Студенческое инициативное объединение «RoTech»

**Подход к проектированию ЖРД и методология проведения испытаний**

2024 г.

**Преамбула**

В данном документе приведена стратегия создания следующего носителя на материальной базе М-1, анализ ошибок разработки, пути решения, математическое описание процессов, происходящих при работе ДУ, а также – предлагаемая последовательность испытаний и описание необходимого для нее стендового оборудования.

**Ошибки М-1**

Речь идет исключительно об ошибках, касающихся ПГС и двигательной установки, принципиально влияющих на ее работу. Ошибки в построении электроники, эргономике будут рассмотрены вне рамок данного документа.

По мнению автора создание однокомпонентного ДУ является нецелесообразным по ряду причин:

- Крайне малая высота полета, что вместе с отсутствием огня несет негативное восприятие, а также неудовлетворенность работой

- Трата больших ресурсов, прежде всего денег и времени, на заведомо низкоэнергетическую технологию, материальная база которой не может быть использована для работы с двухкомпонентным двигателем ввиду большой разности в потребных расходах и тягах.

-Техническая сложность реализации потребных тяговых характеристик в условия ограничения давления наддува 3 Мпа

На основании данных утверждений считаю **целесообразным создание двухкомпонентного ЖРД.**

При разработке и испытаниях предыдущей версии ЖРД автор выделяет следующие принципиальные проблемы:

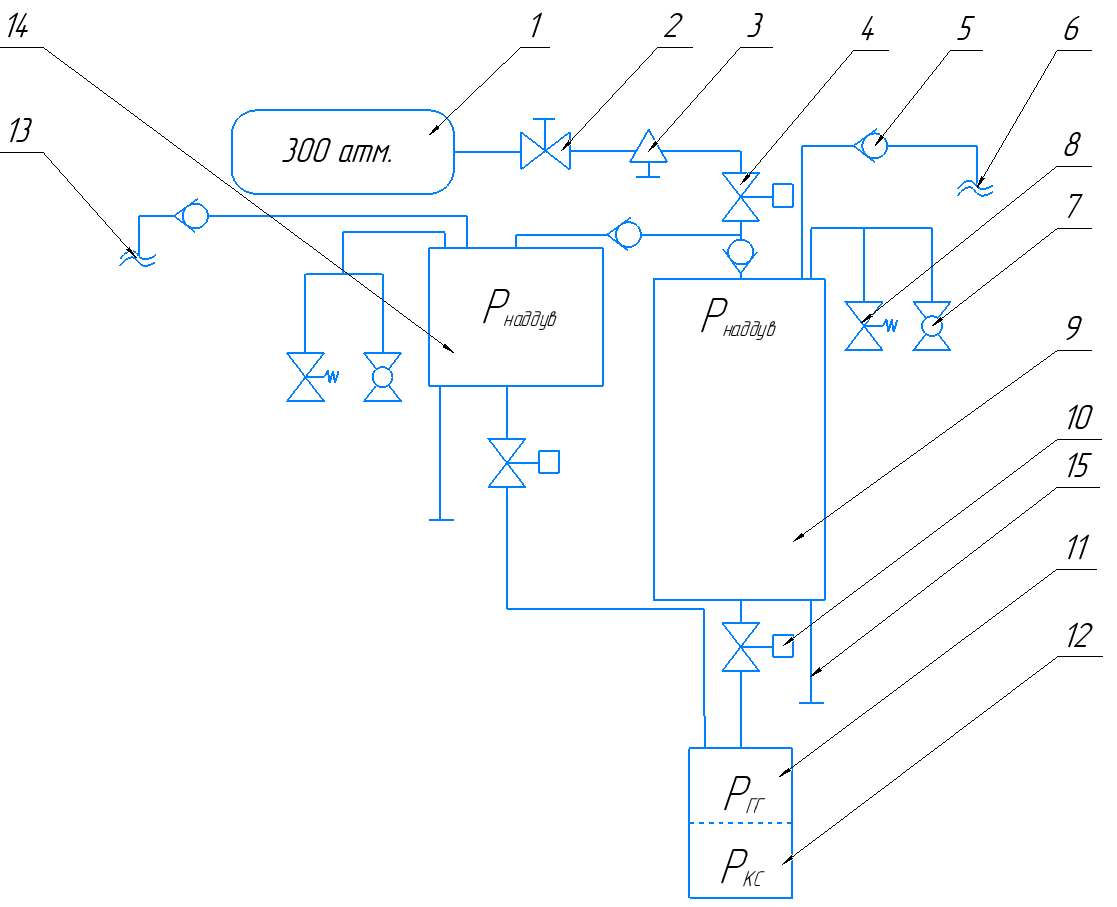
1. Изначальное проектирование, игнорирующее падение давление наддува, что привело к неравномерной тяге, которую сложно оценивать и нужно проектировать камеру под большое давление.
2. Проблемы со степенью разложения, выбор случайного объема газогенератора, отсутствия испытаний, направленных на оценку необходимого объема катпака.
3. Проблема с обеспечением расхода – клапан дает малый расход, использование тонких трубок, что согласно формуле Пуазейля крайне нецелесообразно, которые при этом не устойчивы к высоким температурам.
4. Отсутствие математического описания процессов расхода и потерь.

