

В.В. Воробьев, В.И. Юрьев, А.П. Петров, С.А. Швырков, П.В. Волосатов
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: setyn@list.ru)

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОН ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ БЕНЗИНА

Представлены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований, полученных в аэродинамической трубе, процесса образования в условиях штиля зон взрывоопасных концентраций паров бензина в квадрате резервуаров при использовании земляных обвалований в программном комплексе ANSYS Fluent. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технических решений по обеспечению пожарной безопасности резервуарных парков.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, "большое" дыхание, численное моделирование, зона взрывоопасных концентраций.

V.V. Vorobyev, V.I. Yuriev, A.P. Petrov, S.A. Shvyrkov, P.V. Volosatov ASSESSMENT OF DANGER OF FORMATION OF ZONES OF EXPLOSIVE CONCENTRATION IN RESERVOIR PARKS FOR GASOLINE STORAGE

The results of numerical simulation and experimental studies, obtained in wind tunnel, the emergence in conditions of calm zones of the explosive concentration of vapors of gasoline in tank farm square when using earthen embankment in the program complex ANSYS Fluent is presented. The results obtained can be used for the development of technical solutions to ensure the fire safety of tank farms.

Key words: vertical steel tank, "big" breathing zone, numerical simulation of explosive concentrations.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 декабря 2016 г.

Вертикальные резервуары со стационарной крышей без понтона типа РВС чаще всего используют на перевалочных нефтебазах и на базах смешения [1], где требуется частое заполнение и опорожнение промежуточных ёмкостей (резервуаров). На них особенно остро стоит вопрос оценки опасности образования зон взрывоопасных концентраций, которые образуются в результате выброса паровоздушной смеси во время "больших" дыханий резервуаров.

Пожары, связанные с образованием зон взрывоопасных концентраций на территории резервуарных парков, происходят не только в нашей стране, но и за рубежом. Об этом свидетельствует, например, крупный пожар [2], происшедший 17 августа 1975 г. на НПЗ "Gulf Oil Refinery" в г. Филадельфия (рис. 1). С 0:45 ч. ночи перекачивали нефть из танкера в РВС объёмом 12 тыс. м³. Нефтяные пары, выходящие из резервуара и скопившиеся у расположенной рядом котельной, в 5:57 воспламенились. Пламя по облаку паров распространилось на дыхательную арматуру, а затем горящая нефть из резервуара вышла в обвалование. Тушение пожара продолжалось 9 дней, в ходе которого погибли 8 пожарных и 14 получили травмы.



Рис. 1. Фрагмент пожара в резервуарном парке НПЗ "Gulf Oil Refinery", г. Филадельфия

Для оценки пожарной опасности в таких условиях возможность образования горючей концентрации паровоздушной смеси можно установить путём непосредственного измерения фактической концентрации паров в атмосфере, в каре резервуара при его наполнении. Однако на практике, в условиях производства, возникают большие трудности выполнения таких измерений.

Аналитическое решение этой задачи также связано с большими трудностями. "Большое" дыхание при наполнении резервуара бензином связано со сложной гидродинамикой вытеснения его паров из резервуара через дыхательную арматуру, с распределением паров в атмосфере воздуха с учётом их сложного состава и целого ряда параметров, характеризующих тепло- и массообменные явления. Эти процессы отличаются сложным взаимным влиянием, которое учесть в рамках упрощённых аналитических и эмпирических соотношений крайне сложно.

Поэтому для оценки пожарной опасности образования зон взрывоопасных концентраций авторами были проведены экспериментальные опыты на моделях резервуаров в аэродинамической трубе. Для возможности переноса полученных результатов экспериментов на натурные объекты задача образования зон взрывоопасных концентраций была решена путём численного моделирования на основе пакетов вычислительной гидродинамики (*CFD*-пакеты).

При таком моделировании сложная взаимосвязь тепло- и массообменных процессов, сопровождающих формирование зон взрывоопасных концентраций, учитывается посредством совместного решения дифференциальных уравнений переноса массы, импульса, энергии и турбулентных характеристик.

Для численного моделирования процесса формирования зон взрывоопасных концентраций в камере защитной стенки при "большом дыхании" резервуара использовался программный комплекс *ANSYS Fluent*, позволяющий построить геометрическую модель, выполнить дискретизацию расчётной области, выбрать необходимые физические модели, задать начальные и граничные условия, произвести решение и проанализировать полученные результаты.

