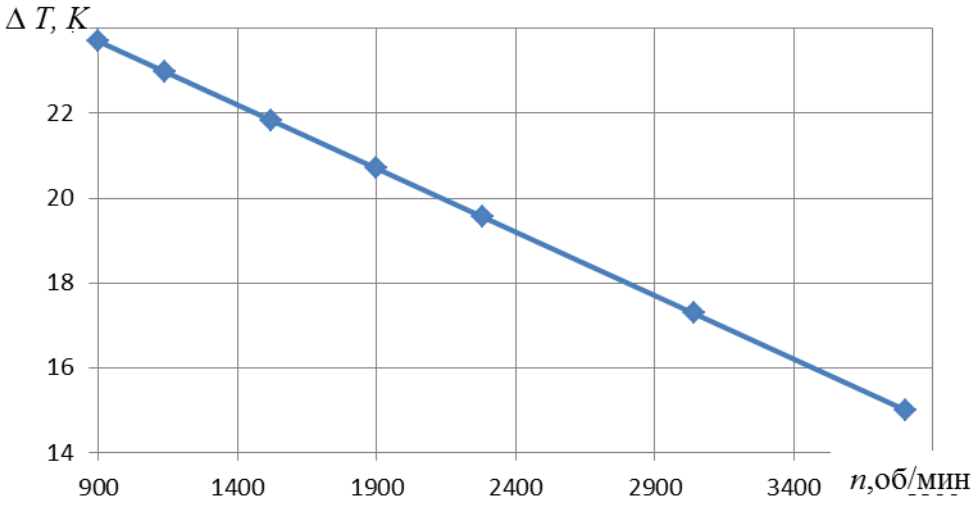


Рисунок 2.5. Изменение температуры подогрева свежего заряда

Плотность заряда на впуске:

$$\rho_{тр} = P_{тр} \cdot 10^6 / (R_B \, T_к') = 0{,}2153 \cdot 10^6 / (287 \cdot 328) = 1{,}979 \text{ кг/м}^3,$$

где $R_B = 287$ Дж/(кг·град) – удельная газовая постоянная для воздуха.

Потери давления на впуске при учете качественной обработки внутренних поверхностей впускных систем можно принять: $\beta^2 + \xi_{вп} = 2,4$ и $\omega_{вп} = 90$ м/с. Тогда ΔP_a на всех скоростных режимах двигателей рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_a = (\beta^2+\xi_{вп})\cdot (\omega_{вп}\cdot n/n_N)^2\cdot\rho_{тр}\cdot 10^{-6}/2=2,4\cdot (90\cdot 3800/3800)^2\cdot 1,979\cdot 10^{-6}/2 = $$
$$= 0,0192 \text{ МПа};$$

Давление в конце впуска:

$$P_a = P_{тр} - \Delta P_a = 0,2153 - 0,0192 = 0,196 \text{ МПа}$$

Задаемся значением коэффициента $\varphi_{доз}$[2], а также значением коэффициента очистки $\xi_{оч}$[2] для каждой из расчетных частот вращения.

При $n_N = 3800$ об/мин:

$\varphi_{доз} = 1,08$;

$\xi_{оч} = 0,9$.

Для остальных скоростных режимов значения: $\varphi_{доз}$ M_{CO_2}, $\xi_{оч}$ приведены в таблице 2.3.

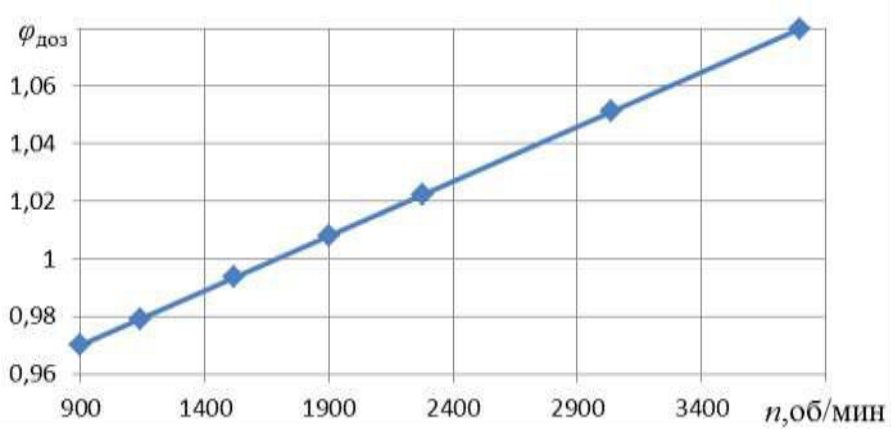


Рисунок 2.6 Изменение коэффициента дозарядки

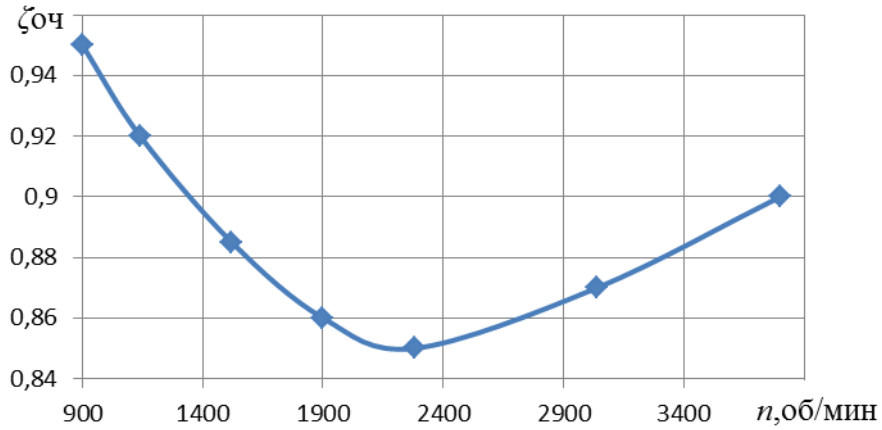


Рисунок 2.7. Изменение коэффициента отчистки

Тогда при $n_N = 3800$ мин$^{-1}$:

$$\gamma_r = \frac{T_k' + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{P_r \cdot \zeta_{оч}}{\varepsilon \cdot \varphi_{доз} \cdot P_a - \zeta_{оч} \cdot P_r} =$$

$$= \frac{(328+15)}{848{,}183} \cdot \frac{0{,}2228 \cdot 0{,}9}{16 \cdot 1{,}08 \cdot 0{,}196 - 0{,}9 \cdot 0{,}2228} = 0{,}023$$

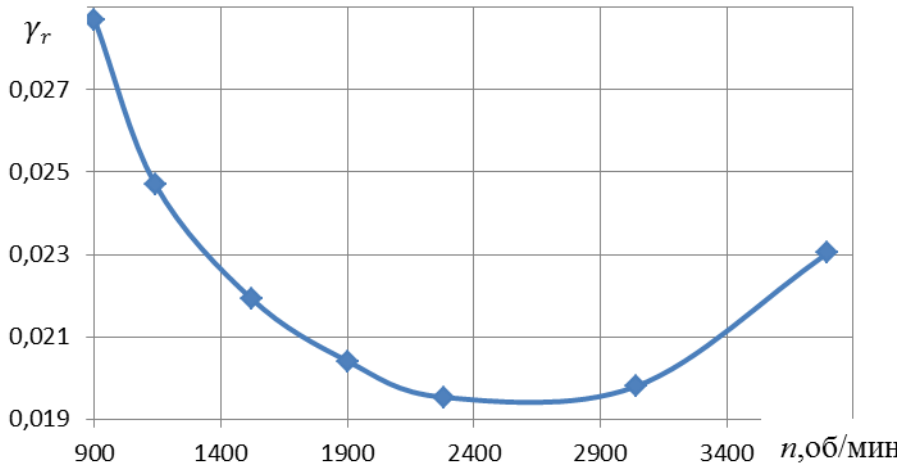


Рисунок 2.8. Изменение коэффициента остаточных газов

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_к' + \Delta T + \varphi_{доз}\gamma_r T_r)/(1 + \gamma_r) = (328 + 15 + 1{,}08 \cdot 0{,}023 \cdot$$
$$\cdot 848{,}183)/(1+0{,}023) = 355{,}905 \text{ K}.$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \varphi_{доз} \cdot (T_к' / (T_к' + \Delta T)) \cdot (\varepsilon /(\varepsilon\text{-}1)) \cdot (P_a/P_{тр}) \cdot (1 - \xi_{оч} P_r/\varepsilon \cdot P_a) =$$
$$= 1{,}08 \cdot (328/(328+15)) \cdot (16/(16 - 1) \cdot (0{,}196/0{,}2153) \cdot$$
$$\cdot (1 - 0{,}9 \cdot 0{,}2228/(16 \cdot 0{,}196)) = 0{,}9524.$$

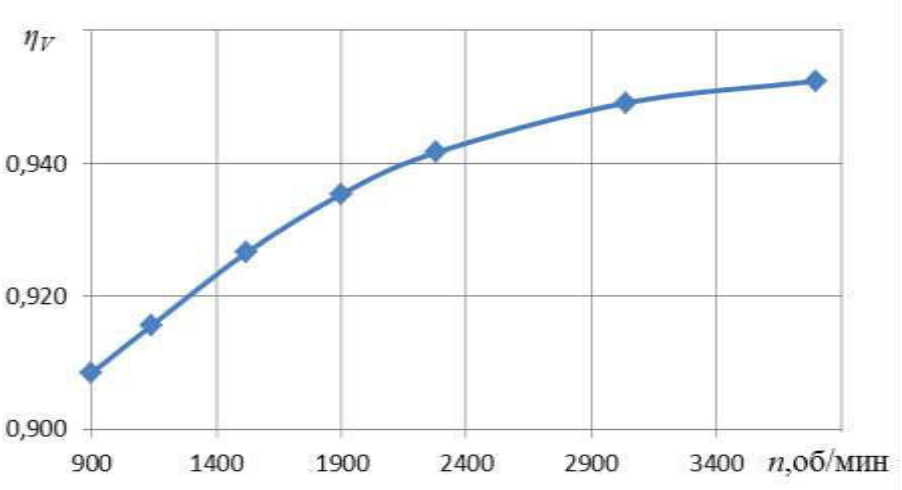


Рисунок 2.9. Изменение коэффициента наполнения

Значения основных параметров в зависимости от частоты вращения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

n,об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
α	1,4	1,38	1,353	1,35	1,375	1,51	1,73
T_r, К	811,230	847,464	885,095	903,969	905,700	882,765	848,183
$\pi_к$	1,6856	1,7445	1,8379	1,9317	2,0258	2,2153	2,4100
$T_к$, К	363,281	368,447	376,446	384,241	391,845	406,538	420,890
P_0', МПа	0,100851	0,100725	0,100525	0,100325	0,100125	0,099725	0,099325
$P_к$, МПа	0,170	0,176	0,185	0,194	0,203	0,221	0,239
$\Delta P_{онв}$	0,00106579	0,00135	0,0018	0,00225	0,0027	0,0036	0,0045
$P_к'$, МПа	0,1689	0,1744	0,1830	0,1915	0,2001	0,2173	0,2345
σ	0,950	0,927	0,892	0,859	0,829	0,775	0,724
$T_к'$, К	345	334	326	318	310	307	328
P_r, МПа	0,1605	0,1656	0,1738	0,1820	0,1901	0,2065	0,2228
ΔT, К	24	23	22	21	20	17	15
$\rho_{тр}$,кг/м^3	1,631	1,662	1,710	1,757	1,804	1,893	1,979
$P_{тр}$, МПа	0,16805	0,17291	0,18029	0,18727	0,19382	0,20554	0,21527
ΔP_a, Па	0,0009	0,0015	0,0027	0,0043	0,0063	0,0118	0,0192
P_a, МПа	0,16705	0,17563	0,18358	0,19108	0,19469	0,1954	0,196
φдоз	0,970	0,979	0,994	1,008	1,022	1,051	1,080
ξоч	0,95	0,92	0,885	0,86	0,85	0,87	0,9
γ_r	0,02822	0,02511	0,02229	0,02048	0,01954	0,02013	0,02304
T_a, К	380,177	368,561	359,428	350,186	340,992	336,193	355,905
η_v	0,9085	0,9156	0,9266	0,9354	0,9417	0,9491	0,9524

Процесс сжатия

Средний показатель адиабаты сжатия k_1 определяется по номограмме [1], 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. По номограмме [1] при n_N = 3800 мин $^{-1}$ k_1=1,384, n_1=1,374.

T_a= 355,905 К и ε = 16.

Давление в конце сжатия при n_N = 3800 об/мин:

$$P_c = P_a\varepsilon^{n_1} = 0{,}196 \cdot 16^{1{,}374} = 8{,}845 \text{ МПа}.$$

Температура в конце сжатия:

$$T_c = T_a\varepsilon^{n_1-1} = 355{,}905 \cdot 16^{1{,}374-1} = 1003{,}86 \text{ К}.$$

$$t_c = T_c - 273 = 1003{,}86 - 273 = 730{,}86 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя мольная теплоемкость в конце сжатия:

а) Свежей смеси (воздуха)

$(mc_v)_{t0}^{tc}$ =20,6 + 2,638·10^{-3}· t_c =20,6 + 2,638·10^{-3}·730,86 = 22,528 кДж/кмоль·°С,

b) CO_2 в продуктах сгорания

$(mc_v)_{co2}$ = 27,941+ 0,019 · t_c - 0,5487·10^{-6} · t_c^2 = 27,941+ 0,019 · 730,86 -

$$- 0{,}5487 \cdot 10^{-6} \cdot 730{,}86^2 = 38{,}896 \text{ кДж/кмоль·°С;}$$

c) H_2O в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{н2о} = 24{,}953 + 5{,}359 \cdot 10^{-3} \cdot t_c = 24{,}953 + 5{,}359 \cdot 10^{-3} \cdot 730{,}86 =$$
$$= 28{,}87 \text{ кДж/кмоль·°С;}$$

d) N_2 N_2 в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{N2} = 20{,}398 + 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot t_c = 20{,}398 + 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 730{,}86 = 22{,}225 \text{ кДж/кмоль·°С;}$$

e) O_2 N_2 в продуктах сгорания

$$(mc_v)_{O2} = 27{,}941 + 0{,}019 \cdot t_c - 0{,}00005487 \cdot t_c^{\,2} = 27{,}941 + 0{,}019 \cdot 730{,}86 -$$
$$-0{,}00005487 \cdot 730{,}86^{\,2} = 23{,}873 \text{ кДж/кмоль·°С;}$$

f) $(mc_v'')_{t0}^{tc}$ остаточных газов

$$(mc_v'')_{t0}^{tc} = (1/M_2) \cdot (M_{CO2} \cdot (mc_v)_{co2} + M_{H2O} \cdot (mc_v)_{H2O} + M_{N2} \cdot (mc_v)_{N2} + M_{O2} \cdot (mc_v)_{O2}) =$$
$$= (1/0{,}8955) \cdot (0{,}0725 \cdot 38{,}896 + 0{,}063 \cdot 28{,}87 + 0{,}6842 \cdot 22{,}225 + 0{,}0758 \cdot$$
$$23{,}874) =$$
$$= 24{,}182 \text{ кДж/кмоль·°С;}$$

g) $(mc_v')_{t0}^{tc}$ рабочей смеси

$$(mc_v')_{t0}^{tc} = ((mc_v)_{t0}^{tc} + \gamma_r \cdot (mc_v'')_{t0}^{tc})/(1 + \gamma_r) =$$
$$= (22{,}528 + 0{,}023 \cdot 24{,}182)/(1 + 0{,}023) = 22{,}565 \text{ кДж/кмоль·°С.}$$

Таблица 2.4

n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
k_1	1,352	1,356	1,361	1,366	1,371	1,378	1,384
n_1	1,342	1,346	1,351	1,356	1,361	1,368	1,374
Pc, МПа	6,899	7,334	7,773	8,204	8,475	8,673	8,845
Tc, К	981,28	961,91	951,17	939,65	927,75	932,62	1003,86
tc °С	708,28	688,91	678,17	666,65	654,75	659,62	730,86
$(mc_v)_{t0}^{tc\kappa}$,кДж/кмоль°С	22,468	22,417	22,389	22,359	22,327	22,340	22,528
$(mc_v)_{co2}$, кДж/кмоль°С	38,646	38,426	38,303	38,169	38,029	38,086	38,896
$(mc_v)_{н2о}$,кДж/кмоль°С	28,749	28,645	28,587	28,526	28,462	28,488	28,870
$(mc_v)_{N2}$, кДж/кмоль°С	22,169	22,120	22,093	22,065	22,035	22,047	22,225
$(mc_v)_{O2}$, кДж/кмоль°С	23,796	23,729	23,691	23,651	23,609	23,626	23,873
$(mc_v'')_{t0}^{tc}$,кДж/кмоль°С	24,463	24,419	24,416	24,377	24,298	24,150	24,182
$(mc_v')_{t0}^{tc}$, кДж/кмоль°С	22,523	22,466	22,433	22,399	22,365	22,376	22,565

Процесс сгорания

Коэффициент молекулярного изменения горючей μ_0 и рабочей μ смеси:

$$\mu_0 = M_2/M_1;\ \mu = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r).$$
$$\mu_0 = 0{,}8955/0{,}863 = 1{,}0366;$$
$$\mu = (1{,}0366 + 0{,}023)/(1 + 0{,}023) = 1{,}0358.$$

Теплота сгорания рабочей смеси:

$$H_{\text{раб.см}} = (H_u - \Delta H_u) / M_1(1 + \gamma_r) = (42437 - 0) / 0{,}863\cdot(1 + 0{,}023) =$$
$$= 48013{,}01 \text{ кДж/кмоль раб.см.}$$

Коэффициент использования теплоты выбираем по [1] и строим график изменения по частоте вращения коленчатого вала (рис. 2.10).

При n_N = 3800 об/мин ξ_Z = 0,83.

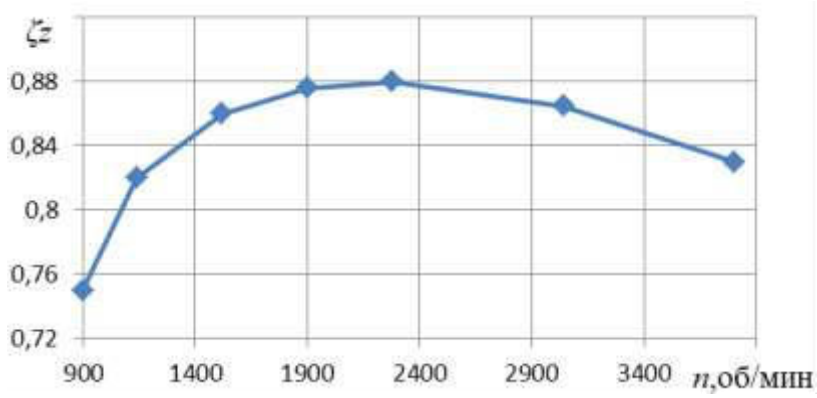


Рисунок 2.10. Изменение коэффициента использования теплоты

На номинальном режиме работы двигателя примем P_z = 12,7 МПа. Остальные значения приведены на рисунке 2.11 и таблице 2.5.

