

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНЫХ УТЕЧЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ

канд. техн. наук, доц. А. Г. КУЛЬБЕЙ, В. В. БЕРДАШКЕВИЧ

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь*

Аннотация. В статье выполнена оценка параметров аварийных утечек нефтепродуктов из резервуаров хранения с использованием гидравлических зависимостей для неустановившегося истечения жидкости. Рассмотрены утечки дизельного топлива из вертикальных и горизонтальных резервуаров при различных эквивалентных размерах повреждений. Показано, что величина потерь топлива и временные характеристики аварий напрямую определяют условия поступления загрязняющих веществ в грунтовую среду. Отмечено, что тип грунта оказывает существенное влияние на характер распространения нефтепродуктов и формирование зон загрязнения, что необходимо учитывать при анализе последствий аварий и разработке систем мониторинга.

Ключевые слова: аварийная утечка, нефтепродукты, загрязнение почвы, грунтовая среда, резервуары хранения, мониторинг.

Введение. Аварийные утечки нефтепродуктов на объектах хранения и транспортировки являются одной из наиболее распространенных причин загрязнения окружающей среды. Потери дизельного топлива вследствие нарушения герметичности резервуаров и трубопроводной арматуры могут приводить к загрязнению почвенного покрова и грунтовых вод, а также создавать угрозу пожаров и взрывов [1, 3].

Практика эксплуатации резервуарных парков показывает, что последствия аварийных утечек определяются не только объемом потерянного топлива, но и условиями его взаимодействия с грунтовой средой. При одинаковых параметрах утечки в различных типах грунтов формируются принципиально разные сценарии миграции загрязняющих веществ. В песчаных и супесчаных грунтах нефтепродукты характеризуются высокой фильтрационной способностью, тогда как в суглинках и глинах наблюдается их локализация и длительное сохранение загрязнения [3].

В связи с этим актуальной является задача количественной оценки параметров аварийных утечек как исходных данных для анализа последствий загрязнения грунтовой среды.

Основная часть. Аварийные утечки нефтепродуктов из резервуаров хранения могут возникать вследствие коррозионного износа, механических повреждений, дефектов сварных соединений и нарушения герметичности запорной арматуры [2]. Наиболее опасными являются утечки, остающиеся необнаруженными в течение длительного времени, поскольку даже малые эквивалентные размеры отверстий приводят к значительным суммарным потерям топлива.

Процесс истечения дизельного топлива из резервуара под действием силы тяжести описывается уравнениями гидравлики для неустановившегося течения. Расход жидкости через отверстие определяется выражением [4, 5]:

$$Q = \mu S_0 \sqrt{2g \cdot H}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода через отверстие;

S_0 – эквивалентная площадь отверстия, через которое вытекает жидкость, м^2 ;

H – уровень взлива жидкости в сосуде, м .

При понижении уровня топлива расход изменяется во времени, что приводит к неравномерному поступлению нефтепродукта в окружающую среду. Для вертикальных резервуаров с постоянной площадью сечения время истечения жидкости с уровня H_1 до H_2 определяется зависимостью [4]:

$$t = \frac{2S}{\mu S_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}), \quad (2)$$

где H_1 – начальный уровень взлива дизельного топлива в резервуаре, м;

H_2 – конечный уровень взлива дизельного топлива в резервуаре, м, который можно выразить через [стр. 35, 7].

Расчеты показали, что при эквивалентной площади отверстия порядка нескольких квадратных миллиметров потери дизельного топлива за 17–18 часов могут превышать 1,8 т, а полное вытекание значительного объема топлива продолжается в течение нескольких суток. Такие временные масштабы аварии создают условия для глубокого проникновения нефтепродукта в грунтовую толщу.

Для горизонтальных резервуаров характерна переменная площадь зеркала жидкости, что требует учета геометрии сосуда при расчете времени утечки [6]. Анализ показал, что при диаметре отверстия 6 мм объем дизельного топлива порядка 3 м³ может вытечь за несколько часов, а при увеличении диаметра отверстия до 15 мм – менее чем за 2 часа. Максимальная интенсивность вытекания наблюдается в начальный период аварии, что определяет формирование наиболее опасной фазы загрязнения грунта.

Дополнительно следует отметить, что интенсивность поступления нефтепродукта в грунтовую среду в значительной степени определяется не только суммарным объемом утечки, но и распределением расхода во времени. Как показали расчеты, наибольшая скорость вытекания дизельного топлива наблюдается на начальном этапе аварии, когда уровень жидкости в резервуаре максимален. В этот период формируются наиболее неблагоприятные условия для загрязнения почвы, так как значительные объемы топлива поступают в грунт за короткий промежуток времени.

