

УДК 629.764.7

Математическая модель колебаний оболочек с жидкостью в системе подачи топлива между баками ракеты-носителя

Дьяченко Мария Ильинична^(*)

s_masyanya@mail.ru

Темнов Александр Николаевич

antt_45@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема об осесимметричных колебаниях тонкостенной конструкции, состоящей из упругой оболочки, упругого днища, стыковочного шпангоута и частично наполненной несжимаемой идеальной жидкостью, переливаемой в другой (центральный) бак и расходную магистраль. В рассматриваемой модельной задаче перераспределение жидкого компонента осуществляется через днище и отверстия в цилиндрической поверхности обечайки, расположенные в нише бака, называемой поверхностью слива. Подобная задача в ракетах-носителях пакетной схемы. Задача рассматривается в линейной является актуальной при исследовании динамики системы перераспределения топлива, квазистационарной постановке, подробно описанной в книге К.С. Колесникова «Динамика ракет», при отсутствии перелива компонентов жидкого топлива. Движение жидкости предполагается безвихревым, обладающим потенциалом смещений $\phi(x, t)$.

Ключевые слова: колебания оболочки, ракета-носитель, колебания жидкости, бак с жидким топливом, система перераспределения топлива

Введение. Перераспределение топлива между баками ракеты-носителя пакетной схемы может быть осуществлено при помощи бустерного насоса, установленного в нише бака центральной ступени [1, 2]. Кроме бустерного насоса, система перераспределения включает в себя трубопроводы с заборными устройствами, сильфоны, узлы разделения между ступенями [3]. Основное требование, предъявляемое к заборным устройствам заключается в обеспечении равномерного понижения уровня компонентов топлива для создания непрерывной подачи компонентов топлива без нарушения сплошности потока. В конструкциях топливных баков современных ракет-носителей все большее применение находят многоточечные заборные устройства, состоящие из перфорированных пластин и желобов [4].

Материалы и методы; результаты. Бак с топливом представляет собой один из основных конструктивных элементов изделия. Динамические характеристики бака с жидкостью — собственные частоты и формы колебаний — исключительно важны при определении форм и частот продольных колебаний корпуса ракеты. С другой стороны, значение этих характеристик позволяет получить оценку значений основных динамических параметров, влияющих на систему перераспределения топлива и основную систему подачи топлива в расходной магистрали. Пусть бак частично заполнен идеальной жидкостью и жестко заземлен по периметру стыковочного шпангоута, со-

единяющего обечайку с днищем. Рассмотрим малые свободные осесимметричные колебания топливного бака с переливаемой жидкостью относительно некоторого невозмущенного состояния.

Заключение. За невозмущенное состояние принимается установившееся движение жидкого топлива, при неподвижном шпангоуте, характеризуемое средней постоянной скоростью опускания V_0 невозмущенной свободной поверхности Γ_0 и средней постоянной скоростью V_Σ^0 на поверхности слива Σ . Под поверхностью слива Σ понимается плоская поверхность, расположенная в нише бака, через которую происходит забор топлива в расходную магистраль из области дна Σ_M и в систему перераспределения из области Σ_Π . В рассматриваемой проблеме за поверхность слива удобно принять поверхность Σ , совпадающую с поверхностью днища ($\Sigma = \Sigma_M \cup \Sigma_\Pi \cup \Sigma_D$).

За невозмущенное состояние упругой конструкции принято состояние, отвечающее решению статической задачи о равновесии упругой конструкции под действием давления $p^0(x_3)$, обусловленное невозмущенным движением жидкости.

Список источников

- [1] Колесников К.С. *Динамика ракет*. Москва, Машиностроение, 2003, 520 с.
- [2] Биркин И.А. Об эффективности перелива топлива между ракетными ступенями, XXXV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, с. 42–43.
- [3] Дьяченко М.И., Нгуен Зуй Хунг, Темнов А.Н. О движении несжимаемой жидкости в топливных баках с заборными устройствами. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2017, т. 16, № 2, с. 23–35. <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2017-16-2-23-35>
- [4] Беляев Н.М. *Расчет пневмогидравлических систем ракет*. Москва, Машиностроение, 1983, 219 с.