

### УДК 614.841.41.002.71

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПОСЛЕ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕПРОВОДОВ

## RESEARCH OF FIRE AND HAZARDOUS SITUATIONS DEVELOPMENT AFTER OFFSHORE OIL PIPELINES FAILURE

В.И. Закирова, А.В. Краснов, А.А. Шарафутдинов, Ф.Ш. Хафизов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

> Veronika I. Zakirova, Anton V. Krasnov, Azat A. Sharafutdinov, Fanil Sh. Khafizov

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation e-mail: 00770088@mail.ru

**Аннотация.** Морские подводные нефтепроводы являются наименее изученным типом транспортной системы в Российской Федерации. Развитие добычи на морском шельфе увеличит протяженность морских нефтепроводов, что повысит опасность техногенных аварий. В то же время на морском шельфе проложено уже более 100 тысяч км подводных трубопроводов для перекачки нефти и других углеводородов.

Установлено, что наиболее часто возникающими пожароопасными ситуациями при аварийной разгерметизации технологического оборудования морской платформы являются пожар пролива и взрыв топливовоздушной смеси. Показана необходимость доработки действующих методов оценки индивидуального пожарного риска при оценке морских нефтепроводов.



Доказано, что при разгерметизации нефтепровода опасное вещество всплывает и образуется пятно пролива на водной поверхности. Определен коэффициент разлития нефти морского шельфа на водную поверхность. Определено смещение геометрического центра аварийного пролива, зависящее от диаметра всплывающих капель нефти и скорости подводного потока.

**Abstract.** Offshore oil pipelines are the least studied type of transport system in the Russian Federation. The development of offshore production will increase the length of offshore oil pipelines, which will increase the risk of industrial accidents. At the same time, more than 100,000 km of subsea pipelines have been laid on the sea shelf for pumping oil and other hydrocarbons.

It has been established that the most frequent fire hazard situations during emergency failure of the offshore platform technological equipment are a strait fire and an fuel-air mixture explosion. The necessity for improving the existing methods for assessing individual fire risk when assessing offshore oil pipelines is shown.

It is proved that during oil pipeline failure a hazardous substance emerges and a stain forms on the water surface. The coefficient of oil spill offshore on the water surface is determined. The displacement of the geometric center of the emergency strait was determined, depending on the diameter of the oil droplets and the speed of the underwater flow.

**Ключевые слова:** морской нефтепровод; пожар пролива; взрыв топливно-воздушной смеси; внешние факторы; пожароопасная ситуация

**Key words:** offshore oil pipeline; strait fire; explosion of fuel-air mixture; external factors; fire hazard situation

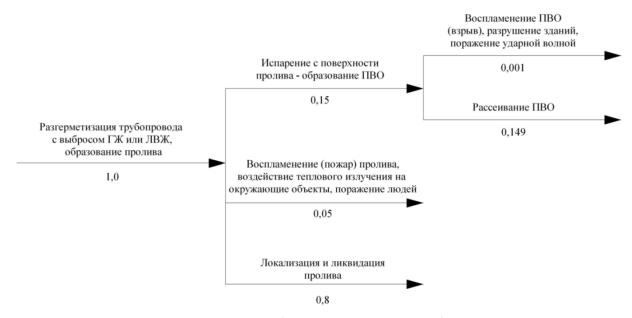


Морские подводные нефтепроводы являются наименее изученным типом транспортной системы в Российской Федерации. В то же время на морском шельфе проложено уже более 100 тысяч км подводных трубопроводов для перекачки нефти и других углеводородов. Сооружение и эксплуатация морских трубопроводов связано с высокими рисками как техногенного, так и экономического характера. Самая крупная авария случилась на плавучей полупогружной платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе. 20 апреля 2010 года платформа взорвалась и загорелась. Несмотря на попытки потушить пожар, она затонула 22 апреля на глубине 1500 м. На момент взрыва на борту находилось 126 человек. 115 человек было спасено, из которых 17 человек получили поражения различной степени тяжести. 11 человек пропали без вести и считаются погибшими. Объем выброса составил 4,9 млн баррелей. От разлива нефти пострадали все штаты США, имеющие выход к Мексиканскому заливу. Работы по заглушке скважины продолжались до 12 июля 2010 года [1].

Почти весь российский шельф располагается в холодных морях Северного Ледовитого океана и Охотского моря. Его протяженность у берегов России составляет 21 % от всего шельфа Мирового океана. Около 70 % его площади перспективны с точки зрения наличия полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа [2].