При дальнейшем снижении уровня топлива интенсивность вытекания уменьшается, однако суммарные потери продолжают накапливаться. В случае позднего обнаружения утечки происходит длительное воздействие нефтепродукта на грунтовую среду, что способствует его проникновению в более глубокие горизонты. Это особенно опасно при наличии водоносных слоев, залегающих на малой глубине.

С учетом изложенного можно сделать вывод, что параметры утечки и свойства грунта образуют единую систему факторов, определяющих последствия аварий. Игнорирование хотя бы одного из этих факторов приводит к существенным погрешностям при оценке масштабов загрязнения и выборе мероприятий по ликвидации последствий аварии.

Влияние свойств грунтовой среды на формирование последствий аварийных утечек. После выхода нефтепродукта за пределы резервуара дальнейшее развитие аварийной ситуации определяется процессами его взаимодействия с грунтовой средой. При этом параметры утечки (расход, длительность истечения, суммарный объем) формируют лишь исходные условия загрязнения, тогда как характер распространения нефтепродукта в значительной степени зависит от физико-механических свойств грунта.

Известно, что проницаемость, пористость, гранулометрический состав и степень водонасыщенности грунта оказывают определяющее влияние на скорость миграции нефтепродуктов и глубину их проникновения [3]. В песчаных и супесчаных грунтах дизельное топливо быстро фильтруется по порам, формируя протяженные зоны загрязнения и повышая риск попадания

загрязняющих веществ в грунтовые воды. В суглинистых и глинистых грунтах, напротив, наблюдается замедленная фильтрация и локализация загрязнения, однако возрастает продолжительность негативного воздействия на почвенную среду.

Таким образом, при одинаковых параметрах аварийной утечки последствия загрязнения могут существенно различаться в зависимости от типа грунта. Это обстоятельство затрудняет применение унифицированных сценариев оценки последствий аварий и требует учета пространственной неоднородности грунтовых условий на территории размещения объектов хранения нефтепродуктов.

С практической точки зрения особую сложность представляет оперативное определение типа грунта в зоне аварии. Традиционные инженерно-геологические методы требуют значительных временных и материальных затрат, что ограничивает их применение при анализе аварийных ситуаций в режиме реального времени. В связи с этим возрастает актуальность использования автоматизированных подходов к классификации грунтов, основанных на обработке данных мониторинга и диагностических признаков.

В перспективе расчетные зависимости, описывающие параметры аварийных утечек нефтепродуктов, могут рассматриваться как исходная информация для интеллектуальных систем анализа последствий аварий. Интеграция данных о параметрах утечки с результатами автоматизированного распознавания типов грунтов позволяет уточнять сценарии распространения загрязняющих веществ и повышать точность оценки экологических рисков. Такой подход создает основу для формирования адаптивных систем мониторинга, учитывающих как техническое состояние оборудования, так и свойства окружающей геологической среды.

Заключение. В работе выполнена оценка параметров аварийных утечек дизельного топлива из резервуаров хранения на основе гидравлических зависимостей для неустановившегося истечения жидкости. Показано, что даже малые повреждения технологического оборудования при длительном времени истечения приводят к значительным потерям нефтепродуктов и формируют предпосылки для загрязнения грунтовой среды.

Установлено, что последствия аварийных утечек определяются не только объемом и интенсивностью вытекания топлива, но и условиями его взаимодействия с грунтом. Тип грунта оказывает существенное влияние на характер распространения загрязняющих веществ, глубину их проникновения и продолжительность негативного воздействия на почвенную среду. В связи с этим учет грунтовых условий является необходимым элементом анализа аварийных ситуаций, оценки экологических рисков и разработки систем мониторинга и предупреждения утечек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев, Д. В., Легенький, Д. Ю., Сальников, А. В., Борисова, М. Ю. Пожарная опасность резервуарных парков нефтепродуктов // International scientific review. – 2020. – № LXXV. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-opasnost-rezervuarnyh-parkov-nefteproduktov> (дата обращения: 15.12.2025).
2. Самкаева, А. Ф. Коррозия нефтяных резервуаров и перспективные способы их защиты // Вестник магистратуры. – 2022. – № 6-1 (129). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korroziya-neftyanyh-rezervuarov-i-perspektivnye-sposoby-ih-zaschity> (дата обращения: 15.12.2025).
3. Демельханов, М. Д., Оказова, З. П., Чупанова, И. М. Экологические последствия разливов нефти // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 91–94. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35730> (дата обращения: 15.10.2024).
4. Альтшуль, А. Д., Киселев, П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости): учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 323 с.
5. Ухин, Б. В., Гусев, А. А. Гидравлика: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 432 с.
6. Лурье, М. В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2003. – 349 с.
7. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с. – ISBN 5-7695-2629-7.