

Управление в организационных системах (2.3.4. технические науки)

Научная статья
УДК 624.131.8
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.37.63.002

Алгоритм оценки временных показателей локализации разлива нефти и нефтепродуктов на суше для руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации

Александр Юрьевич Лебедев

Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, Россия

Автор ответственный за переписку: Александр Юрьевич Лебедев, a.lebedev@amchs.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности и порядок локализации разлива нефти и нефтепродуктов на территории. Предложен алгоритм расчета временных показателей локализации разлива для руководителя ликвидации чрезвычайных ситуации. В рамках алгоритма приведено прогнозирование зон разлива нефтепродуктов с учетом характеристик местности.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, локализация разлива, площадь разлива, время локализации разлива

Для цитирования: Лебедев А.Ю. Алгоритм оценки временных показателей локализации разлива нефти и нефтепродуктов на суше для руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации// Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 42-50. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.37.63.002>.

ALGORITHM FOR ESTIMATING THE TIME INDICATORS OF LOCALIZATION OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS SPILL ON LAND FOR THE EMERGENCY RESPONSE MANAGER

Alexander Yu. Lebedev

Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia

Corresponding author: Alexander Yu. Lebedev, a.lebedev@amchs.ru.

Abstract. The features and procedure of localization of oil and oil products spill on the territory are considered. An algorithm for calculating the time indicators of spill localization for the head of the liquidation of a fraught situation is proposed. Within the framework of the algorithm, the prediction of oil spill zones is given taking into account the characteristics of the terrain.

Keywords: oil, petroleum products, spill localization, spill area, spill localization time

For citation: Lebedev A.Yu. Algorithm for estimating the time indicators of localization of oil and petroleum products spill on land for the emergency response manager// Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023;2(29): 42-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.37.63.002>.

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с локализацией и ликвидацией аварий с проливом нефти и нефтепродуктов (далее – Н(НП)) на территории и акватории. Причиной этого являются аварийные ситуации на транспорте, объектах промышленности, приводящие к значительному ущербу, серьезному загрязнению окружающей среды. Ярким примером является разгерметизация резервуара с последующим проливом 21 тыс. тонн дизельного топлива 29 мая 2020 г. в Красноярском крае на территории Норильской ТЭЦ-3. Зона разлива нефтепродукта вышла за пределы промышленной зоны предприятия, более 6 тыс. т. нефтепродукта впиталось в грунт, 15 тыс. т. попало в реку Далдыкан. Общий ущерб составил более 148 миллиардов рублей [1].

Рассматриваемая чрезвычайная ситуация (далее – ЧС) послужила толчком к серьезной корректировке нормативной правовой базы в Российской Федерации (далее – РФ). Значительная часть документов, регулировавшая проблему предупреждения и ликвидации разливов Н(НП), была отменена. В 2020 г. вышло постановление Правительства РФ №2451 от 31.12.2020 [2], которое и определило порядок организации мероприятий в этой области на территории РФ.

Постановка задачи

Локализация разлива Н(НП) (далее – ЛРН(НП)) представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на ограничение их распространения на поверхности грунта, за счет установки заграждений, проведения земляных работ или специальных средств. Время локализации разлива на сухопутной части нормировано и составляет не более 6 часов [2].

В связи с этим возникает задача определения руководителем ликвидации ЧС времени ЛРН(НП) с учетом имеющихся в наличии сил и средств введенных ограничений. Решение данной задачи является особенно важным при планировании мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов Н(НП).

Решение

Представим процесс определения временных показателей ЛРН(НП) в виде следующего алгоритма (Рис.1).

