СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4
I ОБЩАЯ ЧАСТЬ.....8
1. Расчет двигателя.....6
1.1 Конструирование РДТТ.....6
1.2 Выбор принципиальной схемы конструкции двигателя.....7
1.3 Выбор топлива.....8
1.4 Расчет поверхности горения 11
1.5 Расчет внутрибаллистических характеристик 12
1.6 Расчет переднего днища 22
1.7 Расчет заднего днища.....23
1.8 Расчет обечайки.....24
1.9 Расчет шпоночного соеденения.....25
1.10 Расчет заряда на прочность 26
1.11 Определение величины расчетного значения нагрузки 27
1.12 Расчет параметров напряженно-деформированного состояния ...27
1.13 Определение коэффицентов 28
1.14 Газодинамический расчет 32
1.15 Проектирование узлов конструкции двигателя 34
1.15.2 Проектирование днищ 36
1.16 Проектирование конструкции соплового блока 36
1.17 Расчет теплозащитного покрытия соплового блока 37
1.18 Расчет теплозащитного покрытия переднего днища 40
1.19 Выбор ТЗП корпуса двигателя 41

2 СПЕЦЧАСТЬ.....43
2. Введение.....44
2.1 Постановка проблемы 45
2.1.1 Сокращения, индексы, обозначения.....45
2.2 Описание задачи 45

2.3 Постановка задачи оптимизации маршрута обхода адресов.....47
2.4 Организация доставки элементов схемой «ЛЕСЕНКА» 54
2.5 Результаты расчеиов 58

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....63
3 Маршрутно технологическая карта.....64-71

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....72
4. Экономическое обоснование изменения технологии изготовления корпусв ракетного двигателя.....73
4.1 Эффективность инвестиционных проектов.....73
4.2 Выборпоказателей и критериев эффективности.....79
4.3 Постановка задачи.....80
4.4 Расчет капитальных затрат.....81
4.5 Расчет экономии средств от внедрения нового материала.....83
4.5.1 Расчет экономии средств на материалы.....83
4.5.2 Расчет экономии средств на заработную плату.....84
4.5.3 Общая экономия от внедрения технологического процесса.....84
4.6 Расчет чистого дисконтированного дохода.....85
4.7 Расчет индекса доходности.....85
4.8 Выводы.....85

5 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ СТАНОЧНИКА.....53
5.1 Исскуственное освещение станков.....55
5.2 Специальные указания по технике безопасности.....56
5.3 Расчет заземляющего устройства.....57
5.4 Определение числа вертикальных электродов.....57
5.5 Расчет сопротивления заземляющего устройства.....58
5.6 Оборудование подлежащие защитному заземлению 60
5.7 Требование к велечине заземляющего устройства.....60

5.8 Производственная санитария и гигиена труда.....60
5.9 Противопажарные мероприятия 65
5.10 Охрана окружающей среды.....66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....68
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....69

ВВЕДЕНИЕ

В настоящие время все большее применение получают ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ). Это объясняется тем, что по энергетическим характеристикам они вполне приблизились к ЖРД. РДТТ отличаются простой конструкцией и высокой надежностью.

Двигатели на твердом топливе применяются практически везде: в стратегических, оперативно-тактических и тактических ракетах, в подводных ракетах-торпедах, в ракетных системах залпового огня, в стартовых, разгонных и тормозных двигателях, в авиационных ракетах и т.д. Применяются они и в народнохозяйственных целях, например, для борьбы с градом, бурения скважин, метеорологических и исследовательских целей.

Основные характеристики РДТТ главным образом определяются свойствами топлива и формой топливного заряда. В связи с этим, к форме заряда предъявляются следующие требования:

1. Обеспечение максимального коэффициента заполнения при одновременном обеспечении нормальной совместной деформации с оболочкой корпуса в заданном температурном диапазоне применения двигателя и при максимальном внутри камерном давлении, устойчивого без эрозионного горения, минимального количества догорающих остатков.
2. Обеспечение минимального (или заданного) смещения центра массы двигателя в течение всего времени горения заряда.
3. Обеспечение минимальной массы бронирующих и теплозащитных покрытий.

2. Основная часть

Прямая задача баллистического проектирования в общем случае формулируется так:

При заданных максимальных дальности полета и массе полезной нагрузки требуется определить: характеристики ракеты, обеспечивающие минимальные затраты средств на поражение типовой цели.

Одной из особенностей проектируемого двигателя является довольно длительное время работы.

Часто вместо затрат на создание ракеты рассматривается стартовая масса ракеты как величина, пропорциональная затратам при определенных допущениях.

В процессе решения задач баллистического проектирования выбирают:

- Конструктивно-компоновочную схему ракеты
- Определяют основные характеристики топлива, удельные импульсы ступеней
- Выбирают проектные параметры
- Рассчитывают массовые характеристики ракеты
- Выбирают программу выведения.

После баллистического расчета становятся известными тяговые и габаритные параметры ракеты. Проведя аналогичные расчеты для различных проектных параметров, можно найти параметры оптимального варианта ракеты, обеспечивающего либо минимальные затраты средств на поражение типовой цели (прямая задача), либо поражение цели на максимальной дальности (обратная задача).

Для РДТТ изготавливают заряды различной конфигурации. Выбор той или иной формы топливного заряда, как было указано выше, определяется стремлением максимально заполнить располагаемый объем камеры двигателя топливом при одновременном обеспечении заданной диаграммы зависимости давления от времени.

Нейтральная диаграмма с постоянным давлением может быть обеспечена подбором таких конфигураций зарядов, которые дают постоянную величину поверхностей горения по своду. Предпочтение можно отдать форме, дающей, например, максимальное заполнение камеры, если нет каких-либо других ограничивающих требований.

Примеры некоторых форм зарядов РДТТ приведены на рис. 1.

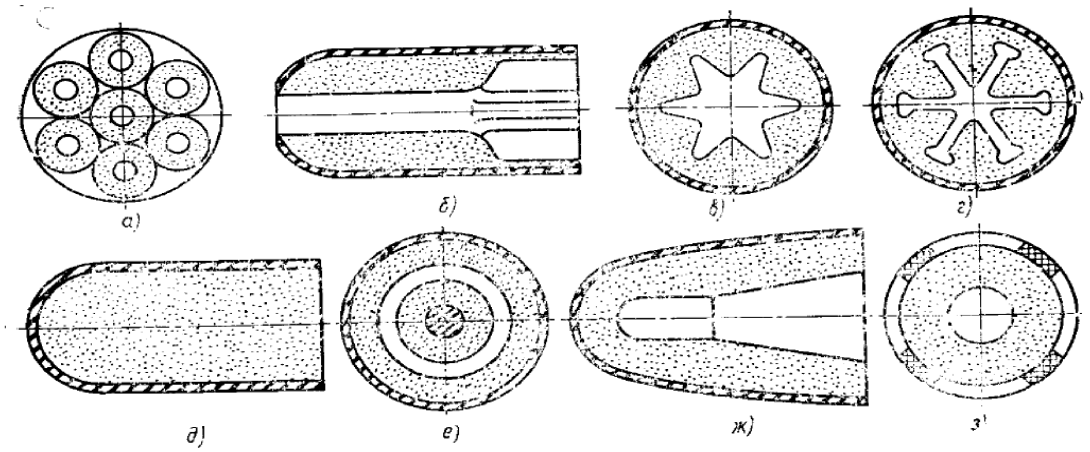


Рис.1. Формы зарядов ТРТ:
а – многошашечный; б – канально-щелевой; в – звездообразный; г – колесообразный; д – торцевого горения; е – телескопический; ж – цилиндро-конический; з – вкладной.

Заряды, формуемые заливкой непосредственно в корпус и склеиваемые с внутренней поверхностью корпуса, называют скрепленными зарядами ТРТ. Если же заряд сформован непосредственно в корпусе, но не склеен с ним, или сформован, а затем закреплен в корпусе специальными элементами, то такой заряд называют вкладным.

Вкладные заряды применяются в тех случаях, когда их необходимо отдельно тепло-изолировать от нагретого снаружи (например, аэродинамическим потоком) корпуса, или когда низкие механические свойства топлива (прочность и эластичность) не обеспечивают совместной деформации заряда с корпусом. К основным недостаткам вкладных зарядов относятся: более низкий, чем у скрепленных зарядов, коэффициент объемного заполнения РДТТ, необходимость теплоизоляции корпуса от воздействия продуктов сгорания, большая, чем у скрепленных зарядов, масса

конструкции из-за наличия конструктивных элементов кропления и центрирования вкладного заряда.

Условно все заряды можно разделить на два типа:

- горение по торцу
- горение по боковым поверхностям

В первом случае:

- бронируется боковая поверхность заряда

Во втором:

- Горение идет по внешней или внутренней поверхности или по обеим одновременно.

Возможно одновременное горение по торцам и боковым поверхностям. Если физические условия во всех точках горящей поверхности одинаковы и топливо однородно, то горение происходит равномерно, параллельными слоями.

Основной характеристикой процесса горения является его скорость. Для количественной оценки скорости горения используют либо скорость перемещения поверхности горения по нормали к самой себе, либо массу топлива, сгорающего с единицы поверхности в единицу времени. В первом случае скорость горения является линейной, во втором — массовой. Линейную скорость горения обычно называют просто скоростью горения. Ее определяют по формуле:

$$u = de / d\tau,$$

где de – толщина сгоревшего слоя за время $d\tau$.

Изменения поверхности горения и свободного объема камеры сгорания во времени определяются в основном геометрией заряда. В зависимости от характера изменения поверхности горения по времени различают три основных типа зарядов:

1. Заряды, обеспечивающие прогрессивное горение, т. е. дающие увеличивающуюся по времени поверхность горения. При

постоянной площади минимального сечения сопла это соответствует возрастанию давления в камере сгорания по времени (рис.2, кривая *а*). Примером такого заряда является цилиндрическая канальная шашка, горящая по внутренней поверхности.

2. Заряды, обеспечивающие регрессивное горение, т. е. дающие уменьшающуюся по времени поверхность горения. Это соответствует снижению давления в камере сгорания по времени (рис.2, кривая *б*). Примером такого заряда может служить цилиндрическая шашка, горящая по наружной поверхности.

3. Заряды, обеспечивающие нейтральное горение, т. е. дающие постоянную или приблизительно постоянную поверхность горения по времени (рис.2, кривая *в*). При постоянной площади минимального сечения сопла давление в камере сгорания остается постоянным по времени. Для обеспечения такого типа горения применяются цилиндрические заряды с бронированной внешней поверхностью и сложной формой поперечного сечения: щелевые, звездообразные, колесообразные (см. рис. 1).

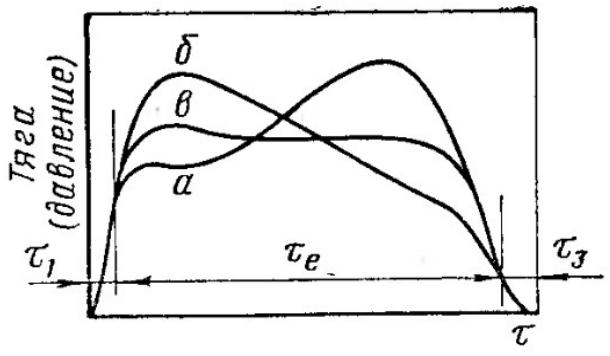


Рис.2. Диаграмма тяга–время для различных типов зарядов

Возможно и не монотонное изменение поверхности горения, в зависимости от того, какое изменение давления (следовательно, и тяги) по времени необходимо обеспечить.

При выборе формы заряда руководствуются накопленным опытом проектирования и отработки аналогичных РДТТ. В качестве

предварительной формы заряда целесообразно выбирать наиболее простую конфигурацию, не имеющую концентраторов напряжений (радиальные и кольцевые прорези). Простая форма заряда повышает надежность РДТТ в работе и эксплуатации, упрощает оснастку, технологический процесс заполнения и повышает надежность дефектоскопии заряда.

В случае если простой формой заряда, даже с помощью небольших кольцевых проточек, не удается обеспечить требуемый закон изменения поверхности горения, выбирают сложную форму заряда – канально-щелевую или звездообразную. В некоторых случаях приходится исходить из других соображений, превалирующих над соображениями простоты и надежности. Так, в случае больших значений массового расхода, малых значениях времени работы и большой массе топлива, предпочтительнее может оказаться сложная форма заряда с развитой поверхностью горения, как требующая меньшей скорости горения топлива, чем простая форма, для которой требуемый высокий уровень скорости горения может оказаться трудно достижимым.

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1. Расчет двигателя

1.1 Конструирование РДТТ

Двигатель РДТТ является основной функциональной частью баллистической ракеты стратегического назначения. Его параметры увязываются с параметрами ракеты. Для проектирования двигателя баллистической ракеты были заданы следующие параметры. Формы заряда коническая, канально-щелевой конфигурации.

Топливо СТТ Материал корпуса- Сталь 30ХГСА.

При проектировании должны быть выполнены следующие требования технического задания (ТЗ):

Калибр двигателя	$D_K = 1{,}8 \ м$
Давление в двигательной установке	$P_K = 6 \ МПа$
Давление на срезе соплового блока	$P_a = 1{,}04 \ МПа$
Удельный импульс	$J_{уд} = 266 \ с$
Вес топлива	$m_T = 40 \ т$
Количество щелей в заряде	n=8
Показатель адиабаты	k=1.16

Разработка конструкции двигателя должна проводится исходя из условий обеспечения его эффективности, работоспособности, технологичности, надежности и экономичности. Для этого необходимо определить тип конструкции двигателя, правильно выбрать топливо и воспламенительный состав, определить конструкцию и способ крепления сопла. Рассчитать соединение элементов и узлов двигателя. Для этого необходимо рассчитать напряженно-деформированное состояние заряда, узлов и соединений, а также рассчитать действующую нагрузку на элементы двигателя, провести газодинамический расчет и определить внутрибаллистические характеристики двигателя. Рассматривать все эти

вопросы надо исходя из условий технического задания, а так же оптимальности и экономичности изготовления изделия.

1.2 Выбор принципиальной схемы конструкции двигателя

Одной из особенностей проектируемого двигателя является довольно длительной время работы. Для этого в настоящее время применяются вкладные заряды торцевого горения. Они имеют низкий коэффициент бъемного заполнения – примерно 0,75…0,80. Происходит это вследствие наличия застойной зоны, которая, несмотря на малую толщину , занимает достаточно большой объем камеры сгорания. В переднем днище большой объем занимает узел крепления заряда. Кроме этого, длительное время работы заряда вынуждает иметь большие толщины бронирующих покрытий, чтобы свести до минимума прогрев слоев топлива, прилегающих к покрытию. Для зарядов торцевого горения этот прогрев ведет к большим искривления поверхностей горения, что, в свою очередь, ведет к отклонению силы тяги от нейтрального закона. Это нежелательно.

С другой стороны, в существующих конструкциях зарядов, прочно скрепленных по наружной поверхности с камерой сгорания, коэффициент объемного заполнения гораздо выше – его величины может доходить до значения 0,95. Заряд скрепляется по наружной поверхности с обечайкой корпуса по существующим технологическим процессам, внутренняя поверхность ывается эластичным бронирующим покрытием. В канале образуется застойная зона, температура продуктов сгорания в которой обычно значительно меньше, чем в предсопловом объеме. В переднем днище можно разместить часть топливного блока, применив раскрепленную манжету. Форму заднего днища лучше всего принять сферической, с относительным вылетом, равным единице. Это позволит поместить в заднем днище также часть топливного блока.

Сопловой блок сделать утопленным, причем он полностью будет входить в канал заряда. Начальная поверхность горения представляет собой незабронированную часть канала заряда длиной, равной радиусу сферы заднего днища. Схема конструкции приведена на рис. 1

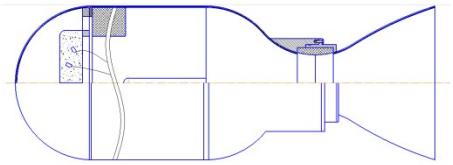


Рис.1. Принципиальная схема двигателя.

Далее принимаем предварительную длину заряда 9,667 м, толщину стенок обечайки и днищ сделаем одинаковой с целью повышения технологичности изготовления 3 мм. ТЗП – 3 мм, тогда внешний диаметр заряда составит 1,788 м, а примерный диаметр канала 0,466 м. Тогда предварительный объем топлива составит 97,68 $м^3$

1.3 Выбор топлива

При выборе топлива для двигателя баллистической ракеты основным требованием является обеспечение энергетических характеристик и времени работы двигателя. Параметры имеющихся в распоряжении топлив представлены в табл. 1

Таблица 1 Характеристики топлив

Закон горения топлива мм/с	Коэффициент температурной чувствит. $1/°C$	Плотность топлива $кг/м^2$	Сила пороха Нм/кг	Показатель адиабаты	Тип топлива
2.15 $P^{0,45}$	0.0012	1710	105000	1.16	С
10.37 $P^{0,25}$	0.0020	1730	110000	1.12	С
3.66 $P^{0,4}$	0.0015	1750	100000	1.14	ТТ

Произведем выбор топлива – определим характеристики двигателя для каждого из имеющихся топлив. Для этого необходимо сначала рассчитать коэффициент истечения, который выглядит следующим образом.

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{RT}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2gk}{k+1}},$$

Где k – показатель адиабаты

RT – сила пороха

g– ускорение свободного падения

Для определения единичного импульса, также понадобятся значения давления в камере сгорания (КС), а так же ряд газодинамических коэффициентов.

Далее, произведем расчет единичного импульса по формуле [2]:

$$J_1 = \frac{1}{\alpha A} \cdot \xi_a^2 \left[f(\lambda) - \frac{P_H}{P_{cp}} \right],$$

Где ξ_a^2 - уширение сопла, равное отношению площади среза сопла к площади критического сечения,

$f(\lambda)$ – газодинамическая функция приведенной плотности потока импульса,

P_{cp}, P_H - среднее давление в камере сгорания и давление окружающей среды.

