

*С.А. Швырков, В.В. Воробьев, А.П. Петров, Д.С. Шаповалов*  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: pbtp@mail.ru)

## **ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА В МОРСКОМ ТОРГОВОМ ПОРТУ**

*Представлены результаты оценки пожарного риска для комплекса заправки топливом маломерных судов в морском торговом порту, технологически связанного трубопроводами для подачи на него топлива от резервуаров топливозаправочного пункта.*

*Ключевые слова: топливозаправочный комплекс, морской порт, пожарный риск.*

*S.A. Shvyrkov, V.V. Vorobyev, A.P. Petrov, D.S. Shapovalov*  
**FIRE RISK EVALUATION FOR REFUELLING COMPLEX  
IN SEA TRADING PORT**

*Presents the results of evaluation of fire risk values for complex for refueling of small vessels in sea trading port, technologically associated pipelines for fuel tanks it refuelling station.*

*Key words: refuelling complex, sea port, fire risk.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 10 июня 2015 г.

Современный морской порт является крупным транспортным узлом, связывающим различные виды транспорта: морского, речного, железнодорожного, автомобильного, трубопроводного и др. Расположенные на специально отведённых территориях и акватории комплексы зданий и сооружений предназначены для обслуживания судов, пассажиров, осуществления операций с грузами и других услуг, обычно оказываемых в морском торговом порту. При этом наращивание грузооборота российских портов и расширение сферы услуг сопровождается дальнейшим развитием портовой инфраструктуры, в частности, использования *стоечных нефтеналивных судов (СНС)* для заправки лодок, яхт и гидроциклов (морские маломерные суда), соответствующих классу Российского Речного Регистра Р 1,2, а также требованиям международного классификатора *Lloyd's Register "FOIL 2013"* (рис. 1).



**Рис. 1.** Общий вид СНС серии *BalticFS-05*, выпускаемого латвийской компанией *Baltic Floating Structures Ltd* (фото с сайта [www.balticfs.eu](http://www.balticfs.eu))

Важно отметить, что портовая деятельность является стратегическим аспектом развития экономики государства и одним из ключевых звеньев функционирования транспортной системы, что определяет необходимость совершенствования форм и методов управления их развитием на основе современных подходов, в том числе, и в области обеспечения пожарной безопасности, особенно, при отсутствии нормативных требований, в данном случае, для СНС.

Настоящая статья посвящена оценке пожарного риска для проектируемого на территории морского порта **топливозаправочного комплекса (ТЗК)** в составе **топливозаправочного пункта (ТЗП)**, предназначенного для заправки **жидким моторным топливом (ЖМТ)** автопогрузчиков порта, и СНС, технологически связанного трубопроводами для подачи на него топлива от резервуаров ТЗП (далее – объект защиты).

### **Краткая характеристика объекта защиты**

В качестве примера рассматривается ТЗК, предполагаемый к размещению на территории морского порта в Краснодарском крае и предназначенный для заправки автопогрузчиков порта и морских маломерных судов **дизельным топливом (ДТ)** и бензином (Аи-93).

Режим работы ТЗК круглогодичный, грузооборот составляет по ДТ 5568 *т/год*, по бензину – 1225 *т/год*. На ТЗК предусматриваются:

- монтаж шести двустенных стальных горизонтальных подземных резервуаров для хранения ЖМТ вместимостью по 75  $m^3$  каждый;
- устройство одного заправочного островка с монтажом одной двухпистолетной двухсторонней **топливораздаточной колонки (ТРК)** на два вида ЖМТ производительностью 40 *л/мин*;
- устройство площадки для **автоцистерны (АЦ)**;
- устройство сливного колодца;
- установка СНС со встроенным двустенным резервуаром вместимостью 100  $m^3$ ;
- монтаж аварийного резервуара ЖМТ вместимостью 25  $m^3$ ;
- устройство очистных сооружений (сепаратор);
- монтаж установки рекуперации;
- монтаж дренажной надземной ёмкости и ёмкости нефтесодержащих стоков.

Резервуары ТЗК оборудуются системой непрерывного контроля герметичности его межстенного пространства, обеспечивающей автоматическую сигнализацию (световую и звуковую) персоналу о разгерметизации и автоматическое прекращение наполнения резервуара. Для исключения возможности образования в межстенном пространстве резервуаров взрывоопасной смеси, указанное пространство заполняется азотом.

Для снижения пожарной опасности при производстве операций слива, а также в целях защиты окружающей среды от выбросов паров бензина в атмосферу при "больших" и "малых" дыханиях, предусматривается установка рекуперации паров бензина производительностью 60  $m^3/ч$ . Для резервуаров с ДТ предусматривается собственная система рециркуляции паров.

Система непрерывного автоматического контроля паров топлива в сливном колодце и технологических колодцах резервуаров газоанализатором обеспечивает подачу звукового и светового сигнала при превышении у дна колодцев концентрации паров топлива равной 20 % от значения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), а также отключение электропитания насосов линии выдачи и автоматическое прекращение операции наполнения.

На резервуарах предусматриваются уровнемеры, обеспечивающие при достижении 90 %-го заполнения резервуара сигнализацию световым и звуковым сигналами персоналу ТЗК, а при 95 %-м заполнении – закрытие электромагнитных клапанов-отсекателей, установленных на трубопроводах наполнения в сливном колодце.

Для заправки автопогрузчиков предусматривается ТРК, обеспечивающая автоматическую блокировку подачи топлива при номинальном заполнении топливного бака транспортного средства. ТРК оснащается устройством, предотвращающим выход топлива при её повреждении.

Топливо поступает на ТЗК в АЦ общей вместимостью не более 20 м<sup>3</sup>, оборудованных донными клапанами.

Для заправки топливом морских маломерных судов длиной до 40 м предусматривается установка СНС, корпус которого состоит из железобетонных днища, бортов, переборок и палубы со встроенной двустенной ёмкостью (ДТ – 75 м<sup>3</sup>, Аи-93 – 25 м<sup>3</sup>) с системой контроля давления в межстенном пространстве. Палуба над топливной ёмкостью выполняется из оцинкованной судостроительной стали.

Топливная система, связанная с хранением и выдачей нефтепродуктов, имеет пятиступенчатую защиту от утечки, а также толстостенные трубопроводы, обеспечивая высокую безопасность при загрузке СНС за счёт расположения и подключения трубопроводов в герметичном отсеке, что не позволит в процессе присоединения/отсоединения шлангов попадать нефтепродуктам на палубу и в окружающую среду.

СНС обеспечивается абсорбентом для сбора топлива и бонами, предназначенными для ограничения площади пролива топлива на поверхности воды при внештатных ситуациях.

СНС оборудуется газоанализаторами, предназначенными для измерения взрывоопасных концентраций многокомпонентных воздушных смесей горючих паров. Предусматриваются световая и звуковая сигнализация, срабатывающая при достижении максимальных пороговых значений концентраций паров нефтепродуктов, при этом обеспечивается аварийное обесточивание СНС.

### **Принятые допущения и результаты оценки пожарного риска**

При определении расчётных величин пожарного риска вводилось допущение, что ближайшая к морскому порту жилая, общественно-деловая зона или зона рекреационного назначения не попадают в зону воздействия опасных факторов пожара (взрыва), возможных на рассматриваемом объекте защиты. Таким образом, индивидуальный и социальный пожарные риски для людей в указанных зонах отсутствуют.

В соответствии с требованиями "Методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах" [1] расчёт значений индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта производился с использованием, в качестве промежуточной величины, значения соответствующего потенциального пожарного риска.

При определении величин потенциального пожарного риска учитывалось возникновение следующих основных пожароопасных ситуаций на ТЗК:

- разгерметизация ёмкости АЦ с бензином (ДТ) на ТЗП;
- разгерметизация насоса АЦ при сливе бензина (ДТ) в резервуар ТЗП;
- разгерметизация напорно-всасывающего рукава АЦ при сливе бензина (ДТ) в резервуар ТЗП;
- перелив бензина (ДТ) при заполнении резервуара ТЗП;
- разгерметизация шланга ТРК с бензином (ДТ) на ТЗП;
- разгерметизация топливного бака с бензином (ДТ) автотранспортного средства;
- разгерметизация трубопровода с бензином (ДТ) на участке: резервуар ТЗП – резервуар СНС;
- разгерметизация рукава СНС при перекачке бензина (ДТ) из резервуара ТЗП в резервуар СНС;
- перелив бензина (ДТ) при заполнении резервуара СНС.
- разгерметизация шланга ТРК с бензином (ДТ) на СНС.

Значения потенциального пожарного риска в местах нахождения людей определялись как сумма потенциальных пожарных рисков от перечисленных пожароопасных ситуаций с учётом места их возникновения на территории объекта защиты. Ниже, в качестве примера, представлен алгоритм и результаты расчёта потенциального пожарного риска при разгерметизации ёмкости АЦ с бензином на ТЗП. Аналогично были рассмотрены остальные пожароопасные ситуации в соответствии с требованиями [1].

