Министерство образования и науки Российской Федерации
Бийский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(БТИ АлтГТУ)

Кафедра «Ракетные двигатели и высокоэнергетические устройства автоматических систем»

УДК 621.45.018.2(079.2) Допустить к защите в ГЭК

Зав. кафедрой РДВУАС _____ А.В. Литвинов

Проектирование бронебойного подкалиберного снаряда с прямоточным воздушно-реактивным двигателем

тема дипломного проекта

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТУ

ДП 17.01.05.04.000 ПЗ
обозначение документа

Дипломник группы БиВ-11 _____ К.С. Гаврилов
подпись и.о. фамилия

Руководитель проекта зав.кафедрой, к.т.н. _____ А.В. Литвинов
должность, ученая степень *подпись* *и.о. фамилия*

Консультанты:
Нормоконтроль зав.кафедрой, к.т.н. _____ А.В. Литвинов
раздел проекта *должность, ученая степень* *подпись* *и.о. фамилия*

БЖД доцент, к.т.н. _____ А.В. Фролов
раздел проекта *должность, ученая степень* *подпись* *и.о. фамилия*

Экономика доцент, к.э.н. _____ Н.В. Волкова
раздел проекта *должность, ученая степень* *подпись* *и.о. фамилия*

Бийск 2017

Содержание

Введение 4
1 Аналитический раздел 4
1.1 Бронебойные подкалиберные снаряды 4
1.2 Конструкции ракет и снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем 7
1.3 Расчет характеристик ПВРД 15
1.4 Выбор программного обеспечения для проектирования БОПС с ПВРД 21
1.5 Патентный поиск 25
2 Проектирование БОПС с ПВРД 29
2.1 Выбор твердого топлива ПВРД 29
2.2 Разработка конструкции БОПС с ПВРД 29
2.3 Оценка силы тяги ПВРД 53
2.4 Расчет силы сопротивления воздуха при движении БОПС 56
2.5 Расчет внешней баллистики 59
2.6 Расчет внутренней баллистики 62
3 Экономический раздел 70
3.1 Затраты на выполнение дипломного проекта 70
3.2 Затраты на электроэнергию и накладные расходы 73
3.3 Научный эффект от применения результатов дипломного проекта 76
4 Безопасность жизнедеятельности 77
4.1 Анализ вредных и опасных факторов при работе с компьютером 78
4.2 Эргономика и эстетика производства ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
4.3 Расчет искусственного освещения помещения 84
4.4 Инструкция по технике безопасности для конструктора-проектировщика . 88
Заключение 93
Список использованных источников 95
Приложение А 96
Приложение Б 99
Приложение В 100

Введение

В настоящее время в качестве бронебойных боеприпасов широкое применение получили бронебойные оперенные подкалиберные снаряды (БОПС), обладающие высокой проникающей способностью. Это достигается за счет высокой начальной скорости боеприпаса (1650 – 1840 м/с) и малого поперечного сечения (d = 20-30 мм).

Однако бронепробитие БОПС зависит от расстояния до цели из-за значительной силы сопротивления воздуха, значительное снижение которой позволит сохранить высокую проникающую способность боеприпаса на всей дальности.

Одним из способов компенсации силы сопротивления воздуха является придание боеприпасу реактивной тяги.

В качестве реактивного двигателя для БОПС выгоднее всего использовать прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД). Он прост по конструкции, имеет высокий коэффициент полезного действия при больших числах Маха и компактен, поскольку не требует наличие окислителя в составе топлива, так как использует кислород окружающей среды. К тому же запуск ПВРД будет обеспечиваться в результате разгона БОПС по каналу ствола пороховым зарядом. Целью дипломного проекта является проектирование БОПС с ПВРД.

В ходе проектирования данного боеприпаса требуется решить ряд задач:

- подобрать твердое топливо;
- разработать модель БОПС с ПВРД, обеспечивающую наименьшую силу сопротивления воздуха по сравнению с БОПС без ПВРД;
- оценить силу тяги для выбранного варианта ПВРД;
- установить закон сопротивления воздуха для выбранной модели БОПС с ПВРД и установить траекторию движения боеприпаса (расчет внешней баллистики);
- подобрать пороховой заряд для обеспечения заданной начальной скорости боеприпаса с учетом заданного максимального давления пороховых газов (расчет внутренней баллистики);
- подбор материалов деталей БОПС с ПВРД;
- разработка сборочного чертежа и рабочих чертежей БОПС с ПВРД.

1 Аналитический раздел

1.1 Бронебойные подкалиберные снаряды

БОПС стреловидный оперённый снаряд — тип снарядов для ствольного оружия, стабилизируемых в полёте за счет аэродинамических сил (аналогично стабилизации в полёте стрелы). Это обстоятельство отличает данный тип боеприпасов от снарядов, стабилизируемых в полёте вращением за счёт гироскопических сил. Стреловидные оперённые снаряды могут применяться как в охотничьем и военном ручном огнестрельном оружии, так и в ствольной артиллерии. Основной областью применения таких снарядов является поражение тяжело бронированной техники (в частности, танков). Стреловидные оперённые снаряды являются, как правило, боеприпасами кинетического действия, но могут содержать и заряд взрывчатого вещества.

При помощи кольцевых проточек (выштамповок) тело БОПС соединяется с секторным поддоном из стали или высокопрочных алюминиевых сплавов (типа В-95, В-96Ц1 и аналогичных). Секторный поддон называется также ведущим устройством (ВУ) и состоит из трёх или более секторов. Поддоны скрепляются, друг с другом ведущими поясками из металлов или пластиков и в таком виде окончательно закрепляются в металлической гильзе или в корпусе сгорающей гильзы. После вылета из ствола орудия секторный поддон под действием набегающего потока воздуха отделяется от тела БОПС, ломая ведущие пояски, в то время как само тело снаряда продолжает полёт к цели. Сброшенные сектора, имея высокое аэродинамическое сопротивление, тормозятся воздухом и падают на некотором отдалении (от сотен метров до более километра) от дульного среза орудия. В случае промаха сам БОПС, имеющий малое аэродинамическое сопротивление, может улететь на расстояние от 30 до более 50 км от дульного среза орудия.

Конструкции современных БОПС крайне разнообразны: тела снарядов могут быть как монолитными, так и составными (сердечник или несколько сердечников в оболочке, а также продольно и поперечно многослойными), оперения могут быть практически равными калибру артиллерийского орудия или подкалиберными, выполняться из стали или лёгких сплавов. Ведущие устройства (ВУ) могут иметь разный принцип распределения вектора действия газового давления на секторы (ВУ «разжимного» или «прижимного» типа), разное количество мест ведения секторов, изготавливаться из стали, лёгких сплавов, а также композици-

онных материалов — например, из углекомпозитов или арамидных композитов. В головных частях тел БОПС могут устанавливаться баллистические наконечники и демпферы. В материал сердечников из вольфрамовых сплавов могут добавляться присадки, увеличивающие пирофорность сердечников. В хвостовых частях БОПС могут устанавливаться трассеры.

Масса тел БОПС с оперением колеблется от 3,6 кг в старых моделях до 5-6 кг и более в моделях для перспективных танковых пушек калибра 140—155 мм.

Диаметр тел БОПС без оперения колеблется от 40 мм в старых моделях до 22 мм и менее в новых перспективных БОПС с большим удлинением. Удлинение БОПС постоянно увеличивается и составляет от 10 до 30 и более.

Конструкторы стремятся увеличить удлинение тел БОПС в связи с тем, что при удлинении тела увеличивается как поперечная нагрузка сердечника, так и иные факторы, влияющие на бронепробиваемость. В общем виде бронепробиваемость увеличивается при увеличении удлинения БОПС, плотности материала сердечника и скорости его внедрения в броню (преграду). Сердечники из тяжелых сплавов с удлинениями, превышающими 30, склонны к изгибным деформациям при ведении по каналу ствола и после отделения поддона, а также к разрушению при взаимодействии с много преградой и разнесенной броней. Плотность материала в настоящее время ограничена, так как в настоящее время в технике не существует материалов плотнее вольфрама и урана, практически употребляемых для военных целей. Скорость БОПС также ограничена величинами в интервале 1500—1800 м/с и зависит от конструкции артиллерийских орудий и боеприпасов к ним. Дальнейшее увеличение скорости связывается с исследовательскими работами, проводящимися в области метания снарядов при помощи артиллерийских орудий на жидких метательных веществах (ЖМВ), с электротермохимическим способом метания, с электротермическим способом метания, электрическим (магнитным) способом метания при помощи рельсотронов, гауссистем, их комбинаций, а также комбинаций электротермохимических и электромагнитных способов метания.

В СССР и России широко известны несколько типов БОПС, созданных в различное время и имеющих собственные имена. Ниже перечислены БОПС в хронологическом порядке от старых к новым. Коротко указано устройство и материал тела БОПС:

- «Заколка» 3БМ22 — небольшой сердечник из карбида вольфрама в головной части стального тела (1976 год);
- «Надфиль-2» 3БМ30 — урановый сплав (1982 год);
- «Надежда» 3БМ27 — небольшой сердечник из вольфрамового сплава в хвостовой части стального тела (1983 год);
- «Вант» 3БМ32 — монолитное тело из уранового сплава (1985 год);
- «Манго» 3БМ42 — два удлинённых сердечника из вольфрамового сплава в стальной рубашке тела (1986 год);
- «Свинец» 3БМ48 — монолитное тело из уранового сплава (1991 год);
- «Анкер» 3БМ39 (1990е г.г.);
- «Лекало» 3БМ44 М — усовершенствованный сплав (подробности неизвестны) (1997 год); возможно, этот БОПС носит название «Снаряд повышенного могущества»;
- «Свинец-2» — судя по индексу, модифицированный снаряд с урановым сердечником (подробности неизвестны).

Имена собственные имеют и иные БОПС. Например, противотанковая гладкоствольная пушка калибра 100 мм имеет боеприпас «Вальщик», 115-мм танковая пушка — «Камергер» и т. п.

1.2 Конструкции ракет и снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем

Рабочий процесс ПВРД кратко можно описать следующим образом:

1. Воздух, поступая со скоростью полёта во входное устройство двигателя, затормаживается (на практике, до скоростей 30-60 м/сек, что соответствует числу Маха 0,1-0,2), его кинетическая энергия преобразуется во внутреннюю энергию и его температура и давление повышаются.

В предположении того, что воздух — идеальный газ, и процесс сжатия является изоэнтропийным, степень повышения давления (отношение статического давления в заторможенном потоке к атмосферному давлению) выражается уравнением:

$$\frac{p}{p_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot M_n^2\right)^{\frac{k}{k-1}}, \qquad (1)$$

где p – давление в полностью заторможенном потоке;

p_0 – атмосферное давление;

M_n – полетное число Маха (отношение скорости полета к скорости в окружающей среде;

k – Показатель адиабаты, для воздуха равный 1,4.

На выходе из входного устройства, при входе в камеру сгорания рабочее тело имеет максимальное на всём протяжении проточной части двигателя давление.

1. Сжатый воздух в камере сгорания нагревается за счёт окисления подаваемого в неё топлива, внутренняя энергия рабочего тела при этом возрастает.

2. Затем сначала сужаясь в сопле, достигает звуковой скорости, а потом, расширяясь - сверхзвуковой, рабочее тело ускоряется и истекает со скоростью большей, чем скорость встречного потока, что и создаёт реактивную тягу.

Зависимость тяги ПВРД от скорости полёта определяется несколькими факторами:

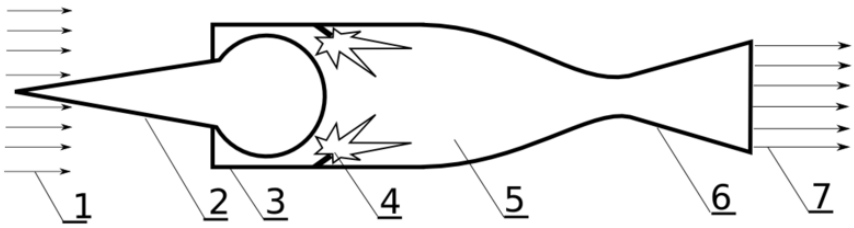
- Чем выше скорость полёта, тем больше расход воздуха через тракт двигателя, а значит, и количество кислорода, поступающего в камеру, что позволяет, увеличив расход горючего, повысить тепловую, а вместе с ней и механическую мощность двигателя.

- Чем больше расход воздуха через тракт двигателя, тем выше создаваемая им тяга. Однако расход воздуха через тракт двигателя не может расти неограниченно. Площадь каждого сечения двигателя должна быть достаточной для обеспечения необходимого расхода воздуха.
- С увеличением скорости полёта, возрастает степень повышения давления в камере сгорания, что влечёт за собой увеличение термического коэффициента полезного действия двигателя, который для идеального ПВРД выражается формулой:

$$n_t = \frac{\frac{k-1}{2} \cdot M_n^2}{1+\frac{k-1}{2} \cdot M_n^2} \qquad (2)$$

Чем меньше разница между скоростью полета и скоростью истечения реактивной струи, тем меньше тяга двигателя (при прочих равных условиях).

В общем, зависимость тяги ПВРД от скорости полёта может быть представлена следующим образом: пока скорость полёта значительно ниже скорости истечения реактивной струи, тяга растёт с ростом скорости полёта (вследствие повышения расхода воздуха, давления в камере сгорания и термического КПД двигателя), а с приближением скорости полёта к скорости истечения реактивной струи тяга ПВРД падает, миновав некоторый максимум, соответствующий оптимальной скорости полёта.



1-встречный поток воздуха; 2-центральное тело; 3-входное устройство; 4-топливная форсунка; 5-камера сгорания; 6-сопло; 7-реактивная струя.

Рисунок 1 – Схема устройства ПВРД на жидком топливе

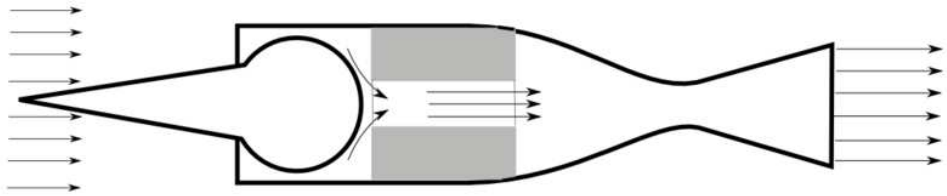


Рисунок 2 - Схема устройства твердотопливного ПВРД

Сила тяги ПВРД определяется выражением:

$$P = \frac{dm_a}{dt} \cdot (v_e - v) + \frac{dm_f}{dt} \cdot v_e, \quad (3)$$

где P - сила тяги;

v - скорость полета;

v_e - скорость реактивной струи относительно двигателя;

$\frac{dm_f}{dt}$ - секундный расход горючего.

Секундный расход воздуха рассчитывается по формуле:

$$\frac{dm_a}{dt} = \rho \cdot \frac{dV}{dt} = \rho \cdot S \cdot \frac{dl}{dt} = \rho \cdot S \cdot v, \quad (4)$$

где ρ –плотность воздуха (зависит от высоты);

$\frac{dV}{dt}$ –объем воздуха, который поступает в воздухозаборник ПВРД за единицу времени;

S –площадь сечения входа воздухозаборника;

v – скорость полета.

Для того чтобы определить секундный расход горючего тела для идеального случая, когда горючее полностью сгорает и полностью используется кислород воздуха в процессе горения:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dm_a}{dt} + \frac{dm_f}{dt} = \frac{dm_a}{dt} + \frac{1}{L} \cdot \frac{dm_a}{dt} = \frac{dm_a}{dt} \cdot \left(1 + \frac{1}{L}\right), \quad (5)$$

где $\frac{dm_a}{dt}$ –секундный расход воздуха;

$\frac{dm_f}{dt}$ –секундный расход горючего;

L –стехиометрический коэффициент смеси горючего и воздуха.

Конструктивно ПВРД имеет предельно простое устройство. Двигатель состоит из камеры сгорания, в которую из диффузора поступает воздух, а из топливных форсунок — горючее. Заканчивается камера сгорания входом в сопло Лаваля, как правило, суживающееся-расширяющееся.

С развитием технологии смесевого твёрдого топлива, оно стало применяться в ПВРД. Топливная шашка с продольным центральным каналом размещается в камере сгорания. Рабочее тело, проходя по каналу, постепенно окисляет топливо с его поверхности, и нагревается само. Использование твёрдого топлива ещё более упрощает конструкцию ПВРД: ненужной становится топливная система. Состав смесевого топлива для ПВРД отличается от используемого в РДТТ. Если для ракетного двигателя большую часть топлива составляет окислитель, то для ПВРД он добавляется лишь в небольшом количестве для активизации процесса горения. Основную часть наполнителя смесевого топлива ПВРД составляет мелкодисперсный порошок алюминия, магния или бериллия, теплота окисления, которых значительно превосходит теплоту сгорания углеводородных горючих. Примером твердотопливного ПВРД может служить маршевый двигатель противокорабельной крылатой ракеты П-270 Москит.

В зависимости от скорости полёта ПВРД подразделяется на: дозвуковые, сверхзвуковые и гиперзвуковые. Это разделение обусловлено конструктивными особенностями каждой из этих групп.

Дозвуковые ПВРД предназначены для полётов на скоростях с числом Маха от 0,5 до 1. Торможение и сжатие воздуха в этих двигателях происходит в расширяющемся канале входного устройства — диффузоре.

Эти двигатели характеризуются крайне низкой эффективностью. При полёте на скорости M=0,5 степень повышения давления в них равна 1,186, вследствие чего их идеальный термический КПД составляет всего 4,76 %, а с учётом потерь в реальном двигателе эта величина становится почти равной 0. Это означает, что на скоростях полёта при M<0,5 ПВРД неработоспособен. Но и на предельной для дозвукового диапазона скорости, при M=1 степень повышения давления со-

ставляет 1,89, а идеальный термический КПД — 16,7 %, что в 1,5 раза меньше чем у реальных поршневых ДВС, и вдвое меньше, чем у газотурбинных двигателей. К тому же, и поршневые, и газотурбинные двигатели эффективны при работе на месте.

По этим причинам дозвуковые прямоточные двигатели оказались неконкурентоспособными в сравнении с авиадвигателями других типов и в настоящее время серийно не выпускаются.

Чего нельзя сказать о сверхзвуковых ПВРД, которые предназначены для полетов в диапазоне $1 < M < 5$.

Торможение сверхзвукового газового потока происходит всегда разрывно (скачкообразно) — с образованием ударной волны, называемой также *скачком уплотнения*. Процесс сжатия газа на фронте ударной волны не является изоэнтропийным, вследствие чего в нём имеют место необратимые потери механической энергии, и степень повышения давления в нём меньше, чем в идеальном — изоэнтропийном процессе. Чем интенсивнее скачок уплотнения, то есть чем больше изменение скорости потока на его фронте, — тем больше потери давления, которые могут превышать 50 %.

Потери давления удаётся минимизировать за счёт организации сжатия не в одном, а в нескольких (обычно, не более 4) последовательных скачках уплотнения меньшей интенсивности, после каждого из которых (кроме последнего), скорость потока снижается, оставаясь сверхзвуковой. Это возможно, если все скачки (кроме последнего) являются *косыми*, фронт которых наклонён к вектору скорости потока. (Косой скачок уплотнения образуется, когда сверхзвуковой поток встречается с препятствием, поверхность которого наклонена к вектору скорости воздушного потока.) В промежутках между скачками параметры потока остаются постоянными. В последнем скачке (всегда прямом — нормальном к вектору скорости воздушного потока) скорость становится дозвуковой, и дальнейшее торможение и сжатие воздуха происходит непрерывно в расширяющемся канале диффузора.

В случае, если входное устройство двигателя находится в зоне невозмущённого потока, например, в носовом окончании летательного аппарата, или на консоли на достаточном удалении от фюзеляжа, оно исполняется осесимметричным и снабжается *центральным телом* — длинным острым «конусом», выступающим из обечайки, назначение которого состоит в создании во встречном потоке системы косых скачков уплотнения, обеспечивающих торможение и сжатие воздуха ещё до поступления его в канал входного устройства — т. н. *внешнее сжатие*. Такие входные устройства называются также *устройствами конического течения*, потому что поток воздуха в них имеет коническую форму. Коническое центральное тело может быть снабжено механическим приводом, позволяющим смещать его вдоль оси двигателя, оптимизируя тем самым торможение воздушного потока на различных скоростях полета. Такие входные устройства именуются регулируемыми.

При установке двигателя на нижней (боковой) стенке фюзеляжа, или под крылом летательного аппарата, то есть в зоне аэродинамического влияния его элементов, обычно применяются *плоские входные устройства двухмерного течения*, имеющие прямоугольное поперечное сечение, без центрального тела. Система скачков уплотнения в них обеспечивается благодаря внутренней форме канала. Они называются также *устройствами внутреннего* или *смешанного сжатия*, так как внешнее сжатие частично имеет место и в этом случае — в скачках уплотнения, образованных у носового окончания и/или у передней кромки крыла летательного аппарата. Регулируемые входные устройства прямоугольного сечения имеют меняющие своё положение клинья внутри канала.

В сверхзвуковом диапазоне скоростей ПВРД значительно более эффективен, чем в дозвуковом. Например, на скорости М=3 для идеального ПВРД степень повышения давления по формуле составляет 36,7, что сравнимо с показателями самых высоконапорных компрессоров турбореактивных двигателей, а термический КПД теоретически достигает 64,3 %. У реальных ПВРД эти показатели ниже, но даже с учётом потерь, в диапазоне полётного числа Маха от 3 до 5 СПВРД превосходят по эффективности ВРД всех других типов.

При торможении встречного потока воздуха он не только сжимается, но и нагревается, и его абсолютная температура при полном торможении (в изоэнтропийном процессе) выражается формулой:

$$T = T_0 \cdot \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot M_n^2\right), \qquad (6)$$

где T_0 – температура невозмущенного потока.

При М=5 и T_o=273К (что соответствует 0°С) температура заторможенного рабочего тела достигает 1638К, при М=6 — 2238 К, а с учётом трения и скачков уплотнения в реальном процессе — ещё выше. При этом дальнейший нагрев рабочего тела за счёт сжигания топлива становится проблематичным из-за ограничений, накладываемых термической устойчивостью конструкционных материалов, из которых изготовлен двигатель. Потому скорость, соответствующая М=5 считается предельной для СПВРД.

Гиперзвуковым ПВРД называется ПВРД, работающий на скоростях полёта свыше 5М, (верхний предел точно не устанавливается).

На начало XXI в. этот тип двигателя является экспериментальным: не существует ни одного образца, прошедшего лётные испытания, подтвердившие практическую целесообразность его серийного производства.

Торможение потока воздуха во входном устройстве ГПВРД происходит лишь частично, так что на протяжении всего остального тракта движение рабочего тела остаётся сверхзвуковым. При этом большая часть исходной кинетической энергии потока сохраняется, а температура после сжатия относительно низка, что позволяет сообщить рабочему телу значительное количество тепла. Проточная часть ГПВРД расширяется на всём её протяжении после входного устройства. Горючее вводится в сверхзвуковой поток со стенок проточной части двигателя. За счёт сжигания горючего в сверхзвуковом потоке рабочее тело нагревается, расширяется и ускоряется, так что скорость его истечения превышает скорость полёта.

Двигатель предназначен для полётов в стратосфере. Возможное назначение летательного аппарата с ГПВРД — низшая ступень многоразового носителя космических аппаратов.

Организация горения топлива в сверхзвуковом потоке составляет одну из главных проблем создания ГПВРД.

Существует несколько программ разработок ПВРД в разных странах, все — в стадии теоретических изысканий или предпроектных экспериментов.

1.3 Расчет характеристик ПВРД

Расчет характеристик ПВРД начинается с расчета состава продуктов сгорания, иными словами весь расчет начинается с внутренней баллистики. Перед этим определяются параметры, характеризующие рабочее тело.

Рабочим телом в трактате ПВРД до впрыска и сгорания горючего служит воздух, поступающий через воздухозаборники, а затем - газ, представляющий многокомпонентную смесь продуктов сгорания(ПС) топлива горючего в потоке воздуха. Если ПС - только газы, то смесь называется гомогенной, если смесь включает конденсат, то смесь называется гетерогенной. ПС в смеси находится в термохимическом равновесии при данной температуре и давлении, то есть количество каждого ПС остается постоянным, несмотря на постоянно идущие процессы диссоциации и рекомбинации молекул. Ионизация ПС в каморе сгорания(КС) ПВРД обычно мала.

Равновесный химический состав ПС характеризует числом киломолей составляющих смеси W или парциальными давлениями p. Расчет химического равновесия состоит в вычислении этих параметров при заданном элементарном химическом составе топлива и термодинамических параметрах - давления p и температуре T, характеризующих состояние системы.

Если элементарный химический состав топлива включает в себя n химических элементов, то в ПС могут присутствовать все эти элементы. Кроме того, в ПС могут присутствовать все вещества, состоящие из указанных элементов. В уравнения следует включить все те n химических элементов, которые присутствуют в ПС в заметном количестве.

Допущения, которые применяют при расчете:

- индивидуальные вещества находятся в идеальном состоянии, к отдельным газам и газовой смеси в целом применимо уравнение состояния идеального газа.

- термодинамические функции и константы равновесия не зависят от давления.

- конденсированные вещества не образуют между собой растворов, объемов конденсированных веществ в гетерогенной смеси пренебрегают.

Расчет химического равновесия производится на основе решения системы уравнений классической термодинамики и уравнений сохранения вещества. Если равновесие установилось в условиях, когда p, T = const, то избранный изотермический потенциал $G = I - T \cdot S$ системы принимает минимальное значение.

Состав смеси - количество w(j) киломолей каждого j-го компонента, как атомного, так и молекулярного, на 1 кг смеси, при учете диссоциации компонентов - находится из уравнений массового баланса по числу n химических элементов в смеси, системы n уравнений термодинамического равновесия одного уравнения Дальтона. При наличии ионизации и гетерогенных реакций горения имеются особенности.

Уравнение газовой смеси или он же закон Дальтона, где для каждого компонента справедливо уравнение состояния идеального газа.

$$p_b(j) = \frac{g_b(j) \cdot R_{gu} \cdot T_m}{[m_{ub}(j) \cdot v_u]}, Па \tag{7}$$

Давление p_{bs} в смеси, занимающей заданный объем v_u при постоянной температуре, равно сумме парциальных давлений компонентов смеси:

$$p_{bs} = \sum_{j=1}^{n_b} p_b(j) = \left(R_{gu} \cdot \frac{T_m}{v_u}\right) \cdot \sum_{j=1}^{n_b} w_m(j) = \left(R_{gu} \cdot \frac{T_m}{v_u}\right) \cdot w_{ms} Па \tag{8}$$

где $w_m(j) = \frac{g_b(j)}{m_{ub}(j)}$ - количество каждого j-го компонента, кмоль.

Число киломолей $w_m(j)$, давление $p_b(j)$ и суммарное число киломолей газовой среды фазы ПС для таких смесей связаны соотношением. Относительно давления каждого компонента записывается:

$$p_r(j) = \frac{p_b(j)}{p_{bs}} = \frac{w_m(j)}{w_{ms}} = w_{br}(j) = \frac{v_{ub}(j)}{v_u} \quad (9)$$

где $v_{ub}(j)$ - объем каждого j-го компонента смеси,
$j = 1..n_b, м^3$.

Газовая постоянная R_{bs} конкретной смеси газов однозначно выражается через универсальную газовую постоянную и молекулярную массу данного газа, - уравнение состояния для 1кг смеси. Для каждого j-го компонента смеси записывается уравнение состояния для массы $g_b = 1 \cdot g_{br}(j)$ кг:

$$p_b(j) = 1 \cdot g_{br}(j) \cdot R_b(j) \cdot \frac{T_m}{v_u} \text{ Па} \quad (10)$$

Суммированием получается уравнение состояния для всей смеси

$$p_{bs} = \left(\frac{T_m}{v_u}\right) \cdot \sum_{j=1}^{n_b} [g_{br}(j) \cdot R_b(j)] = \left(\frac{T_m}{v_u}\right) \cdot R_{bs} Па. \quad (11)$$

Нет необходимости вычислять число R_{bs}суммированием, если вычислена величина w_{bs}. Для каждого j-го компонента смеси соблюдается соотношение

$$R_{gu} = R_b(j) \cdot \frac{m_{ub}(j) \text{Дж}}{\text{кмоль·К}} \quad (12)$$

Далее одним из важных уравнений является уравнение массового баланса.

