МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

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

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

Факультет [«А» РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ](http://www.voenmeh.ru/training_activities/institutes/fa)

Кафедра А4 "Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов"

Дисциплина (модуль) Научно-исследовательская работа

Научно-исследовательская работа 2

Написание первой главы диссертации:

«Численное моделирование газодинамических процессов при старте»

Выполнил студент

группы А4М31

Номер группы

Левченко Г.Е.

Фамилия И.О.

Проверил

Маштаков А.П.

Фамилия И.О.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018г.

# ВВЕДЕНИЕ

В данной работе как объект исследования рассматривается газодинамические эффекты, возникающие при работе струйного сверхзвукового эжектора нестандартной конфигурации. Исследуемый эффект заключается в выходе установки на автоколебательный режим, заключающийся в перестроении ударно-волновой конфигурации струи внутри установки Выполнено исследование качественной картины течения, а также определенны некоторые параметры, влияющие на появление или отсутствие исследуемого эффекта. Исследование производилось с использованием пакета прикладных программ реализующих метод конечных объемов на двумерных блочно-структурированных сетках с моделированием пограничного слоя. Моделирование производилось для различных геометрических конфигураций расчетной области.

# Глава1. Описание объекта исследования и возможности применения результатов исследования

## Описание установки для проведения исследования

Расчетно-экспериментальная модель представляет собой установку, состоящую из сопла Лаваля, специальным образом закрепленного в прозрачной трубе, выполненной из оргстекла, с относительно небольшим зазором. На рисунке 1 представлен схематичный вид установки и исследуемого сверхзвукового течения.

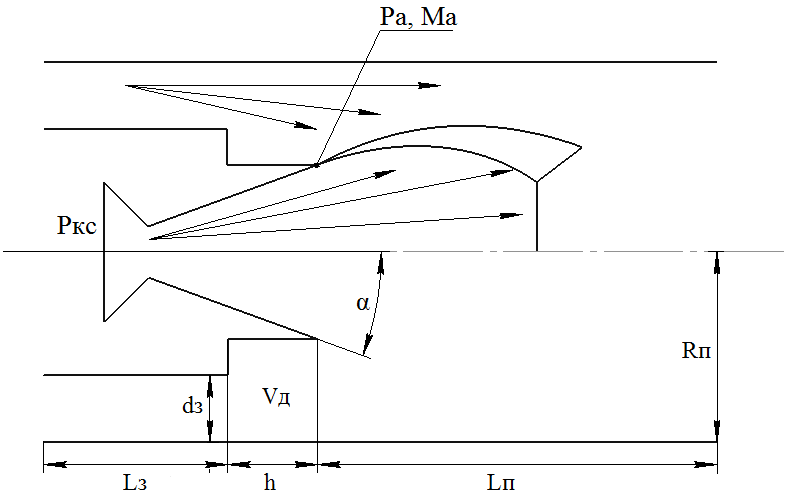


Рис. 1 Схема течения и экспериментальной установки

На основании экспериментальных данных [4] можно выделить следующие геометрические параметры влияющие на картину течения и проявления некоторых эффектов: h – Длина части сопла, выступающей за дно установки; Lз – длинна зазора; dз – ширина зазора; Lп – длинна полости; Rп – радиус полости; Vд – объем подустановочной полости.

Основными параметрами сопла, влияющими на процесс формирования струи, являются: Ma – число маха на выходе из сопла; – степень нерасчетности сопла, где Рн – давление в окружающей среде, а Ра – давление на выходном срезе сопла; α – угол полураствора сопла.

Далее на рисунках приводится схематичное отображение развития сверхзвукового течения в установке.