Объектом для численного моделирования пожара была выбрана модель резервуара РВС-5000 м³ с бензином АИ-95 [3] в масштабе 1:100. Задача решалась в стационарной постановке с использованием модели турбулентности *k-ε (Realizable)* [4]. На входе в расчётную область задавался удельный расход паровоздушной смеси с насыщенной концентрацией паров бензина. При моделировании принималось полное отсутствие движения воздуха (явление штиля), учитывалось влияние на распространение паров бензина традиционного земляного обвалования вокруг резервуара.

На рис. 2 и 3 представлены результаты численного моделирования изучаемого процесса в виде полей концентрации паров бензина (gasoline – C₈H₁₈Iso).

Видно, что при достижении состояния равновесия между массой поступающих из дыхательного клапана в атмосферу при "большом" дыхании паров бензина и рассеивающейся в атмосфере массой паров, когда достигаются стационарные условия формирования полей концентрации, фронт зоны взрывоопасных концентраций ($\varphi_{\text{нкпр}}$) достигает земляного обвалования.

Сравнивая результаты численного моделирования и экспериментальных исследований распределения концентраций, полученные экспериментальным путём в аэродинамической трубе (рис. 4-6), видно, что они между собой согласуются удовлетворительно.

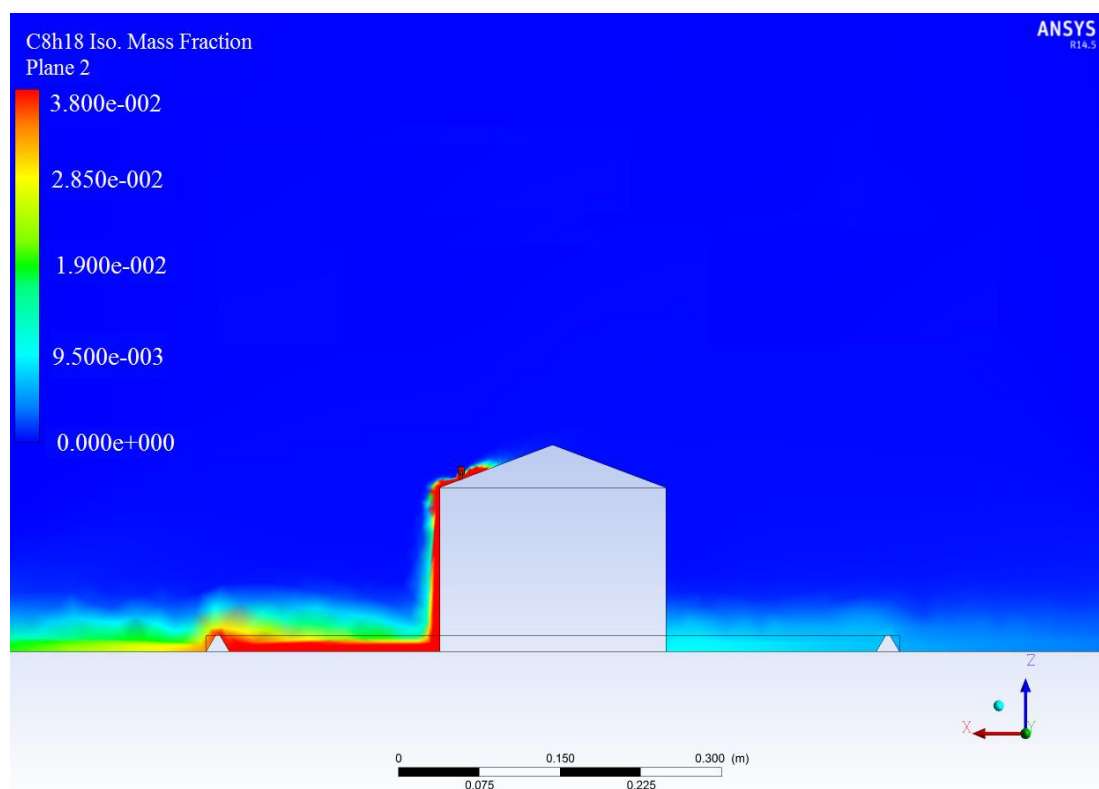


Рис. 2. Распределение концентраций в равновесном состоянии (поперечное сечение)

