

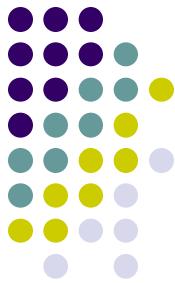
## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАГРУЗОК

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



1. чертеж или эскиз конструкции;
2. данные о нагрузках;
3. данные о нагреве конструкции

# ПО МОМЕНТУ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ



1. нагрузки в полете;
2. стартовые;
3. при наземной эксплуатации

# ПО ХАРАКТЕРУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ



- Объемные или массовые;
- Поверхностные;
- Сосредоточенные силы

# ПО ХАРАКТЕРУ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ



- статические;
- динамические

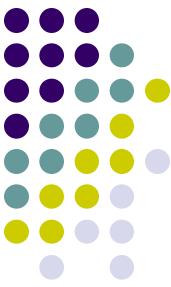
# ПО ЗАКОНУ ИЗМЕНЕНИЯ ПО КООРДИНАТЕ И ВРЕМЕНИ



- программные;
- возмущающие



### 3. Статические нагрузки в полете



## 3.1. Тяга двигательной установки

- Тяга - равнодействующая давления по внутренней поверхности двигателя и невозмущенного давления в среде - по наружной



Тяга двигателя:

$$T = \dot{m}U_a + F_a(p_a - p_\infty)$$

или

$$T = (kM_a^2 + 1)F_a p_a - F_a p_\infty$$

С учетом поправок:

$$T = (\varphi_1 \varphi_2 k M_a^2 + 1) F_a p_a - F_a p_\infty$$

Через коэффициент тяги:

$$T = K_T F_{kp} p$$

$$K_T = \frac{1}{\sqrt{k^2 - 1}} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{1 - \left( \frac{p_a}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \left\{ 2k + \left( \frac{p_a}{p} - \frac{p_\infty}{p} \right) \frac{k-1}{\left( \frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{k}} \left[ 1 - \left( \frac{p_a}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \right\}$$



# Изменение давления в камере

*Выход на режим :*

$$\frac{p}{p_0} = \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{1-\nu} \right] e^{\frac{-(1-\nu)a(k)\sqrt{f_0}F_{KP}t}{W\Delta}} \right\}^{\frac{1}{1-\nu}},$$

где  $a(k) = \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$

*После вскрытия отсечных сопл :*

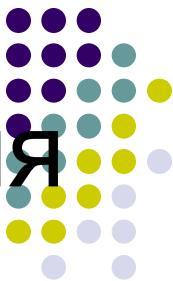
$$\frac{p}{p_0} = \left[ \frac{F_{KP}}{F_\Sigma} + \left( 1 - \frac{F_{KP}}{F_\Sigma} \right) e^{\frac{-(1-\nu)a(k)\sqrt{f_0}F_\Sigma t}{W\Delta}} \right]^{\frac{1}{1-\nu}}$$

*Адиабатическое опорожнение :*

$$\frac{p}{p_0} = \left[ 1 + \frac{a(k)\sqrt{f_0}F_{KP}}{W\Delta} \frac{(k-1)}{2} t \right]^{-\frac{2k}{k-1}}$$

*Изотермическое опорожнение :*

$$\frac{p}{p_0} = 1 - \frac{a(k)F_{KP}\sqrt{f_0}}{W\Delta} t$$



# Составляющие тяги двигателя

*На переднее днище действует:*

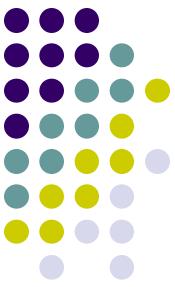
$$N_{\partial h'} = (p_0 - p_\infty) S_m$$

*На заднее с сопловым блоком:*

$$N_{\partial d} = N_{\partial h'} - T$$

*Тяга двигателя:*

$$T = \dot{m} U_a + F_a (p_a - p_\infty)$$



## **3.2. ДАВЛЕНИЕ В ПЕРЕХОДНОМ ОТСЕКЕ ПРИ ГОРЯЧЕМ РАЗДЕЛЕНИИ СТУПЕНЕЙ**

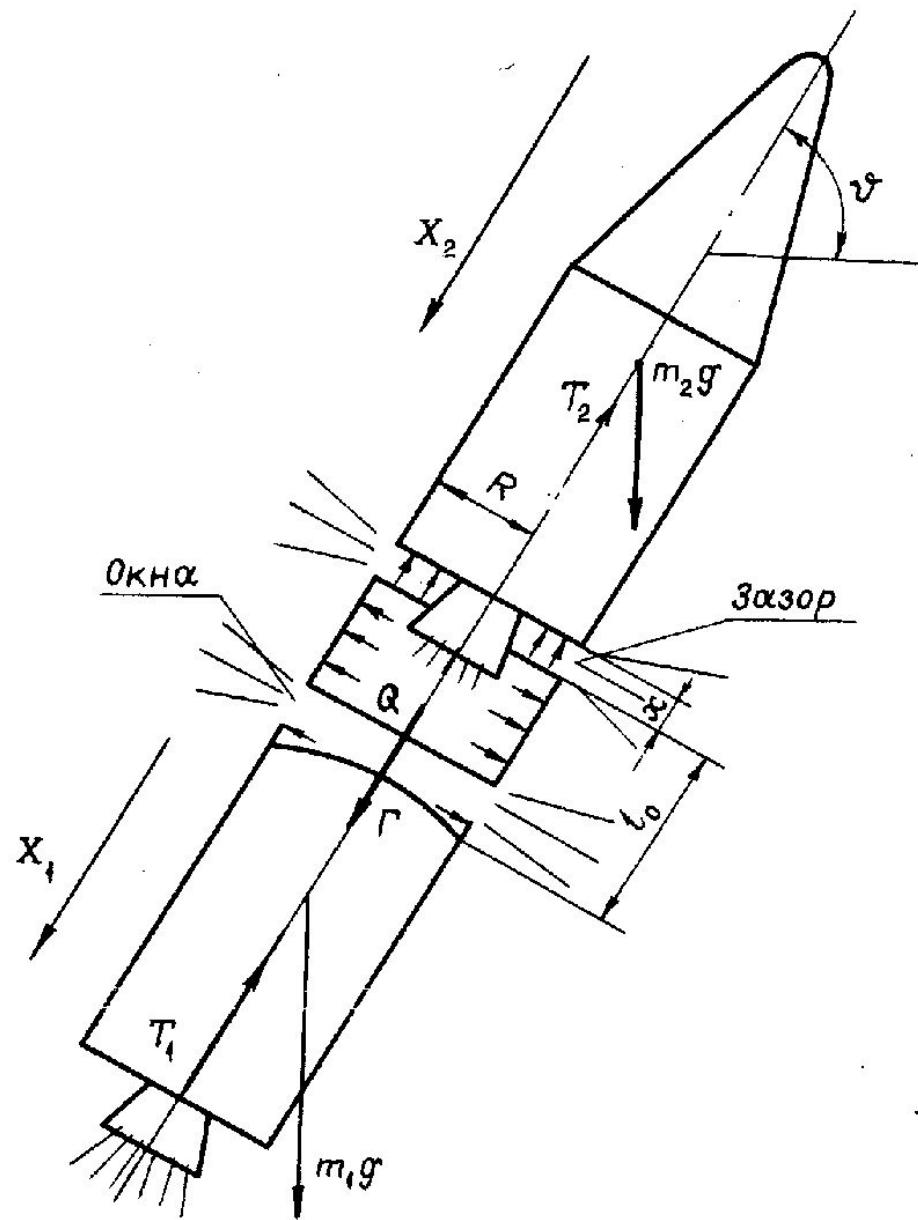
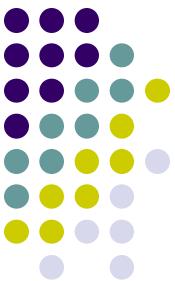


Рис. 29



# Изменение МАССЫ В ПЕРЕХОДНОМ ОТСЕКЕ

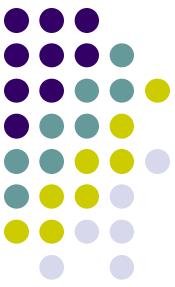
$$\frac{dm_n}{dt} = m_2 - m_0$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Ap_{02} - [(x_0 + x)B + S_m v]Q}{W_0 + S_m x},$$

где

$$x_0 = \frac{F_0}{2\pi R}, \quad A = \varphi_2 a(K) F_{kpp} \sqrt{RT_0} \chi_2$$

$$B = 2\pi R \varphi_0 a(K) \sqrt{\chi_2 RT_0}.$$



# Уравнение сохранения МАССЫ в ДВИГАТЕЛЕ ВТОРОЙ СТУПЕНИ

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{p_{02} W_{\Delta}}{RT_0} \right) = S u_1 p_{02}^{\nu} \rho_m - \dot{m}_2,$$

или принимая объем  $W_{\Delta}$  постоянным :

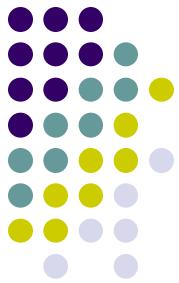
$$\frac{dp_{02}}{dt} = a_1 p_{02}^{\nu} - b_1 p_{02},$$

где  $a_1 = \chi R T_0 S U_1 \frac{\rho_m}{W_{\Delta}}$

$$b_1 = \varphi_2 a(K) F_{kp_2} \sqrt{\chi R T_0} / W_{\Delta}$$

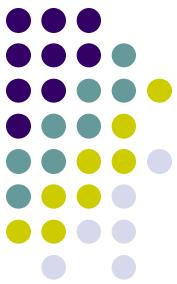
$$a(K) = \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

# Уравнение движения первой ступени



$$\frac{d\psi_1}{dt} = \frac{T_1 - \Gamma - X_1 - m_1 g \sin \nu}{m_1}$$

# Уравнение движения второй ступени



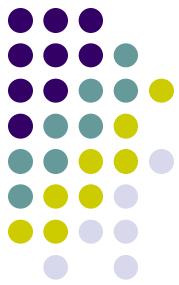
$$\frac{d\psi_2}{dt} = \frac{T_2 - X_2 + (Q - p_\infty)(S_m - F_{a2}) - m_2 g \sin \nu}{m_2}$$

# Уравнение ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ



$$\frac{d\upsilon}{dt} = \frac{T_2 - X_2 + (Q - p_\infty)(S_m - F_{a2})}{m_2} + \frac{\Gamma + X_1 - T_1}{m_1}$$

# Расстояние МЕЖДУ СТУПЕНИЯМИ



$$\frac{dx}{dt} = v = (v_2 - v_1)$$



# Параметры газа В СЕЧЕНИИ ОТРЫВА

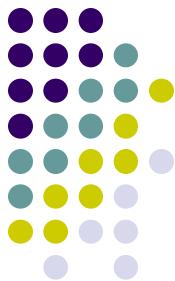
Давление:  $p_1 / p_{02} = Q / p_{02} - 0,357 \left( Q / p_{02} \right)^{0,83}$

Число Маха:  $M_1 = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[ \left( \frac{p_{02}}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$

Площадь сечения сопла:  $F_1 = \frac{F_{kpp}}{q(M_1)}$

$q(M_1) = \left( \frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} M_1 \left( 1 + \frac{k-1}{2} M_1^2 \right)^{-\frac{k+1}{2(k-1)}}$

# Коэффициент ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ СИЛЫ



1. При малых расстояниях между ступенями:

$$\xi = 1$$

2. Сопло в отсеке, газ истекает из зазора и окон со звуковой скоростью когда

$$x > x_* = \frac{R}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r_{a2}}{R} \right)^2 \right]$$

3. Сопло вышло на срез отсека:

$$x_0 = l_0 - \varepsilon_0$$

$$\xi_c = 1 + \left( 1 - \frac{F_0}{S_m} \right) C_3$$

$$C_3 = C_2 \frac{k M_{a2}^2}{(I + k M_{a2}^2)}$$

$$C_2 = \frac{K}{K-2} \sqrt{\frac{2}{k+1}} \left[ \frac{2}{M_{a2}^2} + \frac{k-1}{2} + \frac{2}{(k-1)M_{a2}^4} \right];$$

$$K = k(k-1)M_{a2}^2$$

4. Сопло удаляется от отсека ( $x > x_0$ ):

$$\xi = \left( 1 - Y^{l1} \right) + \left( 1 - \frac{F_0}{S_m} \right) C_3 \left( 1 - Y^{l2} \right); Y = \left[ 1 + \left( \frac{R}{z} \right)^2 \right]^{-1};$$

$$z = (x - x_c); \quad l_1 = \frac{k+2}{2}; \quad l_2 = l_1 - 2$$

