DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-202-209
УДК 614.841.33

Ф.Ш. Хафизов, Д.Ю. Пережогин, А.В. Краснов, И.Ф. Хафизов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА НА ДИАМЕТР ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

F.Sh. Khafizov, D.Yu. Perezhogin, A.V. Krasnov, I.F. Khafizov
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INVESTIGATION OF HYDROCARBON COMPOSITION INFLUENCE ON STRAIT DIAMETER OF OIL PRODUCTS ON WATER SURFACE

Введение

Освоение и добыча углеводородов на морском шельфе в Мировом океане имеют уже довольно длительную историю. В настоящее время на акватории шельфа добывается примерно 35 % от общемирового объема добычи углеводородного сырья. Динамика роста нефтедобычи в море в настоящее время более чем в 5 раз превышает динамику роста добычи на суше.

Сооружение и эксплуатация морских платформ связаны с высокими рисками как техногенного, так и экономического характеров. Согласно данным World Offshore Accident Dataset (WOAD), ежегодно происходит более 200 инцидентов/аварий на морских платформах, или около 4 % аварий общего числа аварий на морских сооружениях в мире. Поскольку средняя стоимость буровых установок в море в 3-5 раза больше, чем на суше, то обеспечение их безопасности и анализ риска опасности для данного типа объектов является первостепенной задачей.

В настоящее время применение действующих методов анализа опасностей и оценки риска для морских буровых платформ затрудняется тем, что в них отсутствуют способы определения масштабов аварий на водной поверхности.

Background

The development and production of hydrocarbons on the sea shelf in the World Ocean have a long history. Currently, about 35 % of the world's hydrocarbon production is produced in the offshore area. The dynamics of the growth of oil production in the sea is now more than 5 times higher than the dynamics of the growth of production on land.

The construction and operation of offshore platforms are associated with high risks of both technogenic and economic characters. According to the World Offshore Accident Dataset (WOAD), more than 200 accidents on offshore platforms occur each year, or about 4 % of accidents in the total number of accidents at sea facilities in the world. Since the average cost of drilling rigs in the sea is 3-5 times greater than on land, ensuring their safety and analyzing the hazard risk for this type of facility is a priority.

Currently, the use of existing methods of hazard analysis and risk assessment for offshore drilling platforms is hindered by the fact that there are no methods for determining the extent of accidents on the water surface.

Неизученным остается вопрос оценки параметров пролива опасных веществ при их проливе на водную поверхность.

Цели и задачи

Исследование влияния углеводородного состава нефтепродуктов (на примере керосина ТС-1) на параметры пролива пожароопасных жидкостей при разливе на водную поверхность.

Методы

В работе использовались экспериментальные методы исследования, заключающиеся в наблюдении за поведением нефтепродуктов при их проливе на водную поверхность.

Результаты

Доказано ключевое влияние нафтеновых углеводородов на изменение площади пролива нефтепродуктов по водной поверхности.

The problem of estimating the parameters of the spill of hazardous substances during their passage to the water surface remains unexplored.

Aims and Objectives

Investigation of the influence of the hydrocarbon composition of petroleum products (on the example of kerosene TS-1) on the parameters of the spill of fire-hazardous liquids during spills on the water surface.

Methods

In the work, experimental research methods were used, which consisted in observing the behavior of petroleum products (on the kerosene TS-1 as an example) during their passage to the water surface.

Results

The key effect of naphthenic hydrocarbons on the change in the area of the oil spill across the water surface is proved.

Ключевые слова: пожарный риск, морская буровая платформа, пожар пролива, керосин, нафтеновые углеводороды, морской шельф

Key words: : fire risk, offshore drilling platform, fire strait, kerosene, naphthenic hydrocarbons, offshore

Освоение и добыча углеводородов на морском шельфе в Мировом океане имеют уже довольно длительную историю. В настоящее время на акватории шельфа добывается примерно 35 % от общемирового объема добычи углеводородного сырья. Динамика роста нефтедобычи в море в настоящее время более чем в 5 раз превышает динамику роста добычи на суше. К 2020 г. в балансе мира ожидается прирост морской добычи углеводородов до 65 % [1].

Более подробная динамика добычи нефти на морском шельфе, начиная с 1960 г., приведена на рисунке 1 [2, 3].

Перспективы освоения морского шельфа в нашей стране изложены в специальном документе «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» [4].

К 2030 г. Россия намерена добывать на своем Арктическом шельфе до 30 млн т нефти и 130 млрд м³ «голубого топлива».

Рисунок 1. Динамика мировой добычи нефти на морском шельфе

По программе первоочередными районами работ на шельфе России являются Обская и Тазовская губы, северо-восточный шельф Баренцева моря (район Штокмановского месторождения), шельф Печорского моря и Приамальский шельф.