Уравнения сохранения вещества (массового баланса) соответствует равенству числа атомов -го химического элемента в левой и правой частях уравнения условной химической реакции: топливо (горючее + воздух) = ПС. Молекулярные продукты этой реакции обозначаются M_j, а атомные E_i.

Уравнение реакции топливо - ПС имеет вид:

$$E_{a_1}^1 \dots E_{a_2}^2 \dots E_{a_{n_d}}^{n_d} ===> \sum_{j=1}^{n_e} w(j) \cdot M_j + \sum_{i=1}^{n_d} w(i) \cdot E_i \quad (13)$$

Поскольку каждый элемент имеется в одинаковом количестве в топливе и ПС, уравнения сохранения вещества записываются:

$$\sum_{j=1}^{n_c} w_c(j) \cdot a_{ec}(i,j) + w_e(i) = w_{ef}(i), 1, \dots n_{el} \quad (14)$$

где $a_{ec}(i,j)$- число атомов химического элемента E_i в молекулярном продукте M_j.

При отсутствии диссоциации состав ПС - количество $w_b(j)$ киломолей каждого компонента на 1 кг ПС - находится из уравнений массового баланса по числу химических элементов, участвующих в горении:

$$\sum_{j=1}^{n_b} a_{eb}(i,j) \cdot w_b(j) = w_{ef}(i), \quad (15)$$

где $w_{ef}(i)$-количество -го элемента, кмоль/кг;

$i = 1, n_{el}$.

Условность расчета без диссоциации (реально диссоциация всегда имеет место) состоит в необходимости ограничиваться количество ПС равная числу элементов. Если ER< 1, то ПС известны: H_2O, CO_2, O_2, N_2, Ar и систем уравнений решается процедурой Гаусса относительно 5-и неизвестных.

После решения системы уравнений вычисляются суммарное количество киломолей ПС:

$w_{bs} = \sum_{j=1}^{n_b} w_b(j)$, кмоль/кг;

Молекулярная масса ПС равна:

$m_{ubn} = \frac{1}{w_{bs}}$, кг/моль.

Удельная газовая постоянная ПС вычисляется по формуле:

$$R_{bn} = \frac{R_{gu}}{m_{ubn}} = R_{gu} \cdot w_{bs}, \quad \text{Дж/(кг·К)} \quad (16)$$

Выводы по расчетам внутренней баллистики ПВРД:

1. Горючее оказывает влияние не только на характеристики самого ПВРД, но и на характеристики снаряда или летательного аппарата (ЛА) вследствие влияния удельной массы горючего на компоновку снаряда или ЛА. Кроме того эксплуатационные свойства горючего ограничивают возможность его применения.

2. Рабочее тело в ПВРД - газ, представляющий многокомпонентную смесь ПС горючего в потоке воздуха. В отличие от газотурбинного двигателя (ГТД) в камере сгорания (КС) и сопле ПВРД происходит диссоциация ПС. В отличие от ЖРД состав ПС в КС ПВРД может меняться в широких пределах при изменении режима полета. Приведены уравнения для расчета состава смеси газов, состава горючего, окислителя и расчет мольного и массового стехиометрического отношения.

3. Приведены уравнения для расчета энтальпии. Особенно разъяснен вопрос о переходе к другой системе отсчета энтальпии. На конкретных примерах показан расчет для некоторых компонентов энтальпии при переходе в систему отсчета, в которой стандартными приняты CO_2, H_2O.

4. Характеристикой горючего является стандартное тепловыделение при нуля Кельвина. Приведены формулы расчета теплотворной способности топлива. Приведен пример численного расчета теплотворной способности конкретного углеводородного горючего (УВГ).

5. На основании изложенной методики можно производить расчеты термодинамических характеристик рабочего тела - ПС конкретного УВГ. Продемонстрирован расчет состава ПС при изменении коэффициента избытка горючего и температуры ПС. Приведены уравнения расчета на основе законов термодинамического равновесия газовой смеси ПС. Показано различие состава и термодинамических характеристик при учете диссоциации ПС.

6. Для примера приведены результаты расчета характеристик конкретного горючего - керосина Т-1. Характеристики представлены в виде, используемом при расчете ПВРД, коэффициент изэнтропы Z и температура T в зависимости от энтальпии H.

Расчет воздухозаборника.

После всех ранее описанных расчетов, проводится расчет параметров воздухозаборника (ВЗ) с одним косым скачком.

Этот расчет проводится на примере плоского и осесимметричного ВЗ.

Задаются параметры ВЗ, которые необходимы для расчета плоского ВЗ вне зависимости от системы плоскостей сжатия, т.е. от количества ступеней сжатия:

высота ВЗ $y_b = 0.08$ м,

отношение ширины к высоте ВЗ $\frac{z_{lt}}{w_{dr}} = 1.0$,

сужение носовой части гондолы ВЗ $e_{tcw} = 0.95$,

удлинение носовой части гондолы ВЗ $l_{rcw} = 0.2$,

удлинение центрального тела(ЦТ) после входного сечения $l_{rbd} = 2.0$,

заданный угол обечайки ВЗ $o_{cin} = 5.0°$,

коэффициент сохранения давления при учете трения в ВЗ $s_{gfr} = 0.90$,

коэффициент сохранения давления при учете потерь на перерасширение горла ВЗ $s_{gsr} = 0.95$,

отношение толщины обечайки к высоте ВЗ $\frac{y_b}{t_{cwr}} = 0.01$,

число Маха, на которое рассчитано перерасширение горла ВЗ $M_{cr} = 1.8$,

минимальное число Маха, при котором должен работать ВЗ без возникновения прямых скачков уплотнения на ЦТ $M_{min} = 1.8$.

Эти параметры будут далее использованы и для ВЗ с одной плоскостью сжатия и с тремя плоскостями сжатия.

Сперва берется ВЗ с одним косым скачком уплотнения, $n_{os} = 1$, при расчетном числе Маха ВЗ $M_{ds} = 2.5$, котрое определяется положение обечайки. Угол плоскости сжатия берется $o_m(1) = 16°$. Такой небольшой угол обеспечивает сжатие потока на клине без появления на нем прямого скачка уплотнения.

Производится расчет геометрии ВЗ и скачков уплотнения при расчетном числе Маха по приведенной выше методике.

В результате расчета получается следующие параметры ВЗ: площадь входа $A_b = y_b^2 \cdot w_{dr} = 0.0064\,м^2$, высота гондолы $y_{gd} = \frac{y_b}{e_{tcw}} = 0.0842\,м$, площадь сечения гондолы $A_{gd} = y_{gd} \cdot z_{lt} = 0.00674\,м^2$, длина ЦТ ВЗ после входного сечения $x_{bd} = y_{gd} \cdot l_{rbd} = 0.168\,м$.

Уравнение косого скачка:

$$f_{os} = \left\{1 - a_z + a_z \cdot \frac{a_m(i-1)}{\left[\sin\left(a_{1p}(i)\right)\right]^2}\right\} \cdot tg\left(a_{1p}(i)\right) - tg\left[a_{1p}(i) - o_{mg}(i)\right] = 0 \quad (17)$$

По этому уравнению вычисляется угол косого скачка уплотнения, по соотношениям для скачка уплотнения вычисляются параметры потока на каждый ступени.

На первой плоскости, $i = 1$, угол косого скачка уплотнения $a_{1p} = 38.0565°$, относительное увеличение давления, плотности, энтальпии, числа Маха равно, соответственно, $p_r = 2.6042$, $r_{hr} = 1.9322, H_r = 1.3478$, отношение полного давления к атмосферному $p_{tra} = 15.6550$.

На прямом скачке, $i = 2$, относительное увеличение давления, плотности, энтальпии, числа Маха: $p_r = 3.7383, r_{hr} = 2.4060, H_r = 1.5538, M_{wr} = 0.3334$, абсолютное число Маха $M_w = 0.6100$, относительное увеличение давления, плотности, энтальпии относительно атмосферы $p_{ra} = 9.7352, r_{hra} = 4.6488, H_{ra} = 2.0941$, отношение полного давления к атмосферному $p_{tra} = 12.516$.

1.4 Выбор программного обеспечения для проектирования БОПС с ПВРД

В современном мире, уже сейчас широко используется моделирование каких либо расчетов, это позволяет оценить визуально правильность результатов расчета, правильность выполнения какой-либо объемной модели. Для проведения расчетов и визуального проектирования была использована вычислительная техника и также использовано такое программное обеспечение как Mathcad. Mathcad - это программная система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы.

Mathcad содержит сотни операторов и встроенных функций для решения различных технических задач. Программа позволяет выполнять численные и символьные вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие.

Среди возможностей Mathcad можно выделить:

- Решение дифференциальных уравнений, в том числе и численными методами;
- Построение двумерных и трёхмерных графиков функций (в разных системах координат, контурные, векторные и т. д.);
- Использование греческого алфавита, как в уравнениях, так и в тексте;
- Выполнение вычислений в символьном режиме;
- Выполнение операций с векторами и матрицами;
- Символьное решение систем уравнений;
- Аппроксимация кривых;
- Выполнение подпрограмм;
- Поиск корней многочленов и функций;
- Проведение статистических расчётов и работа с распределением вероятностей;
- Поиск собственных чисел и векторов;
- Вычисления с единицами измерения;
- Интеграция с САПР-системами, использование результатов вычислений в качестве управляющих параметров;

С помощью Mathcad инженеры могут документировать все вычисления в процессе их проведения.

Об этой программе можно говорить много, она является одной из ключевых для проектирования, так как упрощает проектирование в несколько раз за счет своего удобного и понятного интерфейса.

КОМПАС - это семейство систем автоматизированного проектирования с возможностью оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и системы проектной документации для строительства (СПДС).

Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели. Имеется возможность связи трёхмерных моделей и чертежей со спецификациями, то есть при «надлежащем» проектировании спецификация может быть получена автоматически; кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот.

Существует несколько версий КОМПАС и для проектирования обычно используют всего две.

Первая версия это Компас 3D. Система «Компас-3D» предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей (в том числе, деталей, формируемых из листового материала путём его гибки) и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе проектированного ранее прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Система «Компас-3D» включает следующие компоненты: система трёхмерного твердотельного моделирования, универсальная система автоматизированного проектирования «Компас-График» и модуль формирования спецификаций. Ключевой особенностью «Компас-3D» является использование собственного математического ядра и параметрических технологий.

Вторая версия - это Компас-График. Система «Компас-График» входит в состав «Компас-3D». Она предназначена для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности (машиностроение, архитектура, строительство) при создании чертежей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы, схем, спецификаций, таблиц, инструкций, расчётно-пояснительных записок, технических условий, текстовых и прочих документов.

SolidWorks - это программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

Эта программа позволяет решать такие задачи как:

Конструкторская подготовка производства (КПП):

- 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления;
- создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ;
- промышленный дизайн;
- реверсивный инжиниринг;
- проектирование коммуникаций (электрожгуты, трубопроводы и пр.).
- инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, динамика механизмов, газодинамика и гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчеты, анализ размерных цепей и т.д.);
- экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования;
- подготовка данных для ИЭТР(интерактивного электронного технического руководства);
- управление данными и процессами на этапе КПП.

Технологическая подготовка производства (ТПП):

- проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения;
- анализ технологичности конструкции изделия;
- анализ технологичности процессов изготовления (литье пластмасс, анализ процессов штамповки, вытяжки, гибки и пр.);
- разработка технологических процессов по ЕСТД;
- материальное и трудовое нормирование;
- механообработка: разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, верификация УП, имитация работы станка. Фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка, лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы, координатно-измерительные машины;
- управление данными и процессами на этапе ТПП.

Управление данными и процессами:

- работа с единой цифровой моделью изделия;
- электронный технический и распорядительный документооборот;
- технологии коллективной разработки;
- работа территориально-распределенных команд;
- ведение архива технической документации по ГОСТ;
- проектное управление;
- защита данных. ЭЦП;
- подготовка данных для ERP, расчет себестоимости;

1.5 Патентный поиск

Имя патента: Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд

Авторы: Коврижин Александр Павлович (RU), Мананов Геннадий Ниязбекович (RU), Руденко Николай Леонидович (RU), Горнева Зоя Васильевна (RU), Михайлов Владимир Владимирович (RU), Никитина Наталья Николаевна (RU), Смирнов Александр Владимирович (RU)

Описание патента:

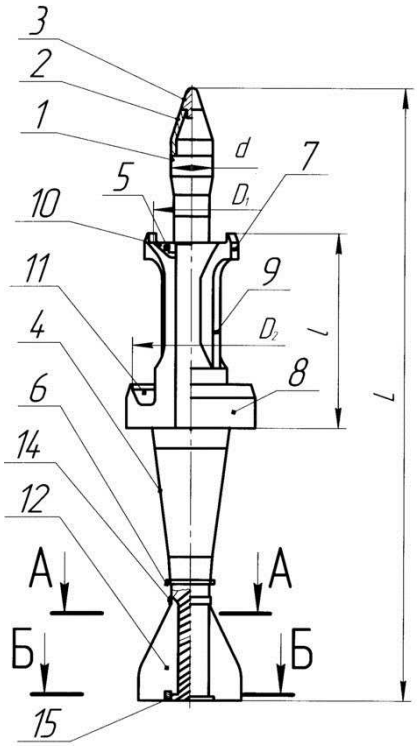
Изобретение относится к боеприпасам с ведущими устройствами. Снаряд содержит корпус, составной баллистический наконечник, секторное ведущее устройство, скрепленное надвижными кольцами и включающее переднюю и заднюю центрующие опоры, образующие центрирующую базу, каждая из которых

выполнена с кольцевым воздухозаборником, лопасти перьевого стабилизатора, укрепленные непосредственно на корпусе снаряда. Диаметр захватывающей воздух части воздухозаборника передней центрующей опоры составляет 3,3-3,9 от диаметра корпуса снаряда, диаметр захватывающей воздух части воздухозаборника задней центрующей опоры составляет 5,2-5,5 от диаметра корпуса снаряда, а длина центрующей базы составляет 0,25-0,4 длины корпуса снаряда. Повышается бронепробиваемость снаряда.

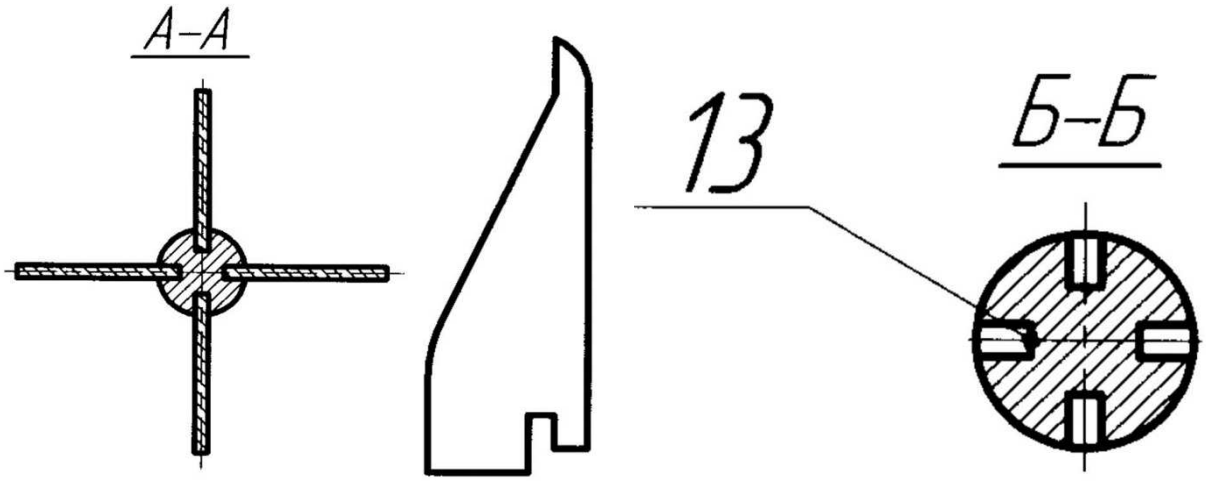
Изобретение поясняется чертежами на рисунке 1(а - г).

Формула изобретения:

1. Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд, содержащий корпус, баллистический наконечник, закрепленный на корпусе, секторное ведущее устройство, установленное на корпусе, скрепленное надвижными кольцами и включающее переднюю и заднюю центрующие опоры, образующие центрирующую базу, каждая из которых выполнена с кольцевым воздухозаборником, перьевой стабилизатор с лопастями, расположенный в хвостовой части корпуса, отличающийся тем, что баллистический наконечник выполнен составным, лопасти перьевого стабилизатора укреплены непосредственно на корпусе снаряда, при этом диаметр захватывающей воздух части воздухозаборника передней центрующей опоры составляет 3,3-3,9 от диаметра корпуса снаряда, диаметр захватывающей воздух части воздухозаборника задней центрующей опоры составляет 5,2-5,5 от диаметра корпуса снаряда, а длина центрующей базы составляет 0,25-0,4 длины корпуса снаряда.



а)



б) в) г)

а – общий вид; б - сечение А-А; в– лопасть; г - сечение Б-Б при снятых лопастях

Рисунок 3 - БОПС

2. Снаряд по п.1, отличающийся тем, что баллистический наконечник выполнен в виде полого усеченного конуса, в головной части которого установлена головка из материала с большим удельным весом, чем материал упомянутого конуса, а передний торец корпуса снаряда выполнен плоским.

3. Снаряд по п.2, отличающийся тем, что полый усеченный конус выполнен из алюминия, а головка выполнена из стали, при этом между упомянутым конусом и головкой, а также между корпусом снаряда и упомянутым конусом расположен изолирующий материал.

4. Снаряд по п.1, отличающийся тем, что лопасти перьевого стабилизатора выполнены скошенными в направлении головной части корпуса снаряда и установлены при помощи надвижных скрепляющих колец в глухих продольных пазах, выполненных в корпусе снаряда.

2 Проектирование БОПС с ПВРД

В качестве орудия будет использоваться гладкоствольная пушка Д-81, поэтому калибр снаряда должен быть равен 125 мм.

2.1 Выбор твердого топлива ПВРД

Цель проектирования ПВРД: обеспечить скорость полета снаряда на траектории равной скорости снаряда при вылете из канала ствола. Важным компонентом ПВРД – это топливо, которое может быть как жидкое, так и твердое. В нашем проекте мы будем использовать твердое топливо, так как его использование упрощает конструкцию двигателя.

Твердое топливо подбирается экспериментально, оно должно обеспечить оптимальное давление внутри камеры сгорания и при выходе из сопла двигателя дать такую тягу, которая будет компенсировать силу сопротивления воздуха.

Скорость полета снаряда составляет $v = 1800\frac{\text{м}}{\text{с}}$, прицельная дальность составляет $l = 2100\text{м}$, соответственно время полета рассчитывается по формуле 20:

$$t = \frac{l}{v} = \frac{2100}{1800} = 1.17\ \text{с} \tag{20}$$

Для нашего двигателя мы выбрали твердое топлива с маркировкой «РТ». Основные характеристики состава: плотность − $1800\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; скорость горения − $40\frac{\text{мм}}{\text{с}}$; показатель адиабаты – 0,6; массовый расход при площади горения равной $0{,}05\ \text{м}^2$ − $100\frac{\text{г}}{\text{с}}$.

Данные характеристики позволяют оценить требуемую массу твердого топлива при площади горения равной $0{,}05\ \text{м}^2$, для этого воспользуемся формулой 21.

$$m_{\text{тт}} = 100 * 1{,}17 = 117\ \text{г} \tag{21}$$

2.2 Разработка конструкции БОПС с ПВРД

Одним из главных параметров, который позволяет оценить конструкцию снаряда - это низкая сила сопротивления воздуха. Для начала возьмем один из известных бронебойных оперенных подкалиберных снарядов, например БМ-9 и

разработаем для него в программе Solidworks твердотельный объект (рисунок 4). Далее с помощью приложения Flow Simulation, проведем расчет аэродинамических параметров (рисунки 5–6) и определим силу сопротивления воздуха. Для расчета была принята скорость набегающего потока воздуха равная 1800 м/с и нормальные условия среды. Таким образом, сила сопротивления составила 702 Н.

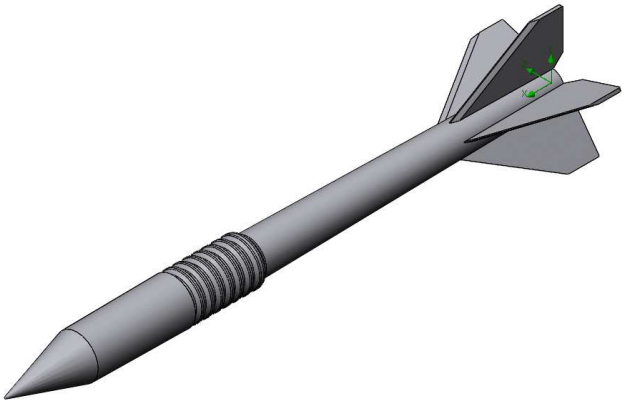


Рисунок 4 − Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд БМ-9

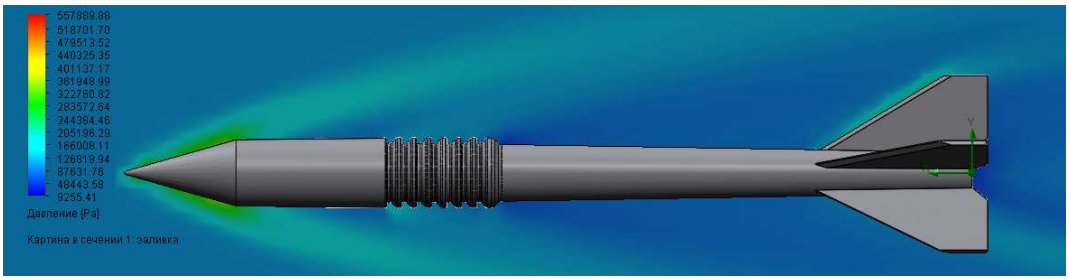


Рисунок 5 − Давление, создаваемое БОПС БМ-9

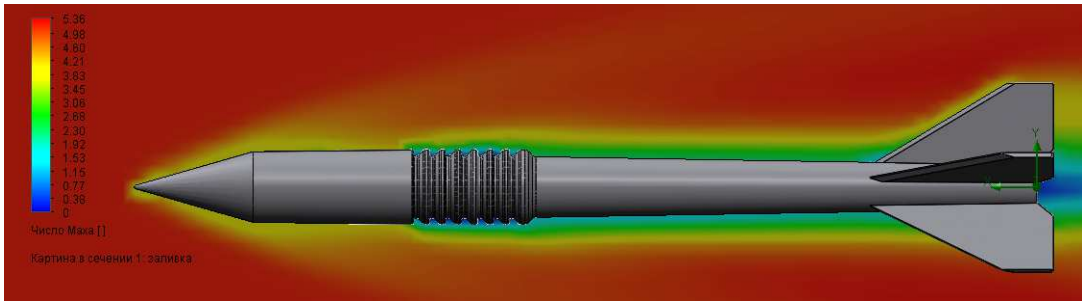


Рисунок 6 − Число Маха БМ-9

Конечная скорость БМ-9 в момент пробития, на расстоянии 2120 м составляет 1500 м/с.

Далее с помощью программы Solidworks мы разработаем несколько вариантов твердотельных объектов, чтобы как можно быстрее исследовать все профили ПВРД. Таким образом, мы придем к наиболее оптимальному варианту.

Варианты БОПС с ПВРД.

2.2.1 Вариант 1

В данной конструкции имеется три пилона и пять элементов оперения (рисунок 7). А также отсутствует конфузор воздухозаборника, за счет вынесенного конуса за корпус двигателя. Такое расположение двигателя дает отличные аэродинамические свойства объекта, а сила сопротивления составляет всего 1123 Н.

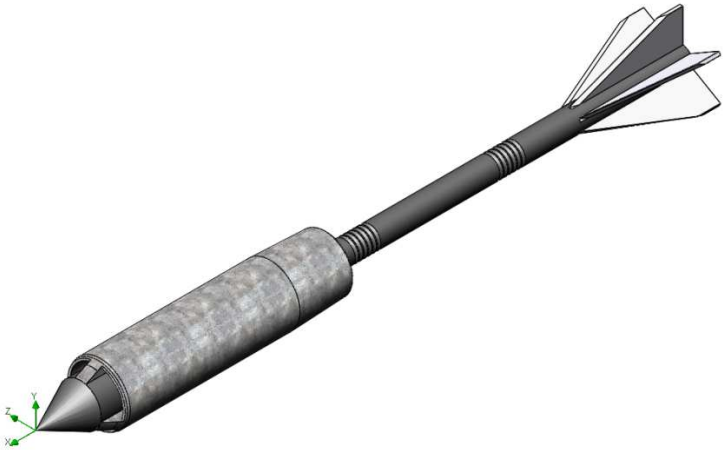


Рисунок 7 − БОПС вариант 1 с ПВРД

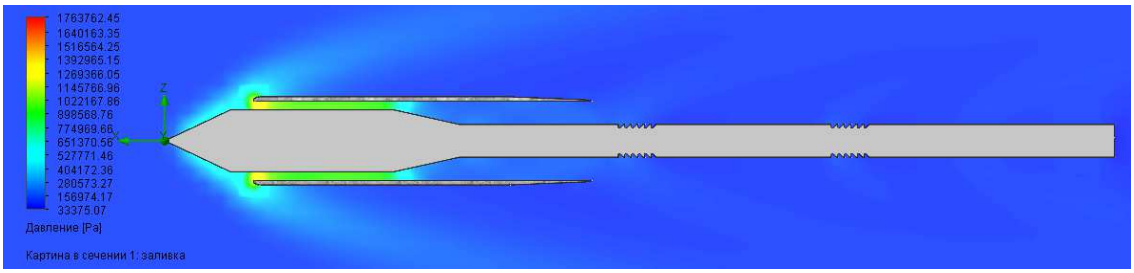


Рисунок 8 − Давление (вариант 1)

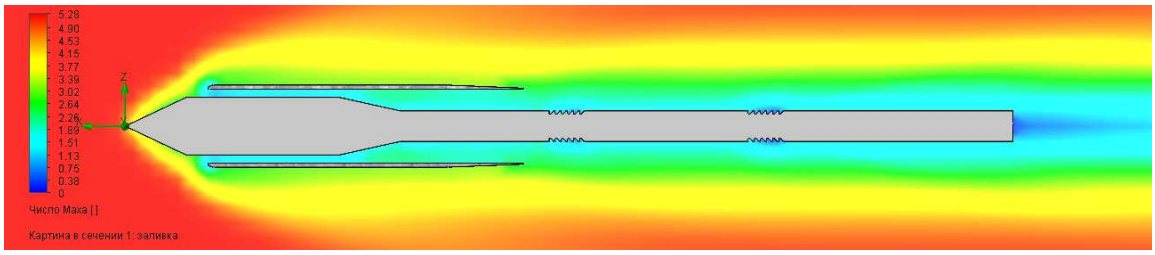


Рисунок 9 − Число Маха (вариант 1)

Как видно на рисунках 8 – 9 ошибки, которые присутствуют в данном варианте - это неправильная геометрия сопла из-за чего отсутствует увеличение скорости потока воздуха и следствием этого является то, что такого рода ПВРД не будет создавать реактивную тягу, что приведет к снижению скорости снаряда на траектории.