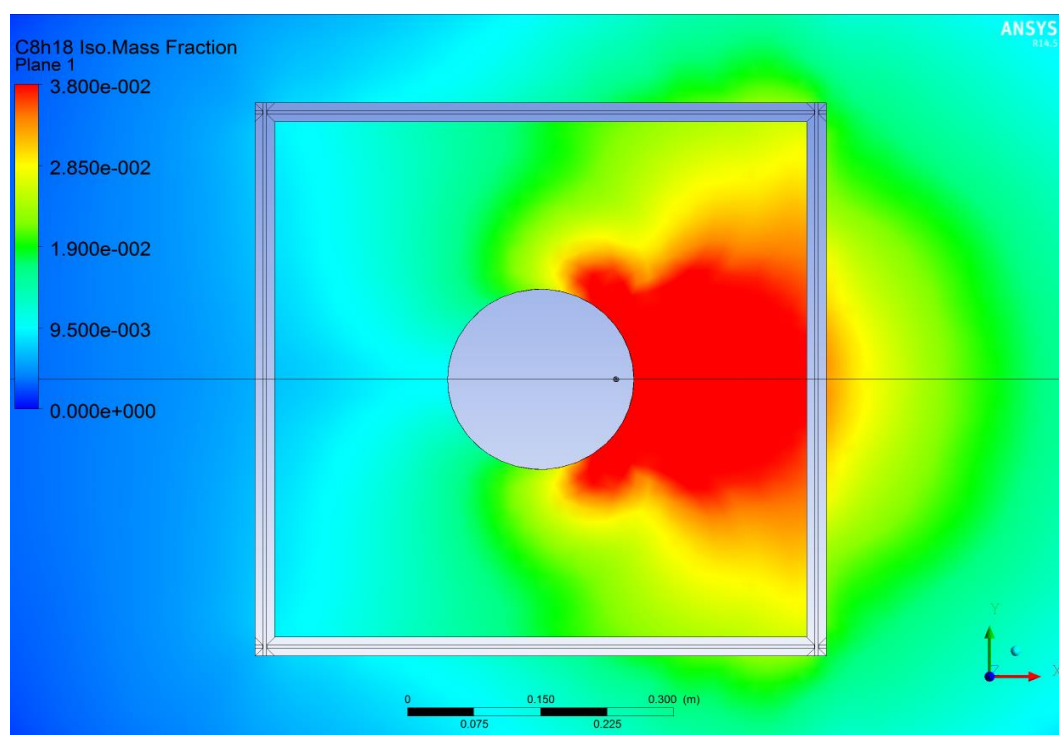


Рис. 3. Распределение концентраций в равновесном состоянии (вид сверху)

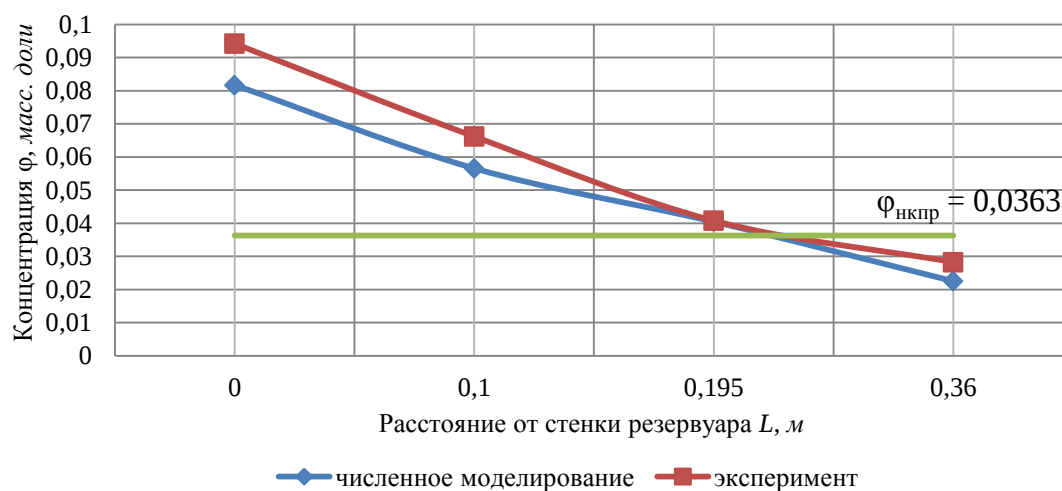


Рис. 4. График зависимости концентрации $\phi = f(L)$ на уровне земли в условиях штиля

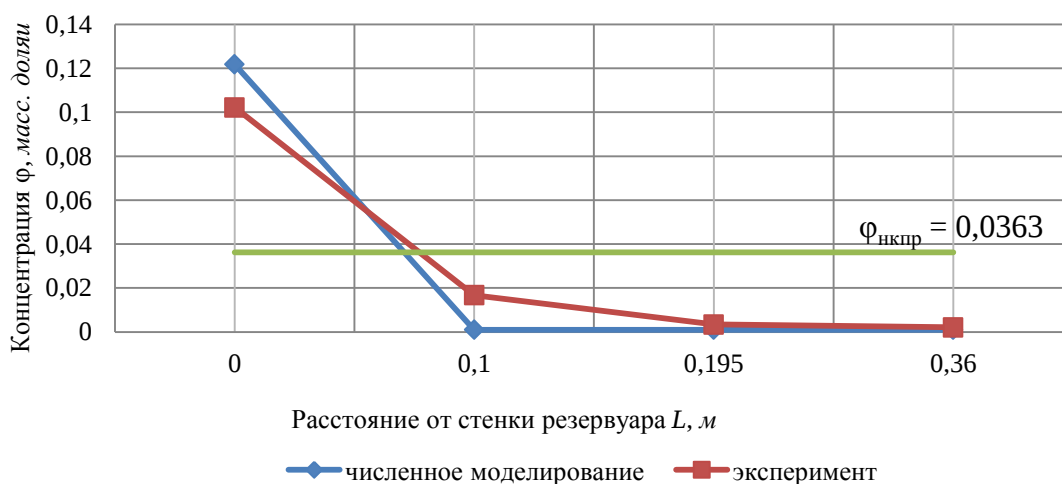


Рис. 5. График зависимости концентрации $\phi = f(L)$ на высоте 0,075 м от уровня земли в условиях штиля

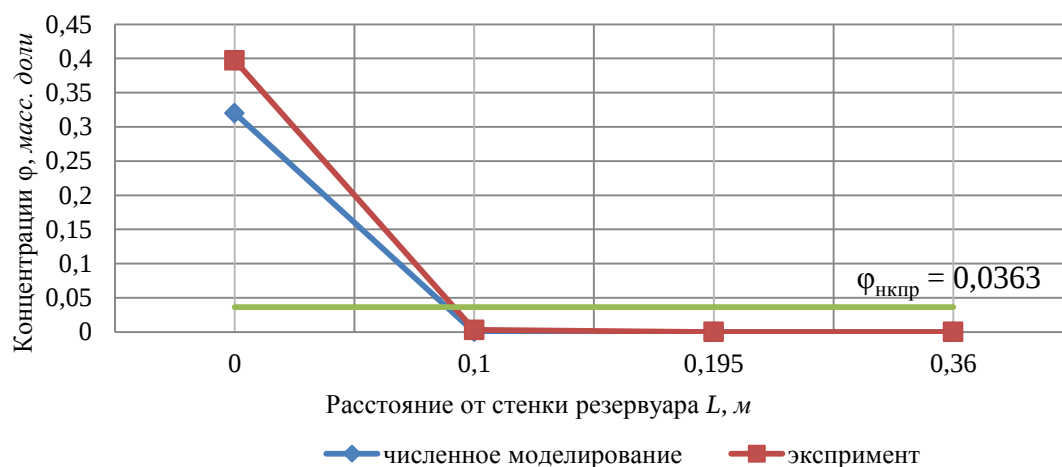


Рис. 6. График зависимости концентрации $\phi = f(L)$ на высоте 0,145 м от уровня земли в условиях штиля

Таким образом, результаты численного моделирования и экспериментальных исследований позволили, во-первых, установить, что в условиях штиля даже при нормальной эксплуатации резервуара типа РВС-5000 с бензином существует реальная опасность образования зон взрывоопасных концентраций в каре с традиционным земляным обвалованием в результате "большого" дыхания в период закачки резервуара. Во-вторых, они показали возможность переноса результатов численного решения поставленной задачи на изучаемые натурные объекты при оценке параметров зон взрывоопасных концентраций при "больших" дыханиях резервуаров.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки технических решений по обеспечению пожарной безопасности резервуарных парков.

Литература

1. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности.
2. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб.: изд-во политехн. ун-та, 2010.
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности / И.М. Смолин и др. М.: ВНИИПО МЧС России, 2014.
4. Ansys Fluent 14.0: Theory Guide.

References

1. SP 155.13130.2014. Sklady nefti i nefteproduktov. Trebovaniia pozharnoi bezopasnosti (Warehouses of oil and petroleum products. Fire safety requirements).
2. Volkov O.M. Pozharnaia bezopasnost rezervuarov s nefteproduktami (Fire safety of reservoirs). SPb.: izd-vo politekhn. un-ta, 2010.
3. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorii pomeshchenii, zdanii i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoi i pozharnoi opasnosti (Definition of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard) / I.M. Smolin i dr. M.: VNIIPO MChS Rossii, 2014.
4. Ansys Fluent 14.0: Theory Guide.