

Особенности построения заправочной системы сжиженного природного газа на стартовом комплексе

12, декабрь 2014

Бармин И. В., Королев Н. С., Чугунков В. В.

УДК: 629.7.085; 629.764.7

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

chv.home@mail.ru

Создание ракетных комплексов сверхтяжелого класса и многоразовых ракетно-космических систем нового поколения может быть основано на применении ракетных двигателей, работающих на перспективном ракетном горючем – сжиженном природном газе (СПГ) и жидком кислороде [1,2].

Перспективность применения СПГ в ракетно-космической технике обусловлена его преимуществами перед ракетным керосином (более высокая энергетика, меньшая стоимость и более высокая чистота при сгорании, самопроизвольное испарение и удаление остатков топлива из топливных магистралей ракетных блоков после выключения двигателей, что облегчает условия их многократного использования) [3].

Низкая температура кипения СПГ не позволяет обеспечить его хранение в открытых хранилищах без потерь. Данный вид горючего является смесью метана и других более тяжелых углеводородов, плотность и температура кипения которой зависит от концентрации входящих в нее составляющих [4]. В процессе хранения СПГ происходит изменение его состава, плотности и температуры кипения за счет испарения более легкого компонента - метана. Данные факторы при пополнении хранилища, имеющего остатки топлива, новой порцией СПГ, с плотностью и температурой, отличающейся от аналогичных параметров в остатке топлива, могут приводить к стратификации СПГ в хранилище с образованием макрослоев топлива с различной плотностью [5,6]. При последующем протекании теплообменных процессов в макрослоях СПГ, приводящих к изменению их плотности, возможно возникновение режима интенсивного перемешивания, получившего название «роллер», с интенсивным испарением больших масс СПГ и повышением давления в хранилище, способным привести к его разрушению с катастрофическими последствиями [3,7].

Отмеченные обстоятельства при использовании системы заправки ракеты на стартовом комплексе, построенной по традиционной схеме (рис.1) могут приводить к возникновению режима роллера СПГ в хранилище с выкипанием метана и повышением давления

в газовой подушке резервуара. Данный режим может возникать после слива топлива из баков ракеты при отмене пуска и при пополнении хранилища новой порцией СПГ, физические параметры которой отличаются от находящегося топлива в хранилище.

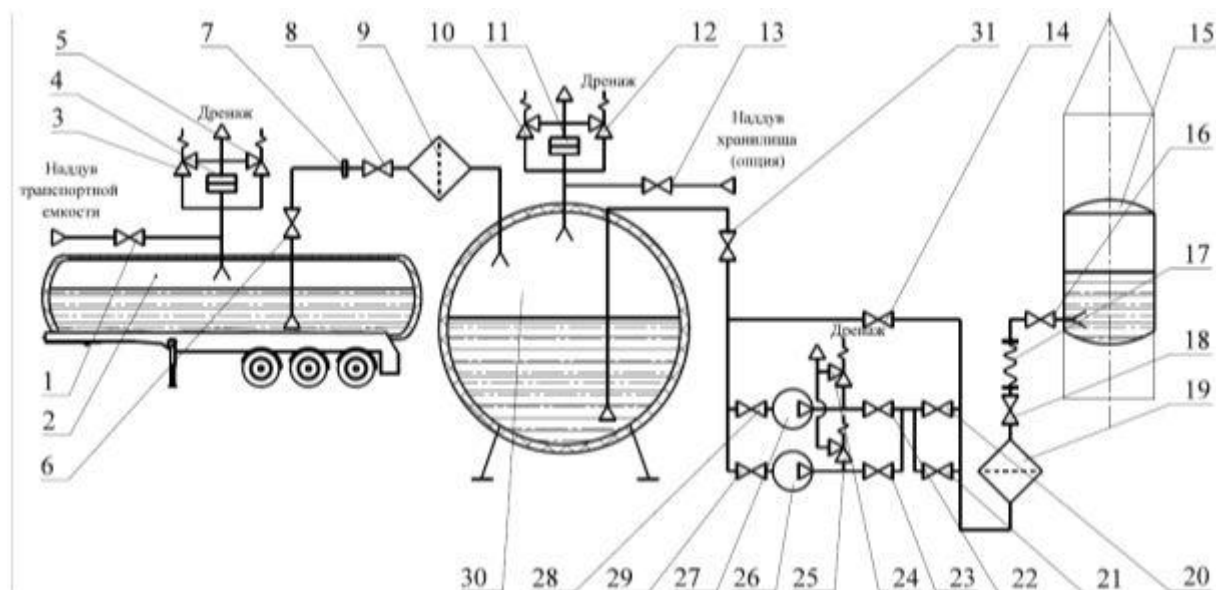


Рис.1. Традиционная схема системы заправки топливного бака ракеты из стационарного хранилища стартового комплекса.