Для реализации этой программы необходимо создание морской инфраструктуры, в состав которой входят морские платформы непосредственно для добычи полезных ископаемых [5-7].

В нашей стране ведутся крупномасштабные работы по сооружению морских платформ. Были реализованы крупные проекты морских сооружений: «Голубой поток», «Северный поток», Джубга - Лазаревское - Сочи, переходы через Байдарадскую губу, пролив Невельского, обустройство Киренского месторождения. В перспективе - расширение объектов «Голубой поток», «Северный поток», обустройство Штокмановского месторождения, освоение месторождений Арктики и Сахалина [8-11].

С увеличением масштабов добычи на морском шельфе остро встает вопрос обеспечения пожарной и промышленной безопасности морских сооружений.

Действующие методики анализа опасностей и оценки риска не позволяют определить площадь пролива пожароопасных жидкостей на водную поверхность, в связи с этим актуальным является изучение поведения нефтепродуктов при их разливе на водную поверхность [11, 12]. Для решения данного вопроса была создана лабораторная установка (рисунок 2).

Металлический поддон площадью 6 м² заполнялся водой, толщина слоя воды составляла 10-15 см. Скорость воздушного потока составляла не более 0,1 м/с (опыт проводился в замкнутом пространстве).

Измерения проводились сертифицированными инструментами: рулетка измерительная Р10Н2Г 2 класс точности, длина 10 м (сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.27.012.A № 52791, сертификат соответствия № 0035375), термометр жидкостной стеклянный технический ТТ и ТТ-В (сертификат соответствия № 0842634), мерная колба 50 мл (сертификат соответ-

ствия № 1345951). За диаметр пролива принималось усредненное значение, измеренное вдоль и поперек пятна разлившегося продукта. Для натурных испытаний были взяты следующие образцы: дизельное топливо (летнее), керосин ТС-1, бензин АИ-95.

Свойства испытываемых образцов приведены в таблице 1.

На поверхность воды производился пролив испытываемого образца. Температура образца 20 °С. Ежеминутно производилась фиксация геометрических параметров пролива с занесением показаний в протокол. Результаты опытов сведены в таблицу 2.

Результаты испытаний показали неоднородность разлития нефтепродуктов по водной поверхности. Чтобы оценить влияние углеводородного состава на параметры разлива по воде, был построен график (рисунок 3).

Кривая изменения содержания нефтяных углеводородов параллельна кривой изменения диаметра пятна нефтепродуктов по воде (рисунок 3), это говорит о том, что определяющее влияние на формирование пятна пролива нефтепродуктов на воде оказывает количественное содержание в их составе нефтяных углеводородов.

Для доказательства выведенного положения был проведен ряд опытов по изучению влияния нефтяных углеводородов на параметры пролива нефтепродуктов на водной поверхности. Опыты проводились с использованием лабораторных приборов и установок, описанных выше. В качестве испытываемых образцов взяты растворы керосина ТС-1 с циклогексаном (в количестве 3 %, 5 %, 7 %, 10 %, 12 % и 15 %), который является нефтяным углеводородом. По истечении 15 мин с момента разлития раствора керосина с циклогексаном на водную поверхность фиксировался диаметр пятна пролива. Для каждого испытываемого образца опыт повторялся 5 раз. Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 3.

Для наглядного доказательства влияния содержания нефтяных углеводородов на диаметр пролива нефтепродуктов по водной поверхности была построена диаграмма (рисунок 4).

1 - поддон; 4 - трубопровод подачи воды; 5 - перекрывной кран;
6 - трубопровод отвода использованной воды; 7 - заглушка

Рисунок 2. Схема лабораторной установки

Таблица 1. Свойства испытываемых образцов нефтепродуктов

Продукт	Свойства			
	Плотность	Состав		
		Парафины	Нафты	Ароматика
Керосин ТС-1	780	48,0	37,0	15,0
Бензин Аи-95	735	22,0	43,0	35,0
Дизельное топливо (летнее)	840	16,0	54,0	30,0

Таблица 2. Результаты пролива нефтепродуктов на водную поверхность

Время от начала эксперимента, мин	Диаметр пролива, см		
	Дизельное топливо (летнее)	Керосин	Бензин АИ-95
1	19	9	11
2	21	10	13
3	23	10	15
4	25	10	15,5
5	25,5	10	16
6	27	10	16
7	27	10	16
8	27	10	16
9	27	10	16
10	27	10	16
11	27	10	16
12	27	10	16
13	27	10	16
14	27	10	16
15	27	10	16

Рисунок 3. Исследование влияния углеводородного состава на диаметр пролива нефтепродуктов по воде