Зная единичный импульс и массу топлива, можно рассчитать полный импульс каждого топлива по формуле [2]:

$J_P = \omega J_1$, где

ω - масса топлива

J_1 – единичный импульс

Одной из важных характеристик проектируемого двигателя является время работы. Для этого, зная единичную скорость горения и длину двигателя можно определить время работы:

$$\tau = \frac{l}{U}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2

Таблица 2 Ожидаемые характеристики двигателя

№ топлива	1	2	3
$aA,\ 1/c$	0.006189	0.00597	0.006302
$J_P,\ кг\ \ c$	419.73	424.78	402.40
$U,\ мм/c$	18.82	28.86	13.57
$\tau,\ c$	18.04	11.77	25.03

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что требованиям ТЗ отвечает первое топлива.

1.3 Расчет поверхности горения.

Расчет поверхности горения проводился графо-аналитическим методом с помощью программ “MathCAD 2001i’’

Зависимость поверхности горения заряда от свода представлены на рис. 2 и табл. 3

Рис.2. Зависимость поверхности горения от величины горящего свод

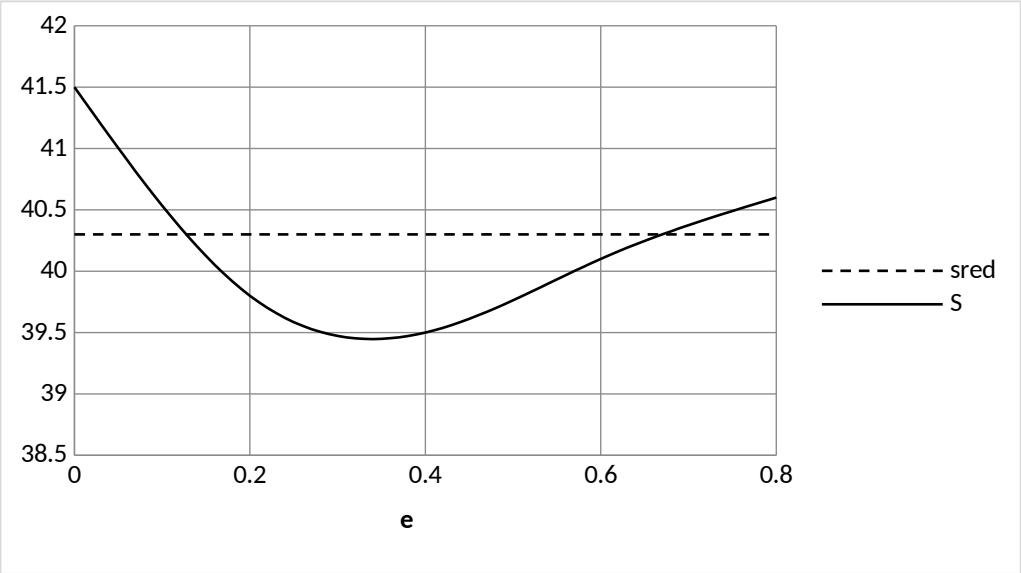


Табл.3. Зависимость поверхности горения от величины горящего свода

e, см	0	13,5	33,3	75
S, $см^2$	416280	399550	392360	408180

1.5 Расчет внутрибаллистических характеристик

Расчет внутрибаллистических характеристик РДТТ ставит основной задачей определение давления в камере и суммарного импульса. При этом решаются и следующие сопутствующие задачи: определяются параметры газового потока (давление, температура, скорость и плотность газового потока) в канале, у днищ, которые используются при расчетах теплового состояния, прочностных расчетах и при расчете ТЗП. На величину давления в камере сгорания в первую очередь влияют параметры скорости горения топлива, которая зависти от многих факторов. Основная зависимость будет от уровня давления в камере сгорания и температуры заряда. Кроме этого часто учитывают эффект «эрозионного горения», но в двигателе с зарядом торцевого горения скорости газового потока очень малы, поэтому этот эффект не учитываем. Существует зависимость скорости горения от величины деформации топлива, но она сказывается на работе двигателя с зарядом, имеющим высокое напряженно-деформированное состояние, например, со щелевым зарядом. В разрабатываемой конструкции торцевого заряда уровень деформации невелик, поэтому этот фактор тоже учитывать не будем.

Расчет производился в программе «Феникс» для температур эксплуатации – 50, +20, +50 С , с использование начальных данных (необходимых для расчета), приведенных в таблицах 4, 5, 6, 7, 8,

Табл.4. Исходные данные топлива.

Ед. скорость горения, см/с	0.215	0.00215
Показатель степени в законе горения	0.45	0.0045
Коэф. температурной чувствительности	0.000012	0
Плотность топлива кг/см3	0.00171	0.0000171
Показатель адиабаты	1.12	0.0112
Сила пороха кгс/кгм	105000	1050

Табл.5. Исходные данные по площади горения

Величина горящего свода e, см	Поверхности горения S, $см^2$
0	416280
13,5	399550
33,3	392360
75	408180

Табл.6. Конструкция

	Мат. ожидание	Ед. кв. отклонение
Свободный объем КС, $см^3$	2109591,63	21095,9163
Тепловые потери	0,97	0,0097
Коэффициент расхода	0,998	0,00998
Площадь критики, $см^2$	2605	25,05
Площадь на срезе сопла, $см^2$	30490	304,9
Начальная температура в КС,К	300	300

Табл.7. Условия расчета

<table>
<tr><td rowspan="3">Граничные условия</td><td colspan="2">Начальное давление в КС, МПа</td><td>0,3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Давление выхода на режим в КС</td><td>6</td></tr>
<tr><td colspan="2">Конечное давление в КС,МПа</td><td>0,2</td></tr>
<tr><td>Шаг интегрирования, сек</td><td colspan="2">Выход на режим</td><td>0,0001</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="2">Маршевый режим</td><td>0,001</td></tr>
<tr><td colspan="2">Режим спада давления</td><td>0,001</td></tr>
<tr><td colspan="2">Количество опытов</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Температура заряда</td><td>максимальная</td><td>минимальная</td></tr>
<tr><td>50</td><td>-50</td></tr>
</table>

Табль.8. Характеристики воспламенителя

	Мат. ожидание	Ср. кв. откл.

Единичная быстрота горения, см/с	2	0.02
Показатель в степени в законе горения	0.01	0.001
Плотность топлива кг/см3	0.002	0.00002
Коэф. Температурной чувствительности	0	0
Показатель адиабаты	1.2	0.0012
Сила пороха, кгс/кгм	1500000	1500

Результаты приведены в таблице 9,10,11.

Таблица 9. Результаты вычислений для температуры +50 С

	Мат. ожидание	Ср.кв.откл.
Время выхода на режим, сек.	10.721	12.64
Время работы, сек.	54.137	1.0321
Время спада давления, сек.	0.59881	0.023819
Полное время работы, сек.	54.736	1.0122
Среднее давление, атм.	60.78045	2.057515
Максимальное давление, атм.	83.74641	3.021153
Среднее усилие, кгс	2.2516E005	7024.1
Максимальное усилие, кгс	3.1693E005	10398
Импульс изделия, с	1.8888E005	4.3145E005
Полный импульс, с	1.8942E007	4.3472E005
Средняя температура в КС, К	452.55	11.614
Максимальная температура в КС, К	474.67	13.837

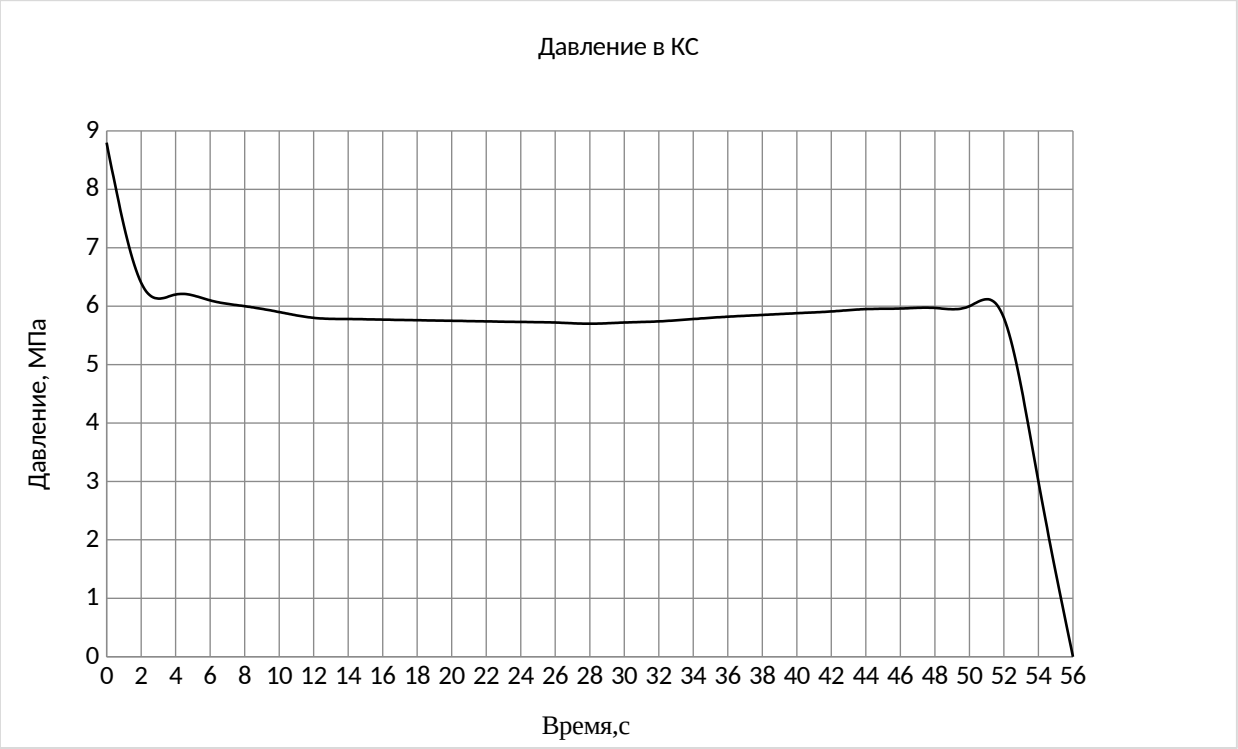


Рис.3.Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре +50^{0}С

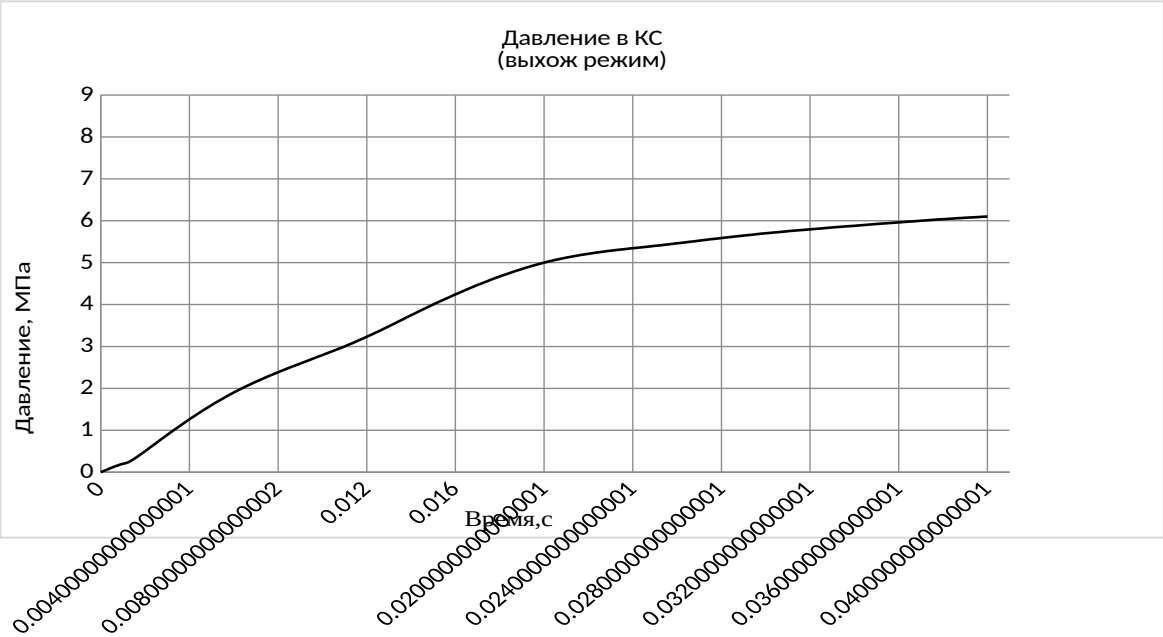


Рис.4.Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре +50^{0}С

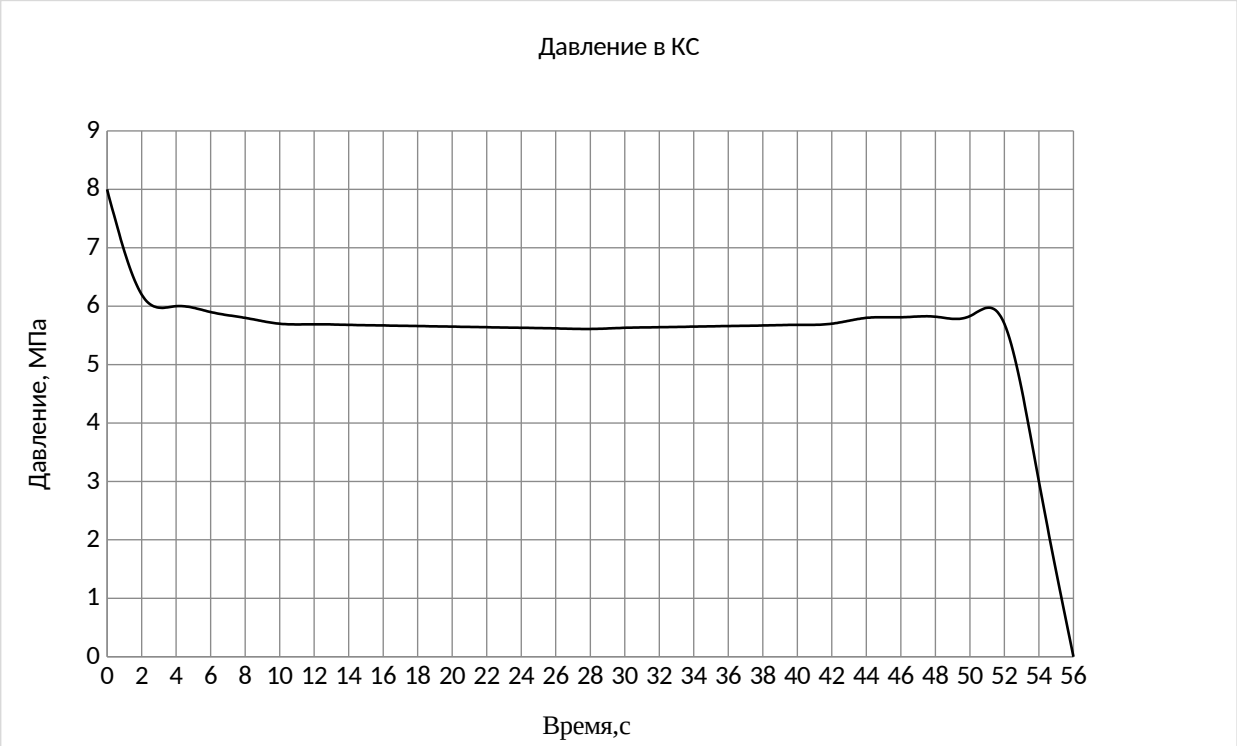


Рис.5.Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре $+20^0$С

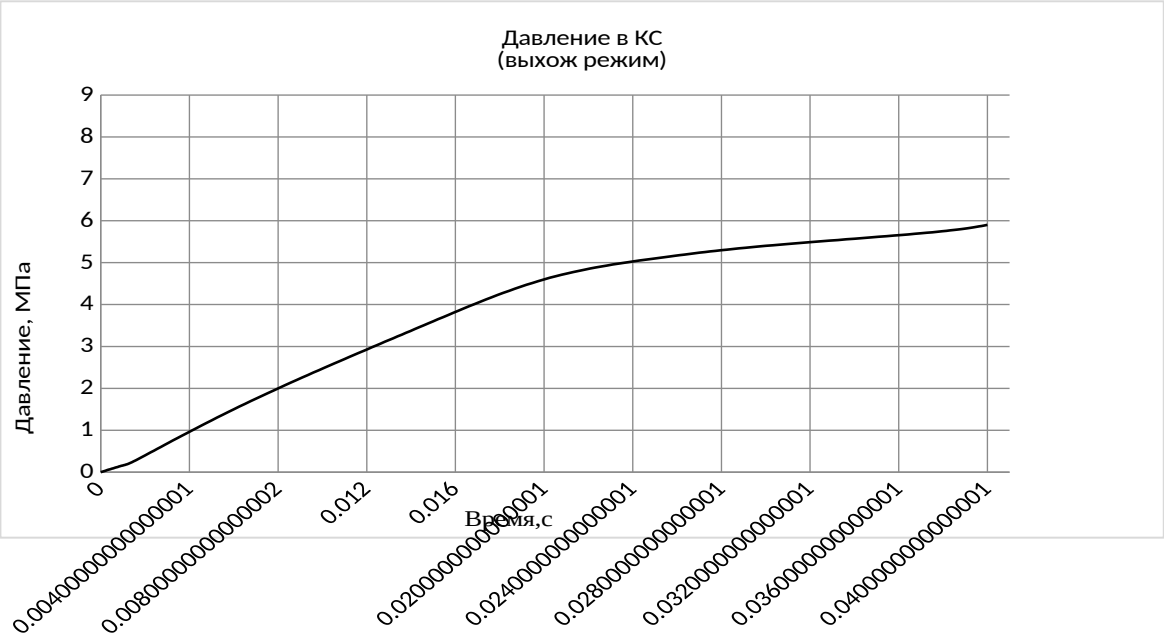


Рис.6 .Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре $+20^0$С

Таблица 10. Результаты вычислений для температуры +20 С

	Мат. ожидание	Ср.кв.откл.
Время выхода на режим, сек.	10.721	12.64
Время работы, сек.	54.137	1.0321
Время спада давления, сек.	0.59881	0.023819
Полное время работы, сек.	54.736	1.0122
Среднее давление, атм.	60.78045	2.057515
Максимальное давление, атм.	83.74641	3.021153
Среднее усилие, кгс	2.2516E005	7024.1
Максимальное усилие, кгс	3.1693E005	10398
Импульс изделия, с	1.8888E005	4.3145E005
Полный импульс, с	1.8942E007	4.3472E005
Средняя температура в КС, К	452.55	11.614
Максимальная температура в КС, К	474.67	13.837

