**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | |
| **Факультет** | | А | | Заведующий кафедрой | | | | |  | |  | | |
|  | |  | |  | | | | |  | | шифр кафедры | | |
| **Выпускающая кафедра** | | А4 | | Долбенков В.Г.. | | |  |  | | | | | |
|  | |  | | Фамилия И.О. | | |  | подпись | | | | | | |
| **Группа** | | А442 | | «\_\_\_\_\_» | |  | | | | | | 2018 г. | |
|  |  | |  | |  | |  | | | | |  | | |

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

|  |  |
| --- | --- |
| Гаськова Семёна Александровича | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | |
| **На тему** | Газодинамическое процессы в полостях воздушных пусковых |
| систем для подводных объектов | |
|  | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Направление подготовки** | 24.03.01 |  | Ракетные комплексы и космонавтика |
|  | индекс направления |  | полное наименование направления |
|  | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Консультант:** | | | | |  | | | |  | **Руководитель:** | | |  | | | | | | |
| при необходимости | | | | | подпись | | | |  |  | | | подпись | | | | | | |
|  | | |  | |  | | | |  |  | | | | |  | | Синильщиков В.Б. | | |
| ученая степень, ученое звание | | | | | Фамилия ИО | | | |  | ученая степень, ученое звание | | | | | | Фамилия ИО | | | |
| « » |  |  | | | | |  | 201\_\_г. |  | « » |  |  | | | | | |  | 201\_\_г. |
|  | | | | | |  | | |  | **Обучающийся:** | | | |  | | | | | |
|  | | | |  | |  | | |  |  | | | | |  | | Гаськов С.А. | | |
|  | | | | | |  | | |  | подпись | | | | |  | | Фамилия ИО | | |
|  |  |  | | | | |  |  |  | « » |  |  | | | | | |  | 201 г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Реферат

В выпускной квалификационной работе содержится 45 страниц, 22 рисунка, 2 таблицы и 2 приложения.

ПОДВОДНАЯ ЛОДКА, ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА, ТРАНСПОРТНО-ПУСКОВОЙ КОНТЕЙНЕР, ВОЗДУХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Объект исследования – забортная пусковая установка.

Цель работы: определение параметров в полостях воздушных пусковых систем для подводных объектов при обеспечении требуемых параметров запуска изделия.

В работе рассмотрена система, использующая воздушный аккумулятор давления, обозначены преимущества и недостатки такой системы. Был представлен возможная конструкция ТПК с регулятором расхода воздуха. Была составлена программа, реализующая метод Эйлера для решения ОДУ и произведены все необходимые расчеты.

Результатами работы являются математическая модель, описывающая поведение газодинамических процессов (изменение давлений, температур и т.д.) при пуске в забортной пусковой установке.

Область применения: вооружение подводных лодок и необитаемых подводных аппаратов.

Список используемых сокращений

ВАД – воздушный аккумулятор давления

ВВД – воздух высокого давления

ВМС – военно-морские силы

ВНД – воздух низкого давления

НПА – необитаемый подводный аппарат

ОДУ – обыкновенное дифференциальное уравнение

ПЛ – подводная лодка

ПУ – пусковая установка

СО – самооборона

ТА – торпедные аппараты

ТПК – транспортно-пусковой контейнер

ТРВ – торпедно – ракетное вооружение

Оглавление

Введение5

1 Использование систем ВВД для ПЛ и НПА 7

1.1 Достоинства и нюансы использования ВВД 7

1.2 Компоновка и размещение средств ГПД и торпед на подводных лодках и других подводных мобильных носителях. 12

1.3 Возможная конструкция ТПК для базирования вооружения на ПЛ и НПА 20

1.4 Принцип работы транспортно-пускового контейнера 22

2 Описание математической модели ПУ 25

3 Результаты исследования газодинамических процессов в полостях воздушных пусковых систем для подводных объектов31

3.1 Первая серия расчетов 31

3.2 Вторая серия расчетов 36

Заключение41

Список используемой литературы42

Приложение А43

Приложение Б45

**Введение**

Целью работы является определение параметров в полостях воздушных пусковых систем для подводных объектов при обеспечении требуемых параметров запуска изделия. Так же в ходе данной работы будут определены основные параметры выталкиваемого объекта (скорость, перемещение и т.д.). Для расчета данных параметров была разработана специальная программа, которая описывает математическую модель ПУ и при помощи которой будут найдены все необходимые значения для их дальнейшей обработки.

Комплекс торпедно-ракетного вооружения и самообороны (ТРВ и СО) подводного или надводного корабля предусматривает использование многих видов оружия: торпед, мин, ракет различного назначения, средств противодействия оружию противника, средств самообороны и многое другое. Как правило, на подводных лодках (ПЛ) такой комплекс размещается внутри прочного корпуса и основой его являются трубные торпедные аппараты (ТА) с автоматизированной перезарядкой. Ввиду компоновочных ограничений их количество достигло естественного максимума: 6 - 8 для неатомных ПЛ и до 10 - 12 ТА, устанавливаемых на атомных многоцелевых ПЛ. В настоящее время промышленностью накоплен определенный опыт использования модульных технических систем и систем оружия. В мировой практике кораблестроения также используется принцип модульности. Концепция ПЛ с модульной полезной нагрузкой, разрабатываемая для ВМС США, предусматривает необходимость организации межбортного пространства большого объема для установки сменных проницаемых секций с набором оружия, необходимым для выполнения конкретного задания. Речь идет о создании ПЛ качественно нового архитектурного типа, на разработку которых потребуется много лет и большие ресурсы. Многофункциональная модульная система должна обладать гибкой архитектурой для размещения модулей вооружения в различных местах корабля и одновременно выполнять различные задачи. Модули вооружения формируются из транспортно-пусковых контейнеров (ТПК), которые используются как пусковые установки и транспортные контейнеры одновременно. ТПК установлены в кассеты, закрепленные на платформах в горизонтальном или наклонном положениях, и имеют механическое и электрическое сопряжение с общекорабельными системами.  Создание забортных ТПК связано с решением ряда взаимосвязанных задач, к числу которых, прежде всего, следует отнести: размещение модулей вооружения в межбортном пространстве на ПЛ; погрузка, хранение и обслуживание оружия; предстартовая подготовка; пуск и отделение оружия от носителя.

Основная проблема отделения заключается в следующем: необходима энергия, достаточная для того, чтобы переместить оружие из статического положения, в котором оно хранится, в динамическое положение вне ПЛ, с соблюдением требований по безопасности носителя и гарантированному выходу изделия на запрограммированную подводную траекторию его движения.  Энергетическая система пусковых установок характеризуется факторами: источником энергии, схемой преобразования энергии, способом создания выталкивающей силы, способом обеспечения бесследности выстрела.

**1 Использование систем ВВД для ПЛ и НПА**

**1.1 Достоинства и нюансы использования ВВД**

Особенностью работы подводных пусковых установок является необходимость создания большой выталкивающей силы при сравнительно малом суммарном расходе энергии. Это накладывает существенные ограничения на выбор рациональных схем энергетических систем пусковых устройств.

Вид применяемой в них энергии оказывает существенное влияние на взаимосвязи пускового устройства и ПЛ. В общем случае, ввиду ограниченной мощности энергоисточников корабля и большой импульсной мощности пусковых устройств, в их энергосистему необходимо включать автономные накопители энергии.