Таблица 3. Результаты пролива раствора керосина ТС-1 с циклогексаном на водной поверхности

Опыт	Образец						
	без примесей	3%	5 %	7 %	10 %	12 %	15 %
1	10,0	13,5	16,0	17,0	19,0	22,0	28,0
2	10,5	14,0	15,5	17,0	19,0	22,5	28,0
3	10,0	14,0	16,0	16,5	19,5	22,5	28,0
4	10,0	14,5	15,5	16,5	19,0	22,0	28,0
5	10,5	14,0	16,0	17,0	19,0	22,0	27,5
Среднее	10,2	14,0	15,8	16,8	19,1	22,2	27,9

Рисунок 4. Исследование влияния нафеновых углеводородов на диаметр пролива нефтепродуктов по воде

Вывод

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что при добавлении в керосин 5 % циклогексана диаметр пролива идентичен разливу чистого бензина АИ-95, а при добавлении 15 % циклогексана достигается результат, идентичный проливу

дизельного топлива. Следовательно, доказано ключевое влияние нефтяных углеводородов на площадь пролива нефтепродуктов по водной поверхности, а именно при повышении содержания нефтяных углеводородов происходит увеличение диаметра пролива нефтепродукта по воде.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030153> (дата обращения: 10.05.2017).
2. Courban V. Safety of Offshore Oil and Gas Operations: Lessons from Past Accident Analysis 2012 // European Commission. JRC Scientific and Policy Reports. 2012. P. 43-54.
3. Отчет ЭСПО по Nord Stream: Документ по основным вопросам безопасности на море [Электронный ресурс]. URL: <http://nord-stream.com/download/document/62> (дата обращения: 01.05.2017).
4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 г. № 144 «Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133801> (дата обращения: 10.05.2017).
5. Хафизов И.Ф., Краснов А.В., Сафронов Ю.А. Усовершенствование способа оценки величины пожарного риска магистрального трубопровода на примере ОАО АК «Транснефть» The Improvement of the Method of Estimation of Fire Risk Pipeline on the Example of OJSC «Transneft» // Нефтегазовое дело. 2014. № 6. С. 634-663. http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p634-663_KhafizovIF_ru_en.pdf.
6. Алексеев С.П., Добротворский А.Н., Яценко С.В. и др. О комплексной системе обеспечения безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений Сахалина // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана. 2005. № 1. С. 21-38.
7. Лисанов М.В., Савина А.В. и др. Аварийность на морских объектах нефтегазовых месторождений // Анализ опасностей и оценка техногенного риска [Электронный ресурс]. URL: http://riskprom.ru/publ/avarijnost_na_morskikh_truboprovodakh/34-1-0-129 (дата обращения: 10.05.2017).
8. Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 17.01.2015).

References

1. GOST R 51901.1-2002. Menedzhment riska. Analiz riska tekhnologicheskikh sistem [State Standard of Russia 51901.1-2002. Risk Management. Risk Analysis of Technological Systems] [Electronic Resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030153> (accessed: 10.05.2017). (in Russ.).
2. Courban V. Safety of Offshore Oil and Gas Operations: Lessons from Past Accident Analysis 2012. *European Commission. JRC Scientific and Policy reports*, 2012, pp. 43-54.
3. Otchet ESPO po Nord Stream: Dokument po osnovnym voprosam Bezopasnost' na more [ESPO Report on Nord Stream: A Basic Safety Matters Document at Sea]. [Electronic Resource]. URL: <http://nord-stream.com/download/document/62> (accessed: 01.05.2017). (in Russ.).
4. Prikaz Federal'noi sluzhby po ekologicheskemu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru ot 11.04.2016 g. № 144 «Rukovodstvo po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostei i otsenki riska avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh»» [Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision from 04/11/2016 No. 144 "Safety Guide" Methodological Basis for Conducting Hazard Analysis and Risk Assessment of Accidents at Hazardous Production Facilities"]. [Electronic Resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133801> (accessed: 10.05.2017). (in Russ.).
5. Khafizov I.F., Krasnov A.V., Safronov Yu.A. Usovershenstvovanie sposoba otsenki velichiny pozharnogo riska magistral'nogo truboprovoda na primere ОАО АК «Transneft» [The Improvement of the Method of Estimation of Fire Risk Pipeline on the Example of OJSC «Transneft»]. *Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business*, 2014, No. 6, pp. 634-663. http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p634-663_KhafizovIF_ru_en.pdf. (in Russ.).
6. Alekseev S.P., Dobrotvorskii A.N., Yatsenko S.V. i dr. O kompleksnoi sisteme obespecheniya bezopasnosti osvoeniya morskikh neftegazovykh mestorozhdenii Sakhalina [On the Integrated System for Ensuring the Safety of the Development of Offshore Oil and Gas Fields in Sakhalin]. *Morskie issledovaniya i tekhnologii izucheniya prirody Mirovogo okeana - Marine research and technologies for studying the nature of the World Ocean*, 2005, No. 1, pp. 21-38. (in Russ.).
7. Lisanov M.V., Savina A.V. e.a. Avariinost' na morskikh ob'ektakh neftegazovykh mestorozhdenii

