



Рабочий процесс в камере сгорания импульсного термоядерного ракетного двигателя

Черновик. Подходы к формулировке ТЗ по подпрограмме "Pellet" программы «Десант» (математическое моделирование процессов в мишени).

И.Мусеев, 1.04.2010

Под рабочим процессом в КС ИТЯРД понимаются физические явления, происходящие в поджигаемой мишени и образовавшейся плазме.

Разобьем эти явления на пять групп.

- A. Взаимодействие лазерного луча (A1), электронного(A2) и ионного(A3) пучка с мишенью.
- B. Сжатие и разогрев мишени.
- C. Горение мишени.
- D. Разлет продуктов сгорания и несгоревших частей мишени.
- E. Излучение в КС.

Рассмотрение этих явлений должно дать ответы на следующие вопросы:

- определить требования к системе поджига;
- определить эффективную скорость истечения;
- определить спектр и интенсивность излучения;
- определить требования к мишени;
- определить состав топлива.

Требования к топливам

1. Малое количество нейтронов и гамма-излучения.
2. Большое $\langle \sigma v \rangle$.
3. Возможность хранения при некриогенных температурах.
4. Отсутствие радиоактивных компонентов.
5. Большой энергетический выход.
6. Возможность получения большого количества топлива.
7. Возможно более простое изготовление мишени.

Основные соотношения

Скорость выделения термоядерной энергии в сферической зоне:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot n_1 n_2 \cdot \langle \sigma v \rangle (T) \cdot Q \quad (1)$$

$$-\frac{dN_1}{dt} = -\frac{dN_2}{dt} = N_1 \cdot N_2 \langle \sigma v \rangle \quad (2)$$

$$n = \frac{N}{\frac{4}{3} \pi r^3}$$

(в случае, если реакция идет по одной линии.)

Аппроксимация $\langle \sigma v \rangle$:

$$\langle \sigma v \rangle_{DD} = 2,6 \cdot 10^{-14} T_i^{-2/3} \cdot \exp(-18,76 T_i^{-1/3}) \frac{\text{см}^3}{\text{с}} \quad (3)$$

$$\langle \sigma v \rangle_{DT} \Big|_{T < 10 \text{кэВ}} = 3,8 \cdot 10^{-12} T_i^{-2/3} \exp\{-19,02 T_i^{-1/3}\} \frac{\text{см}^3}{\text{с}} \quad (4)$$

$$\langle \sigma v \rangle_{DT} \Big|_{T > 10 \text{кэВ}} = 3,41 \cdot 10^{-14} T_i^{-2/3} \exp\{-27,217 T_i^{-2/3} + 3,638 T_i^{-1/3}\} \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$$

$T - \text{кэВ}$

Тепловая энергия компоненты плазмы:

$$E_i = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot n \cdot \frac{3}{2} R T_i \quad (5)$$

$$V_{3\theta} = V_0 T^{1/2} \quad (6)$$

Задача: оценить степень выгорания при заданных m , R , N_0 , T_0 для DT и DD.

[m - масса мишени; R - радиус мишени; N_0 - степень сжатия; T_0 - начальная температура.]

Рассмотреть механизмы:

1. Выделения энергии за счет термоядерных реакций.
2. Поглощение выделенной энергии.
3. Потери на излучение.
4. Расширение зоны.

Проследить процессы по времени с шагом t ; $t_0 = 0$; t_k - определится прекращением выделения энергии.

Сначала рассмотрим DT мишень, вкладом нейтронов в процессы пренебрегаем.

$$Q = Q_p - Q_l = Q_a$$

для простоты и отработки.

Баланс энергий

$$E(0) = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot R^3 \cdot n_e \cdot \frac{3}{2} k T_0 +$$

$$+ \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot R^3 \cdot n_D \cdot \frac{3}{2} k T_0 +$$

$$+ \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot R^3 \cdot n_T \cdot \frac{3}{2} k T_0 =$$

$$K_{E(0)} \cdot (n_e + n_D + n_T) T_0 \cdot R^3$$

$$E_0 = \frac{3}{2} (N_e + N_D + N_T) k T_0$$

$$N_e = (N_D + N_T) = \frac{M}{\mu} N_A = \frac{M}{2} N_A$$

$$E(0) \quad t = 0$$

$$E(1) = E(0) + E_{\text{пор}}(1) - E_{\text{из}}(1) =$$

$$E(0) + E_{\text{гор}}(1) - E_{\text{из}}(1) - E_{\text{пор}}(1)$$

$$E(2) = E(1) + E_{\text{гор}}(2) - E_{\text{из}}(2) - E_{\text{пор}}(2)$$

Далее:

1. Рассмотрение процессов термоядерного горения с инерциальным удержанием.
2. Отработка моделей физики горения.
3. Отработка математических методов.
4. Выяснение основных закономерностей термоядерного горения.

Работа по подпрограмме "PELLET" должны обеспечить базу для рассмотрения более сложных мишеней и перспективных топлив.

И.Моисеев, 20.03.1980.