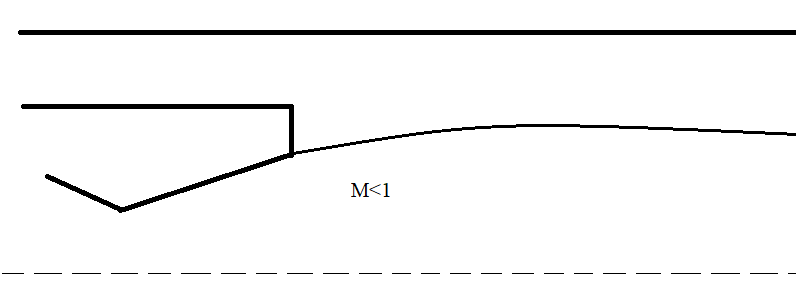


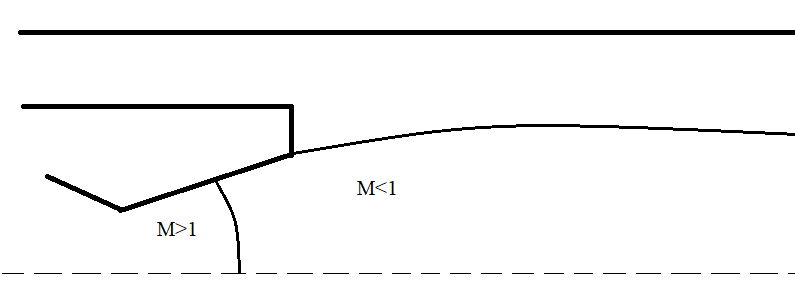
Рис. 2а дозвуковое течение

Рис. 2б течение с прямым скачком уплотнения

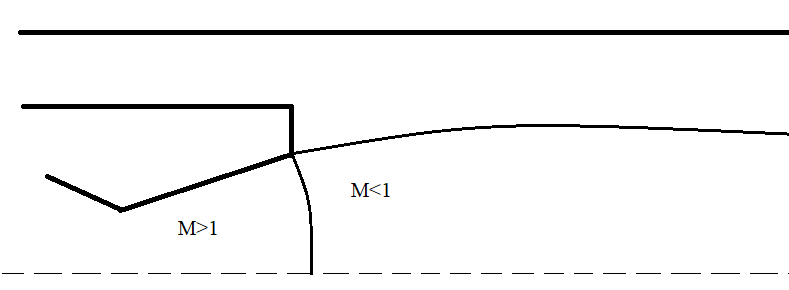


Рис. 2в режим запуска сопла

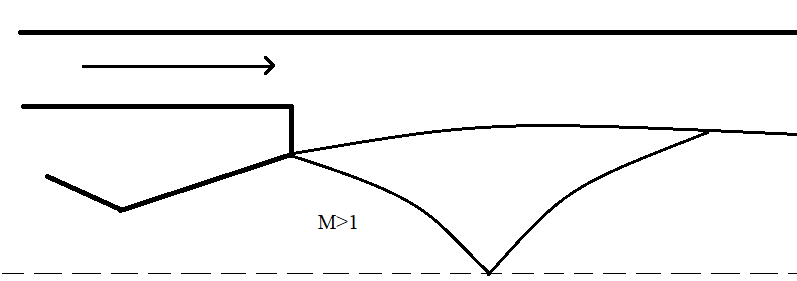


Рис. 2г режим перерасширения

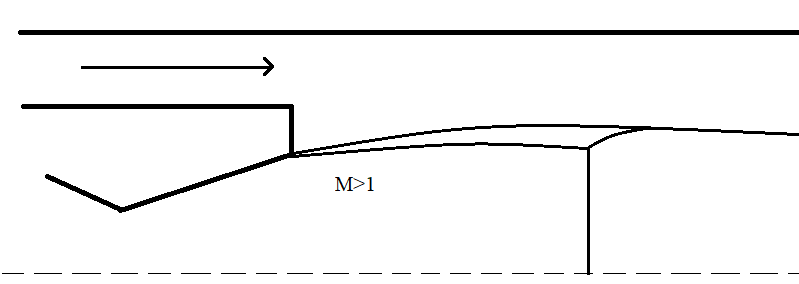


Рис. 2д расчетный режим

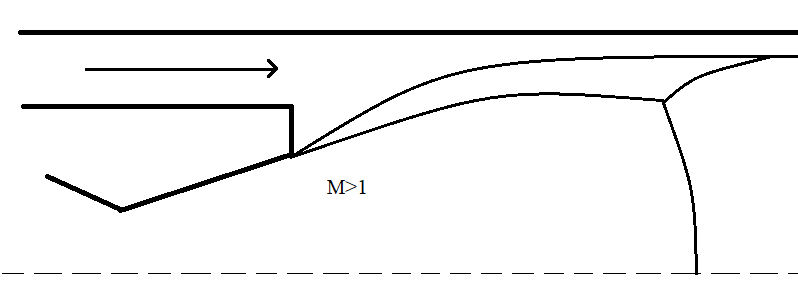


Рис. 2е режим недорасширения

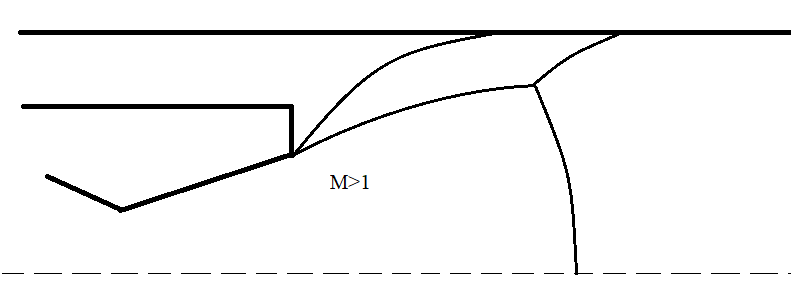


Рис. 2ж режим сильного недорасширения

На рисунках 2а-2в происходит процесс запуска сверхзвукового сопла постепенным увеличением давления газа в конфузоре сопла, эжекция через зазор между установкой и трубой можно пренебречь, она или отсутсвует или является несущественной. На режиме, изображенном на рисунке 2г появляется эжекция через боковой зазор. Далее, с увеличением давления сопло переходит в расчетный режим (рисунок 2д). При достижении режима недорасширения (рисунок 2е) прекращается увеличение давления в конфузоре. Под действием эжектирующей способности струи давление в подустановочной полости падает, в следствии чего течение переходит в режим сильного недорасширения с полным перекрытием трубы установки сопловым течением (рисунок 2ж). Поскольку проход эжекционному газу полностью перекрыт, эжекция прекращается и начинается рост давления в подустановочной полости. В результате чего через некоторое время течение переходит в режим перерасширения (рисунок 2г) и процесс зацикливается между состояниями, изображенными на рисунках 2г-2ж. В некоторой литературе данный эффект называют помпажным [6]. Предполагается возможность смещения фаз начала эжекционного течения и его прекращения в зависимости от геометрических и струйных параметров конкретного эксперимента, а также возникновения дополнительного катализирующего эжекционного эффекта на более ранних стадиях.

## Возможности применения результатов исследования

Основной целью данной работы является нахождения качественной картины течения в сверхзвуковом струйном эжекторе, а также выявление ключевых геометрических параметров установки влияющих на появление автоколебательного режима. Это могут бы некоторые зависимости между параметрами струи и геометрическими характеристиками установки, например, нахождение связи между эжектирующей способностью струи, длинной(Lз) и шириной зазора(dз) или это может быть комплекс функций отображающий связь всех параметров, фигурирующих в рамках рассматриваемой задачи на появление автоколебательного режима и\или дополнительных, не учтенных, сил.

