



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРГУ «МАРШАЛ ВАСИЛЕВСКИЙ»

Г. А. Терёхин,  
курсант уч. гр. УВТ6-21  
e-mail: t\_georgiy5503@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Т. С. Станкевич,  
канд. техн. наук  
e-mail: stankevich.ts@bgarf.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

В статье рассмотрены процессы, приводящие к чрезвычайной ситуации (взрыв BLEVE и образование огненного шара) на примере плавучей регазификационной газовой установки (ПРГУ) «Маршал Василевский». Изучена характеристика объекта исследования – плавучей регазификационной газовой установки и особенности осуществления процесса регазификации. Выполнено моделирование взрыва судна при попадании молнии и установлено, что взрыв, сопровождаемый феноменом BLEVE, на плавучей регазификационной газовой установке «Маршал Василевский» способен привести к значительным негативным последствиям для самого судна и экипажа в целом. Сформулированы мероприятия, направленные на повышение пожаровзрывобезопасности объекта.

**Ключевые слова:** плавучая регазификационная газовая установка, сжиженные природные газы, регазификация, BLEVE (взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости), огненный шар, ударная волна, тепловое излучение, пожаровзрывобезопасность

### ВВЕДЕНИЕ

Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216 [1] утверждена новая Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. Согласно данному документу одной из главных задач является развитие внутреннего рынка сжиженного природного газа (СПГ) в целях обеспечения энергетической безопасности территорий, удаленных от Единой системы газоснабжения, в том числе таких, как Калининградская область.

В настоящее время активно развивается направление морских перевозок нефти и нефтепродуктов, а также сжиженных газов для энергетической системы Калининградского региона.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования выступила пожаровзрывобезопасность на плавучей регазификационной газовой установке «Маршал Василевский».

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является повышение пожаровзрывобезопасности на плавучей регазификационной установке «Маршал Василевский».

Поставлены следующие задачи:

- изучить характеристику объекта и особенности процесса регазификации;
- выполнить моделирование процесса взрыва судна при попадании молнии;
- сформулировать мероприятия, направленные на повышение пожаровзрывобезопасности объекта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в Российской Федерации эксплуатируется единственная ПРГУ – «Маршал Василевский». Данное судно предназначено для перевозки СПГ с последующей регазификацией. Максимальный объём резервуаров для газа составляет приблизительно 174 тыс. м<sup>3</sup>. В совокупности терминал и судно обеспечивают регион за счёт перевозок морским транспортом СПГ в объёме до 3,7 млрд. м<sup>3</sup> в течение года. Указанное количество газа достаточно для удовлетворения текущих потребностей промышленности и нужд населения Калининградской области.

Процесс регазификации начинается на судне сразу после того, как оно пришвартовалось к причалу, после чего газ, переведённый в газообразное состояние, переправляется через 13-километровый подводный газопровод-подключение. Далее он транспортируется потребителям или закачивается в Калининградское подземное хранилище газа [3].

В ходе моделирования процесса взрыва судна при попадании молнии произведён анализ дерева событий при мгновенном выбросе паров газов, находящихся под давлением, из работы [4]. Дерево событий включает в себя 6 веток:

- событие 1 – (BLEVE + Fire Ball);
- событие 2 – взрыв + (огненное облако);
- событие 3 – факел + (огненное облако);
- событие 4 – взрыв;
- событие 5 – факел (без огненного облака);
- событие 6 – отсутствие последствий.

Принято решение в рамках исследования выполнить моделирование по первому сценарию (BLEVE + Fire Ball), так как аварии типа BLEVE занимают особое место при морских перевозках СПГ. При таком сценарии возможны следующие физические процессы: взрывное вскипание перегретого сжиженного газа, взрыв грузового танка с образованием ударной волны, выброс насыщенных паров из резервуара в окружающую среду с образованием аэрозольного облака огненного шара (Fire Ball).

При моделировании процесса взрыва типа BLEVE использовано приложение Ж ГОСТа Р 12.3.047-2012 [3]. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 1, результаты расчёта – в таблице 2, где  $m_{пр}$  – приведённая масса, кг;  $P_0$  – атмосферное давление, кПа;  $C_p$  – удельная теплоёмкость жидкой фазы, Дж/кг К;  $I^+$  – импульс в волне давления;  $\Delta P$  – избыточное давление, при взрыве резервуара с перегретой жидкостью, кПа;  $R$  – расстояние от центра резервуара поражения, м.