### **Краткий анализ пожарной опасности разгерметизации ёмкости АЦ с бензином на площадке слива топлива на ТЗП**

Физико-химические и пожаровзрывоопасные свойства бензина марки Аи-93 (зимний) принимались по [2, 3].

В качестве инициирующих пожароопасные ситуации событий рассматривались:

- локальная разгерметизация ёмкости АЦ (диаметр отверстия истечения 25 мм);
- локальная разгерметизация ёмкости АЦ (диаметр отверстия истечения 100 мм);
- полное разрушение ёмкости АЦ;
- внешнее воздействие на ёмкость АЦ, приводящее к реализации огненного шара.

При построении логических деревьев событий учитывалось следующее.

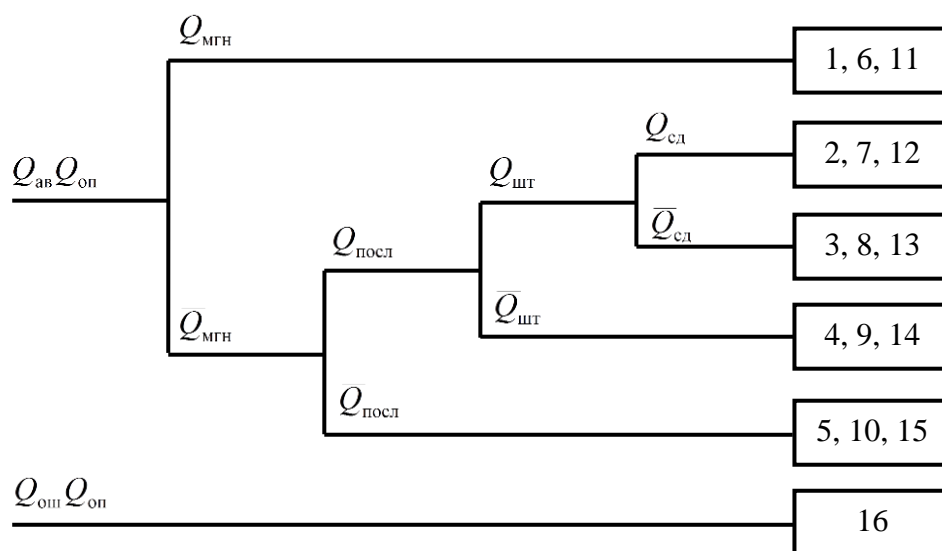
1. При разгерметизации ёмкости АЦ возникает пролив бензина, происходит его испарение с поверхности пролива и образуется горючее паровоздушное облако (ГПО), если выполняется условие:  $t_p \geq t_{всп}$  (здесь:  $t_p$  – рабочая температура бензина в ёмкости АЦ,  $t_p = 39 \text{ }^\circ\text{C}$  [4];  $t_{всп}$  – температура вспышки бензина,  $t_{всп} = -37 \text{ }^\circ\text{C}$  [2]). Таким образом, при разгерметизации ёмкости АЦ с бензином образуется ГПО.

2. Согласно исходным данным, грузооборот бензина на ТЗК составляет  $1225 \text{ т/год}$ . Бензин на ТЗК поступает в АЦ вместимостью  $20 \text{ м}^3$ . Продолжительность одной операции слива бензина из АЦ в резервуар не превышает двух часов. Таким образом, количество указанных операций в год составит:  $1225 / (0,729 \cdot 20) = 84$  (здесь:  $0,729$  – плотность бензина,  $\text{т/м}^3$  [2]). Тогда, условная вероятность проведения операции слива топлива из АЦ в резервуар равна:  $Q_{сл.б.} = (84 \cdot 2) / (365 \cdot 24) = 0,019$  (здесь:  $365$  – количество дней в году;  $24$  – число часов в сутках).

3. Наличие системы аварийного слива позволяет исключить из рассмотрения случаи растекания бензина, вышедшего из повреждённой ёмкости АЦ, за пределы площадки слива топлива.

4. Официально зарегистрированных случаев полного разрушения ёмкости АЦ на площадке слива топлива в качестве событий, инициирующих пожароопасные ситуации, не имеется, поэтому здесь и далее под полным разрушением указанной ёмкости понимается образование отверстия, равное диаметру сливного патрубка ёмкости АЦ.

Логические деревья событий с указанием номеров сценариев развития пожароопасных ситуаций представлены на рис. 2 (здесь и далее обозначения величин соответствует обозначениям, принятым в [1]).