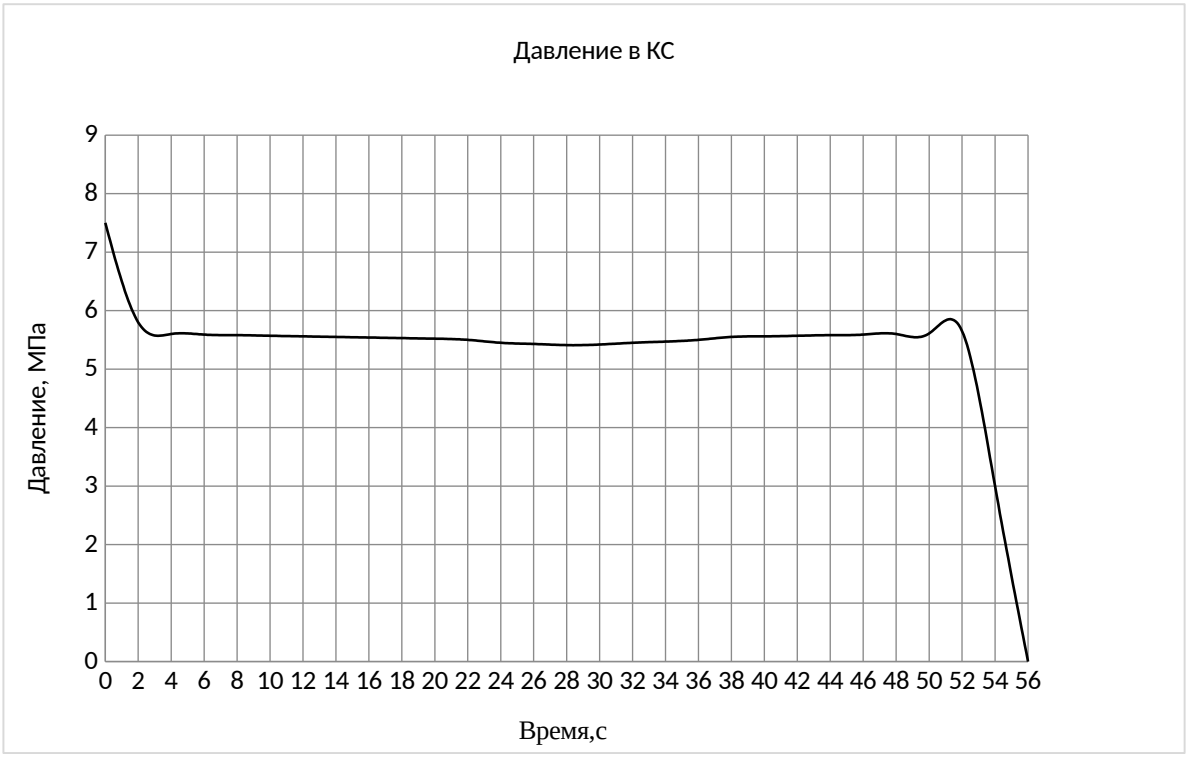


Рис.7. Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре -50^0С

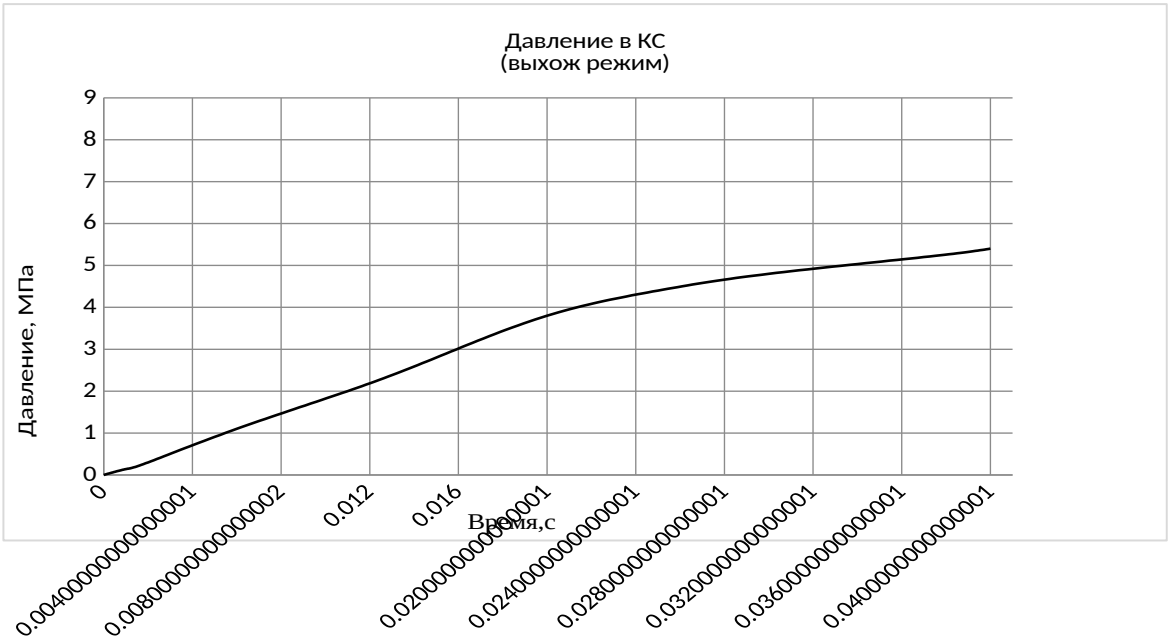


Рис.8. Зависимость давления в КС от времени работы двигателя при температуре -50^0С

Таблица 11 Результаты вычислений для температуры -50 С

	Мат. ожидание	Ср.кв.откл.
Время выхода на режим, сек.	10.721	12.64
Время работы, сек.	54.137	1.0321
Время спада давления, сек.	0.59881	0.023819
Полное время работы, сек.	54.736	1.0122
Среднее давление, атм.	60.78045	2.057515
Максимальное давление, атм.	83.74641	3.021153
Среднее усилие, кгс	2.2516E005	7024.1
Максимальное усилие, кгс	3.1693E005	10398
Импульс изделия, с	1.8888E005	4.3145E005
Полный импульс, с	1.8942E007	4.3472E005
Средняя температура в КС, К	452.55	11.614
Максимальная температура в КС, К	474.67	13.837

Выводы: по полученным данным можно сделать вывод что двигатель полностью удовлетворяет ТЗ. Дальнейший прочностной расчет необходимо проводить учитывая среднее внутрикамерное давление $P_к = 6\ МПа$ и максимальное внутрикамерное давление $P_{max} = 8{,}3\ МПа$.

1.6 Расчет переднего днища

В качестве переднего дна принимаем сферическое дно из стали 30ХГСА. Расчет будем проводить по допускаемым напряжениям.

Исходные данные:

R=900 мм -радиус камеры сгорания

$\xi = 0{,}58$ -относительный вылет днища

P=0,6 кг/$мм^2$ -среднее давление в камере

$\sigma_в = 110\ \ кг/мм^2$ -предел прочности материала

$\eta = 1{,}5$ -коэффициент запаса прочности

Определим вылет днища:

$b = \xi R$ b=522 мм

Найдем минимальную толщину дна и определим напряжения:

$$h = \frac{PR\left(1+\xi^2\right)}{4\sigma_B \xi}\eta$$ h=4,242 мм

$$\sigma = \frac{PR\left(1+\xi^2\right)}{4h\xi}\eta$$ $\sigma = 73{,}333\ \ кг/мм^2$

1.7 Расчет заднего днища

Заднее дно представляет из себя конус из стали 30ХГСА

Исходные данные:

$P_{max} = 0{,}84\ \ кг/мм^2$ - максимальное давление в двигателе

f = 1,3 - коэффициент безопасности

D = 1800 мм - диаметр входа в конус

d = 521 мм - выходной диаметр конуса

$\sigma_в = 110\ \ кг/мм^2$ - предел прочности материала

$\eta = 1{,}2$ - коэффициент запаса прочности

$\xi = 1{,}5$ - коэффициент Ланжевена

R = 900 мм - радиус камеры сгорания

Определим расчетное давление :

$P_{расч} = P_{max}\ f$

$P_{расч} = 1{,}092\ \ кг/мм^2$

Определим расчет стенки:

$h = \frac{P_{расч} R \eta}{\sigma_в}$ h = 10,721 мм

Определим тангенциальное напряжение:

$\sigma_t = \frac{P_{расч} R}{h}$ $\sigma_t = 70{,}52 \ \ кг/мм^2$

Определим осевое напряжение:

$\sigma_x = \frac{P_{расч}\left(D^2 - \xi d^2\right)}{4hD}$ $\sigma_x = 36{,}7 \ \ кг/мм^2$

Определим радиальное напряжение:

$\sigma_2 = P_{расч}$ $\sigma_2 = 1{,}092 \ \ кг/мм^2$

Определим эквивалентное напряжение и коэффициент запаса прочности

$$\sigma_{экв} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\left(\sigma_t - \sigma_x\right)^2 + \left(\sigma_x - \sigma_2\right)^2 + \left(\sigma_2 - \sigma_t\right)^2}$$

$$\sigma_{экв} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\left(91{,}667 - 40{,}074\right)^2 + \left(40{,}074 - 1{,}092\right)^2 + \left(1{,}092 - 91{,}667\right)^2}$$

$\sigma_{экв} = 78{,}693$

$\eta = \frac{\sigma_в}{\sigma_{экв}}$ $\eta = 1{,}2$

1.8 Расчет обечайки

При приблизительной оценке напряжений от внутреннего давления в металлической обечайке воспользуемся теорией безмоментного напряжения состояния цилиндрических обечаек.

$P_{max} = 0{,}84 \ \ кг/мм^2$ - максимальное давление в камере

F = 1,3 - коэффициент безопасности

R = 900 мм - радиус камеры

$\sigma_в = 110 \ \ кг/мм^2$ - предел прочности материала

$\eta = 1{,}2$ - коэффициент запаса прочности

Определим расчетное давление:

$$P_{расч} = P_{max} \ f$$

$$P_{расч} = 0{,}109 \ \ кг/мм^2$$

Определим толщину обечайки:

$$h = \frac{P_{расч} R \eta}{\sigma_B} \qquad h = 10{,}72 \text{ мм}$$

Определим меридиальное напряжение:

$$\sigma_x = \frac{P_{расч} R}{2h} \qquad \sigma_x = 35{,}26 \quad кг/мм^2$$

Определим окружное напряжение:

$$\sigma_t = \frac{P_{расч} R}{2h} \qquad \sigma_t = 35{,}26 \quad кг/мм^2$$

Определим радиальное напряжение:

$$\sigma_2 = P_{расч} \qquad \sigma_2 = 0{,}109 \ \ кг/мм^2$$

$$\sigma_{экв} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\sigma_t - \sigma_x)^2 + (\sigma_x - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_t)^2}$$

$$\sigma_{экв} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(70{,}52 - 35{,}26)^2 + (35{,}26 - 1{,}092)^2 + (1{,}092 - 70{,}52)^2}$$

$$\sigma_{экв} = 60{,}13 \ \ кг/мм^2$$

$$\eta = \frac{\sigma_в}{\sigma_{экв}} \qquad \eta = 1{,}83$$

1.9 Расчет шпоночного соединения.

Для соединения обечайки с корпусом выбираем шпоночное соединение, т.к. оно имеет минимальную массу и минимальное радиальное размеры. Последнее особо важно, т.к необходимо обеспечить установку заряда со стороны днища и чем больше будет это отверстие, тем больше будет диаметр заряда и полный импульс двигателя.

Выбираем шпонку поперечного сечения 10х4 мм и с длинной по окружности 0,1 м, из легированной конструкционной стали 30ХГСА с пределом прочности $\sigma_в = 1100 \ МПа$.

При максимально возможном давлении в камере двигателя 8.4 МПа нагрузка на шпонку будет определяться площадью проекции днища на плоскость, перпендикулярную оси двигателя, и составлять 2,19 МН. При выбранных размерах шпонки, напряжения среза будут определяться отношением действующей нагрузки к площади среза и составят 416.4 МПа. Принимая допускаемые напряжения на срез равные 0.6 от предела прочности т.е. 486 МПа. Напряжения смятия будут определяться отношением действующей нагрузки к площади смятия и составят 331.3 МПа. Допускаемые напряжения принимаем в размере 0.8 от предела прочности или 648 МПа.

1.10 Расчет заряда на прочность.

Постановка задачи: провести проверочный расчет на прочность скрепленного корпусом заряда в расчетных точках от действия стационарного внутреннего давления.

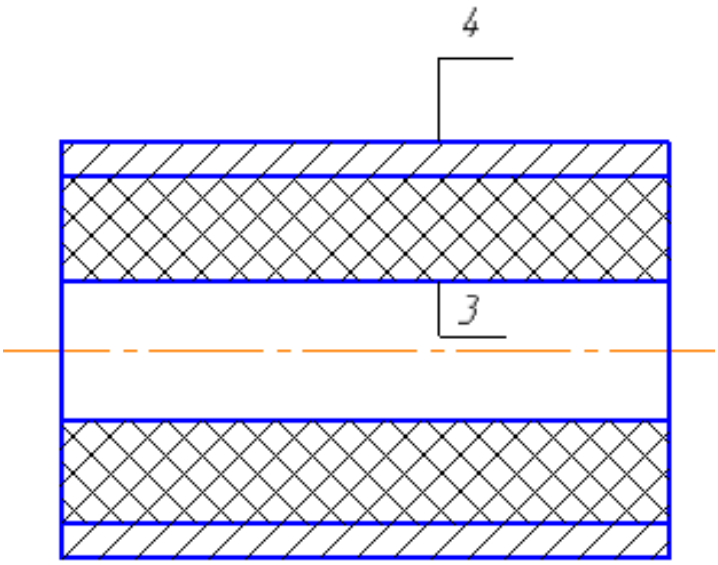


Рис.15. Схема расчета заряда.

Материал корпуса – Сталь 30ХГСА

$E_к = 2 \cdot 10^5 \; МПа$

$\sigma_в = 1700 \;\; МПа$

$\mu_к = 0{,}3$

$\alpha_к = 10^{-5} 1/град$

$M = \frac{D_0}{d_{пр}} = 4{,}009$

$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 4{,}009$

Характеристики топлива:

$\mu_T = 0{,}3$

$\alpha_T = 10^{-4} 1/град$ – коэффициент линейного расширения

$E_T = 20 \;\; МПа$ - модуль упругости топлива;

принимаем $T_{пол} = 60 \;\; C$

Коэффициенты торцевой разгрузки:

$R_T = 1{,}08$ – при действии климатической температуры;

$R_P = 1{,}05$ - при действии внутрикамерного давления;

1.11 Определение величины расчетного значения нагрузки

$T_{пол} = 20 \;\; C$

$P_P^T = 8 \;\; МПа$ – максимальное давление в камере

$$P_K^T = \frac{2(1-\mu_0)}{1+M^2(1-2\mu_n)+\left[\frac{E_n(M^2-1)(1+\mu_k)}{E_k(N^2-1)(1+\mu_n}\right](1-2\mu_k+N^2)} = \frac{2(1-0{,}495)}{1+4{,}009(1-2\;\;0{,}495)+\left[\frac{20(4{,}009^2-1)(1+0{,}3)}{2(1{,}014-1)(1+0{,}495}\right](}$$

- контактное давление.