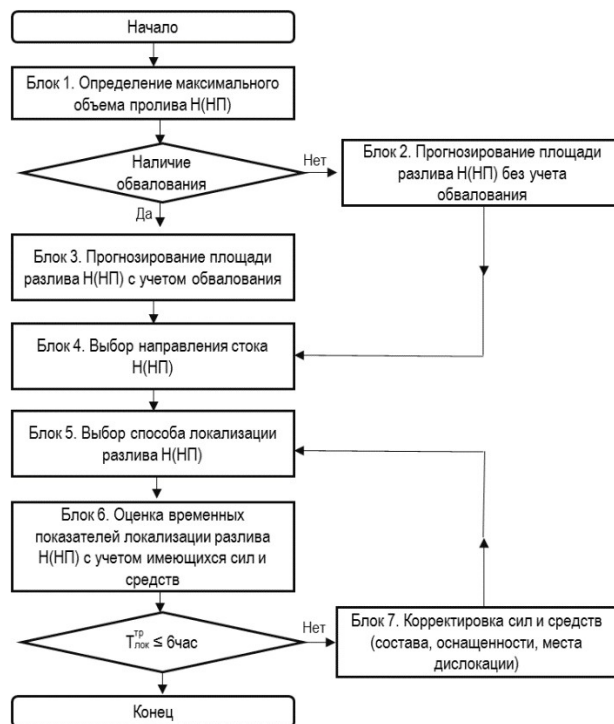


Рис.1. Алгоритм реализации мероприятий по оценке временных показателей ЛРН(НП) руководителем ликвидации ЧС

Рассмотрим основные элементы представленного выше алгоритма.

Блок 1. Определение максимального объема разлива (V_{max}) осуществляется методом анализа всех имеющихся возможных источников разлива Н(НП). При этом учитываются ограничения, предусмотренные п.7 [2]. Как правило, наибольшую опасность с точки зрения максимального разлива Н(НП) представляет резервуарный парк, но нельзя исключать и такие источники возможных разливов как: железнодорожные цистерны (состав), трубопроводы, скважины и др. Выбор V_{max} необходим для определения наихудшего сценария развития ситуации, который потребует максимального привлечения ресурсов (имеющихся сил и средств).

Блок 2. Прогнозирование площади возможного разлива Н(НП) осуществляется с применением различных методик [3,4].

Площадь зоны разлива Н(НП) из резервуара (S_p , м²) определяется выражением (1) [3]:

$$S_p = K_{мест} V_p, \quad (1)$$

где: $K_{мест}$ — коэффициент, учитывающий характер местности, на которой расположен резервуар (5 – не спланированный грунт, 20 – спланированный грунт, 150 – бетонное (асфальтное) покрытие), м⁻¹;

V_p — объем резервуара, м³.

Блок 4. При расположении резервуара в низине или на ровной поверхности зона разлива представляет собой окружность, радиус которой определяется как максимальное расстояние разлива от центра резервуара. Результаты расчета характеристик зон разлива Н(НП) для типовых наземных резервуаров приведены в таблице 1.

Табл.1. Результаты расчета зон пролива Н(НП) для типовых наземных резервуаров, расположенных на ровной поверхности или в низине (форма разлива – окружность)

№ п/п	Вид резервуара	Номинальный объем резервуара, м ³	Характеристики зоны разлива Н(НП) для различных условий местности					
			$K_{мест}=5$		$K_{мест}=20$		$K_{мест}=150$	
			S_p , м ²	R_p , м	S_p , м ²	R_p , м	S_p , м ²	R_p , м
1	РВС-100	100	500	12,62	2000	25,24	15000	69,12
2	РВС-200	200	1000	17,85	4000	35,69	30000	97,75
3	РВС-300	300	1500	21,86	6000	43,71	45000	119,71
4	РВС-400	400	2000	25,24	8000	50,48	60000	138,23
5	РВС-700	700	3500	33,39	14000	66,77	105000	182,86
6	РВС-1000	1000	5000	39,90	20000	79,81	150000	218,57
7	РВС-2000	2000	10000	56,43	40000	112,87	300000	309,10
8	РВС-3000	3000	15000	69,12	60000	138,23	450000	378,57
9	РВС-5000	5000	25000	89,23	100000	178,46	750000	488,73

При расположении резервуара на возвышенности (уклон > 1%) зона разлива представляет собой эллипс, форму которого характеризуют большая (б) и малая оси (а). Большая ось эллипса определяется от центра резервуара.

Значения осей эллипса определяются выражениями (2, 3) [4]:

$$b = \sqrt{\frac{K_{укл} S_p}{\pi}}, \quad (2)$$

$$a = \frac{4S_p}{\pi b}, \quad (3)$$

где: $K_{укл}$ - коэффициент уклона местности: 8 - уклон 1-3%; 16 - уклон более 3% [4].