Основными доступными на ПЛ источниками энергии являются: электричество; воздух высокого давления (ВВД); гидравлика высокого давления. Кроме того, можно привнести: механическую энергию путем создания соответствующих устройств; пиротехническую энергию; энергию выпускаемого оружия.

Применение электрической энергии сдерживается проблемой создания привода большой мощности и использования его в короткое время. Необходимо получать очень большие импульсные токи. Применение магнитогидродинамического эффекта также требует решения комплекса задач, прежде чем это станет реальностью.

С механической энергией - сходные проблемы: чтобы получить большую мощность и реализовать ее за то же короткое время, требуется устройство со значительными массогабаритными характеристиками. В экспериментальных устройствах используют энергию упругой деформации тел (эластомерные системы эжекции).

Применение пиротехнической энергии (пороха и т.п.) позволяет получить большую энергетическую автономность пусковых устройств при выполнении требований высокой надежности и взрыво-пожаробезопасности.

Поэтому задача формирования облика пускового устройства может решаться путем выбора эффективного способа преобразования энергии ВВД с тем, чтобы максимально удовлетворить все требования, предъявляемые к комплексу вооружения корабля.

Как отмечалось выше, при создании забортных модулей вооружения необходим комплексный системный подход к поиску компромиссных решений. В зависимости от задач, стоящих перед ПЛ, и конкретных тактических ситуаций приоритет выбора конструктивных решений может отдаваться нескольким их важнейшим показателям со снижением требований к другим характеристикам пускового устройства.

Создание пусковых установок для миниоружия ввиду малых массогабаритных характеристик имеет свои особенности. Выполненные проектные оценки показывают, что для миниоружия калибра до 5 дюймов с глубинами стрельбы менее 300 м сохраняется актуальность воздушных систем стрельбы. Возникающие перегрузки оружия при его пуске в широком диапазоне глубин могут быть скомпенсированы регулированием расхода воздуха.

На пуск оружия калибра свыше 10 дюймов влияние забортного гидростатического давления на параметры воздушного выстрела становится значительным. В этом случае целесообразным становится применение механических выталкивающих устройств. Для калибров изделий 10-15 дюймов предпочтительным является использование телескопических толкателей, встроенных в сдвижную заднюю крышку пусковой трубы.

Системы сжатого воздуха представлены тремя общекорабельными системами воздуха высокого (ВВД), среднего (ВСД) и низкого давления (ВНД), а также специальными стрельбовыми системами торпедного и ракетного оружия. Система ВВД служит для получения и хранения запасов ВВД на подводной лодке, а также для подачи ВВД к потребителям.

Воздух высокого давления широко применяется на подводной лодке для:

* Обеспечения использования оружия;
* Продувания цистерн главного балласта при всплытии ПЛ;
* Создания воздушной подушки (противодавления) в отсеках при заполнении их водой в случае аварии;
* Обеспечения использования аварийно-спасательных устройств;
* Обеспечения работы корабельной системы гидравлических приводов, питания системы воздуха среднего давления и других нужд;

Давление в системе ВВД составляет 1.47\*107 ­– 2.45\*107 (150 – 250 кгс/см2)

Для хранения запасов ВВД на ПЛ устанавливаются стальные баллоны емкостью до 400 л. Для удобства использования и управления системой сжатого воздуха, а также для обеспечения её живучести все баллоны системы делятся на группы. В группе обычно от 2 до 6 баллонов. Есть резервные группы, из которых воздух расходуется только по приказу командира ПЛ.

Размещение баллонов по отсекам производится с таким расчетом, чтобы определенные запасы ВВД находились в отсеках, смежных с центральным постом, и в отсеках-убежищах. Внутри прочного корпуса баллоны устанавливают по бортам в трюме или на настиле, вне прочного корпуса в надстройке, в киле и в ЦГБ, распределяя равномерно по всей длине прочного корпуса ПЛ.

Стрельбовая система воздушных торпедных аппаратов (рис. 1) состоит из стрельбовых баллонов, трубопроводов и арматуры, обеспечивающей управление системой. Давление в стрельбовой системе американских дизель-электрических подводных лодок равно 42 кг/см2. Аналогичная схема у воздушной системы гидравлических торпедных аппаратов, применяемая на современных атомных подводных лодках, однако давление сжатого воздуха в этой системе достигает 105—175 кг/см2.

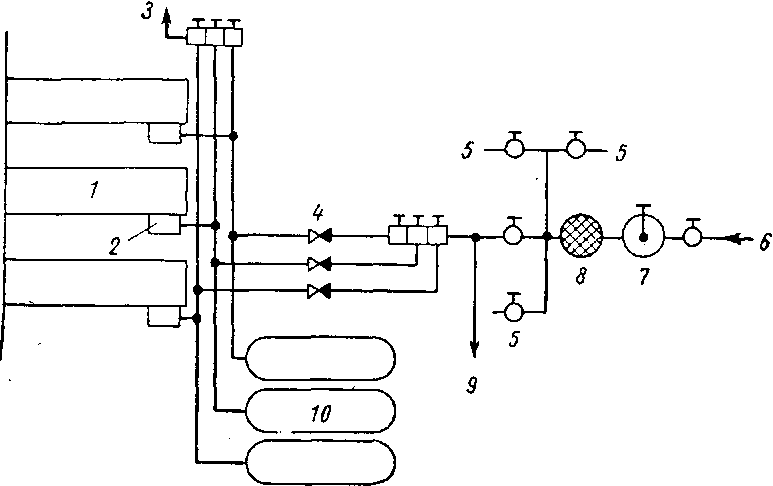


Рисунок 1 - Схема стрельбовой системы воздушных торпедных аппаратов

1 – торпедные аппараты; 2 – стрельбовый клапан; 3 – осушение торпедных аппаратов; 4 – невозвратный клапан; 5 – зарядка торпед; 6 – от системы ИВД; 7 – сепаратор; 8 – фильтр; 9 – к торпедным аппаратам другого борта; 10 – стрельбовые баллоны

При выстреле воздух поступает в шахту через 175-миллиметровый стрельбовый клапан тарельчатого типа, при этом скорость подачи воздуха исключает создание в шахте давлений, превышающих допустимое (60—70 кГІсм'^). Диаметр воздушных труб, соединяющих стрельбовые баллоны с шахтами, 200— 250 мм.

Для примера можно рассмотреть пусковую шахту ПЛ Polaris A-1 (рис. 2)

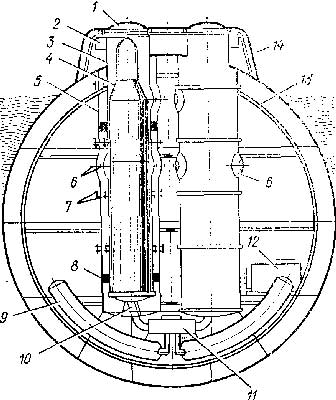


Рисунок 2 ­‑ Пусковая шахта Polaris A-1.