1,6,8,13,14,16,18,20,21,22,23,28,29,31 – отсечной клапан; 2 – транспортная емкость; 3,5,10,12,24,25 – предохранительный клапан; 4,11 – разрывная мембрана; 7 – стыковочный порт заправочной системы; 9,19 – очистные фильтры; 15 – топливный бак изделия; 17 – гибкий трубопровод; 26,27 – центробежный насос; 30 – хранилище топлива.

Из-за разницы плотности имеющегося и поступающего в хранилище СПГ может происходить его разделение на два горизонтальных макрослоя. Нижний слой в процессе хранения за счет внешнего теплопритока перегревается и аккумулирует часть тепла, не успевая передать его на верхний. При выравнивании плотностей слоев происходит их интенсивное перемешивание, а аккумулированная энергия тратится на фазовый переход части жидкости, что служит причиной увеличения давления в газовой подушке резервуара. Рост давления может приводить к разрушению хранилища и разливу компонента, а при возникновении искры и к пожару на стартовом комплексе.

Традиционное построение заправочной системы может быть модифицировано за счет применения специальных средств и методов построения, учитывающих особенности СПГ и позволяющих исключить возникновение режима ролловера или уменьшить последствия его возникновения, повышая безопасность эксплуатации хранилищ в составе заправочных систем стартовых комплексов.

Методы исключения режима ролловера при эксплуатации хранилищ СПГ в составе заправочного оборудования стартовых комплексов могут быть основаны на поддержании стабильного состава СПГ в хранилище и организации перемешивания топлива при выполнении операций пополнения заправочной системы новыми порциями топлива и при сливе его из топливных баков ракеты при отмене старта. Реализация данных методов может быть достигнута при схемном построении заправочной системы СПГ на стартовом комплексе, приведенном на рис.2.

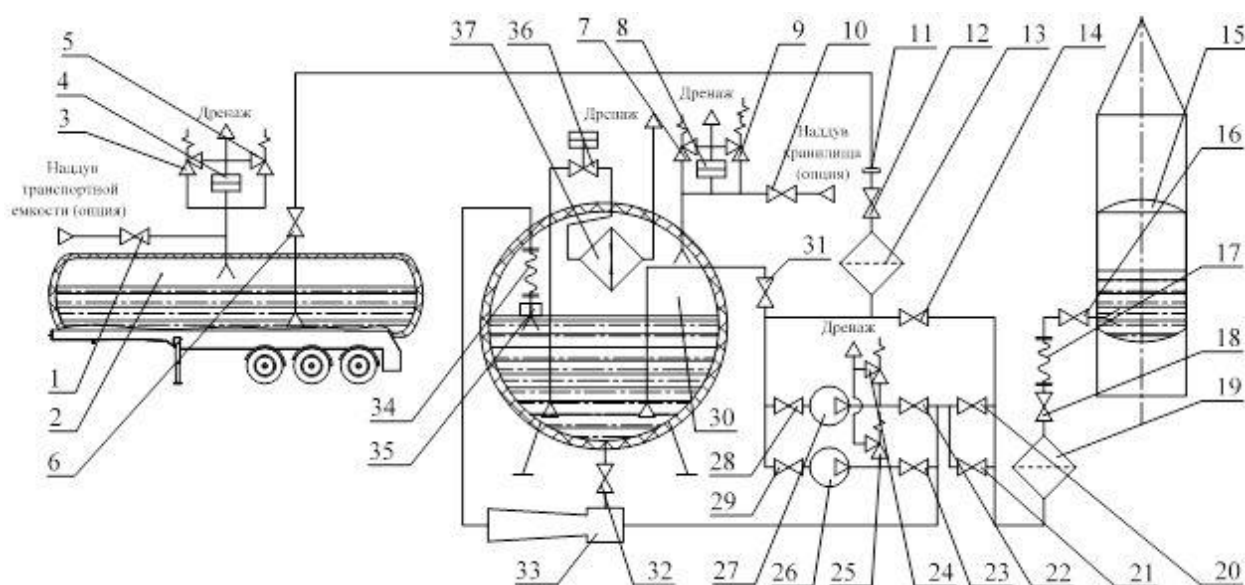


Рис. 2. Принципиальная схема заправочной системы, позволяющей исключить возникновение режима ролловера и поддерживать стабильный состав СПГ в хранилище.

1,6,7,12,14,16,18,20,21,22,23,28,29,31,32 – отсечной клапан; 2 – транспортная емкость; 3,5,8,10,24,25 – предохранительный клапан; 4,9 – разрывная мембрана; 11 – стыковочный порт заправочной системы; 13,19 – очистные фильтры; 15 – топливный бак ракеты; 17,34 – гибкий трубопровод; 26,27 – центробежный криогенный насос; 30 – хранилище СПГ; 33 – струйный насос; 35 – поплавок.

При длительном хранении СПГ в емкости-хранилище происходит его стратификация, а именно – образуются слои в придонной области с более высокой плотностью и концентрацией тяжелых углеводородов за счет протекания тепломассообменных процессов [6].

Для поддержания стабильного состава СПГ при его хранении возможно применение в хранилище заправочной системы испарителя-конденсатора (37), установленного в паровом пространстве резервуара, в котором за счет испарения компонента из нижней части резервуара, содержащей больший процент тяжелых углеводородов, осуществляется конденсация метана в паровом пространстве хранилища.

Для исключения возникновения режима ролловера СПГ в хранилище и обеспечения безопасных условий его хранения необходимо предотвращение образования макрослоев

топлива с различной плотностью за счет организации его перемешивания. Обеспечение надежного перемешивания топлива при выполнении операций пополнения хранилища новыми порциями топлива и при сливе его из топливных баков ракеты при отмене старта может быть реализовано посредством введения в состав заправочной системы струйного насоса (33) [8]. Это позволяет смешивать топливо, подаваемое в хранилище через струйный насос от внешнего источника (транспортной емкости или из баков ракеты при сливе топлива), с топливом, поступающим из донной области хранилища в камеру смешения струйного насоса с организацией поступления перемешенного топлива в верхнюю область хранилища.

Рассмотренное построение заправочной системы сжиженного природного газа позволяет поддерживать требуемую кондицию данного вида ракетного горючего при его хранении и повышает безопасность эксплуатации системы за счет исключения возникновения режима ролловера в хранилище СПГ стартового комплекса.

Список литературы

1. Бармин И.В., Зверев В.А., Украинский А.Ю., Чугунков В.В., Языков А.В. Обоснование некоторых основных характеристик стартового оборудования космодромов XXI века. Инженерный журнал: Наука и инновации. Электронное научно-техническое издание №3, 2013г.;
2. Кузин А.И., Рачук В.С., Коротеев А.С., и др. Обоснование выбора компонентов ракетного топлива для двигательных установок первой ступени многоразовой ракетно-космической системы / Научно-технический журнал Авиакосмическая техника и технология №1, 2010–М.: ИТЭП, 2010.с. 19 – 55.
3. Королев Н.С., Бармин И.В., Чугунков В.В. Исследование режимов эксплуатации хранилищ сжиженного природного газа в составе оборудования наземных комплексов. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №3, 2014 г.;
4. Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ: вчера, сегодня, завтра. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009;
5. Королев Н.С. Анализ возникновения явления «ролловер» в системах хранения сжиженного природного газа // Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике – М.: Комиссия РАН, 2012. – С. 353-354.
6. Королев Н.С. К построению математической модели явления ролловер в хранилище СПГ 77-30569/345773 // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» ISSN 1994-0408, март 2012.
7. May E. F, Fluid Science for improved LNG Production and shipping / Presentation of the UNIVERSITY OF WESTERN AUSTRALIA, 2010.
8. Бармин И.В., Королев Н.С., Чугунков В.В. Система заправки сжиженным природным газом. Патент RU 144294 U1, 2014, Бюл. № 23.