**1. Исходные данные на проектирование и их анализ**

* 1. **Исходные данные на проектирование**

1. Пустотная тяга: Рп = 400 кН
2. Давление в камере сгорания: Рк = 14,5 МПа
3. Статическое среднее давление (давление на срезе): Рк = 0,05 МПа
4. Время работы ДУ в полете: τΣ = 130 с
5. Топливная пара: АТ и НДМГ
6. Аналог ДУ: 8Д44

*Примечание:*

Первая ступень БРДД, шахтного хранения, пуск осуществляется при средней температуре ~ 150С.

При разработке КРД учитывать, простоту конструкций и особенности серийного производства.

Запуск ДУ одноразовый, ступенчатый (плавный).

* 1. **Физико-химические, энергетические, эксплуатационные и экологические характеристики топливных компонентов**

**Четырехокись азота [N2 O4]**

Четырехокись азота при обычной температуре представляет собой токсичную светло - оранжевую жидкость с запахом азотной кислоты, окраска которой с повышением температуры переходит в бурую.

Четырехокись азота кипит при 295 К, легко диссоциирует, начиная с 285 – 288 К и обладает очень высокой летучестью.

Критическая температура 431 К, критическое давление 99 кг\*см2 . При охлаждении четырехокиси азота до температуры ниже 233 К в атмосфере над ее твердой поверхностью также имеется значительное количество газообразной окиси.

Упругость паров четырехокиси азота равномерно повышается в интервале от 233 до 295 К, т.е. до температуры ее кипения, при дальнейшем же повышении температуры упругость паров резко нарастает. Так, например, при возрастании температуры от 284,3 до 373 К давление увеличивается в 19,4 раза, а при повышении от 284,3 К до 423 К давление – в 80,7 раза. Объясняется это диссоциацией молекулы четырехокиси азота при повышении температуры по уравнению N2 O4 ↔ 2NO2.

При 337 К половина N2 O4 диссоциорует на двуокись азота, а при 423 К диссоциация протекает полностью.

Бурая окраска паров четырехокиси азота зависит от наличия в его составе двуокиси азота; пары четырехокиси азота, свободные от примесей двуокиси, бесцветны, но пары технической четырехокиси всегда окрашены в оранжевый цвет и хорошо заметны.

Токсические свойства. Четырехокись азота очень ядовита, поэтому вдыхание паров N2 O4 недопустимо даже в очень небольших концентрациях, все работы должны проводится в противогазах. А лабораторные исследования – только под вытяжкой.

Хранение и перевозка. Четырехокись азота можно хранить и перевозить в стальных или алюминиевых баллонах, при нормальной температуре внутри баллонов давление сравнительно невысокое (примерно 2 кг/см2 при 308 К), поэтому для хранения четырехокиси азота можно применять баллоны, рассчитанные на низкое давление. Влажная четырехокись азота разъедает сталь.

Из-за узкого температурного диапазона (269 – 295 К) жидкофазного состояния применение четырехокиси азота на ракетных установках в зависимости от условий эксплуатации может вызывать необходимость применения термостатирования. Так, в условиях космоса или на При хранении заряженной установки в летних условиях при высокой температуре, наоборот, необходимо охлаждение емкостей с четырех окисью азота, иначе начнется диссоциация. Взрывоопасность и пожароопасность азотного тетраксида могут проявится только при контакте с горючими веществами главным образом углеводородного происхождения. В связи с этим отметим, что с четырехокисью азота допускается растворение некоторых органических соединений.

С углеводородами (нафтены, парафины, ароматики) и спиртами растворение идет со значительным тепловыделением в некоторых случаях до самовоспламенения и даже до взрываю.

Чистая концентрированная четырехокись азота токсичнее азотной кислоты примерно в 10 раз и во столько же раз менее коррозионноактивна, чем чистая концентрированная кислота.

 В качестве конструкционных материалов используют алюминий и его сплавы, высококремнистый чугун, нержавеющие хромистые и хромоникелевые высоколегированные стали.

Таблица 1.1 – Основные свойства АТ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формула | Hu  МДж/(кг топл с H2) | µ | γж  г/см3 | Tпл,К | Tкип,К | Токсичность | Взрывоопасность | I  Стандартная  Энтальпия  Дж/кг |
| N2 O4 | 9,45 | 92 | 1,442 | 262 | 294 | Очень ядовит | Безопасен | -209 |

**Несимметричный диметилгидразин [ (CH3) 2N – NH2]**

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) получается действием азотной кислоты на солянокислый диметиламин в присутствии водорода. Выход несимметричного диметилгидразина по этому способу составляет 69 – 73 % от теоретического.

НДМГ при нормальных условиях представляет собой очень гигроскопичную жидкость с запахом аммиака. Легко растворяется в воде, спирте, эфире.

Температура кипения НДМГ равна 336 К (63° С), температура плавления 215,9 К (-57,1° С).

Плотность при 295 К равна 0,7914 к/см3. Критическая температура равна 522 К, критическое давление 60 кгс/см2.

НДМГ весьма стойкое и стабильное вещество при нормальных условиях, не чувсвительное к удару, трению, световым и звуковым импульсам. При нагревании способно к термическому разложению, которое начинается с температуры около 400 К и интенсивно развивается с ее повышением.

Коррозионная активность диметилгидразина невелика, с ним нормально работают стали, чистый алюминий и его сплавы без окислов, титан, никель, монель-металл, сплавы меди применять не рекомендуется. В качестве прокладочного материала можно применять фторопласты, полиэтилен, каучук, асбест, с фторопластом (фторасбесты). Допустимы эластомеры и бутилкаучуки, хлоропрены, плексиглас. Диметилгидразин и гидразин очень гироскопичны, и следует принимать меры, исключающие непосредственный контакт жидкости с воздухом. При контакте с воздухом диметилгидразин медленно окисляется даже при комнатной температуре, более интенсивно при нагревании и повышенном давлении. При давлениях выше двух атмосфер диметилгидразин с кислородом воздуха может дать взрыв и поэтому для наддува баков с диметилгидразином необходимо использоватьь азот или другие инертные газы.

Токсичность диметилгидразина высока, и последствия отравления очень тяжелы: почти полная потеря работоспособности при слабом отравлении и расстройство деятельности нервной системы при более сильных отравлениях. Максимальные допустимые концентрации диметилгидразина в воздухе рабочих помещений составляют 0,5\*10-6. Защитные меры предосторожности при работе с диметилгидразином предусматривают использование специальной одежды, состоящей из прорезиненных брюк и куртки с головным капюшоном, очков, перчаток и резиновых сапог.

При работе в помещениях с более высокой концентрацией, чем допустимо по нормам, необходимо пользоваться автономным источником подачи воздуха для дыхания, так как защитные противогазы не обеспечивают длительного пребывания в загазованной среде. При попадании жидкого диметилгидразина или гидразина на кожу необходимо срочно и тщательно промыть пораженные участки большим количеством воды и затем слабым раствором уксусной или лимонной кислоты.

Энергетические характеристики НДМГ существенно зависят от выбора окислителя.

Таблица 1.2 – Основные свойства НДМГ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формула | Hu ,  МДж/(кг топл с O2) | γ, г/см3 | Tпл, К | Tкип, К | Токсичность | Взрывоопасность | I  Стандартная  Энтальпия  Дж/кг |
| (CH3) 2N2 H2 | 9,35 | 0,79 | 215,8 | 336 | Очень ядовит | Относительно       безопасен | 823 |

**НДМГ+АТ**

Удельный импульс достигает 2900 – 3300 м/с в области близкой к стехиометрическим условиям или чуть ниже, при α=0,9 – 0,98.

Эта топливная пара является самовоспламеняющейся.

К преимуществам пары НДМГ + АТ относятся:

1. Большая безопасность по сравнению с водородом;
2. Самовоспламеняемость при контакте топливных компонентов;
3. Возможность предварительной заправки и длительного хранения в заправленном виде при нормальных температурах.

К недостаткам НДМГ + АТ относятся:

1. [Токсичность](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C);
2. Канцерогенность;
3. Вероятность взрыва НДМГ в присутствии окислителя;
4. Уступают кислородно-керосиновой паре по [удельному импульсу](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81).

**1.3 Общая характеристика РД проектируемого класса**

Ракетным двигателем называют реактивный двигатель, не использующий для своей работы ни энергию, ни рабочее тело из окружающей среды.

В РД можно использовать энергию, запасенную в виде ядерной, электрической, тепловой, химической. Большинство же применяемых в настоящее время РД используют химическую энергию топлива. Источником энергии в этом случае является реакция горения, идущая с выделением тепла.

Химическая энергия топлива преобразуется в камере сгорания в тепловую энергию продуктов сгорания, затем тепловая энергия в сопле переходит в кинетическую энергию истекающих продуктов сгорания, в результате чего образуется реактивная сила.

Для РД данного класса характерны высокие удельные расходы топлива, малое время работы, ограниченное запасами топлива в аппарате.

Химические РД в зависимости от агрегатного состояния топлива можно разделить на группы: жидкостные РД, твёрдотопливные РД, гибридные РД.

Основным агрегатом ЖРД является его камера, создающая тягу. Камера состоит из камеры сгорания и сопла, конструктивно представляющих одно целое. Важной частью камеры сгорания является смесительная головка – устройство для впрыска и смешения компонентов топлива. Элементами смесительной головки являются форсунки различных типов. Воспламенение топлива можно осуществить химическим, термохимическим и электрическим способами; часть компоненты топлива образуют самовоспламеняющуюся смесь. Камера ЖРД обычно охлаждается одним из компонентов топлива, проходящим до поступления в камеру сгорания через охлаждающий тракт – пространство между внутренней, огневой стенкой и наружной силовой рубашкой камеры.

Система регулирования ЖРД осуществляет автоматическое поддержание или программированное изменение параметров рабочего процесса для обеспечения заданной тяги и соотношения компонентов топлива, устойчивой работы ЖРД, а также для управления переходными режимами. Входящие в систему автоматического регулирования электрические, электронные, пневматические, гидравлические, пиротехнические и механические устройства называют обычно агрегатами автоматики.

В камеру компоненты подаются с помощью вытеснительной, или насосной подачи. Наиболее широкое применение получила насосная система подачи топлива, обеспечивающая подачу компонентов в широком диапазоне изменения давления и расходов. Характерным для двигателей с насосной подачей топлива является наличие ТНА – турбонасосного агрегата, состоящего из насосов и турбины, которая раскручивается рабочим телом, получаемым в жидкостном или твёрдотопливном газогенераторе.

Находят применение двигатели, выполненные по схемам с дожиганием и без дожигания генераторного газа. В двигателях без дожигания генераторного газа последний после срабатывания на турбине выбрасывается в окружающую среду через вспомогательные сопла, иногда являющиеся рулевыми.

В двигателях с дожиганием генераторного газа в камере генераторный газ, пройдя через турбину, направляется в камеру сгорания. Через газогенератор пропускают обычно весь расход одного из компонентов и часть расхода другого, обычно получая либо восстановительный, либо окислительный газ. Оставшаяся часть второго компонента в жидкой фазе поступает в камеру сгорания, где происходит дожигание.

Схема с дожиганием более выгодна, чем схема без дожигания, по той причине, что в ЖРД с дожиганием всё топливо сгорает при условиях, близких к стехиометрическому горению.

**1.4 Обоснование назначения двигателя, его общих особенностей**

Окислитель в разрабатываемом двигателе – азотный тетраоксид. Это приводит к возможности хранения ракеты в заправленном состоянии – 1год. Это обстоятельство располагает к использованию данный двигатель в военных целях.

Более подходящим для такого двигателя является использование на ракете-носителе, а исходя из тяги, времени работы и давления на срезе сопла, можно утверждать, что такая двигательная установка может выполнять функции первой ступени ракеты-носителя.

В качестве аналога такого двигателя можно привести 8д44 (первая ступеньУР-200).

Двигательная установка должна отвечать следующим требованиям:

1. Обеспечение значения удельного импульса тяги не менее 3000 м/с;
2. Возможность шахтного хранения;
3. Высокая надёжность, то есть гарантия безотказной работы в течение заданного времени (130 секунд) в заданных условиях;
4. Возможно меньшие стоимость и время разработки;
5. Возможно меньшее загрязнение окружающей среды (пара НДМГ+АТ и продукты их сгорания являются токсичными и представляют опасность для окружающей среды и обслуживающего персонала);
6. Относительная простота схемы и реализующей её конструкции и технологичность.