

И.А. Горпинич, нач. УПСЧ, НУГЗУ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ РАЗЛИВА ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ АВАРИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Проведен обзор существующих моделей оценки площади разлива и толщины слоя при растекании горючей жидкости на горизонтальной поверхности

Ключевые слова: горючая жидкость, растекание, площадь разлива

Постановка проблемы. Аварии на железнодорожном транспорте, сопровождающиеся разливом и горением горючих жидкостей, являются одними из наиболее опасных. Основную сложность при их ликвидации представляет угроза распространения пожара на технологические сооружения и подвижной состав. Поэтому важной задачей является оценка предельного времени ввода сил и средств для охлаждения подвижного состава или его эвакуации. Тепловой поток от пожара будет определяться видом горючей жидкости и параметрами разлива. При этом наибольшую сложность для оценки представляет форма и размеры разлива, т.к. они зависят от рельефа, характера поверхности и вида жидкости.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1, 2] построена математическая модель теплового воздействия пожара разлившейся горючей жидкости на железнодорожную цистерну, в которой предполагается, что разлив имеет форму круга известной площади. При этом зависимость площади разлива, толщины слоя и времени горения от вылившегося объема жидкости не рассматриваются.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обзор существующих моделей растекания жидкостей на горизонтальной поверхности, предназначенных для оценки площади разлива.

Для оценки площади разлива используется критериальное уравнение [3, 4]

$$R/\ell = A Ga^n No^m, \quad (1)$$

где R – радиус растекания жидкости; ℓ – определяющий размер; A , m , n – экспериментально определяемые постоянные; $Ga = \frac{g\ell^3}{\nu^2}$ –

критерий Галилея; g – ускорение свободного падения; ν – кинематическая вязкость; $Но = \frac{g\tau^2}{\ell}$ – преобразованный критерий гомохронности; τ – продолжительность истечения. На основании (1) в [3] приведены формулы для определения радиуса разлива

$$\frac{R}{\sqrt[3]{\nu}} = 0,58 \left(\frac{g\nu}{\nu^2} \right)^{0,08} \left(\frac{g\tau^2}{\sqrt[3]{\nu}} \right)^{0,06}, \quad (2)$$

$$\frac{R}{\sqrt[3]{V}} = 0,46 \left(\frac{gV}{g\nu^2} \right)^{0,08} \left(\frac{g\tau^2}{\sqrt[3]{V}} \right) \quad (3)$$

для мгновенного и непрерывного истечения соответственно, где ν – скорость истечения жидкости, м/с; V – объем вылившейся жидкости, м³. Недостатком приведенных зависимостей является их нефизичность: в формуле (2) отсутствует зависимость от объема вылившейся жидкости. Кроме того, неясно, как оценить скорость и время при мгновенном разливе ($\tau \rightarrow 0$). Из формулы (3) следует, что при одинаковом объеме вылившейся жидкости V , больший радиус разлива будет при меньшей скорости вытекания (при большем времени вытекания).

В [4] для оценки площади разлива при аварии трубопровода или разгерметизации резервуара принималось, что толщина слоя нефтепродукта на грунте составляет $h_{\min} = (0,1 \div 0,12)$ м. Там же для моделирования динамики растекания использовалась модель гравитационного растекания жидкости, не учитывающая вязкого трения

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{2g[h(t) - h_{\min}]}, \quad (4)$$

где $h(t)$ – толщина слоя нефтепродукта в момент времени t .

В [3] приведены эмпирические формулы, характеризующие разлив горючей жидкости (керосина, бензина, дизельного топлива, масла, нефти) на стандартной поверхности (поверхность стекла):

- удельная плоскость растекания f_0 – площадь разлива единицы объема жидкости на стандартной поверхности при нормальных условиях;
- средняя толщина пленки δ – осредненное значение по всей площади растекания жидкости;
- диаметр приведенного круга d – диаметр круга с площадью, равной площади растекания жидкости;
- относительное изменение поверхности s

$$s = \frac{S_p}{S_{ш}}, \quad (5)$$

где S_p – площадь разлива; $S_{ш}$ – площадь поверхности шара с объемом, равным объему разлитой жидкости;

- относительная удельная площадь растекания ε

$$\varepsilon = \frac{S_p}{S_{p\text{ ст}}}, \quad (6)$$

где $S_{p\text{ ст}}$ – площадь разлива стандартной жидкости (керосин).

Эмпирические данные [3] свидетельствуют, что толщина пленки жидкости на поверхности стекла составляет

- керосин – 0,0534 мм;
- бензин – 0,0581 мм;
- дизельное топливо – 0,285 мм;
- масло – 0,09025 мм;
- нефть – 0,3711 мм.

Влияние структуры поверхности на площадь растекания определяется коэффициентом влияния структуры $K_{вл}$

$$K_{вл} = \frac{S_p}{S_{p\text{ стекло}}}, \quad (7)$$

где $S_{p\text{ стекло}}$ – площадь разлива на стекле. В [3] приведены значения коэффициента $K_{вл}$ для грунта, бетона, плитки и асфальта. В частности, площадь разлива нефти и бензина на грунте составляют 0,6 и 0,1 соответственно от площади разлива этих жидкостей на стекле, что составляет около 6 мм. Здесь следует отметить, что, во-первых, в действительности наблюдаемая толщина слоя будет меньше за счет впитывания жидкости в грунт; во-вторых, наличие даже небольших неровностей на грунте (впадин) приведет к их заполнению и увеличению средней толщины слоя жидкости, а значит и к уменьшению площади разлива.

Выводы. Проведен обзор математических моделей растекания горючих жидкостей на горизонтальной поверхности. Показано, что для оценки площади разлива более целесообразно использовать эмпирические зависимости (5)-(7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О. Математична модель пожежі нафтопродукту на залізничному транспорті / Ю.О. Абрамов, М.Р. Байтала // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – №4. – С. 10-13.

2. Байтала М.Р. Математическая модель нагрева смоченной стенки цистерны с нефтепродуктом / М.Р. Байтала, И.Я. Криса // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 12-17.

3. Иванов Е.Н. Противопожарная защита открытых технологических установок / Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1986. – 288 с.

4. Козлитин А.М. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. – Саратов: СГТУ, 2005. – С. 135-160.

nuczu.edu.ua

I.A. Gorpnich

Методи оцінки площі розливу горючої рідини при аварії залізничної цистерни.

Проведено огляд існуючих моделей оцінки площі розливу і товщини шару при розтіканні горючої рідини на горизонтальній поверхні

Ключові слова: горюча рідина, розтікання, площа розливу.

I.A. Gorpnich

Methods of estimation of spill area of flammable liquids on rail accidents

A review of existing evaluation models spill area and thickness of the layer in the spreading of flammable liquid on a horizontal surface.

Keywords: flammable liquids, spill, spill area.