

УДК 614.849

***ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАД
РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОЛНЫ ПРОРЫВА ПРИ
КВАЗИМГНОВЕННОМ РАЗРУШЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО
РЕЗЕРВУАРА***

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Шайгатдаров Д.Р.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы оценки устойчивости противопожарных преград резервуарных парков к воздействию волны прорыва, возникающей при квазимгновеном разрушении вертикального стального резервуара. Описаны причины и механизмы подобных аварий, а также особенности формирования и распространения волны прорыва. Представлены основные подходы к моделированию динамического воздействия на инженерные сооружения, включая расчёт импульсных нагрузок и прочностной анализ конструкций. Особое внимание уделено роли противопожарных преград в системе безопасности резервуарных парков и мерам повышения их устойчивости.

Ключевые слова: квазимгновенное разрушение, вертикальный стальной резервуар, волна прорыва.

***ASSESSMENT OF THE STABILITY OF FIRE BARRIERS OF TANK PARKS
TO THE IMPACT OF A BREAKTHROUGH WAVE DURING QUASI-
INSTANT DESTRUCTION OF A VERTICAL STEEL TANK***

Aksyonov S.G.

*Dr.Sc. (Econ.), Professor,
Ufa University of Science and Technology,
Russian Federation, Ufa*

Shaygatdarov D.R.

*Student,
Ufa University of Science and Technology,
Russian Federation, Ufa*

Abstract

The article discusses the issues of assessing the resistance of fire barriers in tank farms to the effects of a breakthrough wave that occurs during the quasi-instantaneous destruction of a vertical steel tank. The causes and mechanisms of such accidents are described, as well as the features of the formation and propagation of the breakthrough wave. The main approaches to modeling the dynamic impact on engineering structures, including the calculation of impulse loads and strength analysis of structures, are presented. Special attention is paid to the role of fire barriers in the safety system of tank farms and measures to increase their stability.

Keywords: quasi-instantaneous destruction, vertical steel tank, breakthrough wave.

Резервуарные парки, предназначенные для хранения нефтепродуктов и других горючих жидкостей, являются одними из наиболее пожароопасных объектов на предприятиях нефтегазовой и химической отраслей. Среди возможных аварийных ситуаций особое место занимает квазимгновенное разрушение вертикального стального резервуара, которое может произойти вследствие внутреннего или внешнего взрыва, перегрева, коррозии конструкции, ошибок эксплуатации или техногенных факторов. Такое разрушение сопровождается выбросом значительного объема хранимого вещества в виде так называемой волны прорыва, которая распространяется с высокой скоростью, захватывая окружающие объекты и создавая угрозу возникновения масштабного пожара.

В условиях резервуарного парка основным средством локализации последствий таких аварий являются противопожарные преграды, включающие ограждающие дамбы (обвалования), противопожарные стены и другие инженерные сооружения. Однако под действием ударной волны и гидродинамического давления волны прорыва эти преграды могут повреждаться, что приводит к неконтролируемому распространению горючего вещества и увеличению масштаба аварии. Таким образом, оценка устойчивости противопожарных преград к воздействию волны прорыва становится важнейшей задачей обеспечения комплексной промышленной безопасности.

Причины и механизмы квазимгновенного разрушения резервуаров

Квазимгновенное разрушение — это внезапный выход из строя конструкции резервуара, происходящий за доли секунды, без предварительного заметного деформирования. Оно характеризуется разрушением стенок или днища резервуара с образованием большого числа осколков и мгновенным выбросом содержимого. Основными причинами такого разрушения могут быть:

- внутрирезервуарные взрывы (например, при образовании взрывоопасной паровоздушной смеси);
- наличие скрытых дефектов сварных швов;
- коррозионное истончение металла;
- перегрев резервуара при пожаре вблизи;
- механические повреждения от внешних воздействий (удары, падение предметов) [1].

В результате разрушения происходит выброс жидкости с высокой скоростью, формирующий волну прорыва — мощный поток горючего вещества, способный преодолевать расстояния до нескольких десятков метров. Данный феномен имеет сложную гидродинамическую природу и требует детального анализа при проектировании и эксплуатации резервуарных парков [2,3].

Волна прорыва представляет собой движущуюся массу жидкости, обладающую значительной кинетической энергией. При её распространении возникают два типа воздействия на окружающие конструкции:

1. Импульсное давление — кратковременное, но очень высокое давление, возникающее в момент удара волны о препятствие.

2. Гидростатическое и гидродинамическое давление — длительное воздействие накопленной массы жидкости на преграду после первоначального удара [3].