**Рис. 2.** Логические деревья событий при разгерметизации ёмкости АЦ с бензином на площадке слива топлива

В табл. 1 приведены значения частот разгерметизации и условных вероятностей возникновения событий при разгерметизации ёмкости АЦ на площадке слива топлива.

**Значения частот разгерметизации и условных вероятностей появления событий при разгерметизации ёмкости АЦ на площадке слива топлива**

Обозначения условных вероятностей	Определения условных вероятностей	Значения условных вероятностей
<b>Локальная разгерметизация ёмкости АЦ (диаметр отверстия истечения 25 мм)</b>		
<b>Сценарии 1-5</b>		
$Q_{ав}$	Частота разгерметизации с последующим истечением жидкости на площадку слива топлива, год <sup>-1</sup> [1]	$5,0 \cdot 10^{-4}$
$Q_{мгн}$	Условная вероятность мгновенного воспламенения бензина [1]	0,035
$Q_{посл}$	Условная вероятность последующего воспламенения бензина при отсутствии мгновенного воспламенения [1]	0,036
$Q_{сд}$	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего паровоздушного облака и его последующим воспламенением [1]	0,240
<b>Локальная разгерметизация ёмкости АЦ (диаметр отверстия истечения 100 мм)</b>		
<b>Сценарии 6-10</b>		
$Q_{ав}$	Частота разгерметизации с последующим истечением жидкости на площадку слива топлива, год <sup>-1</sup> [1]	$5,0 \cdot 10^{-5}$
$Q_{мгн}$	Условная вероятность мгновенного воспламенения бензина [1]	0,035
$Q_{посл}$	Условная вероятность последующего воспламенения бензина при отсутствии мгновенного воспламенения [1]	0,036
$Q_{сд}$	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего паровоздушного облака и его последующим воспламенением [1]	0,240
<b>Полное разрушение ёмкости АЦ (диаметр отверстия истечения равен 75 мм)</b>		
<b>Сценарии 11-15</b>		
$Q_{ав}$	Частота разгерметизации с последующим истечением жидкости на площадку слива топлива, год <sup>-1</sup> [1]	$8,0 \cdot 10^{-6}$
$Q_{мгн}$	Условная вероятность мгновенного воспламенения бензина [1]	0,200
$Q_{посл}$	Условная вероятность последующего воспламенения бензина при отсутствии мгновенного воспламенения [1]	0,240
$Q_{сд}$	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего паровоздушного облака и его последующим воспламенением [1]	0,600
<b>Периодичность проведения операции слива топлива из АЦ в резервуар</b>		
$Q_{оп}$	Условная вероятность проведения операции слива бензина из АЦ в резервуар	0,019
<b>Условия, способствующие образованию горючего паровоздушного облака</b>		
$Q_{шт}$	Повторяемость штелей в районе расположения предприятия [5]	0,140
<b>Образование огненного шара Сценарий 16</b>		
$Q_{ош}$	Частота внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, год <sup>-1</sup> [1]	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Сценарий 1, 6, 11 – локальная (полная) разгерметизация ёмкости АЦ на площадке слива топлива; мгновенное воспламенение бензина, выходящего из образовавшегося отверстия; пожар пролива в пределах площадки слива топлива.

Сценарий 2, 7, 12 – локальная (полная) разгерметизация АЦ с бензином на площадке слива топлива; мгновенного воспламенения бензина, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; растекание бензина в пределах площадки слива топлива; образование горючего паровоздушного облака и его сгорание с образованием волны избыточного давления, пожар пролива в пределах площадки слива топлива.

Сценарий 3, 8, 13 – локальная (полная) разгерметизация АЦ с бензином на площадке слива топлива; мгновенного воспламенения бензина, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; растекание бензина в пределах площадки слива топлива; образование горючего паровоздушного облака и его сгорание с образованием пожара-вспышки, пожар пролива в пределах площадки слива топлива.

Сценарий 4, 9, 14 – локальная (полная) разгерметизация АЦ с бензином на площадке слива топлива; мгновенного воспламенения бензина, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; растекание бензина в пределах площадки слива топлива; образование горючего паровоздушного облака не произошло; пожар пролива в пределах площадки слива топлива.

Сценарий 5, 10, 15 – локальная (полная) разгерметизация АЦ с бензином на площадке слива топлива; мгновенного воспламенения бензина, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; растекание бензина в пределах площадки слива топлива; последующего воспламенения бензина не произошло.

Сценарий 16 – воздействие внешних факторов; образование огненного шара.

Сценарии 5, 10, 15 не представляют угрозы для жизни и здоровья людей и в дальнейших расчётах не учитывались.