Результаты данного исследования могут быть применимы в различных областях деятельности современной инженерии, например:

1. создаваемое акустическое воздействие перестраивающейся струи может быть использовано в качестве термоакустического воздействия на образцы металла для его упрочнения в металлургии;
2. создаваемый эжектирующий эффект в сочетании с большим гидравлическим сопротивлением может быть использован в качестве смесителя жидкого и газообразных компонентов топлива в заданной пропорции, некоторого рода сверхзвуковой барботажный карбюратор;
3. создаваемое дополнительное силовое воздействие, акустическое и вибрационно-силовое воздействие на БПЛА покидающих свои ТПК, выход из которых реализован по проточной схеме.

Далее остановимся на каждом пункте отдельно.

## 1.3 Акустическое воздействие

Рассмотрим уже существующие газодинамические устройства создания акустических колебаний. Широкое применение получили свистки: свистки Гавро, свистки Гартмана, свистки Гальтона, вихревые свистки, свистки Левавассера. Свистки — это механические устройства для преобразования кинетической энергии струи в энергию акустических колебаний. Принцип их действия основан на возникновении автоколебательных процессов в струе и окружающем пространстве при взаимодействии струи с острыми кромками или резонирующей полостью. Механизм автоколебаний основан на сочетании эффектов неустойчивости струи и обратной связи через акустическое поле в резонаторе.

При очень малых скоростях истечения струи внутри неё в критическом слое возникают завихрения, ось струи остается прямолинейной. При некотором пороговом значении скорости струя теряет свою устойчивость и её ось искривляется, амплитуда по мере удаления от источника растёт, пока не образуется, так называемая, вихревая дорожка. Всё это объясняется потерей устойчивости системы под влиянием случайных малых возмущений. Возмущения завихрённости, возникающие в струе в окрестности кромки сопла, переносятся в струе вниз по потоку и усиливаются, образуя локализованные вихри. Вихри, взаимодействуя с кромками резонатора и (или) клином, генерируют звуковые возмущения, которые усиливаются резонатором и взаимодействуют на струю. Таким образом, замыкается обратная связь.