1.12 Расчет параметров напряженно-деформированного состояния ядра

P(t) = 1

$$P_1 = P(t) - P_K^T \cdot M^2 = 1 - 0{,}856 \cdot 16{,}07 = -12{,}75\ МПа$$

$$P_2 = P(t) - P_K^T = 1 - 0{,}856 = 0{,}144\ МПа$$

$$\varepsilon_\theta^P = \left[\frac{1+\mu_n}{E_n(M^2-1)}\right] \cdot \left[(1-2\mu_n) \cdot P_1 + M^2 \cdot P_2\right] \cdot R_P = \left[\frac{1+0{,}495}{20(4{,}009^2-1)}\right] \cdot \left[(1-2\cdot 0{,}495)\cdot(-12{,}75) + 4{,}009^2 \cdot 0{,}144\right] 1{,}05$$

= 0,010 – деформация (тангенциальная) на поверхности канала заряда

Напряжения:

$$\sigma_{\theta(3)}^P = \left[\frac{1}{M^2-1}\right] \cdot \left(P_1 + M^2 \cdot P_2\right) = \left[\frac{1}{4{,}009^2-1}\right] \cdot \left(-12{,}75 + 4{,}009^2 \cdot 0{,}144\right) = -0{,}69$$ – тангенциальное напряжение.

$$\sigma_z^P = \left[\frac{2\mu_n}{M^2-1}\right] \cdot P_1 = \left[\frac{2\cdot 0{,}5}{4{,}09^2-1}\right] \cdot (-12{,}75) = -0{,}84 - осевое\ \ напряжение$$

$\sigma_{r(3)}^P = -P(t) = -1$ - радиальное напряжение

$$\sigma_{\theta(4)}^p = \left[\frac{1}{M^2-1}\right] \cdot \left(P_1 + P_2\right) = \left[\frac{1}{4{,}009^2-1}\right] \cdot \left(-12{,}75 + 0{,}144\right) = -0{,}8357$$

$$\sigma_{z(4)}^P = \left[\frac{2\mu_n}{M^2-1}\right] \cdot P_1 = \left[\frac{2\cdot 0{,}5}{4{,}009^2-1}\right] \cdot (-12{,}75) = 0{,}84$$

$\sigma_{r(4)}^P = -P_K^T = -0{,}856$

1.13 Определение коэффициентов

Коэффициент согласования:

- от действия давления $n_p^\varepsilon = 1{,}32 * n_{(3)}^\varepsilon;$

- от действия температур $n_T^\varepsilon = 1{,}22 * n_{(3)}^\varepsilon;$

Для случая стандартной скорости деформирования $\square_{\square}^{\square}=1$, следовательно $n_p^{\varepsilon}=1{,}32;\ n_T^{\varepsilon}=1{,}22;n^{\sigma}=0{,}5;$

Коэффициент безопасности:

- при оценке прочности по деформациям в точке 3:

$P_1=0{,}999;\quad \alpha=1{,}06;\ b_{\varepsilon}=0{,}45.$

$f_1^{\sigma}=1{,}1\quad f_2^{\sigma}=1{,}15\quad f_4^{\sigma}=1{,}0\quad f_2^{\sigma}=1{,}15$

Определение суммарного коэффициента изменчивости:

$$a_T=3\cdot\frac{S_{\varepsilon\theta}^{T}}{\varepsilon_{\theta}^{T}}=3\cdot 0{,}1=0{,}3$$

$$a_P=3\cdot\frac{S_{\varepsilon\theta}^{P}}{\varepsilon_{\theta}^{P}}=3\cdot 0{,}15=0{,}45$$

$$a_3=\frac{\sqrt{\left(n_T^{\varepsilon}\cdot a_T\cdot\varepsilon_{\theta}^{T}\right)^2+\left(n_p^{\varepsilon}\cdot a_p\cdot\varepsilon_{\theta}^{p}\right)^2}}{n_T^{\varepsilon}\cdot\varepsilon_{\theta}^{T}+n_p^{\varepsilon}\cdot\varepsilon_{\theta}^{p}}=\frac{\sqrt{\left(1{,}22\cdot 0{,}3\cdot 10^{-4}\right)^2+\left(1{,}32\cdot 0{,}45\cdot 0{,}73\right)^2}}{1{,}22\cdot 1{,}252\cdot 10^{-4}+1{,}32\cdot 0{,}73}=0{,}364$$

$$f_3^{\varepsilon}=\frac{1+\sqrt{1-\left(1-\alpha\cdot a_3^2\right)\cdot\left(1-\alpha\cdot b_{\varepsilon}^2\right)}}{1-\alpha\cdot b_{\varepsilon}^2}=\frac{1+\sqrt{1-\left(1-1{,}06\cdot 0{,}499^2\right)\cdot\left(1-1{,}046\cdot 0{,}45^2\right)}}{1-1{,}06\cdot 0{,}45^2}=1{,}99$$

$$f_{общ}=f_1^{\varepsilon}\cdot f_2^{\varepsilon}\cdot f_3^{\varepsilon}\cdot f_4^{\varepsilon}\cdot f_5^{\varepsilon}=1{,}1\cdot 1{,}15\cdot 2{,}061\cdot 1\cdot 1{,}15=2{,}998$$

Расчет суммарной деформации:

$$\varepsilon_{\theta}^{\Sigma}=f_{общ}^{\varepsilon}\cdot\left(n_T^{\varepsilon}\cdot\varepsilon_{\theta}^{T}+n_P^{\varepsilon}\cdot\varepsilon_{\theta}^{P}\right)=2{,}998\cdot\left(1{,}22\cdot 17{,}5\cdot 10^{-4}+1{,}32\cdot 0{,}063\right)=0{,}24$$

Условие прочности:

$$\varepsilon_{кр}\geq\varepsilon_{\theta}^{\Sigma}$$

Условие прочности в точке 3 по деформациям выполняется

Оценка прочности: $E_{nkk}=22\quad \varepsilon_{кр}=0{,}31$

- при оценке прочности по напряжениям:

$f_1^\sigma = 1{,}06 \quad f_2^\sigma = 1{,}0 \quad f_3^\sigma = 1{,}15 \quad f_4^\sigma = 1{,}15 \quad f_5^\sigma = 1{,}23$

$$f_3^\sigma = \frac{1+\sqrt{1-\left(1-\alpha\cdot a_\sigma^2\right)\cdot\left(1-\alpha\cdot b_\sigma^2\right)}}{1-\alpha\cdot\square_{\square}} = \frac{1+\sqrt{1-\left(1-1{,}06\cdot 0{,}3^2\right)\cdot\left(1-1{,}046\cdot 0{,}40^2\right)}}{1-1{,}06\cdot 0{,}40^2} = 1{,}908$$

$$f_{общ} = f_1^\varepsilon \cdot f_2^\varepsilon \cdot f_3^\varepsilon \cdot f_4^\varepsilon \cdot f_5^\varepsilon = 1{,}06\cdot 1\cdot 1{,}908\cdot 1{,}15\cdot 1{,}23 = 2{,}862$$

Оценка прочности по напряжениям в точке 3:

Из сопоставления σ_1 σ_2 σ_3 записываются главные напряжения из условия $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

$$\sigma' = n^\sigma \cdot \left(\sigma'^{p}_{\theta(3)} + \sigma'^{T}_{\theta(3)}\right) = 0{,}5\cdot\left(-14{,}339 + \left(-0{,}27\right)\right) = -2{,}305$$

$$\sigma'' = n^\sigma \cdot \left(\sigma'^{p}_{Z(3)} + \sigma'^{T}_{Z(3)}\right) = 0{,}5\cdot\left(-15{,}265 + 4{,}83 * 10^{-4}\right) = -3{,}24$$

$$\sigma''' = n^\sigma \cdot \sigma'^{p}_{r(3)} = 0{,}5\cdot\left(-16{,}5\right) = -3{,}9$$

Вычисляем шаровый тензор и интенсивность напряжений:

$$\sigma_{0(3)} = \frac{\sigma' + \sigma'' + \sigma'''}{3} = \frac{-2{,}305 - 3{,}24 - 3{,}9}{3} = -3{,}165$$

$$\sigma_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sqrt{\left(\sigma' - \sigma''\right)^2 + \left(\sigma'' - \sigma'''\right)^2 + \left(\sigma''' - \sigma'\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot$$

$$\sqrt{\left(-2{,}305 + 3{,}24\right)^2 + \left(-3{,}24 + 3{,}9\right)^2 + \left(-3{,}9 + 2\,?\,305\right)^2} = 1{,}387$$

Определяем $\sigma_{экв}$: $a' = 0{,}29$; $b' = -0{,}21$; $c' = -0{,}56$

$$\mu_{\sigma(3)} = \frac{2\cdot\sigma'' - \sigma' + \sigma'''}{\sigma' - \sigma'''} = \frac{1\cdot\left(-1{,}305\right) + 3{,}24 + 3{,}9}{-2{,}305 + 3{,}9} = 1{,}58$$

$$k' = \left(\frac{2\cdot\sqrt{3+\mu_{\sigma(3)}}}{3-\mu_{\sigma(3)}}\right)\cdot\frac{\sigma_{03}}{\sigma_3} = \left(\frac{2\cdot\sqrt{3+\square^{\square}}}{3-1{,}58}\right)\cdot\frac{\left(-3{,}156\right)}{1{,}387} = -3{,}88$$

$$\sigma_{03} = \frac{\sigma' + \sigma'' + \sigma'''}{3} = \frac{-2{,}305 - 3{,}24 - 3{,}9}{3} = -3{,}165$$

$$\sigma_{экв(3)}=\left(\alpha+\frac{b'}{k'+c'}\right)\cdot\left(\frac{3-\mu_{\sigma(3)}}{2\cdot\sqrt{3+\mu_{\sigma}^{2}}}\right)\cdot\sigma_{3}=\left(0{,}29+\frac{-0{,}21}{(-12{,}153-0{,}56}\right)\cdot\left(\frac{3-0{,}308}{2\cdot\sqrt{3+0{,}308^{2}}}\right)\cdot 0{,}83$$

Определяем величину требуемого напряжения:

$$\sigma_{тр(3)}=f_{общ}^{\sigma}\cdot\sigma_{экв}=2{,}82\cdot 0{,}434=1{,}22$$

$$E_{пкр}=22;\quad \sigma_{экв}=1.5$$

Условие прочности по напряжениям в точке 3 выполняются

Оценка прочности по напряжениям в точке 4:

Из сопоставления $\sigma',\sigma'',\sigma'''$ записываются главные напряжения из условия $\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$

$$\sigma'=n^{\sigma}\cdot\left(\sigma_{\theta(4)}'^{p}+\sigma_{\theta(4)}^{T}\right)=0{,}5\cdot(-15{,}197+1{,}994\cdot 10^{-3}=-3{,}044$$

$$\sigma'=n^{\sigma}\cdot\left(\sigma_{z(4)}'^{p}+\sigma_{z(4)}'^{T}\right)=0{,}5\cdot(-15{,}197+1{,}994\cdot 10^{-3}=-3{,}044$$

$$\sigma''=n^{\sigma}\cdot\sigma_{r(4)}'^{p}=0{,}5(-16{,}5)=-3{,}241$$

Вычисляем шаровый тензор и интенсивность напряжений:

$$\sigma_{0(4)}=\frac{\sigma'+\sigma''+\sigma'''}{3}=\frac{-2{,}305-3{,}24-3{,}9}{3}=-3{,}165$$

$$\sigma_{4}=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sqrt{(\sigma'-\sigma'')^{2}+(\sigma''-\sigma''')^{2}+(\sigma'''-\sigma')^{2}}=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot$$

$$\sqrt{(-3{,}04+3{,}241)^{2}+(-3{,}241+3{,}125)^{2}+(-3{,}124+3{,}04)^{2}}=0{,}196$$

Определяем $\sigma_{экв}$: $a'=0{,}29;\ b'=-0{,}21;\ c'=-0{,}56$

$$\mu_{\sigma(4)}=\frac{2\cdot\sigma''-\sigma'+\sigma'''}{\sigma'-\sigma'''}=\frac{1\cdot(-1{,}305)+3{,}24+3{,}9}{-3{,}044+3{,}215}=-0{,}847$$

$$k'=\left(\frac{2\cdot\sqrt{3+\mu_{\sigma(4)}^{2}}}{3-\square_{\square}}\right)\cdot\frac{\sigma_{0(4)}}{\sigma_{\square}}4=\left(\frac{2\cdot\sqrt{3-0{,}847^{2}}}{3+0{,}847}\right)\cdot\frac{(-3{,}167)}{0{,}196}=-12{,}6$$

$$\sigma_{экв}=\left(\alpha+\frac{b'}{k'+c'}\right)\cdot\left(\frac{3-\mu_{\sigma(4)}}{2\cdot\sqrt{3+\mu_{\sigma(4)}^{2}}}\right)\cdot\sigma_{4}=\left(0{,}29+\frac{-0{,}21}{(-12{,}153-0{,}56)}\right)\cdot\left(\frac{3-0{,}847}{2\cdot\sqrt{3+0{,}847^{2}}}\right)\cdot 0{,}19$$

Определяем величину требуемого напряжения:

$$\sigma_{тр(4)} = f^{\sigma}_{общ} \cdot \sigma_{экв(4)} = 2{,}82 \cdot 0{,}06 = 0{,}168$$

$$\sigma_{кр} \geq \sigma_{тр(4)}$$

$$E_{пкк} = 22; \quad \sigma_{кр} = 1.5$$

Условие прочности по напряжениям в точке 4 выполняются.

1.14 Газодинамический расчет

Для двигателя газодинамический расчет проводится в первую очередь с целью определения тепловых потоков к стенке двигателя и толщине теплозащитных покрытий. Из выражения $\tau(\lambda)=T/T^*$=1+(к+1)λ^2/(к+1) получаем зависимость Т от λ.

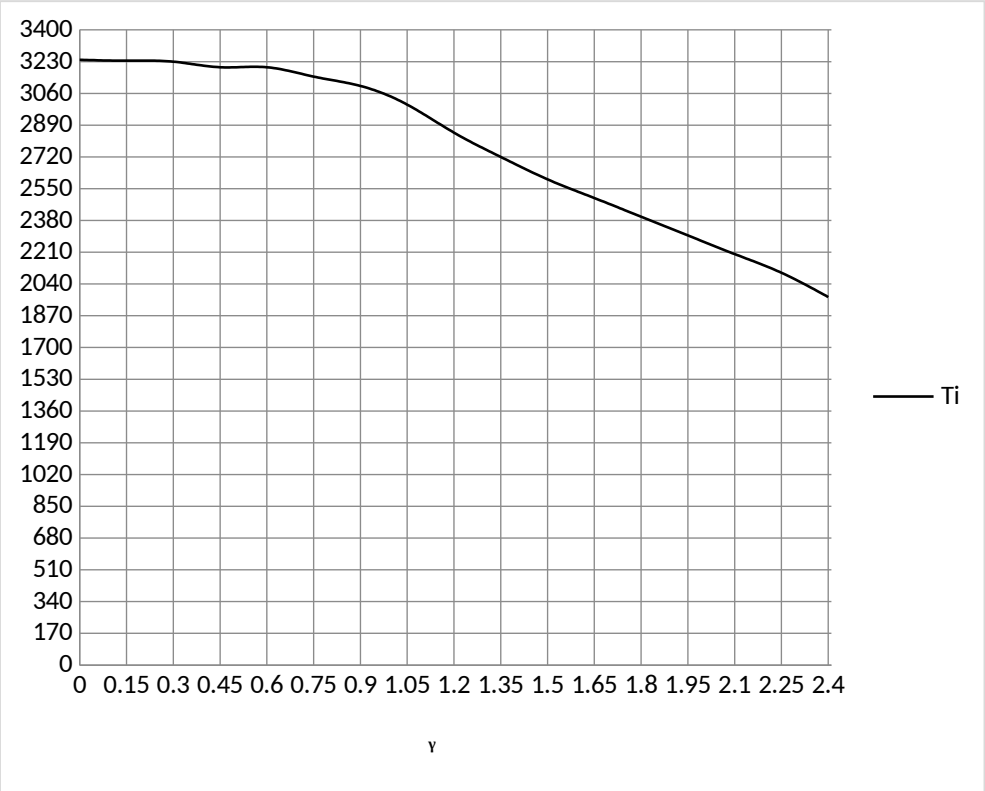


Рис.16 Зависимость статической температуры от приведенной скорости газового потока.

Из выражения $\pi(\lambda)$=P/P^*=(1+(К-1) $\lambda^2/(\kappa+1)^{\frac{\kappa}{\kappa}-1}$ получаем зависимость Р от λ отображенную на рисунке 17.

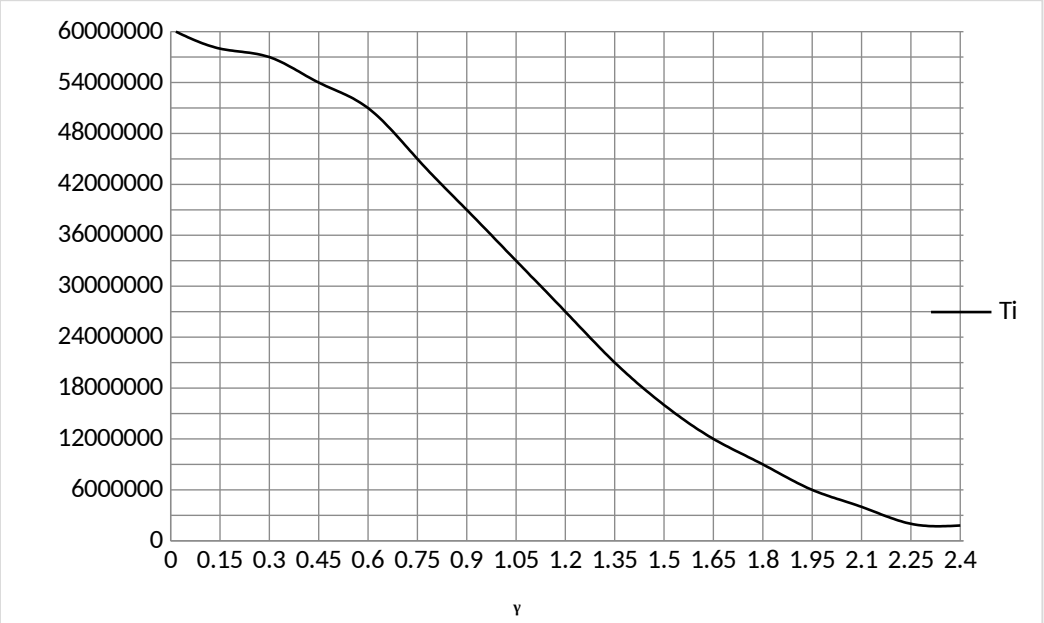


Рис.17 Зависимость статического давления от приведенной скорости газового потока.

Из выражения $\varepsilon(\lambda)=p/p^{*}=\left(\frac{1+(\kappa-1)\lambda^{2}}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$, где $p^{*}=\frac{p^{*}}{RT}$ получаем зависимость p от λ отображенную на рисунке 18.