Значение частоты возникновения каждого сценария определяли как произведение частоты инициирующего аварийю события и условных вероятностей развития аварийной ситуации по конкретному сценарию.

Частоты реализации в течение года  $j$ -х сценариев развития пожароопасных ситуаций представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Частота возникновения сценариев при разгерметизации ёмкости АЦ на площадке слива топлива**

№ сценария, $j$	Частота реализации $j$ -го сценария, $год^{-1}$	№ сценария, $j$	Частота реализации $j$ -го сценария, $год^{-1}$
1	$3,325 \cdot 10^{-7}$	9	$2,838 \cdot 10^{-8}$
2	$1,109 \cdot 10^{-8}$	10	$8,837 \cdot 10^{-7}$
3	$3,512 \cdot 10^{-8}$	11	$3,040 \cdot 10^{-8}$
4	$2,838 \cdot 10^{-7}$	12	$2,451 \cdot 10^{-9}$
5	$8,837 \cdot 10^{-6}$	13	$1,634 \cdot 10^{-9}$
6	$3,325 \cdot 10^{-8}$	14	$2,510 \cdot 10^{-8}$
7	$1,109 \cdot 10^{-9}$	15	$9,242 \cdot 10^{-8}$
8	$3,512 \cdot 10^{-9}$	16	$4,750 \cdot 10^{-7}$
		<b>Итого:</b>	<b><math>1,108 \cdot 10^{-5}</math></b>

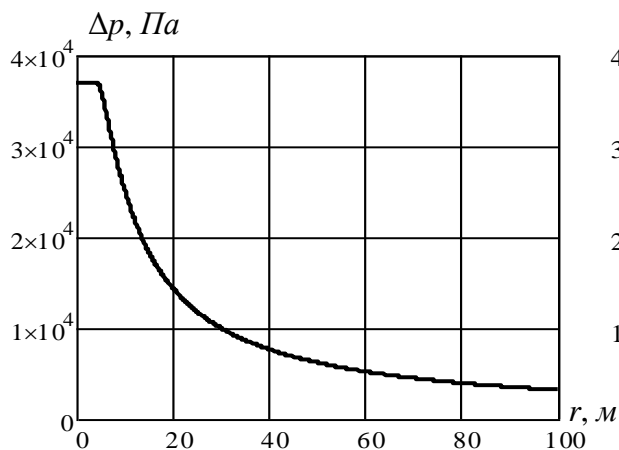
### **Определение массы бензина, испарившегося из пролива, из зоны ВОК**

Локальная (полная) разгерметизация ёмкости АЦ приводит к истечению всего содержимого в ней бензина с образованием пролива в пределах площадки слива топлива на площади  $35 \text{ м}^2$ , при этом масса испарившегося бензина за расчётное время составила  $50,6 \text{ кг}$ , а радиус зоны, ограниченной НКПР –  $17,9 \text{ м}$ .

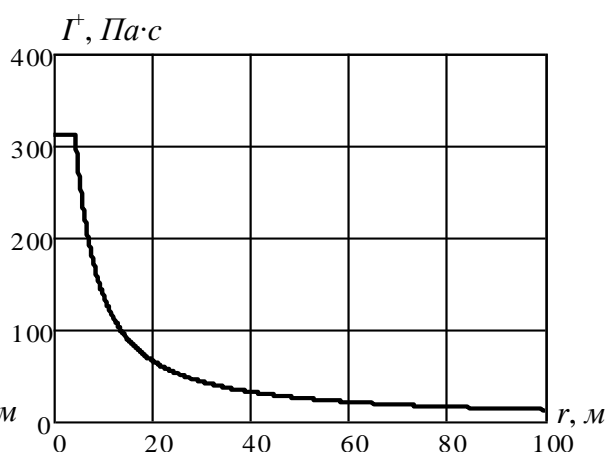
## Прогнозирование размеров зон поражения опасными факторами пожара (взрыва)

Радиус зоны поражения людей высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси при возникновении пожара-вспышки составил 21,5 м.