Анализ опасностей методом «дерева событий» показывает, что при разгерметизации морского трубопровода с дальнейшим выходом опасного вещества в виде горючей или легковоспламеняющейся жидкости наиболее вероятным пожароопасным сценарием является пожар пролива. Кроме пожара пролива, возможен взрыв вторичного облака топливовоздушной смеси, образованной в результате испарений углеводородов с поверхности пролива [3].





**Рисунок 1.** «Дерево событий» морского нефтепровода

Имеющийся опыт наблюдения за истечением жидкости из различных типов отверстий дает основание считать, что первоначально вытекающая через свищ нефть имеет форму струи, на некотором расстоянии распадающейся на отдельные капли (при малых интенсивностях утечек капли будут образовываться сразу же на свище). Образовавшиеся нефтяные капли начнут постепенно всплывать к поверхности моря, так как плотность нефти существенно меньше плотности морской воды.

Скорость всплытия нефтяных капель зависит, среди прочего, от их размеров, поэтому по мере всплытия нефтяные капли будут разделяться по размерам, образуя кластеры (пятна) близких по размеру капель. Разделение кластеров в пространстве будет осуществляться также под действием течения, вследствие чего капли различных размеров будут в различной степени сноситься течением в горизонтальной плоскости. Однако основная масса нефтяных капель со средним и близким к среднему размерами формируют шлейф, поднимающийся к поверхности моря, подобно струе дыма. Именно этот объект — протяженный шлейф нефтяных капель — представляет интерес с точки зрения оценки величин пожарного риска. Основными характеристиками такого объекта являются размеры нефтяных



капель, расстояние между ними, вертикальные и горизонтальные размеры шлейфа.

Интенсивность истечения нефти через свищ можно оценить, используя известные методы гидравлики для истечения через затопленное отверстие, причем при малых размерах свища его канал в стенке трубы рассматривался как цилиндрический насадок [2]. Размеры вытекающих капель нефти зависят от размеров свища и условий истекания. При малых утечках размер капли определяется балансом плавучести капли и удерживающего ее поверхностного натяжения по периметру отверстия свища. С ростом перепада давления отрыв капель происходит быстрее, их размеры несколько уменьшаются, а затем происходит переход к струйному режиму истечения нефти.

Сопоставляя интенсивность истечения нефти и размеры всплывающих капель, а также учитывая скорость их всплытия, можно оценить среднее расстояние между каплями.

Для оценки скорости всплытия капель нефти целесообразно использовать аппроксимирующие степенные зависимости, полученные:

$$W = 0.132 \cdot \left( g \frac{\gamma_W - \gamma_0}{\gamma_W} \right)^{0.75} \cdot \nu_W \cdot d^{1.25}, \tag{1}$$

$$W = 1,22 \cdot \left( g \frac{\gamma_W - \gamma_0}{\gamma_W} \right)^{0.5} \cdot d^{0.5}, \tag{2}$$

где g – ускорение свободного падения, 9,81 м/ $c^2$ ;

 $\gamma_{\rm W}$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

 $\gamma_0$  – плотность нефти, кг/м<sup>3</sup>;

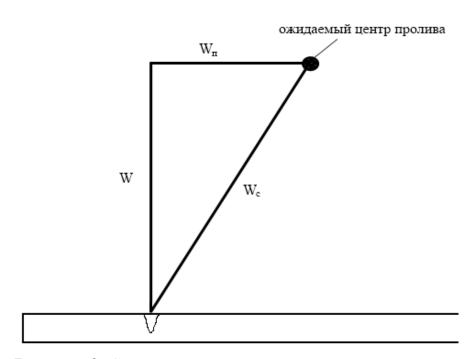
 $v_W$  – кинематическая вязкость воды,  $M^2/c$ ;

d – эффективный диаметр капли нефти, м.

Выражение (1) применимо для капель нефти диаметром d < 2,2 мм, а второе – для более крупных.



При оценке пожара пролива всплывших капель нефтепродукта имеется проблема, в настоящее время не применяются поправки на подводные течения, которые способствуют смещению геометрического центра аварии. Последующая оценка опасных факторов пожара пролива при данных обстоятельствам может быть не точной. Смещение центра пролива можно представить схематично (рисунок 2).



