

УДК 614.839

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВА  
НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING  
OF EXPLOSION AFTERMATH ON ESPECIALLY DANGEROUS  
INDUSTRIAL OBJECTS**

**Нуретдинова Д.Ф., Гостенова Е.А., Абдрахманова К.Н., Шутов Н.В.**

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

**D. F. Nuretdinova, E. A. Gostenova, K.N. Abdrakhmanova**

**Ufa State Petroleum Technological University,  
Ufa, Russian Federation**

**e-mail: dia-nuretdinova@yandex.ru**

**Аннотация.** Эксплуатация опасных производственных объектов нефтяной отрасли сопровождается риском возникновения аварий со взрывом топливно-воздушной смеси. Такие аварии представляют опасность для персонала объекта, населения, а также влекут за собой значительные материальные потери. В статье рассмотрены методики оценки последствий взрыва топливно-воздушной смеси, на основе которых с помощью программных продуктов ПВ-Безопасность и ТОХИ+Risk выполнено моделирование взрывов облаков топливно-воздушной смеси реальных аварий и эксперимента, в том числе определены зоны повреждения зданий и сооружений в результате взрывов.

Произведен сравнительный анализ фактических значений последствий взрыва топливно-воздушной смеси в результате аварий на опасных производственных объектах, а также данных экспериментального взрыва

водорода с результатами расчетов, полученных по программам TOXI+Risk и ПВ-Безопасность.

На основе проведенного анализа сделан вывод о значительном завышении результатов оценки радиусов зон повреждений зданий и сооружений, полученных данными программными продуктами. При этом наибольшее отклонение от фактических и экспериментальных значений определено при использовании программы ПВ-безопасность. Отмечено, что методика, применяемая в ПВ-безопасность, основана на модели «тротилового эквивалента» и не учитывает режим взрывного превращения, агрегатное состояние опасного вещества, характеристики окружающего пространства и положения точки инициирования взрывоопасного облака. В методике оценки последствий аварийных взрывов, используемой в TOXI+Risk, данные недостатки отсутствуют. Тем не менее, радиусы зон повреждения зданий и сооружений, полученные с помощью TOXI+Risk, превышают значения фактических радиусов при взрыве в среднем на 18 %. Таким образом, методы расчета последствий взрыва на опасных производственных объектах требуют дальнейшего исследования.

**Abstract.** Estimation methods of consequences to explosion of a fuel-air mixture are considered. Simulating of an air-fuel mixture explosion of real accidents and experiments was based on this methods by software products PV-Safety and TOXI+Risk has been performed. Zones of damage to buildings and structures because of explosions has been determined. A comparative analysis of the actual values of the explosion consequences in the event of accidents and experimental values with calculated data obtained by the programs TOXI+Risk and PV-Safety was completed. Based on this analysis it was concluded that the results of estimating the radii of damage zones of buildings and structures obtained by these software products are significantly overstated. The greatest deviation from the actual and the experimental values was revealed by using the PV-Safety program. Method based on fuel-air mixture explosion model does not consider the explosive transformation mode, the aggregate state of the hazardous

substance, the characteristics of the surrounding space and the position of the point of initiation of the explosion. These deficiencies are lack in the method that used in TOXI+Risk for assessing the consequences explosions. Nevertheless, the radiuses of damage zones of buildings and structures obtained with TOXI+Risk exceed the values of the actual radii in the explosion by an average of 18 %. Thus, the methods for calculating the consequences of the explosion require further investigation.

**Ключевые слова:** авария, взрыв, эксперимент, TOXI+Risk, ПВ-Безопасность, избыточное давление, радиус зоны разрушения зданий и сооружений

**Keywords:** accident, explosion, experiment, TOXI+Risk, PV-Safety, overpressure, radius of the destruction zone of buildings and structures

При эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО), на которых обращаются взрывопожароопасные вещества, существует риск возникновения аварий, связанных с выбросами, утечками опасных веществ и последующим взрывом топливно-воздушной смеси (ТВС) [1-5]. Такие аварии приводят к серьезным последствиям: разрушению промышленных объектов и жилых зданий, поражению персонала ОПО и населения, значительным материальным потерям [6, 7]. При этом в зависимости от мощности взрыва ущерб, причиняемый ударной волной зданиям, может носить характер полных разрушений, сильных, средних и слабых. Кроме того, расчет радиусов зон последствий взрыва ТВС необходим для безопасного размещения установок, зданий, сооружений на территории ОПО, а также при выборе мероприятий по взрывозащите объектов и персонала от ударно-волнового воздействия взрыва облаков ТВС.

