

В.Д. Халиков¹, Ф.Ш. Хафизов¹, С.В. Субачев²

(¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
²Уральский институт ГПС МЧС России; e-mail: halikov102@rambler.ru)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА НЕФТИ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Разработан метод определения площади аварийного пролива нефти из технологических трубопроводов.

Ключевые слова: площадь пролива, технологический трубопровод.

V.D. Halikov, F.Sh. Hafizov, S.V. Subachev

A METHOD OF DETERMINING THE AREA OF EMERGENCY OIL SPILL OF TECHNOLOGICAL PIPELINE

The method for determining the area of emergency oil spill from industrial pipelines was developed.

Key words: area of emergency oil spill, technological pipeline.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 25 апреля 2017 г.

Ежегодно в мире добывают свыше 4 млрд тонн сырой нефти. При подготовке и переработке нефти на предприятиях нефтегазовой отрасли нефть транспортируется по технологическим трубопроводам, на которых за последние 5 лет увеличилось количество аварий [1].

По статистическим данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Наиболее вероятными последствиями проливов нефти из технологических трубопроводов являются взрыв паровоздушной смеси и пожар пролива нефти, крупный материальный ущерб, что объясняется проливом нефти на большие площади, в результате при взрыве или воспламенении паров жидкости в зону поражения попадает вблизи расположенное технологическое оборудование [2, 3].

Для разработки метода определения площади пролива нефти из технологических трубопроводов были проанализированы существующие методы, представленные в действующих нормативных документах, а также результаты проведенных научно-исследовательских работ по определению площади пролива нефти.

Установлено, что в ГОСТ Р 12.3.047-2012, СП12.13130-2009 при расчёте площади пролива учитываются свойства жидкостей, в других же "Методика по определению расчётных величин пожарного риска на производственных объектах" приказ № 404 МЧС России от 10 июля 2009 г., только свойства поверхностей. Также при анализе проведённых научно-исследовательских работ установлено, что полученные выражения можно использовать только для обо-

рудования ёмкостного типа, следовательно они не могут быть применены при прогнозировании возможных площадей пролива нефти при аварийной разгерметизации технологического трубопровода [4, 5].

Для достоверного определения размеров зон возможной аварии были учтены свойства поверхностей, жидкостей и параметры потока нефти через аварийное отверстие в технологическом трубопроводе.

Определение площади пролива нефти на натурном технологическом трубопроводе в лаборатории невозможно из-за его большого диаметра, больших и очень мощных насосных установок, а также пожарной опасности транспортируемых жидкостей, поэтому это определение проводилось с использованием компьютерной программы "Исследование геометрических параметров разлива жидкостей на горизонтальных поверхностях" (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610352 РФ). Разработан стенд модели технологического трубопровода для проведения полигонных исследований (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид стенда модели технологического трубопровода

Стенд для проведения экспериментов на полигоне позволил смоделировать процесс пролива нефти из образовавшегося локального отверстия в трубопроводе с учётом принятых обоснованных параметров модели. Так как технологический трубопровод является гидравлической системой, задачи моделирования были решены теорией гидродинамического подобия.

Это подобие складывается из трёх составляющих [6]:

- геометрическое подобие (соотношение геометрических параметров натуре и модели);
- кинематическое подобие (соотношение скорости и ускорения потока жидкости в натурном трубопроводе и модели);
- динамическое подобие (заключается в пропорциональности сил, действующих на элементы кинематически и геометрически подобных потоков в натурном и модельном трубопроводах).

Дополнительно необходимым условием физического моделирования было соблюдение критериев подобия, описывающих рассматриваемое физическое явление. Основные критерии гидродинамического подобия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии гидродинамического подобия

Критерий	Формула критерия	Физический смысл критерия
Критерий Рейнольдса	$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}$	Определяет режим движения потока. Является мерой отношения силы инерции к силе вязкости
Критерий Фруда	$Fr = \frac{\omega^2}{g \cdot d}$	Характеризует действие сил тяжести в подобных потоках. Является мерой отношения силы инерции к силе тяжести
Критерий Эйлера	$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2}$	Характеризует действие сил давления в подобных потоках. Является мерой отношения силы давления к силе инерции

Для рассматриваемого процесса пролива нефти из аварийного отверстия в технологическом трубопроводе был использован критерий Эйлера, так как он характеризует действие сил давления в подобных потоках (как известно, для транспортировки нефти по технологическим трубопроводам внутри трубопровода создаётся избыточное давление).

Схема стенда модели технологического трубопровода представлена на рис. 3.

Эксперименты проводились на следующих поверхностях:

- асфальтовое покрытие;
- грунтовая поверхность (суглинок);
- грунтовая поверхность (супесь);
- грунтовая поверхность (чернозём).

В качестве модельных жидкостей в эксперименте применяли четыре вида нефти [7]:

- нефть № 1 – нефть Северо-даниловского месторождения (Иркутская область);
- нефть № 2 – нефть Локосовского месторождения (Ханты-Мансийского АО);
- нефть № 3 – нефть Самотлорского месторождения, пласт БВ7, скважина 39018/1391 (Ханты-Мансийского АО);
- нефть № 4 – нефть Самотлорского месторождения, пласт БВ8 (Ханты-Мансийского АО).

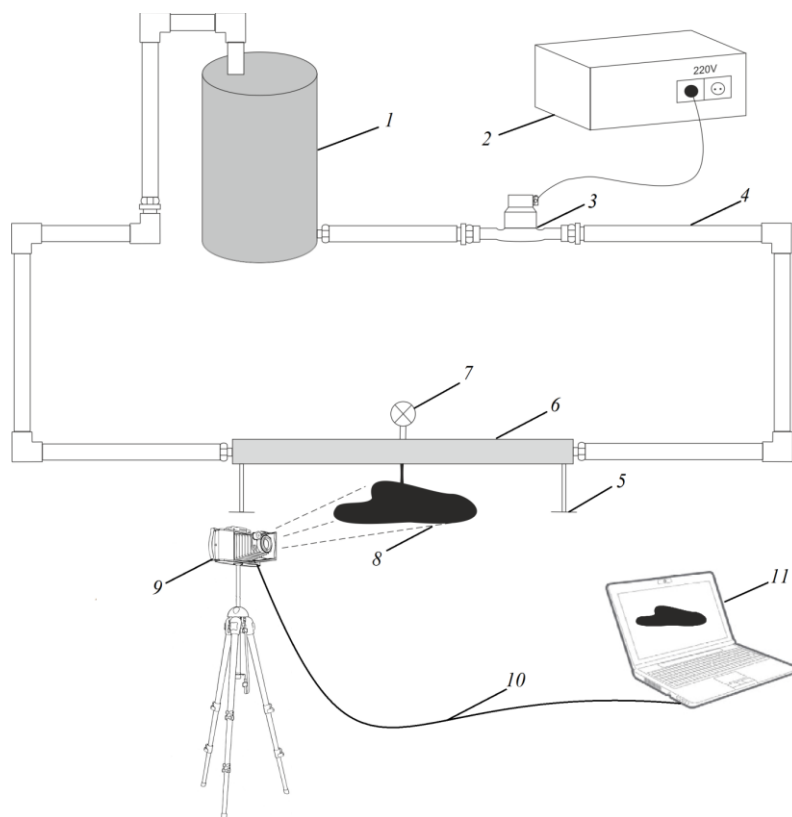


Рис. 3. Схема стенда модели технологического трубопровода для проведения полигонных исследований площади пролива нефти: 1 – ёмкость с исследуемой жидкостью ($V = 200 \text{ л}$); 2 – источник электроэнергии в полевых условиях (220 В); 3 – насос; 4 – подводящий трубопровод; 5 – регулируемые опоры для изменения высоты участка технологического трубопровода над поверхностью (три положения 80 мм , 60 мм и 40 мм); 6 – участок технологического трубопровода; 7 – манометр жидкостный; 8 – пятно пролившейся жидкости; 9 – фотоаппарат для получения изображения пятна пролива; 10 – USB-кабель; 11 – ноутбук

Площадь пролива нефти на полигоне были рассчитана по критерию Стьюдента, по которому проводился отсев грубых погрешностей измерений, который показал, что полученные данные могли быть использованы для дальнейшей обработки.

Для прогнозирования площади пролива нефти на реальных технологических трубопроводах использована формула:

$$F_{np} = 0,003 \cdot (\nu \cdot \tau) + 0,3 \cdot \frac{Q}{R_{\phi}},$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ – время истечения жидкости из аварийного отверстия в технологическом трубопроводе, с ;

Q – расход жидкости, вытекаемой из аварийного отверстия в технологическом трубопроводе, $\text{м}^3/\text{с}$;

R_{ϕ} – коэффициент фильтрации, $\text{м}/\text{с}$.

Коэффициент детерминации составил $0,944$.

