

## К ВОПРОСУ ОБ УСЛОВИЯХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ АГРЕГАТОМ С ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

В.А. Табуненко  
(представил проф. В.А. Прокопов)

В статье формулируются некоторые условия управления транспортным агрегатом при транспортировке летательных аппаратов, частично заполненных жидким топливом.

Транспортирование летательных аппаратов (ЛА) почти всегда должно быть выполнено за требуемое или даже наименьшее время и осуществляется по дорогам различных категорий вплоть до бездорожья [1]. Движение транспортного агрегата (ТА) в этом случае сопряжено с возникновением динамических нагрузок, действующих на агрегат и ЛА. Величина нагрузок оценивается коэффициентом перегрузки  $n$ . Как известно, его наибольшее значение  $n_{\max}$  не должно превышать для ЛА некоторого допустимого наперед заданного  $[n]$ , т.е. во все время движения должно соблюдаться условие:  $n_{\max} \leq [n]$ . Однако на ТА нет никаких специальных систем контроля за соблюдением этого условия. Ограничивается лишь допустимая скорость движения ТА и считается, что такое ограничение обеспечит соблюдение условия. Нельзя не отметить то обстоятельство, что динамические нагрузки могут привести к потере ТА поперечной устойчивости по опрокидыванию. Эта возможность никак не ограничивается и не контролируется. В этих условиях, водитель, управляющий движением ТА, интуитивно решает сложную задачу выбора скорости движения с учетом указанного риска по устойчивости ТА и сохранности ЛА. Если транспортируется "сухой" (без топлива) ЛА, то опыт и квалификация могут обеспечить водителю более-менее успешное решение задачи транспортировки. Причем это возможно даже с учетом того факта, что система "ТА - ЛА" упругая и при движении по неровной дороге совершает пространственные колебания [2].

Ситуация может резко ухудшиться и даже выйти из под контроля в случае, когда ЛА частично заполнен жидким топливом (далее - "жидкость"). Покажем это, рассмотрев движение агрегата в вертикальной плоскости (плоскости его симметрии). Будем считать, что ТА совершает два

движения: по направлению скорости и перпендикулярно этому направлению. Оба вида движения - неустановившиеся. Жидкость, заполняющая баки ЛА, при движении ТА начинает колебаться с определенными частотами [3]. Колебаясь, она периодически изменяет величину давления на переднее и заднее днища бака и тем изменяет (уменьшает или увеличивает) как силу сопротивления движению ТА, так и силу сцепления, усугубляя переменность движения и усложняя действия водителя по стабилизации движения. Но опытный водитель может к этому действию жидкости "приноровиться", т.е. правильно прогнозировать развитие колебаний жидкости и синтезировать закон изменения скорости ТА.

Однако колеблющаяся жидкость действует на ТА и в направлении, перпендикулярном скорости движения. Рассмотрим это действие при достаточно простых предположениях. Будем считать, что ТА движется с постоянной скоростью  $V$  по дороге с периодическими неровностями высотой  $a$  и длиной  $S$ . Рама с ЛА абсолютно жесткие и на упругой подвеске совершают возвратно - поступательное вертикальное движение.

Жидкость в баках ЛА колеблется синфазно по одной форме и поэтому может быть заменена маятником с определенной длиной и массой [3]. Тогда система "ТА - ЛА с жидкостью" может быть заменена моделью, представленной на рис. 1а, и в конце концов - на рис. 1б.

Если воспользоваться уравнением Лагранжа 2 - го рода, то можно показать, что движение ТА и ЛА в рассматриваемом случае описывается системой двух нелинейных уравнений:

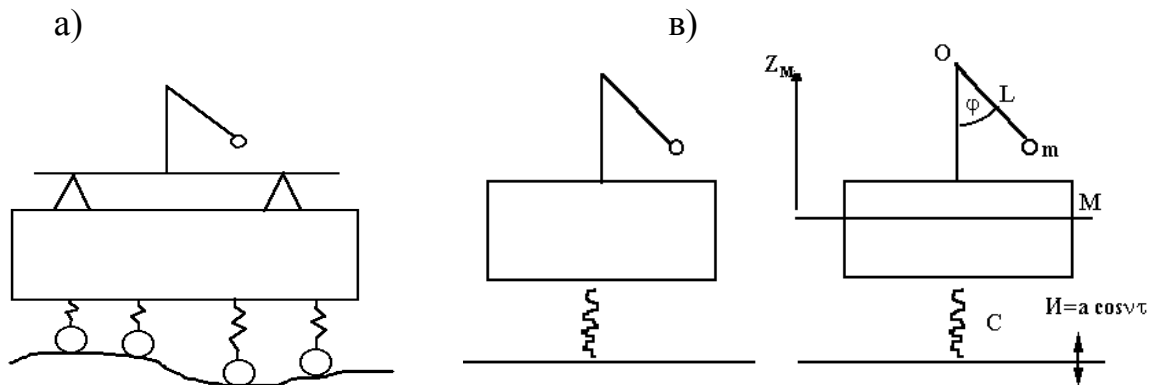


Рисунок 1 – Модель системы «ТА – ЛА с компонентами топлива»

$$(M + m) * \ddot{Z}_M + CZ_M + m * L * \ddot{\varphi} * \sin \varphi + m * L * \varphi^2 * \cos \varphi = C * C, \quad (1)$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{q}{L} \left( 1 + \frac{\ddot{Z}_M}{q} \right) * \sin \varphi = 0, \quad (2)$$

где  $M$  - масса ТА;  $m$  - масса колеблющейся жидкости;  $Z_M$ - ось отсчета перемещений массы  $M$  (от положения статического равновесия);  $C$  - жест-

кость подвески всего агрегата;  $L$  - длина маятника;  $\mathbf{I} = \mathbf{a} * \mathbf{COSvt}$  - изменение неровностей дороги;  $\mathbf{a}$  - амплитуда неровностей;  $\mathbf{v}$  - частота изменения неровностей,  $\mathbf{v} = 2\pi V/S$ ,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\phi$  - угол отклонения маятника при колебаниях.

Одно из уравнений (1) описывает движение массы  $\mathbf{M}$  агрегата с ЛА на упругой подвеске и учитывает влияние качания маятника.

Второе уравнение (2) - известное уравнение Матье. Описывает качания маятника с подвижной точкой подвеса в вертикальном направлении. Уравнение указывает на свойства системы вступать (порождать) параметрические резонансы [4]. Прогнозировать возможность, а тем более момент его возникновения и развития, принять меры по его предотвращению или погашению в условиях переменного движения по сложной дороге водитель не сможет, ему не хватит никакого опыта и интуиции. А потому и выбрать наилучшую или наибольшую скорость движения он не в состоянии. Нужна автоматическая система прогнозирования скорости в помощь водителю, ибо заменить систему "водитель-ТА" для управления ТА в условиях бездорожья в настоящее время нечем.

Итак, говоря об условиях управления ТА с ЛА частично заполненным топливом, можно указать следующее:

1. При движении по бездорожью есть риск опрокидывания. Риск усугубляется возможностью появления параметрического резонанса топлива.

2. Управление ТА должно быть комбинированное "ручное и автоматическое". Ручное осуществляет водитель.

3. Для повышения эффективности ТА водителю нужно предоставить в помощь систему автоматического прогнозирования скорости ( САПС ) с учетом ограничений по перегрузке и требований обеспечения устойчивости ТА по опрокидыванию и недопущения параметрического резонанса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин Б.П., Столяров Н.А. Подготовка к пуску и пуск ракет. М.: Воениздат. 1972.

2. Бурда С.Н. и др. Динамика транспортных агрегатов: Учеб. пособие. Под ред. Прокопова В.А. Х., ХВУ, 1996.

3. Николаенко Н.А. Динамика и сейсмостойкость конструкций, несущих резервуары. М.: Госстройиздат. 1963.

4. Каудерер, Г. Нелинейная механика. Пер. с нем. Пановко Я.Г. М.: Изд. иностр. лит., 1961.