В таблицах 2,3 приведены результаты расчета характеристик зон разлива Н(НП) для типовых наземных резервуаров при их расположении на возвышенности при различных уклонах местности и видах подстилающей поверхности.

Табл.2. Результаты расчета зон разлива Н(НП) для типовых наземных резервуаров при уклоне местности 1-3% (форма разлива – эллипс)

№ п/п	Вид резервуара	Характеристики зоны разлива Н(НП) для различных условий местности								
		К _{мест} =5			К _{мест} =20			К _{мест} =150		
		Sp, м ²	a, м	b, м	Sp, м ²	a, м	b, м	Sp, м ²	a, м	b, м
1	PBC-100	500	17,85	35,69	2000	35,69	71,38	15000	97,75	195,49
2	PBC-200	1000	25,24	50,48	4000	50,48	100,95	30000	138,23	276,47
3	PBC-300	1500	30,91	61,82	6000	61,82	123,64	45000	169,30	338,60
4	PBC-400	2000	35,69	71,38	8000	71,38	142,77	60000	195,49	390,98
5	PBC-700	3500	47,22	94,43	14000	94,43	188,86	105000	258,61	517,22
6	PBC-1000	5000	56,43	112,87	20000	112,87	225,73	150000	309,10	618,20
7	PBC-2000	10000	79,81	159,62	40000	159,62	319,23	300000	437,13	874,26
8	PBC-3000	15000	97,75	195,49	60000	195,49	390,98	450000	535,37	1070,75
9	PBC-5000	25000	126,19	252,38	100000	252,38	504,75	750000	691,16	1382,33

Табл.3. Результаты расчета зон разлива Н(НП) для типовых наземных резервуаров при уклоне местности более 3% (форма разлива – эллипс)

№ п/п	Вид резервуара	Характеристики зоны разлива Н(НП) для различных условий местности								
		К _{мест} =5			К _{мест} =20			К _{мест} =150		
		Sp, м ²	a, м	b, м	Sp, м ²	a, м	b, м	Sp, м ²	a, м	b, м
1	PBC-100	500	12,62	50,48	2000	25,24	100,95	15000	69,12	276,47
2	PBC-200	1000	17,85	71,38	4000	35,69	142,77	30000	97,75	390,98
3	PBC-300	1500	21,86	87,43	6000	43,71	174,85	45000	119,71	478,85
4	PBC-400	2000	25,24	100,95	8000	50,48	201,90	60000	138,23	552,93
5	PBC-700	3500	33,39	133,55	14000	66,77	267,09	105000	182,86	731,46
6	PBC-1000	5000	39,90	159,62	20000	79,81	319,23	150000	218,57	874,26
7	PBC-2000	10000	56,43	225,73	40000	112,87	451,47	300000	309,10	1236,39
8	PBC-3000	15000	69,12	276,47	60000	138,23	552,93	450000	378,57	1514,26
9	PBC-5000	25000	89,23	356,92	100000	178,46	713,83	750000	488,73	1954,91

Блок 3. При наличии обвалования возможно два сценария развития событий. Первый – при разгерметизации резервуара Н(НП) заполняют объем обвалования и не выходят за его пределы. Такая ситуация возможна при частичной разгерметизации резервуара и постепенном заполнении объема обвалования.

Во втором случае возможно квазимгновенное разрушение резервуара (далее – КМРР) с практически одномоментным проливом всей хранившейся там жидкости. На Рис.2 показана картина движения Н(НП) в обваловании резервуара при КМРР. При КМРР высока вероятность перелива Н(НП) через обвалование.

Массовая доля Н(НП) $Q(\%)$, перелившейся через обвалование к моменту времени, определяется с помощью выражения (3) [3]:

$$Q = 100 \times \frac{\int_0^T U_N (h_N - a) dt}{h_0 R}, \quad (3)$$

где: U_N - средняя по высоте скорость движения столба Н(НП) при $x = b$, м/с;

h_N - высота столба Н(НП) при $x = b$, м;

h_0 - начальная высота столба Н(НП) в резервуаре, м;

R - ширина резервуара, м;

a – высота обвалования.