1 – прочная крышка пусковой шахты; 2 – механизм открывания крышки; 3 – внутренний цилиндр пусковой шахты; 4 – ракета; 5 – наружный цилиндр пусковой шахты; 6 – смотровые люки; 7 – фланцевые соединения секций цилиндров шахты; 8 – амортизаторы; 9 – баллоны сжатого воздуха для пуска ракет; 10 – центрирующее устройство и осевая опора внутреннего цилиндра шахты; 11 – распределительная коробка системы пускового воздуха; 12- электрокомпрессор системы сжатого воздуха для пуска ракет.

Пусковая шахта представляет собой двустенную стальную конструкцию цилиндрической формы, закрытую сверху прочными крышками. Высота шахты 8,7 м, диаметры цилиндров: внутреннего - 1,45 м, наружного - 2,1 м. Для доступа к обслуживающим ракету системам в стенках шахт имеются три горловины, закрывающиеся крышками. Через верхнюю горловину обеспечивается доступ к приборному отсеку ракеты, а через две нижние - к месту стыковки двигателей первой и второй ступени. В прочный корпус подводной лодки внутренний цилиндр пусковой шахты монтируется на 20-30 башмаках, опирающихся на гидравлические амортизаторы. Ракета устанавливается в шахте на специальной качающейся опоре и крепится к ней при помощи зажимного кольца. Внутри пусковых шахт с помощью систем кондиционирования воздуха поддерживаются заданные температура и влажность.

Запускается ракета с глубины 25-35 м сжатым воздухом высокого давления, для чего каждая из шахт оборудуется автономной воздушной системой. Воздух хранится в сферических баллонах диаметром 1.2 м. Емкость баллона, рассчитанного на давление 315 кг/см2, составляет 0.9-0.95 м3; общий запас стрельбового воздуха на подводной лодке (типа "Джордж Вашингтон") 14 -15 .

Пусковые шахты оборудованы специальной блокирующей системой, исключающей возможность выдачи сигнала " Пуск ", если подготовка к пуску ракеты еще не закончена (например, при закрытых крышках шахт; если не выравнено давление в шахте или не сняты стопорные кольца с ракеты и т. д.). Блокирующая система исключает возможность включения двигателя в шахте или его самовоспламенение.

**1.2 Компоновка и размещение средств ГПД и торпед на подводных лодках и других подводных мобильных носителях.**

Размещение средств обманных и истребительных СБНА на носителям (подводных лодках и НПА-охотниках) требует создания отдельных специализированных устройств. В данном параграфе будут рассмотрены некоторые технические решения, обеспечивающие базирование оружия на мобильных подводных носителях.

Пусковые установки (ПУ) для размещаемых на мобильных подводных носителях аппаратов должны решать ряд задач, которые не ограничиваются только обеспечением процесса пуска. Процесс самовыхода НПА из ПУ требует увеличенного диаметра пусковой трубы (для обеспечения замещения освобождаемого аппаратом ее объема водой), а также практически полной «остановки» носителя из-за большой вероятности срыва пуска или нежелательного его контакта с корпусом носителя при наличии набегающего потока воды. Все это делает самовыход НПА, базирующихся на мобильных подводных объектах (необитаемых аппаратах или ПЛ) малоэффективным, что приводит к необходимости создания специализированных ПУ, направленных на решение комплекса задач, связанных с размещением аппаратов на носителе и их отделением от него. В данном параграфе будут рассмотрены некоторые существующие подобные системы, а также несколько конструкций, предложенных при участии автора.

Основная проблема отделения НПА от подвижного носителя, заключается в необходимости наличия энергии, достаточной не только для отделения с соблюдением требований по безопасности носителя, но и гарантированного выхода изделия на запрограммированную подводную траекторию его движения.

Энергетическая система пусковой установки, решающей эти задачи, содержит: источник энергии, систему ее преобразования и систему формирования во времени необходимой выталкивающей силы. Особенностью подводных ПУ является необходимость создания большой выталкивающей силы при сравнительно малом суммарном расходе энергии. Это накладывает существенные ограничения на выбор рациональных схем энергетических систем пусковых устройств.

Также необходимо отметить, что пусковая установка очень часто является также и местом длительного хранения необитаемого подводного аппарата на борту носителя. Объединенные вместе, НПА и ПУ образуют так называемый транспортно-пусковой контейнер (ТПК), основными задачами которого соответственно являются хранение аппарата в походном положении и его отделение от носителя в нужный момент.

Для создания силового импульса, необходимого для выталкивания аппарата из ТПК, используются разные источники энергии, такие, как пороховые аккумуляторы давления, электричество, гидравлика и так далее. При этом, вид применяемой энергии оказывает существенное влияние на взаимосвязи ПУ и носителя. В большинстве случаев, ввиду ограниченной мощности энергоисточников корабля и большой импульсной мощности ПУ, в их энергосистему необходимо включать автономные источники, иногда накопители энергии. Можно вполне уверенно заметить, что одним из наиболее простых, экологичных, дешевых и легко доступных источников энергии является воздух высокого давления (ВВД). Обычно он хранится в отдельном баллоне, входящем в состав ТПК.

Так как отделение аппарата от носителя может производиться на разных глубинах, то немаловажной проблемой, которую необходимо решить разработчику ТПК, является регулирование выталкивающего силового импульса в зависимости от противодействующего отделению гидростатического давления. При этом ускорения, которые испытывает аппарат в процессе выталкивания из контейнера, не должны превышать определенных границ, определяемых прочностью аппаратуры и устройств НПА. В то же время силовой импульс должен обеспечивать такую выходную скорость аппарата, которая необходима для безаварийного его отделения от носителя и расхождения с ним.

Традиционно при использовании в качестве энергоносителя ВВД обозначенная задача решается путем введения в конструкцию пусковой установки специального пневматического регулятора, изменение проходного сечения которого взаимосвязано с глубиной, на которой необходимо работать. Однако широко применяемые в настоящее время системы, регулирующие закон открытия проходного сечения в зависимости от гидростатического давления окружающей среды, не могут быть применены в разрабатываемых ПУ, прежде всего, из-за массогабаритных характеристик, жесткие требования по ограничению которых диктует малый объем носителей.

Для наглядности можно рассмотреть пример разработанных зарубежными инженерами ТПК, предназначенных для размещения на борту ПЛ малогабаритных ПНА (сверхмалые торпеды с диаметром 5 дюймов (124 мм)), можно привести систему спроектированную фирмами HDW (Германия) и Whitehead Alenia Sistemi Subacquei (Италия). Данная система начала разрабатываться с 1998 года для применения торпед типа А200 (рис. 3) и сверхмалых торпед «Sea Pike» (рис 4).