Так как пилоны и элементы оперения присутствуют на каждой конструкции, то для более быстрого проведения исследования мы будем разрабатывать профили снарядов без пилонов двигателя и без элементов оперения, а на заключительном варианте добавим их и проведем заключительный расчет.

2.2.2 Вариант 2

Особенностью данного варианта (рисунок 10) является:

1. удлиненный корпус двигателя, что дает формирование конфузора воздухозаборника;
2. на входном конусе имеется порог для скачка давления – это дает больший нагрев, за счет торможения потока.
3. размещение твердого топлива на внутренней стенке корпуса двигателя – это дает увеличение площади горящего свода и прогрессивное горение топлива.
4. диффузор сопла обеспечивает ускорение потока воздуха – это позволит образовать условия для силы тяги.

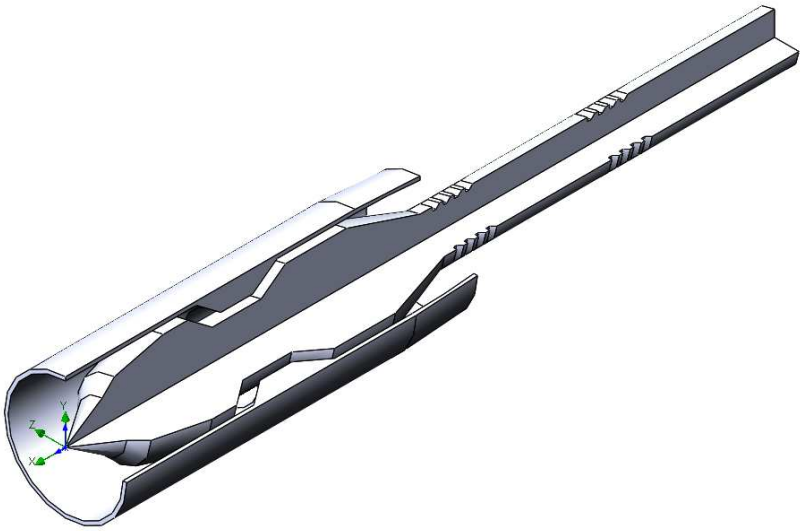


Рисунок 10 − Трехмерная модель по варианту 2 в разрезе

Сила сопротивление воздуха в данном варианте составляет 19820 Н.

Такое большое сопротивление вызвано большим давлением и малой скоростью потока внутри профиля ПВРД (рисунки 11–12). Из-за узкого входа, малого конуса воздухозаборника и отсутствия прямого прохода происходит запирание воздуха на входе и тем самым возрастает давление, которое образует уплотненную преграду впереди движения снаряда, что и увеличивает силу сопротивления, делая ее колоссально огромной. Данный вариант снаряда абсолютно неэффективен.

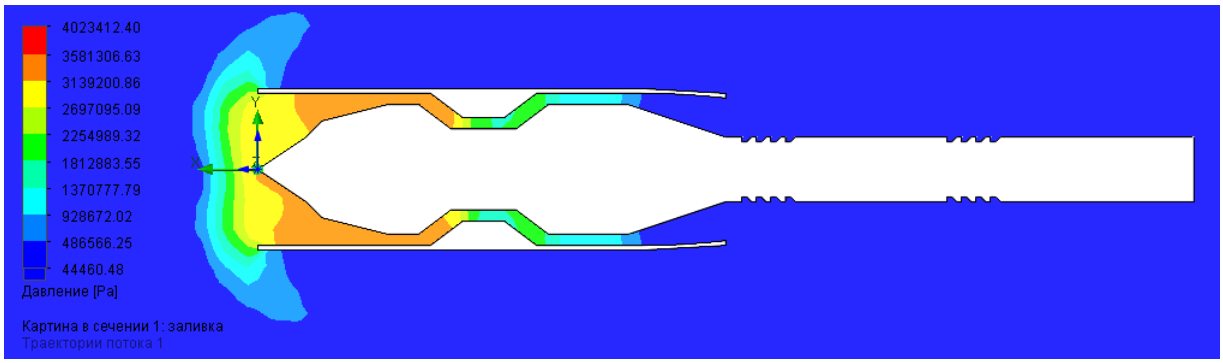


Рисунок 11 − Давление (вариант 2)

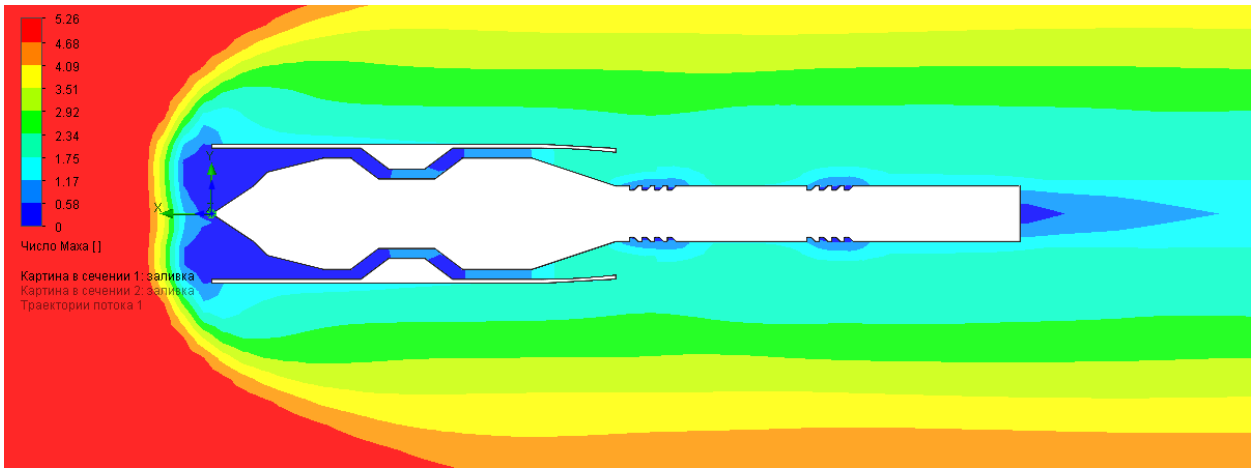


Рисунок 12 − Число Маха (вариант 2)

2.2.3 Вариант 3

Отличительными признаками этого варианта (рисунок 13) являются:

1. небольшое уменьшение площади входного сечения, что позволит уменьшить количество поступающего воздуха и тем самым уменьшить внутреннее давление;
2. размещение твердого топлива на корпус снаряда, что даст прямой проход потока воздуха и тем самым исключит причину запирания воздуха внутри двигателя – это повлияет на уменьшение давления.

Сила сопротивления варианта 3 составляет 9597 Н.

Как и в предыдущем варианте, большое сопротивление также вызвано запиранием воздуха в передней части ПВРД (рисунки 14–15), что привело к высокому давлению и низкой скорости движения воздуха внутри ПВРД.

Рисунок 13 − Трехмерная модель по варианту 3 в разрезе

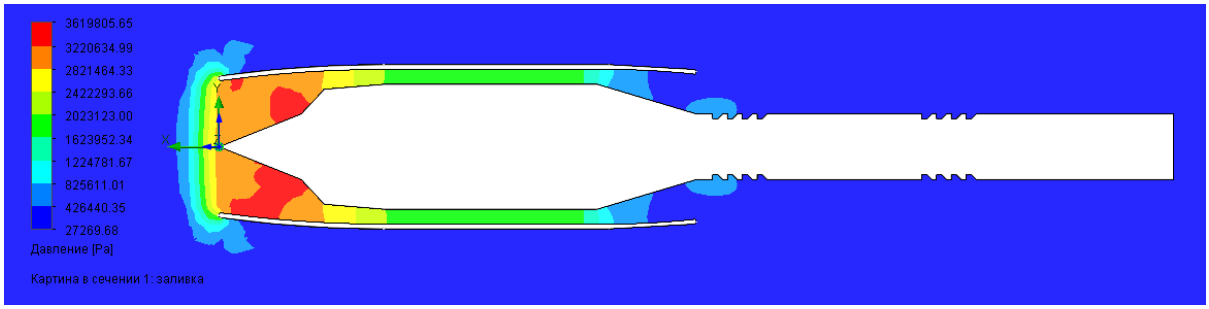


Рисунок 14 − Давление (вариант 3)

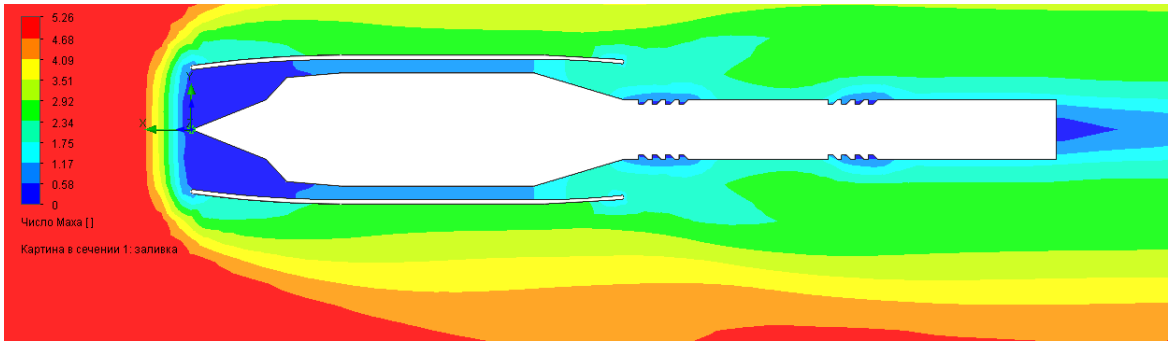


Рисунок 15 − Число Маха (вариант 3)

Данный снаряд, как и предыдущей не эффективен и не будет развивать реактивную тягу из-за малой скорости потока, а также будет иметь быстрое снижение скорости на траектории из-за такого высокого сопротивления.

2.2.4 Вариант 4

Отличительным признаком варианта 4 (рисунок 16) по сравнению с вариантом 3 является вынесенный конус воздухозаборника и прямой участок оболочки двигателя на входе, образуя тем самым прямой проход воздуха через двигатель. Предположительно повлияет на увеличение скорости прохода воздуха через двигатель и тем самым уменьшит давление.

Рисунок 16 − Трехмерная модель по варианту 4 в разрезе

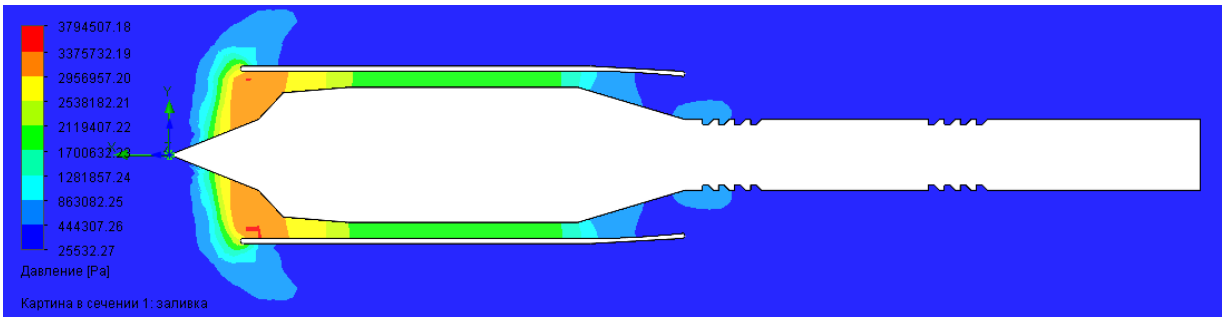


Рисунок 17 – Давление (вариант 4)

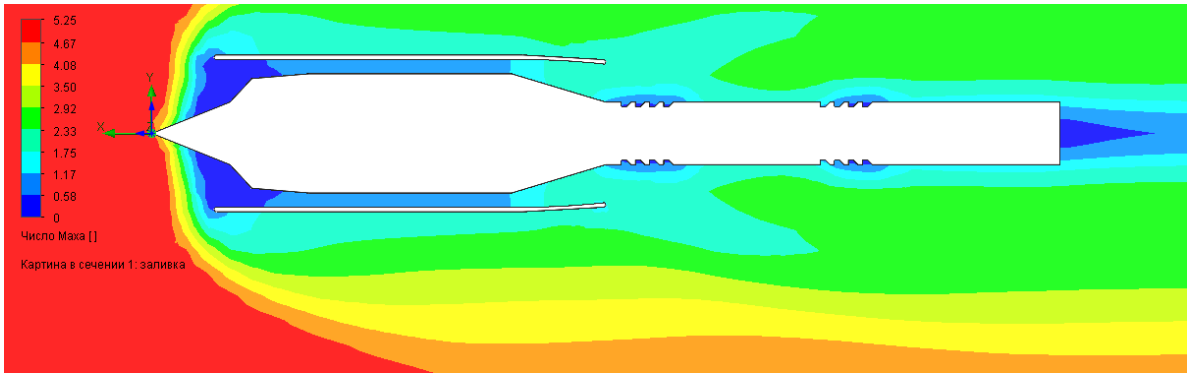


Рисунок 18 − Число Маха (вариант 4)

Сила сопротивления варианта 4 составляет 14847 Н.

Данный вид профиля повлиял на увеличение давления, так как набегающего воздуха стало больше, а проходимость через внутренний профиль ПВРД осталась прежней (рисунки 17 – 18).

2.2.5 Вариант 5

Отличительные признаки варианта 5 (рисунок 19):

1. имеет усеченный конус воздухозаборника со скругленным торцом, предположительно повлияет на улучшение аэродинамического обтекания воздухом и формирование первого скачка давления на входе воздухозаборника. Такое решение позволит повысить температуру воздуха внутри двигателя и улучшит зажигание топлива;
2. увеличенная площадь проходного сечения по каналу двигателя, позволяет компенсировать скачок давления и устранит запирание воздуха;
3. пункт 2 позволяет размещение топлива на внутренней стенке корпуса двигателя.

Рисунок 19 − Трехмерная модель по варианту 5 в разрезе

Сила сопротивления варианта 5 составляет 11684 Н.

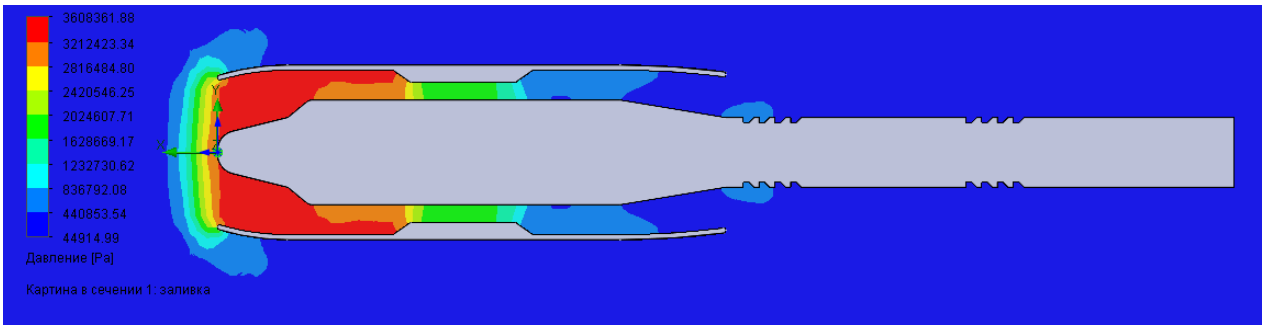


Рисунок 20 – Давление (вариант 5)

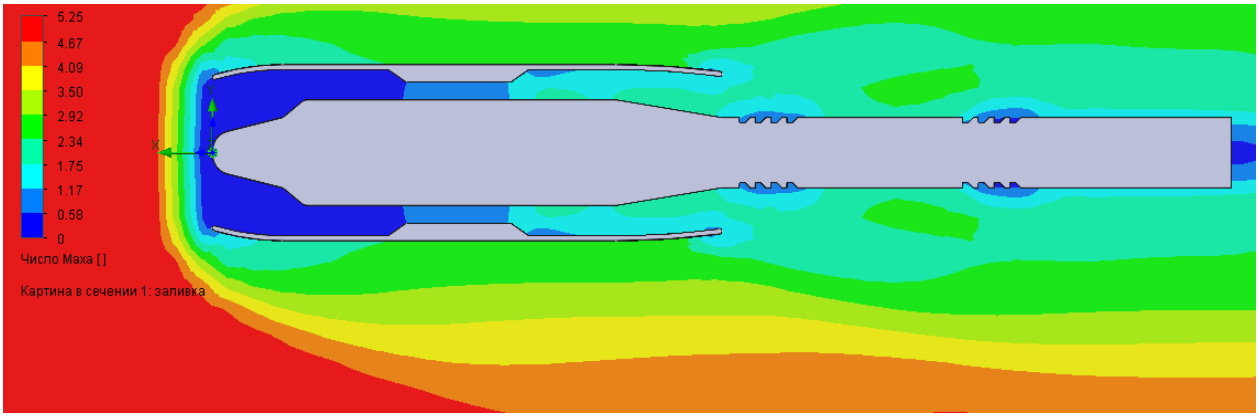


Рисунок 21 − Число Маха (вариант 5)

На такое сопротивление, повлияло высокое давление, сформировавшееся в передней части из-за неправильной геометрии конфузора воздухозаборника (рисунки 20–21). Также можно сказать о диффузоре сопла, он тоже сконструирован неверно, так как отсутствует ускорение движения потока частиц воздуха.

2.2.6 Вариант 6

Отличительные признаки варианта 6 (рисунок 22):

1. имеет большую площадь входного сечения, позволяет образовать скачок уплотнения за счет большего набора воздуха и тем самым повысить температуру воздуха внутри двигателя;
2. уменьшение площади проходного сечения, увеличит давление и обеспечит лучшее зажигание топлива;
3. увеличение выходного сечения сопла, позволит увеличить ускорение потока частиц воздуха;

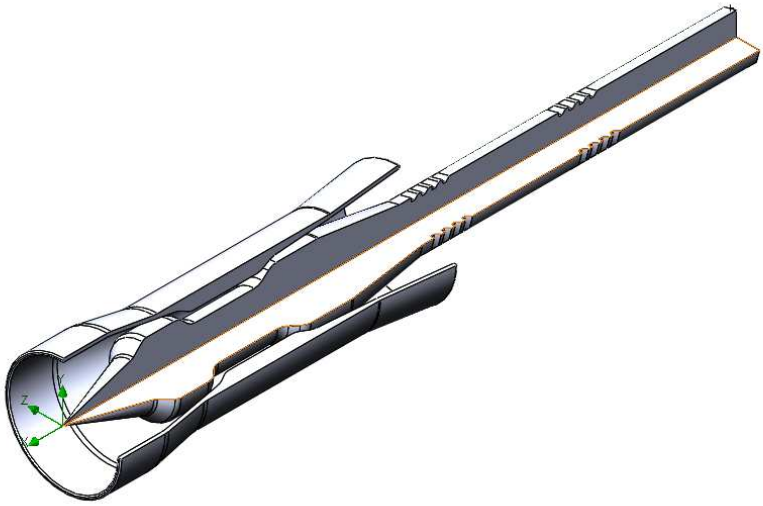


Рисунок 22 − Трехмерная модель по варианту 6 в разрезе

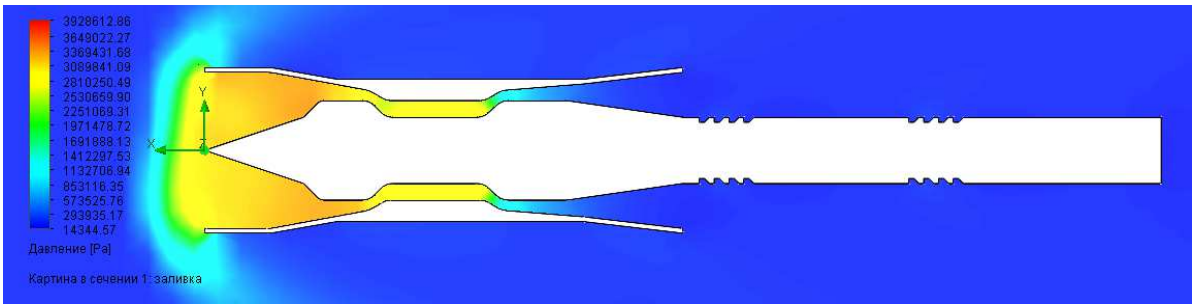


Рисунок 23 – Давление (вариант 6)

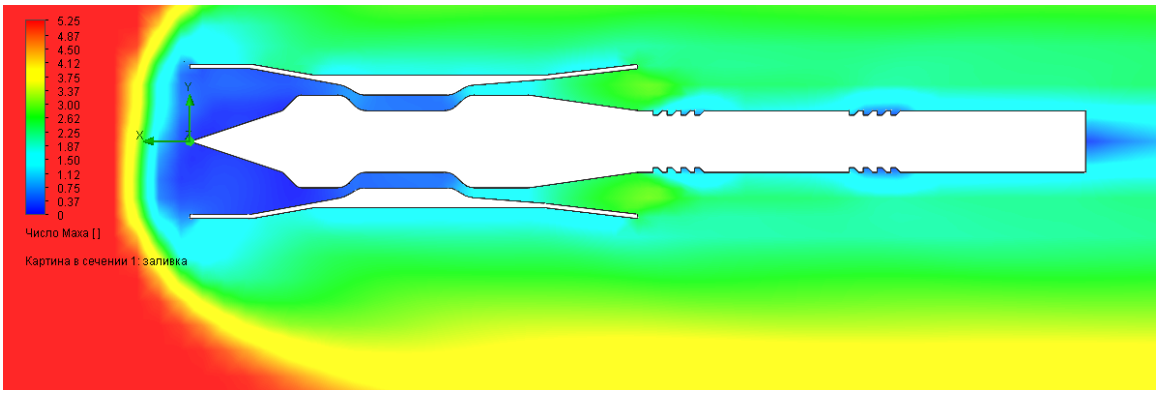


Рисунок 24 − Число Маха (вариант 6)

Сопротивление варианта 6 составляет 20672 Н.

Большая сила сопротивления воздуха, объясняется, как и в предыдущих версиях, тем, что из-за большой площади сечения входа воздухозаборника, ПВРД набирает огромное количество воздуха, а так как внутри ПВРД профиль имеет множество барьеров, образуется запирание (рисунки 23–24). Поэтому весь набранный воздух не успевает пройти через двигатель, тем самым растет давление в передней части и падает скорость потока.

Как видно на рисунке 24, сопло сконструировано, правильно, так как имеется ускорение потока, которое и будет приводить к тяге двигателем.

2.2.7 Вариант 7

Отличительным признаком варианта 7 (рисунок 25) от варианта 6 (рисунок 22) является уменьшенная площадь сечения входа воздухозаборника.

Рисунок 25 − Трехмерная модель по варианту 7 в разрезе

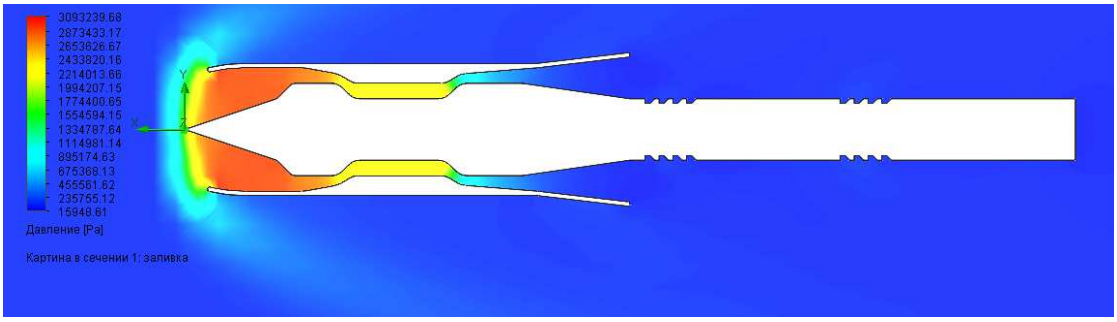


Рисунок 26 − Давление (вариант 7)

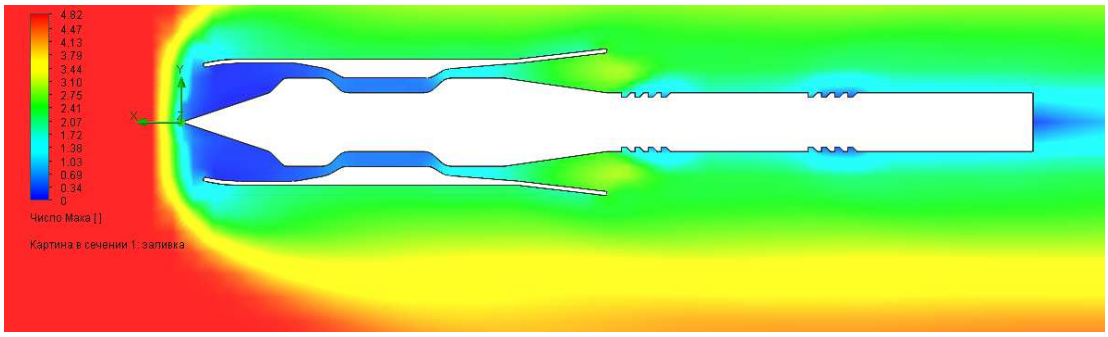


Рисунок 27 − Число Маха (вариант 7)

Сила сопротивления варианта 7 составляет 10424 Н.

Отличительной чертой этого варианта, является хорошо сконструированная геометрия сопла, мы можем увидеть на рисунке 27 ускорение частиц воздуха на выходе.

2.2.8 Вариант 8

Отличительной чертой варианта 8 (рисунок 28) является уменьшенный угол конуса воздухозаборника.

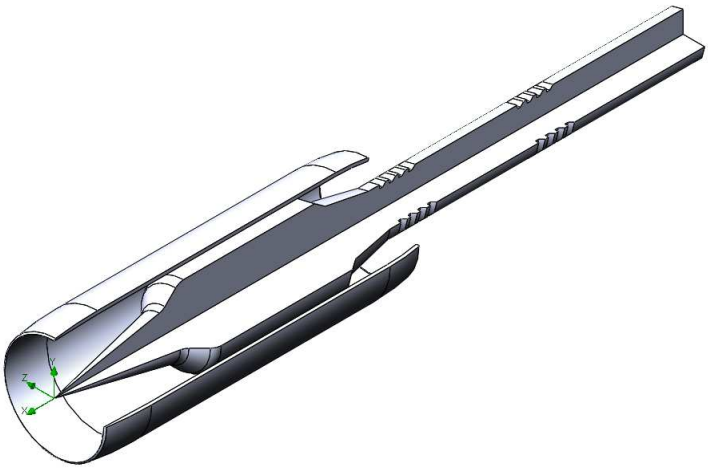


Рисунок 28 − Трехмерная модель по варианту 8 в разрезе

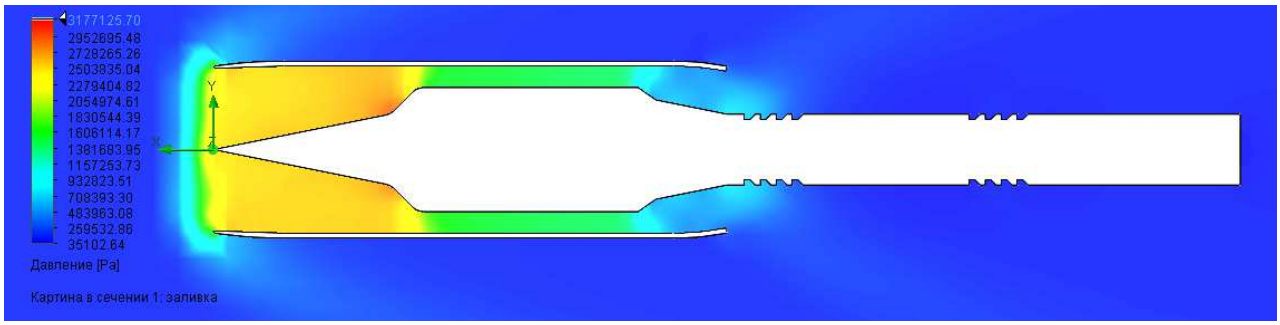


Рисунок 29 − Давление (вариант 8)

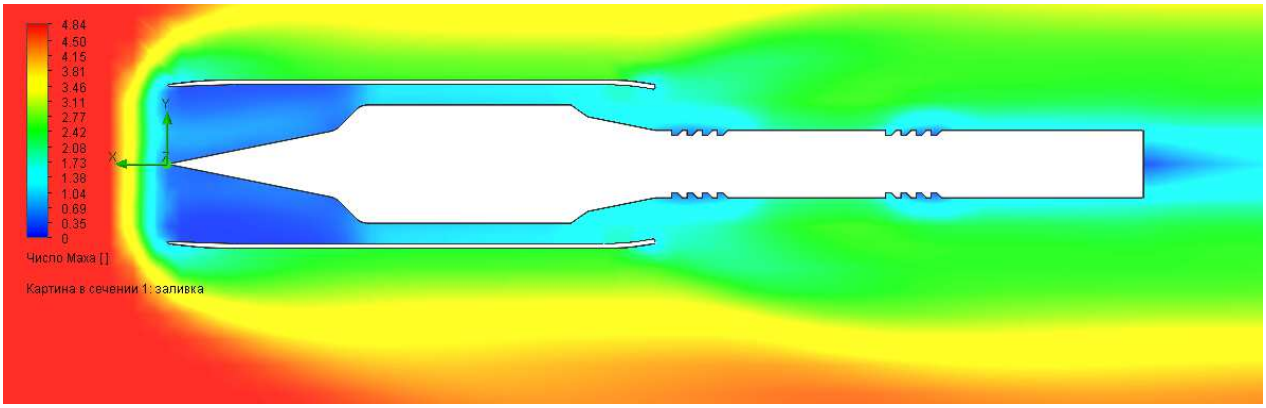


Рисунок 30 − Число Маха (вариант 8)

Сила сопротивления варианта 8 составляет 9168 Н.