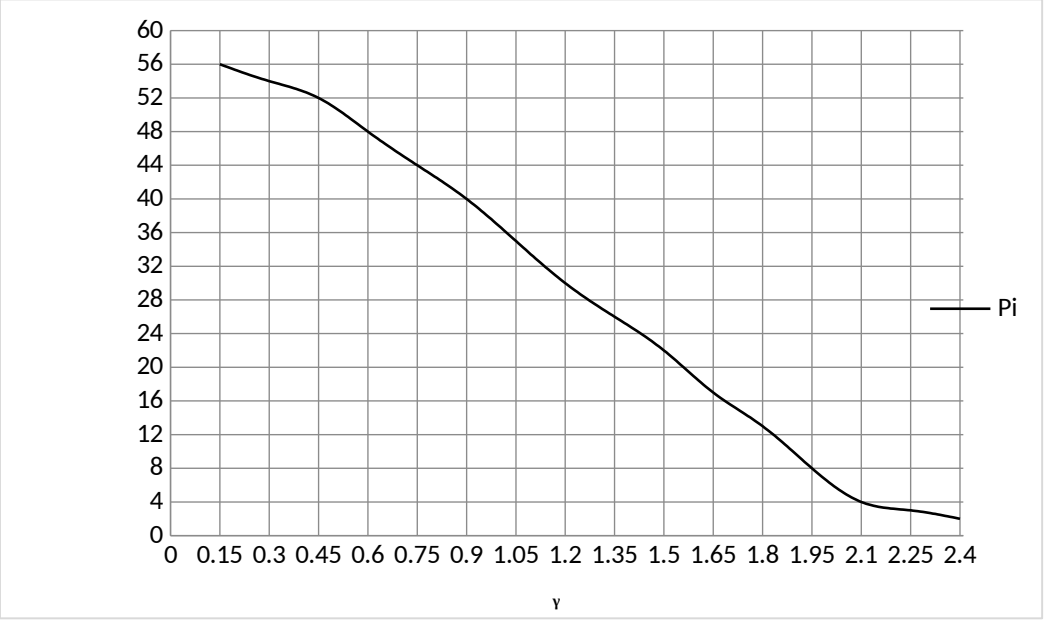


Рис.18 Зависимость статической плотности от приведенной скорости газового потока.

1.15 Проектирование узлов конструкции двигателя

Основные требования, предъявляемые к проектируемым корпусам РДТТ, во многом совпадают с требованиями к любой продукции машиностроения. В первую очередь необходимо обеспечить работоспособность двигателя. Для этого он должен отвечать требованиям по прочности, жесткости, устойчивости и усталости. Кроме этого, особенностью проектирования РДТТ является требование минимальной массы конструкции, т.к. от этого зависит эффективность двигателя , дальность полета ракеты и ее полезная нагрузка. Данное требование сильно усложняет процесс проектирования, потому что самый обычный путь – увеличение запасов прочности здесь неприемлем. Требуется при минимальном запасе прочности обеспечить нужную работоспособность. Это можно сделать только одним путем – учесть при разработки конструкции как можно полнее условие эксплуатации с помощью более точных методик расчета. Другая особенность проектирование РДТТ, заключается в том, что несмотря на короткое время своей работы, его конструкция работает в очень тяжелых условиях – это высокая температура химически активных газов. На конструкцию действует одновременно, и высокая температура, и высокое давление.

Разрабатываемая конструкция должна быть технологичной. Это означает, в основном, требования удобства ее серийного изготовления и эксплуатации Это вынуждает конструктора не только правильно разработать узел и деталь, но и правильно подобрать технологический процесс изготовления.

При разработки конструкции необходимо учитывать требование экономичности. Это означает, что при прочих равных условиях должно быть выбрано то решение, которое позволяет обеспечить заданные требования при минимальной стоимости проектируемого изделия. Особенно жестко это требование действует при проектировании изделий массового производства.

Для РДТТ это положение усугубляется требованием изготовления всех деталей и узлов из недефицитных материалов отечественного производства.

Очень существенным требованием является обеспечение надежности двигателя. Современный РДТТ является высоконадежным изделием ее уровень составляет 0,995-0,9995. Стандартные способы обеспечения надежности посредством увеличения запасов прочности здесь не применимы, т.к. они ведут к ухудшении эффективности двигателя и ракеты в целом. Это заставляет использовать использовать большие объемы информации об условиях работы двигателя в составе ракеты, применять очень сложные методики расчета параметров РДТТ.

При конструировании новых РДТТ, учитывая особенности функционирования ЛА в любых метеорологических условиях с высокой степенью надежности формируют ряд требований, которые позволяют выделить этапы конструирования РДТТ:

- Выбор материала корпусных деталей
- Выбор формы корпуса и его узлов
- Расчет толщин основных деталей несущей конструкции корпуса РДТТ.

1.15.1 Проектирование обечайки

В качестве материала обечайки выбираем легированную конструкционную сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71, т.к. высокие теплопрочностные свойства данного материала сохраняются в течение длительного времени работы (при Т=300-400 С σ_B=1100 МПа)

Форму обечайки принимаем – цилиндр с $R_{об}=0{,}9\ м.$ *Коэффициент ослабления сварного шва* $\eta=1{,}4$ Максимально возможное давление в камере сгорания будет Р=8,4 МПа.

Толщину обечайки корпуса определяем по формуле:

$$\delta_{\mu} = \frac{P * R}{\sigma_{в}} * \eta * f = 0.011 \ \ м.$$

1.15.2 Проектирование днищ

Форма днищ – сферическая, т.к. такая форма обладает минимальной массой, обусловленной безмоментным напряженным состоянием с равными меридиональными и окружными напряжениями, имеет наиболее простую форму и наиболее технологично. Способ изготовления днищ – штамповка.

В качестве материала обечайки выбираем легированную конструкционную сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71.

Принимаем значение безразмерного вылета днища, которое является отношением вылета днища к радиусу обечайки, равным $\xi = 0{,}58$.

Радиус днища будет иметь величину

$$R_{сф} = \frac{R_{об} \cdot \left(1 + \xi^2\right)}{2 \cdot \xi} = 1{,}03 \ \ м$$

Принимаем величину 1,03 м.

Толщина днища определяется по формуле

$$\sigma_{дн} = \frac{P \cdot R_{об} \cdot \left(1 + \xi^2\right)}{4 \cdot \xi \sigma_{В}} \eta f = 0{,}0039 \ \ м$$

Принимаем величину 0,004 м.

2. СПЕЦЧАСТЬ

2. ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельное движение головной части (ГЧ) ракеты на пассивном участке траектории (ПУТ) может осуществляться как движение свободно брошенного тела в центральном поле силы тяжести Земли. При этом начальными значениями фазовых характеристик ПУТ являются характеристики конца активного участка траектории (АУТ), полученные в результате работы двигательных установок (ДУ) в общем случае составной ракеты.

В случае наличия на ГЧ самостоятельной ДУ, обычно предназначенной либо для противоракетного маневрирования на ПУТ, либо для обеспечения движения элементов ГЧ по самостоятельным траекториям, приводящим к доставке элементов по заданным адресам на поверхности Земли, возникает необходимость расчета таких траекторий.

Одной из актуальных проблем проектирования ГЧ является решение задачи назначения минимального запаса топлива, необходимого для разведения заданного числа элементов с определенной массой каждого из них по заранее определенной серии адресов, расположенных достаточно кучно. Предполагается возможность прямого обхода адресов в соответствии с их дальностью от точки пуска ракеты.

В любых условиях цель решения задачи — оценка достаточности запаса топлива в ДУ ГЧ и в ДУ элементов для обеспечения доставки элементов по заданным адресам.

Решению этой задачи посвящена описываемая ниже программа SERVIS.

2.1 Постановка проблемы

2.1.1 Сокращение, индексы, обозначения

АУТ – активный участок траектории;

ПУТ – пассивный участок траектории;

ГЧ – головная часть ракеты;

ДУ – двигательная установка;

МО – математическое ожидание;

СК – система координат;

ПГ – полезный груз;

СУ – система управления;

L – дальность полета;

m – количество целей на Земле.

B – боковое отклонение;

2.2 Описание задачи

Объем исходной информации:

- координаты m адресов ($m \leq 10$) с привязкой к дальности L_i и отклонению по боковой координате B_i, $i=1,2,\ldots,m$;
- фазовые координаты $\dot{x}_к$, $\dot{y}_к$, $\dot{z}_к$, $x_к$, $y_к$, $z_{к\ конца}$ АУТ ракеты (начала АУТ ГЧ) в стартовой СК;
- начальная масса ГЧ $m_{0гч}$; характеристики ДУ ГЧ (запас топлива, единичный пустотный импульс ДУ, сек. Расход топлива – см. табл. 3.3);
- количество элементов m, характеристики ДУ каждого элемента, масса каждого элемента.

Необходимо:

- посредством индивидуальных ДУ элементов обеспечить такое движение каждого из них, при котором элемент попадает в цель (по заданному адресу) на поверхности Земли (схемы ЛЕСЕНКА и ЕЛОЧКА);

- *посредством только одной* ДУ ГЧ обеспечить такое движение ГЧ, которое обеспечивает обход заданных адресов с доставкой по каждому из них заданного количества элементов; при этом наличие на элементах ДУ запасов топлива не предусмотрено (схема ЗМЕЙКА)
- оценить потребное время процесса разведения элементов и необходимый для этого запас топлива при различных начальных и текущих условиях движения как ГЧ, так и каждого отделяемого элемента;
- оценить потребное время процесса разведения элементов на АУТ ГЧ и необходимый для этого запас топлива при различных начальных и текущих условиях движения ГЧ и режимах работы ДУ.

Организация движения ГЧ с ДУ начиная с момента окончания АУТ ракеты (начала активного движения ГЧ), которое обеспечивает обход заданных адресов на Земле, производится при следующих допущениях:

- ГЧ имеет свойства материальной точки, т.е. не умеет размеров и моментов инерции;
- тяга ДУ ГЧ при движении ”от цели к цели“ неизменна;
- отделение элементов происходит мгновенно, без возмущений по фазовым координатам; сами координаты $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$, x, y, z меняются непрерывно — в точках отделения от ГЧ элементов соблюдаются условия

$$\dot{x}(t_{0i}) = \dot{x}(t_{ki-1})\ \dot{y}(t_{0i}) = \dot{y}(t_{ki-1}) \qquad \dot{z}(t_{0i}) = \dot{z}(t_{ki-1})$$

(1.1)

$$x(t_{0i}) = x(t_{ki-1}) \qquad y(t_{0i}) = y(t_{ki-1}) \qquad z(t_{0i}) = z(t_{ki-1})$$

- в точках отделения элементов вектор тяги мгновенно ориентируется в соответствующем л-направлении; при этом возможно отделение более одного элемента с одинаковым приращением скорости в соответствующем направлении;

- направление вектора тяги ДУ ГЧ принимает мгновенно значение, определяемое алгоритмом управления в каждой точке движения на всем участке разведения.

При работе модуля программы предполагаются заданными:

- начальные условия движения на участке разведения — характеристики т.к конца АУТ *($V_к$, $H_к$, $x_к$, $\theta_к$, $m_к$)*:

$$\dot{x}(t_{01}) = \dot{x}(t_k) \quad \dot{y}(t_{01}) = \dot{y}(t_k) \quad \dot{z}(t_{01}) = \dot{z}(t_k)$$

$$x(t_{01}) = x(t_k) \qquad y(t_{01}) = y(t_k) \qquad z(t_{01}) = z(t_k) \tag{1.2}$$

- координаты адресов на Земле общим количеством до 10 включительно отсчитываются от точки падения на Землю ГЧ при ее отделении от последней ДУ ракеты в конце АУТ; координаты по направлению отсчитываются от линии пересечения плоскости стрельбы с поверхностью Земли.

Примечание. Все файлы, полученные в результате работы программы **SERVIS**, приведены в обрамлении рамочек.

2.3 Постановка задачи оптимизации маршрута обхода адресов

Оснащение современных УБР разделяющимися ГЧ с большим числом элементов, предназначенных для доставки по заданным адресам, выдвинуло задачу — определение наилучшей последовательности разведения элементов по совокупности адресов.

Сущность данной задачи излагается ниже в постановочном плане по материалам работы [2].

Предположим, что т элементов ракеты необходимо доставить по т адресам, расположенным в некотором районе земной поверхности, не выходящим за пределы области досягаемости данной ракеты. Предположим

также, что конструктивная схема ГЧ позволяет осуществить последовательное отделение элементов, при этом порядок отделения элементов от ГЧ задан. Возможная последовательность направления отделяемых элементов на индивидуальные адреса показана на рис 1.1, где первый отделяемый элемент направляется на цель 1, второй – на цель 2 и т.д. Стрелки, соединяющие пары адресов, показывают последовательность направления отделяемых элементов по этим адресам. Таким образом, ломаная на рис 1.1 представляет собой графическое изображение этой последовательности.

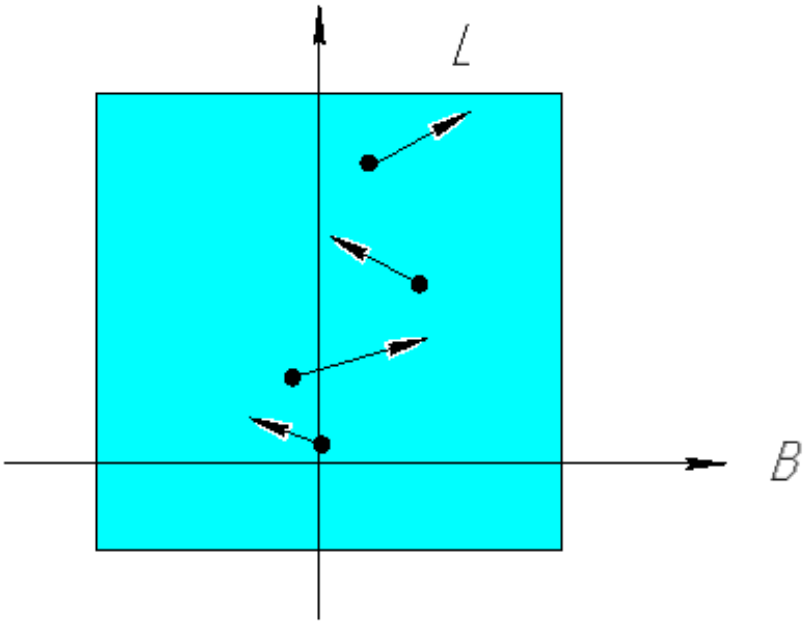


Рис 1.1. Последовательность разведения элементов

Эта последовательность называется маршрутом обхода адресов, или маршрутом разведения. Термина «обход», «маршрут обхода» заимствованы из теории решения так называемых задач о коммивояжере. Применительно к рассматриваемой задаче ломанную на рис. 1.1 можно трактовать как условное изображение маршрута движения ГЧ, состоящего из ряда последовательных участков, каждый из которых заканчивается отделением очередного элемента, направляемого по i-му адресу (i=1,2,3,…).

Очевидно, что при зад анной последовательности отделения элементов от ГЧ существуют различные варианты доставки элементов по адресам, т.е. различные варианты закрепления за каждым элементом индивидуального адреса. Соответственно существуют различные маршруты обхода адресов.

Нетрудно определить, что общее количество различных маршрутов доставки при направлении т элементов по индивидуальным адресам равно *m*! Действительно, если для первого отделяемого от ГЧ элемента возможны *m* вариантов закрепления его за *m* адресами, то для второго возможны *m* - 1 вариантов закрепления за оставшимися после первого *m* - 1 адресами, для третьего элемента возможны *m* - 2 вариантов закрепления за *m* - 2 адресами, оставшимися после первых двух элементов, и т.д., чем и определяется общее число различных вариантов:

$$n! = n(n-1)(n-2)\ldots 2\cdot 1 \qquad (1.3)$$

Среди возможных вариантов следует выбрать единственный маршрут, лучший в смысле некоторого критерия оптимальности. Этот лучший маршрут и подлежит реализации в ходе планируемого пуска ракеты. На практике возможно применение двух основных критериев оптимальности — минимума времени разведения (быстродействия) и минимума расхода массы (запаса топлива) ГЧ. Последний критерий называется также энергетическим. Рассмотрим [2] практические ситуации, когда целесообразно применение одного из названных критериев оптимальности.

Оптимизация маршрута обхода целей по критерию быстродействия. Критериальной функцией в данном случае является интервал времени между моментом отделения ГЧ от ракеты и моментом отделения последнего элемента от ГЧ. Этим интервалом времени определяется время доставки всех элементов по заданным адресам.

Выбор маршрута разведения по критерию быстродействия целесообразен в тех случаях, когда существует опасность поражения ГЧ средствами дальнего перехвата системы ПРО непосредственно в процессе

организации доставки элементов. В этих условиях желательно сократить время разведения элементов до минимально достижимого уровня, уменьшив тем самым вероятность уничтожения ГЧ с не отделившимися элементами средствами ПРО.

Оптимизация маршрута обхода адресов по энергетическому критерию. Задача оптимизации маршрута обхода адресов по энергетическому критерию обладает по своему содержанию существенной особенностью по сравнению с задачей оптимизации по критерию быстродействия целью решения задачи не нахождение маршрут строго оптимального по энергетике, а лишь маршрута, реализуемого по энергетике. При этом найденный маршрут может и не быть оптимальным. Поясним указанное обстоятельство.

Выбор маршрута разведения по энергетическому критерию осуществляется для решения задачи Досягаемости. Названная задача заключается в том, чтобы найти такой маршрут разведения, при котором гарантировалась бы досягаемость адресов, назначенных для доставки к ним элементов. Условием досягаемости является достаточность имеющегося запаса топлива в ГЧ для данного маршрута. Маршрут доставки считается реализуемым по энергетике, если требующийся расход топлива ГЧ не превышает имеющегося в ГЧ запаса топлива. Задача досягаемости полагается решённой, если найден некоторый маршрут был строго оптимален по энергетике, т.е. требовал для своей реализации минимального расхода топлива в данных условиях доставки, поскольку сама по себе экономия топлива ГЧ в процессе пуска ракеты не имеет практического смысла. Однако на практике возможны ситуации, когда условию реализуемости удовлетворяют либо маршруты, весьма близкие по требуемому расходу топлива к оптимальному, либо лишь единственный маршрут, строго оптимальный по расходу топлива. Поскольку заранее невозможно определить, каким окажется решение конкретной задачи досягаемости и будет ли найденный маршрут строго оптимальным по энергетике или он

будет неоптимальным, но реализуемым, задача определения маршрута обхода по энергетическому критерию ставится в любом случае и решается как оптимизационная задача.