9. Хафизов Ф.Ш., Краснов А.В., Мухин И.А. Частота реализации взрывоопасной ситуации для оценки риска внутри помещений // Электронный научно-технический журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 5. С. 573-585. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p573-585_KhafizovFSh_ru.pdf.

10. Хафизов И.Ф., Краснов А.В., Халитова Р.М. Основные причины аварий установок первичной переработки нефти и меры их предотвращения // Актуальные проблемы науки и техники - 2015: Материалы VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. 2015. С. 214-215.

11. Краснов А.В. Разработка методики определения расчетных величин пожарных рисков при взрывах сосудов под давлением: дисс. ... канд. техн. наук. 2013. 134 с.

12. The Brunei Shell Petroleum Homepage [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bsp.com.bn/main/default.aspx> (дата обращения: 12.05.2017).

[Emergency at Offshore Oil and Gas Fields]. *Analiz opasnostei i otsenka tekhnogennogo riska - Hazard Analysis and Technogenic Risk Assessment* [Electronic Resource]. URL: http://riskprom.ru/publ/avarijnost_na_morskikh_truboprovodakh/34-1-0-129 (accessed: 10.05.2017). (in Russ.).

8. *Prikaz MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh»* [Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia from 10.07.2009 No. 404 «On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities»]. [Electronic Resource]. URL: <http://base.garant.ru/196118/> (accessed: 17.01.2015). (in Russ.).

9. Khafizov F.Sh., Krasnov A.V., Mukhin I.A. Chastota realizatsii vzryvoopasnoi situatsii dlya otsenki riska vnutri pomeshchenii [Frequency Implementation Explosive Situation for Risk Assessment Indoors]. *Elektronnyi nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Neftgazovoe delo» - Electronic Scientific and Technical Journal «Oil and Gas Business»*, 2015, No. 5, pp. 573-585. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p573-585_KhafizovFSh_ru.pdf. (in Russ.).

10. Khafizov I.F., Krasnov A.V., Khalitova R.M. Osnovnye prichiny avarii ustanovok pervichnoi pererabotki nefti i mery ikh predotvrashchenii [The Main Causes of Accidents in Primary Oil Refineries and Their Prevention Measures]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy nauki i tekhniki - 2015»* [Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «Actual Problems of Science and Technology - 2015»]. 2015, pp. 214-215. (in Russ.).

11. Krasnov A.V. *Razrabotka metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnykh riskov pri vzryvakh sosudov pod davleniem: diss. ... kand. tekhn. nauk* [Development of Methods for Determining the Calculated Values of fire Risks in Explosions of Pressure Vessels. Cand. tech. sci. diss.]. 2013, 134 p. (in Russ.).

12. *The Brunei Shell Petroleum Homepage* [Electronic Resource]. URL: <https://www.bsp.com.bn/main/default.aspx> (accessed: 12.05.2017).

Авторы

• Хафизов Фаниль Шамильевич, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Пожарная и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Пинского, 4, каб. 308 а
e-mail: pkpb@mail.ru

The Authors

• Khafizov Fanil Sh., Doctor of Technical Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Fire and Industrial Safety Department
cab. 308 a, 4, M. Pinskogo str., Ufa, 450062, Russian Federation
e-mail: pkpb@mail.ru

• Пережогин Дмитрий Юрьевич
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант кафедры «Пожарная и промышленная
безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Пинского, 4
e-mail: ya.pdy2011@yandex.ru

• Perezhogin Dmitry Yu.
Ufa State Petroleum Technological University
Post-graduate Student of Fire and Industrial Safety
Department
4, M. Pinskogo str., Ufa, 450062, Russian Federation
e-mail: ya.pdy2011@yandex.ru

• Краснов Антон Валерьевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Пожарная и промышленная
безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Кольцевая, 3/1, каб. 108
e-mail: 00770088@mail.ru

• Krasnov Anton V., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Fire and Industrial Safety
Department
cab. 108, 3/1, Kolytsevaya str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: 00770088@mail.ru

• Хафизов Ильдар Фанилевич, д-р. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Пожарная и промышленная
безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Пинского, 4, каб. 403
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

• Khafizov Ildar F., Doctor of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Fire and Industrial Safety
Department
cab. 403, 4, M. Pinskogo str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru