

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДАЧИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ СИСТЕМОЙ ЗАПРАВКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

А.В. Казимиров<sup>1</sup>, Р.О. Лашко<sup>1</sup>, Г.И. Сурдо<sup>2</sup>

Научный руководитель - к. т. н., доцент А.В. Казимиров

1 – Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

2 – ИГО МО РФ

## Введение

Эксплуатация компонентов ракетных топлив на космодромах реализуется при помощи специальных систем – систем заправки ракет-носителей. Основные технологические операции, проводимые системой заправки, следующие:

- прием компонента из транспортной емкости в рабочую емкость системы заправки;
- долгосрочное хранение компонента в рабочей емкости системы заправки при атмосферном давлении;
- заправка компонентом баков ракеты-носителя [1, 2].

Эти технологические операции помимо сложности протекающих процессов характеризуются повышенным теплопритоком из окружающей среды к компоненту. В случае применения в качестве компонента ракетного топлива сжиженного природного газа (СПГ), теплоприток из окружающей среды становится причиной чрезмерного расходования охладителя, самого компонента и ухудшения его качества [3]. Для того чтобы оценить количество тепловой энергии, которое необходимо отводить от СПГ при выполнении вышеуказанных технологических операций необходимо произвести расчет подачи компонента.

Классический подход при моделировании системы заправки ракет-носителей заключается в совместном использовании взаимосвязанных частных моделей, описывающих течение компонента по каналам системы заправки ракеты-носителя. Для моделирования системы СПГ с учетом вышеизложенных требований известные модели необходимо дополнить отдельными выражениями, описывающими состояние компонента. В этом случае состояние СПГ определит порядок его констатирования. Следовательно, эксплуатация СПГ на системе заправки ракеты-носителя может быть описана комплексной математической моделью, представляющей собой совокупность взаимосвязанных частных математических моделей, представленных в виде гидравлического, теплового блоков и блока криостатирования, отличающейся учетом физико-химических свойств СПГ.

## Основная часть

Гидравлический блок описывает процессы в элементах системы заправки СПГ ракет-носителей, возникающие при протекании компонента в ходе выполнения вышеуказанных технологических операций.

Так как при хранении, компонент не совершает перемещение, следовательно, гидравлический блок описывает только операции приема и заправки ракеты-носителя.

Для начала математического описания вышеуказанных технологических операций сделаем допущение о том, что СПГ прибывает на стартовый комплекс к месту приема в систему заправки в кондиционном состоянии. Как правило, в транспортной емкости СПГ находится под избыточным давлением (до 0,7МПа). Принимая во внимание специфику физико-химических свойств компонента, его пожаро-взрывоопасность и низкую температуру кипения, подача СПГ по магистралям системы заправки в ходе операций приема и заправки будет осуществляться вытеснительным способом. С целью недопущения снижения качества компонента вытеснение его жидкой фазы должно осуществляться газообразным СПГ за счет предварительной газификации [3].

Подача СПГ вытеснительным способом обладает как преимуществами так и недостатками.

К недостаткам вытеснительного способа подачи СПГ стоит отнести:

- высокую металлоемкость, обусловленную применением толстостенных ёмкостей с большим рабочим давлением (до 1МПа);
- необходимость создания некоего дополнительного запаса СПГ для газификации;
- невозможность закольцовки бака ракеты-носителя с рабочей емкостью системы заправки в связи с высоким давлением в последней, что вынуждает оснащать систему заправки отдельной сливной емкостью, куда будет направлен компонент в случае несостоявшегося пуска.

Математическая модель должна включать в себя соотношения позволяющие произвести:

- гидравлический расчет системы заправки;
- определение потребного давления наддува рабочей емкости;
- определение расхода газифицированного СПГ в газовую полость ёмкости.
- определение потребного запаса газифицированного СПГ для вытеснительной подачи компонента.

### **Заключение**

Описанный выше математический аппарат позволяет получить исходные данные для расчета количества тепла, которое необходимо отводить от СПГ в процессе проведения технологических операций системой заправки ракет-носителей. Этими данными являются: скорость протока компонента по магистралям и их диаметры. Поэтому следующим этапом в рамках математического моделирования рабочих процессов в элементах системы заправки сжиженным природным газом, отличающегося обеспечением изотермичности проведения технологических операций является моделирование процессов отвода тепла.

### **Список литературы**

1. Ведерников, М.В. Заправочно-нейтрализационное оборудование технических и стартовых комплексов: учебник / М.В. Ведерников, С.В. Загорный, А.В. Казимиров, А.В. Ляшевский, В.М. Мороз, М.М. Пеньков / СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2019. – 457 с.
2. Архаров А.М., Кунис И.Д. Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов / Под ред. Бармина И.В. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 252 с.
3. Горбачев С.П., Медведков И.С. Изменение компонентного состава СПГ при его длительной транспортировке и хранении, методы кондиционирования/ Газовая промышленность, 2018. – №10 (775). – С.56-66.