

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И КОМПЛЕКСОВ ЗАПРАВКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СПГ

В.А. Харченко¹, Д.А. Дерюгин¹
Научный руководитель - к.т.н. В.А. Харченко

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

Введение

Особое место в графике подготовки любого ракеты-носителя (РН) к пуску занимают процессы заправки. В ряду технологического оборудования системы комплекса заправки (КЗ) занимают особое положение и по времени функционирования, и по отказам, и по задействованному персоналу, и по особенностям эксплуатации.

Очевидно, что обеспечение безопасности эксплуатации КЗ РН возможно только с учетом физико-химических свойств компонентов ракетных топлив (КРТ).

В настоящее время все большее внимание уделяется применению в качестве КРТ сжиженного природного газа (СПГ). Это связано с тем, что топливная пара «СПГ и жидкий кислород» обладает рядом очевидных преимуществ перед традиционными топливными парами. Вместе с тем СПГ обладает рядом существенных недостатков, которые затрудняли его применение до сих пор. Из них отдельно стоит выделить то, что СПГ – это криогенный продукт, стабильно находящийся в жидком состоянии в интервале температур от 95К до 109К, обладающий высокой летучестью и взрывоопасностью. Это значит, что технологическим операциям с этим КРТ характерны все те проблемы, которые возникают на любой криогенной системе, такие как разрушения элементов гидравлической системы (ГС) КЗ из-за гидроударов или термоциклических нагрузок. Такие разрушения всегда сопровождаются выходом компонента за пределы элементов ГС. В случае с СПГ (в отличие от жидкого кислорода и азота) подобные события однозначно будут приводить к образованию горючих облаков с последующим их взрывом. Это значительно понизит безопасность эксплуатации КЗ в целом.

Таким образом, обеспечение безопасности эксплуатации КЗ РН СПГ является актуальной и своевременной задачей, решить которую можно действуя в двух направлениях. Первое – это исключение разрушений элементов ГС, вызванных термическим колебанием их линейных размеров из-за постоянных циклов «захолаживание-отогрев». Второе – это исключение образования парообразной фазы СПГ при выполнении КЗ технологических операций.

Основная часть

Применительно к комплексам заправки под безопасностью их эксплуатации будем понимать свойство процесса эксплуатации комплекса, характеризующее его способность не наносить ущерба объектам безопасности.

Таким образом, основополагающим понятием безопасности эксплуатации является ущерб, который могут нанести системы комплекса заправки при проведении технологических операций.

Вербально-критериальный уровень ущерба, наносимого комплексом заправки, можно представить следующим образом:

- для обслуживающего персонала и местного населения следует учитывать летальный исход или наносимый ущерб здоровью человека;
- для самого комплекса заправки и соседствующим с ним объектам следует учитывать ущерб в виде разрушения конструкции;
- для окружающей среды ущербом будет являться загрязнение почв или водоемов, требующее проведения нейтрализационных работ, пожары, а также выбросы веществ, разрушающих озоновый слой.

Проведенный анализ показал, что при исследовании безопасности эксплуатации комплексов заправки целесообразно использовать трехуровневую систему показателей.

На первом уровне находится обобщенный показатель опасности эксплуатации, который представляет собой вектор вероятностей возникновения всех возможных при эксплуатации КЗ происшествий, а также вероятностей нанесения ущерба этими происшествиями

Для расчета показателя опасности эксплуатации КЗ РН СП, корректируемого за счет криостатирования элементов ГС необходимо произвести последовательные расчеты по четырем блокам:

- тепловой блок;
- блок расчёта вероятности ущерба от взрыва;
- блок расчета вероятности взрыва;
- блок определения надежности элементов гидравлической системы.

В процессе выполнения технологических операций КЗ будут происходить изменения входных параметров в каждый блок, что повлияет на конечный результат вычислений и позволит сделать вывод о возможности продолжения эксплуатации КЗ с текущими параметрами криостатирования. Таким образом можно построить обобщенный алгоритм определения показателя, корректируемого за счет управления криостатированием элементов ГС.

Определение показателя опасности эксплуатации КЗ РН СПГ происходит пошагово. В рамках каждого шага расчет производится по следующим этапам. На первом этапе определяются входные параметры, которые образуют собой отдельный блок. На втором этапе определяется холодопроизводительность блока холодильных машин (БХМ). На третьем этапе определяется вероятность нанесения ущерба объектам безопасности взрывом СПГ-воздушного горючего облака. На четвертом этапе определяется вероятность взрыва и текущее значение температуры термического цикла элементов ГС. На пятом этапе производится проверка условий безопасности эксплуатации КЗ РН СПГ. В случае соблюдения условия безопасности эксплуатации производится дальнейшее выполнение данной технологической операции КЗ с поддержанием текущих параметров криостатирования, сведенных в соответствующий блок. Шестой этап осуществляется если условия обеспечения безопасности эксплуатации не выполняются. Для выполнения этих условий необходимо провести корректирование параметров криостатирования, что зависит от типа проводимой технологической операции КЗ.

Выводы

Таким образом, разработанная методика отличается использованием новой комплексной модели обеспечения безопасности эксплуатации КЗ РН СПГ, учетом холодопроизводительности блока холодильных машин, как управляющего фактора криостатирования элементов ГС, а также дополнительных ограничений, связанных с увеличением интенсивности отказов элементов ГС, вызванных термоциклическими нагрузками.

Литература

1. Пономаренко, В.К. Ракетные топлива: учебник – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 428 с.
2. Краснов, О.В. Безопасность эксплуатации сложных технических систем. – ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 2002. – 230 с.
3. Пичугин, Е.А. Анализ опасностей и оценка последствий разрыва газопровода при взрыве метана – Актуальные исследования – 2021 – № 20 (47). – С.27-29.