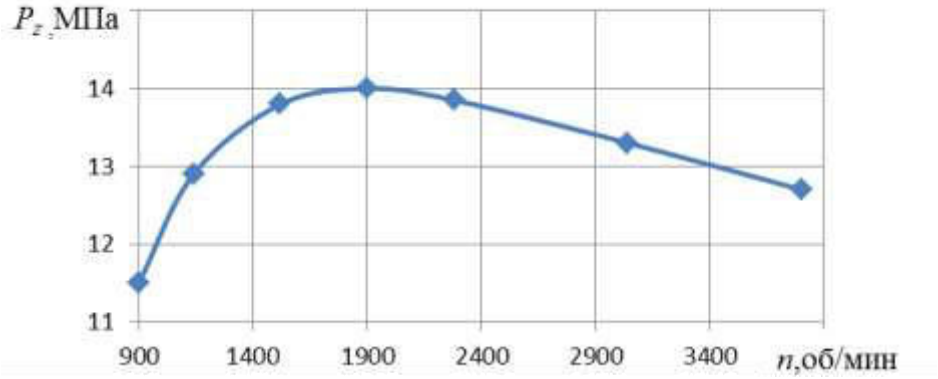


Рисунок 2.11. Изменение давления сгорания

Степень повышения давления :

$$\lambda = P_z / P_c = 12{,}7 / 8{,}845 = 1{,}4358.$$

Температуру в конце видимого процесса сгорания находим по формуле:

$$At_z^2 + Bt_z + C = 0;$$

где $A = \mu b$; $B = \mu a$;

$$a = 1/M_2\cdot(M_{CO2}\cdot 38{,}896 + M_{CO}\cdot 22{,}548 + M_{H2O}\cdot 28{,}87 + M_{H2}\cdot 21{,}149 +$$
$$+ M_{N2}\cdot 22{,}225 + M_{O2}\cdot 23{,}873) + 8{,}315 = 1/0{,}8955\cdot(0{,}0725\cdot 38{,}896 + 0{,}063\cdot$$
$$28{,}87 + + 0{,}684\cdot 22{,}225 + 0{,}0758\cdot 23{,}873) + 8{,}315 = 32{,}1381 \text{ кДж/кмоль}\cdot^{\circ}\text{C};$$
$$b = 1/M_2\cdot(M_{CO2}\cdot 0{,}003349 + M_{CO}\cdot 0{,}00143 + M_{H2O}\cdot 0{,}004438 + M_{H2}\cdot$$
$$\cdot 0{,}001758 + M_{N2}\cdot 0{,}001457 + M_{O2}\cdot 0{,}00155) =$$

$$= 1/0{,}8955 \cdot (0{,}0725 \cdot 0{,}003349 + 0{,}063 \cdot 0{,}004438 + 0{,}684 \cdot 0{,}001457 + 0{,}0758 \cdot 0{,}00155) = 0{,}00183 \text{ кДж/кмоль}\cdot^{\circ}\text{C}.$$

$$A = 1{,}0358 \cdot 0{,}00183 = 0{,}00189$$

$$B = 1{,}0358 \cdot 32{,}1381 = 33{,}2886$$

$$C = -\xi_z \cdot H_{\text{раб.см.}} - (mc_v')_{t0}^{tc} \cdot tc =$$

$$= -0{,}83 \cdot 48013{,}01 - 22{,}528 \cdot 730{,}86 = -64903{,}56$$

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} = \frac{-33{,}2886 + \sqrt{33{,}2886^2 - 4 \cdot 0{,}00189 \cdot (-64903{,}56)}}{2 \cdot 0{,}00189}$$

$$= 1771{,}32^0.C$$

$$T_z = t_z + 273 = 1771{,}32 + 273 = 2044{,}32\text{К}$$

Степень предварительного расширения:

$$\rho = \mu \cdot T_z / \lambda \cdot T_c = 1{,}0358 \cdot 2044{,}32 / 1{,}4358 \cdot 1003{,}86 = 1{,}4883$$

Для остальных скоростных режимов значения приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
μo	1,0452	1,0459	1,0468	1,0469	1,0461	1,0419	1,0366
μ	1,0440	1,0448	1,0458	1,0460	1,0452	1,0411	1,0358
$H_{раб.см}$,	59031,45	60068,51	61436,40	61682,32	60616,15	55164,98	48013,01
ξ_Z	0,75	0,82	0,86	0,876	0,88	0,865	0,83
P_z, МПа	11,5	12,9	13,8	14	13,85	13,3	12,7
λ	1,6669	1,7589	1,7754	1,7066	1,6342	1,5335	1,4358
a	32,4772	32,5027	32,5383	32,5424	32,5092	32,3484	32,1381
b	0,00191	0,00191	0,00192	0,00192	0,00191	0,00188	0,00183
A	0,001991	0,001999	0,002009	0,002011	0,002001	0,001954	0,001893
B	33,906	33,958	34,028	34,038	33,978	33,678	33,288
C	-71377,28	-	**Ошибка!**	**Ошибка!**	-	**Ошибка!**	-64903,56
t_Z, °C	1894,43	2017,68	2091,82	2096,46	2055,04	1909,16	1771,32
T_Z, K	2167,43	2290,68	2364,82	2369,46	2328,04	2182,16	2044,32
ρ	1,3846	1,4113	1,4608	1,5414	1,6040	1,5988	1,4883

Процесс расширения и выпуска

Средний показатель адиабаты расширения k_2 определяется по номограмме [1] 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:

$$\delta = \varepsilon / \rho = 16 / 1{,}4883 = 10{,}751$$

Давление и температура в конце расширения:

$$P_b = P_z / \delta^{n2} = 12{,}7 / 10{,}751^{1{,}194} = 0{,}7452 \text{ МПа}.$$

$$T_b = T_z / \delta^{n2-1} = 2044{,}32 / 10{,}751^{1{,}194-1} = 1290{,}0 \text{ К}.$$

$$T_r' = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{1290,0}{\sqrt[3]{\frac{0,7452}{0,2228}}} = 848,183 \text{ К}.$$

$$\Delta T_r = |T_r - T_r'|/T_r' \cdot 100\% = |848,183 - 848,183|/848,183 \cdot 100 = 0\%$$

Для остальных режимов значения k_2, n_2, δ, P_b, T_b, T_r', ΔT_r приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
k_2	1,230	1,220	1,205	1,193	1,185	1,180	1,195
n_2	1,229	1,219	1,204	1,192	1,184	1,179	1,194
δ	11,556	11,337	10,953	10,380	9,975	10,007	10,751
Pb, МПа	0,5682	0,6686	0,7732	0,8606	0,9094	0,8800	0,7452
Tb, K	1237,58	1345,88	1451,14	1511,86	1524,70	1445,12	1290,00
Tr', K	811,230	847,464	885,095	903,969	905,700	882,765	848,183
ΔTr', %	0	0	0	0	0	0	0

Индикаторные параметры рабочего цикла

Теоретическое среднее индикаторное давление:

$$P_i' = \frac{P_a \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\lambda \cdot (\rho - 1) + \frac{\rho \cdot \lambda}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}\right)\right] =$$

$$= \frac{0,196 \cdot 16^{1,374}}{16 - 1} \cdot$$

$$\cdot \left[1,4358 \cdot (1,4883 - 1) + \frac{1,4883 \cdot 1,4358}{1,194 - 1}\left(1 - \frac{1}{10,751^{1,194-1}}\right)\right.$$

$$\left. - \quad - \frac{1}{1,374 - 1}\left(1 - \frac{1}{16^{1,374-1}}\right)\right] = 1,7938 \text{ МПа}$$

Среднее индикаторное давление:

$$P_i = \varphi_u P_i' = 0,95 \cdot 1,7938 = 1,7041 \text{ МПа}$$

где $\varphi_u = 0,95$ – коэффициент полноты диаграммы.

Индикаторный КПД и индикаторный удельный расход топлива:

$$\eta_i = (P_i \cdot T_к' \cdot M_1 \cdot 8,315) / (P_к' \cdot Hu \cdot \eta_V \cdot 10^3) =$$

$$= (1,7041 \cdot 328 \cdot 0,863 \cdot 8,315) / (0,2345 \cdot 42437 \cdot 0,9524) = 0,4681$$

$$g_i = 3600 / (H_u \, \eta_i) = 3600 / (42,437 \cdot 0,4681) = 181,208 \text{ г/кВт·ч}.$$

Значения P_i', P_i, η_i, g_i для остальных режимов представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
P_i',МПа	1,4597	1,7677	2,0506	2,2533	2,3453	2,2019	1,7938
Pi, МПа	1,3868	1,6793	1,9481	2,1406	2,2280	2,0918	1,7041
ηi	0,4298	0,4666	0,4866	0,4914	0,4908	0,4853	0,4681
gi,г/кВт·ч	197,392	181,793	174,331	172,646	172,849	174,789	181,208

Эффективные показатели двигателя

Среднее давление механических потерь:

$$P_M = (P_к'/P_0)^{0,125}\cdot(0,089 + 0,0118\cdot V_{n.ср.}) + 0,035 \cdot (P_к' – P_0);$$

Предварительно принимаем среднюю скорость поршня $V_{n.ср}(n_N)$ = = 12,286 м/с;

Тогда:

$$P_M = (0,2345/0,101325)^{0,125} \cdot (0,089 + 0,0118\cdot 12,286) + 0,035\cdot(0,2345 – 0,101325) =$$

$$= 0,2645 \text{ МПа};$$

Среднее эффективное давление и механический КПД:

$$\eta_M = (P_i – P_M) / P_i = (1,7041 – 0,2645) / 1,7041 = 0,8447;$$

$$P_e = P_i\cdot\eta_M = 1,7041 \cdot 0,8447 = 1,4395 \text{ МПа}.$$

Эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива:

$$\eta_e = \eta_i\cdot \eta_M = 0,4681 \cdot 0,8447 = 0,3954;$$

$$g_e = g_i / \eta_M = 181,208 / 0,8447 = 214,505 \text{ г/кВт·ч}.$$

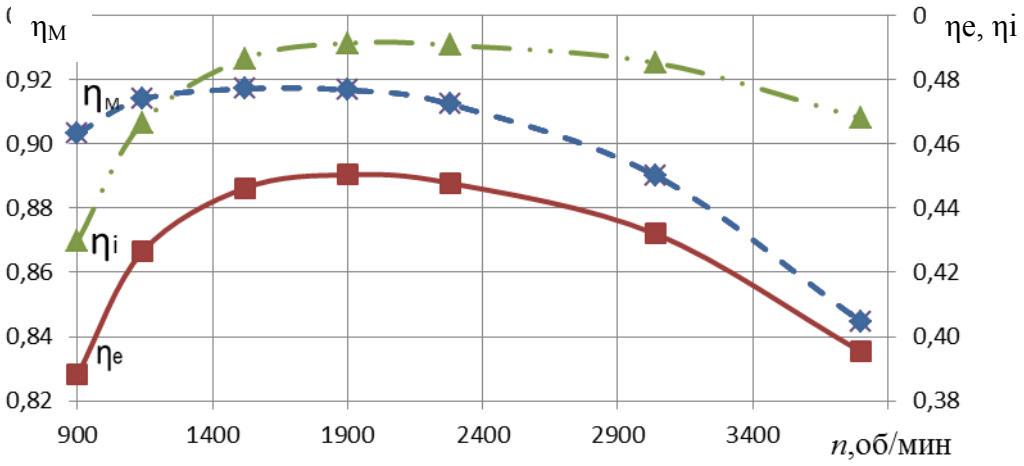


Рисунок 2.12. Изменение механического и эффективного КПД

Значения для остальных режимов представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8

n об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
Vn.ср, м/с	2,91	3,686	4,9146	6,1433	7,372	9,82933	12,2866
Рм, МПа	0,1338	0,1444	0,1611	0,1780	0,1951	0,2296	0,2645
Ре, МПа	1,2529	1,5349	1,7869	1,9626	2,0329	1,8621	1,4395
η_M	0,9034	0,9140	0,9172	0,9168	0,9124	0,8902	0,8447
η_e	0,3882	0,4265	0,4463	0,4504	0,4478	0,4320	0,3954
g_e, г/кВт·ч	218,478	198,889	190,0489	188,306	189,435	196,336	214,505

Основные параметры цилиндра и двигателя

Литраж:

$$V_л = 30\tau N_e / P_e n_N = 30 \cdot 4 \cdot 110 / 1,4395 \cdot 3800 = 2,413 \text{ л}.$$

Рабочий объем одного цилиндра:

$$V_h = V_л / i = 2{,}413/4 = 0{,}6032 \text{ л.}$$

Диаметр цилиндра:

Принимаем отношение $S/D = 1{,}1$.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi S/D}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0{,}6032}{3{,}14 \cdot 1{,}1}} = 0{,}887 \text{ дм} = 88{,}7 \text{ мм}$$

Окончательно принимаем D=89 мм.

Ход поршня:

$$S = \frac{S}{D} \cdot D = 1{,}1 \cdot 0{,}89 = 0{,}979 \text{ дм} = 97{,}9 \text{ мм}$$

Окончательно принимаем S = 98 мм

Скорость поршня:

$$V_{n.ср} = S \cdot n_N/30000 = 98 \cdot 3800/30000 = 12{,}413 \text{ м/с}$$

Основные параметры и показатели двигателя:

Площадь поршня:

$$F_П = \pi(D \cdot 10^{-3})^2/4 = 3{,}14 \cdot (89 \cdot 10^{-3})^2/4 = 0{,}0062 \text{ м}^2$$

Уточненный рабочий объем одного цилиндра:

$$V_h = \pi D^2 S/4 = 3{,}14 \cdot 0{,}89^2 \cdot 0{,}98/4 = 0{,}6041 \text{ л}$$

Уточненный литраж двигателя

$$V_л = V_h \cdot i = 0{,}6041 \cdot 4 = 2{,}416 \text{ л}$$

Уточненная мощность двигателя:

$$N_e = P_e V_л n / 30\tau = (1{,}4395 \cdot 2{,}416 \cdot 3800) / (30 \cdot 4) = 110{,}042 \text{ кВт.}$$

Литровая мощность двигателя:

$$N_л = N_e / V_л = 110{,}042 / 2{,}416 = 45{,}54 \text{ кВт/л.}$$

Крутящий момент;

$$M_e = (N_e \cdot 3 \cdot 10^4)/(\pi \cdot n) = (110{,}042 \cdot 3 \cdot 10^4)/(3{,}14 /3800) = 276{,}53 \text{ Н·м.}$$

Часовой расход топлива

$$G_T = Ne \cdot g_e \cdot 10^{-3} = 110{,}042 \cdot 214{,}505 \cdot 10^{-3} = 23{,}632 \text{ кг/ч.}$$

Коэффициент приспосабливаемости:

$$K_м = Me_{max}/Me_n = 354{,}792/276{,}53 = 1{,}28.$$

Скоростной коэффициент:

$$K_n = n_N/n_M = 2280/3800 = 0{,}6$$

Таблица 2.9

n об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
N_e, кВт	20,772	31,593	48,966	67,159	84,711	106,138	110,042

M_e, Нм	220,402	264,638	307,627	337,540	354,792	341,714	276,533
G_T, кг/ч	4,529	6,254	9,252	12,559	15,966	21,423	23,632

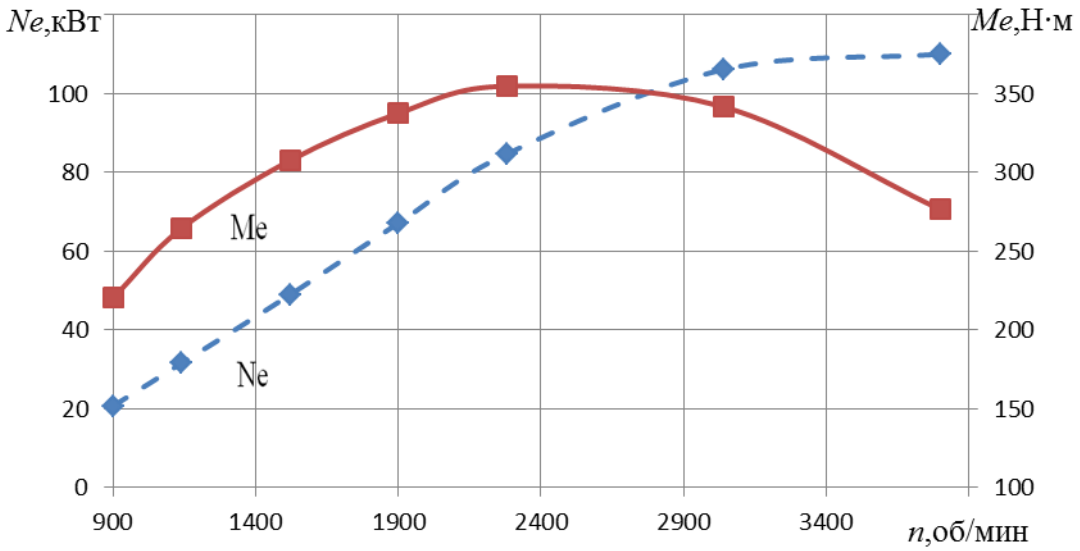


Рисунок 2.13. Изменение мощности и крутящего момента двигателя

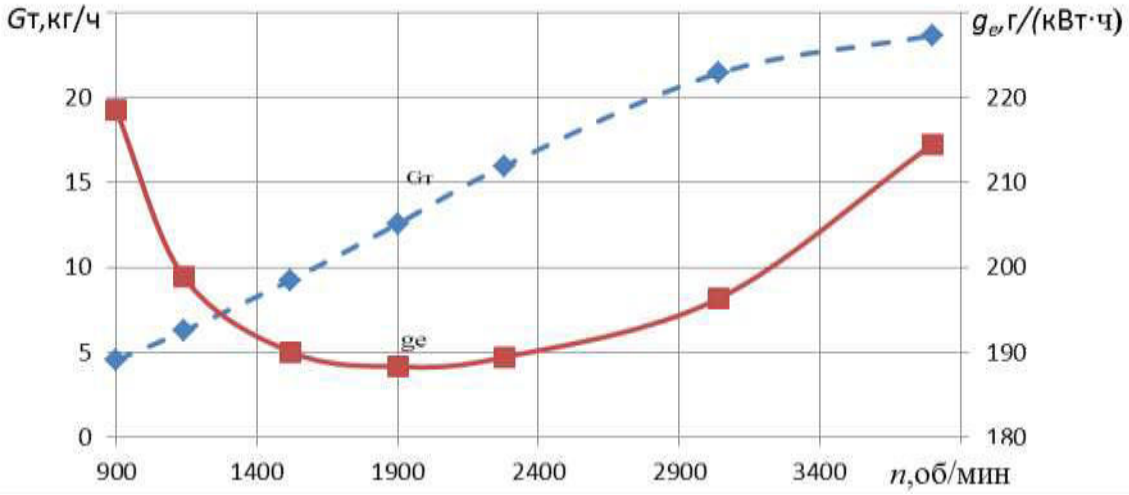


Рисунок 2.14. Изменение эффективного удельного расхода и часового расхода топлива

Построение индикаторной диаграммы

Строим индикаторную диаграмму для номинального режима работы двигателя, т.е. при N_e = 110,042 кВт и n = 3800 об/мин.

Находим объем камеры сгорания

$$V_c = V_h / \varepsilon\text{-}1 = 0{,}6041 / (16 - 1) = 0{,}0402 \text{ л.}$$

Полный объем цилиндра $V_a = V_h + V_c$ = 0,6041 + 0,0402 = 0,644 л.

Принимаем безразмерный коэффициент КШМ λ = 0,3

Далее по углу поворота КВ φ с шагом 10° находим:

- ход поршня

$$x = \frac{S}{2}\left[(1-\cos\varphi)+\frac{\lambda}{4}(1-\cos 2\varphi)\right]$$

$$x(10^{\circ}) = \frac{98}{2}\left[(1-cos\,10^{\circ})+\frac{0.3}{4}(1-cos\,2\cdot 10^{\circ})\right] = 0{,}9552 \text{ мм}$$

- объем надпоршневого пространства

$$V(x) = V_c + \frac{x}{100}\cdot\frac{\pi\left(\frac{D}{100}\right)^2}{4}$$

$$V(x) = 0{,}0402 + \frac{0{,}9552}{100}\cdot\frac{\pi\cdot\left(\frac{89}{100}\right)^2}{4} = 0{,}04623 \text{ дм}^3$$

- давление не скругленной диаграммы

a) если $\varphi \le 180^{\circ}$, то $P_{расч} = P_a$;

b) если $180^{\circ} \le \varphi \le 360^{\circ}$, то $P_{расч} = P_a \cdot (V_a / V_x)^{n1}$;

c) если $390^{\circ} \le \varphi \le 540^{\circ}$, то $P_{расч} = P_b \cdot (V_a / V_x)^{n2}$;

d) если $540^{\circ} \le \varphi \le 720^{\circ}$, то $P_{расч} = P_r$.

Остальные значения для других положений КВ представлены в таблице 2.11. По полученным данным строим график не скругленной индикаторной диаграммы (рис. 2.15).

Полученную диаграмму необходимо скруглить. Для этого необходимо установить фазы газораспределения, с учетом получения хорошей очистки цилиндра от отработавших газов и обеспечения дозарядки в пределах, принятых в расчете. В связи с этим начало открытия впускного клапана (точка *r'*) устанавливается за 20° до в.м.т., а закрытие (точка *a''*) через 50° после прохождения н.м.т.; начало открытия выпускного клапана(точка *b'*) принимается за 70° до прихода в н.м.т., а закрытие (точка *r''*) – через 20° после прохода поршня в.м.т. Учитывая быстроходность двигателя, угол опережения впрыска топлива φ (точка *c'*) принимается равным 30°, а продолжительность задержки воспламенения (точка *f*) – $\Delta\varphi$=10˚.

