## 1-2 Выбор твердого ракетного топлива

УТОЧНИТЬ ПРО ССЫЛКУ НА ПАТЕНТ И МАРКИРОВКУ

Для обеспечения заданных условий работы РДТТ, необходимо подобрать топливо из имеющейся базы данных, которое будет максимально удовлетворять исходным данным.

В настоящее время в ракетной технике применяются два основных вида ТРТ: баллиститное и смесевое. Энергетические характеристики смесевых топлив значительно выше баллиститных (удельный импульс ), что и определяет их выбор, в качестве основных топливных составов в современных РДТТ.

Выбор ТРТ для проектируемого заряда осуществлялся на основе следующих критериев:

* низкая скорость горения топлива;
* высокие энергитические характеристики;
* высокая плотность;
* температурный диапазон эксплуатации;
* прочностные характеристики топлива;
* сохраняемость свойств в течении гарантийного срока хранения в условиях эксплуатационных воздействий.

Выбор баллиститного топлива обусловен экономическими характеристиками и производится из стоимости производства одного одного заряда ТРТ.

Требования, предъявляемые к РДТТ по комплексу массово-энергетических, баллистических и эксплуатационных характеристик, предопределяют использование баллиститного топлива с потребными значениями удельного импульса ) и плотности ), корость горения , работоспособного в широком температурном диапазоне эксплуатации от до .

Для реализации условий ТЗ и отработки для данного РДТТ предлагается оценить ВБП двигателя на следующих составах БТРТ:

# Состав №1

Условная химическая формула:

O32.3896H29.7078S0.0044N13.7033C18.9361Ti0.2497Pb0.0805Co0.0621Zn0.0006

Аналитическая зависимость скорость горения выбранного топлива при температуре 20°С и диапазоне давлений от 6 до 18 МПа описывается следующим выражением:

Основные характеристики топлива представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные характеристики выбранного топлива

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование характеристики | Значение |
| Плотность, , кг/м3 | 1680 |
| Коэффициент обеспеченности окислителем | 0,610 |
| Удельная теплота горения, Qж, кДж/кг | 4190 |
| Тротиловый эквивалент | 1,05 |
| Теплоемкость топлива, cт, кДж/(кг⋅К) при 293 К | 1,34 |
| Теплопроводность топлива, λт, Вт/(м⋅К) при 293 К | 0,265 |
| Температуропроводность топлива, aт, м2/с при 293 К |  |
| Температура вспышки топлива, Твсп, К | 173 |
| Коэффициент линейного расширения топлива, αл.р., 1/К при 293 К |  |

# Состав №*2*

Условная химическая формула:

O32.7140H26.9367N14.2306C18.0882Pb0.1006Ca0.2503

Таблица 1.1 – Скорость горения Состава №2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура | Скорость горения, мм/с, при давлении, МПа | | | | | | | |
| 3,92 | 5,88 | 7,85 | 9,81 | 11,76 | 13,72 | 15,68 | 17,65 |
| 293 (20) | 11 | 14 | 15 | 15,6 | 17,6 | 19 | 19,8 | 20,6 |
| 323 (50) | 12,3 | 15 | 16,8 | 18,2 | 19,3 | 20,7 | 21,1 | 21,9 |
| 233 (-50) | 10,6 | 12,8 | 14,6 | 15,6 | 16,7 | 17,5 | 18,4 | 18,7 |

Аналитическая зависимость скорость горения в виде *U*=*U*1*p*ν выбранного топлива при различных температурах представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Аналитическая зависимость скорости горения ТРТ (Состав №2) от давления при различных температурах, выраженная в виде *U*=*U*1*p*ν.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура испытаний, К(°С) | Диапазон давлений, МПа | Эмпирическая формула скорости горения, *U*=*U*1*p*ν, мм/с |
| 293 (20) | От 5,88 до 9,81 | *U*=5,86*p*0,21 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,92*p*0,307 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,17*p*0,356 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,988*p*0,37 |
| 323 (50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=3,18*p*0,38 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,38*p*0,36 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,26*p*0,37 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=3,51*p*0,355 |
| 223 (-50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=2,6*p*0,39 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=2,74*p*0,37 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=2,9*p*0,36 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,95*p*0,361 |

Основные характеристики топлива представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные характеристики выбранного топлива

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование характеристики | Значение |
| Плотность, , кг/м3 | 1700 |
| Коэффициент обеспеченности окислителем | 0,649 |
| Удельная теплота горения, Qж, кДж/кг | 4602 |
| Тротиловый эквивалент | 1,1 |
| Теплоемкость топлива, cт, кДж/(кг⋅К) при 293 К | 0,421 |
| Коэффициент линейного расширения топлива, αл.р., 1/К при 293 К |  |

# Опытные данные

Промежуточные результаты расчета ВБП показали невыполнение требований технического задания при использовании данных составов (меньшее время работы). Скорости горения состава принимаются из результатов опыта. Дальнейшие расчеты производятся на основании опытных данных.

Таблица 1.1 – Скорости горения (опытные)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура | Скорость горения, мм/с, при давлении, МПа (атм) | | | | | | | | |
| 2,02  (20) | 3,92  (40) | 5,88  (60) | 7,85  (80) | 9,81  (100) | 11,76  (120) | 13,72  (140) | 15,68  (160) | 17,65  (180) |
| 293 (20) | 5,66 | 8,54 | 10,94 | 12,71 | 14,09 | 15,09 | 15,94 | - | - |
| 323 (50) | 6,07 | 9,08 | 11,62 | 13,62 | 15,10 | 16,36 | 17,30 | - | - |
| 233 (-40) | 6,11 | 9,30 | 12,14 | 14,18 | 16,13 | 17,29 | 18,37 | 19,63 | 21,02 |

Аналитическая зависимость скорость горения в виде *U*=*U*1*p*ν выбранного топлива при различных температурах представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Аналитическая зависимость скорости горения ТРТ (Состав №2, опытные данные) от давления при различных температурах, выраженная в виде *U*=*U*1*p*ν.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура испытаний, К(°С) | Диапазон давлений, МПа | Эмпирическая формула скорости горения, *U*=*U*1*p*ν, мм/с |
| 293 (20) | От 2,02 до 5,88 | *U*=1,035*p*0,58 |
| От 5,88 до 9,81 | *U*=1,418*p*0,514 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=1,556*p*0,49 |
| От 9,81 до 13,72 | *U*=2,988*p*0,37 |
| 323 (50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=3,18*p*0,38 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,38*p*0,36 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,26*p*0,37 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=3,51*p*0,355 |
| 233 (-40) | От 5,88 до 9,81 | *U*=2,6*p*0,39 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=2,74*p*0,37 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=2,9*p*0,36 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,95*p*0,361 |

Термодинамические расчёты проводятся по известной условной химической формуле топлива и при заданной степени расширения в программном комплексе «Астра».