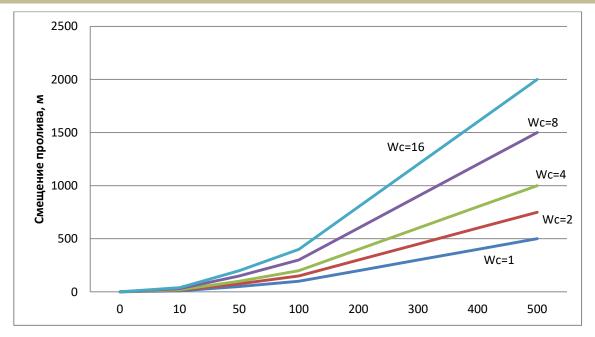
**Рисунок 2.** Смещение геометрического центра пролива при разгерметизации морского нефтепровода

При скорости подъема капель нефти W, имеющемся значении скорости течения водных потоков  $W_\Pi$  по теореме Пифагора можем найти скорость смещения пролива  $W_C$  по формуле:

$$W_C = \sqrt{W^2 + W_{II}^2} \ . \tag{3}$$

Для различной глубины прокладки морского нефтепровода была построена номограмма (рисунок 3) оценки расстояния смещения геометрического центра пролива.





**Рисунок 3.** Номограмма оценки расстояния смещения геометрического центра пролива при разгерметизации морских нефтепроводов

Разработанная номограмма позволяет оценить расстояние смещения геометрического центра пролива при разгерметизации морских подводных нефтепроводов в зависимости от глубины погружения трубопровода, а также скорости смещения, которая зависит от диаметра капель нефти и скорости подводного течения.

Для апробации выраженного коэффициента пролива нефти на водную поверхность, а также номограммы оценки геометрического центра пролива был произведен расчет пожарного риска. В качестве объекта взят морской подводный нефтепровод, расположенный в российском секторе северной мелководной части Каспийского моря, в 170 км южнее г. Астрахани, в 50 км восточнее о. Малый Жемчужный и в 120 км северо-восточнее о. Тюлений. Расстояние до ближайшей береговой линии: в западном направлении – 140 км; в восточном направлении (берег о. Кулалы) – 88 км.

Дно Северного Каспия в районе прокладки трубопровода к северозападному побережью представляет пологоволнистую поверхность, расчлененную волнообразными формами поднятия дна высотой 3—4 м (банки) с выходом на поверхность (острова). Подъем дна к берегу имеет уклоны от 0,0001 до 0,001. Запланировано строительство 57-километрового подводного



нефтепровода диаметром 325 мм для транспортировки нефти от добывающей платформы (ЛСП-1) до точечного причала (ТП), являющегося частью плавучего нефтехранилища (ПНХ), обеспечивающего прием, хранение и отгрузку нефти на танкеры-челноки [4, 5].

Конструкция нефтепровода принята из стальных бесшовных труб диаметром 325 мм (ГОСТ 8732-78\*) без теплоизоляции и с наружной антикоррозионной защитой. Нефть не содержит сероводорода, поэтому используется углеродистая сталь. Принята не заглубленная конструктивная схема прокладки нефтепровода на дне моря.

В таблице 1 приведены максимальные массы разлития нефти при разгерметизации различных участков межпромыслового нефтепровода, рассчитанные согласно Приказу РТН от 16.09.2015 № 364 «Об утверждении руководства по безопасности. Методика анализа риска аварий на ОПО морского нефтегазового комплекса» [6], для участка в зоне Северного Каспия от ледостойкой стационарной платформы до точечного причала [3].

**Таблица 1.** Максимальные массы разлива нефти при разгерметизации различных участков нефтепровода

Параметр	Значение
Диаметр, мм	325 x 16
Длина нефтепровода, км	57,86
Длина участка истечения, км	57,86
Объем участка истечения, м <sup>3</sup>	3901,2
Максимальная производительность перекачки, м <sup>3</sup> /ч	317,55
	(2256 тыс. т/год)
При разрыве (полная разгерметизация)	
Время истечения в напорном режиме, ч	6
Объем вытекшего нефтепродукта в напорном	476,3
режиме, м	
Максимальный объем разлива, м <sup>3</sup>	437,5
При проколе	
Время истечения до обнаружения, ч	336 (14 сут)
Максимальный объем разлива, м	2134
Максимально возможный разлив на трубопроводе	4377,5
(при прорыве или проколе), м <sup>3</sup> (кг)	(3500)



Таким образом, максимальный объем разлива на нефтепроводе транспорта товарной нефти составит 4,38 тыс. м<sup>3</sup> (3,5 тыс. т) нефти. Данные величины можно принять как верхнюю границу возможного разлива нефти, так как рационально рассмотреть наиболее опасный пожароопасный сценарий, а также в расчете не в полной мере учтены профиль трассы, время остановки перекачки и срабатывания задвижек.