Удлиненный конус дает малое сопротивление на входе, но в профиле имеется резкий скачок давления из-за барьера воздухозаборника (рисунок 29), что и дает

такое большое сопротивление. Неправильная форма диффузора сопла обеспечивает малое ускорение частиц (рисунок 30).

2.2.9 Вариант 9

Отличительной чертой варианта 9 (рисунок 31) является увеличенный угол конуса воздухозаборника и также данный конус вынесен за оболочку двигателя.

Сила сопротивления варианта 9 составляет 2727 Н.

Малое сопротивление воздуха обеспеченно прямым проходом частиц через двигатель, но в данной версии отсутствует ускорение на выходе из сопла (рисунок 33).

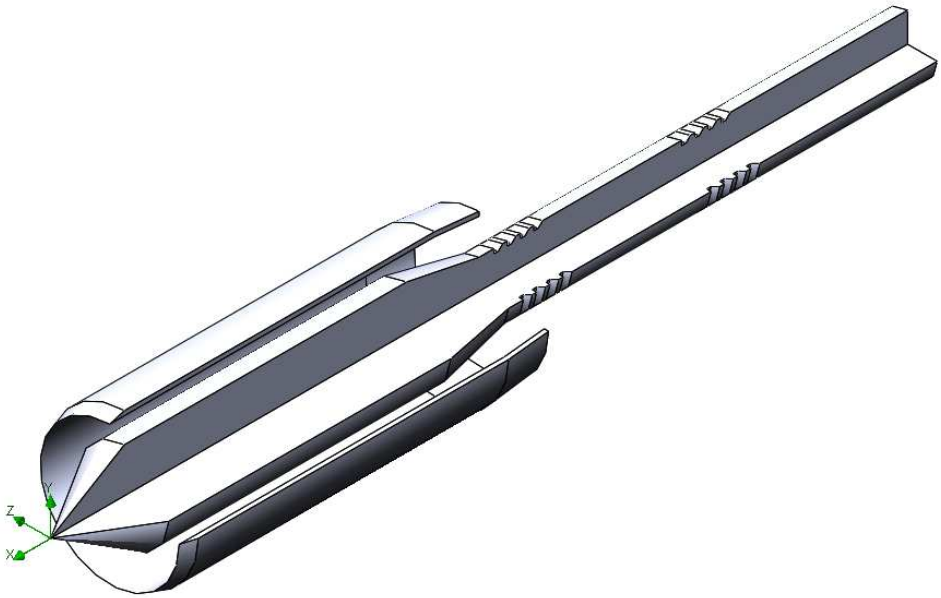


Рисунок 31 − Трехмерная модель по варианту 9 в разрезе

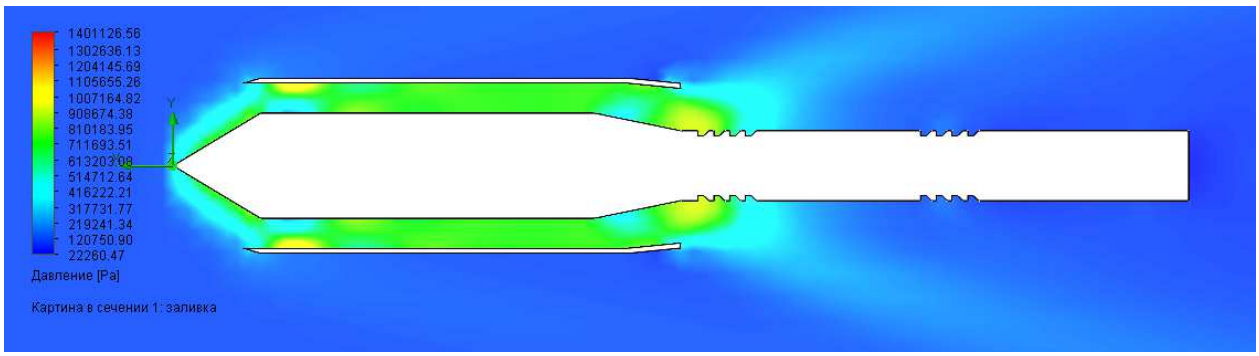


Рисунок 32 − Давление (вариант 9)

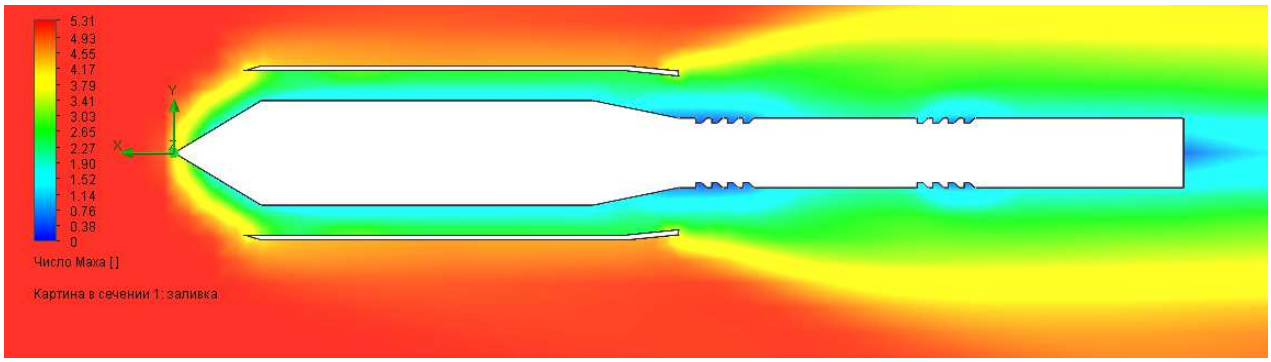


Рисунок 33 − Число Маха (вариант 9)

2.2.10 Вариант 10

Данный вариант (рисунок 34) отличается от варианта 9 (рисунок 31) удлиненной передней частью оболочки двигателя.

Рисунок 34 − Трехмерная модель по варианту 10 в разрезе

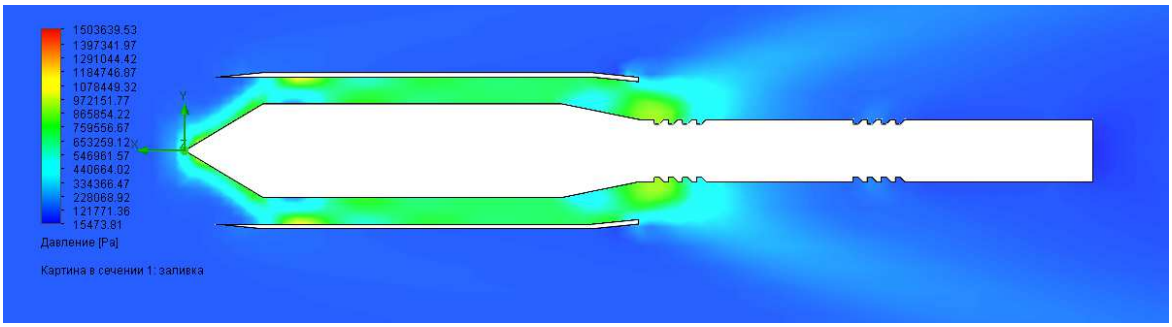


Рисунок 35 – Давление (вариант 10)

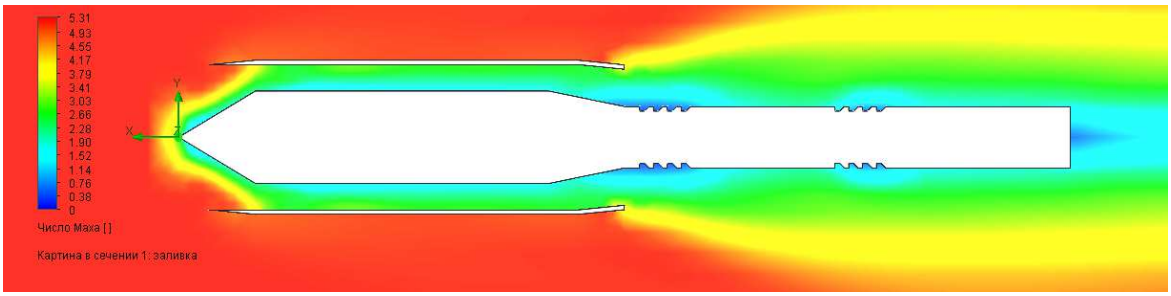


Рисунок 36 − Число Маха (вариант 9)

Сила сопротивления варианта 10 составляет 2636 Н.

Отсутствует ускорение потока воздуха на выходе из сопла (рисунок 36).

2.2.11 Вариант 11

Отличительными признаками варианта 11 (рисунок 37), по сравнению с вариантами 10 (рисунок 34) и 9 (рисунок 31) является:

1. уменьшение угла входного конуса;
2. увеличение площади проходного сечения.

Эти изменения позволяют уменьшить давление и устранить запирание воздуха внутри двигателя.

Рисунок 37 − Трехмерная модель по варианту 11 в разрезе

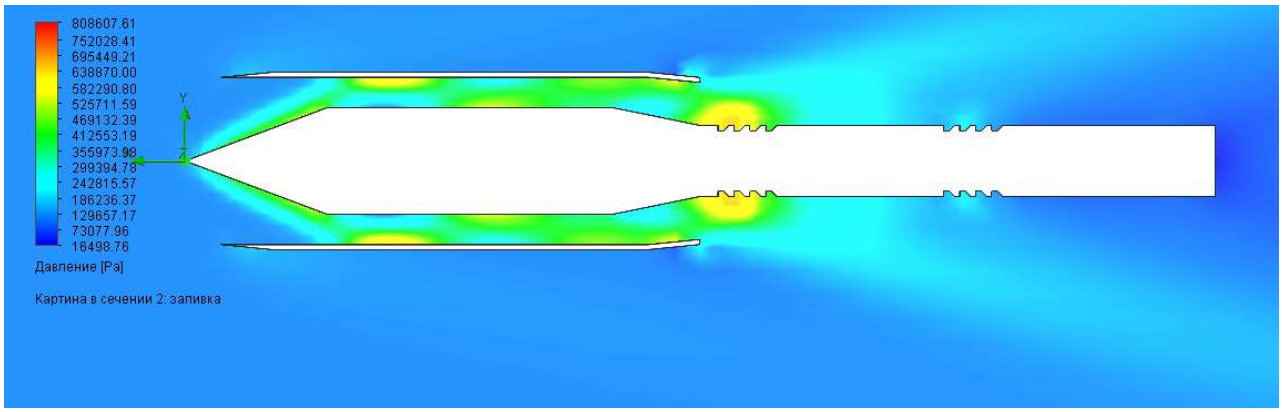


Рисунок 38 − Давление (вариант 11)

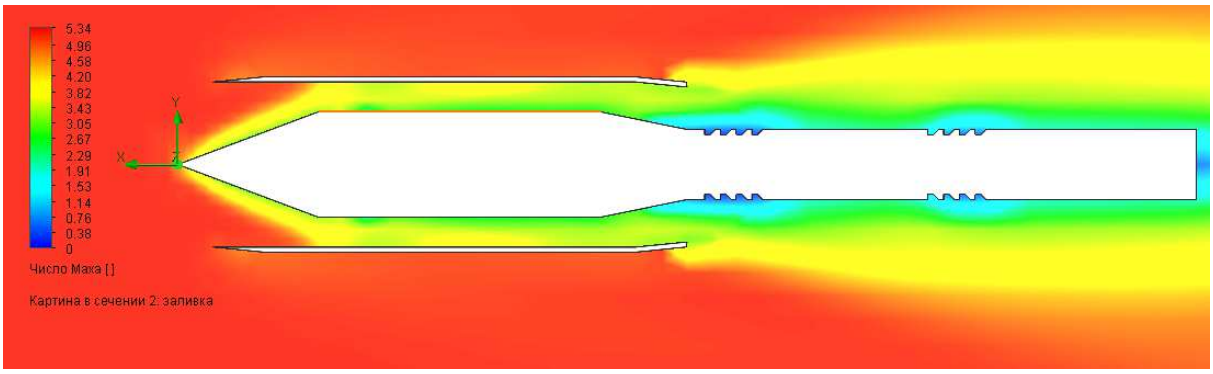


Рисунок 39 − Число Маха (вариант 11)

Сила сопротивления варианта 11 составляет 1773 Н.

Более удлиненный конус с воздухозаборником обеспечивают малую силу сопротивления воздуха.

Слабое ускорение потока на выходе из сопла.

2.2.12 Вариант 12

Отличительной чертой варианта 12 (рисунок 40) является наличие порога для скачка давления

Сила сопротивления варианта 12 составляет 3005 Н.

Использование барьера для образования скачка давления (рисунок 41) привело к увеличению силы сопротивления воздуха. Отсутствует ускорение частиц на выходе из сопла (рисунок 42).

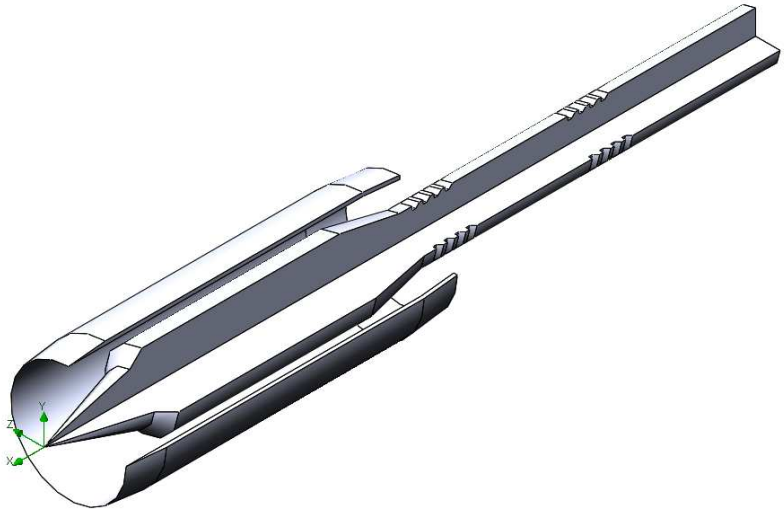


Рисунок 40 − Трехмерная модель по варианту 12 в разрезе

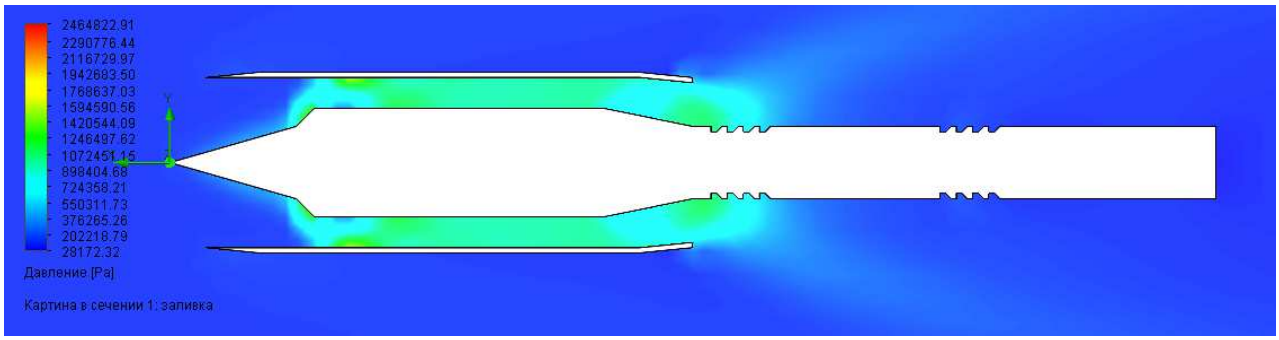


Рисунок 41 − Давление (вариант 12)

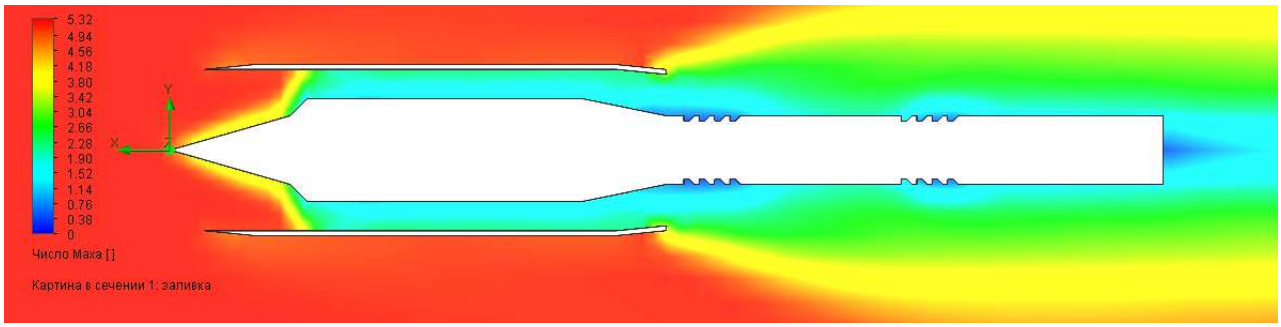


Рисунок 42 − Число Маха (вариант 12)

Как показывают большинство проведенных расчетов аэродинамических свойств, варианты в которых присутствует барьер для образования скачка давления, отрицательно влияет на сопротивление воздуха и в гораздо меньшей мере приносит пользу в качестве повышения температуры воздуха. Благодаря этому замечанию было принято решение отказаться от идеи проектирования вариантов с наличием порога для скачка давления.

2.2.13 Вариант 13

Отличительные признаки варианта 13 (рисунок 43):

1. уменьшение диаметра входа воздухозаборника, предположительно уменьшит давление внутри двигателя из-за меньшего количества частиц воздуха;

2. отсутствует барьер для образования скачка давления (рисунок 44), также уменьшит давление внутри двигателя, обеспечит меньшее сопротивление воздуха.

Сила сопротивления варианта 13 составляет 3283 Н.

Уменьшенный диаметр входа воздухозаборника стал причиной увеличения силы сопротивления воздуха.

Отсутствует ускорение потока воздуха на выходе из сопла (рисунок 45).

Рисунок 43 − Трехмерная модель по варианту 13 в разрезе

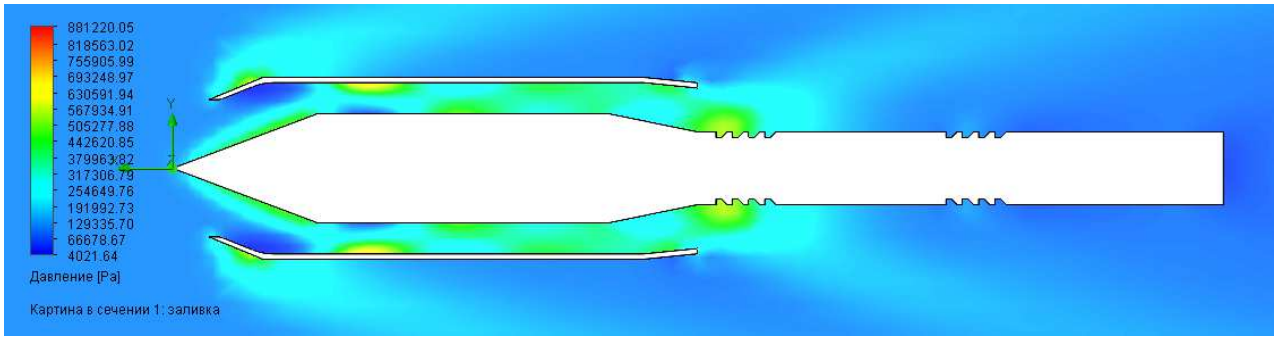


Рисунок 44 − Давление (вариант 13)

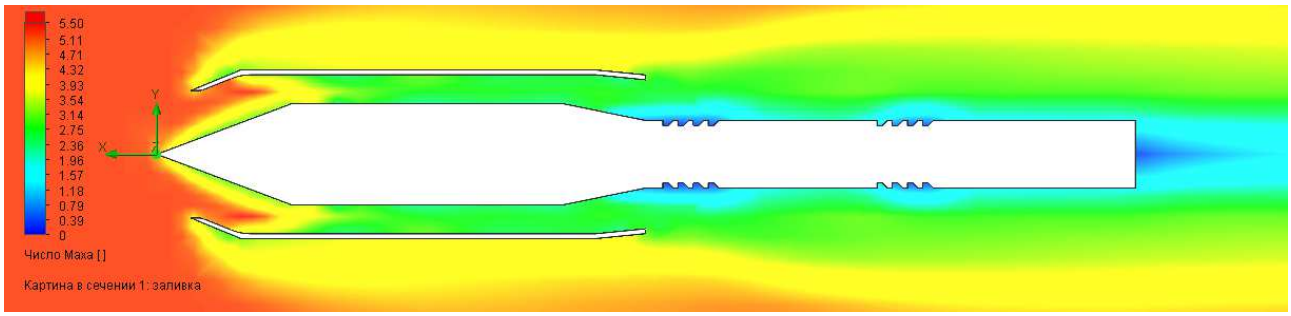


Рисунок 45 − Число Маха (вариант 13)

Как можно заметить, прямой вид передней части оболочки двигателя позволяет снизить сопротивление воздуха. На основе этого замечания, принято решение использовать именно такой вид оболочки двигателя.

2.2.14 Вариант 14

Отличительной чертой варианта 14 (рисунок 46) является наличие критического сечения – это позволит образовать большее торможение воздуха и тем самым повышение температуры для лучшего воспламенения топлива.

Еще одним плюсом такого решения является то, что критическое сечение служит конфузором сопла для замедления потока частиц газовой смеси с дальнейшим диффузором для обеспечения ускорения этого потока – это приведет к образованию реактивной тяги.

Ко всему выше сказанному, еще одной отличительной чертой является прямой вид задней части оболочки двигателя – это приведет к увеличению скорости потока продуктов сгорания на выходе из сопла.

Сила сопротивления варианта 14 составляет 1532 Н.

Наиболее эффективная версия снаряда. Данный профиль обеспечивает малую силу сопротивления воздуха и также обеспечивает ускорение потока воздуха на выходе из сопла (рисунок 48).

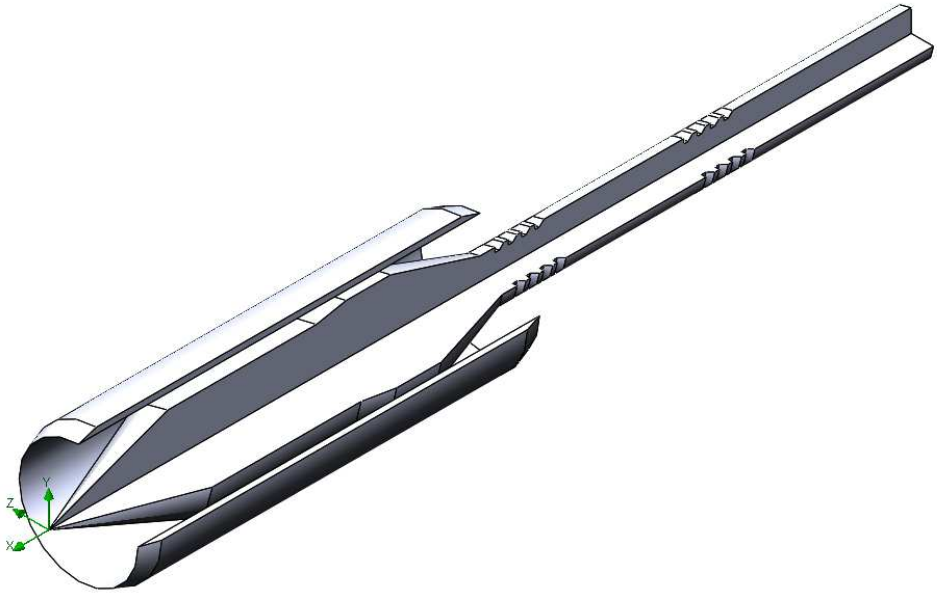


Рисунок 46 − Трехмерная модель по варианту 14 в разрезе

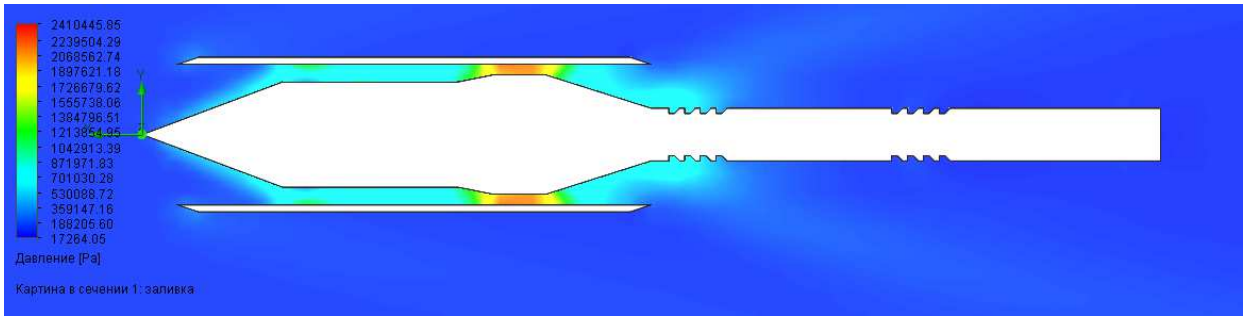


Рисунок 47 − Давление (вариант 14)

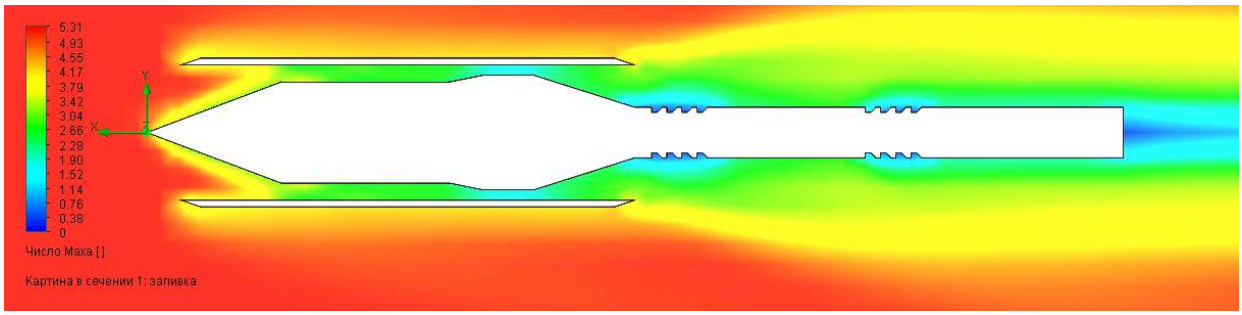


Рисунок 48 − Число Маха (вариант 14)

2.2.15 Вариант 15

Отличительными признаками варианта 15 (рисунок 49) по сравнению с вариантом 14 (рисунок 46):

1. наличие плавных переходов – это улучшит аэродинамические свойства и уменьшит сопротивление;

2. увеличенная площадь проходного сечения;

3. уменьшение критического сечения, за счет утолщения стенки оболочки двигателя;

Пункты 2 и 3 обеспечат большее давление внутри двигателя, тем самым повысится температура и улучшится воспламенение топлива.