1. Свисток Гавро.

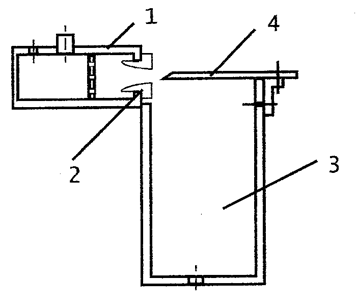


Рис. 3 Свисток Гавро. 1 – Рессивер, 2 – Сопловой блок, 3 – Прямоугольный резонатор, 4 – Подвижный клин

При обтекании плоским потоком горла резонатора (рис. 3) часть газа, в силу эжекционных и инерционных свойств, попадает в резонатор. Внутри резонатора образуются сложные вихревые течения. Возмущения от притока массы распространяются в резонаторе в виде волн сжатия. Отражаясь от стенок резонатора, волновые возмущения достигают его горла, вызывая отклонения потока от горла резонатора, тем самым, обеспечивая истечение некоторой массы воздуха из резонатора. Выброс массы из резонатора вызывает возмущения, и различными способами, отражаясь от стенок резонатора, в итоге воздействуют на поток в горле резонатора, отклоняя его вновь в полость резонатора. Цикл повторяется.

1. Свисток Гальтона.

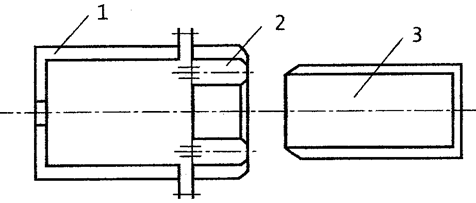


Рис. 4 Свисток Гальтона. 1 – Рессивер, 2 – Сопловой блок, 3 – Резонатор

При взаимодействии кольцевой струи с кромками резонатора (рис. 4) возбуждаются автоколебания в системе струя — резонатор. При этом часть энергии стационарного потока газа преобразуется в акустическое излучение, а в полости резонатора возбуждаются интенсивные пульсации давления. Процесс генерации будет поддерживаться, если энергия в колебательной системе будет превышать потери на излучение и трение.

1. Свисток Гартмана

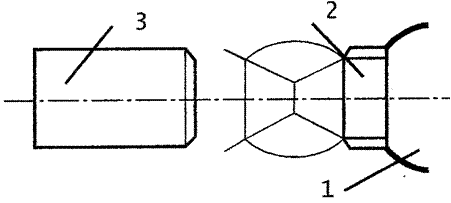


Рис 5. Свисток Гартмана. 1 – Рессивер, 2 – Круглое сопло, 3 – Цилиндрический резонатор

Свисток Гартмана (рис. 5) является источником звука со сверхзвуковой струей. При истечении сверхзвуковой струи возникает система скачков уплотнения, струя пульсирует, взаимодействуя с резонатором, в ней наблюдается пространственная осцилляция давления.

## Сверхзвуковой смеситель

Ближайшим аналогом сверхзвукового струйного эжектора, если рассматривать его в качестве смесителя для горючего и окислителя, является барботажный карбюратор (схема, представленная на рис. 6).

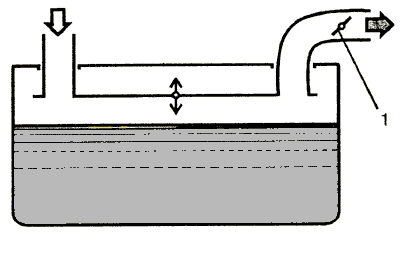


Рис. 6 Барботажный карбюратор. 1 – Дроссель

Барботажный карбюратор является давно устаревшей и забытой технологией по ряду причин: крайняя чувствительность к фрикционному составу топлива, сильной зависимости от параметров окружающей среды, повышенной взрывоопасности, сложностью изменения режима подачи смеси. Из себя он представляет некоторую емкость, наполненную топливом, в емкость помещается пластина, имеющая 2 отверстия к которым подключаются трубки, плотно прилегающие к установочным отверстиям в корпусе бака, на выходной магистрали имеется дроссель, регулирующий количество смеси, подаваемое к целевому объекту. Воздух вытягиваемый из бака через выходной патрубок проходит путь от входного патрубка до выходного вдоль поверхности топлива, в процессе чего насыщается парами, качество смеси регулируется изменением высоты пластины относительно емкости поверхности топлива.

Исходя из описания работы системы можно сделать выводы, что она работоспособна на неподвижном объекте, который не испытывает колебаний большой амплитуды, а также имеет хорошо отрегулированную систему подкачки топлива в бак.

Поскольку система применялась в начала и середине двадцатого века технологичность исполнения, системы регулировки и управления находились на невысоком уровне, отсюда и вытекало большинство недостатков системы.

Исследуемую в данной работе системы можно использовать в качестве смесителя, при этом качество смеси будет значительно выше классического исполнения, сохранится возможность регулирования расхода смеси за счет изменения давления в камере в определенных пределах (нахождение верхнего предела изменения давления также является задачей данной работы). Зазор между соплом и трубой можно выполнить определенной формы таким образом, чтобы течение жидкости через него было невозможно или пренебрежительно мало без появления дополнительной эжектирующей силы. Ближайшим аналогом такого соединения можно считать лабиринтные уплотнения.

Такого рода смесители интересны и с точки зрения создания смеси очень высокого качества, поскольку в таком случае подачи компонентов топлива можно добиться намного большей равномерности смешения, чем при использовании традиционных систем подготовки топливно-воздушной смеси, например, игольчатых карбюраторов и инжекторных систем. При подаче топлива с использованием карбюратора или инжектора топливо подается в воздушную среду точечно, а при использовании эжекторной системы появится возможность подачи топлива через кольцевой зазор, при этом увеличится площадь контакта сред, скорость и качество перемешивания значительно увеличится из-за высокой турбулентности на границе струи, куда и будет попадать топливо после прохождения кольцевого зазора. При этом такая система позволит исключить из цепи подачи топлив насос высокого давления и форсунку (для инжекторных систем), а также позволит избежать явления конденсации топлива на в тракте.

## Оптимизация геометрии ТПК

В данный момент на вооружении стоит ряд систем, в которых старт БПЛА из ТПК реализован по проточной схеме, в основном это Зенитные Ракетные Комплексы(ЗРК).

Рассмотрим схемы старта БПЛА из ТПК:

1. Минометная – выход изделия происходит за счет подачи дополнительного газа высокого давления в объем между нижней стенкой ТПК и кормовой поверхностью изделия. Газ сохраняется в объеме до полного выхода изделия из пусковой трубы за счет установки обтюраторов. Для такой системы старта свойственна большая нагрузка на стартовое оборудование от порохового аккумулятора давления или собственного двигателя объекта.

Существует второй вариант реализации минометной схемы – самовыход из полузакрытой полости, таким образом снижаются силовые нагрузки на стартовое оборудование и более эффективно используется энергия газов за счет создания дополнительного поршневого эффекта, но при этом увеличиваются тепловые нагрузки на стартовое оборудование;

1. Катапультная – выход изделия происходит за счет жесткой передачи движения объекту через систему рычагов. Такие изделия характерны сложностью исполнения и громоздкими стартовыми устройствами;
2. Проточная – выход изделия происходит за счет собственной тяги двигателя. Наиболее неэффективная схема старта с точки зрения затрат топлива изделия, дополнительным минусом схемы является необходимость защиты стартового оборудования от прямого струйного воздействия

Объект, исследуемый в данной работе, представляет собой проточную схему старта изделия из ТПК с одним единственным отличием – изделие статично относительно стенок ТПК.

## Актуальность исследования

В результате проведения исследования могут быть получены результаты, позволяющие понять, оценить и спрогнозировать появление тех или иных эффектов на стартовую динамику БПЛА. Вибрации и акустическое воздействие возникающее при перестроении течения на автоколебательном режиме губительно влияют на работоспособность точной аппаратуры, размещенной на борту изделия, на прочностные характеристики силовой конструкции, на возможности и качество работы управляющих элементов. Появление разряжения в донной области изделия создаст противотягу, которая, в свою очередь, будет снижать топливную эффективность объекта, что при выбранной схеме старта и без того является наиболее уязвимым местом системы. При наличии аналитических зависимостей появится возможность вероятностного учета сложения губительных обстоятельств, таких как: разброс качество топлива, отклонение размеров изделия и стартовой трубы в пределах допусков, на появление неблагоприятных явлений, что положительно скажется на надежности системы в целом.

По результатам исследования может быть получен инструмент создания качественно новой системы подачи и смешения топливовоздушной смеси, которая, пусть, и подходит для решения очень узкого спектра задач, но имеет право на существование.

Актуальность создания новой системы акустического воздействия сложно оценить без специфических познаний в области металлургии и материаловедения.