Используя выведенный коэффициент пролива нефти на водную поверхность, найдем площадь пролива по формуле:

$$S = V \cdot f \,, \tag{4}$$

где f — коэффициент разлития нефти на водную поверхность, м, равен 180 м-1;

V – объем разлитой на водную поверхность пожароопасной жидкости, м.

При обрисовке полей опасных факторов аварийных сценариев  $C_1$  и  $C_2$  решено рассмотреть наиболее опасный вид аварии, когда геометрический центр пролива будет находиться вблизи морской буровой платформы [7, 8].

Для расчета смещения геометрического центра пролива было принято, что диаметр капель нефти составляет 18 мм, глубина погружения нефтепровода 430 м, скорость подводного течения 2 м/с (циркуляция вод в Каспийском море связана с водостоком и ветрами. Поскольку большая часть водостока приходится на Северный Каспий, в районе аварии преобладают северные течения) [9–11].

$$W = 1,22 \cdot \left( g \frac{\gamma_W - \gamma_0}{\gamma_W} \right)^{0.5} \cdot d^{0.5} = 1,22 \cdot \left( 9,81 \frac{1030 - 934}{1030} \right)^{0.5} \cdot \sqrt{0,018} = 0,15 \, \text{m/c}$$

$$W_C = \sqrt{2^2 + 0,15^2} \approx 2 \, \text{m/c}$$

Из номограммы (рисунок 5) при скорости смещения  $W_{\rm C} = 2$  м/с находим, что геометрический центр пролива сместиться на расстояние 680 м.



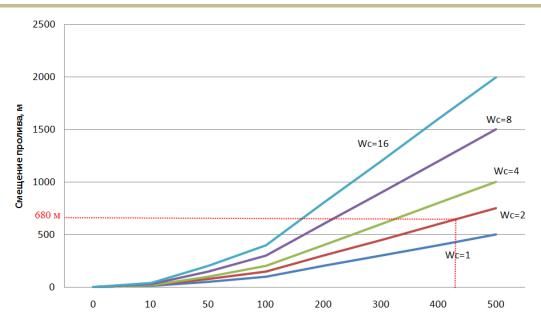


Рисунок 5. Оценка смещения геометрического центра пролива

Поля опасных факторов пожара пролива для случая со смещением геометрического пролива и при стандартных условиях приведены на рисунке 6.

Поля опасных факторов взрыва вторичного облака топливовоздушной смеси для случая со смещением геометрического пролива и при стандартных условиях приведены на рисунке 7.

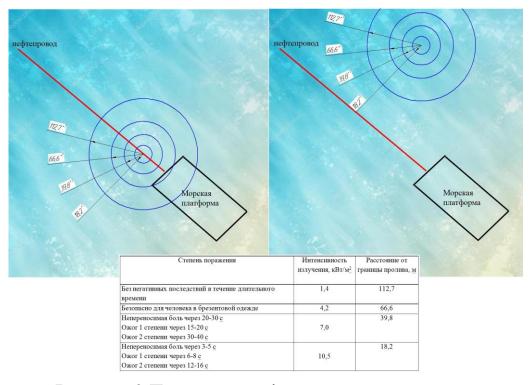


Рисунок 6. Поля опасных факторов пожара пролива



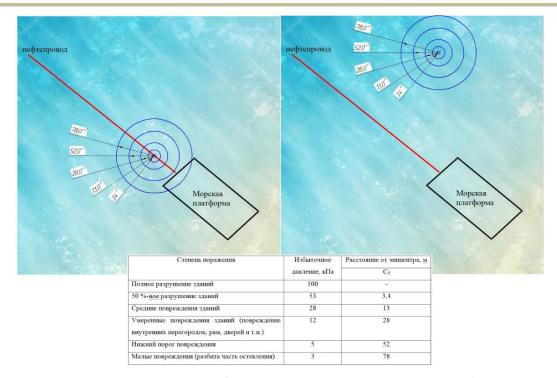


Рисунок 7. Поля опасных факторов взрыва вторичного облака ТВС

Из анализа рисунков 6 и 7 можно сделать вывод, что ориентация платформы в южной стороне света позволяет обезопасить персонал морской платформы от опасных факторов пожароопасных ситуаций на морском нефтепроводе.