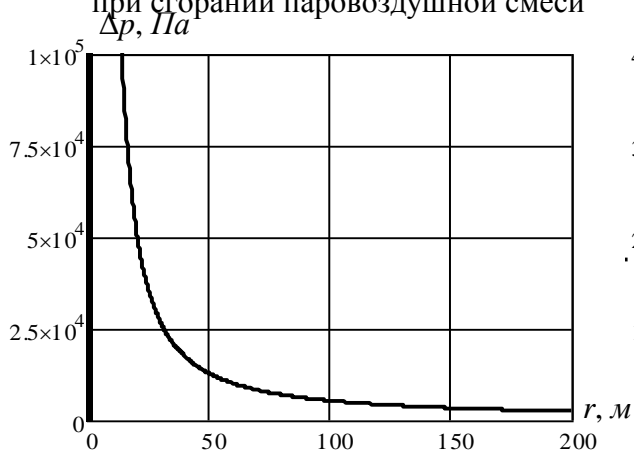
На рис. 3-8 представлены результаты соответствующих расчётов опасных факторов пожара (взрыва), возникающих при локальной (полной) разгерметизации ёмкости АЦ.



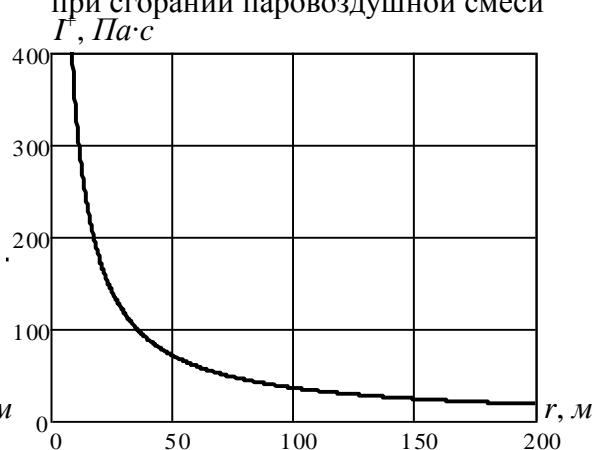
**Рис. 3.** Избыточное давление взрыва при сгорании паровоздушной смеси



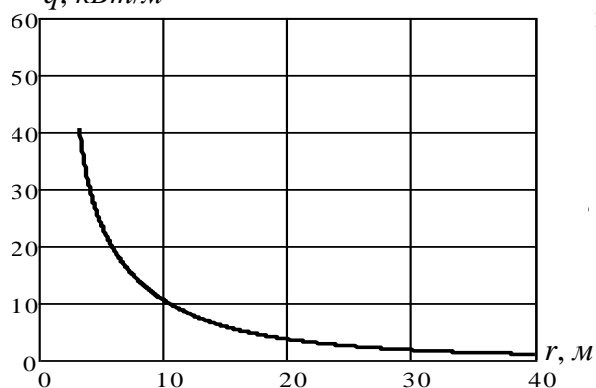
**Рис. 4.** Импульс фазы сжатия при сгорании паровоздушной смеси



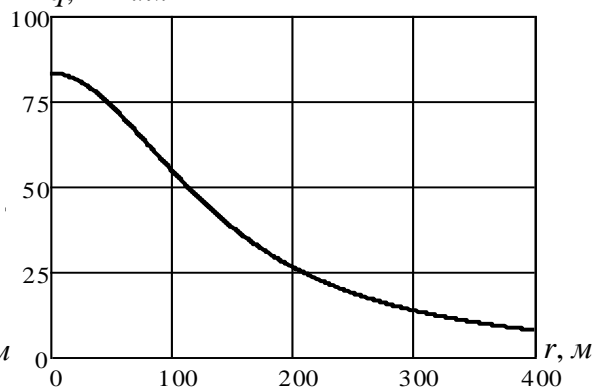
**Рис. 5.** Избыточное давление взрыва при взрыве ёмкости АЦ в очаге пожара



**Рис. 6.** Импульс фазы сжатия при взрыве ёмкости АЦ в очаге пожара



**Рис. 7.** Интенсивность теплового излучения при площади пожара равной 35 м<sup>2</sup>



**Рис. 8.** График интенсивности теплового излучения огненного шара



## Определение условной вероятности поражения людей

Для пожара-вспышки принимали, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условную вероятность поражения человека принимали равной 0 [1].

График условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве в случае локальной (полной) разгерметизации ёмкости АЦ представлен на рис. 9, при этом, условная вероятность поражения человека, находящегося вне здания, на любых расстояниях от эпицентра взрыва, равна 0 [1].

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением при площади пожара равной  $35 \text{ м}^2$  представлен на рис. 10.

График условной вероятности поражения человека от взрыва ёмкости АЦ с бензином при воздействии на неё очага пожара, находящегося в здании, представлен на рис. 11, а вне здания, – на рис. 12.

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением огненного шара представлен на рис. 13.