График расчетной и экспериментальной зависимостей массовой доли перелившейся через обвалование Н(НП) Q от параметра a/h_0 представлен на Рис.3 [3].



Рис.2. Процесс движения Н(НП) в обваловании резервуара при КМРР

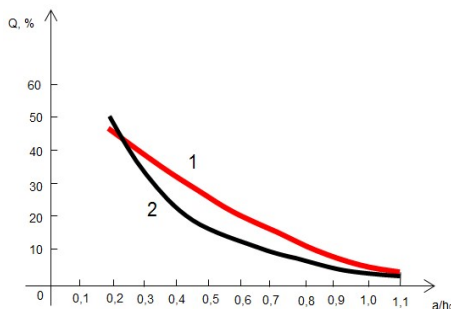


Рис.3. Зависимость Q от a/h_0 :
1 – расчет, 2 – эксперимент

Используя выражение (3) и графическую зависимость 1, изображенную на Рис.3 производится расчет объема Н(НП), перелившегося за пределы обвалования. При этом объем Н(НП), находящийся в обваловании, не учитывается, при условии, что нет утечек наружу. Расчет зон разлива Н(НП) вне обвалования осуществляется аналогично ситуаций, приведенных выше.

В таблице 4 приведены результаты расчета площади разлива Н(НП) за пределами обвалования (S_{po}, m^2) при квазимгновенном разрушении наземных резервуаров (РВС-700 и РВС-1000) при различных значениях высоты обвалования.

Табл.4. Результаты расчета S_{po} для типовых наземных резервуаров при квазимгновенном разрушении резервуара

№ п/п	Вид резервуара	Высота обвалования, $a=1$ м			Высота обвалования, $a=2$ м		
		Начальная высота столба Н(НП) в резервуаре, h_0 , м	Объем перелившегося Н(НП), Q , m^3	Площадь разлива вне обвалования S_{po} , m^2	Начальная высота столба Н(НП) в резервуаре, h_0 , м	Объем перелившегося Н(НП), Q , m^3	Площадь разлива вне обвалования S_{po} , m^2
1	РВС-700	8,19	399	1995	8,19	294	1470
2	РВС-1000	11,71	700	3500	11,71	520	2600

Прогнозирование зоны максимального разлива является важной составляющей при планировании мероприятий по ЛРН(НП) и позволяет определить требуемый состав сил и средств для ликвидации чрезвычайной ситуации.

Блок 5. Для последующей работы необходимо осуществить выбор метода ЛРН(НП), который будет предусматриваться на данном объекте.

В настоящее время существуют следующие способы ЛРН(НП): строительство земляных рубежей, перехватывающих траншей, установка подпорных стенок, использование заграждений из сорбента и др. Наиболее распространёнными при планировании мероприятий ЛРН являются формирование насыпей (земляных рубежей) и перехватывающих траншей. Выбор способа обусловлен характеристиками разлива, видом топлива, а также имеющихся в распоряжении организации сил и средств.

Блок 6. Наиболее важным показателем оценки достаточности имеющихся в наличии сил и средств для локализации разлива Н(НП) является время ($T_{лок}^{расч}$).

Для более точного понимания оценки временных показателей ЛРН(НП) представим процесс локализации в виде блок-схемы (Рис.4).



Рис.4. Блок-схема процесса ЛРН(НП) способом построения земляного рубежа

Из рис.4 видно, что $T_{лок}^{расч}$ складывается из времени, необходимого на проведение трех последовательных технологических этапов:

$$T_{лок}^{расч} = T_{оп} + T_{пб} + T_{руб} K_{мет} , \quad (4)$$

где: $T_{оп}$ - время оповещения о разливе Н(НП) ПАСФ (при отсутствии данных принимается равным 0,2 часа), час;

$T_{пб}$ - время перебазирования техники от мест дислокации в зону ЧС, час;

$T_{руб}$ - время создания рубежа ЛРН(НП) с целью недопущения дальнейшего растекания разлитых Н(НП) по территории, час;

$K_{мет}$ – коэффициент, учитывающий метод проведения инженерных работ.