#### Выводы

Установлено, что наиболее часто возникающими пожароопасными ситуациями при аварийной разгерметизации технологического оборудования морской платформы являются пожар пролива и взрыв топливовоздушной смеси. Для различных диаметров морских подводных нефтепроводов определены частоты возникновения данных пожаровзрывоопасных ситуаций. Показана необходимость доработки действующих методов оценки индивидуального пожарного риска при оценке морских нефтепроводов.

Для оценки риска без учета подводного течения (смещения геометрического центра аварии) значение индивидуального риска превышает значения одной миллионной в год, а значит, для обеспечения



пожарной безопасности производственного объекта необходимы дополнительные инженерно-технические мероприятия и мероприятия по оповещению людей, попадающих в радиус действия опасных факторов пожароопасных ситуаций.

## Список используемых источников

- 1. Хафизов И.Ф., Пережогин Д.Ю., Краснов А.В., Султанов Р.М., Бутович В.И. Частота возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на морских буровых платформах // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 5. С. 171-190.
- 2. Дмитриевский А.Н., Забанбарк А.В. Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов акваторий морей и океанов // Труды Пятой междунар. конф. «Освоение шельфа арктических морей России». СПб.: 2001. С. 26-27.
- 3. Попова Е.В., Абуталипова Е.М., Сунгатуллин И.Р., Хафизов И.Ф. Классификация взрывопожароопасных объектов газового промысла // Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: матер. Всеросс. науч.-техн. конф.с междунар. участ. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 382-384.
- 4. Ременников В.Б. Управленческие решения. М.: МИЭМП, 2010. 141 с.
- 5. Устюжанина А.Ю., Галкина А.А., Фукалов Д.С., Шарафутдинов А.А., Хайретдинов И.А., Хафизов И.Ф. Разработка и создание веб-приложения по моделированию чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 210-218.



- 6. Алексеев С.П., Добротворский А.Н., Яценко С.В. О комплексной системе обеспечения безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений Сахалина // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана: сб. ст. / Отв. ред. выпуска В.Н. Храмушин. Владивосток: ДВО РАН, 2005. Выпуск 1. С. 21-38.
- 7. Краснов А.В., Рахматуллина Э.Ф. Разработка зависимости по определению площади пролива горючих жидкостей // Роль математики в становлении специалиста: матер. Всеросс. науч.-метод. конф. Уфа: УГНТУ, 2016. С. 46-48.
- 8. Габбасова А.И., Передерей О.И., Шарафутдинов А.А. Решение пожарно-тактических задач с использованием компьютерных тренажерных систем // Актуальные проблемы науки и техники: матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 209-210.
- 9. Приказ РТН № 159. Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». URL: http://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150720-110609.pdf (дата обращения: 01.04.2019).
- 10. Приказ Ростехнадзора № 188. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». URL: http://docs.cntd.ru/document/420283079 (дата обращения: 01.04.2019).
- 11. Хафизов И.Ф., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И., Шарафутдинов А.А. Модель обучаемого в имитационных тренажерных комплексах для обучения оперативного персонала объектов нефтегазового сектора // Современные технологии в нефтегазовом деле: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Уфа: УГНТУ, 2016. С. 369-374.



#### References

- 1. Khafizov I.F., Perezhogin D.Yu., Krasnov A.V., Sultanov R.M., Butovich V.I. Chastota vozniknoveniya pozharovzryvoopasnykh situatsii na morskikh burovykh platformakh [The Incidence of Fire and Explosion Hazard Situations on Offshore Drilling Platforms]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2017, No. 5, pp. 171-190. [in Russian].
- 2. Dmitrievskii A.N., Zabanbark A.V. Perspektivy osvoeniya neftegazovykh resursov akvatorii morei i okeanov [Prospects of Development of Oil and Gas Resources of Seas and Oceans]. *Trudy Pyatoi mezhdunarodnoi konferentsii «Osvoenie shel'fa arkticheskikh morei Rossii»* [Proceedings of the Fifth International Conference «Development of the Shelf of the Arctic Seas of Russia»]. Saint-Petersburg, 2001, pp. 26-27. [in Russian].
- 3. Popova E.V., Abutalipova E.M., Sungatullin I.R., Khafizov I.F. Klassifikatsiya vzryvopozharoopasnykh ob"ektov gazovogo promysla [Classification of Explosion and Fire Hazardous Objects of Gas Field]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v tekhnicheskikh naukakh v usloviyakh perekhoda predpriyatii na importozameshchenie»* [Materials of the all-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation «Fundamental and Applied Research in Technical Sciences in the Transition of Enterprises to Import Substitution»]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 382-384. [in Russian].
- 4. Remennikov, V.B. *Upravlencheskie resheniya* [Management Decision]. Moscow, MIEMP Publ., 2010. 141 p. [in Russian].