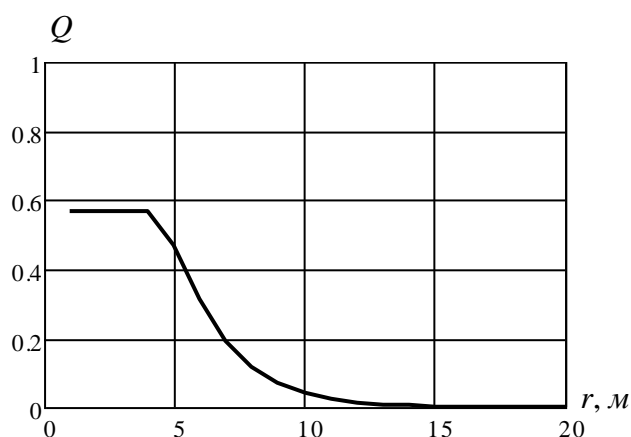


Рис. 9

## Распределение потенциального пожарного риска

График распределения потенциального риска при разгерметизации ёмкости АЦ на площадке слива топлива для людей, находящихся в зданиях, представлен на рис. 14, а для людей, находящихся вне зданий, – на рис. 15.

В соответствии с [1], величина индивидуального пожарного риска  $R_m$  ( $\text{год}^{-1}$ ) для работника  $m$  объекта при его нахождении на территории объекта определялась по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i),$$

где  $P(i)$  – величина потенциального риска в  $i$ -й области территории объекта,  $\text{год}^{-1}$ ;

$q_{im}$  – вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -й области территории объекта (определяется исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определённой области территории и/или в  $i$ -м помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта).