Сила сопротивления варианта 15 составляет 14227 Н.

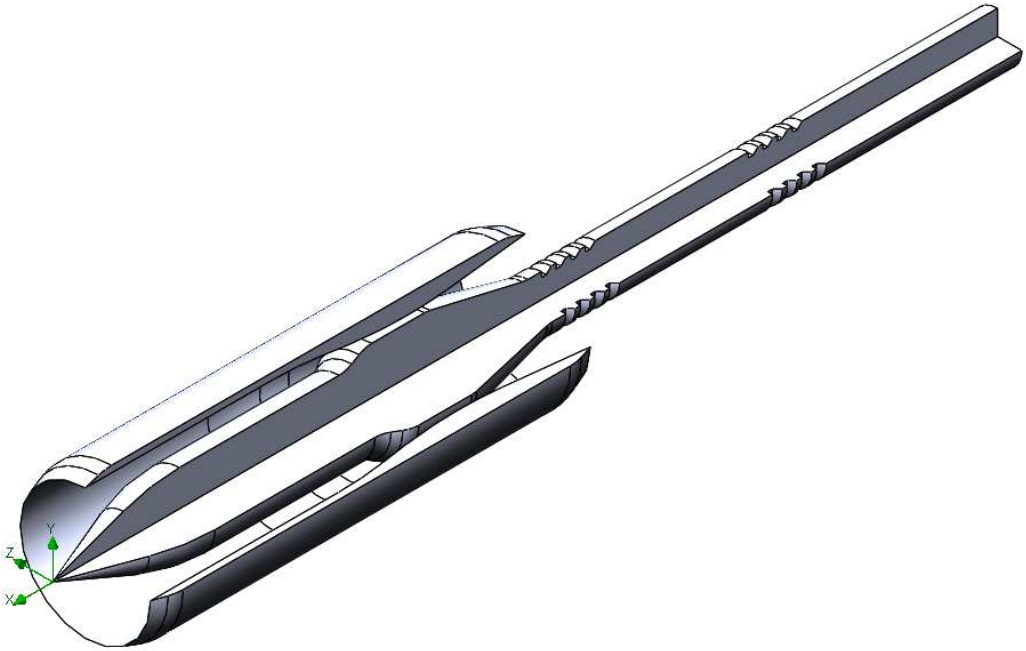


Рисунок 49 − Трехмерная модель по варианту 15 в разрезе

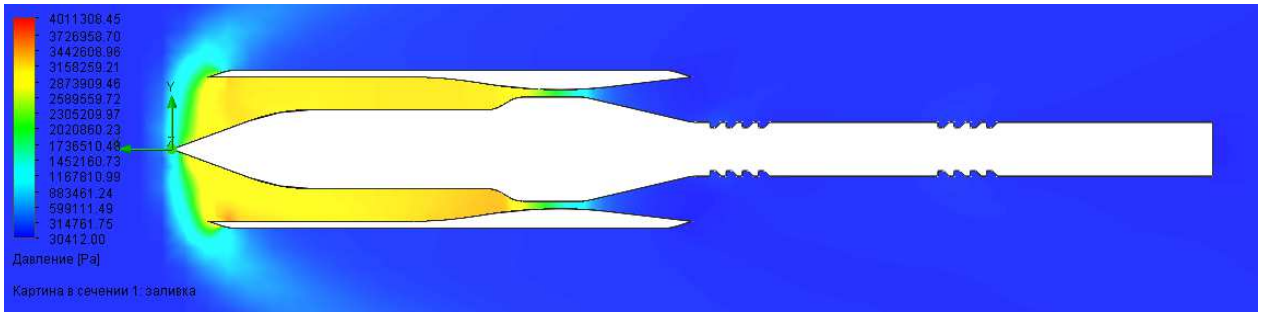


Рисунок 50 − Давление (вариант 15)

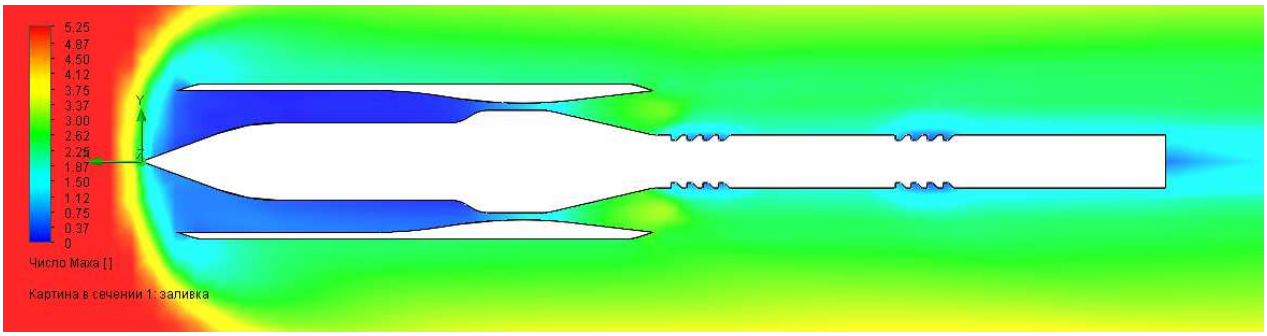


Рисунок 51 − Число Маха (вариант 15)

Уменьшение критического сечения сопла, дало резкое увеличение внутреннего давления в двигателе (рисунок 50) и тем самым, колоссально увеличилась сила сопротивления воздуха.

2.2.16 Вариант 16

Отличительными признаками варианта 16 (рисунок 52) от варианта 15 (рисунок 49) является увеличение критического сечения и более плавного перехода в него от сечения входа.

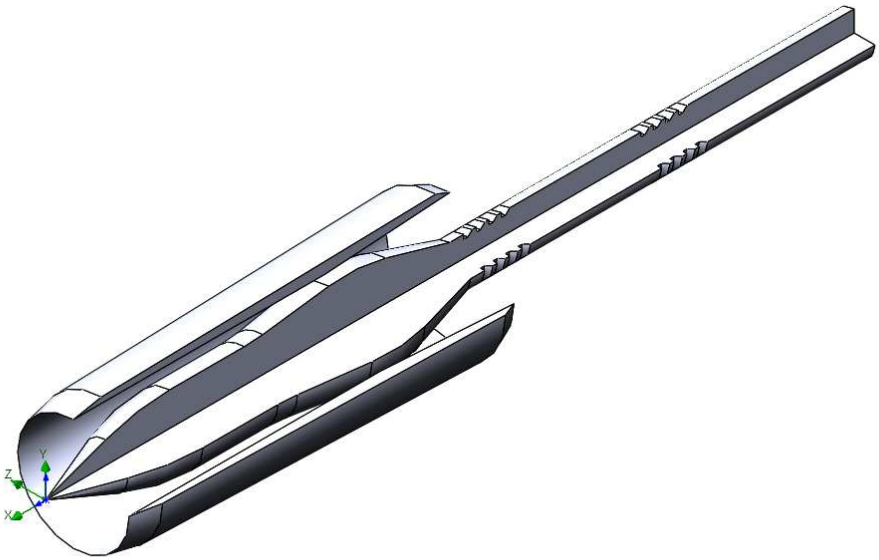


Рисунок 52 − Трехмерная модель по варианту 16 в разрезе

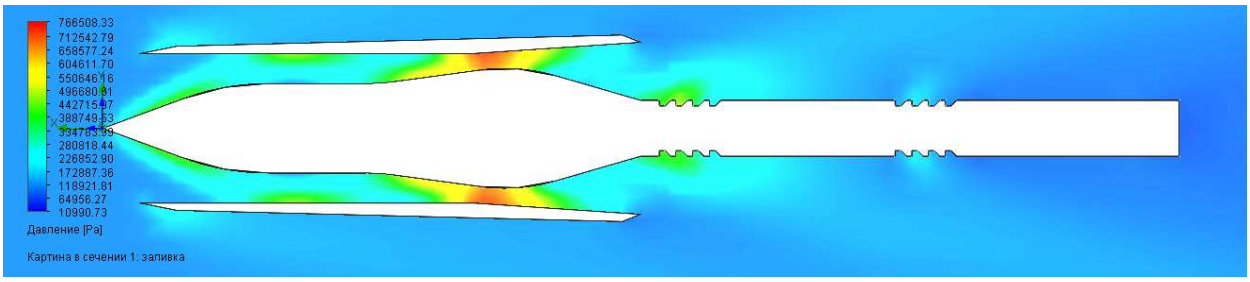


Рисунок 53 − Давление (вариант 16)

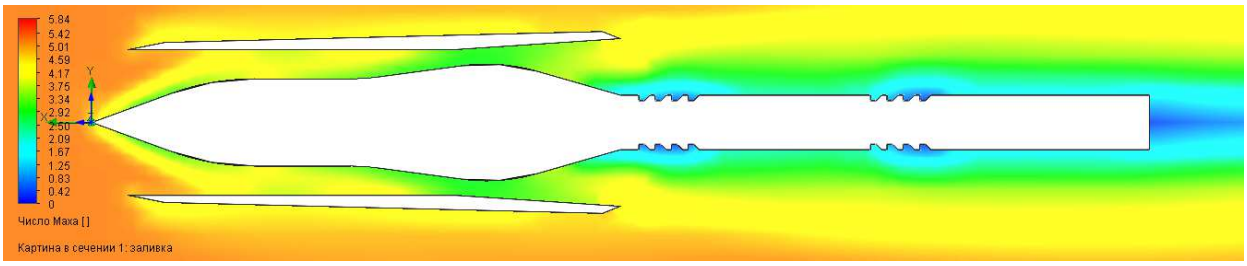


Рисунок 54 − Число Маха (вариант 16)

Сила сопротивления варианта 16 составляет 1119 Н.

Увеличение критического сечения, а также плавные переходы профиля обеспечивают малое сопротивление (рисунок 53). Ошибка такой геометрии заключается в отсутствии возможности крепления топлива.

2.2.17 Вариант 17

Отличительная особенность этого варианта (рисунок 55) от варианта 16 (рисунок 52) – это смещение угла входа в критическое сечение.

Рисунок 55 − Трехмерная модель по варианту 17 в разрезе

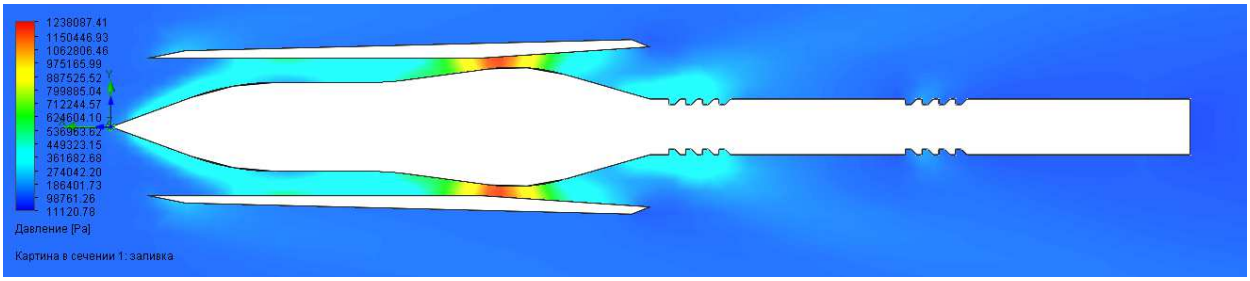


Рисунок 56 − Давление (вариант 17)

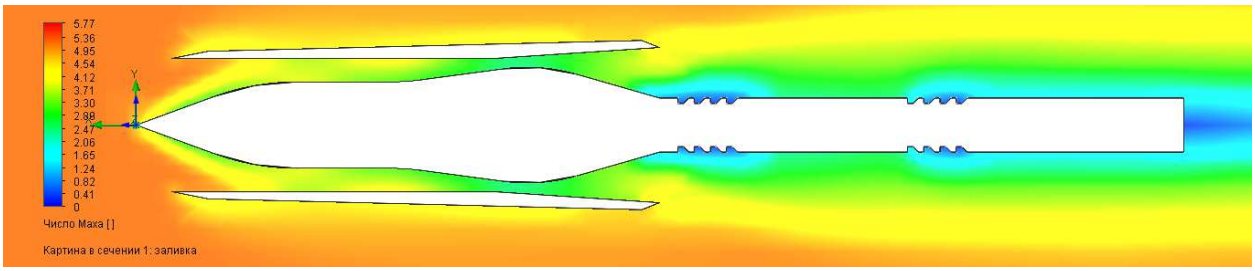


Рисунок 57 − Число Маха (вариант 17)

Сила сопротивления варианта 17 составляет 976 Н.

Смещение угла входа в критическое сечение сопла позволило обеспечить наиболее низкую силу сопротивления воздуха и увеличить скорость потока частиц на выходе (рисунок 57).

2.2.18 Версия 18

Результатом исследования наиболее эффективной геометрии профиля ПВРД стал вариант 18, полная сборка которой отображена на рисунке 58.

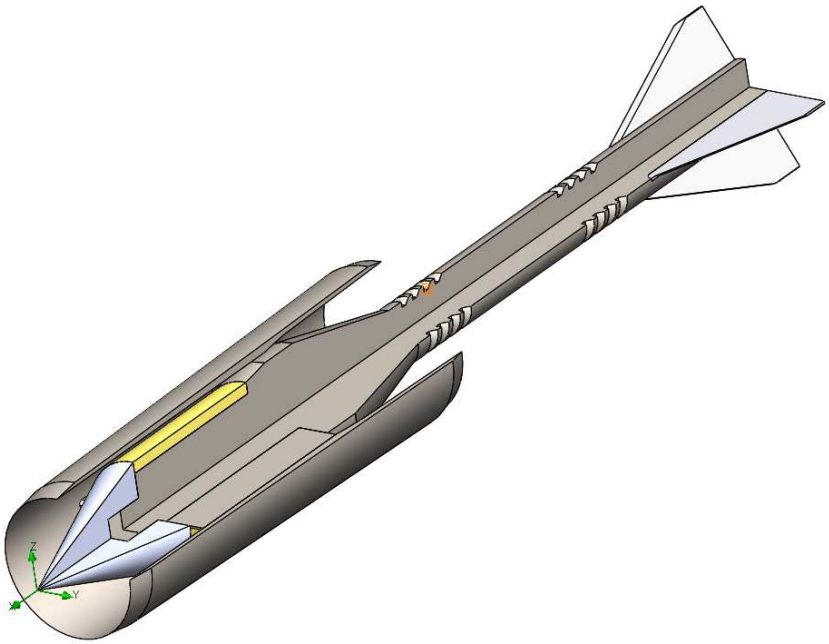


Рисунок 58 – Рабочий вариант БОПС с ПВРД в разрезе

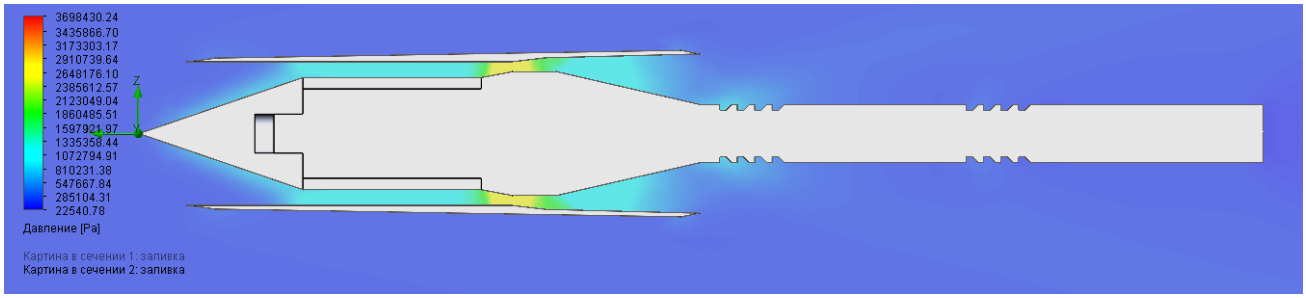


Рисунок 59 − Рабочий вариант БОПС с ПВРД давление

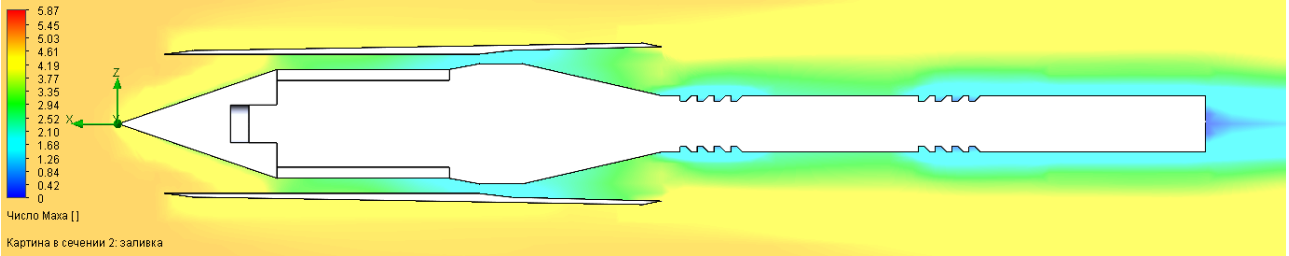


Рисунок 60 − Рабочий вариант БОПС с ПВРД число Маха

Сопротивление составляет 1102 Н. Как видно на рисунках 59–60, такой снаряд имеет малую силу сопротивления, идеально распложенное топливо, а также оптимальное внутренние давление и оптимальное ускорение потока воздуха на выходе из сопла, что и будет обеспечивать реактивную тягу.

2.2.19 Заключительный вариант

В результате проведения расчета силы тяги были внесены некоторые изменения в размещение твердого топлива в ПВРД, заключительный вариант изображен на рисунке 61.

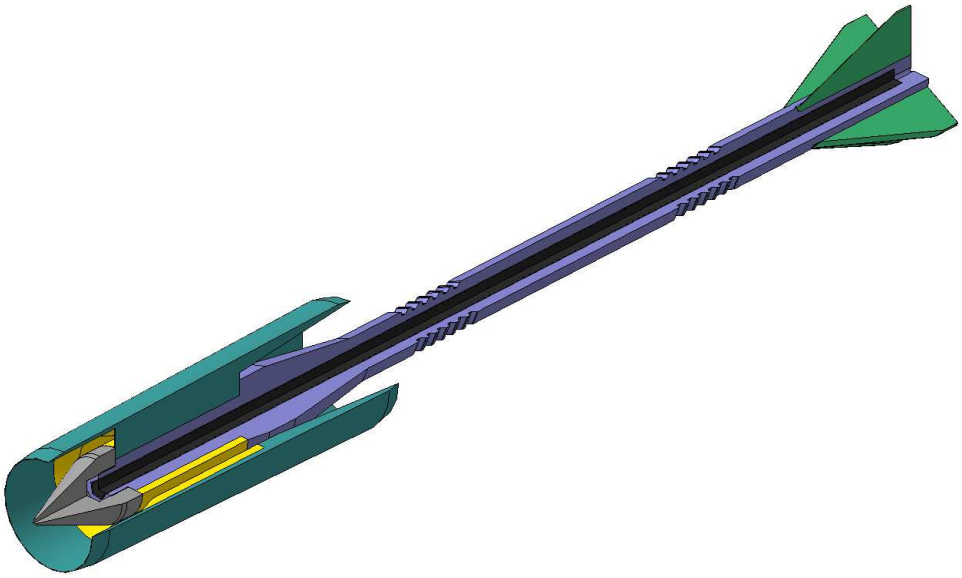


Рисунок 61 − Заключительный вариант БОПС с ПВРД в разрезе

Как видно на рисунке 61 были размещены дополнительные сегменты твердого топлива. Так как в расчете на силу тяги площадь горящего свода имеет важное влияние на саму силу тяги, то было принято решение о размещение дополнительного сегмента и таким образом суммарная площадь горения является постоянной. После таких доработок следует определить силу сопротивления воздуха, и она составляет 1104 Н. Так как данная конструкция не повлияла на значительные изменение силы сопротивления воздуха дальнейшие расчеты были продолжены без изменений.

2.3 Оценка силы тяги ПВРД

Сила тяги ПВРД определяется выражением:

$$P = m_a * (v_e - v) + m_f * v_e \quad (20)$$

где P − сила тяги;

v − скорость полета;

v_e − скорость реактивной струи относительно двигателя;

m_f − расход горючего в секунду.

Расход воздуха в секунду рассчитывается по формуле:

$$m_a = \rho * \frac{dV}{dt} = \rho * S * \frac{dl}{dt} = \rho * S * v, \quad (21)$$

где ρ − плотность воздуха (зависит от температуры и высоты);

$\frac{dV}{dt}$ − объем воздуха, который поступает в воздухозаборник ПВРД за единицу времени;

S − площадь сечения входа воздухозаборника.

Таким образом, мы можем определить расход массы рабочего тела в секунду для идеального случая, когда горючее полностью сгорает и полностью используется кислород воздуха в процессе горения:

$$m = m_a + m_f = m_a + \frac{1}{L} * m_a = m_a * \left(1 + \frac{1}{L}\right), \quad (22)$$

где L − стехиометрический коэффициент смеси горючего и воздуха.

Пользуясь всеми выше написанными формулами можно посчитать силу тяги.

Для начала определим секундный расход воздуха:

$$m_a = \rho * S * v = 1.205 * 0{,}003 * 1800 = 6{,}44 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (23)$$

где $\rho = 1.205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (Плотность воздуха из уравнения Клапейрона при $T =$ 0°C).

$$S = \pi * r^2 = 3{,}14 * 0{,}0615^2 = 0{,}003\text{м}^2 \quad (24)$$

$v = 1800\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ − скорость движения снаряда (по условию).

По условию уравнения я определю секундный расход горючего, которое будет соответствовать секундному расходу воздуха.

$$m_f = \frac{1}{L} * \frac{dm_a}{dt} = \frac{1}{14.7} * 6{,}44 = 0{,}439\,\frac{\text{кг}}{\text{с}} \tag{25}$$

где L = 14,7; что соответствует реактивному топливу "РТ" (таблица 1).

Таблица 1 − Стехиометрический состав горючей смеси, выраженный как отношение окислителя к горючему

Горючее	Отношение масс окислителя/горючего, Lo
ТС-1	14,7
РТ	14,7
Т-6	14,6

Скорость реактивной струи рассчитывается через систему дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка[12]:

$$\left.\begin{aligned} v \cdot \frac{d\rho}{dX} + \rho \cdot \frac{dv}{dX} = f_1 \\ v \cdot \frac{dv}{dX} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dX} = f_2 \\ v \cdot \frac{dP}{dX} + kp \cdot \frac{dv}{dX} = f_3 \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

где

$$\left.\begin{aligned} f_1 = \frac{(\rho_\Pi - \rho)u}{F} \cdot \frac{dS}{dX} - \frac{\rho v}{F} \cdot \frac{dF}{dX} \\ f_2 = \frac{-\tau\Pi + v\rho_\Pi u \cdot \frac{dS}{dX}}{F\rho} \\ f_3 = \left(\frac{k-1}{2} \cdot v^2 + gRT_v - \frac{P}{\rho_\Pi}\right) \cdot \frac{\rho_\Pi u \cdot \frac{dS}{dX}}{F} - \frac{kPv}{F} \cdot \frac{dF}{dX} + \frac{(k-1) \cdot v\tau\Pi}{F} \end{aligned}\right\} \tag{27}$$

После решения данной системы уравнений получаем скорость реактивной струи равной 1840 м/с. Подставляя это значение в формулу расчета силы тяги и получим:

$$P_\text{т} = 9.324 * (1840 - 1800) + 0.439 * 1840 = 1181\ \text{Н} \tag{28}$$

2.4 Расчет силы сопротивления воздуха при движении БОПС

Для определения силы сопротивления воздуха воспользуемся программой Solidworks, в которой можно задать параметры среды, которой мы будем обдувать тело потоком воздуха и определять тем самым такие важные характеристики, как давление, скорость потока, силу сопротивления воздуха и многое другое.

Для построения закона силы сопротивления воздуха от скорости движения снаряда, обдуем снаряд на разных скоростях, и полученные данные отобразим на графике.

Для построения закона силы сопротивления воздуха, требуется обработать полученные данные и выразить зависимость между скоростью и силой сопротивления воздуха. Для этого мы воспользуемся методам интерполяции через специальные функции в программе Mathcad.

Для начала оформим полученные значения силы сопротивления воздуха от скорости движения снаряда в таблицу 2 и отобразим на графике изменение этого закона.

Таблица 2 – Значения силы сопротивления воздуха от скорости движения снаряда

Скорость снаряда $V, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Сила сопротивления воздуха, R_c, Н
1800	1102
1700	979
1600	836
1500	705
1400	603
1300	534
1200	2717
1100	2029

Поскольку для решения баллистических задач мы воспользуемся программой Mathcad, то удобнее всего воспользоваться методом интерполяции и обработать значения с помощью функции linterp(vx,vy,x). Эта функция возвращает линейно интерполированное значение в точке x для векторов данных vx и vy одинакового размера.

Таким образом, мы получим график, изображенный на рисунке 62.

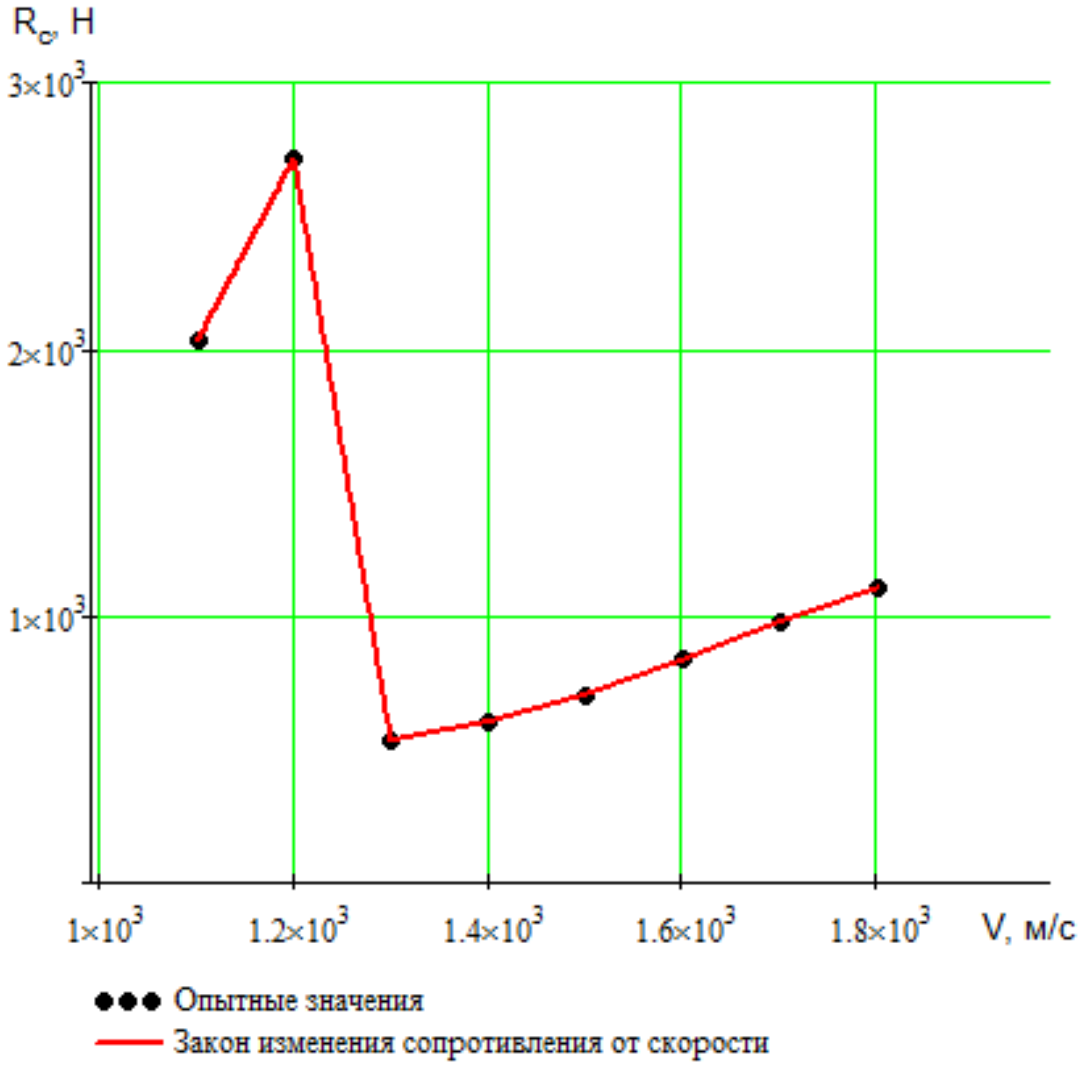


Рисунок 62 - График изменения силы сопротивления воздуха от скорости движения снаряда

Как видно на рисунке 62, график имеет вид строгого прохождения прямых через опытные точки, для дальнейшего удобства работы с ним, воспользуемся функцией lspline, которая возвращает вектор коэффициентов кубического сплайна с линейными конечными точками, соответствующий независимым данным в векторе или матрице vx и зависимым данным в vy. Этот вектор используем как первый аргумент функции interp. и получим график, изображенный на рисунке 63.

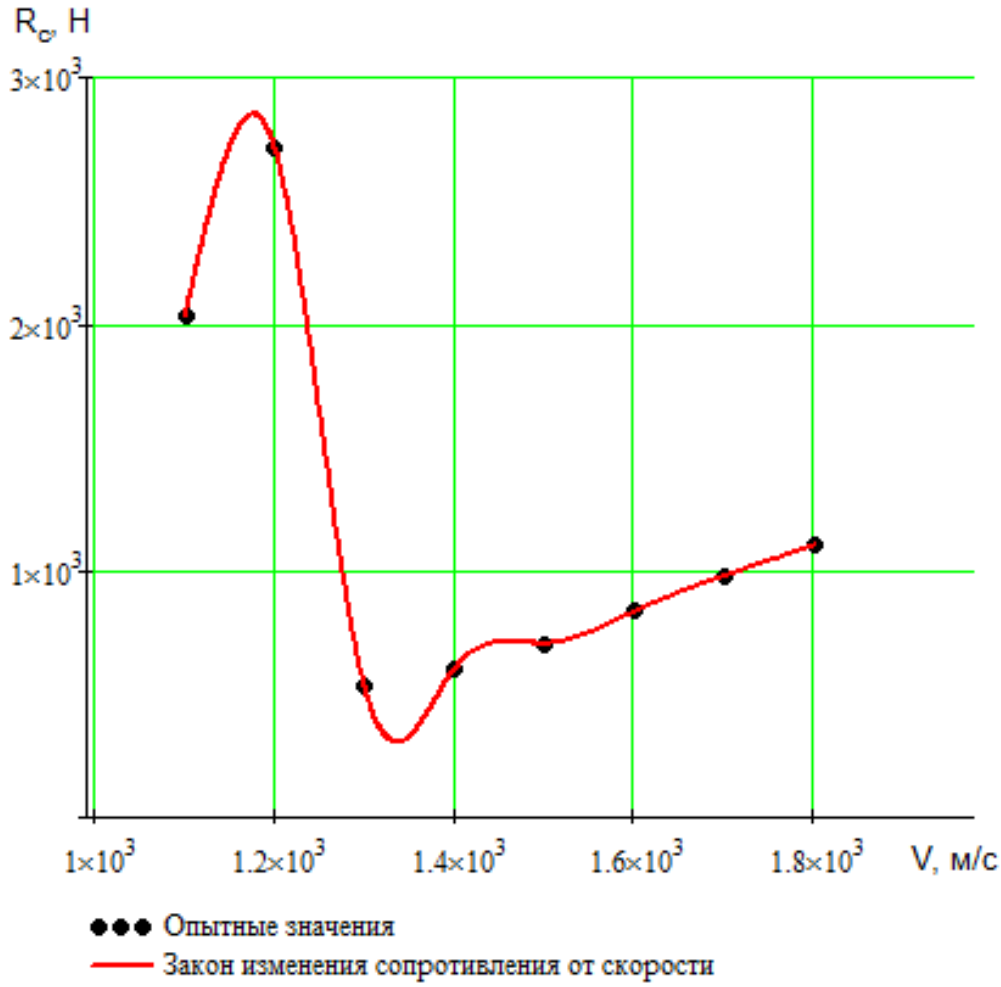


Рисунок 63 - График изменения силы сопротивления воздуха от скорости движения снаряда с использованием функции lspline

Данный график нам показывает, что если при вылете из канала ствола скорость снаряда, в идеальном случае, достигает $1800\frac{м}{с}$, то этой скорости соответствует значение силы сопротивления воздуха 1102 Н. При снижении скорости на траектории, сила сопротивления падает по закону, который отображен на графике. Далее мы видим, что на скорости приблизительно $1250\frac{м}{с}$, сила сопротивления начинает расти. Такое явление связано с геометрией снаряда, а именно с геометрией конуса конфузора на входе воздухозаборника ПВРД. На реактивных самолетах для борьбы с этим явлением используют регулируемый конус воздухозаборника. Но так как для нашего снаряда это явление не является возможным из-за более высоких скоростей полета, а именно в пределах $(1300 \ldots 1800)\frac{м}{с}$, то таким образом можно обозначить граничные условия по этим пределам и получить уже рабочий график для силы сопротивления воздуха от скорости полета нашего БОПС с ПВРД.

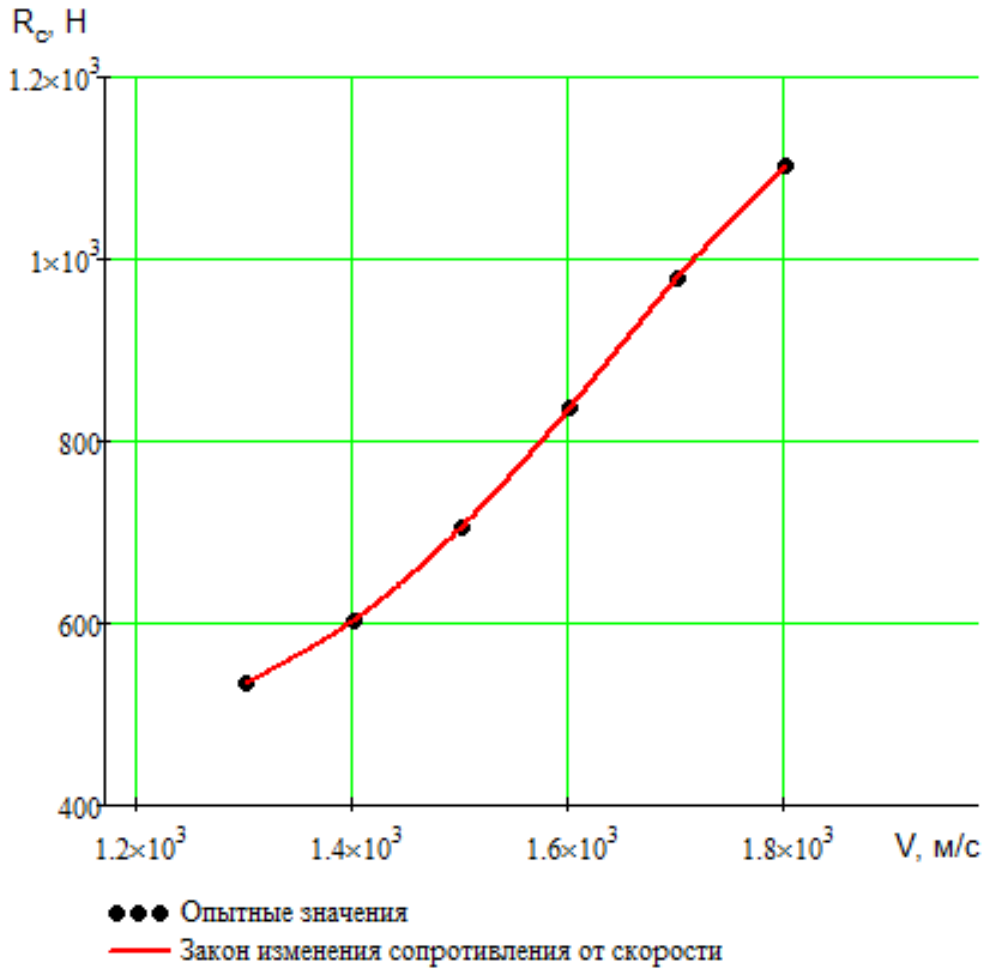


Рисунок 64 - Закон изменения силы сопротивления воздуха от скорости полета снаряда с граничными условиями

2.5 Расчет внешней баллистики

В этом разделе будут проведены расчеты по внешней баллистике, которая включает влияние характеристик среды на движение снаряда, зависимость скорости, дальности полета от многих факторов.

Исходные данные:

Начальная скорость снаряда: $V_0 = 1800\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

Угол бросания: $\theta = 0.18°$;

Вес снаряда: $q = 6770$г;

Атмосферное давление: $h_{\text{атм}} = 760$ мм рт. ст;

Температура воздуха: $T_{\text{атм}} = 15$°C.

Сила тяги: $P_{\text{т}} = 1181$ Н

Решение:

Вектор начальных данных:

$$y = \begin{bmatrix} \theta \\ V_0 \\ X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \tag{30}$$

где $X_0 = 0$ − начальная дальность;

$Y_0 = 0$− начальная высота

Система уравнений:

$$D(t, y) = \begin{cases} -g * \frac{\cos(y_0)}{y_1} \\ -\frac{R_c(y_1)}{g} + \frac{P_т}{g} - g * \sin(y_0) \\ y_1 * \cos(y_0) \\ y_1 * \sin(y_0) \end{cases} \tag{31}$$

В системе (31) представлены 4 уравнения: 1) угол касательной траектории, относительно горизонта 2) ускорение снаряда; 3) Дальность полета x; 4) Высота траектории y.

В данной системе уравнения были использованы значения силы тяги и силы сопротивления воздуха, взятые из ранее проведенных расчетов. Как видно из второго уравнения в качестве силы сопротивления воздуха была взята функция, зависящая от скорости, таким образом, мы можем, задав разные значения скорости получать более точные результаты.

Решить такую систему можно методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Так как мы рассчитываем в программе Mathcad, в ней имеются стандартные функции *rkfixed* или *Rkadapt*. С помощью них можно рассчитать все элементы траектории, задав интервал времени *t*. Однако время, затраченное на полет снаряда нам заранее неизвестно, поэтому расчет проводится в несколько итераций. Удобнее всего, проводить расчет, останавливая его при выполнении каких-либо, заранее заданных, условий, это может быть заданная дальность, заданная высота на траектории и многое другое. Для этого в программе Mathcad мы можем запрограммировать данный метод Рунге-Кутты 4-го порядка и в качестве условий выполнения поставим ограничение по высоте траектории. Точка падения снаряда равна $y = 0$,

следовательно, дальнейшее движение снаряда приведет к отрицательным значениям высоты. Так как у нас начальная координата также $y = 0$, то задавать расчет с таким граничным условием, является неверным. В связи с этим поставим условие $y_{min} = -0.001$ м, исключив из этого расчета участок траектории с отрицательными значениями высоты. Такое условие позволяет провести расчет до точки падения снаряда и, следовательно, итерационный процесс будет исключен.

Программа для решения системы уравнений представлена в Приложении Б.

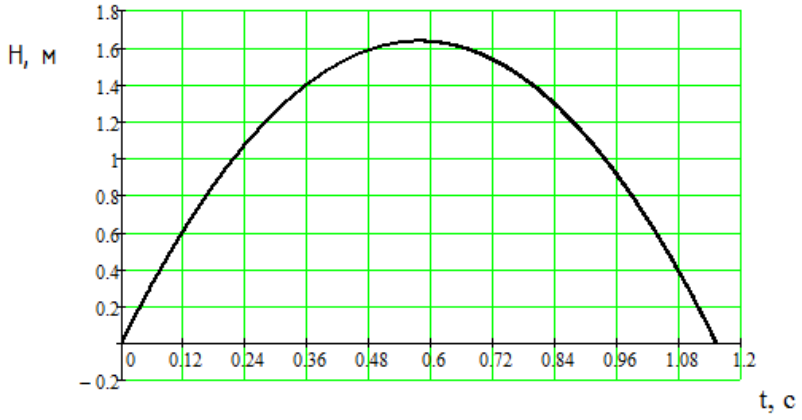


Рисунок 65 − График превышения траектории по времени

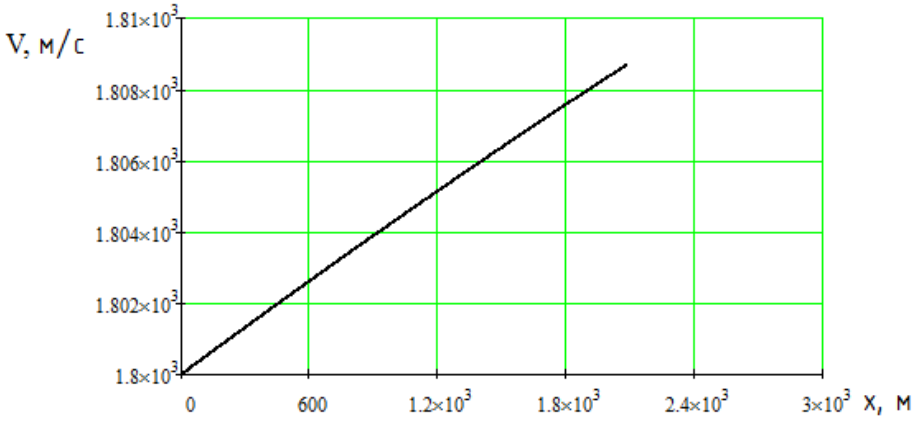


Рисунок 66 − График распределения скорости снаряда на траектории

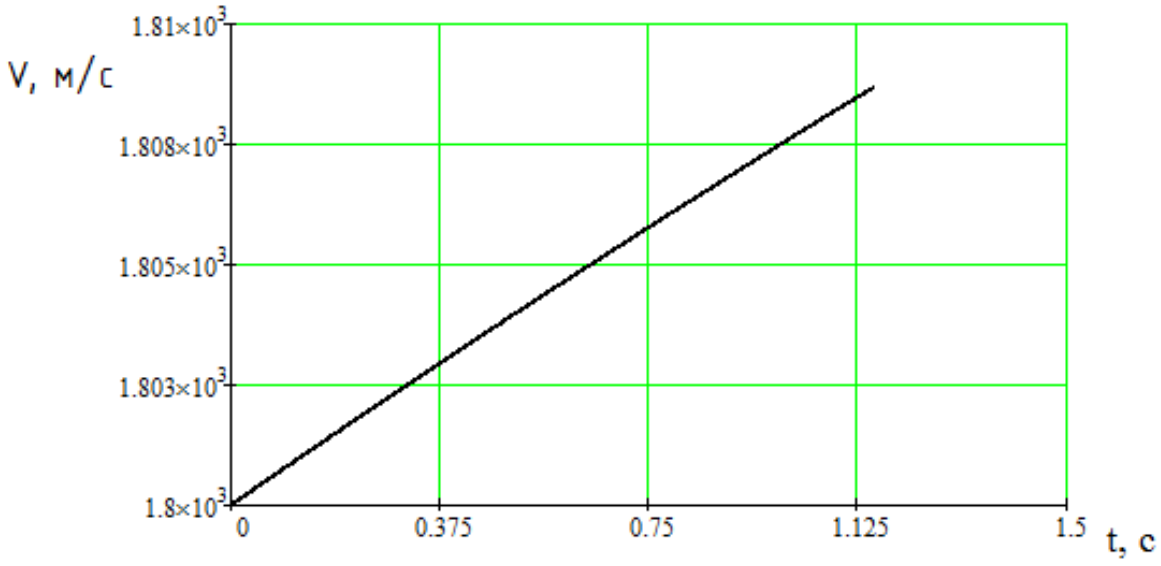


Рисунок 67 − График распределения скорости снаряда по времени

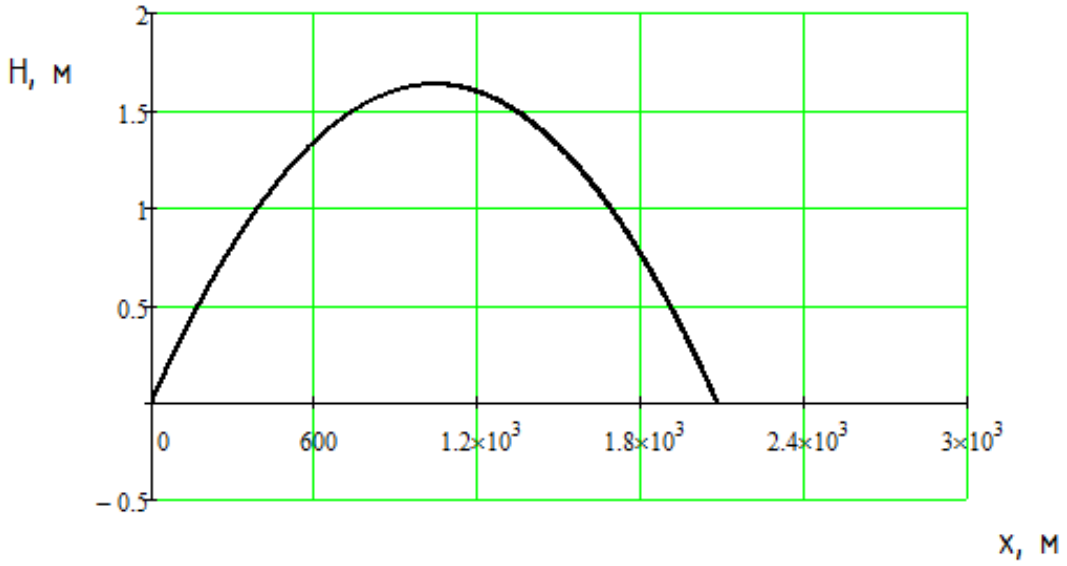


Рисунок 68 − График траектории снаряда

По графикам мы видим, что максимальная высота приблизительно равна $H_{max} = 1{,}6$ м, дальность $L = 2100$ м, скорость в момент падения $V_l = 1809\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, общее время полета снаряда на максимальную дальность $t_l = 1{,}15$ с.

2.6 Расчет внутренней баллистики

В этом разделе будут проведены расчеты по внутренней баллистике, которая включает в себя явления и процессы, протекающие при выстреле во время сгорания порохового заряда и движения снаряда в канале ствола. При этом рассматривается система, состоящая из орудия, снаряда и метательного (порохового) заряда. Целью расчетов является подбор порохового заряда для обеспечения на-

чальной скорости снаряда в рамках заданного максимального давления пороховых газов.

Исходные данные:

Характеристики орудия:

Калибр: $d = 1.25$ дм;

Объем каморы заряжания, $W_0 = 12$ дм^3;

Длина пути снаряда в канале ствола: $l_d = 60$ дм;

Площадь сечения канала ствола: $s = 1.227$ дм^2.

Характеристики порохового заряда:

Коволюм пороховых газов: $\alpha_г = 0.93 \frac{дм^3}{кгс}$;

Плотность пороха: $\delta = 1.61 \frac{кгс}{дм^3}$;

Сила пороха: $f = 0.99 * 10^6 \frac{кгс*дм}{кг}$;

Вес порохового заряда: $\omega = 8.4$ кгс;

Импульс давления газов: $I_к = 1000 \frac{кгс*с}{дм^2}$;

Показатель расширения пороховых газов: $\theta = 0.22$.

Коэффициенты формы пороха:

Для одноканального зерна:

$k = 1.35$;

$\lambda = -0.261$;

$\mu = 0.002$

Условия заряжания:

Вес снаряда: $q = 6.5$ кгс;

Давление воспламенения: $p_в = 3 * 10^3 \frac{кгс}{дм^2}$;

Давление форсирования: $p_0 = 3 * 10^4 \frac{кгс}{дм^2}$;

Коэффициент бутылочности: $\Psi = 1{,}2$.

Скорость снаряда к началу первого периода (для унитарного выстрела): $v_1 = 0 \frac{м}{с}$

Сумма коэффициентов второстепенных работ: $a = 1.03$

Коэффициент учета уширения каморы: $b = 0.333$;

Решение:

Характеристики условий заряжания:

Ускорение свободного падения: $g = 98.1\,\frac{\text{дм}}{\text{с}^2}$;

Масса снаряда: $m = \frac{q}{g} = 0.066$ кг;

Плотность заряжания: $\Delta = \frac{\omega}{W_0} = 0.7\,\frac{\text{кгс}}{\text{дм}^3}$;

Относительный вес заряда: $Q = \frac{\omega}{q} = 1.292$

Коэффициент фиктивности массы: $\phi = a + b * Q = 1.46$

Коэффициент веса снаряда: $c_q = \frac{q}{d^3} = 3.328\,\frac{\text{кгс}}{\text{дм}^3}$;

Поперечная нагрузка пули (снаряда): $\text{A} = \frac{q}{s} = 5.299\ \frac{\text{кгс}}{\text{дм}^2}$;

Параметр соответствия пороха калибру: $M = \frac{I_\text{к}}{d} = 800\ \frac{\text{кгс*с}}{\text{дм}^3}$;

Параметр заряжания (параметр Дроздова): $B = \frac{g*s^2*I_\text{к}^2}{f*\omega*\phi*q} = 1.87$.

Предварительный период:

Относительная часть сгоревшего пороха:

По массе (объему): $\psi_0 = \frac{\frac{1}{\Delta}-\frac{1}{\delta}}{\left(\frac{f}{p_0-p_\text{в}}+\alpha_\text{г}-\frac{1}{\delta}\right)} = 0.022$;

По толщине горящего свода: $z_0 = 0.022$;

Время предварительного периода: $t_0 = I_\text{к} * \frac{1-\alpha_\text{г}*\Delta}{f*\Delta} * \ln\left(\frac{p_0}{p_\text{в}}\right) = 1.16 * 10^{-3}$ с.

Первый и второй периоды:

Увеличенный объем каморы заряжания вследствие распатронирования (для унитарного заряжания): $W_0 = 12$ дм^3;

Уменьшенная плотность заряжания (из-за увеличения W_0): $\Delta = 0.7\,\frac{\text{кгс}}{\text{дм}^3}$;

Вектор начальных данных для построения системы уравнений в программе Mathcad:

$$x = \begin{bmatrix} p_0 \\ 0 \\ V_1 \\ z_0 \\ \psi_0 \end{bmatrix} \tag{32}$$

Запишем условия для уравнений:

$$C_1 = \begin{cases} \dfrac{x_0\left(f\frac{\omega\, k}{s\, I_k}\left(1+2\lambda x_3+3\mu x_3^2\right)\left(1+\left(\alpha_{\text{г}}-\frac{1}{\delta}\right)\frac{x_0}{f}\right)-x_2(1+\theta)\right)}{\frac{W_0-\frac{\omega}{\delta}-\omega x_4\left(\alpha_{\text{г}}-\frac{1}{\delta}\right)}{s}+x_1}, \text{при } x_3 \le 1 \\ \dfrac{-x_0 x_2(1+\theta)}{\frac{W_0-\frac{\omega}{\delta}-\omega x_4\left(\alpha_{\text{г}}-\frac{1}{\delta}\right)}{s}+x_1}, \text{ при } x_3 > 1 \end{cases} \quad (33)$$

$$C_2 = \begin{cases} \frac{x_0}{I_k}, \text{при } x_3 \le 1 \\ 0, \text{при } x_3 > 1 \end{cases} \quad (34)$$

$$C_3 = \begin{cases} k\left((1+2\lambda x_3)+3\mu x_3^2\right)\frac{x_0}{I_k}, \text{при } x_4 \le 1 \\ 0, \text{при } x_4 > 1 \end{cases} \quad (35)$$

Система уравнений:

$$C(t,x) = \begin{cases} C_1 \\ x_2 \\ s \\ x_0 \dfrac{}{\left(1+\frac{1}{3}Q\left(1-\frac{1-\Psi^{-2}}{\left(1+\frac{x_2 s}{W_0}\right)^3}\right)\right)m} \\ C_2 \\ C_3 \end{cases} \quad (36)$$

Программа расчета показана в Приложении В.

Результаты расчета записываются в матрице $Y = (t \quad p \quad l \quad v \quad z \quad \Psi)$.

Энергетические характеристики выстрела:

Коэффициент могущества: $C_\varepsilon = c_q \frac{1800*10^{-4}}{2*g} = 516.107 \frac{\text{т*м}}{\text{дм}^3}$;

Коэффициент использования единицы веса заряда: $\eta_\omega = \frac{16990*10^{-4}}{2*g*Q} = 113.261 \frac{\text{т*м}}{\text{кгс}}$;

Коэффициент полезного действия порохового заряда: $r_{\text{д}} = \eta_\omega * 10^4 * \frac{\theta}{f} = 0.252$

Результаты расчетов показаны на рисунках 69 – 76.

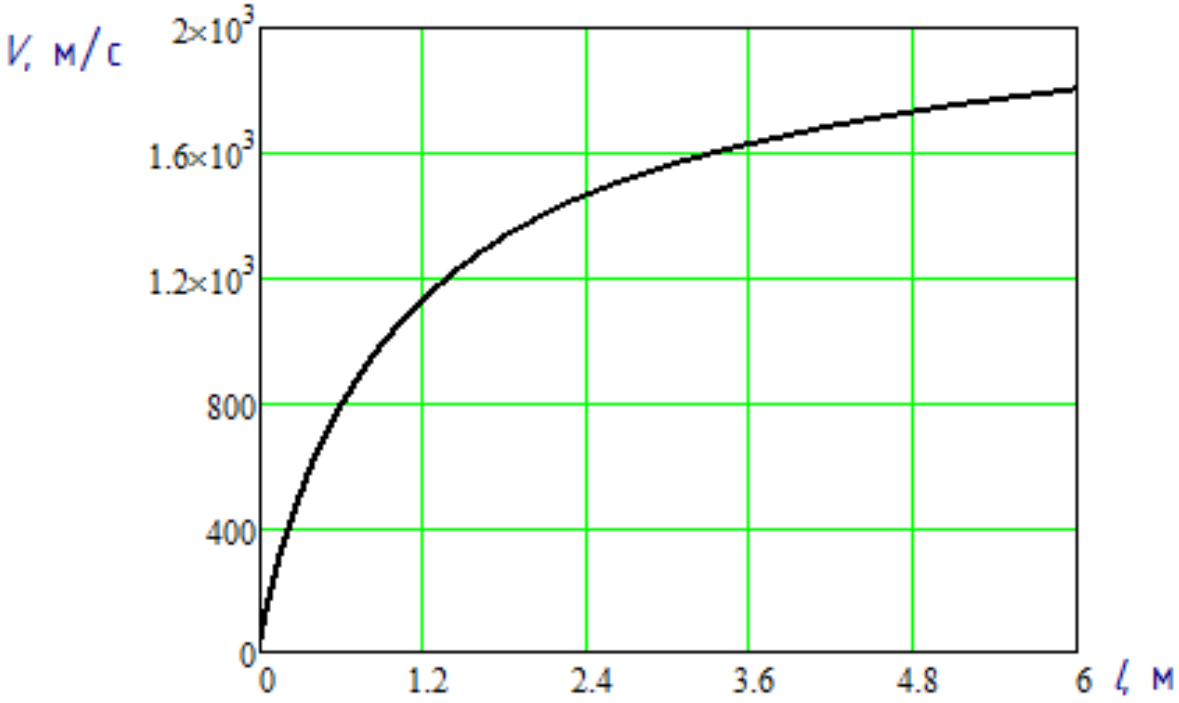


Рисунок 69 − График изменения скорости снаряда по длине ствола

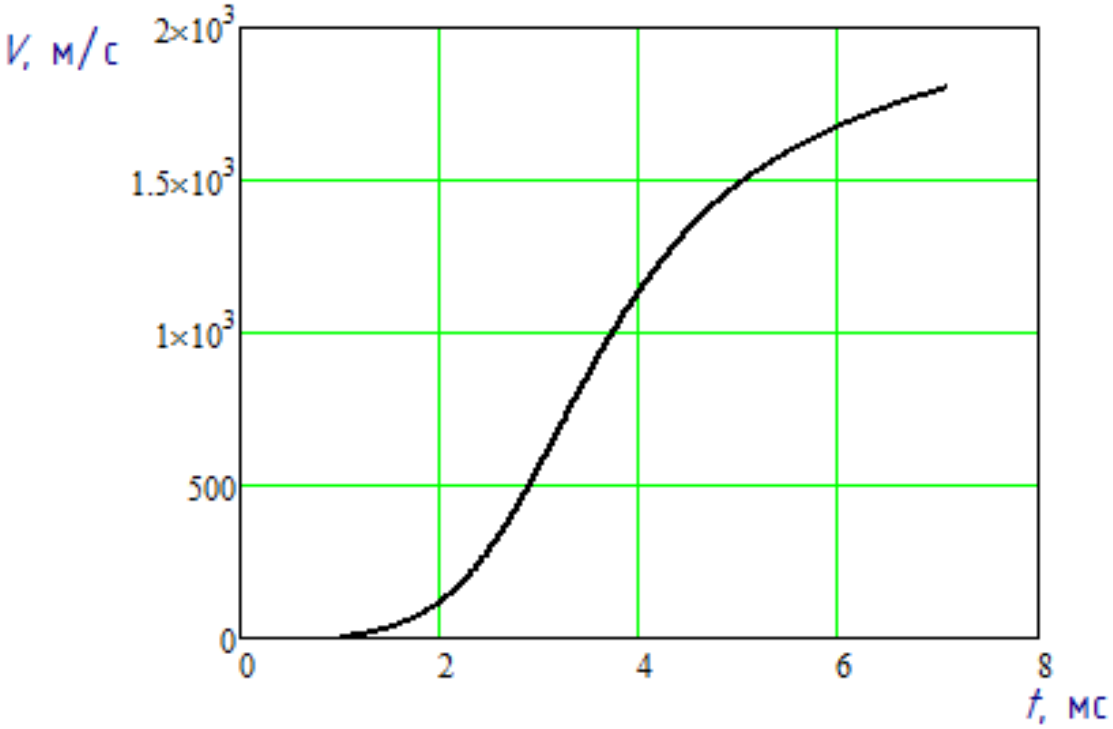


Рисунок 70 – График изменения скорости снаряда по времени

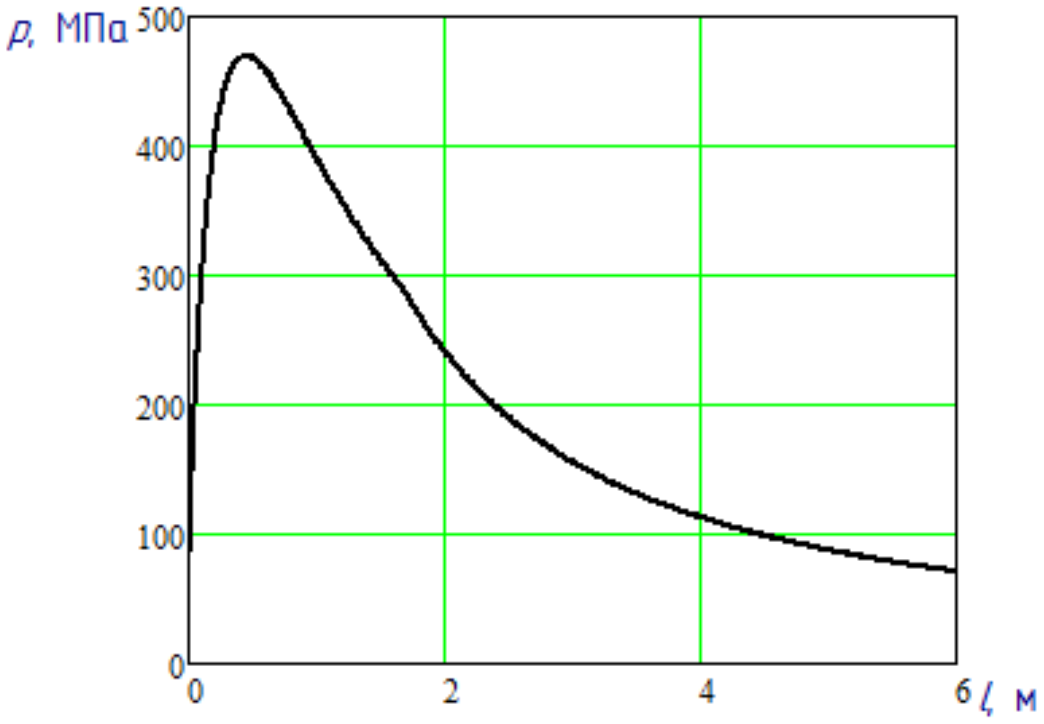


Рисунок 71 − График изменения давления пороховых газов по длине ствола

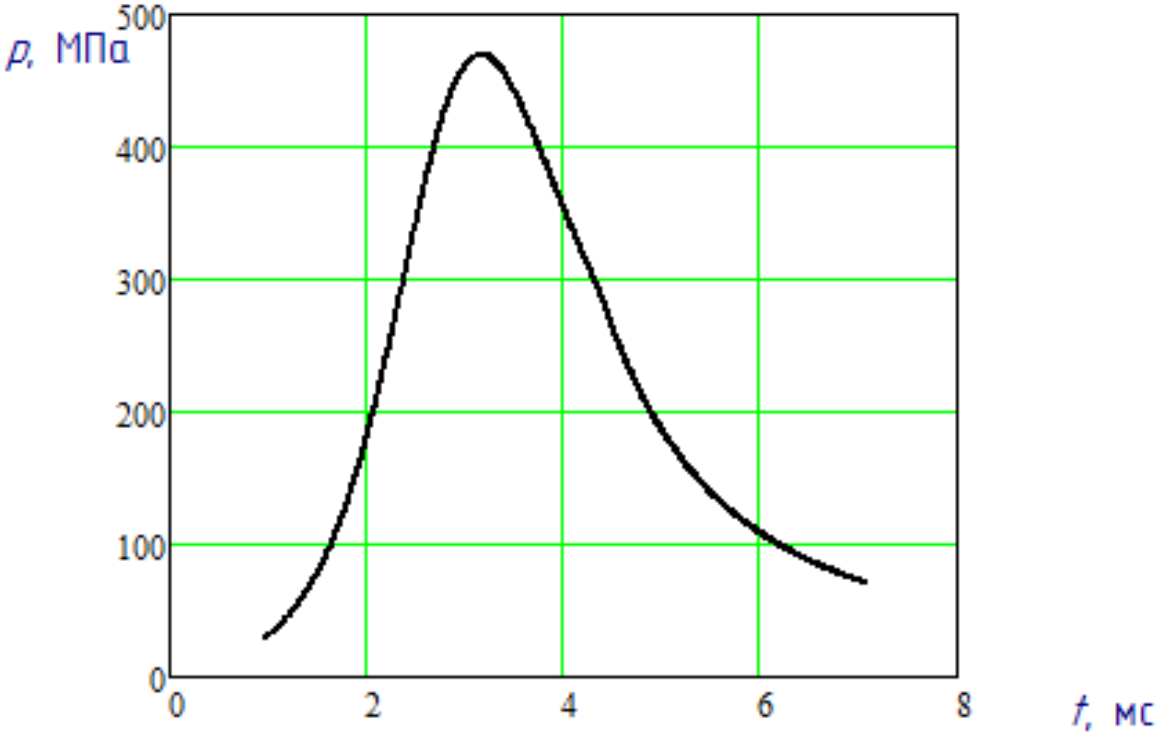


Рисунок 72 − График изменения давления пороховых газов по времени

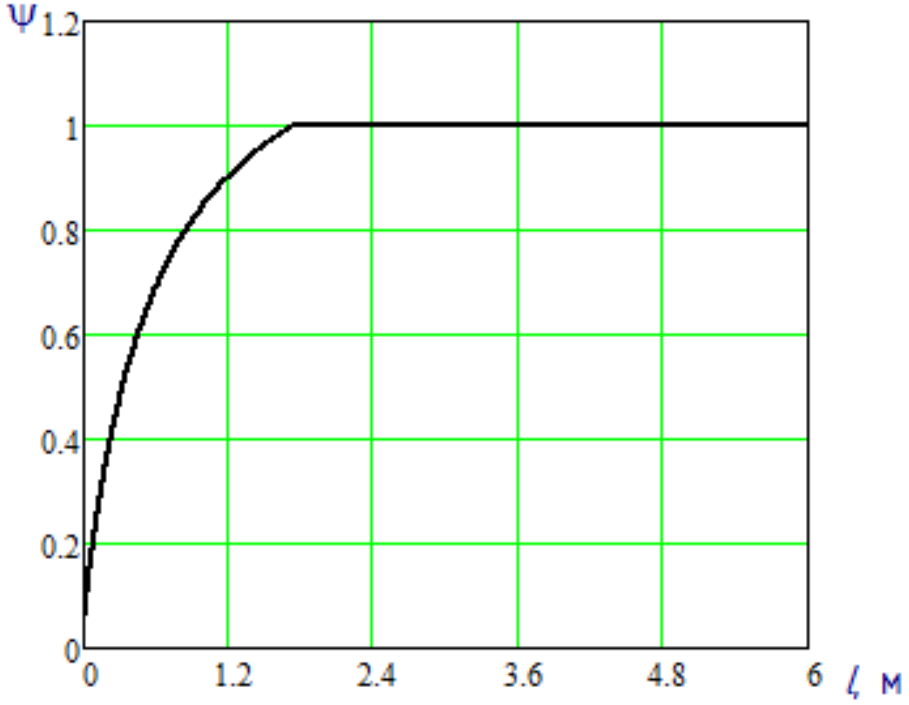


Рисунок 73 − График изменения объемной доли сгоревшего заряда по длине ствола

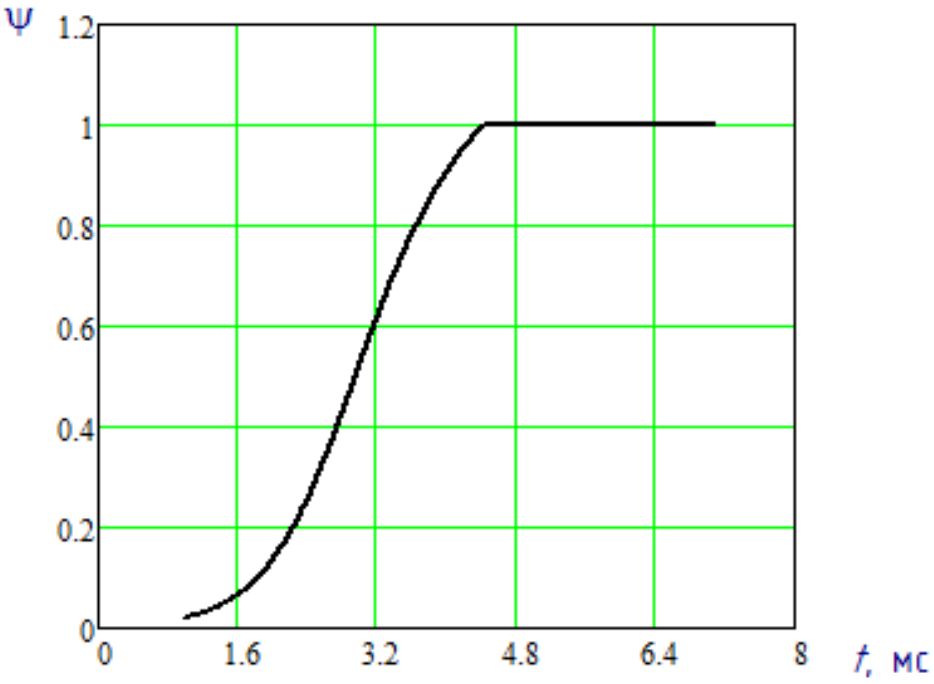


Рисунок 74 − График изменения объемной доли сгоревшего заряда по времени

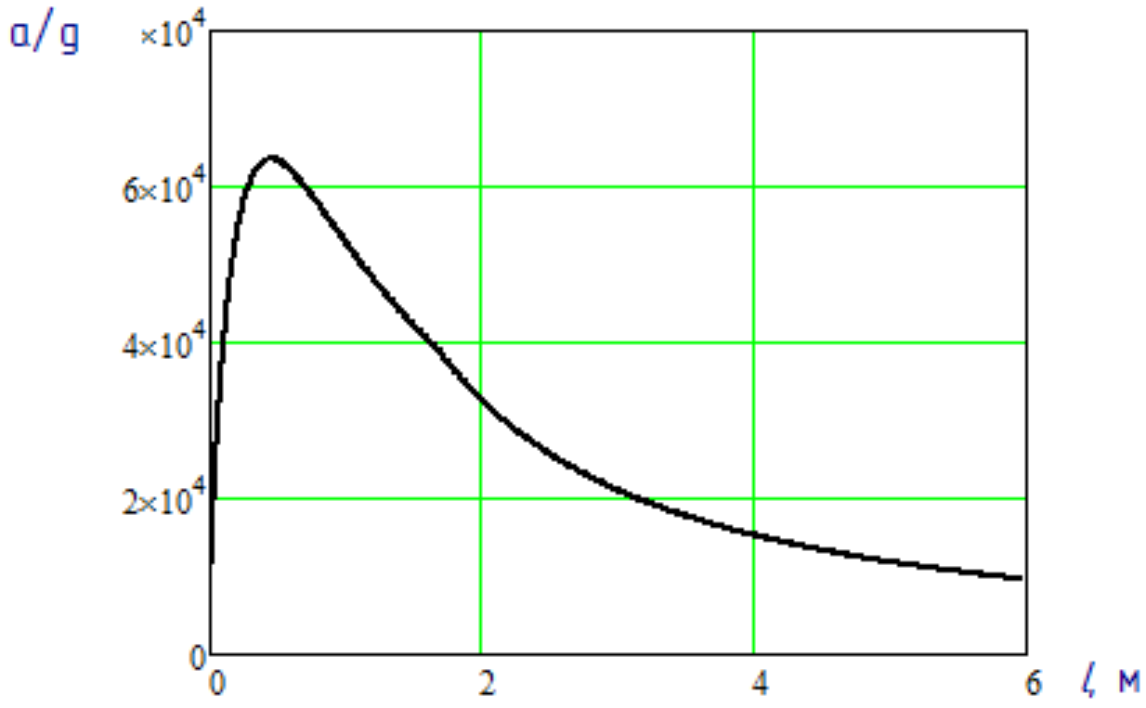


Рисунок 75 − График перегрузки a/g по длине ствола

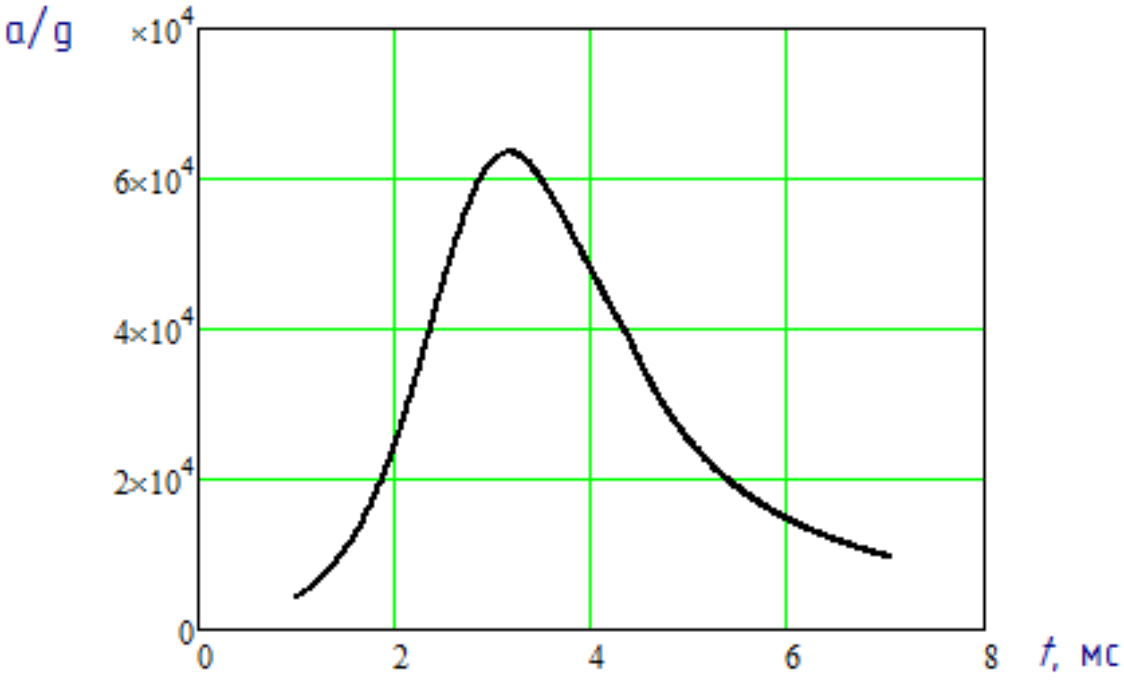


Рисунок 76 − График перегрузки a/g по времени

3 Экономический раздел

Любое исследование, требует учета затрат, которые можно вычислить экономической оценкой и дипломный проект не без исключения. В ходе выполнения были сделаны некоторые затраты, которые были рассчитаны и выражены экономическими параметрами, показывающие эффективность проведения всей работы.

Для начала расчета требуется составить календарный план выполнения дипломной работы, который представлен в таблице 3.

Таблица 3 − Календарный план выполнения дипломной работы

Этап	Период выполнения
1. Определение темы дипломной работы	01.09.16 – 30.09.16
2. Изучение литературы	01.10.16 – 15.10.16
3. Формулировка целей и пути решения поставленных задач	16.10.16 – 20.10.16
4. Проектирование	21.10.16 – 30.11.16
5. Обработка полученных результатов	01.12.16 – 20.12.16
6. Анализ результатов, выводы, оформление работы	21.12.16 – 10.01.17

После определения календарного плана, нужно определить затраты на выполнения дипломной работы. Следующим пунктом определить затраты на амортизацию, электроэнергию и накладные расходы. Потом уже оценить социально-экономический эффект от применения результатов дипломной работы.

3.1 Затраты на выполнение дипломного проекта

Для вычисления затрат на выполнение дипломного проекта определяется продолжительность выполнения работы в календарных днях ($Д_К$). Продолжительность выполнения работы составляет 120 рабочих дней. Время использования вычислительной техники (ВТ) принимается 400 часов ($T_{ПК}$) [7].

Затраты на выполнение дипломной работы складываются из:

1) заработной платы;

2) затрат на электроэнергию;

3) накладных расходов.

3.1.1 Заработная плата дипломника

Заработная плата дипломника вычисляется по формуле:

$$S_{\text{дип}} = \text{Стипендия} \cdot \text{Количество месяцев дипломирования}$$

$$S_{\text{дип}} = 4200 \cdot 4 = 16800 \text{ руб.} \quad (37)$$

3.1.2 Заработная плата руководителя

Заработную плату руководителя определяем по формуле

$$S_{\text{Р}} = \frac{\text{Оклад}}{H_{\text{нагр}}} \cdot T_{\text{конс}} \cdot \text{РК} \quad (38)$$

где $T_{\text{конс}}$− 31 час - количество часов руководства;

РК − 1,15 – районный коэффициент

$$H_{\text{нагр}} = 90 \text{ ч}$$

$$\text{Оклад} = \text{Ставка} \cdot \text{Доплата за должность} + \text{Доплата за степень}$$

Оклад руководителя проекта – 14978 руб.

Оклад консультанта по БЖД – 14978 руб.

Оклад консультанта по экономической части проекта - 14978 руб.

Подставляем полученные данные:

$$S_{\text{р}} = \frac{14978}{90} \cdot 31 \cdot 1{,}15 = 5933 \text{ руб.}$$

3.1.3 Заработная плата консультантов

Заработная плата консультанта по экономике:

$$S_{\text{КЭ}} = \frac{14978}{90} \cdot 3{,}5 \cdot 1{,}15 = 670 \text{ руб.}$$

Заработная плата консультанта по БЖД:

$$S_{\text{БЖД}} = \frac{14978}{90} \cdot 3{,}5 \cdot 1{,}15 = 670 \text{ руб.}$$

3.1.4 Заработная плата по обслуживанию (косвенная)

В этой статье учитываются затраты на обслуживающий персонал. Под обслуживающим персоналом подразумевается инженер компьютерного класса, отвечающий за техническое обслуживание машин [8].

Заработная плата инженера с учетом районного коэффициента:

$$S_{\text{косв}} = \frac{\text{Ставка}}{10 \text{ ПК} \cdot 25 \cdot 8 \text{ часов}} \cdot \text{Т}_{\text{пк}} \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}3 \qquad (39)$$

где 10 ПК – норма обслуживания вычислительной техники одним инженером;

25 – среднегодовая продолжительность месяца в рабочих днях;

8 – продолжительность рабочего дня, ч;

$\text{Т}_{\text{пк}}$ – время использования вычислительной техники, ч;

1,15 – районный коэффициент (15% - 1,15);

1,3 – дополнительный коэффициент общего обслуживания рабочего места.

По инструкции обслуживанием десяти компьютеров занимается один инженер, ставка которого составляет 7501 руб.

$$S_{\text{косв}} = \frac{7501}{10 \cdot 25 \cdot 8} \cdot 400 \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}3 = 2221 \text{ руб.}$$

3.1.5 Отчисления на заработную плату

Взносы в государственные внебюджетные фонды рассчитываются по основной и косвенной заработной плате и составляют 30,2%.

Таким образом, отчисления на заработную плату составляют:

$$О_{ЗП} = (S_{Р} + S_{КЭ} + S_{БЖД} + S_{косв}) \cdot 0{,}302 \quad (40)$$

$$О_{ЗП} = (5933 + 670 + 670 + 2221) \cdot 0{,}302 = 2867 руб$$

В сводной таблице 4 представлены общие затраты на заработную плату.

Таблица 4 − Затраты на заработную плату

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Доля затрат в общем объеме, %
1. ЗП дипломника	16800	57,61
2. ЗП руководителя	5933	20,35
3. ЗП консультантов	1340	4,60
4. ЗП обслуживания (косвенная)	2221	7,62
5. Отчисления на ЗП	2867	9,83
Итого	29161	100,00

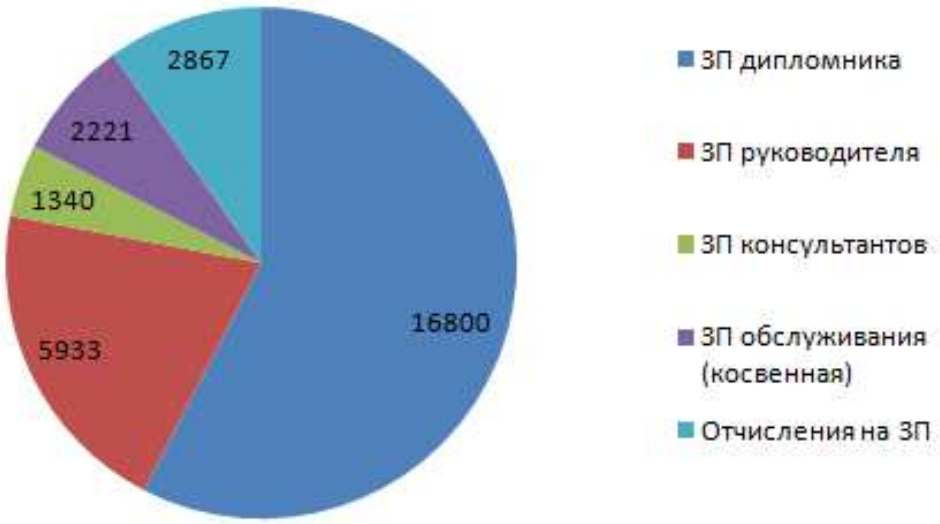


Рисунок 77− Диаграмма затрат на заработную плату

3.2 Затраты на электроэнергию и накладные расходы

3.2.1 Затраты на электроэнергию

Это оплата электроэнергии, затраченной при работе на ПК и при использовании электрооборудования.

$$S_{ЭЛ} = 0{,}4 \cdot Т_{пк} \cdot 4 \cdot 1{,}3 \quad (41)$$

По документации совокупная потребляемая мощность ПК (системный блок, монитор) не превышает 0,4 кВт; $Т_{пк} = 400$ ч; стоимость потребления электроэнергии для предприятий – 4 руб./кВт*ч.

$$S_{ЭЛ} = 0{,}4 \cdot 400 \cdot 4 \cdot 1{,}3 = 832 \text{ руб.}$$

3.2.2 Накладные расходы

К накладным расходам относятся расходы на оформление документации дипломной работы, которые представлены в таблице 5

Таблица 5 - Накладные расходы

Наименование вида затрат	Цена, руб.
1. Бумага для оформления пояснительной записки ДР	250
2. Расходный материал принтера, графопостроителя (доля стоимости тонера)	202
3. Канцелярские принадлежности	100
Итого	552

Все сводные затраты на выполнение дипломной работы представлены в таблице 6.

Таблица 6 − Суммарные затраты на выполнение дипломной работы

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Доля затрат в общем объёме, %
1. Заработная плата	29161	91,90
2. Амортизация оборудо-	287,97	1,92

вания		
3. Затраты на электроэнергию	832	4,14
4. Накладные расходы	308	2,04
5. Прочие затраты	7620,75	25,00
Итого	15026,16	100

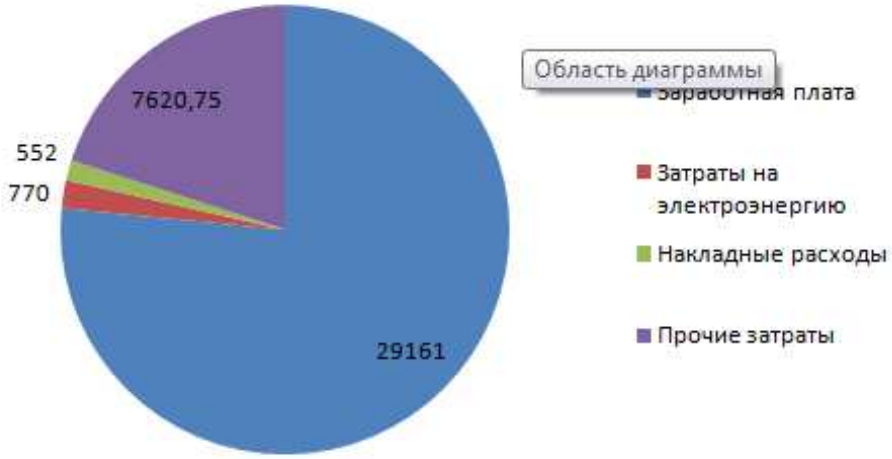


Рисунок 78 − Суммарные затраты на выполнение дипломной работы

3.3 Научный эффект от применения результатов дипломного проекта

Целью всего проекта является разработка БОПС с ПВРД в качестве силы тяги компенсирующей силу сопротивления воздуха.

Положительный результат исследований, означает, что использование силы тяги на таких снарядах может увеличить скорость снаряда в момент пробития и тем самым будет увеличена кинетическая энергия снаряда, что дает большее пробитие.

Экономическая эффективность таких снарядов заключается в том, как было сказано ранее, что у них увеличивается показатель пробития, тем самым, если ранее для поставленной задачи необходимо было использовать два снаряда без ПВРД, то с ПВРД всего один, в таком случае экономическая эффективность будет положительной. Хотя конечно требуется определить себестоимость такого снаряда по сравнению со снарядами без ПВРД.

Все проведенные расчеты на показатель расхода боеприпасов имеют вероятностный характер и при этом округляются в большую сторону до целого числа. Например, если для поставленной задачи необходимо использовать 2 боеприпаса без ПВРД, а с ПВРД результатом расчета станет, к примеру, число 1,2, то всегда округляется до большего целого числа, т.е. 2 боеприпасов. Таким образом, экономическая эффективность будет отрицательной для поставленной задачи, чего нельзя сказать на задачи с максимальным пробитием, где целью является наибольшее пробитие снарядом с ПВРД по сравнению со снарядом без него.

4 Безопасность жизнедеятельности

В основе безопасности жизнедеятельности на предприятии лежит охрана труда.

Охрана труда – это система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Полностью безопасных и безвредных производств не существует. Задача охраны труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда.

Улучшение условий труда, повышение его безопасности влияют на результаты производства – на производительность труда, качество и себестоимость выпускаемой продукции.

Широкое внедрение компьютерной техники, в том числе ПЭВМ (ПК), обусловило значительное изменение характера труда, его содержания и условий, в которых он осуществляется.

Условия труда пользователя, работающего с персональным компьютером, определяются:

а) особенностями основных элементов рабочего места (пространственные параметры рабочего места и его элементов, которые должны соответствовать анатомо – физиологическим данным работающих; размещение элементов рабочего места относительно пользователя с учетом вида деятельности);

б) условиями окружающей среды (освещение в помещении дисплейного зала и на рабочем месте, микроклимат, шум, специфические факторы, обусловленные особенностями средств отображения информации, и т.д.);

в) характеристиками информационного взаимодействия человека и ПК.

Усложнение функциональной структуры деятельности в связи с применением электронно-вычислительных систем, персональных компьютеров (ПК) предъявляет новые, иногда повышенные требования организму человека. Недооценка роли человеческого фактора при проектировании и создании ПК неизбежно от-

ражается на качественных и количественных показателях деятельности пользователей [9].

4.1 Анализ вредных и опасных факторов при работе с компьютером

Работа пользователя (под пользователем подразумеваются: операторы ПК, программисты, занятые на ПК разработкой, проверкой, отладкой программ; инженеры и техники, выполняющие профилактические и ремонтные работы, устанавливающие причины сбоев, работающие со схемами и другой техдокументацией) относятся к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда.

В процессе труда на пользователя ПК могут оказывать действие следующие опасные и вредные производственные факторы:

1) физические:

– повышенные уровни электромагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового инфракрасного излучения;

– повышенный уровень статического электричества;

– повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;

– повышенное содержание положительных аэроионов в воздухе рабочей зоны;

– пониженная или повышенная влажность и подвижность воздуха рабочей зоны;

– повышенный уровень шума;

– повышенный или пониженный уровень освещенности;

– повышенный уровень прямой и отраженной блесткости;

– повышенный уровень ослеплённости;

– неравномерность распределения яркости в поле зрения;

– повышенная яркость светового изображения;

– повышенный уровень пульсации светового потока;

– опасность поражения электрическим током;

2) психофизиологические:

– напряжение зрения и внимания;

– интеллектуальные и эмоциональные нагрузки;

– длительные статические нагрузки;

– монотонность труда;

– большой объем информации обрабатываемой в единицу времени;

– нерациональная организация рабочего места.

По сведениям различных организаций и субъективным отзывам операторов работа с компьютерами сопровождается значительным зрительным и общим утомлением. В результате проведенного обследования на первом месте оказались жалобы на переутомление зрительного анализатора

Симптомами зрительной усталости являются болезненные ощущения и раздражение глаз (затуманивание зрения, слезотечение, ощущение "песка", жжение, рези в глазах и т.д.).

Причинами, вызывающими зрительное утомление могут быть яркостные мелькания, строчная структура, недостаточная четкость и контрастность изображения экрана компьютера, а также наличие слепящих источников света и бликов на поверхности экрана.

Особенно отрицательно их влияние проявляются при низкой освещенности в помещении, когда даже слабые источники обладают слепящей яркостью.

Свет яркого источника, попадая в глаз, рефлекторно вызывает двигательный импульс, заставляющий направить взгляд на источник, в результате чего нарушается фиксация взгляда на объекте.

От ярких раздражителей остаются длительные, последовательные образы, затрудняющие выполнение работы.

Таким образом, на условия работы оператора отрицательно сказываются:

– появление в поле зрения ярких ламп;

– большой перепад яркости экрана и уровня общей освещенности;

– большая разница в яркости экрана сравнительно с яркостью документов и приборов, с которыми имеет дело оператор.

Часто неправильное расположение оборудования вынуждает оператора к неподвижности, которая может привести к болям в спине, мышцах шеи и плеч. В этой связи существенное влияние следует уделить проектированию сидений с опорой, необходимой высоте стола, регулярным перерывам в работе, производственной гимнастике.

Утомление, как зрительное, так и общее, развивается особенно быстро при длительном дискомфорте, при постоянной работе в условиях, не отвечающих эргономическим требованиям.

Характерными симптомами общего утомления являются раздражительность, депрессия, нервозность и бессонница.

Рабочее помещение оператора системы классифицируется как пожаро-взрывобезопасное, категории Г. Опасным фактором является возможность поражения электрическим током.

По степени поражения электрическим током данное помещение относится к типу помещений без повышенной опасности. Это сухое (с влажностью менее 75%) беспыльное помещение с температурой менее 35 °С.

К вредным факторам можно отнести психофизиологические факторы, такие как нервно-психические нагрузки (умственное напряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, нагрузки эмоционального плана), а также физические, вредные факторы, такие как недостаточная освещенность помещения, утомляемость [10].

4.2 Эргономика и эстетика производства

Эргономика и эстетика производства являются составными частями комплекса мер по организации труда, направленных на создание благоприятной рабочей обстановки.

Эргономика – наука, изучающая функциональные возможности человека в трудовых процессах с точки зрения анатомии, антропологии, физиологии и гигиены в целях создания условий труда, а также технологических процессов, наиболее соответствующих требованиям человеческого организма[11].

4.2.1 Требования к организации рабочих мест

Рабочие места должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования" и ГОСТ 12.2.061-81 "ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам".

Работа с применением персональных ПЭВМ (ПК) сопряжена со значительными зрительными и нервно – психологическими нагрузками, что повышает требования к организации труда пользователей ПК.

Конструкция рабочей мебели должна обеспечивать возможность индивидуальной регулировки, соответственно росту работающего, и создавать удобную позу. Часто используемые предметы труда и органы управления должны находиться в оптимальной рабочей зоне.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количественных и конструктивных особенностей, а также характера выполняемой работы.

Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм, при отсутствии такой возможности его высота должна быть не менее 725 мм.

На поверхности рабочего стола для документов необходимо предусматривать размещение специальной подставки, расстояние которой от глаз должно быть аналогичным расстоянию от глаз до клавиатуры.

Модульными размерами рабочей поверхности стола, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать:

– ширину – 800, 1000, 1200 и 1400 мм;

– глубину – 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Под столешницей рабочего стола должно быть свободное пространство для ног с размерами по высоте не менее 600 мм, по ширине – 500 мм, по глубине – 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе, что позволит изменять позу для снижения статического напряжения мышц шейно – плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула должен выбираться в зависимости от характера выполняемой работы.

Рабочий стул должен быть подъемно – поворотным и с регулируемым углом наклона сиденья и спинки, а также расстоянием спинки от переднего края сиденья. При этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Рабочее кресло должно иметь подлокотники. Ширина и глубина поверхности сиденья должна составлять не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм, ширина – не менее 380 мм. Радиус ее кривизны в горизонтальной плоскости – 400 мм. Угол наклона спинки должен изменяться в пределах 90 – 110 град. к плоскости сиденья.

Материал покрытия рабочего кресла должен обеспечивать возможность легкой очистки от загрязнений. Поверхности сиденья и спинки должны быть полумягкими, с нескользящим, неэлектризующим и воздухопроницаемым покрытием.

На рабочем месте необходимо оборудовать подставку для ног. Ее длина должна составлять 400 мм, ширина – 350 мм. Необходимо предусматривать регулировку высоты подставки в пределах до 150 мм и угла ее наклона до 20 градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

При организации рабочих мест для работы на ПЭВМ необходимо предусматривать:

– пространство по глубине не менее 850 мм с учетом выступающих частей оборудования для нахождения человека – оператора;

– пространство для ног глубиной и высотой не менее 150 мм и шириной не менее 530 мм;

– расположение устройств ввода – вывода информации, обеспечивающее оптимальную видимость экрана;

– легкую досягаемость органов ручного управления в зоне моторного поля: по высоте – 900 – 1300 мм, по глубине – 400 – 500 мм;

– расположение экрана ПЭВМ в месте рабочей зоны, обеспечивающее устройство зрительного наблюдения в вертикальной плоскости под углом +30 градусов от нормальной линии взгляда оператора, а также устройство использования ПЭВМ (ввод – вывод информации при корректировке основных параметров технологического процесса, отладка программ и др.), одновременно с выполнением основных производственных операций (наблюдение за зоной обработки на станке с программным управлением и др.);

– возможность поворота экрана вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы[11].

4.2.2 Требования к естественному и искусственному освещению

Помещения с ПЭВМ (ПК) должны иметь естественное и искусственное освещение.

Естественное освещение должно осуществляться через боковые светопроемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток. Величина коэффициента естественной освещенности (КЕО) должна соответствовать нормативным уровням по СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" и создавать КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории.

Искусственное освещение следует осуществлять в виде системы комбинированного освещения. В качестве источников света рекомендуется применять люминесцентные лампы типа ЛБ.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Местное освещение, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк.

Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при разном расположении ПК. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализованно над каждым рабочим столом ближе к его переднему краю.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 град. с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м^2, защитный угол должен быть не менее 40 град.

Соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, а между рабочими поверхностями и столами или оборудованием – 10:1.

В качестве источников искусственного освещения должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. Допускается использование ламп накаливания в местном освещении [10].

4.3 Расчет искусственного освещения помещения

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений.

Поэтому важным является расчет искусственного освещения помещения, в котором осуществляются подобные типы работ.

Основная задача освещения – создание наилучших условий для видения.

Задачей расчета является определение потребляемой мощности электрической установки для создания в производственном помещении заданной освещенности.

Проектируя осветительную установку, необходимо решить ряд вопросов.

1) выбрать тип источника света;

2) определить систему освещения;

3) выбрать тип светильников с учетом их характеристик;

4) распределить светильники и определить их количество;

5) определить норму освещенности на рабочем месте.

Источники света являются важнейшими составными частями осветительных установок. Правильный выбор типов и мощности ламп оказывает решающее влияние на эксплуатационные качества и экономическую эффективность осветительных установок.

Помещение имеет совмещенное освещение, т.е. естественное и искусственное. В темное время рабочего дня комната освещается четырьмя светильниками (рисунок 79).

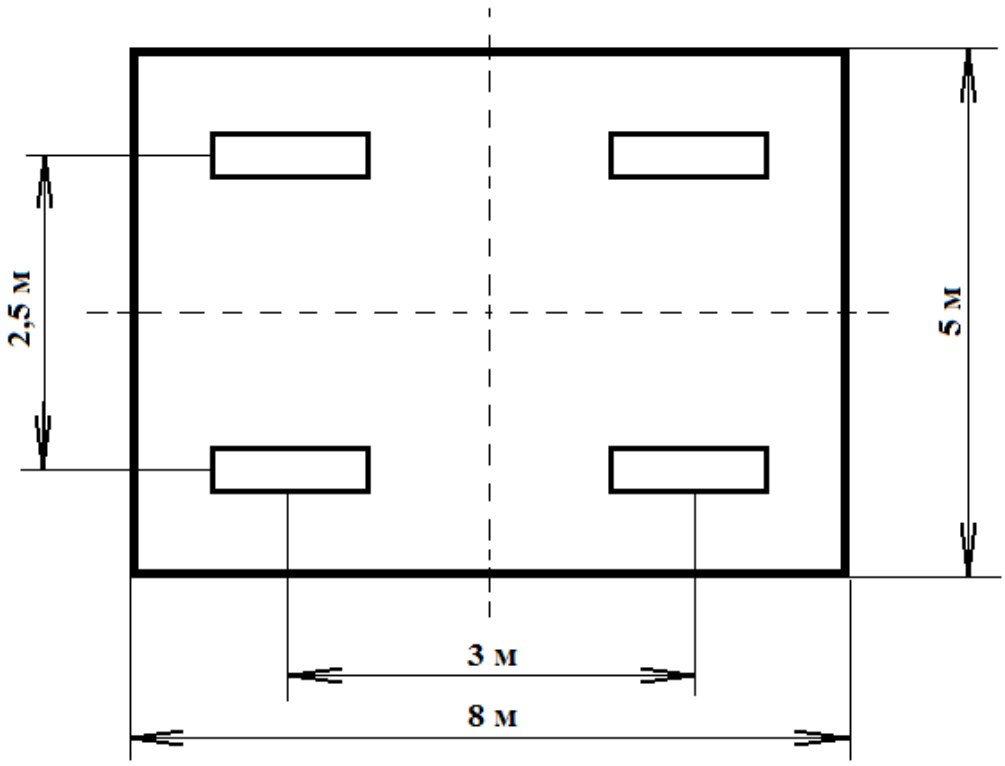


Рисунок 79 − Схема расположения светильников в помещении

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток $\boldsymbol{\Phi_л}$ (лм) рассчитывается по формуле:

$$\Phi_л = \frac{100 \cdot E_н \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}, \qquad (42)$$

где $E_н$ – нормированная минимальная освещенность,

$E_н = 300 лк$ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03);

S – площадь освещаемого помещения, $S = 5 \cdot 8 = 40\ м^2$;

z – коэффициент минимальной освещенности, для люминесцентных ламп, $z = 1,1$;

k – коэффициент запаса, $k = 1,3$;

N – число ламп в помещении – в помещении используется 4 светильника марки ЛПО46 по 2 лампы в каждом, следовательно $N = 8$;

η – коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от КПД и кривой распределения силы светильника, от коэффициента отражения потолка $\rho_П$ и стен $\rho_С$, высоты подвеса светильников и показателя помещения i, %.

Рассчитаем показатель помещения по формуле:

$$\boldsymbol{i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}}, \tag{43}$$

где A и B – два характерных размера помещения, $A = 5$ м, $B = 8$ м;

H_p – высота светильников над поверхностью, $H_p = 2$ м.

Тогда:

$$\boldsymbol{i = \frac{5 \cdot 8}{2 \cdot (5 + 8)} = 1{,}5.}$$

Значение коэффициента использования светового потока определяется по [11] (при $i = 1{,}5$; $E_н = 300 лк$, $\eta = 57\%$). Следовательно, световой поток лампы:

$$\boldsymbol{\Phi_л = \frac{100 \cdot 300 \cdot 40 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}3}{8 \cdot 57} = 3763\ лм.}$$

В соответствии с рассчитанным световым потоком лампы, подбираем ближайшую стандартную лампу типа ЛД80 мощностью 80 Вт. Световой поток этой лампы равен 4070 лм.

Допускается отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного от -10% до +20%. В данном примере отклонение светового потока выбранной лампы составляет:

$$\Delta\Phi = \left(\frac{\Phi_{ст} - \Phi_л}{\Phi_л}\right) \cdot 100 = \left(\frac{4070 - 3763}{3763}\right) \cdot 100 = 8{,}2\%. \tag{44}$$

Данный расчет подтвердил соответствие выбранной лампы для создания необходимой освещенности рабочего помещения [11].

Определим электрическую мощность всей осветительной системы:

$$P = N \cdot P_л = 8 \cdot 80 = 640 \text{ Вт.}$$

4.4 Инструкция по технике безопасности для конструктора-проектировщика

Общие требования безопасности

К работе в лаборатории допускаются только лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электрооборудованием.

Пользователь персонального компьютера несет личную ответственность за нарушение правил техники безопасности и инструкций по эксплуатации оборудования.

Не допускается работа при обнаружении таких неисправностей как: механические повреждения токопроводящих частей; обнаружение напряжения на корпусе компьютера; отсутствие заземления корпуса компьютера.

Основным поражающим фактором является электрический ток. При поражении человека электрическим током необходимо отключить источник тока или, если это невозможно, освободить пострадавшего от взаимодействия с источником, используя подручные диэлектрические предметы. При освобождении пострадавшего нельзя стоять на заземлении, токопроводящем полу. Если у пострадавшего отсутствует сознание, пульс (состояние клинической смерти), то необходимо немедленно приступить к проведению искусственного дыхания и непрямого массажа сердца. Приступив к оказанию помощи, необходимо вызвать врача. Если пострадавший в сознании, то необходимо обеспечить полный покой до оказания врачебной помощи. Эксплуатация персонального компьютера разрешается только в помещениях, где соблюдаются следующие условия:

– температура воздуха не ниже +5 °С и не выше +40 °С;

– относительная влажность воздуха не выше 75 %;

– не выделяется токопроводящая пыль.

Не рекомендуется работать только при искусственном освещении.

Требования безопасности перед началом работы

Перед началом работы пользователь обязан:

– осмотреть и привести в порядок рабочее место;

–отрегулировать освещенность на рабочем месте, убедиться в достаточности освещенности, отсутствии отражений на экране, отсутствии встречного светового потока;

– проверить правильность подключения оборудования в электросеть;

– убедиться в наличии защитного заземления и подключения экранного проводника к корпусу системного блока;

– протереть специальной салфеткой поверхность экрана и защитного фильтра;

– убедиться в отсутствии дискет в дисководах персонального компьютера;

– проверить правильность установки стола, стула, подставки для ног, пюпитра, положения оборудования, угла наклона экрана, положение клавиатуры и, при необходимости, произвести регулировку рабочего стола и кресла, а также расположение элементов компьютера в соответствии с требованиями эргономики и в целях исключения неудобных поз и длительных напряжений тела

Пользователю запрещается приступать к работе при:

– отключенном заземляющем проводнике защитного фильтра;

– обнаружении неисправности оборудования;

– отсутствии защитного заземления устройств ПК;

– отсутствии углекислотного или порошкового огнетушителя и аптечки первой помощи;

– нарушении гигиенических норм размещения ВДТ.

Требования безопасности во время работы

Пользователь во время работы обязан:

– выполнять только ту работу, которая ему была поручена, и по которой он был проинструктирован;

– в течение всего рабочего дня содержать в порядке и чистоте рабочее место;

– держать открытыми все вентиляционные отверстия устройств;

– внешнее устройство "мышь" применять только при наличии специального коврика;

– при необходимости прекращения работы на некоторое время корректно закрыть все активные задачи;

– отключать питание только в том случае, если пользователь во время перерыва в работе на компьютере вынужден находиться в непосредственной близости от видеотерминала (менее 2 метров), в противном случае питание разрешается не отключать;

– выполнять санитарные нормы и соблюдать режимы работы и отдыха;

– соблюдать правила эксплуатации вычислительной техники в соответствии с инструкциями по эксплуатации;

– при работе с текстовой информацией выбирать наиболее физиологический режим представления черных символов на белом фоне;

– соблюдать установленные режимом рабочего времени, регламентированные перерывы в работе и выполнять в физкультпаузах и физкультминутках рекомендованные упражнения для глаз, шеи, рук, туловища, ног,

– соблюдать расстояние от глаз до экрана в пределах 60-80 см.

Пользователю во время работы запрещается:

– касаться одновременно экрана монитора и клавиатуры;

– прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании;

– переключение разъемов интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;

– загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами;

– допускать захламленность рабочего места бумагой в целях недопущения накапливания органической пыли;

– производить частные переключения питания;

– допускать попадание влаги на поверхность системного блока (процессора), монитора, рабочую поверхность клавиатуры, дисководов, принтеров и др. устройств;

– включать сильно охлажденное (принесенное с улицы в зимнее время) оборудование;

– производить самостоятельно вскрытие и ремонт оборудования;

– превышать величину количества обрабатываемых символов свыше 30 тыс. за 4 часа работы. [11]

Требования безопасности в аварийных ситуациях.

Пользователь обязан:

– во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю;

– при обнаружения человека, попавшего под напряжение, немедленно освободить его от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь;

– при любых случаях сбоя в работе технического оборудования или программного обеспечения немедленно вызвать представителя инженерно-технической службы эксплуатации вычислительной техники;

– в случае появления рези в глазах, резком ухудшение видимости-невозможности сфокусировать взгляд или навести его на резкость, появлении боли в пальцах и кистях рук, усилении сердцебиения немедленно покинуть рабочее место, сообщить о происшедшем руководителю работ и обратиться к врачу;

– при возгорании оборудования, отключить питание и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислотного или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду по телефону 01 и сообщить о происшествии руководителю работ;

– при получении любой травмы сообщить руководителю, при необходимости обратиться за помощью в медпункт.

Требования безопасности после окончания работы

По окончании работ пользователь обязан соблюдать следующую последовательность выключения вычислительной техники:

– произвести закрытие всех активных задач;

– выключить питание всех периферийных устройств;

– выключить питание системного блока.

По окончании работ пользователь обязан осмотреть и привести в порядок рабочее место [11].

Заключение

1. На первом этапе выполнения дипломного проекта были определены задачи проектирования БОПС с ПВРД. Первой задачей был проведен выбор твердого топлива марки «РТ». Характеристики данного топлива позволяют обеспечить хорошее воспламенение на более низких температурах и при меньшем давлении, чем у других вариантов. Высокая плотность такого состава, а также отличительно высокая скорость горения дает большое давление, что и влияет на увеличение скорости потока частиц ПС на выходе из сопла и тем самым увеличивает силу тяги двигателя.

2. На втором этапе проведены исследования по выявлению оптимальной геометрии профиля и расположению ПВРД на подкалиберном снаряде калибра 125 мм. Для данного исследования были использованы ранее известные виды и типы ПВРД и на их основе спроектирована новая наиболее подходящая геометрия профиля двигателя.

3. После проведения исследований был выбран оптимальный вариант с наименьшей силой сопротивления воздуха 1102 Н (рисунок 58). Дальнейшие расчеты позволили определить некоторые погрешности расположения твердого топлива и после устранения и доработок был получен полностью функционирующий заключительный вариант (рисунок 61).

4. Основная сложность в оценке силы тяги ПВРД заключалась в определении скорости реактивной струи. Для решения этой задачи необходимо было решить систему дифференциальных уравнений (26) и после получения значения скорости реактивной струи определить силу тяги. Она составила $\boldsymbol{P}_{\text{т}} = \mathbf{1181}$ **Н.**

5. Сила сопротивления воздуха была определена путем расчета. Для этого был разработан твердотельный объект в программе SolidWorks и с помощью приложения Flow Simulation был проведен расчет аэродинамических параметров этого объекта. Моделирование обдува снаряда потоком воздуха на разных скоростях позволило установить закон сопротивления воздуха, приведенного на рисунке 64. Как видно на графике максимальное сопротивление достигается на скорости $1800\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и составляет: $R_c = 1102$ Н. Если сравнивать с сопротивлением БОПС 3БМ-42М, у которого оно составляет 814Н, то у нового спроектированно-

го снаряда сопротивление больше на $\frac{1102-814}{1102} * 100\% = 26\% < 30\%$. Это удовлетворяет условию.

6. Расчет внешней баллистики позволил определить траекторию снаряда для прицельной дальности 2100 м.

7. По расчетам внутренней баллистики был подобран пороховой заряд, обеспечивающий начальную скорость 1800 м/с при максимальном давлении пороховых газов 470 МПа.

8. По результатам проектирования был разработан сборочный чертеж БОПС с ПВРД и рабочие чертежи его деталей.

9. В экономическом разделе были рассчитаны затраты на выполнение дипломного проекта, затраты на электроэнергию и накладные расходы и описан научный эффект от применения результатов проектирования.

10. В разделе безопасности жизнедеятельности был проведен анализ вредных и опасных факторов при работе с компьютером, была описана эргономика и эстетика производства, проведен расчет искусственного освещения помещения и разработана инструкция по технике безопасности для конструктора-проектировщика.

Список использованных источников

1 Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А. - Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдых и пастообразных топливах – 2010. – 307 с.

2 Артёмов О.А. - Прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Расчет характеристик - 2006. – 375 с.

3 https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathcad

4 https://ru.wikipedia.org/wiki/Компас_(САПР)

5 https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks

6 Сергеев, И.В. Экономика предприятия / И.В. Сергеев – М.: Финансы и статистика, 2007. – 100 с.

7 Горфинкель, В.Я. Экономика предприятия: учебник для ВУЗов/ В.Я.Горфинкель, Е.М. Купряков– М.: Банки и биржи, 2006. – 510 с.

8 Экономика предприятия: Учебник/Под ред. О.И. Волкова. – М.: Инфра-М, 2001. - 414 с.

9 Овчаренко, А.Г. Методические указания к разделу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей дневной, вечерней и заочной формы обучения/ А.Г. Овчаренко, А.В. Фролов, С.Л. Раско, Ю.Г. Афанасьев – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 23с.

10 Карпов, Ю.В. Защита от шума и вибрации на предприятиях химической промышленности/ Ю.В. Карпов, Л.А. Дворянцева – М.: Химия, 1991. – 120 с.

11Долин, П.А. Справочник по техники безопасности. 6-е изд., перераб. и доп./ П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824с.

12 Альбрехт, А.В. Расчет тяговых характеристик гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей: дипломная работа по специальности 17.05.01 – Боеприпасы и взрыватели - Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2017.

Приложение А

Приложение Б

```
Z := | t ← 0
     | y ← y
     | n ← 0
     | h ← 0.001
     | while y_2 < 2100
     |   | for i ∈ 1..4
     |   |   | Z_{n,i} ← y_{i-1}
     |   |   | Z_{n,0} ← t
     |   | k_1 ← h·D(t,y)
     |   | k_2 ← h·D(t + 0.5·h, y + 0.5·k_1)
     |   | k_3 ← h·D(t + 0.5·h, y + 0.5·k_2)
     |   | k_4 ← h·D(t + h, y + k_3)
     |   | y ← y + (1/6)·((k_1 + 2·k_2 + 2·k_3 + k_4))
     |   | t ← t + h
     |   | n ← n + 1
     | Z
```

Рисунок Б.80 – Тело программы расчета системы дифференциальных уравнений по внешней баллистике методом Рунге-Кутты 4-го порядка

Приложение В

```
Y := | t ← t0
     | x ← x
     | n ← 0
     | h ← 0.00001
     | while  x1 < ld
     |   | for  i ∈ 1..5
     |   |   | Y(n,i) ← x(i−1)
     |   |   | Y(n,0) ← t
     |   | k1 ← h·C(t,x)
     |   | k2 ← h·C(t + 0.5·h, x + 0.5·k1)
     |   | k3 ← h·C(t + 0.5·h, x + 0.5·k2)
     |   | k4 ← h·C(t + h, x + k3)
     |   | x ← x + (1/6)·((k1 + 2·k2 + 2·k3 + k4))
     |   | t ← t + h
     |   | n ← n + 1
     | Y
```

Рисунок В.81– Тело программы расчета системы дифференциальных уравнений по внутренней баллистике методом Рунге-Кутты 4-го порядка