

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА ПРОЛИВА БЕНЗИНА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ АВТОТРАНСПОРТОМ



А. О. Ермакова, магистрант

E-mail: Anuta.ermakoova.04@gmail.com

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 представлено численное моделирование пожара пролива бензина при аварии автоцистерны объемом 10 м³. На основе ГОСТ Р 12.3.047-2012 [1] рассчитаны геометрические параметры факела и интенсивность теплового излучения. Приведена программная реализация модели на Python. Определены безопасные расстояния в соответствии с требованиями Федерального закона № 123-ФЗ [2] и Приказа МЧС № 533 [3]. Физико-химические свойства бензина приняты по ГОСТ 12.1.044-89 [4]. Определены: зона безопасности – от 55 м, смертельная зона – до 20 м.

Ключевые слова: пожар пролива, бензин, автотранспорт, численное моделирование, тепловое излучение.

ВВЕДЕНИЕ

Перевозка легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) автомобильным транспортом сопряжена с высокими рисками возникновения аварийных ситуаций, способных привести к тяжелым социальным и экономическим последствиям.

Бензин, как один из наиболее распространенных видов нефтяного топлива, характеризуется низкой температурой вспышки (ниже -40 °С) и значительной теплотой сгорания (около 44 МДж/кг). При разгерметизации автоцистерны на автомобильной дороге формируется пролив ЛВЖ, воспламенение которого приводит к пожару пролива – одному из наиболее опасных сценариев аварии [1, 2].

Пожар пролива представляет собой диффузионное горение жидкости на открытом пространстве. Основным поражающим фактором является тепловое излучение, которое может вызывать ожоги различной степени тяжести, воспламенение одежды и материалов, а также приводить к летальному исходу [2, 3]. Определение зон поражения при аварийных разливах является важной задачей для планирования эвакуации и разработки мер пожарной безопасности.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – численное моделирование пожара пролива бензина при аварии автоцистерны с оценкой параметров опасных факторов и программной реализацией расчетов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выполнение расчета параметров опасных факторов пожара.
2. Разработка концепции программной реализации алгоритмов моделирования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет параметров пожара пролива выполнен в строгом соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [1].

Основные расчетные формулы, используемые в работе:

- формула 2 – определение эффективного диаметра пролива;
- формула 3 – определение длины (высоты) пламени;
- формула 5 – расчет интенсивности теплового излучения;
- формула 4 – расчет коэффициента пропускания атмосферы.

Значения среднеповерхностной плотности теплового излучения E_f приняты по таблице 1, критическая величина теплового потока для человека ($4,2 \text{ кВт/м}^2$) – по таблице 2 [1–3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для типового аварийного сценария с разливом 10 м^3 бензина на асфальтовом покрытии при скорости ветра 3 м/с получены следующие параметры.

Площадь пролива определяется по формуле:

$$S = V/\delta = 10/0,005 = 2000 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Эффективный диаметр пролива рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{4S/\pi} = \sqrt{4 \cdot 2000/3,14} = 50,5 \text{ м}. \quad (2)$$

Длина (высота) пламени рассчитывается по формуле:

$$L = 42 \cdot d \cdot (m'/\rho_v \cdot \sqrt{g \cdot d})^{0,61} = 42 \cdot 50,5 \cdot 0,0242 = 51,4 \text{ м}. \quad (3)$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5d)) = 0,997. \quad (4)$$

Интенсивность теплового излучения

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 7,03 \text{ кВт/м}^2. \quad (5)$$

Значения среднеповерхностной плотности теплового излучения E_f для бензина в зависимости от диаметра очага представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры горения бензина (по данным ГОСТ Р 12.3.047-2012)

Диаметр очага, м	E_f , кВт/м ²	Удельная массовая скорость выгорания m , кг/(м ² ·с)
10	60	0,06
20	47	0,06
30	35	0,06
40	28	0,06
50	25	0,06

Для $d = 50,5 \text{ м}$ (интерполяция): $E_f = 25 \text{ кВт/м}^2$.

Результаты расчетов теплового потока в зависимости от расстояния представлены в таблице 2 [1–3].

Таблица 2 – Зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния

Расстояние r , м	q , кВт/м ²	Поражающее действие
10	18,9	Смертельная опасность
20	13,4	Опасно (ожог 1-й степени)
30	9,9	Ожог 1-й степени
40	7,5	Болевой порог
50	5,8	Безопасно
60	4,6	Безопасно
70	3,7	Безопасно

Анализ полученных данных позволяет выделить следующие зоны поражения (таблица 3) [2, 3]. Безопасное расстояние ($q \leq 4,2 \text{ кВт/м}^2$) составляет 55 м от центра пролива [2, 3].

Таблица 3 – Зоны поражения

Зона	Расстояние от центра, м	Характеристика
Смертельная зона	до 15	Тепловой поток $> 12,9 \text{ кВт/м}^2$
Опасная зона	15–30	Опасность для жизни, ожоги
Зона дискомфорта	30–55	Болевой порог, возможны ожоги
Безопасная зона	более 55	Тепловой поток $< 4,2 \text{ кВт/м}^2$

Для автоматизации расчетов и визуализации разработана программа на языке Python с использованием библиотек:

- PyQt5 (графический интерфейс);
- NumPy (математические расчеты);
- Matplotlib (3D-визуализация).

Разработанное программное обеспечение (скриншот интерфейса программы представлен на рисунке) позволяет в интерактивном режиме изменять исходные параметры (объем разлива, тип поверхности, скорость ветра) и мгновенно получать пересчитанные зоны поражения с визуализацией в 3D-формате.

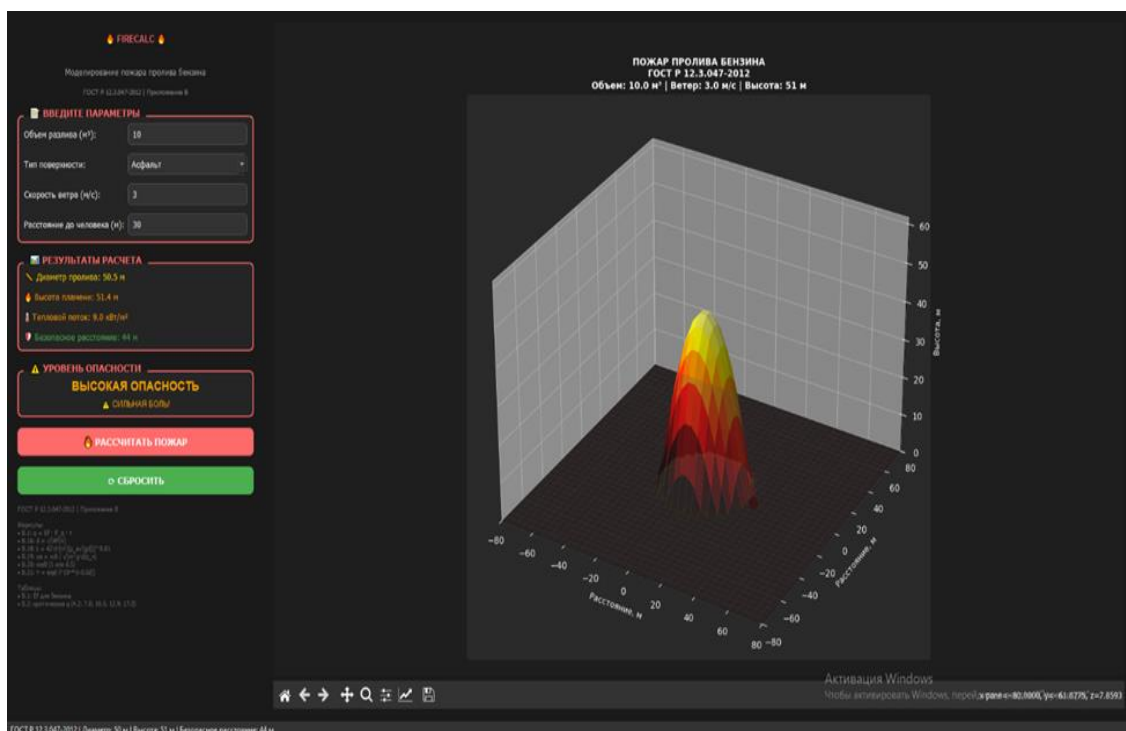


Рисунок – Разработанное программное обеспечение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы достигнута поставленная цель и решены все задачи.

1. Разработана программа для моделирования пожара пролива бензина при аварии автотранспорта. Все расчеты выполнены в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 [1].

2. Для типового аварийного сценария с разливом 10 м^3 бензина на асфальтовом покрытии при скорости ветра 3 м/с получены следующие параметры: диаметр пролива – $50,5 \text{ м}$, высота пламени – $51,4 \text{ м}$, безопасное расстояние для человека – 55 м от центра пролива.

3. Определены зоны поражения:

- смертельная зона – до 15 м от центра пролива;

- опасная зона для жизни – от 15 до 30 м;
- зона дискомфорта – от 30 до 55 м;
- безопасная зона – более 55 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – Введ. 2014-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 86 с.
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
4. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

SIMULATION OF A PETROL POOL FIRE DURING ROAD TRANSPORTATION

A. O. Ermakova, Master student
E-mail: Anuta.ermakoova.04@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

T. S. Stankevich, Candidate of Technical Sciences
E-mail: stankevich.ts@bgarf.ru
Kaliningrad State Technical University

The article presents a numerical simulation of a petrol pool fire resulting from an accident involving a tanker truck with a spill volume of 10 m³. Based on GOST R 12.3.047-2012, the geometric parameters of the flame and thermal radiation intensity have been calculated. A Python-based software implementation is presented. Safe distances are determined: the safety zone starts at 55 m, the lethal zone extends to 15 m.

Keywords: *pool fire, petrol, motor transport, numerical modelling, thermal radiation.*