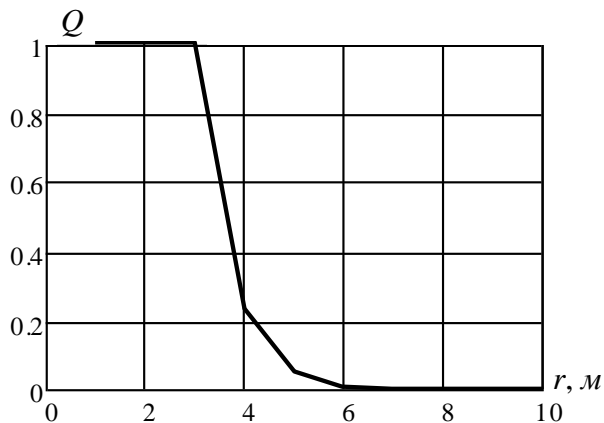


Рис. 10

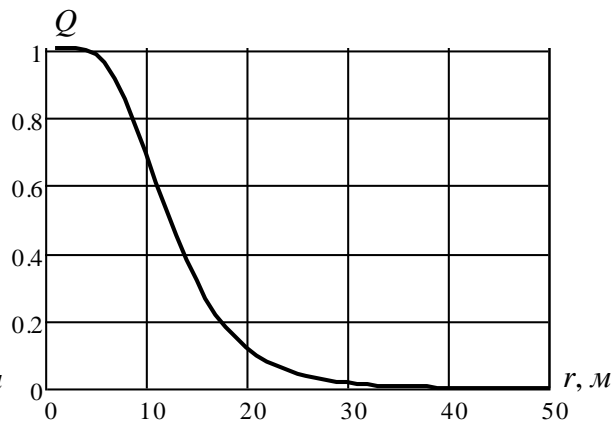


Рис. 11

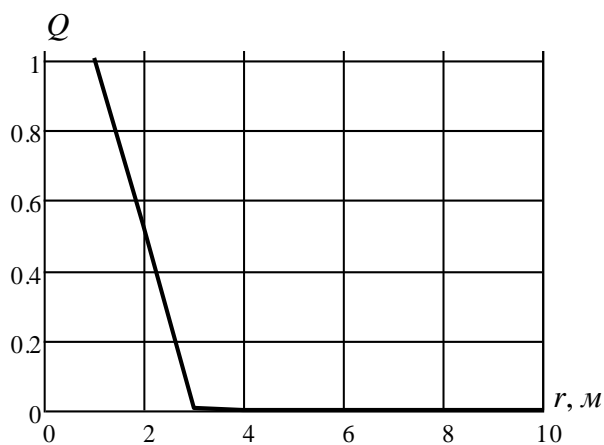


Рис. 12

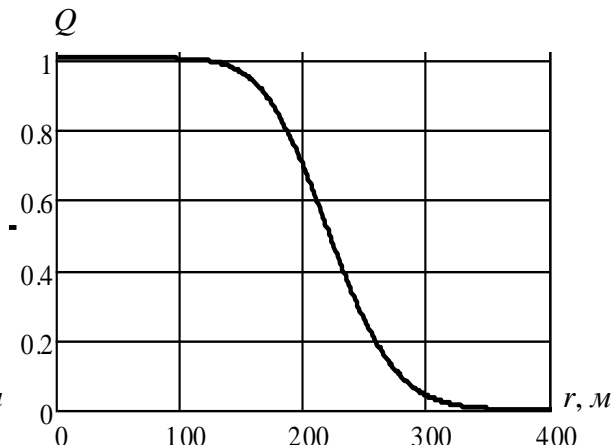


Рис. 13

Следует отметить, что портовая инфраструктура включает в себя развитую сеть зданий, сооружений и оборудования различного назначения, для обслуживания которых и осуществления соответствующих операций требуется значительный штатный численный состав (административно-управленческий персонал, водители погрузчиков в грузовом порту, работники гаража погрузчиков, портовые комплексные бригады и вспомогательные рабочие, хозяйственно-техническая служба, работники службы инженерных сетей, персонал морского вокзала, персонал топливозаправочного комплекса, охранники и др.). В рассматриваемом примере для оценки расчётных значений индивидуального пожарного риска использованы данные по максимальному количеству персонала в максимальную смену (400 человек) при их нахождении как в зданиях, так и на территории объекта защиты.

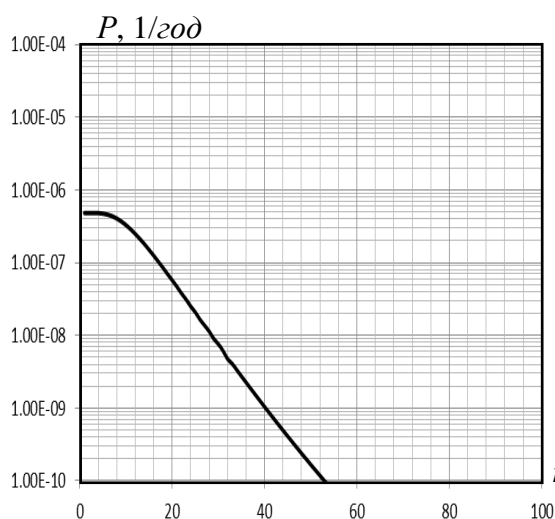


Рис. 14

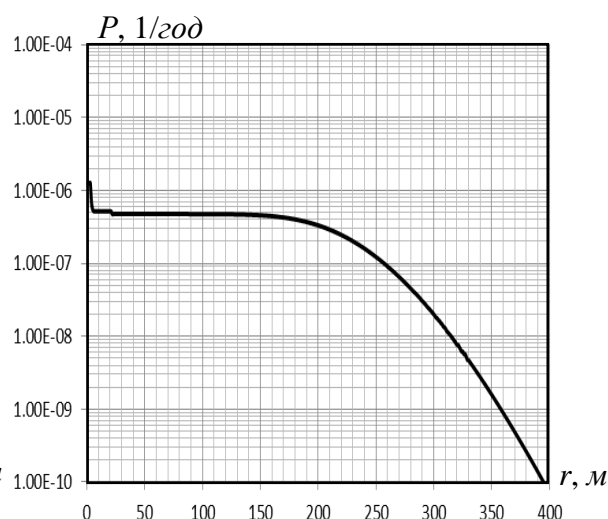


Рис. 15

### Выводы

В результате выполненных расчётов установлено, что:

- расчётная величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территории производственного объекта защиты не превышает нормативное значение (одна миллионная в год [6]);

- расчётная величина индивидуального пожарного риска для работников порта выполняющих грузовые операции в непосредственной близости от проектируемого трубопровода от ТЗП к СНС, а также для раздатчиков нефтепродуктов на ТЗП и СНС у ТРК не превышает одну десятитысячную в год. Поэтому, в соответствии с требованиями [6], для этого персонала порта должны быть предусмотрены меры по обучению действиям при пожаре и по социальной защите, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Таким образом, в результате расчётного определения величин пожарного риска для ТЗК с СНС показана возможность его размещения на территории морского порта, а также достаточность принятых мероприятий противопожарной защиты, что может быть использовано для проектирования аналогичных объектов.

### Литература

1. **Методика** определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404.
2. **Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н.** и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2-х книгах. М.: Химия, 1990.
3. **Варгафтик Н.Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Физматгиз, 1963.
4. **СНиП 23.01-99.** Строительная климатология.
5. **СНиП 2.01.01-82.** Строительная климатология и геофизика.
6. **Федеральный** закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".