

ГЛАВА 3. РАССЕЯНИЕ ФРАГМЕНТОВ МКТ

Процессы фрагментации МКТ и последующего рассеяния его фрагментов хотя и имеют общую природу – аэродинамическую, так как их основным фактором является АДС атмосферы, – но каждый из них по-своему специфичен. Поэтому рассеяние фрагментов МКТ потребовало разработки «своей» модели. Одна из таких моделей [1, 2] была разработана для прямоугольного МКТ, хотя, как будет показано ниже, вполне возможен и ее, в основном, аналогичный вариант для сферического МКТ. С этой целью приняты схемы распада МКТ обеих форм, изображенные на рис. 1.2, и в дальнейшем рассматриваются соответствующие варианты рассеяния образовавшихся фрагментов.

Напомним, что максимум АД нагрузки принят в центре лобовой поверхности МКТ, поэтому в тыльной части МКТ возникает зона растяжения (см. гл. 1, п. 1.3), откуда стартует трещина, разделяющая тело пополам в плоскости симметрии $\xi' - \zeta$ (ось ζ перпендикулярна плоскости рис. 3.1). В частности, считается, что разрушение прямоугольного МКТ или его k -го фрагмента происходит, когда поперечное сечение минимально, а лобовая поверхность максимальна (гл. 1, п. 1.3).

Принято, что рассеяние МКТ или его фрагментов (пусть, для определенности, это будут k -е фрагменты) (рис. 3.1) начинается с момента разрушения $(k - 1)$ -го фрагмента. От этого момента заново ведется отсчет времени ($t \geq 0$) и перемещения фрагмента ($\xi \geq 0$) со скоростью его центра массы (C_{k-1}) $V = \dot{\xi} = d\xi/dt$ и ускорением $\ddot{\xi} = d^2\xi/dt^2$. При этом фрагменты совершают сложные движения, симметричные относительно траектории движения общего центра масс (точки C_{k-1}), а именно: поступательное движение по инерции вперед и поворот вокруг своих центров масс (C_k) на угол φ . Процесс рассеяния представляется 2-фазным.

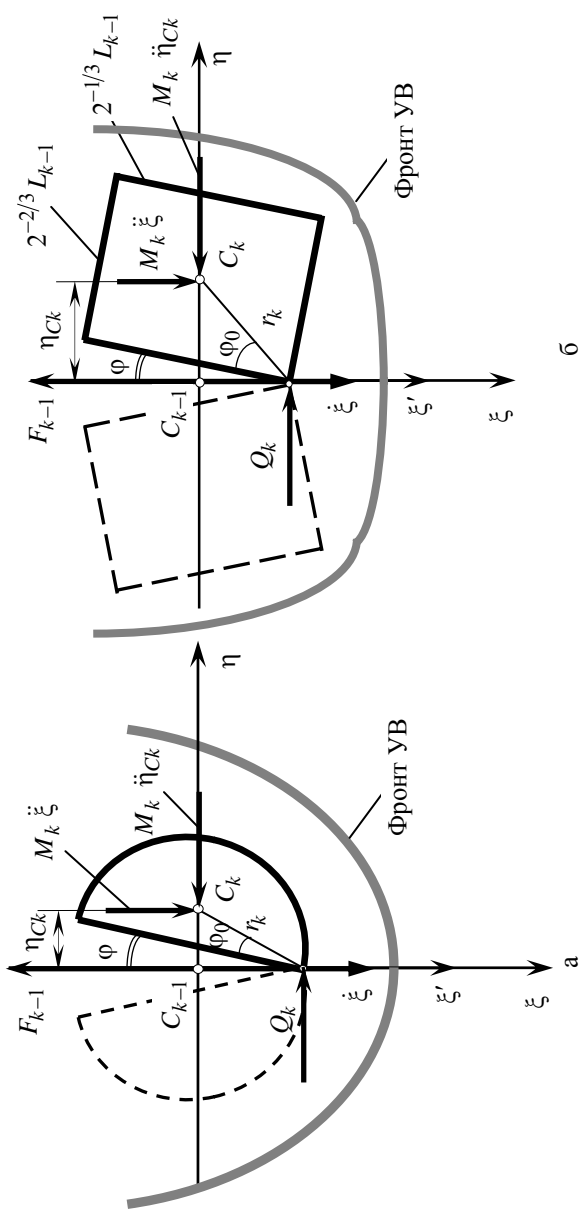


Рис. 3.1. Схемы первой фазы рассеяния $(k-1)$ -го фрагмента МКТ: а – сферического, б – прямоугольного

В первой фазе совершается поворот фрагментов в плоскости $\xi' - \eta$ при сохранении взаимного контакта на лобовой поверхности в точке их касания (сфера) или по линии касания ребер (параллелепипед). Каждый фрагмент поворачивается с угловыми скоростью $\dot{\varphi} = d\varphi/dt$ и ускорением $\ddot{\varphi} = d^2\varphi/dt^2$, причем его центр массы C_k удаляется по оси η от общего центра масс C_{k-1} с линейными скоростью $\dot{\eta} = d\eta/dt$ и ускорением $\ddot{\eta}_{Ck} = d^2\eta_{Ck}/dt^2$. Факторами поворота фрагмента являются пары сил, образованные половиной общей силы АДС (F_{k-1}), приложенной на оси ξ' (пока общий мидель соприкасающихся фрагментов остается сплошным и они находятся за фронтом общей УВ), силой инерции, приложенной в центре массы (на рис. 3.1 она показана в проекциях на оси ξ' и η), и реакцией соседнего фрагмента (Q_k), приложенной в точке касания с ним полусферы или на линии касания ребер параллелепипедов.

Система уравнений кинетостатики k -го фрагмента имеет вид

$$M_k \ddot{\eta}_{Ck} = Q_k, \quad (3.1)$$

$$M_k \ddot{\xi}_k = 0,5F_{k-1}, \quad (3.2)$$

$$I_{Ck} \ddot{\varphi} = 0,5F_{k-1} \eta_{Ck} - Q_k r_k \cos(\varphi_0 + \varphi), \quad (3.3)$$

где для фрагмента сферы или параллелепипеда (в дальнейшем данные приводятся в такой же последовательности, в зависимости от геометрии фрагмента) $M_k = 0,5M_{k-1} = 2^{-(k+1)} \pi \rho_b D_0^3/3$ или $M_k = 2^{-k} \rho_b L_0^3$ – масса,

$$F_{k-1} = C_\xi p S_{Mk}, \quad (3.4)$$

C_ξ равно 1 или 1,5, p – АД напор, определяемый по формуле (1.12) при $V = \dot{\xi}$

$$p = \rho_a \dot{\xi}^2 / 2, \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{Mk} = 0,25\pi D_{k-1}^2 (1 + \sin \varphi) \\ \text{или} \\ S_{Mk} = 4r_k L_{k-1} \sin(\varphi_0 + \varphi) \end{array} \right\} - \quad (3.6)$$

площадь общего миделя фрагментов, I_{Ck} – момент инерции относительно центра массы C_k ,

$$\left. \begin{array}{l} I_{Ck} = 83M_k D_{k-1}^2 / 1280 \approx M_k r_k^2 / 4,4, \text{ откуда } I_{Ck} / M_k r_k^2 \approx 1/4,4 \\ \text{или} \\ I_{Ck} = M_k r_k^2 / 3, \text{ откуда } I_{Ck} / M_k r_k^2 \approx 1/3 \end{array} \right\}, \quad (3.7)$$

расстояние между центром массы и местом контакта с соседним фрагментом

$$\left. \begin{array}{l} r_k = \sqrt{73} D_{k-1} / 16 = 2^{-(k+1)/3} \sqrt{73} D_0 \\ \text{или} \\ r_k = 2^{-4/3} \sqrt{1 + 2^{-2/3}} L_{k-1} = 2^{-(k+3)/3} \sqrt{1 + 2^{-2/3}} L_0 \end{array} \right\}, \quad (3.8)$$

текущая координата центра массы фрагмента

$$\eta_{Ck} = r_k \sin(\varphi_0 + \varphi), \quad (3.9)$$

$\varphi \geq 0$ – текущий угол поворота, $\varphi_0 = \arctg(3/8) \approx 0,359$ рад ($\approx 20^\circ 33'$) или $\arctg(2^{-1/3}) \approx 0,671$ рад ($\approx 38^\circ 26'$) – начальный угол наклона r_k к оси ξ' . Дифференцирование (3.9) дает формулы для поперечных скорости и ускорения центра массы:

$$\dot{\eta}_{Ck} = r_k \dot{\varphi} \cos(\varphi_0 + \varphi), \quad (3.10)$$

$$\ddot{\eta}_{Ck} = r_k \left[\ddot{\varphi} \cos(\varphi_0 + \varphi) - \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi_0 + \varphi) \right]. \quad (3.11)$$

После прекращения контакта, т. е. при $t > t_k^*$, рассеяние фрагментов переходит во вторую фазу – свободный разлет их, как независимых тел, от плоскости $\xi' - \zeta$ с одновременным вращением в плоскости $\xi' - \eta$ вокруг своих центров масс.

Для дальнейшего построения модели рассеяния МКТ необходим анализ взаимосвязи силовых факторов и параметров движения (3.1)–(3.3). Однако, как следует из (3.4) и (3.5), основной фактор рассеяния фрагментов (F_{k-1}) связан, в частности, с плотностью атмосферы ρ_a , определение которой зависит от вида движения МКТ в атмосфере (т.е. от движения под углом к горизонту или мимо планеты). Этот аспект не затрагивает принципиальную сторону задачи, но, как показано ниже, его учет приводит к различиям в ряде формул.

3.1. Рассеяние МКТ при «косом» падении

3.1.1. Первая фаза рассеяния МКТ

После k -й фрагментации в первой фазе рассеяния, т. е. при $t \geq 0$ и $\xi \geq 0$, $x = x_k - H^{-1}\xi \sin \alpha$ и, согласно (2.1),

$$\rho_a = \rho_{ak} \exp\left(\frac{\sin \alpha}{H} \xi\right), \quad (3.12)$$

где

$$\rho_{ak} = \rho_0 \exp(-x_k) - \quad (3.13)$$

плотность атмосферы на высоте x_k . Таким образом, для сферы или параллелепипеда из (3.4) с учетом (3.5), (3.6), (3.8) и (3.12) следует