Эти нагрузки могут вызывать деформацию, трещинообразование, вынос отдельных элементов конструкции или даже полное разрушение противопожарных преград. Особенно уязвимыми оказываются бетонные и железобетонные конструкции, если они не рассчитаны на восприятие подобных импульсных нагрузок.

Роль противопожарных преград в системе безопасности резервуарных парков

Противопожарные преграды играют ключевую роль в предотвращении распространения аварийного пролива и ограничении зоны поражения. Их функции включают:

- локализация пролива внутри обвалованной территории;
- предотвращение растекания горючего вещества за пределы опасного участка;
- уменьшение площади возможного возгорания;
- обеспечение условий для оперативного тушения пожара и ликвидации последствий аварии [3,4].

Однако эффективность этих сооружений напрямую зависит от их проектных решений, прочностных характеристик и устойчивости к внешним воздействиям, включая волны прорыва [4].

Для оценки устойчивости противопожарных преград к воздействию волны прорыва применяются следующие методы:

С использованием программного обеспечения (ANSYS AUTODYN, LS-DYNA, OpenFOAM и др.) моделируется процесс разрушения резервуара и последующее движение жидкости. Это позволяет определить скорость, направление и давление волны на различные участки преграды [1].

На основе полученных данных о параметрах волны проводится расчёт силового воздействия на конструкцию. Здесь учитываются такие параметры, как:

- плотность жидкости;
- скорость движения волны;
- высота столба жидкости;
- угол удара;
- продолжительность воздействия.

После определения нагрузок выполняется расчёт напряжённо-деформированного состояния противопожарной преграды. Этот этап позволяет выявить потенциально опасные зоны и оценить возможность разрушения конструкции.

В ряде случаев проводятся натурные испытания или испытания в лабораторных условиях с использованием уменьшенных моделей. Они позволяют проверить адекватность расчётных моделей и получить дополнительные данные для уточнения методики.

Для оценки устойчивости используются следующие критерии:

- отсутствие сквозных трещин в конструкциях, которые могут привести к утечке жидкости;
- необходимый запас прочности с учётом коэффициентов надёжности по нагрузкам и материалам;
- способность конструкции к восприятию динамических нагрузок без разрушения;
- наличие демпфирующих элементов , снижающих эффект удара;
- обеспечение герметичности и целостности системы обвалования [2,4].

Современные технологии позволяют значительно повысить устойчивость противопожарных преград к воздействию волны прорыва. Среди них:

- использование высокопрочных материалов , включая фибробетон, композитные покрытия и специальные добавки;

- установка демпфирующих экранов , способных поглощать часть энергии волны;
- создание ступенчатых или многослойных преград , обеспечивающих постепенное гашение энергии;
- устройство систем быстрого отвода жидкости за пределы опасной зоны;
- интеграция автоматизированных систем мониторинга и управления , позволяющих оперативно реагировать на аварийные ситуации.

Устойчивость противопожарных преград резервуарных парков к воздействию волны прорыва при квазимгновенном разрушении вертикального стального резервуара — одна из ключевых задач обеспечения комплексной промышленной безопасности. Адекватная оценка динамических нагрузок, прочностных характеристик конструкций и возможных сценариев развития аварии позволяет минимизировать риск вторичных последствий, таких как неконтролируемое распространение горючего вещества и возникновение крупных пожаров.

Таким образом, разработка методов и технологий повышения устойчивости противопожарных преград должна базироваться на современных научных подходах, с применением численного моделирования, натурных испытаний и инженерного анализа. Только такой комплексный подход позволит создать надёжную систему защиты резервуарных парков и снизить риски для персонала, оборудования и окружающей среды.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Киселева Е.А. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности газовой котельной // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2022, № 10. - С. 118-129.
2. Горячев С. А. Оценка рисков в резервуарном парке при квазимгновенном разрушении стального вертикального резервуара / С. А. Горячев, М. Н. Горячева, С. А. Швырков, В. В. Воробьев // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2005. - Вып. 7. - С. 7-8.
3. Назаров В. П. Обеспечение пожарной безопасности объектов городской застройки при развитии транспортной инфраструктуры в области допустимого риска / В. П. Назаров, Н. Н. Брушлинский, С. А. Швырков и др. // Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009. - № 1. - С. 20-31.

4. Швырков С. А. Исследование устойчивости противопожарных преград резервуарных парков к воздействию волны прорыва при квазимгновенном разрушении вертикального стального резервуара / С. А. Швырков, С. В. Батманов, А. М. Крылов, В. В. Финогенова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009. - № 4. - С. 42-45.

Оригинальность 80%