



КАЛЬКУЛЯТОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕЛИВА НЕФТЕПРОДУКТА ЧЕРЕЗ НОРМАТИВНУЮ ПРЕГРАДУ

А. С. Лукина, магистрант,
e-mail: namtia_ranger@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»

Выполнен анализ сценария квазимгновенного разрушения резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов. Изучена методика расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду. Разработан программный продукт – калькулятор определения перелива нефтепродукта через нормативную преграду на основании исследованной методики расчета.

***Ключевые слова:** квазимгновенные разрушения, перелив нефтепродукта, обвалование.*

ВВЕДЕНИЕ

Квазимгновенные разрушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов являются серьезной проблемой в сфере промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Специфика данного типа разрушения вертикальных стальных резервуаров (РВС) заключается в полной потере целостности корпуса и быстром выходе всей жидкости, находящейся в резервуаре, на прилегающую территорию в виде волны прорыва. Потенциально наиболее вероятным сценарием развития является квазимгновенное разрушение резервуаров типа РВС-5000, что обусловлено их широкой распространенностью на производственных и складских объектах.

Эта тема имеет важное значение для обеспечения безопасности и минимизации рисков в нефтегазовой промышленности. Так, данный вопрос исследовался С. А. Швырковым, С. А. Горячевым, В. В. Воробьевым и др. [1–3].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является квазимгновенное разрушение резервуара.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является оптимизация процесса расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду при квазимгновенном разрушении резервуара.

В соответствии с поставленной целью необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить методику расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду;
- разработать программный продукт – калькулятор по определению количества нефтепродукта, вышедшего за нормативную преграду.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе применен метод математического моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При прогнозировании развития квазимгновенного разрушения резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов необходимо определить степень перелива (долю жидкости, которая выйдет за пределы преграды при разрушении резервуара) по алгоритму, описанному далее (рисунок 1).

Алгоритм расчета	1. начальная высота столба жидкости
	2. площадь, занимаемая резервуарами
	3. свободная площадь обвалования
	4. площадь разлива жидкости
	5. радиус максимального зеркала разлития
	6. радиус текущего зеркала разлития
	7. высота столба жидкости на границе обвалования
	8. время добегания волны до границы обвалования
	9. скорость волны на границе обвалования
	10. разница между высотой столба жидкости и высотой обвалования
	11. средняя скорость столба движения жидкости
	12. процентная доля жидкости, перелившаяся через обвалование

Рисунок 1 – Алгоритм расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду

Начальная высота столба жидкости в резервуаре [4]:

$$H_0 = \frac{V_{\text{ж}}}{\pi \cdot R_p^2}, \quad (1)$$

где H_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м;
 $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, участвующей в аварии, м³;
 R_p – радиус резервуара.

Площадь, занимаемая резервуарами, S_p [4]:

$$S_p = \pi \cdot R_p^2 \cdot n, \quad (2)$$

где n – количество резервуаров в обваловании, шт.

Свободная площадь в обваловании $S_{\text{св.обв}}$ [4]:

$$S_{\text{св.обв}} = S_{\text{обв}} - S_p, \quad (3)$$

где $S_{\text{обв}}$ – площадь обвалования, м².

В соответствии с [5] при разливе на неограниченную поверхность площадь разлива жидкости (S , м²):

$$S = f_p \cdot V_{\text{ж}}, \quad (4)$$

где f_p – коэффициент разлития.

Нефтепродукты, разлитые на поверхности, подвергаются воздействию различных процессов, которые влияют на их свойства и поведение (рисунок 2). Проникновение нефтепродуктов в окружающую среду происходит быстро. Наибольшая скорость распространения наблюдается во время разлива, затем она снижается и останавливается примерно через 7–10 дней. Однако остаточный эффект на окружающую среду сохраняется на протяжении 3 лет.



Рисунок 2 – Перечень факторов, влияющих на размеры площади разлива и направление движения пятна нефтепродуктов

Радиус максимального зеркала разлития R_{max} :

$$R_{max} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (5)$$

Радиус текущего зеркала $R_{\text{тек}}$ разлития:

$$R_{\text{тек}} = R_p + L_p, \quad (6)$$

где L_p – расстояние до обвалования, м.

Высота столба жидкости на границе обвалования $h(L)$ [4]:

$$h(L) = \frac{V_{\text{ж}}}{\pi \cdot R_{\text{тек}}^2}. \quad (7)$$

Время добегания волны до границы обвалования $t(L)$ [6]:

$$t(L) = 1,25 \cdot R_{\text{max}}^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho}{g \cdot Q_{\text{ж}}}\right)} \cdot \left[-\sqrt{1 - \left(\frac{R_{\text{тек}}}{R_{\text{max}}}\right)^2} + \sqrt{1 - \left(\frac{R_p}{R_{\text{max}}}\right)^2} \right], \quad (8)$$

где ρ – плотность жидкости, участвующей в аварии, кг/м³;
 $Q_{\text{ж}}$ – масса жидкости, участвующей в аварии, кг.

Скорость волны на границе обвалования $V(L)$ [6]:

$$V(L) = 0,8 \cdot \frac{1}{R_{\text{max}}} \cdot \sqrt{\left[\frac{g \cdot V_{\text{ж}}}{\rho} \cdot \left(\left(\frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{тек}}} \right)^2 - 1 \right) \right]}. \quad (9)$$

Средняя скорость движения столба жидкости U [6]:

$$\begin{cases} \text{если } h \leq a, \text{ то } 0 \\ \text{если } h > a, \text{ то } \frac{g^{1/2} \cdot (h-a)^{3/2}}{h} \end{cases} \quad (10)$$

где a – высота обвалования, м;
 h – высота столба жидкости на границе обвалования, м.