В ходе проведённых расчётов выяснено, что степень разрушения при избыточном давлении на фронте падающей ударной волны на расстоянии 1 м – полная степень, что негативно повлияет на плавучую регазификационную установку и на экипаж в целом.

Также проведён расчёт по формулам согласно приложению Д ГОСТ Р 12.3.047-2012 [3]. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 3, результаты расчёта – в таблице 4, где  $m$  – масса продукта, кг;  $E_f$  – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облучённости;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы;  $D_s$  – эффективный диаметр огненного шара, м;  $H$  – высота центра огненного шара, м;  $q$  – интенсивность теплового излучения, кВт/м<sup>2</sup>;  $R$  – радиус поражения, м.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта феномена BLEVE

$m_{пр}$	1217 кг
$P_0$	101 кПа
$C_p$	2000 Дж/кг К
$I^+$	446

Таблица 2 – Результаты расчётов по феномену BLEVE

R, м	1	50	250	500
$\Delta P$ , кПа	648368,3	34,8	3,9	1,8

Таблица 3 – Исходные данные для расчёта феномена Fire Ball

$m$	70000 кг
$E_f$	350 кВт/м <sup>2</sup>
$F_q$	0,246
$\tau$	0
$D_s$	243 м
$H$	243 м

Таблица 4 – Результаты расчётов по феномену Fire Ball

R, м	10	30	50
$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	0	0	0

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод, что тепловое излучение от огненного шара не окажет никакого вреда плавучей регазификационной газовой установке и самому терминалу в целом, поскольку его интенсивность равна 0.

В работе учтены полученные результаты и сформулированы мероприятия, направленные на повышение пожаровзрывобезопасности объекта. Анализ мер по предотвращению возникновения взрывов по типу BLEVE на танкерах-газовозах приводит к необходимости соблюдения трёх основных важных факторов [5]:

- постоянный контроль за техническим состоянием предохранительных клапанов и грузовой арматуры;
- обеспечение качественной изоляции грузовых резервуаров для защиты от перегрева и вентиляцией запазованных помещений;
- соблюдение организационных мер: обязательный систематический контроль, обучение персонала, надлежащий менеджмент, соблюдение требований по безопасной перевозке СПГ на судах-газовозах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы выполнена поставленная цель и решены следующие задачи:

- изучена характеристика объекта и особенности процесса регазификации;

- проведено математическое моделирование процесса взрыва газа, по расчётным результатам которого установлено, что взрывы типа BLEVE являются одними из наиболее опасных происшествий в индустрии морских перевозок сжиженных газов, так как они влекут за собой в большинстве случаев катастрофические последствия для экипажа и судна в целом;
- сформулированы мероприятия, направленные на повышение пожаровзрывобезопасности объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации / Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/14766> (дата обращения 05.05.23).
2. Арамянц, Т. З. Взрывы перегретых сжиженных газов на танкерах-газовозах при разгерметизации грузовых танков. Феномен BLEVE и Fire Ball / Т. З. Арамянц // Эксплуатация морского транспорта. – 2015. – № 4(77). – С. 53-58.
3. Проект поставок СПГ в Калининградскую область [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/projects/kaliningrad-terminal/> (дата обращения 05.05.23).
4. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
5. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.

## ENSURING FIRE AND EXPLOSION SAFETY ON THE FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNIT “MARSHAL VASILEVSKY”

G. A. Terekhin, 2nd year cadet  
e-mail: t\_georgiy5503@mail.ru  
Kaliningrad State Technical University

T. S. Stankevich, PhD  
e-mail: stankevich.ts@bgarf.ru  
Kaliningrad State Technical University

The article discusses the processes leading to an emergency situation (BLEVE and formation of a Fire Ball) on the example of «Marshal Vasilevsky» floating storage and regasification unit (FRGI). Characteristics of the object of study – the floating storage and regasification unit and features of the regasification process have been studied. Simulation of a ship explosion when struck by lightning has been carried out and it has been found that explosions accompanied by the BLEVE phenomenon are the most dangerous incidents in the industry of sea transportation of liquefied gases, since they mostly end with catastrophic consequences for the ship itself and the crew as a whole. Measures aimed at improving the fire and explosion safety of the facility have been formulated.

**Keywords:** *floating storage and regasification unit, liquefied natural gases, regasification, BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), Fire Ball, shock wave, thermal radiation, fire and explosion safety*