Принимаем что действительное давление сгорания (точка *z*) достигает через 10° после в.м.т., т.е. при повороте КВ на 370°. В соответствии с принятыми фазами газораспределения и углом опережения зажигания определяется положение точек *r',a',b',r'',c',z'* *u* *f*. Результаты расчета этих точек представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Точка	Положение точек	φ,˚	*S*,мм	*V*,дм^3	*P*,Мпа

c''	ВМТ	360	0	0,0402	10,0833
r'	20 до ВМТ	700	3,7720	0,0637	0,2228
r''	20 после ВМТ	20	3,7720	0,0637	0,196
m	50 после НМТ	230	83,8578	0,50112	0,23591
c'	30 до ВМТ	330	8,3079	0,0920	2,840
f	10 после точки c	340	3,772	0,0637	4,702
$z_д$	10 после ВМТ	370	0,9552	0,0462	12,7
b'	70 до НМТ	470	71,4382	0,45065	1,0444
b''	НМТ	540	98	0,64412	0,4706

Положения точек c'' и b'' определяем из выражений:

$$P''_c = 1{,}14 \cdot P_c = 1{,}14 \cdot 8{,}845 = 10{,}0833 \text{ МПа};$$

$$P''_b = (P_b + P_a)/2 = (0{,}7452 + 0{,}196)/2 = 0{,}4706 \text{ МПа}$$

Скругляем диаграмму по полученным точкам и получаем скругленную индикаторную диаграмму(рис. 2.15).

Таблица 2.11

φ,°	S, мм	V, дм³	Ррасч, МПа	Рскр, МПа	
0	0	0,040278	0,1960	0,209388	
10	0,955206	0,046234	0,1960	0,218	
20	3,772028	0,063798	0,1960	0,1960	r"
30	8,307944	0,09208	0,1960	0,1960	
40	14,33790	0,129677	0,1960	0,1960	
50	21,57168	0,174781	0,1960	0,1960	
60	29,67562	0,225310	0,1960	0,1960	
70	38,29648	0,279062	0,1960	0,1960	
80	47,08510	0,333860	0,1960	0,1960	
90	55,7175	0,357684	0,1960	0,1960	
100	63,91161	0,398775	0,1960	0,1960	
110	71,43823	0,450654	0,1960	0,1960	
120	78,12562	0,489302	0,1960	0,1960	
130	83,8578	0,50112	0,1960	0,1960	
140	88,56762	0,55201	0,1960	0,1960	
150	92,2258	0,58541	0,1960	0,1960	
160	94,82824	0,61533	0,1960	0,1960	

Продолжение таблицы2.11

170	96,38307	0,63952	0,1960	0,1960	
180	98	0,64412	0,1960	0,1960	
190	96,38307	0,63952	0,197549	0,19735	
200	94,82824	0,61533	0,201529	0,20153	
210	92,22585	0,58541	0,208867	0,20887	
220	88,56760	0,55201	0,219994	0,21999	
230	83,85780	0,50112	0,23590	0,23591	m
240	78,12562	0,489302	0,258149	0,25815	
250	71,43823	0,450654	0,289096	0,28908	
260	63,91161	0,398775	0,332933	0,33239	
270	55,717	0,357684	0,394025	0,39403	
280	47,08510	0,333860	0,48385	0,48386	
290	38,29648	0,279062	0,619013	0,61901	
300	29,67562	0,225310	0,830563	0,83056	
310	21,57168	0,174781	1,177352	1,17735	
320	14,33790	0,129677	1,774261	1,77426	
330	8,307944	0,09208	2,840080	2,84008	c'
340	3,772028	0,063798	4,702687	4,702068	f
350	0,955206	0,046234	7,318584	7,334259	
360	0	0,040278	8,845388	10,0833	c''
360	0	0,040278	12,7	10,0833	c''
370	0,955206	0,046234	12,7	12,7	z_∂
380	3,772028	0,063798	12,7	12	
390	8,307944	0,09208	7,607159	7,319801	
400	14,33790	0,129677	5,054466	5,054466	
410	21,57168	0,174781	3,539138	3,539138	
420	29,67562	0,225310	2,613458	2,613458	
430	38,29648	0,279062	2,024270	2,024270	
440	47,08510	0,333860	1,634177	1,634177	
450	55,7175	0,357684	1,367075	1,367075	
460	63,91161	0,398775	1,179228	1,179228	
470	71,4382	0,450654	1,04449	1,04449	b'
480	78,12562	0,489302	0,976669	0,972291	
490	83,85780	0,50112	0,875381	0,87326	
500	88,56760	0,55201	0,823830	0,81595	
510	92,22580	0,58541	0,7875	0,77914	
520	94,82824	0,61533	0,763401	0,72348	
530	96,38307	0,63952	0,74964	0,5265	
540	98	0,64412	0,7452	0,4706	b''
540	98	0,64412	0,2228	0,4706	b''
550	96,38307	0,63952	0,2228	0,263	
560	94,82824	0,61533	0,2228	0,245	
570	92,22580	0,58541	0,2228	0,23	
580	88,56760	0,55201	0,2228	0,2228	
590	83,85780	0,50112	0,2228	0,2228	
600	78,12525	0,489302	0,2228	0,2228	
610	71,43823	0,450654	0,2228	0,2228	

Продолжение таблицы 2.11

620	63,91161	0,398775	0,2228	0,2228	
630	55,7175	0,357684	0,2228	0,2228	
640	47,08510	0,333860	0,2228	0,2228	
650	38,29648	0,279062	0,2228	0,2228	
660	29,6756	0,225310	0,2228	0,2228	
670	21,57168	0,174781	0,2228	0,2228	
680	14,33790	0,129677	0,2228	0,2228	
690	8,307944	0,09208	0,2228	0,2228	
700	3,772028	0,063798	0,2228	0,2228	r'
710	0,955206	0,046234	0,2228	0,22	
720	0	0,040278	0,2228	0,209388	

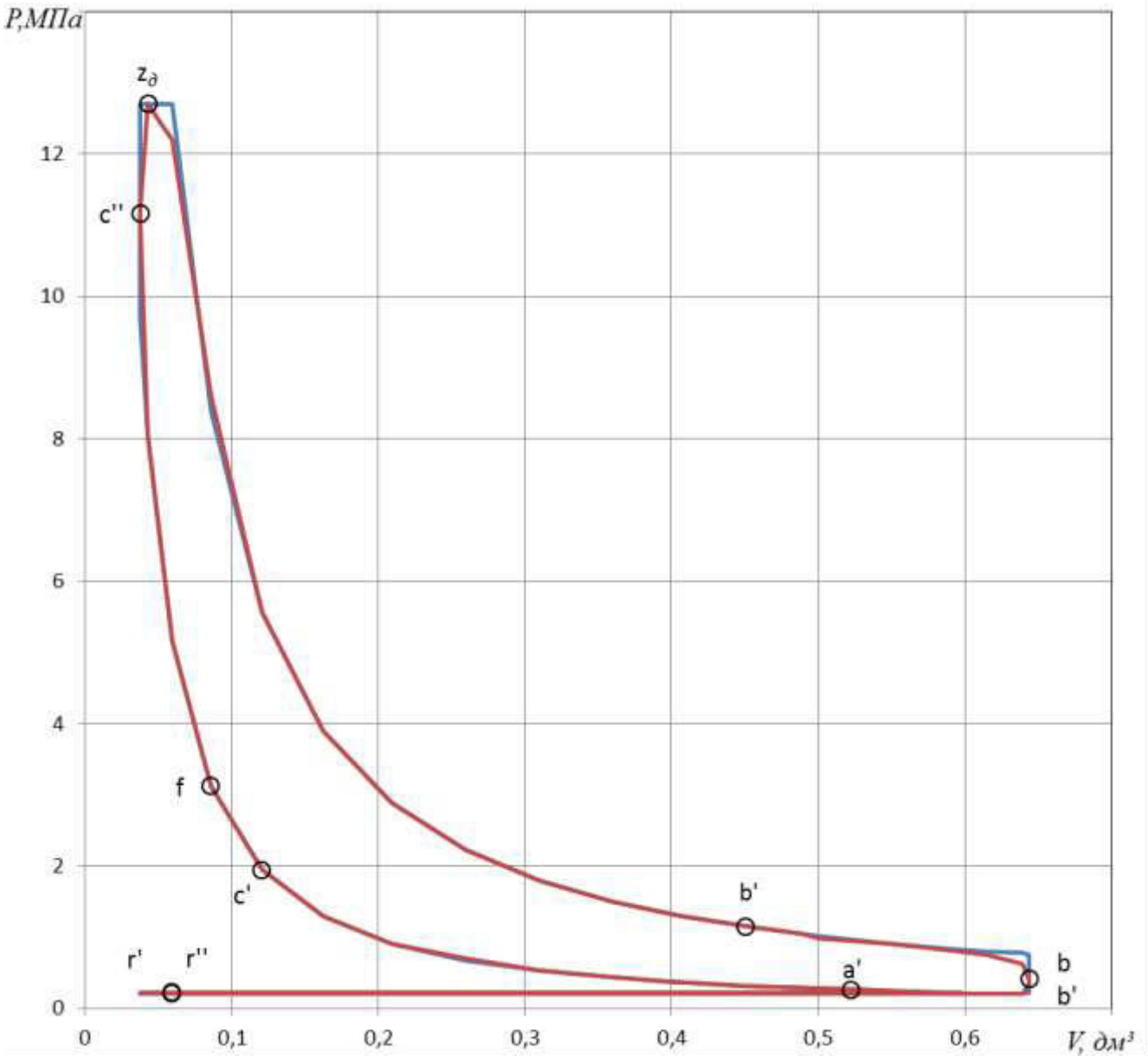


Рисунок 2.14. Индикаторная диаграмма

2.3. Тепловой баланс

Тепло, выделяющееся при сгорании топлива в цилиндрах двигателя, не может быть полностью преобразовано в полезную механическую работу.

Тепловой баланс позволяет определить тепло, превращенное в полезную эффективную работу, т.е. установить степень достигнутого совершенства теплоиспользования и наметить пути уменьшения имевшихся потерь.

В общем виде тепловой баланс двигателя может быть представлен в виде:

$$Q_0 = Q_e + Q_r + Q_B + Q_{н.с} + Q_{ост} = H_u G_T / 3{,}6$$

Где Q_0 - общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом.

Теплота, эквивалентная эффективной работе двигателя за 1с:

$$Q_e = 1000 N_e$$

Теплота, потерянная с отработавшими газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3{,}6}\right) \cdot \left\{ M_2 \left[\left(mc_V''\right)_{t_0}^{t_r} + 8{,}315 \right] t_r - M_1 \left[\left(mc_V\right)_{t_0}^{20} + 8{,}315 \right] t_0 \right\}$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m} n^m \left(H_u - \Delta H_u\right)}{\alpha H_u}$$

Где c = 0,53 - коэффициент пропорциональности для четырехтактного двигателя, выбираем по рекомендациям; i – число цилиндров; D – диаметр цилиндра, см; n – частота вращения КВ, мин$^{-1}$; m = 0,6 - 0,7 – показатель степени для 4-х тактного двигателя.

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_{н.с} = \Delta H_u G_T / 3{,}6$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_r + Q_B + Q_{н.с}).$$

Для удобства сравнения распределения теплоты или оценить степень теплоиспользования, то удобнее относительные величины, в процентах.

Проведем пример расчета для номинального режима, для всех остальных режимов результаты приведены в таблице 2.12.

$$Q_0 = 42437 \cdot 23{,}632/3{,}6 = 278574{,}18 \text{ Дж/с};$$

$$Q_e = 1000 \cdot 110{,}042 = 110042{,}18 \text{ Дж/с};$$

$$Q_r = \left(\frac{23,632}{3,6}\right) \cdot (0,8955[23,725 + 8,315] \cdot 601,691 - 0,863 \cdot [(20,652 + 8,315) \cdot 20]) = 112837,8$$

Дж/с;

$Q_B = 0,53 \cdot 4 \cdot 0,89^{1+2 \cdot 0,66} \cdot 3800^{0,66} \cdot (42437 - 0)/(1,73 \cdot 42437) = 44741,35$ Дж/с;

$Q_{н.с} = \Delta Hи \cdot G_T / 3,6 = 0$;

$Q_{ост} = 278574,18 - (110042,18 + 112837,8 + 44741,35) = 10952,82$ Дж/с;

Переведем абсолютные величины в относительные величины:

$q_e = (Q_e \cdot 100\%) / Q_0 = (110042,18 \cdot 100\%) / 278574,18 = 39,502\%$;

$q_r = (Q_r \cdot 100\%) / Q_0 = (Q_r \cdot 100\%) / Q_0 = (112837,8 \cdot 100\%) / 278574,18 = 40,505\%$;

$q_в = (Q_в \cdot 100\%) / Q_0 = (Q_в \cdot 100\%) / Q_0 = (44741,35 \cdot 100\%) / 278574,18 = 16,061\%$;

$q_{ост} = (Q_{ост} \cdot 100\%) / Q_0 = (10952,82 \cdot 100\%) / 278574,18 = 3,932\%$;

Таблица 2.12

n об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
Q_o, Дж/с	58487,48356	82623,94	122551,45	166702,81	208455,433	263870,286	278574,18
Q_e, Дж/с	22702,89648	35230,266	54683,252	75068,061	93304,1257	113930,681	110042,18
Q_r, Дж/с	17068,2	25440,847	39858,981	56005,707	72063,4699	98202,1016	112837,82
m	0,6	0,61	0,62	0,622	0,625	0,643	0,66
c	0,52	0,52	0,525	0,53	0,53	0,53	0,53
$Q_в$, Дж/с	10726,60144	14055,329	19389,776	23072,136	26310,7027	35840,2371	44741,349
$Q_{ост}$,Дж/с	7989,747242	7897,4978	8619,4409	12556,902	16777,135	15897,2665	10952,827
q_e,%	38,817	42,639	44,621	45,031	44,760	43,177	39,502
q_r,%	29,183	30,791	32,524	33,596	34,570	37,216	40,505
$q_в$,%	18,340	17,011	15,822	13,840	12,622	13,583	16,061
$q_{ост}$,%	0,000	9,558	7,033	7,533	8,048	6,025	3,932

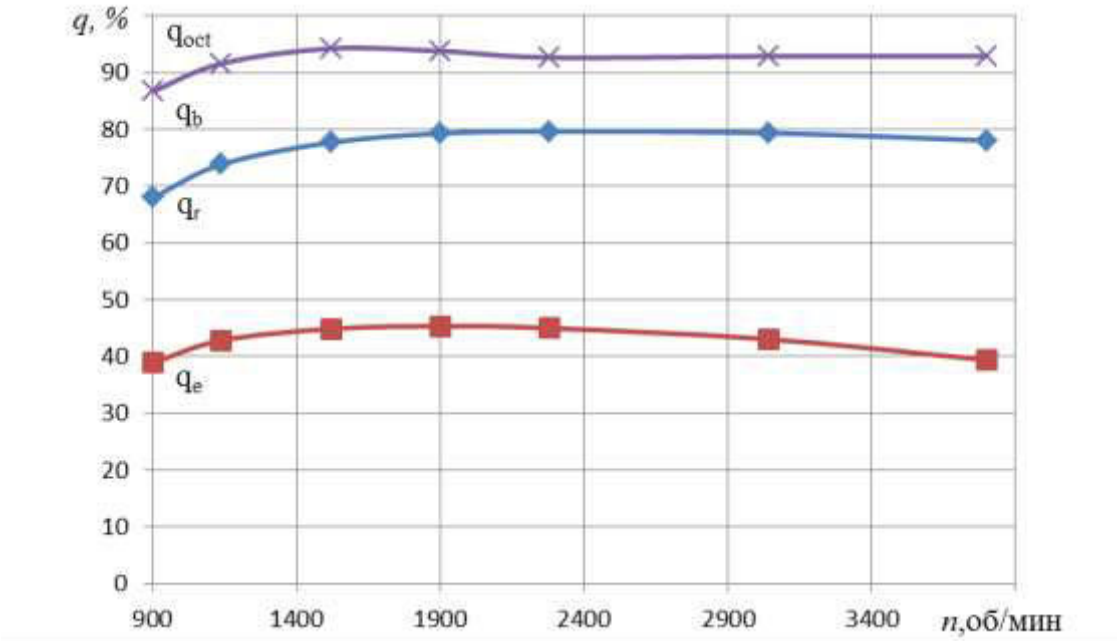


Рисунок 2.15. Зависимость составляющих теплового баланса двигателя от частоты вращения КВ.

Вывод. При выполнении теплового расчета были определены параметры рабочего тела в цилиндре двигателя, а также оценочные показатели процесса, позволяющие определить размеры двигателя и оценить его мощностные и экономические показатели. При n_N = 3800 об/мин: N_e = 110,042 кВт, M_e = = 354,792 Н·м, g_e = 214,505 г/кВт·ч. D = 89 мм, S = 98 мм, $V_Л$ = 2,416 л, $N_Л$ = = 45,54 кВт/л.

3. Расчет характеристик транспортного средства со спроектированным двигателем.

3.1. Исходные данные

Автомобиль

Автомобиль класса N3

Снаряженная масса – 2017 кг; полная масса – 3000 кг;

Длина/ширина/высота – 4892/1904/1990 мм;

База автомобиля – 3000 мм;

Колея спереди/сзади – 1628/1628 мм;

Колёсная формула – 215/65 R16;

Максимальная скорость – 173 км/ч;

Время разгона 0-100 км/ч – 14,2 с;

Коэффициент аэродинамического сопротивления – 0,36;

Контрольный расход топлива:

- 90 км/ч – 6,3 л/100 км;

- 120 км/ч – 7,1 л/100 км;

- Гор.цикл – 9,6 л/100 км;

Скорость встречного ветра - $v_B = 0$ м/с.

Двигатель

Расположение – рядное;

Мощность – 110 кВт при 3800 об/мин;

Крутящий момент – 354 Нм при 2280 об/мин;

Рабочий объем – 2420 $см^3$;

Диаметр цилиндра/ход поршня – 89/98 мм;

Степень сжатия – 16;

Число клапанов на цилиндр – 4;

Система питания – CR;

Топливо – ДТ;

Трансмиссия

Привод – передний;

Коробка передач(тип, передаточные числа) – М5 (3,5-1,89-1,23-0,87-0,67);

Главная передача – 3,87.

3.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя.

Дальнейшие расчёты будут производиться на основании внешней скоростной характеристики двигателя. Данные ВСХ берём из теплового расчёта.

Таблица 3.1

n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
N_e, кВт	20,70	31,50	48,90	67,1	84,7	106,1	110
M_e, Н·м	220,4	264,6	307,6	337,5	354,7	341,7	276,5

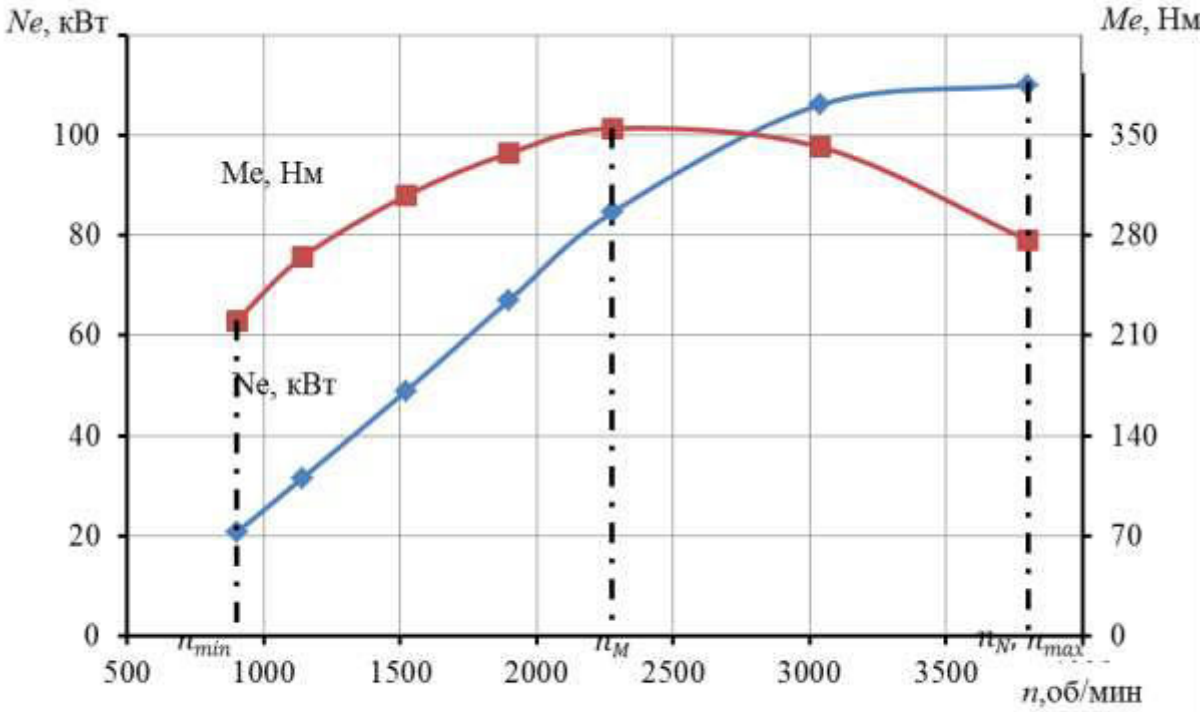


Рисунок 3.1. Внешняя скоростная характеристика.

3.3 Силовой баланс автомобиля

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

$$P_т = P_к + P_п + P_в + P_и = P_д + P_в + P_и,$$

где $P_к$ - сила сопротивления качению;

$P_п$ - сила сопротивления подъему;

$P_в$ - сила сопротивления воздуха;

$P_и$ - приведенная сила инерции;

$P_д = P_к + P_п$ - сила сопротивления дороги.

Для удобства решения и графического представления уравнение силового баланса записано с использованием свободной силы тяги: $P_{св}=P_т - P_в$

$$P_{св} = P_д + P_и$$

Графоаналитическое решение уравнения силового баланса осуществляется следующим образом.

Определяем скорость движения автомобиля в зависимости от частоты вращения коленчатого вала:

$$v = \frac{\pi \cdot n \cdot r_k}{30 \cdot u_{тр}}$$

где r_k- радиус качения колеса;

$u_{тр} = u_k \cdot u_г$ - передаточное число трансмиссии;

$u_к$ - передаточное число коробки передач;

$u_г$ - передаточное число главной передачи.

$$u_{тр1} = 3{,}5 \cdot 3{,}87 = 13{,}55;$$
$$u_{тр2} = 1{,}89 \cdot 3{,}87 = 7{,}31;$$
$$u_{тр3} = 1{,}23 \cdot 3{,}87 = 4{,}76;$$
$$u_{тр4} = 0{,}87 \cdot 3{,}87 = 3{,}36;$$
$$u_{тр5} = 0{,}67 \cdot 3{,}87 = 2{,}59.$$

Радиус колеса определяем по маркировке шин (Шины 215/65 R16).

$$r = \frac{d}{2} + \Delta(1 - \lambda)B = \frac{16 \cdot 0{,}0254}{2} + 0{,}65(1 - 0{,}12) \cdot 0{,}215 = 0{,}3262 \text{ м},$$

где: B =215 мм – ширина шины;

λ=0,12 – коэффициент радиальной деформации [1];
$\Delta = 0{,}65$ – Н/В – отношение высоты профиля шины к ее ширине [1];
d = 16 · 0,0254 = 0,4064 м – посадочный диаметр колеса(1 дюйм = 0,0254 м) [1].
Полный вес автомобиля:

$$G_a = g \cdot m_a = 9{,}81 \cdot 3000 = 29430 \text{ Н}$$

где m_a- полная масса автомобиля.

Рассмотрим на примере движения автомобиля на первой передаче на минимальной частоте вращения двигателя n = 900 об/мин.

Скорость движения автомобиля :

$$v = \frac{\pi \cdot n \cdot r}{30 \cdot u_{тр1}} = \frac{3{,}14 \cdot 900 \cdot 0{,}3262}{30 \cdot 13{,}55} = 2{,}27 \text{ м/с}$$

Остальные результаты решения представлены в таблице 7.2.

Определяем силу тяги, представляющую отношение тягового момента M_T, подводимого при равномерном движении к полуосям ведущих колес, к радиусу ведущих колес:

$$P_T = \frac{M_T}{r} = \frac{M_e \cdot \eta_{тр} \cdot u_{тр}}{r} = \frac{220{,}4 \cdot 0{,}94 \cdot 13{,}55}{0{,}3262} = 8607{,}8 \text{ Н},$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии, $\eta_{тр} = 0{,}94$ [1];
Остальные результаты решения представлены в таблице 7.2.

Определяем силу сопротивления воздуха при установившемся движении:

$$P_в = c_x \cdot F \cdot \frac{\rho_в \cdot (v + v_в)^2}{2} = 0{,}36 \cdot 3{,}03 \cdot \frac{1{,}225 \cdot (2{,}27+0)^2}{2} = 3{,}4 \text{ Н}$$

$c_x = 0{,}36$ – коэффициент аэродинамического сопротивления [1];

$F = 0{,}8 \cdot B_a \cdot H_a = 0{,}8 \cdot 1{,}904 \cdot 1{,}990 = 3{,}03 \text{ м}^2$ – площадь лобового сопротивления;

где $B_а$ и $H_а$ – габаритные ширина и высота автомобиля;

$\rho_в = 1{,}225$ кг/м^3– плотность воздуха;

$v_в = 0$ – скорость встречного ветра.

Остальные результаты решения представлены в таблице 7.2.

Вычисляем силу сопротивления дороги при равномерном движении:

$$P_д = Ga \cdot (f \cdot cos\alpha + sin\alpha) = 29430 \cdot (0{,}015 \cdot cos0° + sin0°) = 441{,}5 \text{ Н},$$

где G_a – полный вес автомобиля;

α – угол продольного наклона дороги;

f-коэффициент сопротивления качению колес. При v≤15-20 м/с коэффициент сопротивления качению можно считать постоянным – $f=f_0$, при больших скоростях движения он зависит от скорости – $f = f_0 + k_f \cdot v^2$ ($k_f = 7 \cdot 10^{-6}$ c^2/м^2). Величина f_0 зависит от типа и состояния дороги.[1]

Принимаем $f_0 = 0{,}015$ [1].

Остальные результаты решения представлены в таблице 7.2.

Определяем силу тяги по сцеплению ведущих колес с данной дорогой с учетом изменения нормальных реакций дороги при движении автомобиля:

$$P_{т.сц} = \frac{G \cdot b \cdot \varphi_x \cdot cosa}{L + h(\varphi_x + f)} = \frac{29430 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot cos0°}{3{,}000 + 0{,}55 \cdot (0{,}9 + 0{,}015)} = 13609{,}2 \text{ Н},$$

где $\varphi_x = 0{,}9$ – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой в продольном направлении [1];

$a = 0{,}4 \cdot L = 0{,}4 \cdot 3 = 1{,}2$ м – расстояние от центра масс до передней оси [1];

где L – база автомобиля;

$b = (L - a) = 3 - 1{,}2 = 1{,}8$ м – расстояние от центра масс до задней оси [1];

$h = 0{,}55$ м – высота центра масс [1].

Таблица 3.2

1	2	4	5	6	7	8	9
n, об/мин	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
I передача							
V, м/с	2,27	2,87	3,83	4,79	5,75	7,67	9,58
Рт, Н	8607,8	10334,0	12013,4	13181,2	13852,9	13345,2	10798,8
Рв, Н	3,4	5,5	9,8	15,3	22,1	39,3	61,4
Рсв1, Н	8604,4	10328,5	12003,6	13165,8	13830,8	13305,9	10737,4
Рт.сц, Н	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2
Рсв.сц, Н	13605,8	13603,7	13599,4	13593,9	13587,2	13570,0	13547,9
Рд, Н	441,5	441,5	441,5	441,5	441,5	441,5	441,5
f	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

II передача							
V, м/с	4,2	5,3	7,1	8,9	10,6	14,2	17,7
Рт, Н	4648,2	5580,4	6487,2	7117,8	7480,6	7206,4	5831,4
Рв, Н	11,8	18,9	33,7	52,6	75,8	134,7	210,5
Рсв2, Н	4636,4	5561,4	6453,6	7065,2	7404,8	7071,7	5620,9
Рт.сц, Н	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13604,5
Рсв.сц, Н	13597,4	13590,3	13575,6	13556,6	13533,5	13474,5	13394,1
Рд, Н	441,5	441,5	441,5	441,5	441,5	441,5	506,3
f	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017
III передача							
V, м/с	6,5	8,2	10,9	13,6	16,4	21,8	27,3
Рт, Н	3025,0	3631,7	4221,9	4632,2	4868,3	4689,9	3795,0
Рв, Н	27,9	44,7	79,5	124,2	178,9	318,1	497,0
Рсв3, Н	2997,1	3587,0	4142,3	4508,0	4689,4	4371,8	3298,0
Рт.сц, Н	13609,2	13609,2	13609,2	13609,2	13605,2	13602,1	13598,1
Рсв.сц, Н	13581,4	13564,5	13529,7	13485,0	13426,3	13284,1	13101,2
Рд, Н	441,5	441,5	441,5	441,5	496,6	539,5	594,6
f	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,018	0,020
IV передача							
V, м/с	9,1	11,6	15,4	19,3	23,1	30,8	38,6
Рт, Н	2139,7	2568,7	2986,2	3276,5	3443,4	3317,2	2684,3
Рв, Н	55,7	89,4	158,9	248,3	357,6	635,7	993,3
Рсв4, Н	2083,9	2479,3	2827,3	3028,1	3085,8	2681,5	1690,9
Рт.сц, Н	13609,2	13609,2	13605,7	13603,7	13601,3	13595,0	13587,1
Рсв.сц, Н	13553,5	13519,8	13446,8	13355,4	13243,6	12959,3	12593,7

Рд, Н	441,5	441,5	490,4	518,0	551,7	637,4	747,6
f	0,015	0,015	0,017	0,018	0,019	0,022	0,025
V передача							
V, м/с	11,9	15,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,1
Рт, Н	1647,8	1978,2	2299,7	2523,3	2651,8	2554,7	2067,2
Рв, Н	94,0	150,7	268,0	418,7	603,0	1071,9	1674,9
Рсв5, Н	1553,8	1827,5	2031,7	2104,5	2048,9	1482,7	392,3
Рт.сц, Н	13609,2	13605,9	13603,3	13599,9	13595,8	13585,3	13571,9
Рсв.сц, Н	13515,3	13455,1	13335,3	13181,2	12992,8	12513,4	11897,0
Рд, Н	441,5	487,9	524,0	570,5	627,3	771,8	957,7
f	0,015	0,017	0,018	0,019	0,021	0,026	0,033

V_{max}

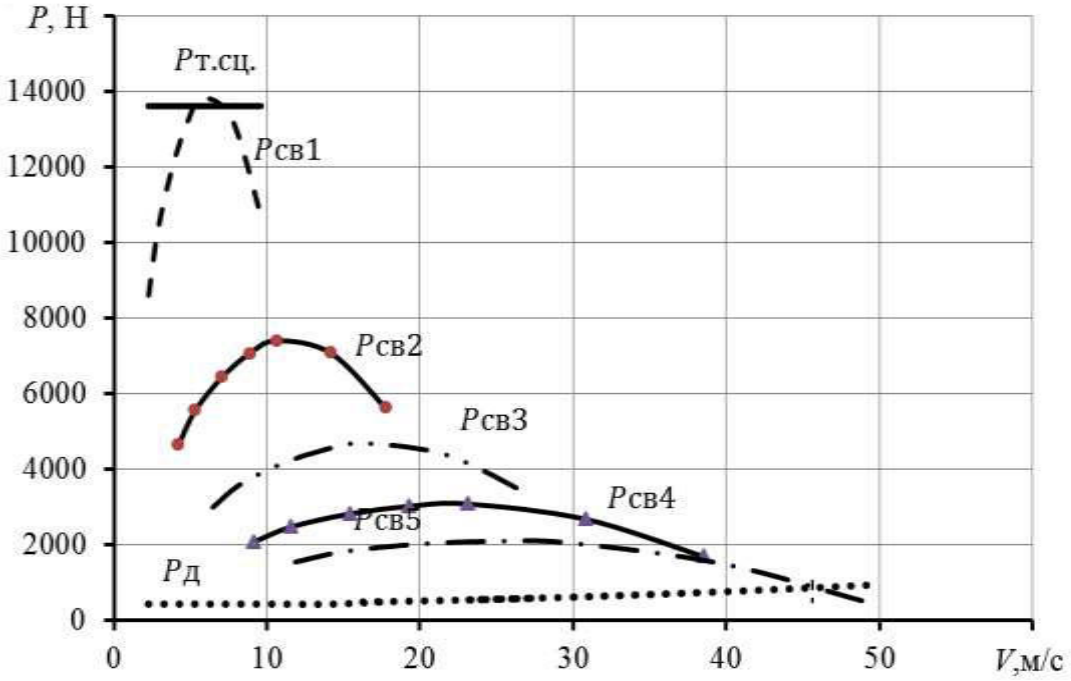


Рисунок 3.2. График силового баланса автомобиля

3.4 Динамическая характеристика автомобиля

Динамической характеристикой автомобиля называется зависимость динамического фактора

$$D_a = \frac{P_{св}}{G_a} = \frac{P_т - P_в}{G_a}$$

от скорости движения автомобиля. Эта характеристика удобнее тяговой характеристики при сравнении свойства автомобилей разной массы.

Определяем динамический фактор по условию равномерного движения на данной дороге:

$$D = \psi = f \cdot cos\alpha + sin\alpha = 0{,}015 \cdot \cos 0° + \sin 0° = 0{,}015$$

Рассчитаем динамический фактор по сцеплению:

$$D_{сц} = \frac{b \cdot \varphi_x \cdot cos\alpha}{L + h \cdot (\varphi_x + f)} - \frac{P_в}{G} = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot \cos 0°}{3{,}0 + 0{,}55 \cdot (0{,}9 + 0{,}015)} - \frac{3{,}4}{29430} = 0{,}4623$$

Зависимость динамического фактора от скорости движения автомобиля:

$$D_{a1} = \frac{P_{св1}}{G_a} = \frac{8604{,}4}{29430} = 0{,}2924$$

Остальные результаты решения представлены в Таблице 3.3.

Таблица 3.3

n, об/мин	n min	n Dop	n M	n g	n Dop	n Dop	n N
	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
Da1	0,2924	0,3510	0,4079	0,4474	0,4700	0,4521	0,3648
Da2	0,1575	0,1890	0,2193	0,2401	0,2516	0,2403	0,1910
Da3	0,1018	0,1219	0,1408	0,1532	0,1593	0,1486	0,1121
Da4	0,0708	0,0842	0,0961	0,1029	0,1049	0,0911	0,0575
Da5	0,0528	0,0621	0,0690	0,0715	0,0696	0,0504	0,0133
D1	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
D2	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0172
D3	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0169	0,0183	0,0202
D4	0,0150	0,0150	0,0167	0,0176	0,0187	0,0217	0,0254
D5	0,0150	0,0166	0,0178	0,0194	0,0213	0,0262	0,0325
Dсц1	0,4623	0,4622	0,4621	0,4619	0,4617	0,4611	0,4603
Dсц2	0,4620	0,4618	0,4613	0,4606	0,4599	0,4579	0,4551
Dсц3	0,4615	0,4609	0,4597	0,4582	0,4562	0,4514	0,4452
Dсц4	0,4605	0,4594	0,4569	0,4538	0,4500	0,4403	0,4279
Dсц5	0,4592	0,4572	0,4531	0,4479	0,4415	0,4252	0,4042

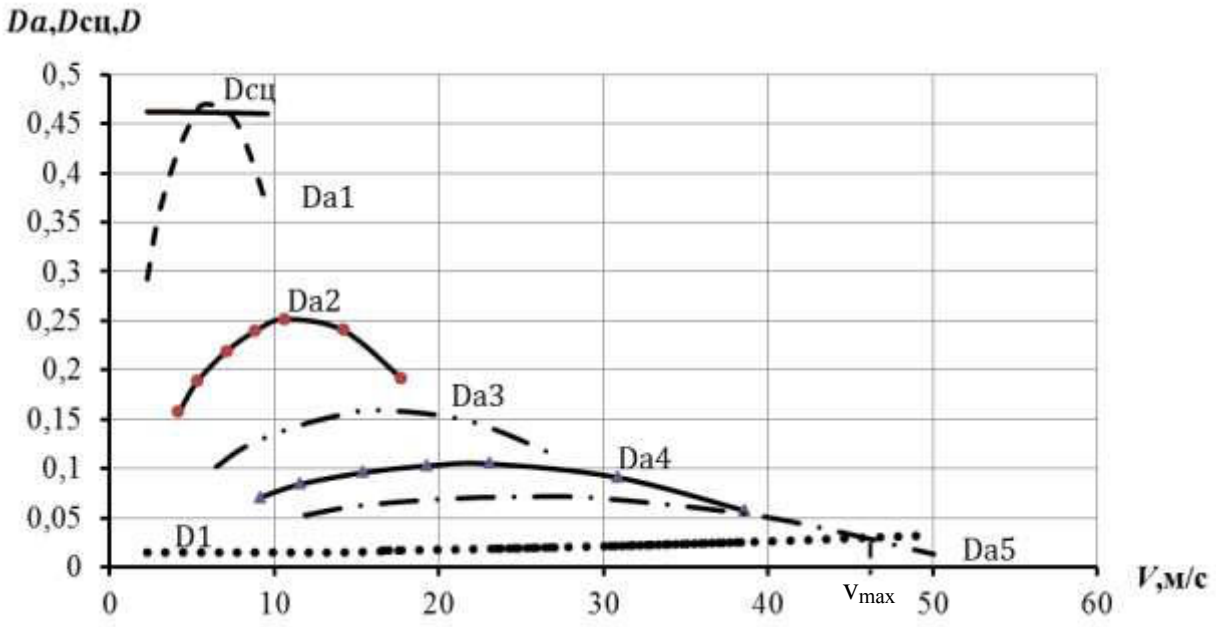


Рисунок 3.3. Динамическая характеристика автомобиля.

3.5. Приемистость автомобиля

Приемистость автомобиля – это его способность увеличивать скорость движения. Приемистость оценивается максимально возможным ускорением, временем и путем разгона.

Пользуясь результатами расчета динамической характеристики, можно определить зависимость ускорения автомобиля от скорости движения при разгоне, происходящем при полной подаче топлива в двигатель. При этом предполагается, что динамическая и статическая внешние скоростные характеристики совпадают.

Ускорение автомобиля вычисляется:

$$j_1 = \frac{D_{a1} - \psi}{\delta_{вр1}} \cdot g = \frac{0{,}2924 - 0{,}015}{1{,}53} \cdot 9{,}81 = 1{,}78 \text{ м/с}^2$$

где, коэффициент учета вращающихся масс:

$$\delta_{вр1} = 1 + [\delta_1 + \delta_2 (u_{к1} \cdot u_{д1})^2] \cdot \frac{G_a}{G} = 1 + [0{,}04 + 0{,}04 \cdot (3{,}5)^2] \cdot \frac{29430}{29430} = 1{,}53$$

где G_a - полный вес автомобиля;

принимаем $G_a = G$;

$$\delta_1 \sim \delta_2 = 0{,}03 \ldots 0{,}05\ [1];$$

$$\delta_1 = 0{,}04, \qquad \delta_2 = 0{,}04.$$

$$\delta_{вр2} = 1{,}18$$

$$\delta_{вр3} = 1{,}10$$

$$\delta_{вр4} = 1{,}07$$

$$\delta_{вр5} = 1{,}06$$

Остальные результаты решения представлены в Таблице 3.4.

Таблица 3.4

n, об/мин	**n min**	**n Dop**	**n M**	**n g**	**n Dop**	**n Dop**	**n N**
	900	1140	1520	1900	2280	3040	3800
j1, м/с²	1,78	2,15	2,52	2,77	2,87	2,80	2,24
j2, м/с²	1,18	1,44	1,69	1,87	1,96	1,87	1,44
j3, м/с²	0,77	0,95	1,12	1,23	1,27	1,16	0,82
j4, м/с²	0,51	0,63	0,73	0,78	0,79	0,64	0,29
j5, м/с²	0,35	0,42	0,48	0,48	0,45	0,22	-0,18

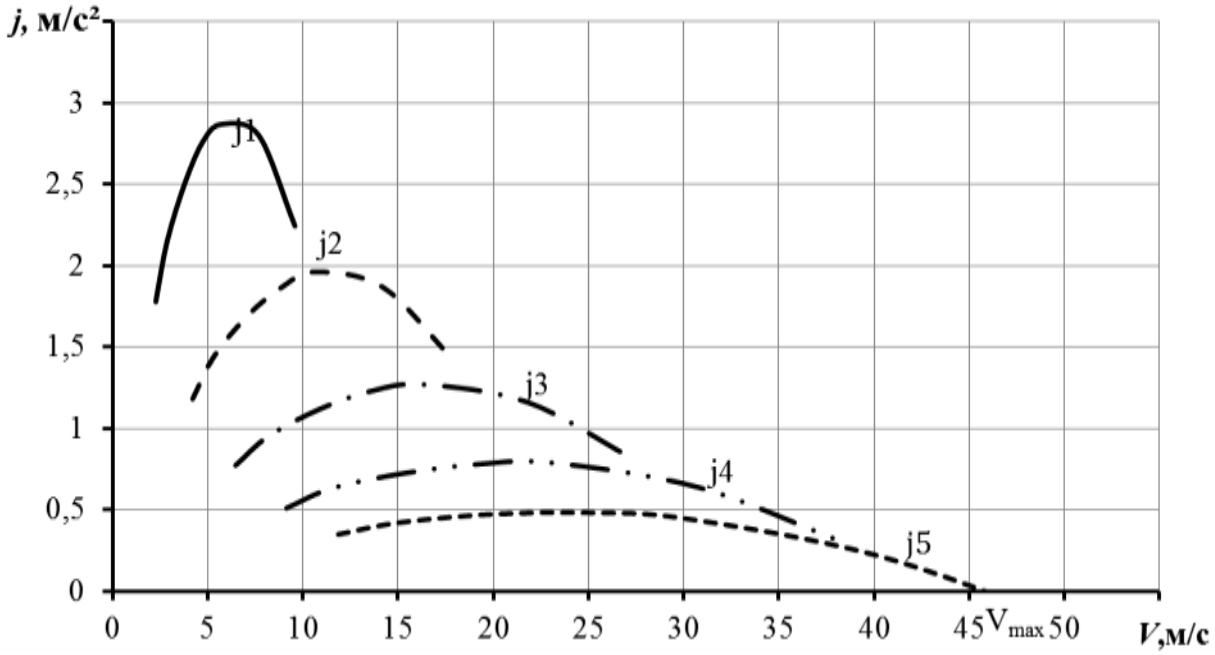


Рисунок 3.4. Приемистость автомобиля

Чаще всего рассматривают разгон автомобиля из статического положения до максимально возможной скорости при последовательном включении ступеней коробки передач, начиная с первой. Для определения времени разгона автомобиля на графике ускорений весь диапазон изменения скорости от v_{min} до v_{max} разбивают на z участков. Считается, что движение начинается при $v = v_{min}$. Точность расчета растет при увеличении числа участков разбиения.

Среднее ускорение автомобиля на этих участках:

$j_{ср1} = 0{,}5 \cdot (j_{н1} + j_{к1})_i = 0{,}5 \cdot (1{,}73 + 1{,}9) = 1{,}82$ м/с^2,

где $j_{н1}$ – ускорение в начале, а $j_{к1}$- в конце i–го участка.

Время разгона автомобиля:

$$\Delta t_{i1} = \frac{v_{к1} - v_{н1}}{j_{ср1}} = \frac{2{,}82 - 2{,}27}{1{,}82} = 0{,}303 \text{ с}$$

Путь разгона:

$$\Delta S_1 = 0{,}5 \cdot \Delta t_{i1} \cdot (v_{н1} + v_{к1}) = 0{,}5 \cdot 0{,}303 \cdot (2{,}27 + 2{,}82) = 0{,}77 \text{ м}$$

За время переключения передач автомобиль движется накатом. Падение скорости при переключении с первой передачи на вторую определяется как:

$$\Delta v = \frac{g \cdot \tau_п \cdot \psi}{\delta_н} = \frac{9{,}81 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}015}{1{,}04} = 0{,}21 \text{ м/с}$$

где $\tau_п$ – время переключения передач – 1,5 с [1].

$\delta_н = 1 + \delta_1 \cdot (G_а/G) = 1 + 0{,}04 \cdot (\frac{29430}{29430}) = 1{,}04$,

где $\delta_1 = 0{,}04$ [1].

Пройденный путь за время переключения с первой на вторую передачи:

$S_п = (v_{нj} - 0{,}5 \cdot \Delta v) \cdot \tau_п = (9{,}42 - 0{,}5 \cdot 0{,}21) \cdot 1{,}5 = 14{,}29$ м,

где $v_{нj}$ - скорость автомобиля в момент начала переключения данной передачи.

Значения Δv, $S_{пj}$ для остальных переключений приведены в таблице 3.5

Таблица 3.5

Переключения	1-2	2-3	3-4
Δv, м/с	0,212	0,243	0,29
$S_{пj}$, м	14,29	27,55	42,07
$\tau_п$, с	1,5	1,5	1,5

Полный путь разгона:

$$\mathbf{S}p = \sum_{i=1}^{z} \mathbf{S}p_i + \sum_{j=1}^{n} \mathbf{S}_{пi} = Sp_1 + Sp_2 + Sp_3 + Sp_4 + Sп_1 + Sп_2 + Sп_3 = 2617{,}22 \text{ м}$$

Полное время разгона:

$$\boldsymbol{\tau}p = \sum_{i=1}^{z} \boldsymbol{\tau}p_i + \sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\tau}_{пi} = \boldsymbol{\tau}p_1 + \boldsymbol{\tau}p_2 + \boldsymbol{\tau}p_3 + \boldsymbol{\tau}p_4 + \boldsymbol{\tau}п_1 + \boldsymbol{\tau}п_2 + \boldsymbol{\tau}п_3 = 77{,}56 \text{ с}$$

Остальные результаты решения представлены в Таблицах 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10.

1 передача

Таблица 3.6

V, м/с	2,27	2,82	3,37	3,92	4,47	5,02	5,57	6,12	6,67	7,22
j, $м/с^2$	1,78	1,95	2,12	2,29	2,46	2,63	2,80	2,71	2,62	2,53

jср, $м/с^2$	1,865	2,035	2,205	2,375	2,545	2,715	2,755	2,665	2,575
Δt, с	0,295	0,270	0,249	0,232	0,216	0,203	0,200	0,206	0,214
ΔS, м	0,750	0,836	0,909	0,971	1,025	1,073	1,167	1,320	1,483

V, м/с	7,22	7,77	8,32	8,87	9,42
j, $м/с^2$	2,53	2,44	2,35	2,26	2,24

jср, $м/с^2$	2,485	2,395	2,305	2,250
Δt, с	0,221	0,230	0,239	0,244

ΔS, м	1,659	1,847	2,051	2,235

2 передача

Таблица 3.7

V, м/с	9,207	10,337	11,467	12,597	13,727	14,857	15,987	17,117	18,247
j, $м/с^2$	1,18	1,33	1,48	1,63	1,78	1,93	1,73	1,53	1,44
jср., $м/с^2$	1,225	1,375	1,525	1,675	1,825	1,8	1,6	1,4	
Δt, с	0,922	0,822	0,741	0,675	0,619	0,628	0,706	0,807	
ΔS, м	9,015	8,960	8,916	8,880	8,850	9,682	11,690	14,272	

3 Передача

Таблица 3.8

V, м/с	18,004	19,504	21,004	22,504	24,004	25,504	27,004	27,904
j, $м/с^2$	0,77	0,87	0,97	1,07	1,17	1,27	1,02	0,82
jср, $м/с^2$	0,82	0,92	1,02	1,12	1,22	1,145	0,92	
Δt, с	1,829	1,630	1,471	1,339	1,230	1,310	0,978	
ΔS, м	34,31	33,02	31,99	31,14	30,44	34,39	26,86	

4 Передача

Таблица 3.9

V, м/с	27,61	29,61	31,61	33,61	35,61	37,61	39,41
j, $м/с^2$	0,51	0,48	0,45	0,42	0,38	0,35	0,29
jср, $м/с^2$	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,32	
Δt, с	4,05	4,32	4,64	5,00	5,43	5,60	
ΔS, м	115,78	132,29	151,19	173,07	198,68	215,68	

5 Передача

Таблица 3.10

V, м/с	39,05	41,95	44,85	45,35
j, $м/с^2$	0,35	0,24	0,14	0,00
jср, $м/с^2$	0,297	0,191	0,069	
Δt, с	9,76	15,18	7,23	
ΔS, м	395,47	658,97	326,01	

Приведенная методика расчета может применяться для определения характеристик разгона автомобиля в заданном диапазоне изменения скорости движения или разгона на высшей передаче.

Таблица 3.11

V, м/с	2,27	2,82	3,37	3,92	4,47	5,02	5,57	6,12	6,67
t, с	0,00	0,29	0,57	0,81	1,05	1,26	1,46	1,66	1,87
S, м	0,00	0,75	1,59	2,50	3,47	4,49	5,57	6,73	8,05

Продолжение таблицы 3.11

V, м/с	7,22	7,77	8,32	8,87	9,42	9,21	10,34	11,47	12,60
t, с	2,08	2,31	2,54	2,77	3,02	4,52	5,42	6,22	6,95
S, м	9,54	11,19	13,04	15,09	17,33	31,62	40,41	49,18	57,93
V, м/с	13,73	14,86	15,99	17,12	18,25	18,00	19,50	21,00	22,50
t, с	7,61	8,22	8,84	9,53	10,29	11,79	13,62	15,25	16,72
S, м	66,65	75,36	84,88	96,36	109,81	137,36	171,67	204,69	236,68
V, м/с	24,00	25,50	27,00	27,90	27,61	29,61	31,61	33,61	35,61
t, с	18,06	19,29	20,60	21,58	23,08	27,13	31,45	36,08	41,08
S, м	267,83	298,26	332,66	359,51	401,59	517,37	649,65	800,85	973,92
V, м/с	37,61	39,41	39,05	41,95	44,85	45,35			
t, с	46,51	52,11	53,11	61,87	77,06	84,29			
S, м	1172,61	1388,29	1427,79	1783,76	2442,73	2768,74			

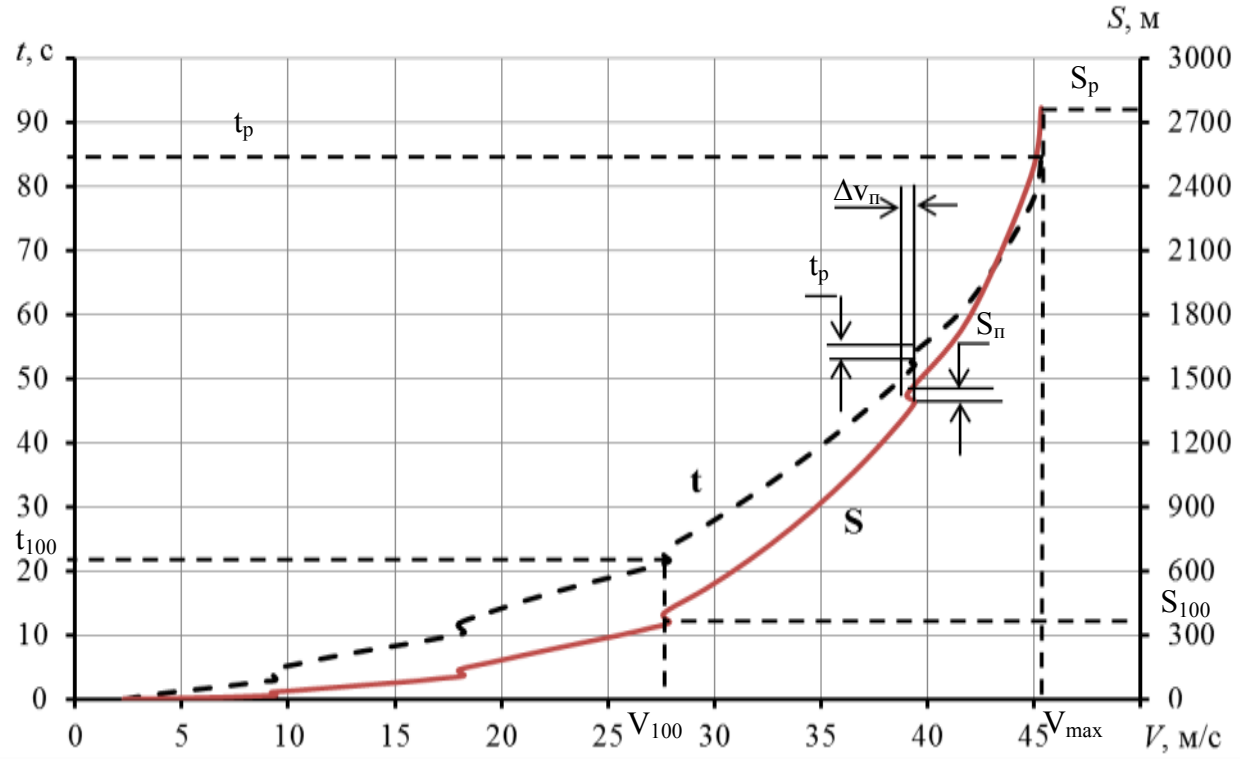


Рис. 3.5. Приемистость автомобиля.

Вывод: Рассчитано движения автомобиля

Максимальная скорость автомобиля $V_{max} = 45{,}35$ м/с $= 163{,}3$ км/ч, что ниже максимальной скорости аналога, равного 173 км/ч. Найдено время разгона $\tau_p = 84{,}29$ с. и путь разгона $S_p = 2768{,}7$ м. Время разгона до 100 км/ч составило 21,3 с., что хуже времени аналога, равного 14,2 с.

4. Патентный поиск

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 435 084** (13) **C1**

(51) МПК
F16F 15/31 (2006.01)

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: **2010125545/11, 21.06.2010**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.06.2010

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **21.06.2010**

(45) Опубликовано: **27.11.2011** Бюл. № **33**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2265761 C1, 10.12.2005. RU 2247879 C1, 10.03.2005. JP 10196731 A, 31.07.1998. US 3538469 A, 03.11.1970.**

Адрес для переписки:
394064, г.Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ФГОУ ВПО ВАИУ, научно-исследовательский отдел

(72) Автор(ы):
Тюнин Алексей Борисович (RU),
Волков Виталий Витальевич (RU),
Ляпич Евгений Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный авиационный инженерный университет" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (RU)

(54) МАХОВИК ПЕРЕМЕННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

(57) Реферат:

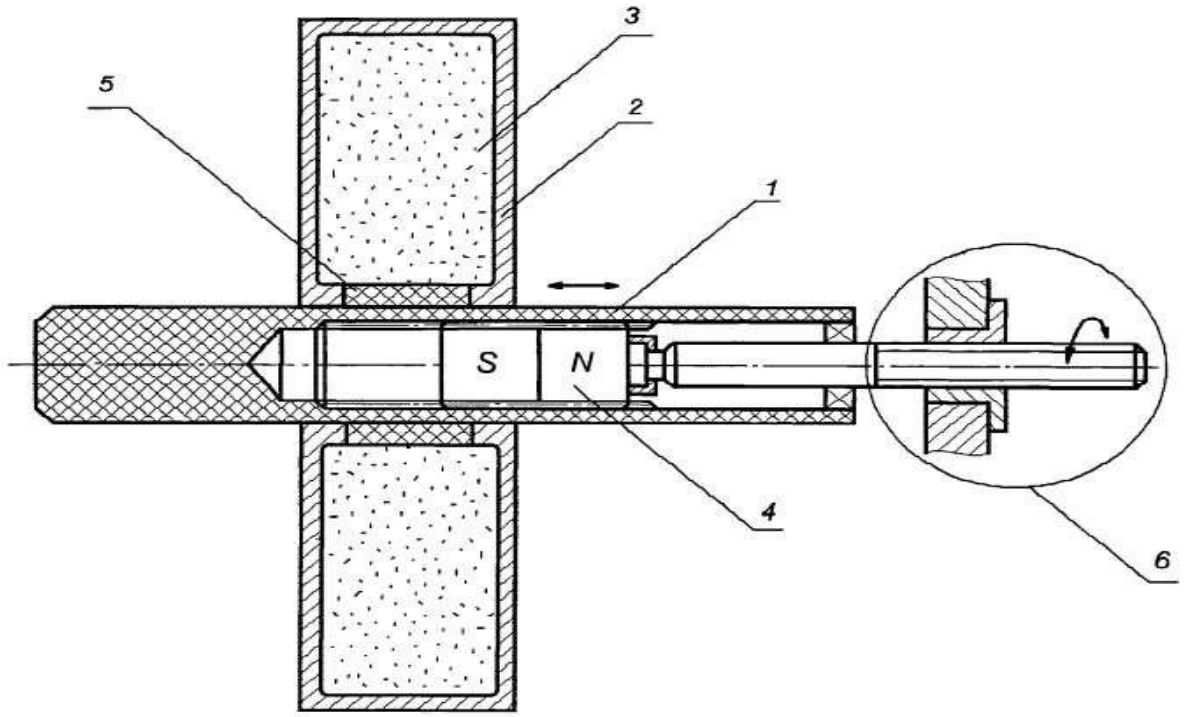
Изобретение относится к области энергетического машиностроения. Маховик содержит полый диск прямоугольного сечения из магнитомягкого материала, заполненный ферромагнитной жидкостью. Диск жестко закреплен на полом валу из немагнитного материала. Кольцевая немагнитная вставка расположена на внутреннем радиусе центрального отверстия диска. Внутри вала имеется полость, в которой на шлицах установлен постоянный магнит с возможностью осевого перемещения посредством винтовой передачи. Достигаются легкий пуск и плавное регулирование момента инерции маховика. 1 ил.

Устройство работает следующим образом.

При пуске устройства постоянный магнит 4 максимально удален от оси, проходящей через центр полого диска маховика, таким образом, что магнитное поле оказывает незначительное воздействие на частицы ферромагнитной жидкости 3. Вязкость ферромагнитной жидкости мала, слои жидкости свободно проскальзывают относительно друг друга, благодаря инерции покоя жидкость стремится «отстать» от полого диска 2, обеспечивая тем самым легкую раскрутку маховика в начальный момент времени. Момент инерции устройства при этом минимален. По мере раскручивания маховика постоянный магнит 4, перемещаясь по шлицам полого вала 1 с помощью винтовой передачи 6, приближается к центру полого диска маховика, увеличивая тем самым величину магнитного потока, воздействующего на ферромагнитную жидкость. Сцепление между слоями ферромагнитной жидкости увеличивается, при этом проскальзывание их относительно друг друга уменьшается. Все больше частиц жидкости, сцепляясь между собой, вовлекается во вращение. Одновременно частицы жидкости притягиваются и к стенкам диска, так как он состоит из магнитомягкого материала и под действием магнитного поля постоянного магнита сам приобретает магнитные свойства. Скорость вращения ферромагнитной жидкости 3 стремится сравняться со скоростью полого диска 2, что ведет к увеличению момента инерции маховика. После раскрутки маховика постоянный магнит 4 вводится максимально возможно в центральную область полого диска 2. Под действием максимального магнитного потока постоянного магнита сила сцепления между слоями ферромагнитной жидкости достигает максимального значения, ферромагнитная жидкость, приобретая свойства монолитного вещества, становясь как бы «единым целым» с диском. Скорости вращения ферромагнитной жидкости и полого диска маховика сравняются, увеличив до максимума момент инерции маховика.

Формула изобретения

Маховик переменного момента инерции, содержащий полый диск, заполненный ферромагнитной жидкостью и жестко закрепленный на валу, отличающийся тем, что диск имеет прямоугольное сечение и выполнен из магнитомягкого материала, в его конструкцию введена кольцевая немагнитная вставка, расположенная на внутреннем радиусе центрального отверстия диска, а вал маховика изготовлен из немагнитного материала и имеет внутреннюю полость, в которую на шлицах установлен постоянный магнит с возможностью осевого перемещения посредством винтовой передачи.



(19) **RU** (11) **2 068 514** (13) **C1**

(51) МПК⁶ **F 16 F 15/30**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 4869850/28, 28.09.1990

(46) Дата публикации: 27.10.1996

(56) Ссылки: Авторское свидетельство СССР N 431343, кл. F 16 F 15/30, 1971. Авторское свидетельство СССР N 973971, кл. F 16 F 15/30, 1982.