Процентная доля жидкости, перелившейся через обвалование [6]:

$$Q = 100 \cdot \int_0^t \frac{U_L \cdot (h_{L0} - a) \cdot dt}{(h_0 \cdot D)}, \quad (11)$$

где U_L – средняя скорость движения столба жидкости, м/с;
 h_{L0} – высота столба жидкости на границе обвалования, м;
 h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м;
 D – диаметр резервуара, м.

Вышеуказанные формулы будут применяться при создании программного обеспечения – калькулятора для определения перелива нефтепродуктов за пределы установленной границы.

На рисунке 3 представлен интерфейс калькулятора по определению перелива нефтепродукта через нормативную преграду при квазимгновенном разрушении резервуара.

<p>НАЧАЛЬНАЯ ВЫСОТА СТОЛБА ЖИДКОСТИ</p> <p>Радиус резервуара: <input type="text" value="0"/></p> <p>Объём жидкости: <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p> <p>ПЛОЩАДЬ, ЗАНИМАЕМАЯ РЕЗЕРВУАРАМИ</p> <p>Радиус резервуара-1: <input type="text" value="0"/></p> <p>Кол - во р-1: <input type="text" value="0"/></p> <p>Радиус резервуара - 2: <input type="text" value="0"/></p> <p>Кол - во р-2: <input type="text" value="0"/></p> <p>Радиус резервуара - 3: <input type="text" value="0"/></p> <p>Кол - во р-3: <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м²</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p> <p>СВОБОДНАЯ ПЛОЩАДЬ ОБВАЛОВАНИЯ</p> <p>Площадь обвалования: <input type="text" value="0"/></p> <p>Площадь занимаемая резервуарами <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м²</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p>	<p>ПЛОЩАДЬ РАЗЛИВА ЖИДКОСТИ</p> <p>Коэффициент разлития: <input type="text" value="0"/></p> <p>Объём жидкости <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м²</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p> <p>РАДИУС МАКСИМАЛЬНОГО ЗЕРКАЛА РАЗЛИТИЯ</p> <p>Площадь разлива <input type="text" value="0"/></p> <p>ОТВЕТ: 0 м</p> <p>РАДИУС ТЕКУЩЕГО ЗЕРКАЛА РАЗЛИТИЯ</p> <p>Радиус резервуара: <input type="text" value="0"/></p> <p>Расстояние до обвалования <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p> <p>ВЫСОТА СТОЛБА ЖИДКОСТИ НА ГРАНИЦЕ ОБВАЛОВАНИЯ</p> <p>Радиус текущего зеркала разлития: <input type="text" value="0"/></p> <p>Объём жидкости: <input type="text" value="0"/></p> <p>Ответ: 0 м</p> <p><input type="button" value="Вычислить"/></p> <p>ВРЕМЯ ДОБЕГАНИЯ ВОЛНЫ ДО ГРАНИЦЫ ОБВАЛОВАНИЯ</p> <p>Радиус текущего зеркала разлития: <input type="text" value="0"/></p> <p>Радиус максимального зеркала разлития: <input type="text" value="0"/></p> <p>Радиус резервуара <input type="text" value="0"/></p>
--	---

Рисунок 3 – Элементы интерфейса калькулятора по определению перелива нефтепродукта через нормативную преграду

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование, посвященное квазимгновенным разрушениям резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, имеет важное значение для обеспечения безопасности и минимизации рисков в нефтегазовой промышленности. В данной работе рассмотрена методика расчета квазимгновенного разрушения РВС.

Целью исследования была оптимизация процесса расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду при квазимгновенном разрушении резервуара.

Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи:

- изучена методика расчета перелива нефтепродукта через нормативную преграду.
- реализован программный продукт – калькулятор, позволяющий определить количество нефтепродукта, вышедшего за нормативную преграду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование параметров волны прорыва при разрушении резервуаров объемом до 30 000 м³ в лабораторных условиях / С. А. Швырков, С. В. Пузач, С. А. Горячев, А. С. Швырков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 1. – С. 12–18.
2. Швырков, С. А. Анализ методов оценки площади пролива жидкости при квазимгновенном разрушении резервуара / С. А. Швырков, В. В. Воробьев // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – Вып. 1 (99). – С. 17–32.
3. Лабораторное моделирование волны прорыва при разрушении резервуара типа «стакан в стакане» / С. А. Швырков, С. А. Горячев, В. В. Воробьев, А. С. Швырков // Технологии техносферной безопасности. 2017. – Вып. 2 (72). – С. 75–82 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29871124>

4. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. – Москва: ВНИИПО, 2012. – 242 с.
5. Оценка уровня опасности при квазимгновенном разрушении наземного вертикального резервуара хранения нефтепродуктов с формированием гидродинамической волны прорыва на основе риска / Е. В. Федотова, М. М. Дусингалиева, А. М. Козлитин, П. А. Козлитин. – 2016. – 244 с.
6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404.

CALCULATOR FOR DETERMINING OIL PRODUCT OVERFLOW THROUGH A REGULATORY BARRIER

A. S. Lukina, Master degree student,
e-mail: namtia_ranger@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

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

An analysis of the scenario of quasi-instantaneous destruction of a reservoir for storing oil and petroleum products has been carried out. A methodology for calculating the overflow of petroleum products through a regulatory barrier has been studied. A software product has been developed - a calculator for determining the overflow of petroleum products through a regulatory barrier based on the studied calculation methodology.

Keywords: *quasi-instantaneous destruction, oil product overflow, embankment.*