$T_{пб}$ определяется из выражения (5):

$$T_{пб} = T_{под} + T_{дв} , \quad (5)$$

где: $T_{под}$ - время подготовки техники к работе и выдвигению к месту работы, час (при отсутствии данных принимается равным 0,5 часа);

$T_{дв}$ - время движения, час.

$T_{дв}$ определяется по формуле (6):

$$T_{дв} = \frac{L}{V_{ср}} , \quad (6)$$

где: L - расстояние от места дислокации ПАСФ до объекта, (км);

$V_{ср}$ - средняя скорость передвижения при перебазировании техники спецсредствами (км/час). В расчетах $V_{ср}$ принимается равной 40 км/час.

Формирование рубежа является важной составляющей в процессе ЛРН(НП). Рубеж выполняется из грунтового материала, имеющегося в наличии на объекте. Форма рубежа представляет собой пирамиду (Рис.5, 6).

Оценка объемов земляных работ для формирования рубежа требует индивидуального для различных сценариев ЧС подхода, что объясняется различием в характеристиках потенциальных источников ЧС, разнообразием рельефа местности и других внешних факторов, которые могут повлиять на процесс ЛРН(Н).

Объем грунта, необходимый для формирования рубежа определяется с помощью выражения (7).

$$V_{\text{треб}} = \frac{1}{2}H(A + B)L, \quad (7)$$

где $V_{\text{треб}}$ - требуемый объем грунта для рубежа локализации, м³;

H – высота рубежа локализации, м;

A – ширина рубежа локализации верхняя часть, м;

B – ширина рубежа локализации нижняя часть, м;

L – длина рубежа локализации (определяется с учетом разлива, характеристик местности, наличия возвышенных участков и т.д.), м.

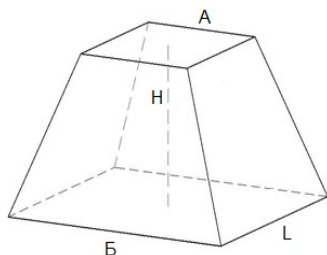


Рис.5. Форма рубежа локализации



Рис.6. Общий вид рубежа локализации (фото из открытых источников)

Время создания рубежа локализации $T_{\text{руб}}$ определяется выражением (8):

$$T_{\text{руб}} = T_{\text{ср}} + T_{\text{погр}} + T_{\text{тр}} + T_{\text{форм}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{ср}}$ - время необходимое для срезания требуемого объема грунта, час;

$T_{\text{погр}}$ - время необходимое для погрузки требуемого объема грунта, час;

$T_{\text{тр}}$ - время необходимое для транспортировки требуемого объема грунта, час;

$T_{\text{форм}}$ - время необходимое для формирования рубежа локализации, час.

Время, необходимое для срезания требуемого объема грунта $T_{\text{ср}}$ определяется по формуле (9):

$$T_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{треб}}}{P_{\text{бульд}}}, \quad (9)$$

где: $P_{\text{бульд}}$ - суммарная производительность землеройной техники, участвующей в работах по срезанию и перемещению грунта (бульдозеры и другая инженерная техника, имеющая отвал), м³/час.

Время необходимое для погрузки требуемого объема грунта $T_{\text{погр}}$ в общем виде будет равно:

$$T_{\text{погр}} = \frac{V_{\text{треб}}}{P_{\text{погр}}}, \quad (10)$$

где: $P_{\text{погр}}$ - суммарная производительность землеройной техники, участвующей в работах по погрузке грунта (экскаваторы, погрузчики), м³/час.

Время необходимое для транспортировки грунта за 1 рейс $T_{1 \text{ рейс}}$ в общем виде определяется по формуле (11):

$$T_{1 \text{ рейс}} = \frac{L_{\text{заб}}}{V_{\text{груз}}}, \quad (11)$$

$L_{\text{заб}}$ – удаление от места формирования рубежа до площадки забора грунта, км. При заборе грунта вблизи места ЧС $T_{\text{тр}}$ допускается принимать равным 0.

$V_{\text{груз}}$ – средняя скорость движения автотранспорта с грунтом, км/час.

Необходимое количество рейсов N для транспортировки грунта определяется выражением (12):

$$N = \frac{V_{\text{треб}}}{\sum_{i=1}^M \Gamma_i}, \quad (12)$$

где: Γ_i - грузоподъёмность автомобильной техники, участвующей в работах по транспортировке грунта;

M – количество автомобилей.