**Предлагаемые методы решения**

В конструкцию новой РН предлагается внести следующие правки:

1. Размещение легкого баллона наддува с редуктором
2. Использование электромагнитных клапанов большого сечения
3. Использование алюминиевых трубок для подачи компонентов

Данные нововведения отображены на схеме снизу. При этом все позиции являются реальными изделиями.



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | наименование | ссылка | Масса, г |
| 1 | Баллон наддува |  | 500 |
| 2 | Кран ручной |  |  |
| 3 | Редуктор газовый |  |  |
| 4 | Клапан электрический газовый |  |  |
| 5 | Обратный клапан |  |  |
| 6 | Выход на заправку О - СОН-О |  |  |
| 7 | Пироклапан |  |  |
| 8 | Клапан предохранительный |  |  |
| 9 | Бак окислителя |  |  |
| 10 | Клапан электрический жидкостной |  |  |
| 11 | Газогенератор |  |  |
| 12 | Камера сгорания |  |  |
| 13 | Выход на заправку Г – СОН-Г |  |  |
| 14 | Баг горючего |  |  |
| 15 | Заглушка слива |  |  |

Баллон наддува имеет малую массу, т.к изготовлен из композиционных материалов. Предполагается что благодаря постоянному наддуву удастся обеспечить стабильные параметры работы ПГС, а именно: постоянное давление наддува и как следствие постоянный расход, давление в газогенераторе и КС, а значит и **постоянную тягу**. Потребный расход планируется обеспечить большим проходным сечением трубок – 12 мм, что ввиду зависимости расхода от обеспечит **увеличение расхода** по сравнению с 4 трубками внутреннего сечения 4 мм в 20 раз. В случае, если такой расход не будет требоваться, то возможно произвести обратную замену на PTFE трубки. Также использование электроклапанов позволит отсекать тягу.

Для достижения максимальной тяги планируется достижение **полного разложения** перекиси водорода.

Для обеспечения необходимого расхода из 2 баков при одинаковом давлении наддува предполагается использовать дроссельную вставку в трубопроводе горючего в виде диска с отверстием.

Газогенератор требуется разделить от КС чтобы не повреждался от пламени катпак.

**Математическое описание расхода**

Расход будем рассматривать на 2 участках: бак-газогенератор и газогенератор-КС. Необходимо определить параметры системы таким образом, чтобы давления в баке, ГГ и КС оставались постоянными и обеспечивали необходимый расход.

**Входные параметры для расчета и испытаний:**

1. Максимальное давление в баке 30 атмосфер.
2. Плотность перекиси водородаи динамическая вязкость
3. Параметры бака и длины магистралей
4. Из потребной тяги и прогнозируемого удельного импульса массовый расход

При этом в с

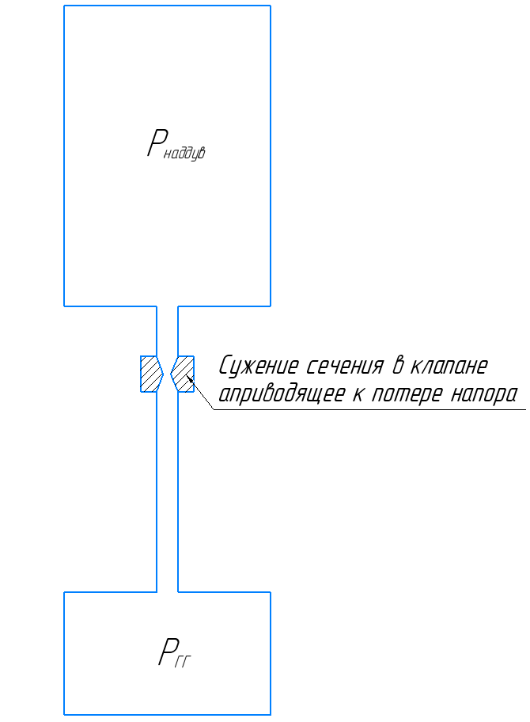
Основные параметры системы**, которые необходимо определить в расчетах и в ходе испытаний:**

1. Температура полного разложения перекиси
2. Зависимость необходимого для полного разложения катализаторного паке от расхода
3. Объем газогенератора
4. Параметр местных потерь на клапанах и переходах
5. Геометрия каналов от ГГ к КС: количество и диаметр отверстий .
6. Давление газогенератора
7. Давление наддува
8. **Расчет участка бак-газогенератор**

Расход из бака при постоянном давлении зависит от вида жидкости, диаметра трубы и разницы давлений на входе и выходе и описывается формулой **Пуазейля:**

Потеря напора на электроклапане определяется формулой **Вейсбаха**:

Разница давлений с учетом потерь давления на электроклапане разница давлений:



Скорость среды можно определить из расхода:

Тогда выражение для расхода будет иметь вид:

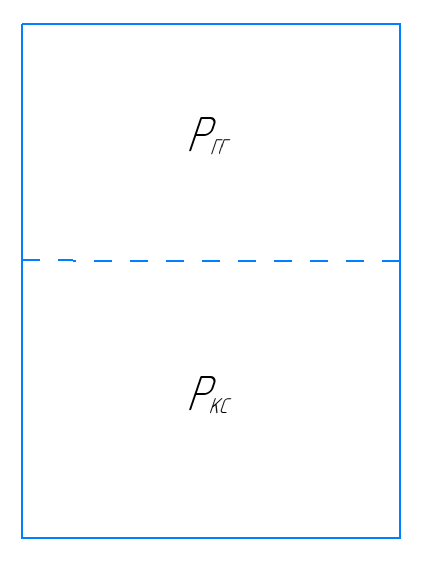
Полученное квадратное уравнение в приведенном виде:

Корни уравнения:

Коэффициент местного сопротивления учитывает только потери на клапане, потерями на трубах пренебрегаем ввиду их малой длины, но при проведении испытаний для одной и той же длины трубопровода коэффициент будет включать в себя в том числе и потери по длине трубы, отображая потери во всей системе.

- секундный массоприход в газогенератор. При установившемся режиме работы он будет равен расходу массы из газогенератора в КС .

1. **Расчет участка Газогенератор – Камера сгорания**

 Предлагается разделить область газогенератора и камеры сгорания пластиной с набором отверстий – для отделения газогенератора от высокотемпературной части, пламени и для осуществления контроля расхода газа через отверстия.

Расход как при истечении через отверстие, так и через критическое сечение сопла (в соответствии с законом сохранения расхода):

Где – расходный комплекс, рассчитывается в Астра, давление на срезе

Расход через N отверстий:

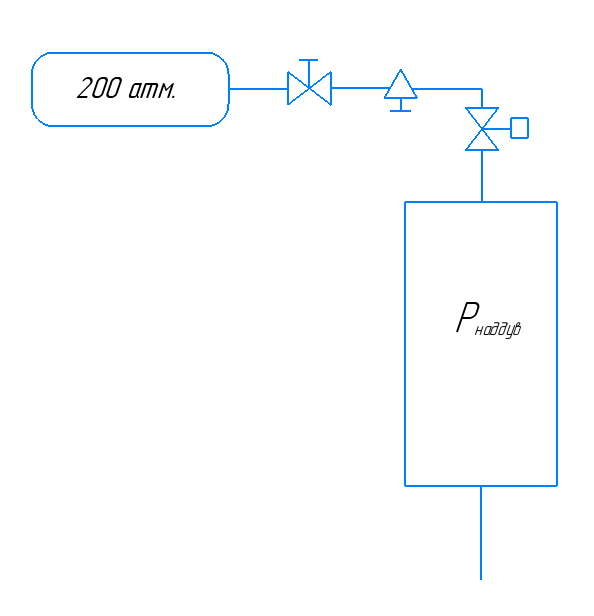
При установившемся течении

Истечение из КС рассчитывается в терре или астре.

**Последовательность проектирования**

1. **Определяем**

Проводим испытания на истечение без газогенератора при разных давлениях, проверяем соответствие теоретической зависимости .



1. **Производим испытания катализаторного пакета.**

Цель испытаний – определить необходимый объем катализаторного пакета для разложения заданного расхода перекиси водорода.

**Входные параметры:**

Объем газогенератора **W**

Вид катпака и концентрация перекиси

**Варьируемые параметры:**

Диаметр канала катализаторного пакета **D**

Длина канала катализаторного пакета **L**

Количество сеточек разделения **N**

Диаметр входной трубки

Массовый расход при эксперименте **Q**

**Определяемые параметры:**

Температура полного разложения **T**

Оптимальное соотношение полного разложения расхода **Q**

**Методология эксперимента:**

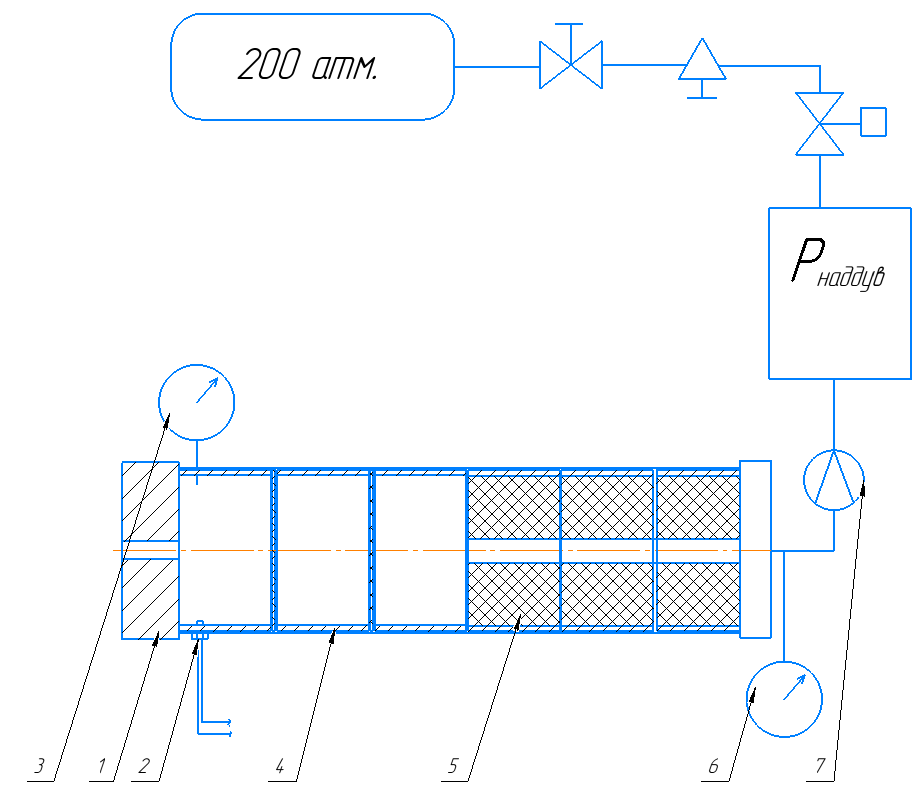
**Подготовка, задание параметров катпака:**

1. Задаемся некоторым давлением наддува
2. Фиксируем некоторый диаметр отверстия истечения из ГГ  **–** По совокупности 1 и 2 пунктов мы зафиксировали некоторое равновесное давление при котором расход через трубки подачи и отверстие истечения ГГ будут равны **Q**.
3. С помощью набора колец 4, загипсованных колец 5 и сеток **(N)** регулируем длину катализаторного пакета **L**, если необходимо – регулируем диаметр катализаторного пакета D набором специальных загипсованных колец.

**Эксперимент:**

1. Пропускаем через ГГ перекись.
2. Расходомером фиксируем расход **Q**.
3. По манометру 7 определяем давление на входе в ГГ
4. По манометру 3 определяем давление на входе в ГГ
5. По манометру определяем точное давление наддува
6. По термопаре 2 фиксируем температуру разложения
7. Визуально фиксируем прозрачность струи

**Схема установки:**



Благодаря линии наддува давление наддува в баке остается постоянным. Камера ГГ представляет из себя сгон трубы, закрытый двумя заглушками 1.

Установка должна пройти испытания на герметичность.

**Анализ результатов эксперимента:**

1. По прозрачности струи делаем вывод о степени разложения перекиси. Более точно вывод делается по методике Свята в Астре по температуре  **–** находим степень разложения **n.**

2. По давлениям и ищем теоретический расход и сравниваем его с реальным, уточняя мат.модель расхода. Важным является сохранение вида линии подачи.

3.Находим из  **и** падение давления в катпаке

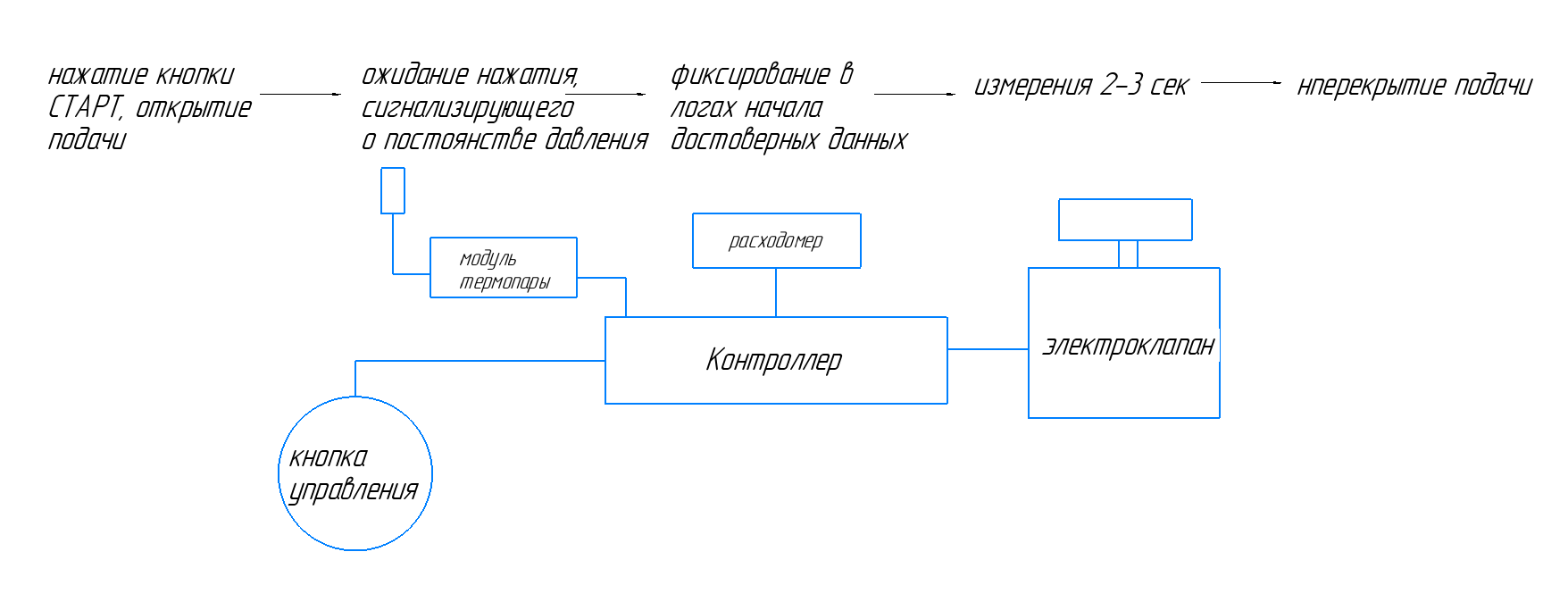
4. Проверяем выполнение формулы - уточняем ее по мере необходимости коэффициентами.

**Варьирование:**

1. Собрав установку с фиксированным числом колец катпака и загипсованных колец, изменяем давление наддува и замеряем расход. Получаем зависимость степени разложения от расхода при заданной длине ГГ, то есть при заданном объеме катпака.
2. Повторяем при другом объеме катпака, то есть при другом количестве колец, получая ряд графиков степени разложения от расхода
3. Интерполируем зависимости, определяя точки, при которых разложение становится 100 %. (если таковые имеются в рассматриваемом диапазоне) -
4. Строим по точкам пункта 3 зависимость минимального объема катпака от расхода для достижения полного разложения.
5. Интерполируем зависимость и проверяем при значительно больших расходах – исследуем верность зависимости.
6. В случае, если не наблюдается падения степени разложения при больших длинах катпака – уменьшаем диаметр ГГ и обеспечиваем объем, при котором с небольшим запасом должно происходить полное разложение при заданном давлении наддува. Проводим эксперимент и проверяем, выполняется ли полное разложение.

**Электрическая часть стенда:**

Стенд должен быть оборудован контроллером для приема показаний расходомера и термопары, а также кнопкой инициации теста и реле для управления клапаном подачи.



Расход должен устояться, о чем судим по давлению в ГГ – когда оно перестает меняться – ждем несколько секунд – нажимаем на кнопку, которая фиксирует в графике расхода временную метку, контроллер ждет 2-3 секунды, а затем автоматически перекрывает подачу.

1. **Проектируем ЖРД**

В пунктах 1 и 2 мы получили зависимости для прихода в ГГ и Объема катпака **V.**

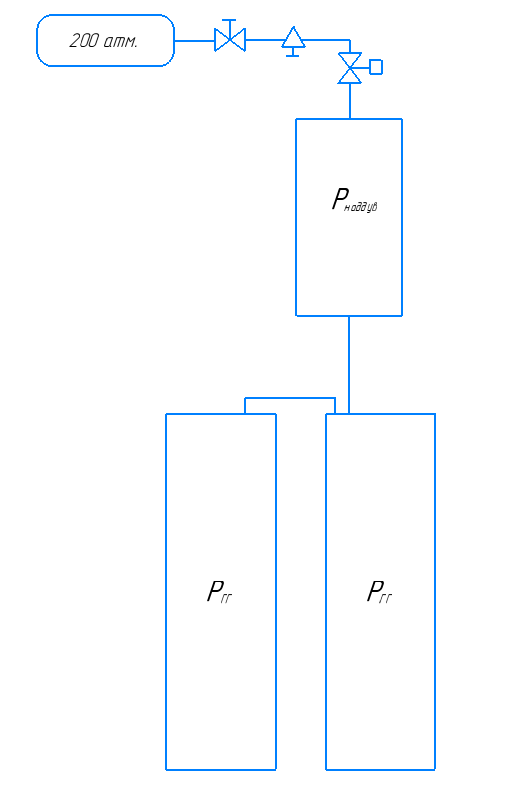
**Входные параметры для 2-х компонентного ЖРД:**

1. Расход **Q**, обеспечивающий потребную тягу
2. Давление **P** в камере сгорания

**Входные параметры для 1-0 компонентного ЖРД:**

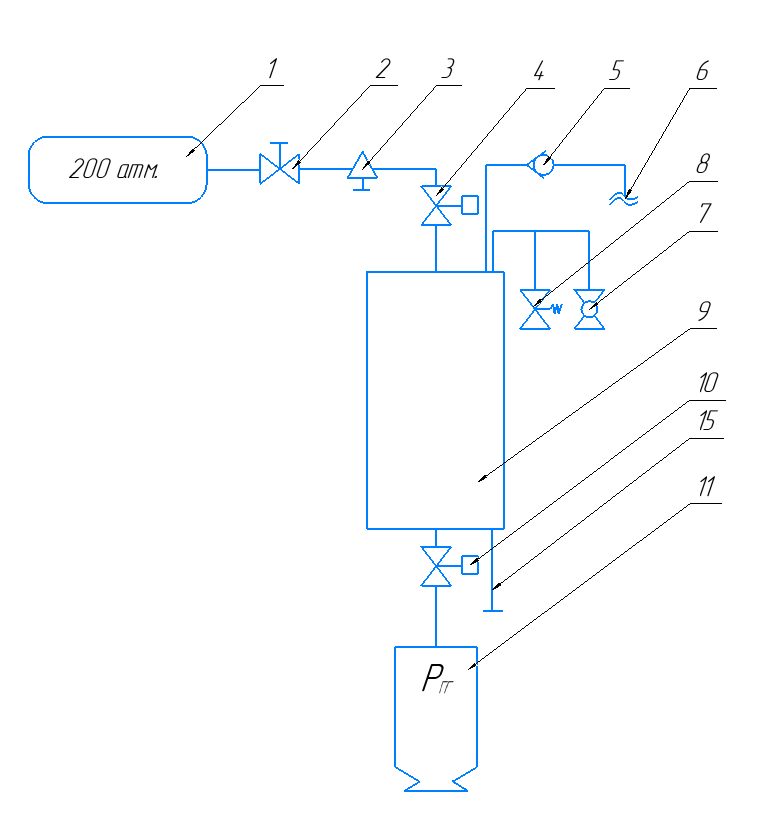
1. Расход **Q**, обеспечивающий потребную тягу
2. Атмосферное давление

**Порядок расчета:**

1. Задавшись Q определяем необходимый объем катпака, то есть – **габариты ГГ.**
2. Из зависимости определяем, задавшись давлением наддува, потребное давление в ГГ (рационально принимать давление наддува в 23 атмосферы, чтобы был запас). Из него получаем прочностные параметры.
3. Проверяем что при заданных давлениях наддува и ГГ обеспечивается необходимый расход на специальном стенде, где перекись истекает в связку из 2 баллонов, чей объем в 20 л позволяет считать изменение давления за счет занятия жидкостью части объема малым. Для более точного результата можно заменить 2-й баллон на предохранительный клапан на давление газогенератора.
4. Из давления в ГГ определяем критику в случае однокомпонентного и число и диаметр отверстий в случае двукомпонентного ЖРД – по уточненной .

При таком проектировании давление будет реализовываться как давление равновесия, при котором массорасхода в газогенератор и из газогенератора будут равны.

ПГС для однокомпонентного ЖРД:



Масса РН вырастет примерно на 2.5-3 кг – так как Масса клапана 4+редуктора 3 – 1 кг, баллона 1 – 0.5 кг, масса клапана 10 примерно 450 г. Также надо учесть доп. Массы 2 и увеличение массы КС. Благодаря изменениям мы получим постоянную тягу и расход, а также возможности заливать полный бак. Расплата – придется проектировать ЖРД на большую тягу. При стартовой массе РН 10 кг, топливо: 2л. Перекиси при УИ 700 м/c и тяге 20 кг, мы получаем 532 м. Высоты полета, при нынешней конфигурации – 150 м.