К. А. Драпак¹, Т. С. Кадыгрова¹, Е. Г. Крылов¹, А. В. Капитанов²

**ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ
РЕГАЗИФИКАЦИОННОГО ТЕРМИНАЛА**

¹ **Волгоградский государственный технический университет**

² **Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»**

E-mail: app@vstu.ru

В статье рассмотрены особенности эксплуатации технологических установок газоперерабатывающих производств с повышенным риском, приведена методика анализа и контроля рисков регазификационного терминала с использованием метода LOPA. Описана оценка вероятности отказов «на требование» с учетом обеспечения полноты безопасности для высокотехнологичных автоматизированных систем.

Ключевые слова: регазификационный терминал, анализ LOPA, надежность, безопасность, риск.

K. A. Drapak¹, T. S. Kadygrova¹, E. S. Krylov¹, A. V. Kapitanov²

**ASSESSMENT OF THE REGASIFICATION TERMINAL'S
PROTECTION RELIABILITY LEVEL**

¹ **Volgograd State Technical University**

² **Moscou State Technological University Stankin**

The article discusses the process units operation features for high risk gas refineries, and provides a methodology for analyzing and controlling the risks of a regasification terminal using the LOPA method. A probability's assessment of on-demand failures is described with account for the provision of complete security for high-tech automated systems.

Keywords: regasification terminal, LOPA analysis, reliability, safety, risk.

Эксплуатация регазификационных терминалов сжиженного природного газа (СПГ-терминалов) комплекса «Роснефть СПГ» выявила необходимость изучения и снижения экологических рисков, возникающих при работе оборудования в суровых климатических условиях России (морозы, жаркий климат, повышенная влажность, шквальные ветры). В частности, из-за аномально низкого уровня температур и при сложной ледовой обстановке в зимний период времени закрываются экспортные терминалы на Балтийском море и в Хабаровском крае, что негативно отражается на результатах деятельности и финансовом положении «Роснефть СПГ» [1].

СПГ-терминал представляет собой специальный регазификационный комплекс, состоящий из причала, сливной эстакады, резервуаров для хранения, испарительной системы, установок обработки газов испарения из резервуаров

и узла учета (рисунок). Технологическое оборудование СПГ терминала включает: стендеры для загрузки газа на танкеры; изотермические резервуары для хранения; компрессоры и реконденсаторы опарного газа; испарители или регазификаторы СПГ; погружные насосы низкого давления резервуаров.

Проектирование СПГ-терминалов в части общих требований осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 54257, ГОСТ Р 54382, ГОСТ 5P4483, а также правилами [2]. При строительстве и эксплуатации СПГ-терминала необходима количественная оценка рисков, которая позволит учитывать прилегающие или находящиеся в сфере ответственности портовые хозяйства и зоны проживания гражданского населения, а также географические условия портовых территорий и курортных зон с целью снижения вероятности возникновения аварий и техногенных катастроф.

Технологическая схема оборудования СПГ-терминала

Для решения данной задачи может быть использован анализ LOPA, в котором возможные последствия рассчитываются до порядка величины серьезности, что значительно проще, чем математическое моделирование, но при этом позволяет сравнивать риски различных сценариев.

Каждая опасность представляет собой сценарий, основанный на диаметре отверстий утечек: 1–3 мм, 3–10 мм, 10–50 мм и 50–150 мм. По результатам этого исследования риски, которые попадают в категорию ALARP (настолько низкий, насколько это разумно осуществимо), включают BLEVE (взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости), взрывы и рассеивание газа. Основными способами снижения рисков с помощью LOPA являются структурная избыточность системы автоматизации и обеспечение независимой защиты с помощью датчиков утечки газа, дыма, обнаружения пламени. При выполнении анализа LOPA требуется оценка воздействия на персонал и на окружающую среду. В большинстве случаев данные о последствиях потенциальной опасности могут быть получены из рабочих таблиц анализа РНА/ HAZOP [3].

Методика оценки заключается в следующем. Для каждой пары «инициирующее событие и последствие» в качестве сценария необходимо выполнить три расчета в соответствии с LOPA, характеризующих риски в области промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Для определения вероятности

отказа по требованию автоматической функции обеспечения безопасности $ВОПТ_{АФОВ}$ требуется:

1) определить вероятность инициирующей причины (ВИП) и вероятность отказа по требованию ($ВОПТ$) каждого независимого уровня защиты;

2) определить промежуточную вероятность события (ПВС) для каждой инициирующей причины путем умножения значений ВИП и $ВОПТ$ каждого независимого уровня защиты;

3) при наличии более одной инициирующей причины для одной и той же опасности ПВС все инициирующие причины суммируются и результат используется как знаменатель при вычислении $ВОПТ_{АФОВ}$.

Значения функции $ВОПТ_{АФОВ}$ вычисляются по выражению:

$$ВОПТ_{АФОВ} = \frac{ТЕМЛ_{(ТАБЛ)}}{ПВС_1 + ПВС_2 + ПВС_3 + \dots + ПВС_n},$$

где $ТЕМЛ$ – табличное значение расчетной вероятности события после снижения риска; $ПВС$ – промежуточная вероятность события, причем:

$$ПВС = (ВИП \cdot ВОПТ_1 \cdot ВОПТ_2 \times \dots \times PTR \cdot PP \cdot P_1 \cdot P_V),$$

где ВИП – вероятность инициирующей причины; $ВОПТ_1, ВОПТ_2$ – $ВОПТ$ для каждого независимого уровня защиты; PTR – вероятность времени подверженности риску; PP – вероятность присутствия людей; P_1 – вероятность возгорания; P_V – уязвимость.

Отказы на производстве с повышенным риском [3]

Событие	Вероятность отказа оборудования НППЗ
Катастрофический или крупный выброс	$4,0 \times 10^{-2}$ / год
Катастрофический и крупный местный пожар	$3,3 \times 10^{-3}$ / год
Катастрофический и крупный пожар облака газовойздушной смеси	$6,0 \times 10^{-3}$ / год
Катастрофический взрыв облака паров	$1,3 \times 10^{-3}$ / год
Катастрофический или крупный выброс без воспламенения	$2,0 \times 10^{-2}$ / год

Если значение $ВОПТ_{АФОБ}$ больше или равно единице, существующие уровни защиты считаются достаточными для снижения риска до допустимого уровня.

Если значение $ВОПТ_{АФОБ}$ меньше единицы и при этом имеется автоматическая функция обеспечения безопасности, значение $ВОПТ_{АФОБ}$ используется для определения требований по надежности существующей автоматической функции обеспечения безопасности.

Если значение $ВОПТ_{АФОБ}$ меньше единицы и при этом отсутствует автоматическая функция обеспечения безопасности для какой-либо из двух областей (ПБ или ООС), имеющиеся уровни защиты считаются недостаточными для снижения риска до приемлемого уровня. В этом случае даются рекомендации по переработке системы, добавлению дополнительных уровней защиты или автоматической функции обеспечения безопасности. При составлении рекомендаций для АФОБ следует использовать значение $ВОПТ_{АФОБ}$ для определения требований

в отношении надежности новой автоматической функции обеспечения безопасности.

Таким образом, методика оценки уровня надежности защиты СПГ-терминала с помощью метода LOPA является эффективным инструментом, позволяющим достичь требуемых проектных показателей снижения риска, идентификации вероятности опасных событий и повышения безопасности газовых терминалов за счет мониторинга газораспределительных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Роснефть». Основные факторы риска [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.rosneft.ru> (дата обращения: 03.02.2021).
2. Правила Российского морского регистра судоходства. Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов НД 2–020201–017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru> (дата обращения: 12.02.2021).
3. Методические указания компании «Роснефть». Единые технические требования. Соединительные детали трубопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakupki.rosneft.ru> (дата обращения: 03.02.2021).