Если при решении задачи досягаемости выясняется, что оптимальный Маршрут нереализуем (т.е. требует большего суммарного расхода, чем имеющийся запас топлива в ГЧ), то рассматриваемая совокупность целей считается недосягаемой и пуск ракеты по этой группе целей невозможным, В этих условиях, очевидно, потребуется изменить конфигурацию адресов, назначенных для доставки элементов данной ракетой.

В этой связи обычно отмечают [2] следующие обстоятельства:

1. Энергетический критерий и критерий быстродействия в общем случае не эквивалентны, и оптимизация маршрутов доставки по этим двум критериям приводит к различным результатам, т.е. маршрут, оптимальный по энергетике, может не быть оптимальным по быстродействию и наоборот. Неэквивалентность данных критериев определяется многими факторами: переменностью тяги ДУ ГЧ; изменением массово-инерционных характеристик ГЧ в процессе организации доставки, как из-за выработки топлива, так и вследствие отделения элементов; переменностью матрицы баллистических производных и др.
2. При решении практических задач выбора маршрутов разведения энергетический критерий имеет приоритет перед критерием быстродействия, так как выбираемый маршрут должен быть безусловно реализуем по энергетике. Поэтому маршрут, оптимальный по быстродействию, выбирают из числа реализуемых. Таким образом, задача выбора маршрутов доставки должна решаться в два этапа:
   сначала по энергетическому критерию, а затем по критерию быстродействия.
3. Досягаемость или недосягаемость группы назначенных целей определяется двумя основными факторами - энергетикой ГЧ и качеством реализуемых алгоритмов управления, оцениваемым также по энергетическому критерию. Поэтому алгоритмы управления вращательно-

поступательным движением ГЧ должны быть оптимальными по энергетическому критерию либо близкими к оптимальным.

4. На практике выбор совокупности адресов, назначенных для доставки элементов данной ракетой, осуществляют не произвольно, а из условия их принадлежности некоторому ограниченному району, не выходящему за пределы так называемого располагаемого прямоугольника доставки элементов данной ракетой. Располагаемый прямоугольник доставки определяется при проектировании ракеты и ГЧ для некоторых типов условий пуска УБР (дальность, азимут) и типов конфигураций адресов. Однако в реальных условиях возможны конфигурации, отличные от типовых, которые, хотя и принадлежат располагаемому прямоугольнику доставки, могут быть недосягаемыми при некоторых маршрутах. Таким образом, маршрут, удовлетворяющий условию досягаемости совокупности адресов, имеющих нетиповые конфигурации, может быть найден только в процессе решения задачи оптимизации доставки по энергетическому критерию.

Более подробно проанализируем содержание задачи оптимизации маршрутов доставки и охарактеризуем возможные пути ее решения.

Заданы конструктивные и энергетические характеристики ракеты и ГЧ, а также:

- алгоритмы управления движением ГЧ на всех этапах маневрирования при организации доставки элементов;
- координаты точки пуска УБР и точек адресов, число которых полагается равным числу элементов ГЧ;
- критерии оптимизации (энергетический критерий или критерий быстродействия).

Требуется найти маршрут разведения, оптимальный (приемлемый) в смысле заданного критерия.

Из постановки задачи следует, что одним из возможных способов ее решения может быть полный перебор всех вариантов решения, общее число которых конечно и определяется формулой (1.3). Схема решения задачи выглядит в этом случае следующим образом.

Все возможные варианты маршрутов доставки упорядочивают таким образом, чтобы каждому варианту соответствовала одна конкретная перестановка из т чисел, общее количество которых равно $m!$. Таким образом, каждая перестановка из т чисел определяет номера целей, в которые направляются элементы в порядке их отделения от ГЧ, и тем самым — маршрут разведения. Упорядоченные варианты нумеруются от 1 до $M=m!$ После этого каждому j-му варианту решения задачи (т.е. j-му маршруту доставки, где j=1, 2, …, M) должна быть поставлена в соответствии «цена» в виде значения критериальной функции, принятой при решении данной оптимизационной задачи — суммарный расход топлива ГЧ или время доставки элементов. Вариант с минимальной «ценой» является оптимальным и представляет собой решение поставленной задачи.

При внешней простоте данных подход к решению чрезвычайно трудоемок. Действительно, для определения «цены» каждого анализируемого варианта маршрута доставки необходимо провести полное математическое моделирование процесса доставки элементов и построения системы движения всех элементов, включая ложные элементы, отделение которых влияет на программу доставки. В общем случае моделирование процесса доставки требует интегрирования уравнений вращательно-поступательного движения ГЧ, проведения расчётов баллистических производных фазовых координат с учетом их переменности в процессе доставки, интегрирования уравнений движения элементов на ПУТ вплоть до момента доставки по адресу и т.д. Если расчет одного варианта потребует незначительных затрат времени, суммарные затраты времени расчета всех вариантов могут оказаться чрезмерными. Например, если число элементов и соответствующих им адресов равно 10, то общее количество различных

маршрутов доставки составляет [2] в данном случае 10! = 628 800. Предположим, что моделирование процесса доставки элемента в одном варианте и определение его «цены» требует 1 с машинного времени то перебор всех вариантов потребует 1008 ч.

Из приведенного примера следует, что проблема сокращения затрат времени на решение задачи оптимизации маршрутов доставки весьма актуальна даже в условиях применения современных высокоэффективных ЭВМ. Актуальность ее ещё более возрастает в связи с тем, что на современных ракетных комплексах задачи оценки досягаемости и выбора оптимальных маршрутов разведения могут решаться как заблаговременно, так и оперативно по информации об указаниях адресов, переданных на пусковую установку по каналам боевого управления. Требование оперативности боевого применения ракетных комплексов накладывает наиболее жесткие временные ограничения на решение задачи оптимизации маршрутов доставки элементов.

Проблема сокращения общих затрат времени на рассматриваемую задачу оптимизации решается по ряду направлений. Одно из этих направлений заключается в разработке и применении упрощенных моделей движения ГЧ, что позволяет сократить время на моделирование доставки и определение «цены» анализируемого варианта. Другое направление состоит в применении более эффективных в вычислительном отношении процедур поиска оптимального решения по сравнению с методом полного перебора.

2.4 Организация доставки элементов по заданным адресам схемой «ЛЕСЕНКА»

Назначение модуля. Модуль предназначен для организации доставки элементов по заданным адресам схемой «ЛЕСЕНКА». Предполагается наличие запасов топлива и в ДУ ГЧ, и в ДУ элементов.

Физическая постановка задачи. Моделирование движения Г Ч в плоскости стрельбы с элементами осуществляется численным интегрированием системы дифференциальных уравнений от исходной точки отделения j-го элемента в продольном направлении до отделения следующего (i+1)-го элемента. Дальнейшее движение отдельного элемента рассчитывается в перпендикулярном плоскости стрельбы направлении по конечным зависимостям. Расчет характеристик движения ГЧ в направлении x может осуществляться и без привлечения процесса интегрирования управлений движения ГЧ, а также по конечным зависимостям.

Предварительно для точки начала движения ГЧ (точка конца АУТ) численным интегрированием рассчитывается матрица преобразования фазовых координат конца АУТ в фазовые координаты земной поверхности в районе падения элементов:

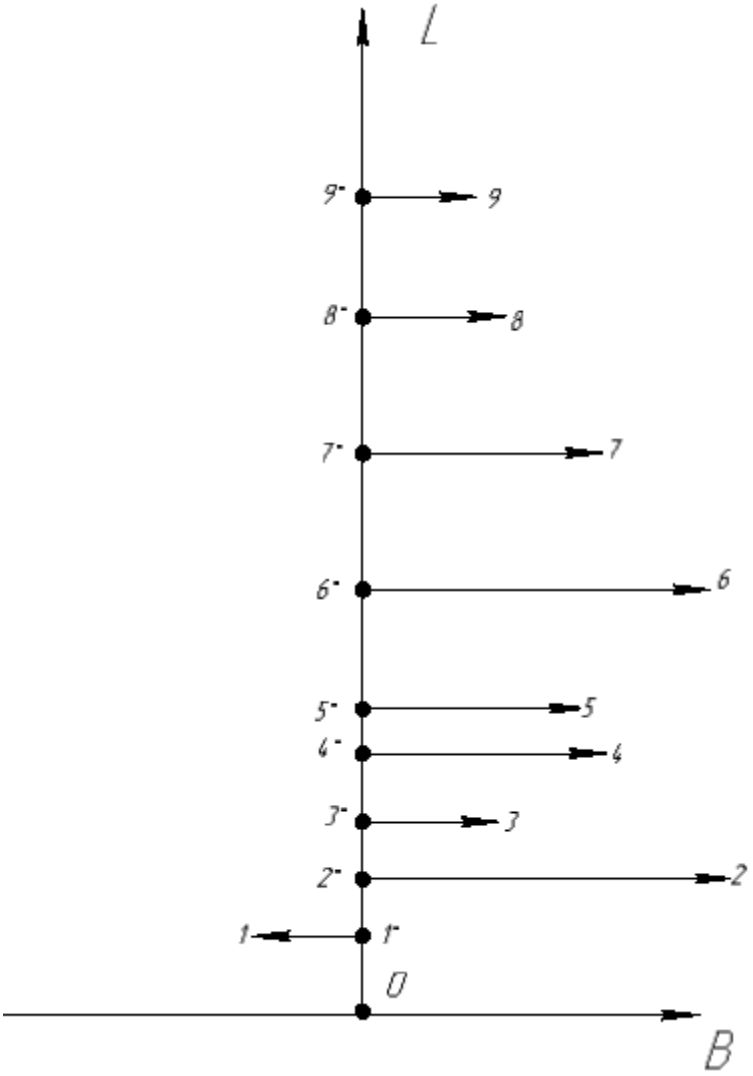
- массив частных производственных дальности L по фазовым характеристикам движения ГЧ

$$L_{Vx}=\partial L/\partial Vx,\ L_{Vy}=\partial L/\partial Vy,\ L_{Vz}=\partial L/\partial Vz,\ L_x=\partial L/\partial x,\ L_y=\partial L/\partial y,\ L_z=\partial L/\partial z$$

- массив частных производных бокового отклонения B по фазовым характеристикам движения ГЧ

$$B_{Vx}=\partial B/\partial Vx,\ B_{Vy}=\partial B/\partial Vy,\ B_{Vz}=\partial B/\partial Vz,\ B_x=\partial B/\partial x,\ B_y=\partial B/\partial y,\ B_z=\partial B/\partial z$$

Схематическое изображение продольного и бокового положения целей на поверхности Земли относительно плоскости OL и направления движения L показаны на рис 2.1



(Направления движения элементов – бокового отклонения В)

Рис. 2.1 Схема разведения типа «ЛЕСЕНКА»

Математическая постановка задачи. В процессе движения ГЧ и элементов на каждом і-м участке определяются рабочие характеристики по конечным зависимостям (2.1):

Примечание. Для построения графиков в «*Таблице результатов для построения графиков в среде EXEL*» приняты размерности, указанные выше в квадратных скобках, см «Примечание к таблице (схема лесенка)».

Графики изменения координат x_1 и z_1 точек отделения элементов от ГЧ и гистограммы остатков топлива в ДУ ГЧ и в ДУ каждого элемента приведены на рис. 3.1- 3.4.



Рис. 3.1


Прирост координаты z на участках
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Рис. 3.2


Масса топлива ГЧ, расходуемого на участках
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Рис. 3.3



Рис. 3.4

Примечание. Выделенная красным цветом масса топлива на 6-м участке (рис.3.4) равна полному запасу топлива 6-го элемента; запас топлива исчерпан и данный элемент не достигает цели. Эта строка в «Результирующей таблице расчетов по участкам» выделена полужирным шрифтом.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4. Экономическое обоснование изменения технологии изготовления корпуса ракетного двигателя

4.1 Эффективность инвестиционных проектов: общие положения и показатели

Экономическое обоснование производилось в соответствии с методикой, изложенной в «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и отбору для финансирования».

Эффективность проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников. Различают следующие показатели эффективности инвестиционного проекта:

1) показатели коммерческой (финансовой эффективности), учитывающие финансовые последствия реализации проекта для его непосредственных участников;

2) показатели бюджетной эффективности, учитывающие финансовые последствия осуществления проекта для федерального регионального и местного бюджета;

3) показатели экономической эффективности, учитывающие затраты и результаты, связанные с реализацией проекта, выходящие за пределы прямых финансовых интересов участников инвестиционного проекта и допускающие стоимостные измерения. Для крупномасштабных (существенно затрагивающих интересы города, региона или всей России) проектов рекомендуется обязательно оценивать экономическую эффективность. В процессе разработки проекта производится оценка его социальных и экологических последствий, а также затрат, связанных с социальными мероприятиями и охраной окружающей среды. Оценка предстоящих затрат и результатов при определении эффективности

инвестиционного проекта осуществляется в пределах расчетного периода, продолжительность которого (горизонт расчета) принимается с учетом:

1) продолжительности создания, эксплуатации и (при необходимости) ликвидации объекта;

2) средневзвешенного нормативного срока службы основного технологического оборудования;

3) достижения заданных характеристик прибыли (массы ИЛЛИ нормы прибыли и т.д.);

4) требований инвестора.

Горизонт расчета измеряется количеством шагов расчета.

Шагом расчета при определении показателей эффективности в пределах расчетного периода могут быть: месяц, квартал или год.

Затраты, осуществляемые участниками, подразделяются на первоначальные (капиталлообразующие инвестиции), текущие и ликвидационные, которые осуществляются соответственно на стадиях: строительной, функционирования и ликвидационной.

Для стоимостной оценки результатов и затрат могут использоваться базисные, мировые и прогнозные цены.

Под базисными понимаются цены, сложившиеся в народном хозяйстве на определенный момент времени t6. Базисная цена на любую продукцию или ресурсы считается неизменной в течение всего расчетного периода.

На стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) инвестиционного проекта обязательным является расчет экономической эффективности в прогнозных и расчетных ценах [10].

Прогнозная цена продукции или ресурса в конце t-ог•о шага расч (например, t -ого года) определяется по формуле:

$$Ц(t)=Ц(б)\cdot J(t,t_н)$$

где Ц(б) — базисная цена продукции или ресурса;

$J(t, t_н)$ - коэффициент (индекс) изменения цен продукции или ресурсов соответствующей группы в конце t -ого шага по отношению к начальному моменту расчета (в котором известны цены).

По проектам, разрабатываемым по заказу органов государственного управления, значение индексов изменения цен на отдельные виды продукции и ресурсов следует установить в задании на проектирование в соответствии с Прогнозами Минэкономики РФ.

Расчетные цены используются для вычисления интегральных показателей эффективности, если текущее значение затрат и результатов выражаются в прогнозных ценах. Это необходимо, чтобы обеспечить сравнимость результатов, полученных при различных уровнях инфляции.

Базисные, прогнозные и расчетные цены могут выражаться в рублях и в устойчивой валюте (USD, Euro и т.д.).

При разработке и сравнительной оценке нескольких вариантов инвестиционного проекта необходимо учитывать изменение объемов продаж на рыночную цену продукции и цену потребляемых ресурсов.

При оценке эффективности инвестиционного проекта соизмерение разновременных показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к ценности в начальном периоде.

В рекомендациях предусмотрено приведение к моменту времени t=0, непосредственно после первого шага, но возможно приведение к фиксированному моменту времени (например, при сравнении проектов, начинающихся в различные моменты времени).

Технически приведение к базисному моменту времени затрат, результатов и эффектов, имеющих место на t-ом шаге расчета реализации проекта,

удобно производить путем их умножения на коэффициент дисконтирования α_t, определяемый для постоянной нормы дисконта E как:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t},$$

где t — номер шага расчета (t где T - горизонт расчета).

Если же норма дисконта меняется во времени и на t -ом шаге расчета равна S, то коэффициент дисконтирования равен:

$$\alpha_0 = 1 \ \ и \ \ \alpha_t \frac{1}{\prod_{k=1}^{t}(1+E_k)}, \ \ при \ \ t > 0$$

Сравнение различных инвестиционных проектов (или вариантов проекта) и выбор лучшего из них рекомендуется производить с использованием различных показателей, к которым относятся:

1) чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект;
2) индекс доходности (ИД);
3) внутренняя норма доходности (ВНД);
4) срок окупаемости;
5) другие показатели, отражающие интерес участников или специфику проекта.

При использовании показателей для сравнения различных инвестиционных проектов (вариантов проекта) они должны быть приведены к сопоставленному виду.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами.

Если в течение расчетного периода не происходит инфляционного изменения цен или расчет производится в базовых ценах, то величина ЧДД

для постоянной нормы дисконта вычисляется по формуле:

$$Э_{ИНТ} = ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \left(R_t - З_t\right) \cdot \frac{1}{\left(1+E\right)^t},$$

где R_t— результаты, достигнутые на t -ом шаге расчета;

$З_t$ - затраты, осуществляемые на том же шаге;

Т - горизонт расчета (равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта);

$Э_t = R_t — З_t$, — эффект, достигнутый на t -ом шаге расчета.

Если ЧДД инвестиционного проекта положителен, проект является эффективным (при данной норме дисконта) и может рассматриваться вопрос о его принятии. Чем больше ЧДД, тем эффективнее проект. Если инвестиционный проект будет осуществляться при отрицательном ЧДД, инвестор понесет убытки, т.е. проект неэффективен. На практике пользуются модифицированной формулой для определения ЧДД. Для этого из состава 3t исключают капитальные вложения, тогда сумма дисконтированных капиталовложений определяется по формуле:

$$K = \sum_{t=0}^{T} K_t \cdot \frac{1}{\left(1+E\right)^t},$$

где K_t — капиталовложение на t -ом шаге.

Тогда формула для ЧДД с учетом того, что в 3t не входят капиталовложения, записывается в виде:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \left(R_t - З_t^{+}\right) \cdot \frac{1}{\left(1+E\right)^t} - K,$$

где $З_t^+$ - затраты на t - ом шаге при условии, что в них не входят капиталовложения.

Модифицированная формула представляет собой разницу между суммой приведенных эффектов и приведенной к тому же моменту времени величиной капитальных вложений.