Соответственно выражение для определения $T_{\text{тр}}$ будет иметь следующий вид:

$$T_{\text{тр}} = N T_{1 \text{ рейс}} + 0,5N T_{1 \text{ рейс}}. \quad (13)$$

Выражение (13) при $N = 1$, будет выглядеть следующим образом:

$$T_{\text{тр}} = N T_{1 \text{ рейс}}.$$

Время необходимое для формирования рубежа локализации из привезенного грунта $T_{\text{форм}}$ определяется по формуле (14):

$$T_{\text{погр}} = \frac{V_{\text{треб}}}{P_{\text{форм}}}, \quad (14)$$

где: $P_{\text{форм}}$ - суммарная производительность землеройной техники, участвующей в работах по формированию рубежей локализации (бульдозеры, экскаваторы, погрузчики).

Блок 7. Полученное значение $T_{\text{лок}}^{\text{расч}}$ сравниваем с $T_{\text{лок}}^{\text{тр}} = 6$ час. При выполнении условия $T_{\text{лок}}^{\text{расч}} \leq T_{\text{лок}}^{\text{тр}}$ считаем, что процесс локализации успешно завершён. При $T_{\text{лок}}^{\text{расч}} > T_{\text{лок}}^{\text{тр}}$ необходима корректировка применяемых сил и средств (увеличение группировки), либо сокращение времени прибытия к месту проведения работ.

В связи с тем, что при выполнении инженерных операций по срезанию, погрузке и транспортировке грунта операции могут выполняться параллельно, то рекомендуется применять соответствующий коэффициент $K_{\text{мет}}$ при расчете итогового $T_{\text{лок}}^{\text{расч}}$. Соответственно при последовательном методе работы $K_{\text{мет}} = 1$, при параллельном $K_{\text{мет}} = 0,7$.

Заключение

Таким образом, в статье, разработан алгоритм оценки временных показателей локализации разливов Н(НП) руководителем ликвидации ЧС с учетом имеющихся в организации сил и средств. Разработанный алгоритм позволит оценить готовность организации к ЛРН(НП), а при необходимости скорректировать состав привлекаемых сил и средств, либо место их дислокации.

Список источников

1. Разлив нефтепродуктов на ТЭЦ в Норильске // ТАСС. – URL: <https://tass.ru/proisshestviya/8638891> (дата обращения 10.03.2023).

2. «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»: постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. №2451. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/400170332/>.

3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/196118/>.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование последствий разлива нефти и нефтепродуктов. Общие требования: ПНСТ 775-2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// docs.cntd.ru/document/1300388265](https://docs.cntd.ru/document/1300388265).

References

1. Oil spill at the CHP in Norilsk // TASS. – URL: [https:// tass.ru/proisshestviya/8638891](https://tass.ru/proisshestviya/8638891) (date of application 10.03.2023).

2. "On approval of the Rules for the Organization of measures for the Prevention and Elimination of Oil and Petroleum Product Spills on the Territory of the Russian Federation, with the Exception of the Internal Sea Waters of the Russian Federation and the Territorial Sea of the Russian Federation, as well as on the Invalidation of Certain acts of the Government of the Russian Federation": Decree of the Government of the Russian Federation No. 2451 of December 31, 2020. [electronic resource]. – Access mode: [https:// base .garant.ru/400170332/](https://base.garant.ru/400170332/).

3. On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities: Order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation No. 404 dated July 10, 2009. [Electronic resource]. – Access mode: [https://base .garant.ru/196118 /](https://base.garant.ru/196118/).

4. Safety in emergency situations. A safe city. Forecasting the consequences of oil and oil products spills. General requirements: ПНСТ 775-2022. [electronic resource]. – Access mode: [https:// docs.cntd.ru/document/1300388265](https://docs.cntd.ru/document/1300388265) .

Информация об авторах

А.Ю. Лебедев - кандидат технических наук

Information about the author

A.Yu. Lebedev - Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакция 14.04.2023; одобрена после рецензирования 08.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.

The article was submitted 14.04.2023, approved after reviewing 08.06.2023, accepted for publication 26.06.2023.