**3. Энергетический расчет**

**3.1 Термодинамический расчет**

Задачей термодинамического расчета является определение оптимального соотношения компонентов в КС и построение зависимости удельного импульса камеры от давления в КС.

Для проведения термодинамического расчета воспользуемся программой TERMORAS. В качестве исходных данных в ней используются условные формулы компонентов топлива. С помощью программы TERMORAS исследуем зависимость Iудп(α) в диапазоне α=0,5…1,2 с шагом 0,1. Результаты расчетов приведены в таблице 3.1. График зависимости Iудп=f(α) построен в программе Microsoft Excel и представлен на рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость удельного импульса от коэффициента избытка окислителя

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| α | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |
| Iудп, м/с | 2979,8 | 3105,1 | 3191 | 3247,8 | 3280,2 | 3279,6 | 3199,3 | 3117,8 |

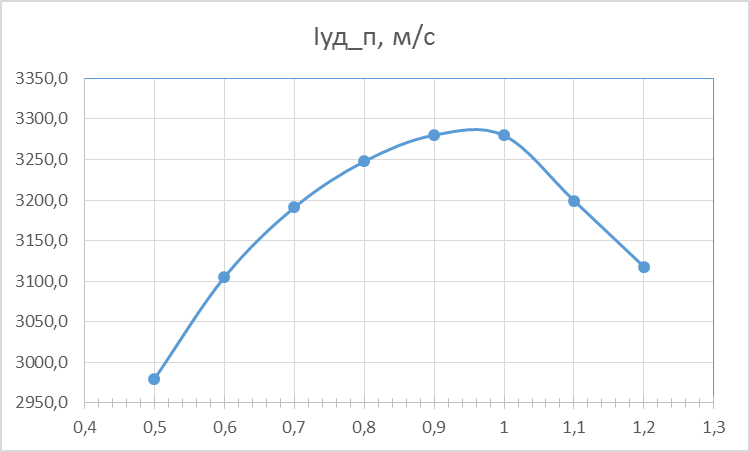


Рисунок 3.1 – Зависимость удельного импульса от коэффициента избытка окислителя

Как видно из графика максимальное значение удельного импульса находится в районе α=0,85…1. Для нахождения экстремума функции необходимо провести уточняющий расчет с более мелким шагом (0,01) и в узком диапазоне. Результаты приведены в таблице 3.2 и на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Зависимость удельного импульса от коэффициента избытка окислителя

|  |  |
| --- | --- |
| α | Iудп, м/с |
| 0,87 | 3273,2 |
| 0,88 | 3275,6 |
| 0,89 | 3278,1 |
| 0,9 | 3280,2 |
| 0,91 | 3281,8 |
| 0,92 | 3283,6 |
| 0,93 | 3284,7 |
| 0,94 | 3285,7 |
| 0,95 | 3286,3 |
| 0,96 | 3286,5 |
| 0,97 | 3286,7 |
| 0,98 | 3285,6 |
| 0,99 | 3283,7 |

В результате максимальное значение удельного импульса Iудп=3286,7м/с приходится на α=0,97. С учетом коэффициента потерь удельного импульса (φI=0.945) принимаем для КС α=0,97; Iудд=Iудп \*φI=3286,7\*0,945=3106/с; Km= Km о\* α \*0,9=2,68.

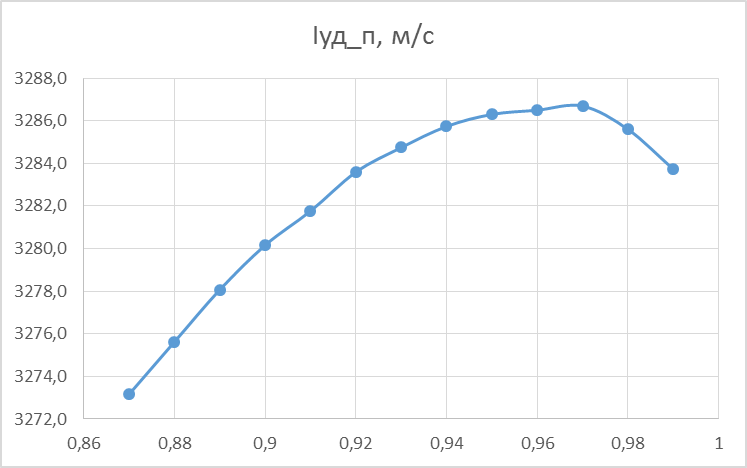


Рисунок 3.2 – Уточняющая зависимость удельного импульса от коэффициента избытка окислителя

**3.2 Методика расчета (математическая модель)**

**Исходные данные:**

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).

**Расчёты соотношений топлива, некоторые формулы и их вывод**

Химическая формула горючего: НДМГ – (CH3)2N2H2

Химическая формула окислителя: АТ – N2O4

Мольное стехиометрическое соотношение: ;



Массовое стехиометрическое соотношение: ;



**Определение оптимального α (избытка окислителя) в камере сгорания**

По графику определяем значения: Iпуд т = 3286,7 м/с, αopt = 0,97

Соотношение компонентов:

Km = (αopt) \*0,9\* Km0 = 0,97 \*0,9\* 3,07 = 2,68

Удельный импульс в пустоте (действительный):

Iпуд д = Iпуд т \* φI

φI = φβ φС = 0,945

Iпуд д = 3286,7\* 0,945 = 3106 м/с

Определение массовых расходов через камеру сгорания:







Для данной схемы ДУ (схема замкнутая) выбираем окислительный газогенератор, со следующими параметрами:

αгг = 7

Т\*гг = 720К

Kmгг = αгг \* Km0 = 7 \* 3,07 = 21,49

nгг = 1,23

**Определение массовых расходов на наддув баков**

**Наддув бака окислителя**

Выбор параметров:

Рбокнадд = 0,35 МПа

Тбокнадд = 500 К

Rбокнадд 206 Дж/кг

n = 1,25

αнадд БОК = 9

Kmгг = αнадд БОК \* Km0 = 9 \* 3,07 = 27,63

Задаемся коэффициентом тепловых потерь: ηтп = 0,5

Плотности газа над поверхностью жидкости бака окислителя:



Массовые расходы на наддув БОК:







**Наддув бака горючего**

Выбор параметров:

Рбгнадд = 0,35 МПа

Тбгнадд = 500 К

Rбгнадд 400 Дж/кг

n = 1,15

αнадд БГ = 0,02

Kmгг = αнадд БГ \* Km0 = 0,02 \* 3,07 = 0,06

Коэффициент тепловых потерь: ηтп = 0,5

Плотности газа над поверхностью жидкости бака горючего:



Массовые расходы на наддув БГ:







**Расчет массовых расходов через насос окислителя и насос горючего**

Расход через насос окислителя:





Производим выбор БНА: для данной ДУ в качестве бустерного насосного агрегата выбираем эжектор, тогда:





Расход через насос горючего:



, так как нет газогенератора, а есть смеситель





**Балансовый расчет ДУ с дожиганием генераторного газа.**

**Общие формулы**

Уравнение энергетического баланса:



Мощность на валу турбины:

*NТ = m’’Σ \* Lад \* ηТ , где*

*m’’Σ* - суммарный массовый расход газогенераторного газа через турбину ТНА.

 - адиабатическая работа генераторного газа на турбине.

 - эффективный КПД турбины.

= *m’’o/ m’o*

 - коэффициент использования окислителя (принимаем его равным 0,995, т. е. схема предельная с допущением – отбор ГГ раза с ОГГ).

где

n - показатель процесса.

 - перепад давления на турбине.

 - эффективный КПД турбины.

 - работоспособность продуктов сгорания газогенератора.

Мощность насоса окислителя:

*NНО = mHO\*ΔPHO / ρO\* ηHO*

Массовый расход через насос:

*mHO = mБТO + mдв OК = mдв OК\*(1+gБТoк) = m’Σ \* K’m /(1+K’m)\*(1+gБТoк)*

*mдв OК = m’Σ \* K’m /(1+K’m)*

*mБТO = mдв OК\*gБТoк , где*

*mHO*  *-* массовый расход окислителя в камеру сгорания.

*mБТO* - массовый расход окислителя на бустерный агрегат насоса горючего.

Перепад давления на насосе окислителя:

,

где:

 - давление на выходе из насоса окислителя.



 - давление на входе в насос окислителя.

Па.

 - коэффициент полезного действия насоса окислителя.

 - плотность окислителя.



Мощность насоса горючего:

*NНГ = mHГ\*ΔPHГ / ρГ\* ηHГ*

Массовый расход через насос горючего:

*mHГ = mБТГ + mдв Г*

*mдв Г = m’Σ /(1+K’m)*

*mБТГ = mдв Г\*gБТГ, где*

*mдв Г* - массовый расход горючего двигателя

*mБТГ*  - массовый расход горючего на привод бустерного агрегата горючего.

*mHГ = mдв Г \* (1+gБТГ)*

Перепад давления на насосе горючего:



 - давление на выходе из насоса горючего, определяется по наибольшему значению из двух ниже приведенных:





если , то ,

если , то .

 - давление на входе в бустерный насос горючего.

Па.



 - плотность горючего.

 - коэффициент полезного действия насоса горючего.

*m’Г = m’Σ \* (1/(1+K’m))*

*m’О = m’Σ  \* (K’m /(1+K’m))*

**Выбор параметров для расчета**

Для закрытой схемы выбираем окислительный газогенератор с параметрами:

Т = 720 К,

R = 215,2 Дж/кг\*К,

n = 1.23,

αГГ = 7

αКС = 0,97

Топливные компоненты обладают следующими свойствами:

АТ: кг/;

НДМГ: кг/;

Выбираем коэффициенты полезного действия насосов и турбин:

, , .

Значения перепадов давления:

Па,

Па,

Па,

Па,

Па

, т.к. в системе ПГС нет бустерных турбин, то .

Тогда расчетные формулы корректируются следующим образом:



В связи со сложностью зависимости мощностей насосов и турбины от давления в камере сгорания и от перепада давления на турбине, решение данной задачи проведем на ЭВМ.

Так же воспользуемся численным методом половинного приближения для определения необходимого для данного расчета значения перепада на турбине. По результатам расчетов получены зависимости:

πт = f(Nт, NнΣ) (значения πт для данного графика рассчитаны по средствам Mathcad, найдены из балансового уравнения). Из анализа результата приближения можно считать, что заданному значению давления в камере соответствует πт = 1,64

Средствами Mathcad вычислено более точное значение перепада давления на турбине, равное πт = 1,64. Тогда зная значения перепада давления на турбине и давления в камере можем рассчитать мощности для данной ДУ.

**3.3 Результаты расчёта мощностей, НО, НГ и Т**

Давление за НО:





Перепад давления на НО:





Мощность НО:



Давление за НГ:





Мощность НГ:



Мощность турбины:





Погрешность балансового расчета:

