

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСА ЗАПРАВКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СПГ

А.В. Казимиров¹, Р.О. Лашко¹, Г.И. Сурдо²

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

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

2 – 1 ГИК МО РФ

Введение

В статье представлена модель тепломассообмена в элементах гидравлической системы (ГС) комплекса заправки ракет-носителей сжиженным природным газом (КЗ РН СПГ). В основе этой модели лежат математические выражения отражающие перераспределения тепловых потоков к криопродуктам (СПГ и жидкому азоту – хладагенту) при управлении криостатированием элементов ГС в ходе проведения технологических операций КЗ РН СПГ.

На тепловое состояние криопродуктов в элементах ГС значительное влияние оказывает окружающая среда. Она, за счет текущих погодных условий, формирует соответствующий температурный напор, определяющий теплоприток к криопродуктам [1].

Поэтому, для расширения расчетных возможностей модели по определению управляющих факторов криостатирования (холодопроизводительности блока холодильных машин $Q_{0\text{ бхм}}$ и массового расхода хладагента \dot{m}_x) необходимо провести экспериментальные исследования по выявлению влияния условий внешней среды на равновесную температуру наружной поверхности элементов ГС КЗ РН СПГ.

Ранее в статье [2] была представлена модель тепломассообмена в элементах системы заправки ракет-носителей сжиженным природным газом, в этой статье показано, что на состояние криопродуктов участвующих в технологических операциях комплексах заправки, существенное влияние оказывают параметры окружающей среды. Эти параметры учитываются в температуре наружной поверхности элементов гидравлической системы (ГС).

Очевидно, что на тепловое состояние криопродукта в элементах гидравлической системы комплекса заправки сжиженного природного газа (ГС КЗ СПГ) будет оказывать значительное влияние тепловое состояние окружающей среды. Это объясняется значительной суммарной площадью поверхности теплообмена элементов гидравлической системы (ГС) с окружающей средой. А в случае оснащения элементов ГС контуром криостатирования площадь теплообмена с окружающей средой становится еще больше.

Эти тепловые потоки необходимо учитывать при определении управляющих факторов криостатирования. Причем, производить коррекцию холодопроизводительности блока холодильных машин $Q_{0\text{ бхм}}$ и массового расхода хладагента \dot{m}_x нужно с учетом текущих условий внешней среды в ходе проведения технологических операций КЗ РН СПГ. Это значит, что модель тепломассообмена в тепловых узлах необходимо дополнить моделью отражающей зависимость равновесной температуры на поверхности элемента ГС T^{oc} от условий внешней среды, температуры криопродукта и характеристик теплоизоляции.

Зная равновесную температуру T^{oc} и свойства теплоизоляции поверхности элемента ГС можно определить температурный напор и, соответственно, тепловые потоки по формулам [3]. Модель возможно получить экспериментальным путем.

Основная часть

Проведение активных многофакторных экспериментальных исследований, где одним из факторов является температура, достаточно растянуто по времени. Так необходимо затратить время на нагрев установки до определенного температурного уровня, или на охлаждение установки между проведениями опытов. Кроме того, достаточно много времени

затрачивается на создание соответствующих условий работы теплоизоляции. Во многом по этой причине объект экспериментальных исследований был создан в таких размерах.

Операции по замене газонаполнителя для СПВТ включают промежуточное вакуумирование полости, что занимает порядка 1,5 часов. Однако вакуум, нужного для работы СПВТ уровня, за счет кристаллизации газонаполнителя в полости при заполнении внутренней трубы жидким азотом создается достаточно быстро – в течении 10 минут. Поэтому для создания условий работы СПВТ необходимо начать заполнение жидким азотом внутренней трубы до того, как начинают проводиться измерения и только после создания в полости вакуума соответствующего уровня начинать проводить опыты. Собственно, само вакуумирование, при создании условий работы вакуумно-порошковой теплоизоляции, до уровня 10-3 Па занимает порядка 2,5 часов.

Таким образом, порядок проведения экспериментальных исследований перед каждой серией опытов согласно таблице 6 можно разделить на три этапа:

- 1) подготовка экспериментального стенда к проведению серии опытов;
- 2) проведение опытов;
- 3) приведение экспериментального стенда в исходное состояние.

Методика проведения экспериментальных исследований отражает последовательность операций, которые необходимо провести для получения зависимости в том случае если в качестве теплоизоляции элемента ГС используется СПВТ с углекислотным газонаполнителем.

В случае если экспериментальные исследования необходимо произвести с другим типом теплоизоляции, то в блок-схеме изменяется только та последовательность операций, которая выделена желтым цветом, то есть отвечает за подготовительный этап проведения эксперимента. Все остальные этапы: этап проведения опытов и заключительный этап остаются без изменений.

Заключение

Точность контроля температуры криогенных трубопроводов и элементов гидравлических систем комплекса заправки ракет-носителей сжиженным природным газом сильно зависит от метеорологических условий и параметров съемки (ветер, температура воздуха, расстояние). Неконтролируемые изменения этих факторов приводят к значительным и нелинейным погрешностям измерения, ограничивая надежность метода для точного определения равновесных температур.

Для повышения эффективности теплоизоляции таких систем предложено использование СПВТ с применением в качестве газонаполнителя углекислый газ, обладающий преимуществом в скорости создания вакуума и эффективности. Дальнейшее развитие методик требует строго учета выявленных погрешностных факторов и использования разработанных математических моделей, учитывающих влияние среды и эксплуатационные условия криостатирования.

Литература

1. Дзитоев, М. С. Криогенная техника и системы термостатирования: учебник / М. С. Дзитоев, М. М. Пеньков, А. А. Кожанов, И. В. Наумчик, А.В. Шевченко, В.В. Мартынов; под ред. М.М. Пенькова – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 351 с.

2. Пеньков, М. М. Модель теплообмена в элементах системы заправки ракет-носителей сжиженным природным газом, с учетом криостатирования компонента /М. М. Пеньков, Р. О. Лашко // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2025. – Вып. 695. – С. 342-357.

3. Архаров, А. М. Теория и расчет криогенных систем: Учебник для вузов по специальности «Криогенная техника»/ А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин / – М.: Машиностроение, 1978. – 415 с.