Интервалы допустимых значений переменных представлены в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые значения переменных для расчёта площади пролива нефти

Переменная	Наименование переменной	Единица измерения	Интервал допустимых значений
ν ν	Кинематическая вязкость жидкости	m^2/c	3,25-14,09
τ	Время жидкости, вытекаемой из аварийного отверстия в технологическом трубопроводе	c	120-300
Q	Расход вытекаемой жидкости из аварийного отверстия в технологическом трубопроводе	m^3/c	не ограничен
R_{ϕ}	Коэффициент фильтрации	m/c	$23 \cdot 10^{-7}$ - $120 \cdot 10^{-7}$

Представленный метод определения площади пролива нефти позволил достоверно спрогнозировать возможные последствия аварийной ситуации при разгерметизации технологического трубопровода на объектах нефтегазового комплекса.

Литература

1. BP stats. Statistical Review of World Energy, 2015. 48 с.
2. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистических данных по пожарам, взрывам и аварийным выбросам опасных веществ на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2010-2014 гг. М.: Академия ГПС МЧС России.
3. Халиков В. Д., Кокорин В. В., Сатюков Р. С. Статистический анализ аварий на объектах нефтегазовой отрасли // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: сб. матер. междунар. конф. молодых учёных. Минск: УП "Промбытсервис", 2013. С. 74-77.
4. Халиков В. Д., Хафизов Ф. Ш. Расчётные методы определения площади пролива пожароопасных жидкостей // Сб. материалов 66-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: издательство УГНТУ, 2015. Кн. 1. С. 196-197.
5. Халиков В. Д., Кокорин В. В., Сатюков Р. С. Анализ способов определения площади разлившейся жидкости на горизонтальных поверхностях // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Вып. № 3. 2014. С. 42-46.
6. Исследование разлива нефтепродуктов при авариях технологических трубопроводов / Хафизов Ф. Ш., Халиков В. Д., Кокорин В. В., Халикова О. Д. // Нефтегазовое дело. № 3. 2014. С. 390-403.
7. Большая энциклопедия нефти (Локосовское месторождения). <http://www.ngpedia.ru/id144124p1.html>.
8. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики: учебник. М.: Финансы и Статистика, 2002. 480 с.

References

1. BP stats. Statistical Review of World Energy, 2015. 48 p.
2. Lebedeva M. I., Bogdanov A. V., Kolesnikov Ju. Ju. Analiticheskij obzor statisticheskikh dannyh po pozharam, vzryvam i avarijnym vybrosam opasnyh veshhestv na obektah neftepererabatyvajushhej i neftehimicheskoj promyshlennosti za 2010-2014 gg. (Analytical review of statistical data on fires, explosions and accidental releases of hazardous substances on objects of oil refining and petrochemical industry for 2010-2014). M.: Akademija GPS MChS Rossii.
3. Halikov V. D., Kokorin V. V., Satjukov R. S. Statisticheskij analiz avarij na obektah neftegazovoj otrasli (Statistical analysis of accidents at the oil and gas industry) // Preduprezhdenie i likvidacija chrezvychajnyh situacij: sb. mater. mezhdunar. konf. molodyh uchjonyh. Minsk: UP "Prombytservis", 2013. Pp. 74-77.
4. Halikov V. D., Hafizov F. Sh. Raschjotnye metody opredelenija ploshhadi proliva pozharoopasnyh zhidkostej (Calculation methods of determination of the area of the Strait of inflammable liquids) // Sb. materialov 66-j nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh UGNTU. Ufa: izdatel'stvo UGNTU, 2015. Kn. 1. Pp. 196-197.
5. Halikov V. D., Kokorin V. V., Satjukov R. S. Analiz sposobov opredelenija ploshhadi razlivshejsja zhidkosti na gorizont'al'nyh poverhnost'jah (Analysis of methods of determination of the area of the spilled liquid on horizontal surfaces) // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashhity. Vyp. № 3. 2014. Pp. 42-46.
6. Issledovanie razliva nefteproduktov pri avarijah tehnologicheskikh truboprovodov (Study of oil spill in case of accidents of industrial pipelines) / Hafizov F. Sh., Halikov V. D., Kokorin V. V., Halikova O. D. // Neftegazovoe delo. № 3. 2014. Pp. 390-403.
7. Bol'shaja jenciklopedija nefti (Lokosovskoe mestorozhdenija) (Big encyclopedia of oil. Lokosovski field). <http://www.ngpedia.ru/id144124p1.html>.
8. Eliseeva I. I., Juzbashev M. M. Obshhaja teorija statistiki (General theory of statistics): uchebnik. M.: Finansy i Statistika, 2002. 480 p.