

УДК 629.7.023

Определение напряженно-деформированного состояния составного представительного элемента криогенного цилиндрического бака в процессе захолаживания с учетом прижимной упругой сетки

Егоров Антон Витальевич

antegor177@mail.ru

SPIN-код: 5596-4387

Васильев Фёдор Алексеевич^(*)

fedorxx@inbox.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен один из возможных конструктивных вариантов исполнения криогенного бака ракеты-носителя или разгонного блока, состоящий из металлической силовой оболочки и слоя теплоизоляционного покрытия, в качестве которого рассматривается пенополиуретановый пенопласт. Исследуется напряженно-деформированное состояние в процессе захолаживания и заправки криогенным топливом на представительном элементе цилиндрического бака — составном кольце меньшего диаметра. Определяется требуемое прижимное давление, вызванное обжатием упругой композитной сеткой, препятствующей расслоению составной конструкции.

Ключевые слова: криогенный ракетный бак, захолаживание, напряженно-деформированное состояние, термические деформации, контакт с односторонней связью

Введение. Одним из направлений повышения энергетических характеристик ракетной техники считается применение криогенных топлив, для которых создаются специальные несущие конструкции — двухслойные топливные баки. С целью снижения теплообмена с окружающей средой может использоваться в качестве теплозащиты пенопласт [1–3]. Проектирование такой составной конструкции «металл-пенопласт» должно учитывать переменное поле температур, деформационные поля и контактное взаимодействие. Для оценки этих факторов удобно рассмотреть составное кольцо, имитирующее проектируемое изделие, но меньшего диаметра.

Основная проблема, которая может возникнуть в течение захолаживания и заправки — отслоение слоя пенопласта от металлической оболочки. Для предотвращения отслоений будет рассмотрен конструктивный варианты, предусматривающий возможность прижима слоя пенопласта к металлической несущей обечайке.

Методика проведения расчета. Расчет данной задачи проводился методом конечных элементов в программном комплексе Ansys. Конечно-элементная модель представляет собой модели двух цилиндрических слоев, имеющих между собой идеальный контакт с односторонней связью. Отдельно задается прижимное давление на внешней поверхности пенопласта в виде полосок, что имитирует упругую прижимную сетку. Среди условий нагруже-

ния следует выделить охлаждение металлического кольца до криогенных температур, давление наддува и конвективный теплообмен внешней поверхности пенопласта с окружающей средой.

Результаты расчетов. В результате расчета получаем напряженно-деформированное состояние кольца в зависимости от времени захлаживания. В момент времени около 2450 с происходит разрыв контакта — отслоение в составном кольце без прижимной сетки. Из проведенного расчета следует, что при наличии начальных дефектов типа непрочекля, трещин или пор в теплоизоляционном покрытии при дальнейшем захлаживании бака может возникать локальное отслоение этого покрытия, причем при нарушении контакта между слоями теплоизоляция начнет интенсивно прогреваться. Это будет сопровождаться увеличением площади отслоения, что приведет к нарушению теплового режима внутри бака.

При рассмотрении задач с учетом прижимной сетки с прижимным давлением 500 Па отслоение происходит в момент времени 6120 с, а с прижимным давлением 700 Па расслоение отсутствует.

Заключение. Расчет по исследованию напряженно-деформированного состояния составного кольца показал, что при наличии технологических отклонений в теплоизоляционном покрытии в процессе охлаждения металлической обечайки может возникать отслоение покрытия. Причиной возникновения — термические деформации пенопласта. По этой причине нормальные напряжения на разрыв в клее, расположенном между слоями, могут быть ниже нормальных напряжений в момент отслоения. Таким образом, один из конструктивных вариантов, которые будут препятствовать отслоениям — применение обжимающего слоя поверх теплоизоляционного. Например, использование упругой сетки на основе композитных материалов при достаточном прижимном давлении препятствует возникновению отслоения.

Список источников

- [1] Егоров А.В., Васильев Ф.А. Конструктивное исполнение криогенных топливных баков для ракетной техники. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, № 1, с. 1–13. URL: <https://engjournal.bmstu.ru/catalog/machin/rocket/638.html> (дата обращения 14.11.2025).
- [2] Акилов Г.К., Ольховская С.П., Танюшин Б.А. Создание кислородно-водородных ракетных блоков для ракетно-космического комплекса Н1-Л3. *Альтернативная энергетика и экология*, 2008, № 3 (59), с. 55–58.
- [3] Томасе Ж. *Многослойное изделие и способ его изготовления (варианты)*. Патент № 2298480 С1 РФ, 2007, бюл. № 13.