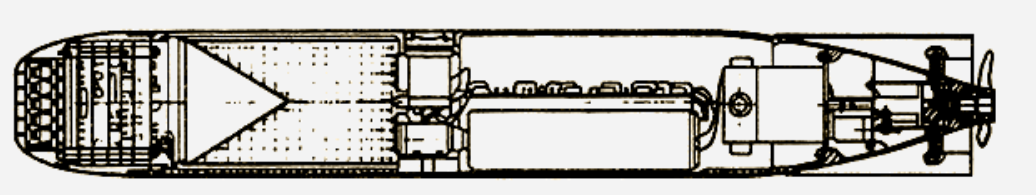


Рисунок 3 - Продольный размер итальянской миниторпеды А200

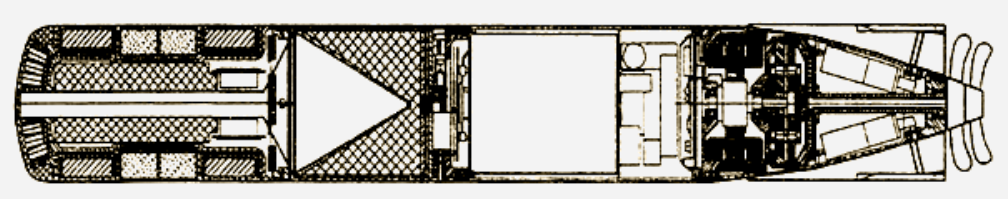


Рисунок 4 - Продольный разрез немецкой миниторпеды «Sea Pike»

Данная система в первую очередь предназначена для противоторпедной защиты подводных лодок. Главным замыслом было, что эта система, интегрированная в автоматизированную систему боевого управления, будет находиться в постоянной готовности независимо от выполняемых ПЛ задач и не будет накладывать никаких ограничений на перемещения лодки.

Тактико-технические требования к ТПК формируются на основе системного подхода, предусматривающего комплексное рассмотрение и учет условий работы ТПК в триаде «НПА — пусковая система — носитель», функционирующей в единой внешней среде.

Системный подход к проектированию пусковых систем предполагает отдельное внимание к разным вопросам, таким как: размещение и хранение НПА на носителе с момента его подачи до момента пуска; обеспечение защиты аппаратов от динамических воздействий, в том числе, от близких взрывов; обмен данными с аппаратом (диалог) в процессах подготовки к пуску и тестирования; защита НПА от воздействия окружающей среды (коррозии). Естественно, что основными влияющими на конструктивные особенности ПУ факторами являются условия, в которых должна обеспечиваться их стабильная работа. В качестве примера основных требований к ПУ, можно привести подобные требования к ранее упомянутым пусковым установкам забортного вооружения для ПЛ. Подобные устройства должны удовлетворять следующим требованиям:

1. быстродействие;

2. автономность;

3. стабильность работы вне зависимости от внешних условий;

4. модульность;

5. скрытность применения;

6. минимизация массогабаритных характеристик;

7. технологичность;

8. низкая стоимость.

*Быстродействие* пусковых установок обуславливается необходимостью незамедлительно реагировать на возникающую угрозу безопасности ПЛ или тактической необходимостью быстрого применения оружия. Исходя из анализа возможных угроз безопасности ПЛ, можно отметить, что время с момента обнаружения и классификации подводного объекта противника до выхода НПА за срез пусковой трубы установки не должно превышать нескольких секунд. Такое ограниченное время предопределяет «мокрое» хранение изделия в жидкостной среде под внешним гидростатическим давлением, так как в данном случае не требуется заполнять внутренний объем пусковой трубы водой и уравнивать давление в ней с внешней средой для производства пуска оружия.

*Автономность* забортных модулей вооружения диктуется количеством модулей и их расположением. По оценкам специалистов, для достижения достаточной вероятности отражения одной атакующей лодку торпеды, необходимо противопоставить ей до пяти противоторпед малого калибра. Таким образом, для обеспечения нормальной боеспособности ПЛ в условиях ведения современной подводной войны, общее количество средств самообороны и образцов миниоружия (НПА), располагаемых в транспортно-пусковых модулях на ее борту, должно быть не менее нескольких десятков единиц. Так как данные модули располагаются вне прочного корпуса ПЛ (возможные места расположения на подводных лодках приведены на рис. 56), одним из важных требований является минимизация их размеров. Это делает практически нецелесообразным создание отдельной энергетической системы для обеспечения пуска изделий, находящихся в модулях, в связи с тем, что подобная система будет занимать дополнительное место и будет сильно разветвлена из-за количества модулей, а кроме того, она должна быть стационарно установлена на ПЛ, что потребует дополнительного обслуживания и контроля за ее состоянием. Исходя из вышесказанного, можно заключить, что энергетику, необходимую для пуска изделия из забортного модуля, целесообразно выполнять индивидуальной и независимой для каждого модуля вооружения, или, в отдельных случаях, общей для отдельной группы модулей.

Учитывая вышесказанное, одним из важных требований к забортным модулям вооружения является *стабильность их работы вне зависимости от внешних условий*. Это требование подразумевает включение в состав каждого модуля специального устройства, обеспечивающего пуск необитаемых аппаратов с выходной скоростью, необходимой для безаварийного его отделения. Если для пуска оружия используется сжатый воздух, подобное устройство может быть выполнено в виде клапана, автоматической регулировкой открытия проходного сечения которого можно регулировать расход воздуха из ресивера, а соответственно, и прилагаемый к изделию силовой импульс, достаточный для достижения требуемой выходной скорости.  
 Создание подводного миниоружия обусловлено необходимостью повышения боевых возможностей и устойчивости ПЛ с «компенсацией» слабых сторон традиционного оружия большим количеством сверхмалых его образцов. Последнее обстоятельство выдвигает и делает актуальной рассмотренную ранее задачу создания системы сменных взаимозаменяемых забортных *модулей вооружения*. Реализация такого подхода при проектировании ПЛ позволит достичь максимальной гибкости в ее эксплуатации, экономии в поставках и строительстве, в темпах усовершенствования и модернизации.

*Скрытность* применения оружия также является одной из необходимых характеристик рассматриваемых пусковых установок. При использовании для пуска изделия энергии сжатого воздуха, скрытность, прежде всего, подразумевает недопущение выхода использованного воздуха вслед за изделием в окружающую среду. Применение для забортных модулей вооружения системы беспузырной торпедной стрельбы (БТС) нецелесообразно, так как это приведет к увеличению объема, занимаемого модулями, дополнительным сложностям при их монтаже и обслуживании, а также к необходимости обеспечивать регулировку их работы в зависимости от параметров движения ПЛ. Для забортных модулей вооружения, не перезаряжаемых во время боепохода ПЛ, наиболее целесообразно применение схемы пневмопоршневой ПУ.

Ранее отмечалось, что *минимизация массогабаритных характеристик* модулей обуславливается их забортным расположением. Это определяется тем, что объемы, выделяемые для расположения таких пусковых устройств на ПЛ (да и на больших НПА), архитектурно ограничены. Требования по минимизации размеров сменных модулей также ужесточаются исходя из необходимости размещения наибольшего возможного их количества для повышения боеспособности ПЛ. Свою роль играет и потребность расположения модулей в разных частях корпуса лодки для минимизации времени парирования атакующего оружия в зависимости от траектории его движения.

Таким образом, требования по *технологичности и низкой стоимости* забортных модулей вооружения вытекают из их функционального предназначения. Естественно, что стоимость поставляемого на флот модуля напрямую зависит от сложности его изготовления и используемых материалов. В связи с тем, что количество размещаемых на ПЛ модулей исчисляется десятками единиц, а каждый из них может использоваться в процессе боепохода один раз, их стоимость должна быть на порядок ниже по сравнению с традиционным оружием. Исходя из сказанного выше, использование современных материалов и технологий в производстве пусковых устройств, а также упрощение их конструкций являются приоритетными направлениями проектных разработок.