(71) Заявитель:
Многоотраслевая научно-производственная ассоциация "Новид"

(72) Изобретатель: Меликов Э.Н., Яковлев Ю.А.

(73) Патентообладатель:
Меликов Эдуард Николаевич

(54) МАХОВИК ПЕРЕМЕННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

(57) Реферат:

Использование: для создания равномерного хода машин, кратковременного повышения мощности устройств. Сущность: маховик переменного момента инерции содержит корпус 1, размещенный в нем вал 2 и аккумулирующий элемент 3, жестко закрепленный на валу 2. Аккумулирующий элемент 3 выполнен в виде состоящих из плоских упругих пластин 4 и расположенных

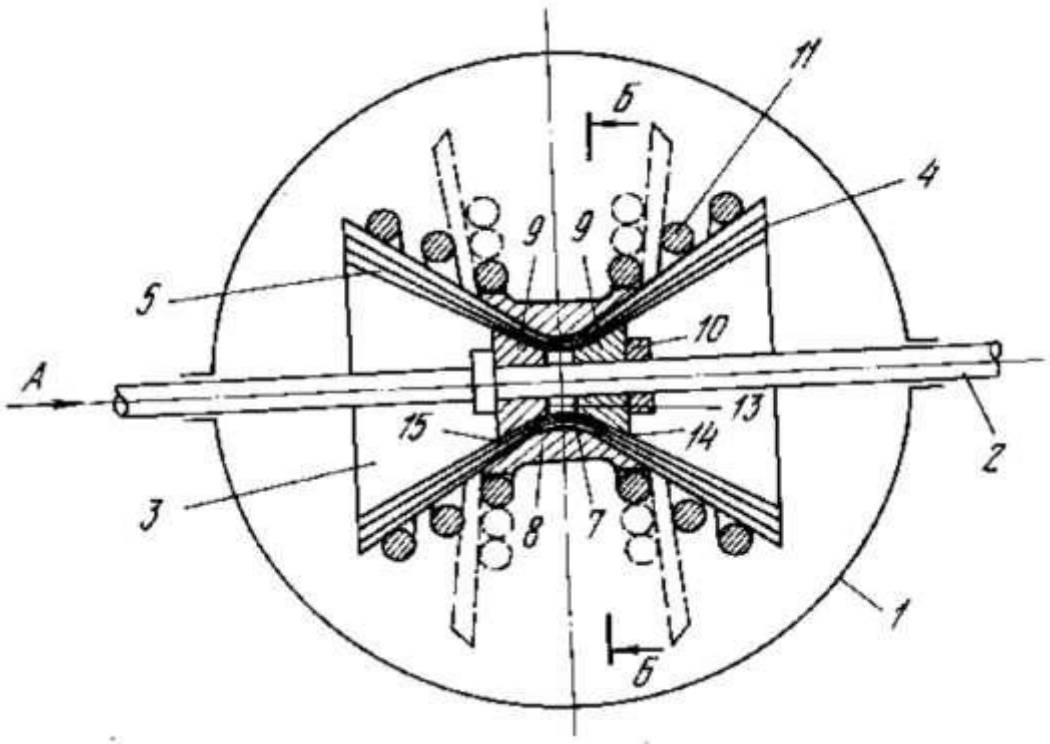
в равномерно распределенных по окружности радиальных плоскостях пакетов 5, сопряженных между собой боковыми гранями 6 и жестко закрепленных средней частью 7 на валу 2 при помощи обоймы 8, вставок 9 и фиксирующих элементов 10 в виде гаек. Аккумулирующий элемент 3 снабжен двухконусной спиральной пружиной сжатия 11, расположенной концентрично с валом 2, причем вершины конусов обращены друг к другу, а основания конусов опираются на наружные поверхности пакетов 5 упругих пластин 4. 3 ил.

Маховик переменного момента работает следующим образом.

Когда маховик неподвижен, пакеты 5 упругих пластин 4 занимают по отношению к оси вала 2 положение, обусловленное формой вставок 9 и обоймы 8, а двухконусная спиральная пружина сжатия 11 находится в недеформируемом состоянии. При вращении маховика, по мере увеличения условий скорости, пакеты 5 упругих пластин 4 изгибаются под действием центробежных сил, преодолевая усилие пружины 11 и тем самым сжимая ее. При этом центр тяжести пакетов 5 со складывающейся двухконусной спиральной пружиной 11 удаляется от оси вала 2, и, следовательно, увеличивается суммарный момент инерции маховика. По мере уменьшения угловой скорости центры тяжести пакетов 5 упругих пластин 4 под действием собственных сил упругости и силы упругости двухконусной спиральной пружины сжатия 11 возвращаются в исходное положение. Таким образом обеспечивается саморегулирование момента инерции маховика в зависимости от угловой скорости его вращения. При увеличении угловой скорости накапливается, а при уменьшении выделяется не только кинетическая энергия вращающегося маховика, но и потенциальная энергия изогнутых пластин и сжатой двухконусной спиральной пружины, причем она тем больше, чем больше суммарная жесткость пружины и упругих пластин.

Формула изобретения

Маховик переменного момента инерции, содержащий корпус, закрепленный на валу, расположенный в корпусе аккумулирующий элемент в виде пакетов пластин, расположенных равномерно по окружности в радиальных плоскостях и закрепленных в средней части на валу обоймой, отличающийся тем, что, с целью повышения энергоемкости, он снабжен двухконусной пружиной сжатия, охватывающей пакеты пластин, вершины конусов направлены встречно, а их основания оперты на концы пакетов пластин.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 379 561** (13) **C2**

(51) МПК
F16F 15/30 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: **2008109038/11, 12.03.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.03.2008

(43) Дата публикации заявки: **20.09.2009**

(45) Опубликовано: **20.01.2010** Бюл. № **2**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 1373929 A1, 15.02.1988. SU 649907 A1, 28.02.1979. DE 102004037178 A1, 23.03.2006. US 4660435 A, 28.04.1987.**

Адрес для переписки:
125212, Москва, ул. Адмирала Макарова, 21, кв.14, Скорнякову Э.П.

(72) Автор(ы):
**Гулиа Нурбей Владимирович (RU),
Лаврентьев Александр Иванович (RU)**

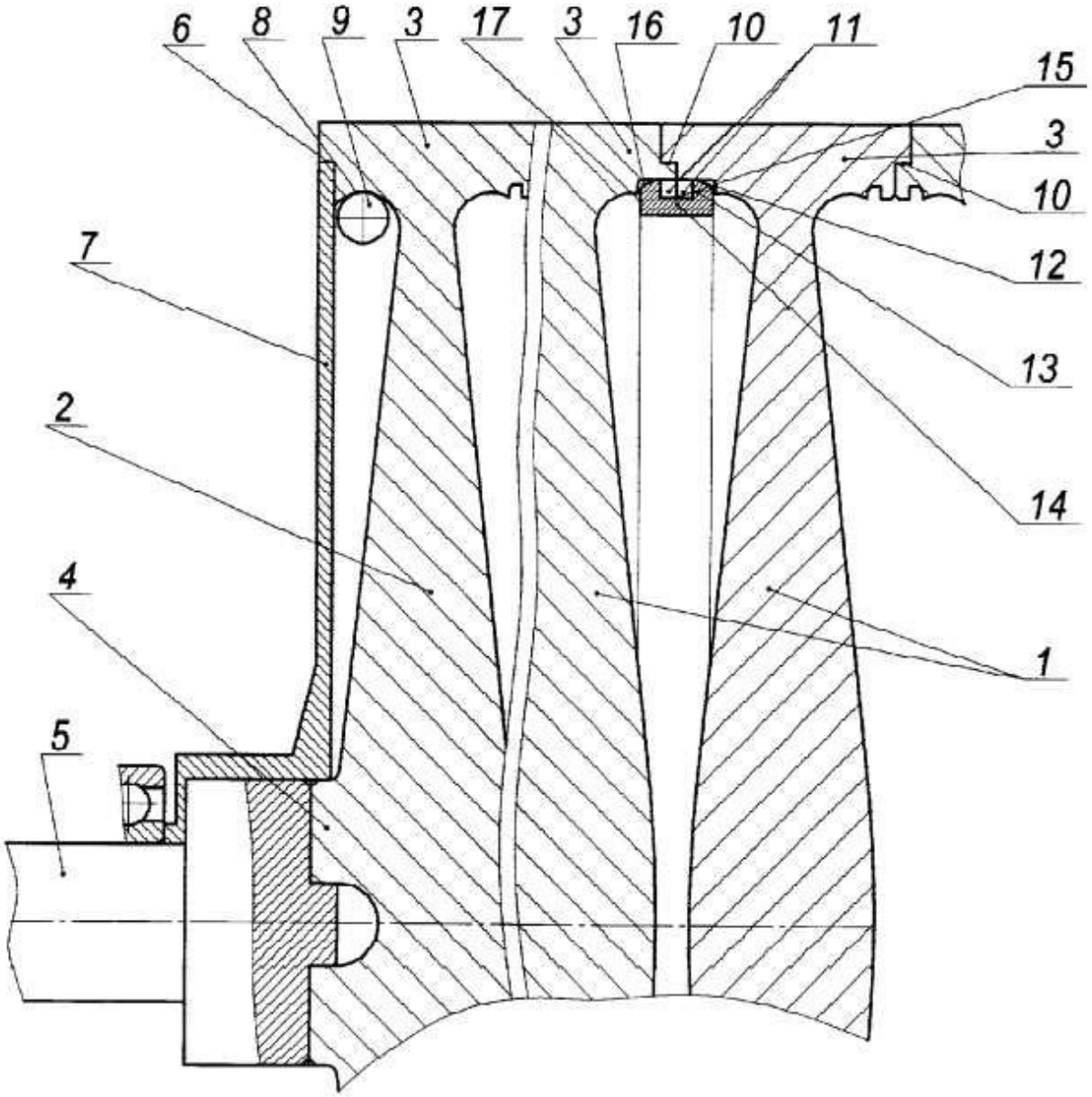
(73) Патентообладатель(и):
**Гулиа Нурбей Владимирович (RU),
Бабин Владимир Александрович (RU)**

(54) СОСТАВНОЙ МАХОВИК

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению. Маховик включает пакет маховиков в виде дисков равной прочности с ободьями и промежуточными

кольцами, а также две щеки с выполненными на них цапфами. Ширина ободьев превышает толщину диска. К щекам по внутренним кольцевым поверхностям примыкают ободья крайних дисков. Кольца содержат по краям замковые бурты и соединяют соседние ободья за замковые бурты, выполненные на их торцах. Ободья выполнены с центрирующими посадочными поверхностями на их сопряженных торцах. Достигается повышение надежности конструкции, снижение аэродинамических сопротивлений и повышение уравновешенности маховика. 9 з.п. ф-лы, 4 ил.



5. Конструкторская часть

5.1 Описание маховика переменного момента инерции

Эффективность изменения момента инерции в данных конструкциях в первую очередь определяется массой радиально перемещающихся элементов, отвечающих за изменение момента инерции, и для ее увеличения приходится создавать более габаритные конструкции маховиков, что не всегда возможно по компоновочным соображениям.

Для решения данной проблемы мною была предложена и запатентована(номер заявки №191319 Патентообладатель КНИТУ-КАИ) новая конструкция маховика переменного момента инерции. Техническим результатом является увеличение приемистости двигателя, за счет увеличения массы радиально перемещающихся элементов маховика переменного момента инерции.

Технический результат достигается тем, что в маховике переменного момента инерции, содержащем корпус, вал и аккумулирующее устройство, новым является то, что аккумулирующее устройство выполнено в виде диска, находящегося в зацеплении с корпусом маховика через выступы на внутренней поверхности корпуса, равномерно расположенные относительно друг друга и поджимающими их упругими пружинами растяжения сжатия, расположенными в пазах корпуса. В диске аккумулирующего устройства выполнены радиальные цилиндрические камеры с поршнями, перемещаемыми прямолинейно по оси цилиндрических камер, которые сообщены с каналами подвода и отвода масла, выполненными в диске аккумулирующего устройства.

Сущность полезной модели поясняется чертежами.

На рисунке 5.1 представлен продольный разрез маховика переменного момента инерции.

На рисунке 5.2 представлен вид А на рисунок 5.1.

На рисунке 5.3 представлен продольный разрез аккумулирующего устройства маховика переменного момента инерции.

На рисунке 5.4 представлено сечение Б-Б на рисунок 5.3.

Маховик переменного момента инерции состоит из корпуса 1, у которого во внутренней полости расположено аккумулирующее устройство 2 в виде диска, находящееся в зацеплении с корпусом через выступы 11, расположенные по окружности внутренней поверхности корпуса равномерно друг от друга, и поджимаемые посредством стальных упругих пружин растяжения-сжатия 10. В диске аккумулирующего устройства 2 выполнены

каналы высокого давления 7 подающие масло в цилиндрическую камеру 4 в подпоршневое пространство при уменьшении оборотов и в надпоршневое пространство при их увеличении, и каналы низкого давления 6 отводящие масло из камеры 4. Цилиндрическая камера 4, заключающая в себе поршень 5, запирается болтом 12.

Устройство работает следующим образом.

Маховик переменного момента инерции с помощью крепежных болтов крепится к фланцу 3 коленчатого вала. На работающем двигателе, при нажатии на педаль акселератора увеличиваются обороты коленчатого вала, следовательно и маховика. Аккумулирующее устройство 2 смещается инерциально относительно корпуса 1 вращательно-поступательным движением, тем самым каналы 9 подачи масла фланца 3 коленчатого вала получают соосность с каналами высокого давления 7 аккумулирующего устройства 2, а каналы 8 отвода масла коленчатого вала получают соосность с каналами 6 низкого давления аккумулирующего устройства 2. Масло заполняет надпоршневое пространство цилиндрических камер 4, смещая поршень 5 ближе к оси вращения коленчатого вала, перемещаемая масса поршня 5 приводит к уменьшению момента инерции маховика. При уменьшении оборотов двигателя аккумулирующее устройство 2 смещается инерциально относительно корпуса 1 вращательно-поступательным движением в противоположном направлении, каналы 6 для отвода масла из надпоршевого пространства цилиндрических камер 4 становятся соосны с каналами 8 отвода масла фланца 3 коленчатого вала, а каналы 7 высокого давления аккумулирующего устройства 2 становятся соосны с каналами 9 подачи масла коленчатого вала, тем самым заполняя подпоршневое пространство, перемещая поршень 5 радиально дальше относительно оси вращения коленчатого вала, таким образом увеличивая момент инерции маховика. В результате смещений поршня 5 повышаются параметры изменения инерции маховика переменного момента инерции, что приводит в увеличению приемистости двс автомобиля.

5.2 Проектирование маховика переменного момента инерции

Расчет маховика

Основное назначение маховика – обеспечение равномерности хода двигателя и создание необходимых условий для трогания машины с места.

Для автомобильных двигателей, работающих обычно с большой недогрузкой, характерен облегченный разгон машины и поэтому маховик автомобильного двигателя, как правило, имеет минимальные размеры.

Расчет маховика сводится к определению момента инерции J_M маховика, основных размеров, махового момента m_M, $D_{ср}$ и максимальной окружной скорости.

Для расчетов можно принять, что момент инерции маховика со сцеплением автомобильного двигателя составляет 85% от момента инерции J_0 двигателя.

Исходные данные

Количество цилиндров – i = 3

Номинальная мощность/частота вращения — N_{eN}=110 кВт/n_{eN} =3800 об/мин;

Диаметр цилиндра/ход поршня — D =0,098 м/ S =0,099 м;

Угловая скорость поршня при номинальных оборотах - $\omega = 307{,}37$ рад/с..

Момент инерции двигателя равен:

$$J_0 = \frac{L_{изб}}{\delta \cdot \omega^2},$$

где δ – коэффициент неравномерности хода, $L_{изб}$ – избыточная работа крутящего момента.

Примем коэффициент неравномерности хода равным:

δ=0,015 [28];

Величина избыточной работы крутящего момента определяется графически по площади F из графика суммарного крутящего момента:

6. Технологическая часть

Разработка технологического процесса изготовления детали пробка

6.1 Назначение детали и условия ее работы в изделии

Деталь, которая рассмотрена в этом технологическом процессе, используется в машиностроении.

Механические свойства, не менее: $\zeta_т$, Н/мм^2, 1275; $\zeta_в$, Н/мм^2, 1620; $\delta з$, % , 9; ψ, %, 40.

Ударная вязкость КСU Дж/см^2 (кгсм/см^2), 39(4).

Твердость220...229 НВ.

Покрыть деталь Хим.фосфатированием.

6.2. Анализ технологичности детали

Пробка проста в изготовление.

К конструкции изделия предъявляют технологические и производственные требования. Конструкция изделия должна отвечать такому качеству отдельных его составляющих(материалов, деталей, сборочных компонентов и т. д.) и изделия в целом, при котором обеспечивается возможность его изготовления с наименьшими трудозатратами(трудоемкостью) на всех стадиях производства. Такое изделие называют технологичным. Анализ производится по методике и справочным данным. Параметрами оценки являются: конфигурация, физико-механические свойства сечения и поверхности, абсолютные размеры и их соотношения, показатели симметрии, специфические свойства детали и т.д., т.е. основные свойства детали.

В конструкции детали “Пробка” имеет место унифицированные элементы и параметры детали: отверстия, большинство диаметральных размеров.

Наличие унифицированных элементов и параметров детали сокращают потребную номенклатуру режущего элемента и измерительного инструмента.

Деталь имеет достаточную точность и наличие поверхностей, удовлетворяющих требованиям достаточной точности для возможного удобного закрепления детали в приспособления.

При контроле применяют стандартный мерительный инструмент: для контроля отверстия применяют калибр, для контроля посадочных поверхностей используют шаблоны.

6.3 Разработка плана обработки, подбор оборудования, инструмента, оснастки. Определение типа производства.

Разрабатываем исходный техпроцесс, необходимый для изготовления детали и подбираем оборудование, инструмент, оснастку. Подбираем оборудование, удовлетворяющее техпроцессу.

<u>Токарно-револьверный станок 1Е365БП</u>

Класс точности по ГОСТ 8-82 ....П

МАХ диаметр обрабатываемого прутка, мм.....…65

Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм……..200

Наиб. диаметр изд. над станиной мм……..500

Наиб. диаметр изд. над суппортом, мм……330

Наиб. продольное перемещения, мм..... …….730

Скорость продольного перемещения, м/мин……..7,5

Габариты станка:

длина…….3400

ширина……1800

высота…1800

<u>Токарно-револьверный станок 1Е165П</u>

Класс точности по ГОСТ 8-82 ..... …П

Мощность, кВт…….7,5

Макс. скорость шпинделя, об/мин…….1600

Мин. скорость шпинделя, об/мин……50

Наибольшая длина подачи прутка, мм……..100

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм…….65

Габариты станка:

длина…….2535

ширина……1230

высота.....1570

<u>Горизонтально-фрезерный станок 6Т83-1</u>

Размеры рабочей поверхности стола 1600х400

Наибольшее перемещение стола, мм:

продольное……..200

поперечное……..500

вертикальное……...330

Расстояние от оси горизонтального(торца вертикального) шпинделя до рабочей поверхности стола, мм…….30-450

Пределы частот вращения шпинделя, об/мин……..31,5-1600

Мощность электродвигателя основного шпинделя, кВт….11

Габариты станка:

длина……2570

ширина……2252

высота.....1770

<u>Резьбо-фрезерный станок 5Б63</u>

Наибольший диаметр фрезеруемой наружной резьбы, мм……80

Мощность двигателя, кВт……Na = 3

КПД станка……..75

Частота вращения фрезерного шпинделя, с-1……..2,66...41,66

Частота вращения шпинделя изделия, с-1……008...0,266

Габариты станка:

длина……870

ширина……650

высота2125

Подбираем оснастку

На фрезерной операции используется приспособление. Для механообработки используется стандартизированный инструмент.

Выбор охлаждающей жидкости

Согласно [1] , выбираем:

1. для токарных и сверлильных операций 10% эмульсию Укринол-1

2. для фрезерных операций 5% эмульсию Укринол-1.

3. для шлифовальных операций 5% эмульсию НГЛ-205, выполненных по ТУ 38-101547-80.

Определение типа производства

При нормировании наибольшее время обработки детали на одном станке не превышало 11 мин, или, при расчете на двусменный рабочий день и годовом объеме10000 шт, 1875ч. Годовой фонд рабочего времени по нормативам составляет 4000ч/год, соответственно, загрузка одного станка не превышала 50% производственного времени. Исходя из этого, прогнозируем среднесерийный тип производства.

6.4. Решение размерных цепей

1.Используется расчетно-аналитический методы назначения припусков. В начале определяют минимально необходимое значение припуска по уравнению:

$$z_{\min} = R_{z\max} + T_{\max} + \Delta\Phi_{\max},$$

где R z max - максимальная высота микронеровностей поверхности от предшествующего перехода;

Tmax - максимальная глубина дефектного слоя поверхности от предшествующего перехода;

ΔФ max - отклонение формы поверхности перед обработкой.

2.Зная величину минимального припуска, можно получить номинальный и максимальный припуски. В частном случае, когда размерная цепь трехзвенная и допуски звеньев заданы «в тело»,

$$z = z_{\min} + TA$$

$$z_{\max} = z_{\min} + TA + TB$$

где ТВ и ТА- допуски соответственно на выполняемом и предшествующем переходах обработки рассматриваемой поверхности.

3.Номинальный размер замыкающего звена размерной цепи вычисляется по формуле:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai} A_i$$

где i=1,2,3,.. ..,m- порядковый номер звена; ξ_{Ai} -передаточное отношение i-го звена размерной цепи.

Допуск замыкающего звена размерной цепи вычисляется по формуле :

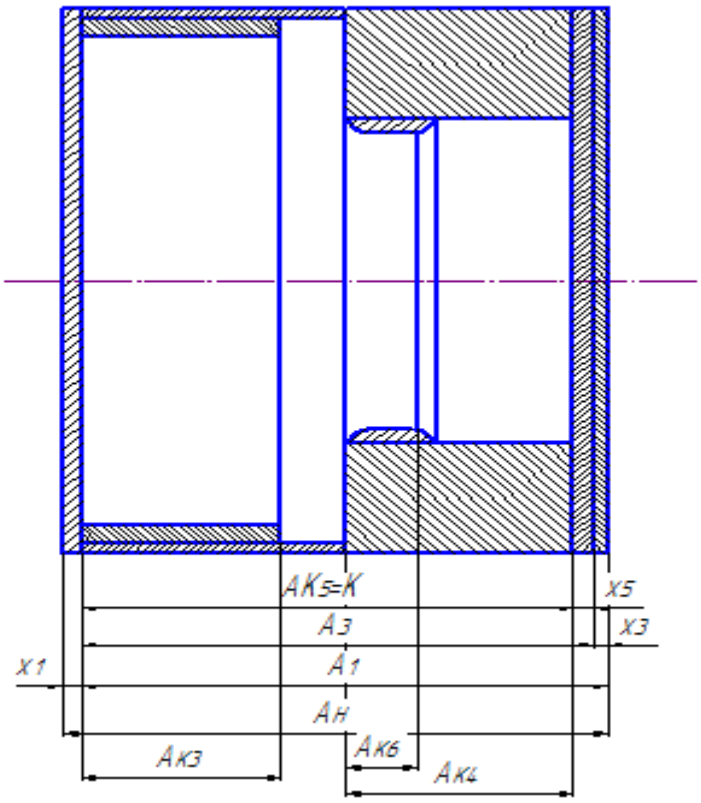
$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{Ai}| TA_i$$

где TA_i-допуск i-го составляющего звена размерной цепи.

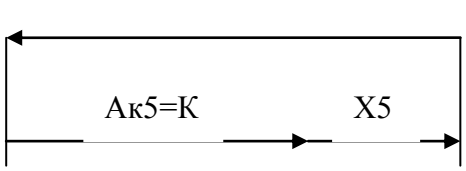
Решаем размерные цепи методом max-min, для решения используются формулы:

$$A_{\max} = \sum \vec{A}_{i\max} - \sum \overleftarrow{A}_{j\min}$$
$$A_{\min} = \sum \vec{A}_{i\min} - \sum \overleftarrow{A}_{j\max}$$

6.4.1. Расчет линейных размерных цепей.



1.



Известно $А_{К5}$=К=$24_{-0,52}$ мм.

Найти $А_3$.

Задаем минимальный припуск и допуск в соответствии с IT14.

$$x_{\min} = R_{z\max} + T_{\max} + \Delta\Phi_{\max}$$

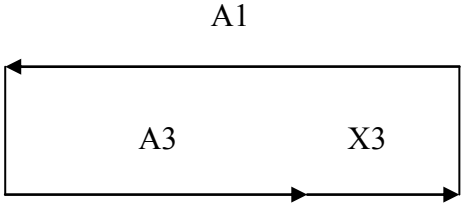
$R_{z\max} + T_{\max} = 0{,}2$ мм; $\Delta\Phi_{\max}$=0,05 мм;

$x_{\min} = 0{,}25$ мм

ТА=0,52

$x_5 = 0{,}25 + 0{,}52 = 0{,}77$ мм

$A_3=A_{K5}+x_5=24+0{,}77=24{,}8_{-0{,}52}$ мм.



Известно $A_3=24{,}8_{-0{,}52}$ мм.

Найти A_1.

Задаем минимальный припуск и допуск в соответствии с IT14.

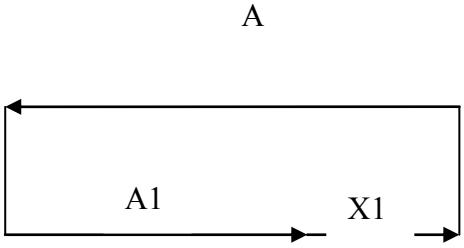
$x_{\min} = R_{z\max} + T_{\max} + \Delta\Phi_{\max}$=0,3 мм.

TA=0,52.

$x_3 = 0{,}3 + 0{,}52 = 0{,}82$ мм.

$A_1=A_3+x_3=24{,}8+0{,}82=25{,}6_{-0{,}52}$ мм.

2.



Известно $A_1=25{,}6_{-0{,}52}$ мм.

Найти A_H.

Задаем минимальный припуск и допуск в соответствии с IT16.

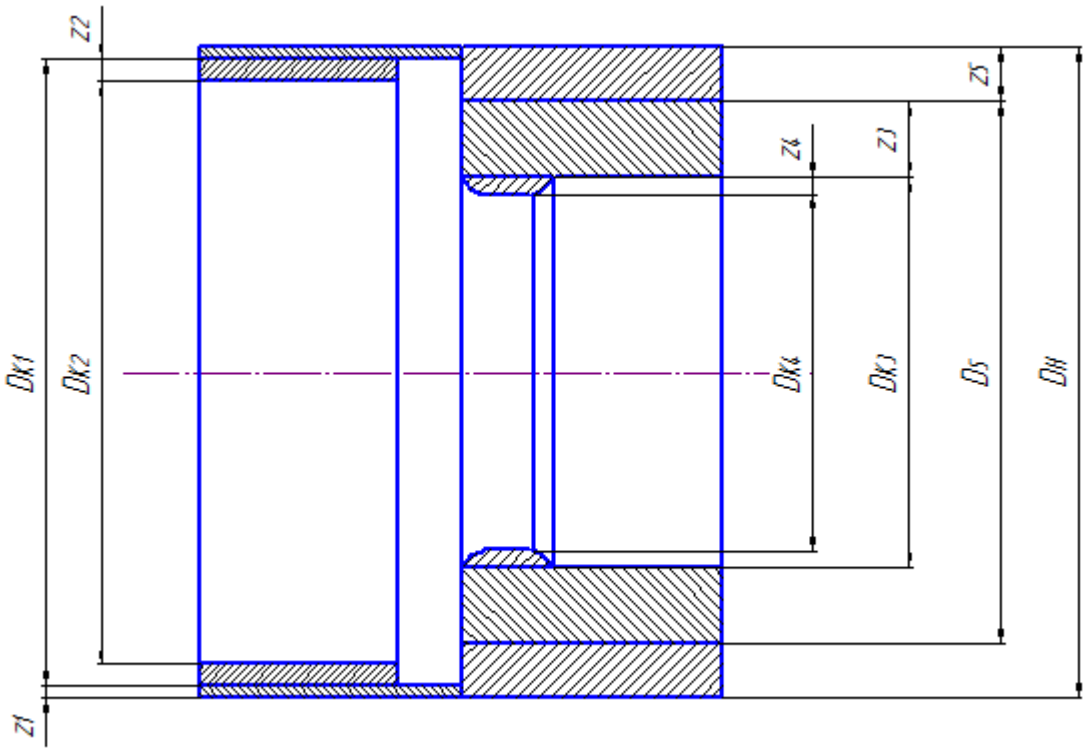
$x_{\min} = R_{z\max} + T_{\max} + \Delta\Phi_{\max}$=0,4 мм

$R_{z\max} + T_{\max} = 0{,}3$ мм; $\Delta\Phi_{\max}$=0,1 мм;

$x_1 = 0{,}4 + 1{,}3 = 1{,}7$ мм;

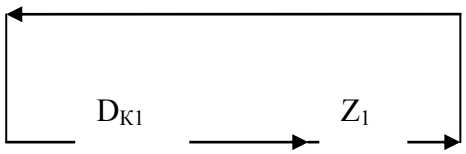
$A_H=A_1+x_1=25{,}6+1{,}7=27{,}3^{+0{,}8}_{-0{,}5}$ мм.

6.4.2. Расчет диаметральных размерных цепей.



D_H

1.



Известно $D_{K1}=29_{-0,52}$ мм.

Найти D_H.

Задаем минимальный припуск и допуск в соответствии с IT16.

$z_{min} = R_{z\,max} + T_{max} + \Delta\Phi_{max}$=0,4 мм и ТА=1,3.

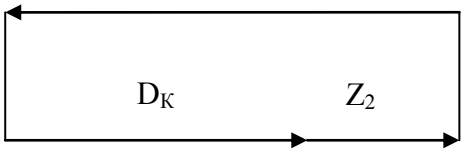
$R_{z\,max} + T_{max} = 0{,}3$ мм; $\Delta\Phi_{max}$=0,1 мм;

$z_1 = 0{,}4 + 1{,}3 = 1{,}7$ мм;

$D_H=D_{K1}+2z_1=29+2\cdot 1{,}7=32{,}4^{+0,8}_{-0,5}$ мм.

2.

D_K



Известно $D_{K1}=29_{-0,52}$ мм, $D_{K2}=27_{-0,52}$ мм.

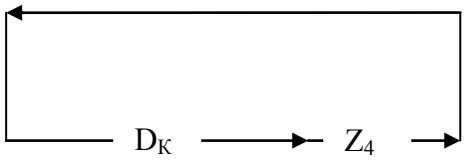
Найти z_2.

$2z= D_{K1}- D_{K2}$

$Z_2=(D_{K1}- D_{K2})/2=(29-27)/2=1$ мм.

D_K

3.



Известно $D_{K3}=17,94_{-0,14}$ мм, $D_{K4}=15,7_{-0,11}$ мм.

Найти z_4.

$2z= D_{K3}- D_{K4}$

$Z_4=(D_{K3}- D_{K4})/2=(17,94-15,7)/2=1,12$ мм.

6.5. Расчет режимов резания и нормирование операций

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НАЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Методика нормативного расчета режимов

Выбор режимов резания при лезвийной обработке включает следующие этапы:

1. . Анализ исходных данных. Этап включает анализ заготовки, детали, выполняемых переходов (операций), приспособлений, оборудования и других условий обработки.

2.Выбор числа ходов(переходов) Z , На данном этапе рассматривается вопрос о делении напуска между отдельными ходами (проходами) и

определение глубины сверления без вывода сверла с использованием соответствующих таблиц.

3. Выбор материала инструмента. В зависимости от группы обрабатываемого материала и условий обработки по таблицам выбирается рациональная марка режущей части инструмента.

4.Выбор конструкции и геометрии инструмента. В зависимости от условий обработки и инструментального материала выбирается стандартная конструкция, геометрия и другие характеристики режущего инструмента.

5 Выбор СОЖ. В зависимости от конкретных условий операции по таблицам назначается рациональная марка СОЖ.

6. Выбор глубины резания ***t***. При нормальных припусках ***h*** рационально назначать $t=h$. В случае напусков обращаемся к блоку 2.

7. Выбор и корректировка подачи ***S*** . Табличное значение подачи ***S*** выбирается по соответствующим нормативам. Затем с помощью поправочных коэффициентов κ_i, $i = 1\ldots u$, учитывающих конкретные условия обработки, выполняется корректировка S_T:

$$S = S_T \prod_{i=1}^{u} k_i$$

где ***U*** - количество условий для корректировки S_T .

Расчетная подача ***S*** должна принадлежать ряду подач выбранного станка, т.е. $S \in S_T$.

8. Выбор стойкости инструмента T. Табличное значение T выбирается с учетом назначенных ранее ***t***, ***S*** и других условий обработки.

9. Выбор и корректировка скорости резания v . Табличное значение скорости v_T на основе ранее найденных ***t*** , ***S*** и ***T*** выбирается по соответствующим нормативам. Затем производится корректировка v_T с помощью поправочных коэффициентов κ, $i = 1\ldots$, учитывающих конкретные условия обработки:

$$v = v_T \prod_{i=1}^{u} k_i$$

10. Расчет и корректировка частоты ***n*** . Расчет фактической скорости резания v_{Φ}.

Значение частоты при лезвийной обработке определяется выражением:

$$n = \frac{10^3 \cdot \nu}{\pi \cdot D}, \qquad 1/\text{мин}.$$

Полученное *n* должно принадлежать геометрическому ряду частот станка, т.е. $n \in n_{ст}$.

После этого определяется фактическая скорость резания:

$$\nu_{\Phi} = \frac{\pi D n}{10^3}$$

11. Расчет основного времени τ_0. Для большинства видов механической обработки основное время определяется выражением:

$$\tau_0 = \frac{L}{S_0 n} \frac{h}{t},$$

где ***So***- подача, мм/об.; ***L*** - путь обработки, мм, с подачей S_0 и частотой ***n***.

12. Расчет усилия резания ***P*** . Усилия резания P_z, P_0 необходимые для расчета зажимных устройств приспособлений, определяются по соответствующим эмпирическим зависимостям P_z , $P_0 = f\ (t,S,v,B,z,D)$ данные для которых выбираются из таблиц нормативов.

13. Расчет крутящего момента M_K. Крутящий момент, необходимый для расчета зажимных устройств- приспособлений, определяется по соответствующим эмпирическим зависимостям (осевая обработка) или через найденное ранее значение P_z.

14.Расчет мощности резания N_e. Эффективная мощность резания определяется через M_K (осевая обработка) или через $\mathbf{P_z}$. Знание ее необходимо для проверки соответствия выбранного технологического оборудования по мощности.

Рассмотренная последовательность назначения режимов резания относится к наиболее распространенной лезвийной обработке. В случае абразивной обработки имеются следующие отличия:

1. После выбора СОЖ назначается по соответствующим нормативным таблицам припуск ***h*** на шлифование(если он не определен операционной технологией).

2. После выбора ***h*** назначается по нормативным таблицам скорость вращения детали v_d, определяется частота вращения детали n_d , затем назначается скорость вращения шлифовального круга v_d и определяется $\mathbf{n_K}$, .

3. Выбираются подачи ***S*** в долях ширины круга, не определяющие точность обработки.

4. Выбираются и корректируются по условиям шлифования малые подачи, определяющие точность получаемых размеров.

5. Рассчитывается основное время τ_0 и мощность резания N_e.

<u>Оп. 010 Токарная.</u>

Подрезка торца A_1.

Глубина резания: t=l,7 мм.

Выбираем подачу: Sт=0,6 мм/об.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=1; $k2$=1; $k3$=0,45; $k4$=1; $k5$=1: k=1·1·1·1·0,45=0,45

Рассчитываем скорректированную подачу:

S=Sт·k=0,6·0,45=0,27 мм/об.

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,3 мм/об.

Находим стойкость инструмента: T=60 мин.

Выбираем скорость резания: Vт=72м/мин.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=0,86; $k2$=0,9; $k3$=1; $k4$=l; $k5$=l; k=0,86·0,9·1·1·1=0,8

Рассчитываем скорректированную скорость:

V= $V_т$ ·k=72·0,8=57,6 м/мин

Рассчитываем частоту вращения:

$$n = \frac{10^3 \cdot 57,6}{3,14 \cdot 32,4} = 567 \ 1/мин$$

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=504 l/мин.

Рассчитаем фактическую скорость резания:

$$V_ф = \frac{3,14 \cdot 32,4 \cdot 570}{1000} = 58 \qquad \text{м/мин}$$

Рассчитываем основное время:

$$\tau_o = (5+15+5)/(0,3 \cdot 504) = 0,25 \text{ мин}$$

Рассчитываем осевое усилие резания:

$$P_o = 143 \cdot 1,7^{1} \cdot 0,3^{0,7} \cdot 0,85 = 125,1 \text{ кг}$$

Рассчитываем мощность резания:

$$N = (51 \cdot 125,1)/6120 = 1 \text{ кВт} < 4 \text{кВт}.$$

Точить D_{Kl}.

Глубина резания: t=1,7 мм

Выбираем подачу: Sт=0,6мм/об.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=1; k2=1; k3=0,45; k4=1; k5=1: $k=1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,45 = 0,45$

Рассчитываем скорректированную подачу:

$$S = S_т \cdot = 0,6 \cdot 0,45 = 0,27 \text{мм/об}$$

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,3.

Находим стойкость инструмента: T=60мин

Выбираем скорость резания: Vт=72м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=0,86; k2=0,9; k3=1; k4=l; k5=l; $k=0,86 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8$

Рассчитываем скорректированную скорость:

$$V = V_т \cdot k = 72 \cdot 0,8 = 57,6 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем частоту вращения:

$$n = 318,5 \cdot 57,6/29 = 611 \text{ 1/мин}$$

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=560 l/мин.

Рассчитаем фактическую скорость резания:

$$V_{ф} = \frac{3{,}14 \cdot 29 \cdot 560}{1000} = 51 \quad \text{м/мин}$$

Рассчитываем основное время:

$$\tau_o = (5+12+5)/(0{,}3 \cdot 560) = 0{,}12 \text{ мин}$$

Рассчитываем осевое усилие резания:

$$P_O = 143 \cdot 4{,}7^{1} \cdot 0{,}3^{0{,}7} \cdot 0{,}85 = 125{,}1 \text{кг}$$

Рассчитываем мощность резания:

$$N = (55 \cdot 125{,}1)/6120 = \text{l},12 \text{ кВт} < 4\text{кВт}$$

Точить $D_{К2}$.

Глубина резания: t=l мм

Выбираем подачу: Sт=0,6 мм/об.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=l; k2=1; k3=0,45; k4=l; k5=1: k=1·1·1·1·0,45=0,45

Рассчитываем скорректированную подачу:

$$S = S\text{т} \cdot = 0{,}6 \cdot 0{,}45 = 0{,}27 \text{ мм/об}$$

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,3

Находим стойкость инструмента: T=60 мин

Выбираем скорость резания: $V_т$ =72 м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=0,86; k2=0,9; k3=1; k4=l; k5=l; k=0,86·0,9·1·1·1=0,8

Рассчитываем скорректированную скорость:

$$V = V_т \cdot k = 72 \cdot 0{,}8 = 57{,}6 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем частоту вращения:

$$n = 318{,}5 \cdot 57{,}6/27 = 679{,}4 \text{ 1/мин}$$

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=635 l/мин.

Рассчитаем фактическую скорость резания

$$V_Ф = 0{,}00314 \cdot 27 \cdot 635 = 53{,}8 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем основное время:

$$\tau_o = (5+9+5)/(0{,}3 \cdot 635) = 0{,}15 \text{ мин}$$

Рассчитываем осевое усилие резания:

$$P_O = 143 \cdot 1^1 \cdot 0{,}3^{0.7} \cdot 0{,}85 = 73{,}6 \text{ кг}$$

Рассчитываем мощность резания:

$$N = (53{,}8 \cdot 73{,}6)/6120 = 0{,}7 \text{ кВт} < 4 \text{кВт}.$$

Оп. 020 Токарная.

Подрезка торца $A_{К4}$.

Глубина резания: t=0,77 мм.

Выбираем подачу: Sт=0,6 мм/об.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=l; k2=1; k3=0,45; k4=l; k5=1: $k = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}45 = 0{,}45$

Рассчитываем скорректированную подачу:

$$S = S\text{т} \cdot k = 0{,}6 \cdot 0{,}45 = 0{,}27 \text{мм/об}$$

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,3 мм.

Находим стойкость инструмента: T=60мин

Выбираем скорость резания: $V_т$ =72м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=0,86; k2=0,9; k3=1; k4=l; k5=l; k=0,86·0,9·1·1·1=0,8

Рассчитываем скорректированную скорость:

$$V = V_т \cdot k = 72 \cdot 0{,}8 = 57{,}6 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем частоту вращения:

$$n = 318, \cdot 57{,}7/32{,}4 = 567 \text{ 1/мин}$$

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=504 l/мин

Рассчитаем фактическую скорость резания

$$V_Ф = 0{,}00314 \cdot 32{,}4 \cdot 504 = 51 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем основное время:

$$\tau_o = (5+15+5)/(0{,}3 \cdot 504) = 0{,}22 \text{ мин}$$

Рассчитываем осевое усилие резания:

$$P_O = 143 \cdot 0{,}77^{1} \cdot 0{,}3^{0{,}7} \cdot 0{,}85 = 56{,}7 \text{кг}$$

Рассчитываем мощность резания:

$$N = (56{,}7 \cdot 51{,}2)/6120 = 0{,}43 \text{ кВт} < 4 \text{кВт}.$$

Точить $D_{К4}$.

Глубина резания: t=1,12 мм

Выбираем подачу: Sт=0,6мм/об.

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

$$k1=1;\ k2=1;\ k3=0{,}45;\ k4=1;\ k5=1:\ \ k=1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}45 = 0{,}45$$

Рассчитываем скорректированную подачу:

$$S = S\text{т} \cdot k = 0{,}6 \cdot 0{,}45 = 0{,}27 \text{мм/об}$$

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,3 мм.

Находим стойкость инструмента: T=60мин

Выбираем скорость резания: $V_т$ =72м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

$$k1=0{,}86;\ k2=0{,}9;\ k3=1;\ k4=1;\ k5=1;\ \ k=0{,}86 \cdot 0{,}9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}8$$

Рассчитываем скорректированную скорость:

$$V = V_т \cdot k = 72 \cdot 0{,}8 = 57{,}6 \text{ l/мин}$$

Рассчитываем частоту вращения:

$$n = 318{,}5 \cdot 57{,}7/29 = 633{,}9 \text{ l/мин}$$

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=635 l/мин

Рассчитаем фактическую скорость резания

$$V_Ф = 0{,}00314 \cdot 29 \cdot 635 = 57{,}8 \text{ м/мин}$$

Рассчитываем основное время:

$$\tau_o = (5+9+5)/(0{,}3 \cdot 635) = 0{,}10 \text{ мин}$$

Рассчитываем осевое усилие резания:

$$P_O = 143 \cdot 1^{1} \cdot 0{,}3^{0} \cdot 0{,}85 = 73{,}6 \text{кг}$$

Рассчитываем мощность резания:

$$N = (57{,}8 \cdot 73{,}6)/6120 = 0{,}7 \text{ кВт} < 4 \text{кВт}$$

Оп. 030 Фрезерная

Глубина резания: t=l,5 мм

Выбираем подачу: Sт=0,11 мм/зуб

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=1; k2=0,85; k3=0,76; k4=1; k=1·0,85·0,76·1=0,66

Рассчитываем скорректированную подачу:

$S=S$т$\cdot k=0,11\cdot 0,66=0,0726$ мм/об

Подача соответствующая набору подач станка: S=0,08 мм.

Находим стойкость инструмента: T=120мин

Выбираем скорость резания: Vт =31м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

k1=1,4; k2=1; k3=1; k4=1 k=1,4·1·1·1=1,4

Рассчитываем скорректированную скорость:

$V=V$т$\cdot k=31\cdot 1,4=43,4$ м/мин

Рассчитываем частоту вращения:

$n=1000\cdot 43,4/(3,14\cdot 80)=180,2$ l/мин

Подкорректируем обороты шпинделя по заданному станку n=200 l/мин.

Рассчитаем фактическую скорость резания:

$V_Ф=0,00314\cdot 80\cdot 200=50,24$ м/мин

Рассчитываем основное время:

$\tau_o=(5+18+5)/(0,1\cdot 200)=0,38$ мин

Рассчитываем усилие резания:

$P_O=2\ 1\ 8\cdot 0,7^{0,32}\cdot 0,1^{0,28}\cdot 8\ 8^{0,23}\cdot 8/80^{0,65}=3,5$ кг

Рассчитываем крутящий момент:

$M=(3,5\cdot 80)/(10\cdot 1000)=0,13$ кгм

Рассчитываем мощность резания:

$N=(3,5\cdot 50,24)/6120=0,02$ кВт.

<u>Оп. 050 Сверлильная</u>

Глубина резания: t=2,5 мм

Выбираем подачу: Sт=0,08 мм/об

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

kl=1; k2=1; k3=1; k4=0,75 k=1·1·1·0,75=0,75

Рассчитываем скорректированную подачу:

S=Sт·k=0,08·0,75=0,06 мм/об

Находим стойкость инструмента: T=15 мин

Выбираем скорость резания: Vт =46 м/мин

Находим поправочные коэффициенты для подачи:

k1=0,36; k2=0,91; k3=0,9; k4=1; k5=1; k6=1; k7=1

k=0,36·0,91·0,9·1·1·1·1=0,295

Рассчитываем скорректированную скорость:

V = Vт ·k=46·0,295=l3,57 м/мин

Рассчитываем частоту вращения:

n =318,5·13,57/4=1080,57 l/мин => 966 l/мин

Рассчитаем фактическую скорость резания

$V_Ф$ =0,00314·4·966=12,13 м/мин

Рассчитываем основное время:

τ_o =((1+7,5+1)/(0,06·966)) ·3=0,48 мин

Рассчитываем усилие резания:

P_O =68·$4^{1,0}$·$0,06^{0,7}$·1,27=48,2 кг

Рассчитываем крутящий момент:

M=0,0345·$4^{2.0}$·$0,06^{0.7}$·1,27=0,13 кгм

Рассчитываем мощность резания:

N=0,098·966/975=0,097 кВт.

7. Безопасность жизнедеятельности

7.1 Безопасность жизнедеятельности на производстве

Охрана труда — система законодательных актов, а также предупредительных и регламентирующих социально-экономических, организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно профилактических мероприятий, средств и методов, направленных на обеспечение безопасных условий труда .

Каждый год, более половины всех несчастных случаев со смертельным исходом происходят в организация[и хозяйствах являющихся собственностью инвесторов, которые изначально заботятся только о вложении своих денежных средств на развитие той или иной сферы аграрного бизнеса, потому что в первую очередь их беспокоит вопрос о получении прибыли и мало заботятся о условиях труда работников, выделяя на это незначительные средства, даже не задумываясь о том, что именно простые рабочие приносят конечный результат в процессе производства сельскохозяйственной продукции.

Также значительные пробелы имеются в такой области охраны труда как регулярное обучение и проведение инструктажей, так как зачастую в организациях отсутствуют специалисты по охране труда. В хозяйствах так же используются средства индивидуальной и коллективной защиты не отвечающие требованиям охраны труда.

Нередко встречается такое явления, как сокрытие несчастного случая [25,26], допускаются грубые нарушения при рассмотрении несчастных случаев, во многих случаях не издаются приказы о формировании комиссии по расследованию случившегося.

Подведя итоги вышесказанному необходимо отметить острую необходимость в обеспечении контроля за соблюдением о проведении всех необходимых мероприятий по охране труда предприятиями создавая комиссии

на уровне местного самоуправления и на республиканском уровне. Так же необходимо пересмотреть и ужесточить меры по привлечению руководителей предприятий к ответственности, в случаях обнаружения на предприятии грубых нарушений связанных с наличием опасных для работы факторов.

7.2 Инструкция и техника безопасности при монтаже, демонтаже

7.1 К работе допускаются квалифицированные специалисты, которые ознакомились с устройством и принципом работы гидравлического амортизатора с регулируемыми характеристиками.

7.2 Перед установкой необходимо убедиться в совместимости рабочих органов устройства с автомобилем.

7.3 Перед началом установки необходимо принять необходимые меры по предотвращению скатывания автомобиля установив стояночный тормоз в рабочее положение и подставив под колеса башмаки.

7.4 При установке амортизатора на автомобиль, к нему не должны быть присоединены рабочие патрубки.

7.5 После монтажа всех амортизаторов на рабочие места, производится установка резервуара и насоса, при этом двигатель не должен работать.

7.6 Следующим шагом является проведение патрубков соединяющих рабочие органы. Они не должны соприкасаться с движущимися узлами автомобиля и находиться вблизи нагревающихся элементов.

7.7 Установка и подключение электрооборудования к питанию автомобиля производится при выключенном двигателе для избежания поражения электрическим током.

7.8 В резервуар заливается амортизаторная жидкость соблюдением мер по исключению попадания грязи и пыли в резервуар.

7.9 Демонтаж проводится в обратной последовательностью с соблюдением всех правил техники безопасности.

7.10 Для снятия на ремонт одного амортизатора, при выключенном двигателе от амортизатора отсоединяются патрубки и провода, которые закрываются защитными колпачками. Далее производится демонтаж амортизатора.

7.3 Размещение ремонтно-технологического оборудования

Размещение ремонтно-технологического оборудования должно быть реализовано с соблюдением нормативных дистанций, перечисленных в “Единых требованиях безопасности и производственной санитарии к конструкции ремонтно-технологического оборудования, оснастке и технологическим процессам ремонта сельскохозяйственной техники”

После изготовления махоика необходимо испытать его на стенде. При этом рабочий ток испытательного стенда доходит до 16 А, а значит необходимо обеспечить заземление испытательных стендов.

В качестве искусственного заземления будем использовать стальные прутья диаметром 8 мм и длиной 3 м. Для связи вертикальных электродов и в качестве независимого горизонтального электрода, применяем полосовую сталь сечением4 х12 мм.

Сопротивление растеканию тока с одиночного вертикального заземлителя находится по следующему выражению:

$$R_в = 0{,}366 \cdot \frac{\rho}{l}\left(\lg\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + 0{,}5 \cdot \lg\left(\frac{4t + l}{4t - l}\right)\right) \qquad (7.1)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом × м ($\rho = 35\ Ом \cdot м$);

l – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

t – глубина заложения половины заземлителя, м;

$$R_в = 0{,}366 \cdot \frac{35}{3}\left(\lg\left(\frac{2 \cdot 3}{0{,}008}\right) + 0{,}5 \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot 1 + 3}{4 \cdot 1 - 3}\right)\right) = 12{,}27\ \text{Ом}$$

Количество заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_B}{R_З \cdot h} \qquad (7.2)$$

где $R_З$ – общее сопротивление протеканию тока с контура, ($R_З$= 4…4,4 Ом);

h - коэффициент применения вертикальных заземлителей без учета влияния соединительной полосы (h = 0,75);

$$n = \frac{12,27}{4,2 \cdot 0,75} = 3.89$$

Принимаем n = 4 шт.

7.4 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — ситуация на определенной территории или акватории, сформировавшаяся в следствии аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, существенные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Под источником ЧС предполагается опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, широко разнесенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение новых средств поражения, в следствии чего произошла или может произойти ЧС.

Основной целью при обеспечении БЖ в ЧС является защита населения от современных средств поражения и последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, также деятельность народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.

В районе ЧС проходят аварийно-спасательные и другие экстренные работы (АСДНР) — совокупность наиболее важных работ в районе ЧС, направленных на спасение жизней и сохранение здоровья людей, уменьшение размеров

ущерба окружающей природной среде и материальных утрат, а также на локализацию зон ЧС и прекращение действия их поражающих факторов.

Своевременное перемещение невоенизированных формирований в зону ведения работ может быть достигнуто только при необходимом транспортном обеспечении. Силами транспортного обеспечения являются в том числе предприятия агропромышленного комплекса.

Невоенизированные формирования первой и второй очереди доставляют в район ведения работ автомобильным транспортом, последующие – с использованием других видов транспорта.

При проведении АСДНР к технике предъявляются особые требования. Перед проведением таких работ необходимо провести очередное техническое обслуживание в полном объеме, необходимо провести тщательную герметизацию кабин тракторов и автомобилей.

Автомобили могут применяться для эвакуации людей. Также автомобили могут использоваться для помощи в устранении ЧС, для перевозки воды и других необходимых средств и оборудования.

После проведения работ необходимо произвести технико-лабораторный контроль техники, обследование людей для выявления дозы облучения от радиоактивных веществ, выявления присутствия отравляющих веществ и сильно действующих ядовитых веществ, произвести дезактивацию техники. Во время проведения работ водителям обязательно выдавать средства индивидуальной защиты и регламентировать время пребывания в районе проведения работ.

Предлагаемая конструктивная разработка – амортизатор с регулируемыми характеристиками – позволит улучшить тягово-скоростные характеристики автомобиля за счет приспосабливаемости подвески к имеющимся условиям дорог. Это позволит лучше приспосабливать автомобили к выполнению необходимых мероприятий по ликвидации результатов ЧС за счет возможности осуществлять большие объемы работы за меньшие сроки времени, что

благоприятно скажется на сроках устранения последствий ЧС и интенсивности ведения работ.

8 Охрана окружающей среды

Предлагаемые мероприятия по 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 [18].

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 следовательно к сокращению общего расхода, и в конечном итоге – к сокращению выбросов в атмосферу.

9. Технико-экономическая оценка эффективности разработанной конструкции

За базу для сравнения при технико-экономической оценки принимаются показатели сцепления. При расчетах исходный берём под индексом 0, а проектируемый под индексом 1.

Массу конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_к + G_г) \cdot К,$$

где $G_к$ – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

$G_г$ – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

К – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов (для расчета принимается(К =1,05…1,15).

Таблица 9.1 – Масса сконструированных деталей

Наименование детали	Масса деталей, кг	Количество деталей, шт	Общая масса, кг
1	2	3	4
1. Корзинка	0,8	1	0,8
2. Фланец	0,3	3	0,9
3. Кронштейн	0,8	1	0,8
4. Крышка задняя	0,5	1	0,5
5. Крышка передняя	0,4	1	0,4
6. Планка	0,2	6	1,2
7. Ведомый	0,3	1	0,3

диск			
8. Пластина	0,3	1	0,3
9. Шток	0,5	1	0,5
ВСЕГО			5,7

G= (5,7+0,1) ·1,05=6 кг.

Балансовую стоимость конструкции определяется по формуле:

$$C_{б1} = \frac{C_{б0} \cdot G_1 \cdot \sigma}{G_0},$$

где $C_{б0}$ – балансовая стоимость прототипа, руб.;

G_o – масса существующей конструкции, кг;

G_1 – масса проектируемой конструкции, кг;

σ – коэффициент удешевлении конструкции $\sigma = 0{,}9 \ldots 0{,}95$.

Отсюда получаем конструкции:

$$C_{б1} = \frac{4200 \cdot 6 \cdot 0{,}9}{6{,}0} = 3836 \, руб.$$

9.2 – Исходные данные, сравниваемых конструкций

Наименование	Проектируемый	Базовый
Масса конструкции, кг	6	6
Балансовая стоимость, руб	3489	3836
Количество обслуживающего персонала, чел	1	1
Разряд работы	3	3
Тарифная ставка, руб/ч	120	120
Норма амортизации, %	20	20
Норма затрат на ремонт ТО, %	25	25
Годовая загрузка конструкции, ч	150	150

Часовую производительность определяется по формуле:

$$W_ч = 60 \cdot \frac{t}{T_ц},$$

где $T_ц$ – время одного рабочего цикла, час;

t – коэффициент используемого рабочего времени смены (t=0,6…0,9).

$$W_ч = 60 \cdot \frac{0,7}{7} = 6 \text{ ед./час.}$$

Металлоемкость установки определяется по формуле:

$$M_е = \frac{G}{W_ч \cdot T_{год} \cdot T_{сл}},$$

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

$T_{сл}$ – срок службы конструкции ($T_{сл\ баз}$ = 5 лет; $T_{сл\ проек}$ = 6 лет).

$$M_е^1 = \frac{6}{6 \cdot 1500 \cdot 6} = 0,00011 \text{ кг/ед;}$$

$$M_е^0 = \frac{6}{6 \cdot 1500 \cdot 5} = 0,00013 \text{ кг/ед.}$$

Фондоемкость процесса определяется по формуле:

$$F_с = \frac{C_б}{W_ч \cdot T_{год}},$$

$$F_е^1 = \frac{3489}{6 \cdot 1500} = 0,387 \text{ руб/ед;}$$

$$F_е^0 = \frac{3836}{6 \cdot 1500} = 0,426 \text{ руб/ед.}$$

Трудоемкость процесса определяется по формуле:

$$T_е = \frac{n_р}{W_ч},$$

где $n_р$ – количество рабочих, обслуживающих машину, чел.

$$T_е^1 = \frac{1}{6} = 0,16 \text{ чел.ч/ед;}$$

$$T_е^0 = \frac{1}{6} = 0,16 \text{ чел.ч/ед.}$$

Себестоимость выполнения работ определяется по формуле:

$$S = C_{зп} + C_э + C_{РТО} + A,$$

где $C_{зп}$ – заработная плата производственных рабочих, руб.;

$C_э$ – стоимость электроэнергии, руб.;

А – амортизационные отчисления, руб.;

$C_{РТО}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб.

Заработная плата производственных рабочих определяется по формуле:

$$C_{зп} = z \cdot T_в,$$

где z – тарифная ставка рабочих, руб.;

$$C_{зп1} = 120 \cdot 0{,}16 = 19{,}2 \text{ руб};$$

$$C_{зп0} = 120 \cdot 0{,}16 = 19{,}2 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления определяют по формуле:

$$A = \frac{C_б \cdot a}{100 \cdot W_ч \cdot T_{год}},$$

где а – норма амортизации, %.

$$\mathrm{A}_1 = \frac{3489 \cdot 20}{100 \cdot 6 \cdot 1500} = 0{,}078 \text{ руб};$$

$$\mathrm{A}_0 = \frac{3836 \cdot 20}{100 \cdot 6 \cdot 1500} = 0{,}085 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяют по формуле:

$$C_{РТО} = \frac{C_б \cdot H_{РТО}}{100 \cdot W_ч \cdot T_{год}},$$

где $H_{РТО}$ – норма затрат на ремонт и техническо е обслуживание, %.

$$C_{РТО1} = \frac{3489 \cdot 25}{100 \cdot 6 \cdot 1500} = 0{,}096 \text{ руб.};$$

$$C_{РТО0} = \frac{3836 \cdot 25}{100 \cdot 6 \cdot 1500} = 0{,}107 \text{ руб.}$$

Найденные значения подставляя в формулу (7.7) получим:

$$S_0 = 19{,}2 + 0{,}096 + 0{,}078 = 19{,}374 \text{ руб.};$$

$$S_1 = 19{,}2 + 0{,}107 + 0{,}085 = 19{,}392 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты определяют по формуле:

$$C_{прив} = S + E_н \cdot F_e,$$

где $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (Е=0,10);

$$C^1_{прив} = 19{,}374 + 0{,}1 \cdot 3{,}87 = 19{,}761 \text{ руб/ед;}$$

$$C^0_{прив} = 19{,}392 + 0{,}1 \cdot 4{,}26 = 19{,}818 \text{ руб/ед.}$$

Годовую экономию определяют по формуле:

$$Э_{год} = (S_0 - S_1) \cdot W_ч \cdot T_{год},$$

$$Э_{год} = (19{,}392 - 19{,}374) \cdot 6 \cdot 1500 = 1620 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$E_{год} = \left(C^0_{прив} - C^1_{прив}\right) \cdot W_ч \cdot T_{год},$$

$$E_{год} = (19{,}818 - 19{,}761) \cdot 6 \cdot 1500 = 5130 \text{ руб.}$$

Определённые технико-экономические показатели подтверждают, что замена существующей конструкции ведомого диска на предлагаемую позволит увеличить срок его службы, с одновременным сокращением металлоемкости и стоимости процесса, что в конечном счете скажется на эффективности производства.

Общие выводы

1. Повышение эффективности использования автомобильного транспорта невозможно без применения новых технологий их обслуживания и модернизации.

2. Значительная часть автотранспортного парка АПК республики Татарстан физически устаревшая. Так, например, около 40% автомобилей имеют возраст более 8 лет, что не может не сказываться на величине производственных затрат.

3. При проектировании маховика были проанализированы основные достоинства и недостатки существующих конструкций, 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, из которых видно, что внедрение данной конструкции дает годовой экономический эффект на единицу изделия 5130 рубля.

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., Ястребенецкийй 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.