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений:

$$ИД = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^{T} \left(R_t - З_t^+ \right) \cdot \frac{1}{\left(1+E\right)^t},$$

Индекс доходности тесно связан с ЧДД. он строится из тех же элементов и его значение связано со значением ЧДД: если ЧДД положителен, то ид и наоборот. Если ИД>1 , проект эффективен, если наоборот неэффективен.

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта (Евн), при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям. Иными словами, Евн, является решением уравнения:

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - З_t^+}{\left(1+E_{вн}\right)^t} = \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{\left(1+E_{вн}\right)^t}$$

Если расчет ЧДД инвестиционного проекта дает ответ на вопрос, является он эффективным или нет при некоторой заданной норме дисконта, то ВНД проекта определяется в процессе расчета и затем сравнивается с требуемой инвестором нормой дохода на вкладываемый капитал. В случае, когда ВНД равна или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал, инвестиции в данный инвестиционный проект оправдан, и может рассматриваться вопрос о его принятии. В противном случае инвестиции в данный проект нецелесообразны. Если сравнение альтернативных (взаимоисключаемых) инвестиционных проектов (вариантов проекта) по

ЧДД и ВНД приводят к противоположным результатам, предпочтение следует отдать ЧДД.

Срок окупаемости минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Иными словами, это период (измеряемый в месяцах, кварталах или годах), начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционными проектами, покрываются суммарными результатами его осуществления.

Результаты и затраты, связанные с осуществлением проекта, можно вычислять с дисконтированием или без него. Соответственно получаются разные сроки окупаемости.

Срок окупаемости рекомендуется определять с использованием дисконтирования

При необходимости учета инфляции формулы (4.4) — (4.8) должны быть преобразованы так, чтобы из входящих в них значений затрат и результатов было исключено инфляционное значение цен, т.е. чтобы величины критериев были приведены к ценам расчетного периода.

Наряду с перечисленными критериями, в ряде случаев возможно использование и ряда других: интегральной эффективности затрат, точки безубыточности, простой нормы прибыли, капиталоотдачи и т.д. Для применения каждого из них необходимо ясное представление о том, какой вопрос экономической оценки проекта решается с его использованием и как осуществляется выбор решения. Ни один из перечисленных критериев сам по себе не является достаточным для принятия проекта. Решение об инвестировании средств в проект должно приниматься с учетом значений всех перечисленных критериев и интересов всех участников инвестиционных проектов. Важную роль в этом решении должна играть также структура и распределение во времени капитала, привлекаемого для осуществления

инвестиционного проекта, а также другие факторы, некоторые из которых поддаются только содержательному, а неформальному учету.

4.2 Выбор показателей и критериев эффективности

Для расчета сравнительной экономической эффективности проекта выбирают следующие показатели: изменение чистого дисконтированного дохода и индекс доходности, которые учитывают затраты и результаты, связанные с реализацией проекта [10].

Критериями проекта принимаем:

1) если ΔЧДД > 0, то ИД >1 — проект эффективен;

2) если ΔЧДД <0 , то ИД < 1— проект неэффективен.

4.3 Постановка задачи

В экономической части проекта обосновывается экономическая эффективность от замены материала корпуса ракетного двигателя. Годовая программа выпуска 25 шт. На данный момент корпус двигателя изготавливается из нержавеющей стали 10Х14Г14Н4Т цена которой 216000 рублей за тонну на существующей производственной базе. Масса одного корпуса составляет 905,7 кг.

Существующий технологический процесс имеет два существенных недостатка: высокая стоимость используемого материала и относительно небольшой коэффициент заполнения топливом. Поэтому предлагается новый вариант изготовления.

В новом варианте рассматривается изготовление корпуса из стали 30ХГСА, цена которой 47800 рублей за тонну. Изготовление корпуса из

данного материала е повлияет на работоспособность изделия, так как сталь 3ОХГСА, несмотря на более низкую стоимость, обладает незначительно худшими прочностными характеристиками, поэтому в данном случае прочностным расчетом можно будет пренебречь. Масса одного корпуса составит 911 кг.

Для определения экономической эффективности нового технологического процесса принимаем за базу существующий вариант изготовления изделия, и сравниваем затраты на существующие производство стальных корпусов с затратами, связанными с изменением технологической документации и изготовлением днищ по новой технологии.

Приведенная ниже таблица наглядно показывает целесообразность внедрения нового метода.

Таблица 1

Технологические показатели производства

Показатели	Обозначение	Базовый вариант	Новый вариант
Цена материала, руб.	S	216000	47800
Трудоемкость изготовления, час	т		150
Коэффициент объемного заполнения	К	0,75	0,95

Область определения экономической эффективности — производство корпуса из стали 3ОХГСА.

Переход от базового к новому варианту технологического процесса потребует капитальных вложений на разработку технической документации.

Однако из-за более высокой плотности стали увеличится время, затрачиваемое на обработку изделия, а, следовательно, потребуются большие затраты на заработную плату.

Годовая экономия от внедрения нового технологического процесса будет складываться из уменьшения затрат на материалы.

4.4 Расчет капитальных затрат

Капитальные затраты для нового варианта могут быть найдены из следующей формулы:

$$K = K_{док},$$

где $K_{док}$ – затраты на изменение документации, руб;

Затраты на изменение документации вычисляются по формул:

$$K_{док} = C_{конс} + C_{тех}$$

где $C_{конс}$ — затраты на разработку конструкторской документации, руб.;

$C_{тех}$ — затраты на разработку технологической документации, руб.

Затраты на разработку конструкторской документации вычисляются формуле:

$$C_{конс}=S_{з/п.к.р.}+T_{эвм.кд}$$

где $S_{з/п.к.р}$ — затраты на заработную плату инженера-конструктора, руб.,

$T_{эвм.кд}$ – затраты на электроэнергию при изменении конструкторской документации, руб

$$S_{з/п.к.р}=t_{изм.кд.} \cdot C_{тар.к.р} \cdot (1+k_{с.с.})(1+k_d)$$

где $t_{изм.кд}$— трудоемкость изменения конструкторской документации ($t_{изм.кд.}$ = 52),час.

$C_{тар.к.р}$ — тарифная ставка инженера-конструктора ($C_{тар.к.р}$ = 123), руб./час.

$K_д$ — коэффициент доплаты ($K_с$, = 20), %

$K_с$, — коэффициент страховых отчислений ($K_{с.с.}$=34), %

$$T_{эвм.кд}=t_{изм.кд.}\cdot N_{эвм.кд}\cdot C_{эд.}$$

где $N_{эвм.кд}$ - мощность потребляемой энергии ЭВМ используемой при изменении конструкторской документации ($N_{эвм.кд}$ = 0.38), кВт.

$C_{эд.}$— цена электроэнергии ($C_{эд.}$ = 4), руб./кВт·час.

$$S_{з/п.к.р}=52\cdot 123\cdot(1+0,34)(1+0,2)=10284,4 \text{ руб}$$

$$T_{эвм.кд}= 52\cdot 0,38\cdot 4=79,04 \text{ руб}$$

$$C_{конс}=10284,8+79,04=10363,8\text{руб}$$

Затраты на изменение технологической документации вычисляются по формуле:

$$C_{тех}= S_{з/п.к.р}\cdot T_{эвм.кд}$$

где $S_{з/п.к.р}$ — затраты на заработную плату инженера-технолога, руб.;

$T_{эвм.кд}$ - затраты на электроэнергию при изменении технологической документации, руб.

$$S_{з/п.к.р}= t_{изм.кд}\ C_{тар.к.р}\cdot(1+k_{с.с.})(1+k_d)$$

$t_{изм.кд}$ -трудоемкость изменения технологической документации($t_{изм.кд}$= 156), час.

$C_{тар.т.р}$ — тарифная ставка инженера-технолога ($C_{тар.т.р}$ = 125) руб./час.

$$T_{эвм.тд.}= t_{изм.кд}\cdot N_{эвм.кд}\cdot C_{эл}$$

где $N_{эвм.кд}$ — мощность потребляемой энергии ЭВМ используемой при изменении технологической документации ($N_{эвм.кд}$= 03), кВт;

$$S_{з/п.к.р}=156\cdot125\cdot(1+0,34)(1+0,2)=31356 \text{ руб.}$$

$$T_{эвм.тд}= 156\cdot0,3\cdot4=187,2 \text{ руб}$$

$$C_{тех}=31356+187,2=31543,2 \text{ руб.}$$

Общие затраты на изменение документации:

$$K_{док} = 10363.8+31543.2 = 41907 \text{ руб.}$$

Определяем капитальные затраты:

$$K= K_{док} = 41907 \text{руб.}$$

4.5 Расчет экономии средств от внедрения нового материала.

Общую экономию от внедрения нового материала определить по формуле:

$$\Delta S=\Delta S_M+\Delta S_{з/п}$$

где ΔS_M— экономия средств на материалы, руб.;

$\Delta S_{з/п}$— экономия фонда заработной платы, руб.;

4.5.1 Расчет экономии средств на материалы

Экономия средств на материалы рассчитывается по формуле:

$$\Delta S_M=Q\cdot\Delta C_з$$

где Q— годовая программа выпуска корпусов (К = 25), шт.

$\Delta C_з$ — экономия средств на производство для одного корпуса, руб.;

Экономия средств для производства одного корпуса рассчитывается по формуле:

$$\Delta C_З = [(m_{д1} \cdot C_{м1}) - (m_{д2} \cdot C_{м2})]$$

где $m_{д1}$ — масса материала для базового варианта ($m_{д1}$ = 905,7) кг.

$C_{м1}$ — цена стали для базового варианта (См, = 216,7), руб./кг.;

$m_{д2}$— масса материала для нового варианта (тп = 911,6), кг.;

$C_{м2}$ — цена органопластика для нового варианта (См2 = 47,8), руб./кг.

$$\Delta C_З = [(905,7 \cdot 216,7) - (47,8 \cdot 911,6)] = 152690 \quad руб$$

$$\Delta S_М = 25 \cdot 152690 = 3817250 \quad руб$$

4.5.2 Расчет экономии средств на заработную плату

Экономия средств на заработную плату находится по следующей формуле:

$$\Delta S_{з/п} = Q \cdot \Delta t_{ток.оп.} \cdot C_{тар} \cdot (1 + k_{с.с.})(1 + k_д)$$

$\Delta t_{ток.оп.}$— уменьшение трудоемкости токарной операции, час. ,

$C_{тар}$— тарифная ставка токаря ($C_{тар}$ = 75), руб./час.

Уменьшение трудоемкости токарной операции:

$$\Delta t_{ток.оп.} = \Delta t_{ток.оп.1} - \Delta t_{ток.оп.2}$$

$$\Delta t_{ток.оп.} = 0.1 - 1.23 = -1.13 \quad час$$

Тогда экономия средств на заработную плату:

$$\Delta S_{з/п} = 25 \cdot (-1,13) \cdot 75 (1 + 0,34)(1 + 0,2) = -3406,95 \quad руб$$

4.5.3 Общая экономия от внедрения нового технологического процесса

$$\Delta S = 3817250 - 3406{,}95 = 3813843{,}05 \quad руб$$

4.6 Расчет чистого дисконтированного дохода

Так как определяем только изменение затрат, то определим значение чистого дисконтированного дохода:

$$\Delta ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \frac{\Delta S_t}{(1+E)^t} - K$$

где Е — норма дисконта (Е = 10),

K - капитальные затраты , руб.,

ΔS - общая экономия от внедрения нового технологического процесса руб.,

t — шаг расчета (t=1), год. ,

Т — горизонт расчета (Т = 5), год.

$$\Delta ЧДД = \frac{3813843.05}{(1+0.1)^1} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^2} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^3} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^4} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^5} - 41907 = 14415558.77$$

4.7 Расчет индекса доходности

Так как определяем только изменение затрат, то определим изменение индекса доходности:

$$ИД = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^{T} \frac{\Delta S_t}{(1+E)^t}$$

$$ИД = \frac{1}{41907} \left(\frac{3813843.05}{(1+0.1)^1} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^2} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^3} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^4} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^5} \right) = 344.99$$

4.8. Выводы

Проанализировав новый вариант изготовления двигателя, можно сделать вывод о том что, не смотря на увеличение трудоемкости изготовления,

экономия средств от изготовления корпуса из нового материала остается весьма существенной (381384305 руб.).

Из проведенных расчетов получили следующие значения экономических показателей: $\Delta ЧДД$ = 14415558.77руб., ид 344.99 руб./руб.>1

Так как $\Delta ЧДД$ > 0 и ИД > 1, проект является экономически целесообразным.

Экономическое обоснование проекта

Изменение чистого дисконтированного дохода

$$\Delta ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \frac{\Delta S_t}{(1+E)^t} - K$$

Индекс доходности

$$ИД = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^{T} \frac{\Delta S_t}{(1+E)^t}$$

где Е – норма дисконта (Е=10), %;

К – капитальные затраты (К=41907), руб.;

ΔS – общая экономия от внедрения нового технологического процесса ($\Delta S = 383843{,}05$), руб.;

t – шаг расчета (t=1), год.;

Т – горизонт расчет (Т=5), год

Технологическо-экономические показатели производства

Показатели	Обозначение	Базовый вариант	Новый вариант
Цена материала, руб.	S	216000	47800
Трудоемкость изготовления, час	Т	140 905,7	150

Масса корпуса, кг	M	0,75	911,6
Коэффициент объемного заполнения	k		0,95

$$\Delta ЧДД = \frac{3813843.05}{(1+0.1)^1} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^2} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^3} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^4} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^5} - 41907 = 14415558.77$$

$$ИД = \frac{1}{41907}\left(\frac{3813843.05}{(1+0.1)^1} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^2} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^3} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^4} + \frac{3813843.05}{(1+0.1)^5}\right) = 344.99$$

5 БЖД

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ СТАНОЧНИКА

При организации труда станочника необходимо предусматривать комплекс мероприятий, обеспечивающих высокую производительность и полную безопасность работы.

Основные из этих мероприятий следующие:

1. рациональная планировка рабочего места, обеспечивающая взаимосвязь основного и вспомогательного оборудования, естественное и искусственное их освещение в соответствии с действующими нормами, возможность поддержания зрительной связи между работающими на участке, а также размеры рабочей площадки и разрывов между станкам;
2. организация бесперебойного питания рабочего места необходимыми материалами, инструментами, а также удаления (транспортирования) с рабочего места готовых изделий и отходов в виде стружки;
3. инструктаж станочника мастером или бригадиром, обеспечивающий наиболее производительные и безопасные приемы работы. Этот инструктаж должен производиться в соответствии с инструкциями по безопасности труда станочников.

В соответствии с нормами технологического проектирования и правилами безопасности, металлорежущие станки следует располагать так, чтобы на участке по возможности не было встречных и перекрещивающихся грузопотоков. Разрывы между станками определяются в зависимости от наличия и числа рабочих мест в проходе, размера станков и обрабатываемых деталей, а также других специфических условий работы.

При размещении станков не допускается ставить их вплотную к стенам, колоннам и друг к другу торцевыми или задними сторонами. Необходимо предусматривать разрывы, обеспечивающие безопасность условия наладки, смазывания и ремонта станка. Величина таких разрывов должна быть не менее 500 мм.

При определении разрывов между станками и необходимой рабочей зоны должны быть дополнительно учтены: максимальный вылет подвижных столов, ползунов и других частей станка, а также площадь для вспомогательных устройств (стеллажей для заготовок и готовых изделий, инструментальных шкафчиков и других).

При установлении безопасной ширины проезда между станками следует учитывать особенности транспортных средств, характер их движения (встречное или одностороннее), наличие или отсутствие рабочих мест в проезде.

При использовании колесного транспорта (тележек, электрокары и другие). Минимальную ширину проезда надо рассчитывать, исходя из ширины тележки и необходимых разрывов между тележками, а также тележкой и станком, границей рабочей зоны и тележкой, что транспортируемые детали не выступают за габариты тележки.

Для создания высокопроизводительных и безопасных условий труда станочника большое значение имеет наличие на рабочем месте рациональных вспомогательных устройств (инструментальных шкафчиков, полок, тары и

тому подобное) для хранения заготовок, готовых изделий , инструментов и приспособлений. Отсутствие вспомогательного оборудования , его нерациональное устройство или расположение приводят к захламленности и загрязнению рабочего места, что препятствует росту производительности труда и способствует возникновению несчастных случаев.

Для обеспечения безопасности при перемещении заготовок и готовых изделий следует всемерно стремиться к механизации межоперационных транспортных операций. В тех случаях, когда общецеховые подъемно-транспортные устройства применять не целесообразно, следует предусматривать индивидуальные подъемно-загрузочные устройства. Выбор типа таких устройств зависит от конструкций станка, его габаритов, массы заготовки и расстояния, на которое она перемещается.

Правила техники безопасности запрещают производить измерение деталей на ходу станка, так как это связано с опасностью травмирования рабочих режущим инструментом, обрабатываемой деталью или приспособлениями.

Для измерения размеров обрабатываемых деталей станок необходимо останавливать. Однако частые остановки и пуски станка вредно отражаются на механизмах и увеличивают время обслуживания станка. Поэтому в процессе резания следует как можно шире применять приборы автоматического
контроля.

При работе на станках широкое применение находят защитные очки, индивидуальные щитки и спецодежда, которая предназначается для защиты рабочих при обработке металлов резанием. Защитные очки и индивидуальные щитки используют главным образом для защиты органов зрения от металлического и теплового воздействия различных факторов производственной среды. Применение очков и щитков предупреждает ранение глаз , отлетающими частицами обрабатываемой детали и инструмента (стружкой , абразивной пылью, различными металлическими осколками), ожоги глаз раскаленными частицами металлов.

Средства индивидуальной защиты глаз необходимо применять особенно в тех случаях , когда станки не снабжены устройством,

автоматически отводящим стружку из зоны резания, или ограждением зоны резания, препятствующим рассеянию стружки в направлении станочника.