- 5. Ustyuzhanina A.Yu., Galkina A.A., Fukalov D.S., Sharafutdinov A.A., Khairetdinov I.A., Khafizov I.F. Razrabotka i sozdanie veb-prilozheniya po modelirovaniyu chrezvychainykh situatsii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh neftegazovogo kompleksa [Development and Creation of a Web Application with Modeling of Emergency Situations on Hazardous Production Facilities of an Oil and Gas Complex]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 210-218. [in Russian].
- 6. Alekseev S.P., Dobrotvorskii A.N., Yatsenko S.V. O kompleksnoi sisteme obespecheniya bezopasnosti osvoeniya morskikh neftegazovykh mestorozhdenii Sakhalina [About Complex System of Ensuring Safety of Development of Sea Oil and Gas Fields of Sakhalin]. *Sbornik statei «Morskie issledovaniya i tekhnologii izucheniya prirody Mirovogo okeana»* [Collection of Articles «Marine Researches and Technique of Ocean Studies»]. Managing Ed. V.N. Khramushin. Vladivostok, DVO RAN Publ., 2005, Issue 1, pp. 21-38. [in Russian].
- 7. Krasnov A.V., Rakhmatullina E.F. Razrabotka zavisimosti po opredeleniyu ploshchadi proliva goryuchikh zhidkostei [Development of the Dependence on the Determination of the Area of the Strait of Flammable Liquids]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Rol' matematiki v stanovlenii spetsialista»* [Materials of the all-Russian Scientific-Methodical Conference «The Role of Mathematics in the Formation of a Specialist»]. Ufa, UGNTU Publ., 2016, pp. 46-48. [in Russian].
- 8. Gabbasova A.I., Perederei O.I., Sharafutdinov A.A. Reshenie pozharnotakticheskikh zadach s ispol'zovaniem komp'yuternykh trenazhernykh sistem [Solution of Fire-Tactical Tasks with the Use of Computer Training Systems]. *Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh Aktual'nye problemy nauki i tekhniki* [Materials of VIII International Scientific-Practical Conference of Young Scientists «Actual Problems of Science and Technology»]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 209-210. [in Russian].



- 9. Prikaz RTN № 159. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodika otsenki posledstvii avariinykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesei» [RTN Order No. 159. About the Approval of the Manual on Safety «The Technique of an Assessment of Consequences of Emergency Explosions of Fuel and Air Mixes»]. URL: http://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150720-110609.pdf (accessed 01.04.2019). [in Russian].
- 10. Prikaz Rostekhnadzora № 188. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostei i otsenki riska avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh» [Rostekhnadzor Order No. 188. About the Approval of the Manual on Safety «Methodical Bases on Carrying out the Analysis of Dangers and an Assessment of Risk of Accidents at Dangerous Production Facilities»]. URL: http://docs.cntd.ru/document/420283079 (accessed 01.04.2019). [in Russian].
- 11. Khafizov I.F., Kudryavtsev A.A., Shevchenko D.I., Sharafutdinov A.A. Model' obuchaemogo v imitatsionnykh trenazhernykh kompleksakh dlya obucheniya operativnogo personala ob"ektov neftegazovogo sektora [The Student Model in the Simulation and Training Complexes for Training of Operating Personnel the Oil and Gas Sector]. Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele» [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Oil and Gas»]. Ufa, UGNTU, 2016, pp. 369-374. [in Russian].

#### Сведения об авторах

#### **About the authors**

Закирова Вероника Игоревна, магистрант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Veronika I. Zakirova, Undergraduate Student of the Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: veronika\_zakirova@bk.ru



Краснов Антон Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anton V. Krasnov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation e-mail: 00770088@mail.ru

Шарафутдинов Азат Амирзагитович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Azat A. Sharafutdinov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: azat\_sharaf@mail.ru

Хафизов Фаниль Шамильевич, д-р теху. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Fanil Sh. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: fanil150656@mail.ru