При проектировании пусковых устройств для подводных аппаратов малого калибра также необходимо учитывать тот факт, что, в связи с меньшей по сравнению с традиционным морским оружием длиной, подобные изделия испытывают большие ускорения при одинаковой скорости выхода из пусковой установки. Это делает практически нецелесообразной с точки зрения массогабаритных характеристик изделия реализацию пускового импульса в виде точечного приложения силы (например, при использовании раздвижного толкателя).

Ниже, в качестве примера, будет приведена конструкция подобного ТПК, предназначенного для базирования торпед, ракет, антиторпед на ПЛ и НПА большого водоизмещения.

**1.3 Возможная конструкция ТПК для базирования вооружения на ПЛ и НПА**

Описанная ниже конструкция использует в качестве автономной энергии для выталкивания изделий энергию сжатого воздуха. В связи с этим обстоятельством в их конструкциях предусматривается наличие отдельных элементов (регуляторов воздуха высокого давления), управляющих расходом сжатого воздуха в зависимости от глубины, на которой производится выталкивание аппарата.

Особенностями данной конструкции являются упрощенная конструкция устройства, а также пониженная величина разброса выходной скорости выпускаемого подводного аппарата в широком диапазоне глубин использования устройства. Предлагаемая конструкция приведена на рис. 5, на котором показано общее устройство ТПК и на рис. 6, на котором изображен разрез магистрали основного клапана и расположенного в ней шарового клапана.

На рис. 5 изображен общий вид конструкции в разрезе, в котором подводный аппарат 1 размещен в пусковой трубе 2, расточенной под поршень 3, с неподвижно установленным в ее передней части обтюрирующим кольцом 4, образующим с внутренней поверхностью пусковой трубы демпфирующую полость 5, по размерам согласованную с кольцевым плунжером 6 поршня 3.

Подводный аппарат опирается головной частью на обтюрирующее кольцо 4, а челноками 7 — на пазы 8. При транспортировке и хранении в продольном направлении перемещение аппарата ограничивают кольцевой буфер 9 и разрывная мембрана 10, которая герметизирует внутренний, заполненный ингибитором объем пусковой трубы 2. Начальная фиксация поршня 3 от разворота относительно его продольной оси обеспечивается упорами 11.

С другой стороны трубы 2 герметично пристыкована включающая баллон 12 секция с образованием расширительной камеры 13. На торцевой, ограничивающей расширительную камеру 13, стенке баллона 12 размещен основной клапан 14, в выходной магистрали 15 которого установлен шаровой клапан 16, взаимодействующий с дистанционно управляемым шаговым электродвигателем 17, изменяющим при вращении его проходное сечение.

В приливе 18 внешнего торца ресивера 12 размещен поршень пневмопривода открывания основного клапана 14. В поджимаемом пружиной 20 поршне 19 привода оформлено каналом 21 связанное с внутренним объемом ресивера гнездо 22 системы наполнения ресивера воздухом. Для управления работой пневмопривода предусмотрен пусковой малого сечения пневмоклапан 23 с электромагнитным приводом.

На эскизе пунктиром показан герметичный колпак 24, обеспечивающий транспортную безопасность устройства.

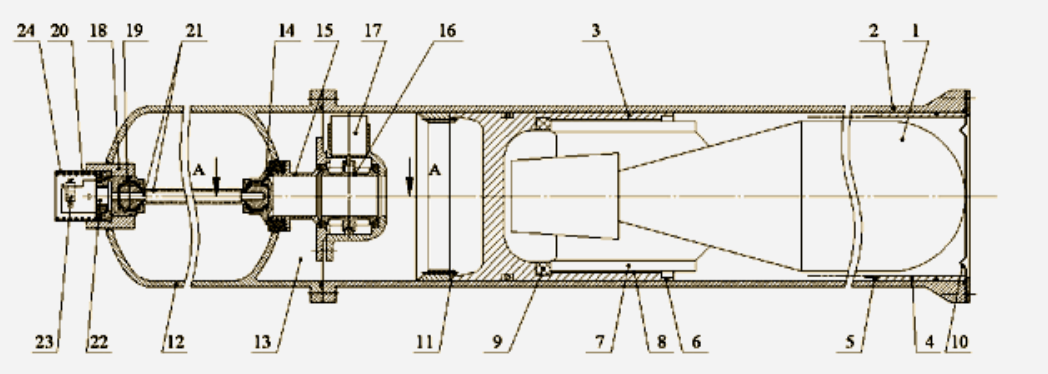


Рисунок 5 - Продольный разрез ТПК

На рис. 6 изображен разрез магистрали основного клапана и расположенного в ней шарового клапана, на котором обозначены расширительная камера 13, в которой расположена выходная магистраль 15 основного клапана 14, в которой установлен шаровой клапан 16.

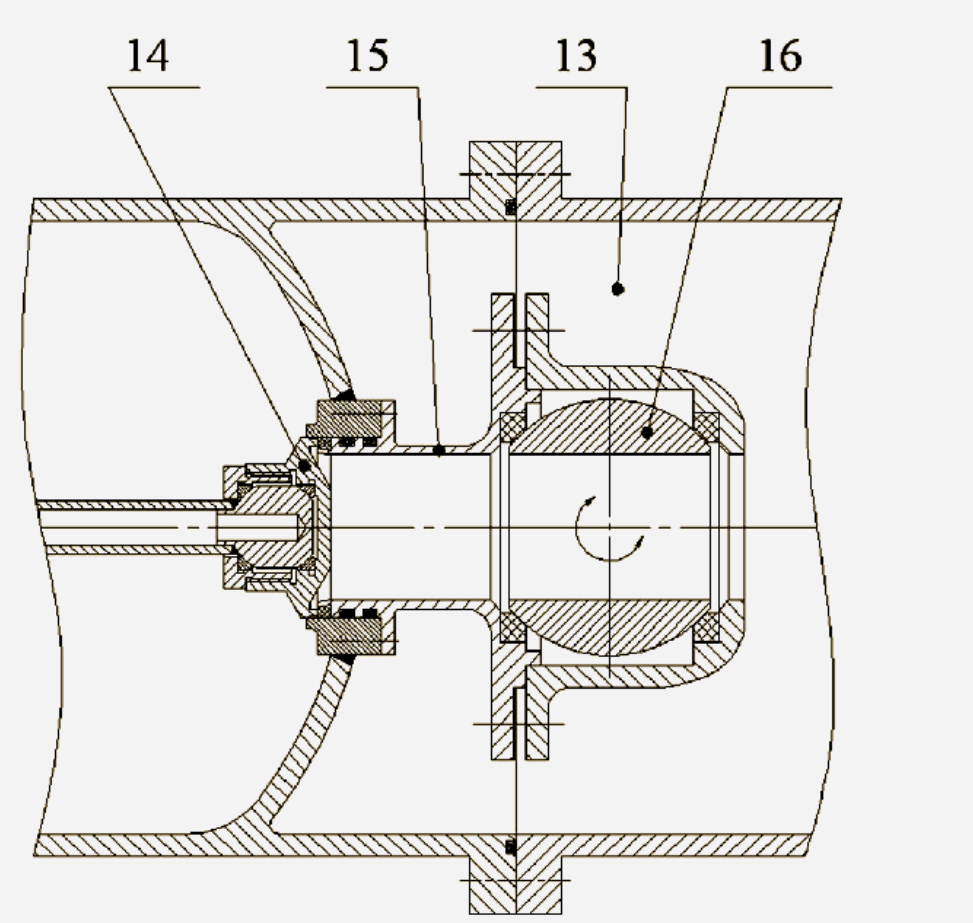


Рисунок 6 - Реализация регулятора расхода воздуха

**1.4 Принцип работы транспортно-пускового контейнера**

На базе приготовления через гнездо 22 по каналу 21 в баллон 12 набивается воздух высокого давления. Вследствие разности уплотняемых площадей с приводным поршнем 19 основной клапан 14 будет дополнительно к усилию пружины 20 прижат давлением к седлу, чем обеспечивается надежность герметизации баллона.

После установки транспортно-пускового контейнера на носителе и выхода последнего в море, на глубине подводный аппарат 1 будет находиться в жидкости с добавлением ингибитора под забортным давлением вследствие малой жесткости мембраны 10.

Перед осуществлением пуска подводного аппарата 1 производится его подготовка, в ходе которой в него с помощью не показанного на чертежах устройства вводятся данные от информационно-управляющей системы носителя. В это же время по смежному кабелю, также не показанному на чертежах, на шаговый электродвигатель 17 подается напряжение, вызывающее его вращение, передаваемое на шаровой клапан 16, что приводит к изменению его проходного сечения. При этом угол вращения шарового клапана 16 выбирается информационно-управляющей системой исходя из текущего значения глубины погружения носителя. На минимальной глубине шаровой клапан 16 поворачивается так, что его малое проходное сечение обеспечивает малый расход воздуха из баллона 12, подаваемого в расширительную камеру 13. На максимальной глубине шаровой клапан 16 остается полностью открытым, обеспечивая максимальный расход воздуха.

Осуществление пуска подводного аппарата 1 производится подачей электропитания на привод пневмоклапана 23. Давлением воздуха поршень 19 привода основного клапана 14 перемещает его в открытое положение. Через открытый основной клапан 14 воздух высокого давления из баллона 12 поступает в выходную магистраль 15, а далее, через проходное сечение шарового клапана 16, — в расширительную камеру 13, обеспечивая повышение давления в ней выше забортного. При этом на малой глубине погружения носителя забортное давление мало, и поэтому расход воздуха, необходимый для его преодоления, небольшой. На большой глубине — наоборот. Поршень 3 за счет давления в расширительной камере, перемещается вдоль пусковой трубы и компенсирует потерю воды через обтюрацию, тем самым обеспечивая ускоренное по отношению к нему движение подводного аппарата 1, за счет того, что площадь поршня 3 больше площади калиброванной части подводного аппарата, находящейся на срезе кольца 4 обтюрации.

В процессе перемещения поршня 3 давление воздуха в расширительной камере 13, из-за увеличения ее объема, падает, тем самым уменьшая силу, действующую на поршень 3. При этом на малой глубине это падение давления компенсируется небольшим расходом воздуха, а на большой — существенным. Предварительная установка проходного сечения шарового клапана 16 позволяет регулировать расход воздуха в зависимости от глубины погружения носителя, на которой производится выталкивание подводного аппарата 1.

В конце разгона подводного аппарата 1 поршень 3 тормозится и затем останавливается, так как плунжер 6 сжимает в демпфирующей полости 5 жидкость, постепенно выжимая ее под образующимся повышенным давлением через уменьшающееся с перемещением поршня сечение.

**2 Описание математической модели ПУ**

В ходе данной работы был использован нульмерный подход. Нульмерные (термодинамические модели) используют допущения о возможности осреднения параметров газа по внутреннему объему камеры сгорания (скоростями продуктов сгорания и производными газодинамических параметров по пространственным координатам пренебрегается). При этом возникает также необходимость принятия допущений, конкретизирующих теплообмен продуктов сгорания со стенками (физический принцип воздействия и вклад различных составляющих теплового потока в его суммарную величину). Осреднение газодинамических параметров по внутрикамерному объёму сводит исходную задачу к интегрированию системы ОДУ с соответствующими начальными условиями или системе алгебраических уравнений. Эти уравнения не имеют особенностей, поэтому их решение выполняется любым методом интегрирования ОДУ. Расчет скорости выполняется с использованием уравнений движения в одномерной постановке.

Достоинством нульмерных моделей является их простота, позволяющая получить замкнутые расчетные соотношения. Применение нульмерных моделей ограничивается невозможностью точного нахождения распределений скорости и других параметров по внутрикамерному объему. Происходит накопление ошибок, связанных с определением тепловых потоков. Погрешность становится существенной при исследованиях процессов в кратковременно функционирующих двигателях (их работа определяется волновыми процессами в камере сгорания).

В расчетной части данной работы мы принимаем допущение, что вся масса газа сосредоточена в объемах, а вся кинетическая энергия – в каналах.

Для расчета необходимо задаться несколькими дифференциальными уравнениями (изменение массы и изменение энергии в каждом объёме) и уравнением состояния.

Для расчета необходимо создать математическую модель, описывающую поведение газодинамических параметров в программной среде Pascal ABC при помощи дифференциальных уравнений и уравнения состояния. Для этого в первую очередь была схематично составлена модель изделия (рис. 7) и составлены все уравнения, необходимые для описания процесса в процессе запуска ракеты/торпеды/противоторпеды из ПУ.

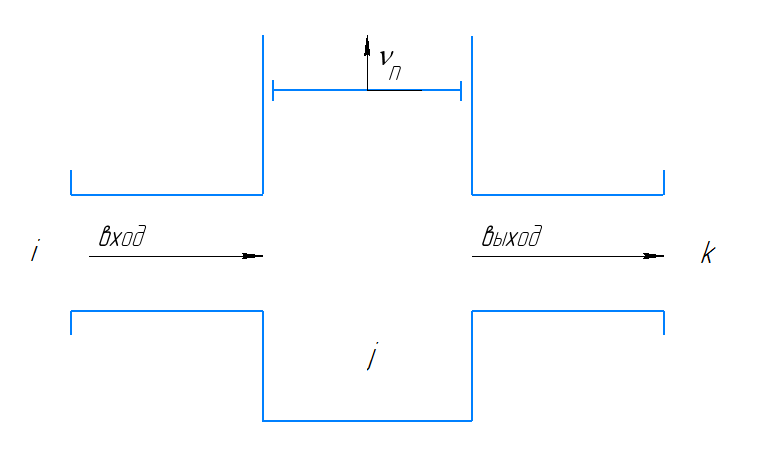


Рисунок 7 - Первичная модель изделия.

Формулы, описывающие данную модель:

(1)

где – масса газа в объёме j;

– массовые расходы в объемах ij и jk соответственно;

, (2)

где – молярная теплоёмкость воздуха в изохорном процессе;

– универсальная газовая постоянная для сухого воздуха;

– температуры газа в соответствующих объёмах;

– скорости газа в соответствующих объёмах;

– давления в соответствующих полостях;

– объёмы соответствующих полостей;

– площади сечения каналов;

, (3)

где γ = 1,4 – показатель адиабаты для воздуха

(4)

В дальнейшем для удобства и простоты расчетов переходится на более упрощенную модель, которая представлена на рисунке 8.

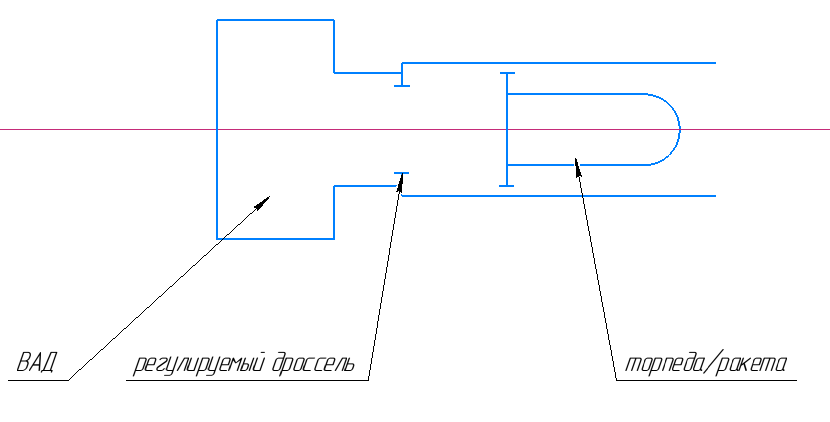


Рисунок 8 - Финальная модель изделия

В состав этой схемы входит: ВАД; регулируемый дроссель, меняющий площадь проходного сечения в зависимости от глубины погружения ПЛ или НПА; сам объект – ракета, торпеда или антиторпеда для защиты ПЛ.

Так как конечная схема отличается от вышеописанной, поэтому для её описания будут использоваться немного другие формулы, а именно производная массового расхода, значения которой зависит от режима истечения, производная температуры и формула давления, которая была получена из уравнения Менделеева – Клайперона.

В зависимости от режима истечения (сверхкритическое или докритическое) для поиска массового расхода будет использоваться либо формула 5, либо формула 6:

, (5)

где – эффективная проходная площадь сечения клапана;

– давление в баллоне;

– коэффициент расхода;

– универсальная газовая постоянная для сухого воздуха;

– температура в баллоне;

– показатель адиабаты для воздуха;

, (6)

где – текущий перепад давлений;

*,* (7)

где – массовый расход газа;

– молярная теплоёмкость воздуха в изохорном процессе;

– масса газа, находящегося в баллоне;

*,* (8)

где – молярная теплоёмкость воздуха в изобарном процессе;

– скорость движения поршня;

– температура газа в установке;

– давление в установке;

– площадь поршня;

– масса газа, находящегося в объёме установки;

(9)

Для расчетов используется программная среда Pascal ABC. Аналитически данная система уравнений не решается, поэтому будем использовать численный метод решения дифференциальных уравнений – метод Эйлера. Исторически первым и наиболее простым способом численного решения задачи Коши для ОДУ первого порядка является метод Эйлера. В его основе лежит аппроксимация производной отношением конечных приращений зависимой и независимой переменных между узлами равномерной сетки.

Исходные данные для расчетов: используемый калибр – 125 мм (dп = 0.125 м), объём баллонов ВВД – 6 литров (V10 = 6\*10-3 м3), объём полости в установке – 2,5 литра (V20 = 2.5\*10-3 м3), максимально допустимое внешнее давление – 11 атмосфер (11\*105 Па), масса объекта – 20 кг, допустимые перегрузки – 70 единиц.

В ходе составления программы для расчета необходимых параметров была составлена программа в Pascal ABC (приложение А), в которой были использованы следующие ключевые формулы, помимо основных, приведённых выше в описании конечной модели изделия:

, (10)

где – критический перепад давлений;

(11)

, (12)

где – давление в установке;

– давление внешней среды;

m = 20 кг – масса объекта;

, (13)

где – ускорение объекта;

– начальный объём установки;

– перемещение объекта;

– площадь поршня;

**3 Результаты исследования газодинамических процессов в полостях воздушных пусковых систем для подводных объектов**

**3.1 Первая серия расчетов**

В ходе выполнения ВКР были выполнены две серии расчетов. Первая серия проводилась во всем диапазоне давлений внешней среды, имитируя случай, когда у нас не предусмотрено регулирование проходного сечения. В результаты выполнения расчетных работ были определены параметры систем запуска, обеспечивающие при предельном давлении внешней среды (11 атм) следующие значения:

* скорость изделия – 18,9 м/с
* максимальная продольная перегрузка при запуске – 68,5 единиц
* максимальное давление в полости установки – 22 атм (22\*105 Па)

Такие значения обеспечиваются при следующих параметрах установки:

* объём баллона – 6 литром (0,006 м3)
* начальное давление в баллоне – 220 атм (220\*105 Па)

В приложении 2 представлены полные результаты работы программы, относящиеся к первой серии, то есть без регулирования и соответствующие предельному значению давления внешней среды (11 атм).

После этого были проведены расчеты для случаев, когда внешнее давление уменьшалось до 2 атмосфер с шагом в 1 атмосферу. Параметры системы запуска при этом не менялись. Результаты расчетов представлены на рисунках 9 – 14.

Рисунок 9 – Графическая зависимость давления в баллоне от времени

Рисунок 10 – Графическая зависимость давления в установке от времени

Рисунок 11 – Графическая зависимость массового расхода от времени

Рисунок 12 – Графическая зависимость перемещения объекта от времени

Рисунок 13 – Графическая зависимость скорости объекта от времени

Рисунок 14 – графическая зависимость ускорения объекта от времени

Из представленных выше рисунков можно сделать вывод, что при неизменной во всем диапазоне значений давления внешней среды величине эффективной проходной площади сечения клапана с уменьшением внешнего давления наблюдается рост скорости выходы изделия и максимального значения продольной нагрузки. Так же было выявлено, что давление в баллоне при отсутствии регулирования проходного сечения клапана не зависит от давления внешней среды. Значения скоростей выхода объекта и максимальных продольных перегрузок представлены в Таблице 1. Графические зависимости данных параметров от величины давления внешней среды представлены на рисунке 15.

Таблица 1 – Значения выходной скорости и максимальных перегрузок

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рвн, ат | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| v, м/с | 32.47 | 31.2 | 29.87 | 28.5 | 27 | 25.6 | 24 | 22.4 | 20.7 | 18.88 |
| max g | 83.1 | 81.2 | 79.4 | 77.6 | 75.9 | 74.2 | 72.8 | 71.2 | 68.8 | 68.2 |

Рисунок 15 - Графическая зависимость скорости выхода объекта и максимальных перегрузок от давления внешней среды при отсутствии регулирования клапана

Таким образом, результаты расчетов показывают, что при неизменной во всем диапазоне давлений внешней среды величине эффективной проходной площади сечения клапана для заданного диапазона давлений внешней среды не удаётся обеспечить одинаковую скорость выхода (примерно 19 м/с) и наблюдается превышение допустимой продольной перегрузки (70 единиц).

**3.2 Вторая серия расчетов**

На этом этапе расчетов основной задачей является поиск эффективной проходной площади сечения клапана во всем диапазоне давления внешней среды. Для этого, не меняя значения начальных давлений и объёмов в баллоне и установке будет меняться только площадь проходного сечения для каждого давления внешней среды так, чтобы значения скорости выхода объекта и максимальной продольной нагрузки соответствовали значениям, полученных во время расчета параметров при предельном давлении внешней среды – 11 атм. Результаты расчетов представлены на рисунках 16 – 21.

Рисунок 16 – Графическая зависимость давления в баллоне от времени

Рисунок 17 - Графическая зависимость давления в установке от времени

Рисунок 18 – Графическая зависимость массового расхода от времени

Рисунок 19 – Графическая зависимость перемещения объекта от времени

Рисунок 20 – Графическая зависимость скорости объекта от времени

Рисунок 21 – графическая зависимость ускорения объекта от времени

Из представленных выше рисунков можно сделать вывод, что при изменяемой во всем диапазоне значений давления внешней среды величине эффективной проходной площади сечения клапана с уменьшением внешнего давления наблюдается практически одинаковая скорость выхода объекта и значения максимальной продольной нагрузки не превышают допустимых значений.

Значения выходной скорости изделия и максимальных продольных перегрузок при соответствующих давлениях внешней среды представлены в Таблице 2. Так же на рис. 22 построена графическая зависимость данных двух параметров для удобной визуализации результатов.

Таблица 2 – Значения выходной скорости и максимальных перегрузок при регулировании проходного сечения клапана

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рвн, ат | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| v, м/с | 18.8 | 19 | 18.8 | 18.9 | 18.7 | 19 | 19 | 18.9 | 18.9 | 18.9 |
| max n, ед | 32.7 | 36.9 | 40.3 | 44.5 | 48 | 52.7 | 56.7 | 60.5 | 64.5 | 68.2 |

Рисунок 22 – Графическая зависимость скорости выхода объекта и максимальных перегрузок от давления внешней среды при регулировании клапана

Из полученных значений и графических зависимостей можно сделать вывод, что даже такое простое решение, как регулирование эффективной площади проходного сечения клапана позволяет добиться практически одинаковых значений скорости выхода объекта и максимальной продольной перегрузки во всем диапазоне давлений внешней среды.

**Заключение**

Список использованной литературы

Приложение А

Текст составленной программы для расчетов

**program** diplom;

**const**

//диаметр изделия - 125 мм

//индекс 1 - баллон; а 2 - сама установка

m=20; P\_10=22000000; d\_p=0.125; gamma=1.4; myu=0.95; V\_10=6.0e-3;

P\_vn=1000000; R=287; g=9.81; ro=1000; V\_20=2.5e-3; T1\_0=293; P2\_0=100000; T2\_0=293;

d\_kr=3.8e-3;

dt=1.0e-5; dtwr=1.0e-3;

**var**

t,x,vx,ax,P\_kr,P2,V\_2,m\_g1,m\_g2,m\_g01,m\_g02,V\_1,mr,P1:real;

T1,T2,sos\_chast1m,sos\_chast2m,sos\_chast1b,sos\_chast2b,F\_p,F\_kr,P\_cherta:real;

Tcherta\_1,Tcherta\_2,Cv,Cp:real;

it,nwr,Istr:integer;

f:text;

**begin**

nwr:=round(dtwr/dt); **if** nwr<1 **then** nwr:=1;

assign(f, 'results.txt'); rewrite(f);

P\_kr:=exp(ln(2/(gamma+1))\*(gamma/(gamma-1)));

F\_kr:=(3.14\*d\_kr\*d\_kr)/4;

F\_p:=(3.14\*d\_p\*d\_p)/4;

Cv:=R/(gamma-1);

Cp:=Cv\*gamma;

m\_g01:=(P\_10\*V\_10)/(R\*T1\_0);

m\_g02:=(P2\_0\*V\_20)/(R\*T2\_0);

//задаем начальные условия для вхождения в цикл

t:=0; x:=0; vx:=0; ax:=0; it:=0;

P1:=P\_10;

P2:=P2\_0;

T1:=T1\_0;

T2:=T2\_0;

m\_g1:=m\_g01;

m\_g2:=m\_g02;

V\_1:=6.0e-3;

V\_2:=1.0e-4;

writeln(f, 't,c x,мм v,м/с а,м/с^2 P1,atm P2,atm mr,кг/с T1,K T2,K V2,m^3');

writeln(f,t:6:3,' ',x:10:8,' ',vx:10:8,' ',ax:10:8,' ',P1/100000:8:3,' ',P2/100000:8:3,' ',mr:12:9,' ',T1:8:3,' ',T2:8:3,' ',V\_2:6:5);

**repeat**

P\_cherta:=P2/P1;

//делаем составные части для массового расхода

sos\_chast1m:=exp(ln((2/(gamma+1))\*((gamma+1)/(gamma-1))));

sos\_chast2m:=exp(ln((R\*T1)/(gamma\*sos\_chast1m))\*(-1/2));

sos\_chast1b:=exp(ln(P\_cherta)\*((gamma-1)/gamma));

sos\_chast2b:=exp(ln(P\_cherta)\*(1/gamma));

//определение режима истечения, сверх или докритический

**if** P\_cherta <= P\_kr **then**

mr:=(F\_kr\*P1\*myu\*sos\_chast2m)

**else**

mr:=(((F\_kr\*P1\*myu)/(sqrt(R\*T1)))\*sos\_chast2b\*sqrt(((2\*gamma)/(gamma-1))\*(1-sos\_chast1b)));

Tcherta\_1:=-(T1\*R\*mr)/(Cv\*m\_g1);

Tcherta\_2:=(mr\*(Cp\*T1-Cv\*T2)-(P2\*F\_p\*vx))/(Cv\*m\_g2);

**if** Istr=0 **then** ax:=0

**else** ax:=((P2-P\_vn)\*F\_p)/m;

vx:=vx+dt\*ax;

x:=x+dt\*vx;

it:=it+1;

t:=it\*dt;

T1:=T1+dt\*Tcherta\_1;

T2:=T2+dt\*Tcherta\_2;

m\_g1:=m\_g1-mr\*dt;

m\_g2:=m\_g2+mr\*dt;

V\_2:=V\_20+x\*F\_p;

P1:=m\_g1\*R\*T1/V\_1;

P2:=m\_g2\*R\*T2/v\_2;

**if** (Istr=0) **and** (P2>P\_vn) **then**

Istr:=1;

//вывод в текстовый файл, давление для удобства преобразовывем в атмосферы

**if** (it **mod** nwr)=0 **then**

**begin**

**if** (it **mod** (20\*nwr)=0) **then** writeln(f, 't,c x,мм v,м/с а,м/с^2 P1,atm P2,atm mr,кг/с T1,K T2,K V2,m^3');

writeln(f,t:6:3,' ',x:10:8,' ',vx:10:8,' ',ax:10:8,' ',P1/100000:8:3,' ',P2/100000:8:3,' ',mr:12:9,' ',T1:8:3,' ',T2:8:3,' ',V\_2:6:5);

writeln(t)

**end**;

**until** x>=1;

writeln(f,t:6:3,' ',x:10:8,' ',vx:10:8,' ',ax:10:8,' ',P1/100000:6:3,' ',P2/100000:6:3,' ',mr:12:9,' ',T1:6:3,' ',T2:6:3' ',V\_2:6:5);

//отладочная функция для удобства обработки

writeln(f,'Диаметр критического сечения:',d\_kr:6:5);

close(f)

**end**.

Приложение Б

Результаты работы программы при предельном давлении внешней среды