5.1 Искусственное освещение станков

Одним из факторов, способствующих росту производительности труда предусматривающих травматизм на производств, является хорошее освещение рабочих мест. Особенно важное значение имеет искусственное освещение для предприятия , где работа требует большого напряжения зрения и выполняется в вечернюю или ночную смену. К этой категории работ относится обработка металлов резанием.

Недостаточная освещенность, необходимость рассматривать обрабатываемую деталь и измерительный инструмент , чрезмерно приближая их к глазам, может привести к близорукости.

Искусственное освещение металлорежущих станков должно выполняться в строгом соответствии с требованиями действующих норм освещенности рабочих зон станочника. Для металлорежущих станков необходимо предусматривать комбинированную систему освещения , то есть сочетание общего и местного освещения.

Местное освещение станочника должно быть безопасным. Для питания пристроенных светильников местного освещения с лампами накаливания следует применять напряжение не более 42 В (24 В для станков, устанавливаемых в металлообрабатывающих цехах , и не более 12 В для станков , устанавливаемых в металлургических цехах.

Подводка электрических проводов к светильнику осуществляется внутри кронштейна. Открытая подводка не допускается.

5.2 Специальные указания по технике безопасности

1) Необходимо следить за тем , чтобы выступающие подвижные шпинделя насадок с инструментом были всегда закрыты кожухом;

2) не допускается работа на станке до тех пор, пока рабочий обслуживающий станок, полностью не освоит технику управления и обслуживания последнего;

3) при установке обрабатываемой детали в кондуктор , необходимо строго следить за тем , чтобы рука не находилась на месте движения пневматического зажима;

4) работать на станке разрешается только в защитных очках;

5) боковые дверки станины открывать после выключения станка поворотом рукоятки главного рубильника на панели управления.

5.3 Расчет заземляющего устройства

Расчет заземляющего устройства при проектировании защитного заземления сводится к определению числа вертикальных электродов и определению сопротивления заземляющего устройства, состоящего из рассчитанного числа вертикальных электродов, соединенных металлической полосой и заземляющего проводника.

5.4 Определение числа вертикальных электродов

Число одиночных необъединенных вертикальных электродов, одинаковых по размерам и симметрично расположенных в однородном грунте, рассчитывают методом последовательного приближения по формуле:

$$n = \frac{R_o ¿ \eta_c}{R_{ЗД} ¿ \eta_T},$$

где n - число вертикальных электродов;

R_O - измеренное сопротивление одиночного вертикального электрода;

$R_{З.Д}$ - предельно допустимая величина сопротивления заземляющего устройства;

η_C - коэффициент сезонности (табл. 1 Приложения А);

η_T - коэффициент экранирования (взаимного влияния) вертикальных электродов. (рис.1, рис2, Приложения А).

$$n_3 = \frac{R_o \cdot \eta_c}{R_{ЗД} \cdot \eta_T} = \frac{50 \cdot 1{,}4}{10 \cdot 0{,}55} = 12{,}73$$

Метод последовательного приближения состоит в том, что на первом шаге принимают $\eta_T = 1$ и определяют n_1. По n_1 находят соответствующее ему значение η_{T2} (рис.1, рис.2 Приложения) и по формуле (1) определяют новое значение n_2. По n_2 находят соответствующее значение η_{T3} и по формуле (1) новое значение n_3. Так продолжают расчет до тех пор, пока разница между двумя последующими числами электродов будет меньше единицы (т.е. $n_i - n_{i-1} \leq 1$). Полученное число электродов округляют до ближайшего большего их числа, что является фактическим количеством одиночных электродов.

5.5 Расчет сопротивления заземляющего устройства

Сопротивление не объединенных в один контур вертикальных заземлителей рассчитывают по формуле:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_o ¿ \eta_c}{n ¿ \eta_{TФ}},$$

где R_o=50 - сопротивление одиночного вертикального заземлителя, Ом;

n=13- число вертикальных электродов (заземлителей);

η_c =1,4- коэффициент сезонности;

$\eta_{ТФ}$=0,55-фактический коэффициент использования вертикальных заземлителей.

$$R_{\Sigma} = \frac{R_o ¿ \eta_c}{n \cdot \eta_{TФ}} = \frac{50 \cdot 1{,}4}{13 \cdot 0{,}55} = 8{,}75 \quad \text{Ом} \cdot м.$$

Длина соединительной полосы определяется из выражения:

$l_П = 1,05 \cdot A(n-1)$ - при расположении вертикальных электродов по контуру или

$l_П = 1,05 \cdot A \cdot n$ - при расположении вертикальных электродов в ряд,

где $A = 2$ - расстояние между электродами, м;

n - число вертикальных электродов.

Сопротивление растеканию тока полосы, считая ее единичным горизонтальным заземлителем, рассчитывают по формуле:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_П \cdot \eta_П} \ln \frac{2 l_П^2}{b \cdot h}$$

$l_П = 1,05 \cdot A \cdot (n-1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (13-1) = 24,63$ м,

где $\rho = 2 \cdot 10^2$ - удельное сопротивление грунта, Ом · м (табл.2 Приложения);

$l_П$ =24,63- длина соединительной полосы, м;

$\eta_П$ =0,55 - коэффициент использования полосы (рис.3, рис.4 Приложения);

b =0,04 - ширина полосы, м;

h =0,08 - глубина заложения полосы.

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_П \cdot \eta_П} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_П^2}{b \cdot h} = \frac{2 \cdot 10^2}{2 \cdot \pi \cdot 24,63 \cdot 0,55} \cdot \ln \frac{2 \cdot 25,2^2}{0,04 \cdot 0,08} = 28,62 \text{ Ом},$$

Сопротивление заземляющего устройства определяют по формуле:

$$R_{З.У.} = \frac{R_Σ ¿ R_П}{R_Σ + R_П} + R_{З.П},$$

где $R_Σ$ =8,75 - суммарное сопротивление всех вертикальных заземлителей;

$R_П$ =28,62 - сопротивление соединительной полосы;

$R_{З.П.}$ =0,9- сопротивление заземляющего проводника.

Полученное сопротивление заземляющего устройства не должно превышать допустимого значения $R_{З.У.} < R_{З.Д.}$.

$$R_{З.У.} = \frac{R_Σ \cdot R_П}{R_Σ + R_П} + R_{З.П} = \frac{8,75 \cdot 28,62}{8,75 + 28,62} + 0,9 = 7,97 \text{ Ом}.$$

Так как, разница между двумя последующими числами электродов будет больше единицы (т.е. n_2 - n_1 =11,86-7,0=4,86>1)то, по n_2 находят соответствующее значение η_{T3} =0,55 и определяют новое значение n_3.

Так как, разница n_2 -n_1 =12,73-11,86=0,87<1) то, полученное число электродов округляют до ближайшего большего их числа, что является фактическим количеством одиночных электродов ($n_ф$=13).

Полученное сопротивление заземляющего устройства не превышает допустимого значения $R_{З.У.}$=7,97 < $R_{З.Д}$=10 Ом, что подтверждает правильность расчетов.

5.6 Оборудование, подлежащее защитному заземлению

Защитному заземлению в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 подлежат металлические части электроустановок (с изолированной нейтралью), доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты, обеспечивающих электробезопасность.

Защитное заземление следует выполнять:

- при номинальном напряжении 300 В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока - во всех случаях;

при номинальном напряжении от 42 В до 300 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных;

- во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от значения напряжения.

Проверка заземляющего устройства осуществляется по окончании монтажа, а затем периодически в процессе эксплуатации устройства не реже одного

раза в год в период наименьшей проводимости почвы: летом - при наибольшем просыхании, а зимой - при наибольшем промерзании.

5.7 Требования к величине сопротивления заземляющих устройств

Согласно ПУЭ в электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

При суммарной мощности источников тока до 100 кВ·А, заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом.

5.8 Производственная санитария и гигиена труда

Существенное влияние на здоровье людей оказывает микроклимат в производственном помещении, предусматриваемый ГОСТ 12.1.005-76, категория тяжести труда IIа. Для создания благоприятных условий труда следует постоянно контролировать микроклимат производственных помещений, замеряя показатели температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Для холодного времени года оптимальные параметры:

- температура воздуха 18…20°С;
- относительная влажность 40…60%;
- скорость движения воздуха на рабочем месте <0,2м/с.

Допустимые параметры соответственно:

- температура воздуха 17…23°С;
- относительная влажность не более 75%;
- скорость движения воздуха на рабочем месте <0,3м/с.

В теплый период года оптимальные параметры:

- температура воздуха 21…23°С;
- относительная влажность 40…60%;
- скорость движения воздуха на рабочем месте <0,3м/с.

Допустимые параметры соответственно:

- температура воздуха 18…27°С;

- относительная влажность не более 75%;

- скорость движения воздуха на рабочем месте <0,2…0,4 м/с.

В соответствии с требованиями СНИП 11-38-75 двери и технические проемы механических цехов оборудованы воздушными завесами. С целью более эффективного улавливания пыли, мелкой стружки применяется местное вытяжное устройство типа зонтов.

Для разбавления вредных веществ до их ПДК используется общеобменная вытяжная вентиляция.

Поддержание параметров микроклимата в заданных приделах обеспечивается, главным образом, за счет общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, а также естественной вентиляции, осуществляемой аэрацией.

Свет играет большую роль в сохранении здоровья и работоспособности человека. Для создания нормальных условий труда источники света в производственных помещениях должны достаточно и равномерно освещать рабочие места; не вызывать слепящего действия, блесткости и излишней яркости в поле зрения работающего; не вызывать резких теней. Важное гигиеническое значение имеет рациональный выбор источников света.

На участке должно предусматриваться естественное и искусственное освещение. Система искусственного освещения – комбинированная, норма освещенности 2000 лК.

Расчет освещенности по коэффициенту использования.

1.Определяем высоту светильников над рабочей поверхностью.

$H = H – h_c – h_p$;

где H – высота цеха, м;

h_c – высота подвеса светильника, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м.

h=9 – 2 – 0,9 = 6,1 м.

2.Определяем расстояние между светильниками L, м.

$L=1,8h=1,8 \cdot 6,1=10,9$ м.

3.Определяем расстояние от светильников до стен L_1 , м.

L_1 =0,5L

L_1 =0,5 · 10,9=5,5 м.

4.Определяем длину ряда a, м.

a=A-2L_1

где A – длина участка, м.

a =20 – 10,9=9,1 м.

5.Определяем количество рядов b, м.

b=B-2L_1

где B – ширина участка, м.

b =15-10,9=4,1 м.

6.Определяем число светильников в ряду n и m.

$$m = \frac{a}{L} + 1$$

$$m = \frac{9,1}{10,9} + 1 = 2$$

$$n = \frac{b}{L_1} + 1$$

$$n = \frac{4,1}{5,5} + 1 = 2$$

7.Определяем общее число светильников N.

N =2 · 2=4

8.Определяем световой поток F, лм.

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot z}{N \cdot \eta}$$

E_n – минимальная освещенность для данного вида работ, лм;

S – площадь участка, $м^2$;

K – коэффициент запаса на старение ламп (K=1,3 для ламп накаливания);

z – коэффициент неравномерности освещения (z=1,1);

h - коэффициент использования, который определяется в зависимости от показателя помещения i и коэффициентов отражения потолка $r_п$ и стен $r_{ст}$.

$$i=\frac{A\cdot B}{h\cdot(A+B)};$$

где А и В – длина и ширина помещения, м;

h – высота светильников над рабочей поверхностью, м;

$r_п$ =70%; $r_{ст}$ =50%;

$$F=\frac{260\cdot 120\cdot 1{,}1\cdot 1{,}3}{4\cdot 0{,}64}=17427$$ лм.

По найденному световому потоку выбираем тип светильника и определяем потребляемую мощность.

Светильник – НСП-07, с лампой накаливания типа Г215-225-1000. Мощность, потребляемая каждой лампой составляет 1000 Вт, а общая потребляемая мощность составит 9 кВт.

Для снижения шума и вибрации предусматриваются следующие требования:

- снижение вибрации в источнике возникновения;

- рациональная планировка, наиболее шумное оборудование располагается в специальном месте;

- использование звукоизолирующих экранов и кожухов;

- использование индивидуальных средств защиты к ним отнесены следующие устройства: оградительные, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие (см. ГОСТ 12.4.011-75), а также средства автоматического контроля, сигнализации, дистанционного управления.

Важное значение имеет разработка и внедрение физиологически обоснованных режимов труда и отдыха лиц, подвергающихся воздействию вибрации, а также обеспечение их средствами индивидуальной защиты.

Для защиты рабочего от воздействия общей вибрации применяют обувь с амортизирующими подошвами.

Общие технические требования на специальную виброзащитную обувь введены ГОСТ 12А.024-16. Значительное внимание уделено защите рук от вибраций, мероприятия по которой изложены в ряде стандартов.

Например, требования ГОСТ 12.4.002-74, ГОСТ 12.4.20-75 распространяются на средства индивидуальной защиты рук работающего от вибрации, защитные свойства которых обеспечиваются применением упругодемпфирующих материалов.

Для борьбы с шумом на пути его распространения устанавливают звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции, а также глушители аэродинамических шумов. Их следует проектировать в соответствии с указаниями СниП П-12-77. Допустимый уровень звука 80 дБА.

5.9 Противопожарные мероприятия и средства пожаротушения

По классификации СН и П. - М2-72 строения категории Д - не пожароопасные. В них обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Причиной пожара могут стать искры, возникающие при шлифовании, фрезеровании и обточке материалов твердыми сплавами на высоких скоростях, а также промасленная ветошь в контейнерах, пробой электропроводки и обмоток электродвигателей.

Для обеспечения безопасности работы необходимо соблюдать следующие меры предупреждения пожаров.

Содержатся в чистоте рабочие места, своевременно очищаются от мусора и ветоши, которые складываются в специальных металлических контейнерах закрывающихся крышкой.

Цех должен быть оснащен двумя эвакуационными выходами, ширина путей эвакуации должна быть не менее 1 м, а ширина дверей в путях –

не менее 0,8 м, высота прохода - не менее 2м.

Удаление дыма при пожаре предусматривается через аэрационные фонари.

В воздухе вентиляционной системы устанавливается огнепреградительные и быстродействующие заслонки.

Использование дымового пожарного извещателя ДИП – 1, действие которого основано на фотоэлектрическом принципе.

Для тушения пожара также использовать ручные углекислотные огнетушители ОУ – 5.

На участке расположить два пожарных гидранта.

Соответствующими приказами устанавливается порядок регулярного проведения с рабочими противопожарного инструктажа.

Успешное тушение пожара в значительной степени зависит от правильно организованной и надежно действующей связи и сигнализации.

5.10 Охрана окружающей среды

При обработке металлов резанием основную вредность для окружающей среды представляют: отработанная СОЖ и промывная вода; твердые отходы - стружка; загрязненный в результате отделочных операций механической обработки (шлифования, заточки инструмента) воздух.

Во избежание загрязнения окружающей среды предусмотрены следующие мероприятия.

Для улавливания крупных фракций частиц пыли применяют установки типа «циклоны». Механическая обработка на металлорежущих станках сопровождается выделением пыли, стружки, туманов, масел и эмульсий, которые через систему вентиляции выбрасываются из помещения в окружающую среду.

Для возможности повторного использования отработанной СОЖ и промывной воды в условиях серийного производства предусмотрены отдельные замкнутые системы водоснабжения. Для разложения отработанной СОЖ используется метод электрокоагуляции. На основе полученной повторно воды изготавливают новую СОЖ, а оставшуюся масляную составляющую сжигают в печах чугунолитейного производства. В

целях экономии на заводе предусмотрена одна централизованная станция для разложения СОЖ.

Для очищения промывочной воды предусмотрены отстойники и флотационные установки, включенные в замкнутую цеховую оборотную систему.

Для недопущения загрязнения окружающей среды твердыми отходами (стружкой) предусматриваются следующие мероприятия:

- сбор стружки по территории цеха с последующим ее прессованием;
- последующая ее переработка.

Для переработки стружки предусматривается специальный участок, что позволяет сократить затраты на погрузочно-разгрузочные работы, снижает безвозвратные потери при их переплавке и транспортировке и высвобождает транспортные средства.

Стружку, которая образуется при обработке деталей, собирают и перерабатывают на стружко-дробилках, брикетировочных прессах. Основные операции первичной обработки метало отходов – сортировка, заключается в разделении лома и отходов по видам металла; разделка лома состоит в удалении неметаллических включений и механическая обработка включает рубку, резку, брикетирование на прессах.

Регулярный плановый ремонт станка исключает не предусмотренное конструкцией трение, а регулярная чистка, смазка, замена выработавших свой срок узлов снизит количество твердых отходов в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник нормировщика-машиностроителя/ Под ред. Е. И. Стружестрах – М.: Машиностроение, 1961, 638 с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т.: Под ред. А. Г. Косиливой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение. Т. 1. 1985, 656с.
3. Сопротивление материалов. Александров А.В. – 3-е изд. испр. – Высш. Шк., 2003-560с.
4. Справочник технолога машиностроителя в двух томах. Изд. 3-е, переработанное. Том 2. Под ред. Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. наук проф. А. Н. Малова. М., “Машиностроение”, 1972, 568 с.
5. "Марочник сталей и сплавов" Под общ. ред. А.С.Зубченко 2-е издание доп. и испр. М.: Машиностроение 2003г. 784 стр. с ил.
6. http://nashol.com/2014021175732/proektirovanie-i-prochnostnoi-raschet-v-sisteme-kompac-3d-v13-ganin-n-b-2011.html
7. ГОСТ 12.0.004-79"ССБТ. Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения"
8. Нормативы времени на слесарно-сборочные работы при обработке деталей и сборке узлов двигателей в механических цехах. Состави вед. Инженер Жариков И.П. – М.: 16-я типография Совнархоза, 1958. – 284с.
9. ГОСТ 12.4.011-75 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Классификация.
10. ГОСТ 12.4.002-74 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.
11. ГОСТ 12.1.005-76 Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования