

УДК 629.7.08

Анализ вариантов безопасного дренажа паров метана при подготовке и выполнении заправочных операций с летательными аппаратами на стартовых комплексах

Смирнов Владислав Витальевич^{1, 2(*)}

V.V.Smirnov@russian.space

Чугунков Владимир Васильевич¹

chvbmstu@bmstu.ru

SPIN-код: 9506-2100

Якшигулова Зубаржат Айтугановна²

Z.Yakshigulova@russian.space

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² Филиал АО «ЦЭНКИ» — НИИ СК им. В.П. Бармина, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача обеспечения безопасного дренажа паров метана при подготовке и выполнении заправочных операций в процессе предстартовой подготовки перспективных ракет космического назначения на стартовых комплексах. Предложена техническая реализация данной задачи, основанная на смешении паров метана с газообразным азотом с использованием струйных аппаратов, обеспечивающих снижение концентрации метана в смеси дренажных газов менее 5 %. Представлены результаты геометрического и математического моделирования конструкции струйного аппарата и характеристик процесса смешения дренажных газов.

Ключевые слова: ракета космического назначения, заправочные операции, сжиженный природный газ, метан, азот, дренажные газы

Введение. Одним из новых направлений развития отечественной ракетно-космической техники является разработка и создание новых многоразовых космических ракет, использующих в качестве топлива сжиженный природный газ (СПГ) с содержанием метана не менее 98 %. Опасность при работе с метаном на стартовом комплексе заключается в том, что он обладает доминирующей концентрацией в СПГ, поэтому, как и другие газообразные углеводороды, является легковоспламеняющимся веществом. В условиях окружающей среды концентрационные пределы воспламенения смеси паров СПГ с воздухом составляют от 5 % до 15 % по объему газа [1, 2]. При накоплении газа в пространстве стартового сооружения воспламенение может привести к детонации и ударной волне вследствие резкого повышения избыточного давления и, как следствие, к угрозе безопасности персонала и оборудования. В связи с этим перед разработчиками наземных комплексов поставлена новая задача по созданию технологических систем, способных обеспечить безопасный дренаж паров топлива при выполнении операций заправки ракеты на стартовом комплексе.

Методы и материалы; результаты. Одними из устройств, позволяющих обеспечить безопасный дренаж паров метана из топливных емкостей и баков ракеты, являются струйные аппараты с использованием газообразного азота в качестве активного рабочего тела. Для определения геометрических разме-

ров струйного аппарата, в котором должно осуществляться смешение паров метана с азотом до безопасной концентрации, проанализированы данные о расходных характеристиках паров метана в дренажных трубопроводах заправочной системы для первой и второй ступеней перспективной ракеты космического назначения. Разработана 3D-модель струйного аппарата в виде эжектора с осевым подводом активного потока азота и радиальным подводом пассивного потока паров метана. Проведено численное моделирование характеристик течения газов во внутреннем пространстве эжектора и в окружающем пространстве в направлении истечения дренажного потока. Получены поля распределения скоростей, температуры дренажных газов, выходящих из эжектора в окружающее пространство, и концентрации в нем метана. По результатам серии расчетов проведена корректировка геометрических размеров зоны смешения эжектора и уточнены необходимые расходные и температурные характеристики активного потока азота для обеспечения на выходе требуемой концентрации метана и плотности дренажных газов на выходе из струйного аппарата. При этом удалось уменьшить габариты эжектора без потери эффективности смешения и сократить расход азота, что является экономически целесообразным.

Заключение. Результаты исследования показали, что существует принципиальная возможность использования эжекторов для дренажа метана при заправке топливных баков ракет космического назначения. Система дренажа с эжекторами, смешивающими метан и азот, позволит обеспечить безопасный дренаж метана во время заправки топливных баков ракет космического назначения. Этот метод, при определенных условиях, экономически более эффективен, чем обычное сжигание паров СПГ на факельной установке. Разработанный подход имеет практическую значимость для организации и выполнения заправочных операций на стартовых комплексах, а также повышения надежности и эффективности процессов подготовки перспективных ракет космического назначения с двигателями на метановом топливе.

Список источников

- [1] ГОСТ Р 57431–2017 (ИСО 16903:2015). *Газ природный сжиженный. Общие характеристики*. Москва, Стандартинформ, 2019.
- [2] Бармин И.В., Кунис И.Д. *Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 256 с.