Расчеты зон повреждения зданий и сооружений следует проводить по одной из двух методик:

1) методика оценки радиусов зон поражения, основанная на «тротиловом эквиваленте» взрыва ТВС [8];

2) методика, учитывающая тип взрывного превращения (детонация, дефлаграция) при воспламенении ТВС, включающая параметры ударной волны и зон разрушения [9].

Моделирование взрывов облаков ТВС, в том числе определение зон повреждения зданий в результате взрывов облаков ТВС, основанное на данных методиках, производится с помощью компьютерных программ ПВ-Безопасность и ТОХI+Risk, которые являются основными программными инструментами оценки последствий аварий, используемыми в РФ [10, 11].

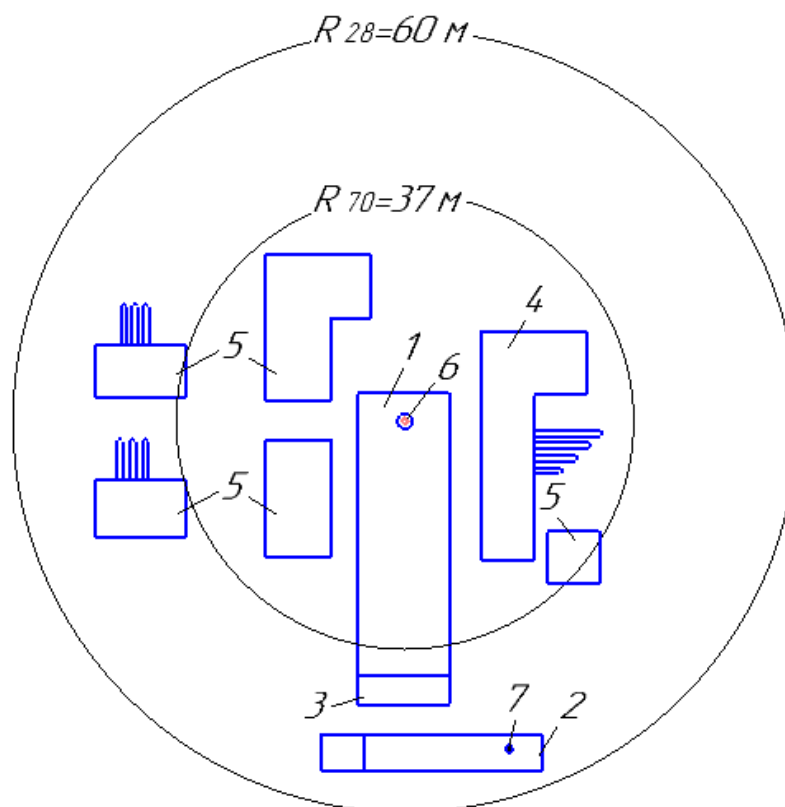
Однако при определении зон разрушения зданий и сооружений в результате взрыва существуют сложности, связанные с выбором методики расчета, а также точности и достоверности полученных данных. Основательным подтверждением любой методики является совпадение прогнозируемых результатов с фактами аварий и экспериментов [12, 13].

Для сравнительного анализа фактических значений, характеризующих последствия аварийного взрыва ТВС, с расчетными данными выполним оценку взрыва ТВС с помощью программ ТОХI+Risk и ПВ-Безопасность. Исходные данные при расчете заданы аналогично данным реальных аварий. В качестве первой анализируемой аварии со взрывом ТВС рассмотрим следующее событие [14, 15].

В 1988 г. на установке серноокислотного алкилирования произошел взрыв пропан-бутановой смеси. Вследствие аварийного выброса сжиженной пропан-бутановой фракции в помещении насосной станции образовалась горючая смесь паров углеводородов с воздухом. Размеры помещения составляли 33·х 13 х·5 (м). Всего было выброшено около 70 м<sup>3</sup> (12 т) сжиженной пропан-бутановой фракции, при этом масса углеводорода в облаке составляла 2500 кг. Избыточное давление при взрыве, вызывающее среднее повреждение зданий (28 кПа), было

зафиксировано в радиусе 60 м, а давление 70 кПа – при 37 м. Температура окружающей среды, зафиксированная в момент взрыва, составляла 25 °С.

Схема разрушений зданий и сооружений от взрыва пропан-бутановой смеси представлена на рисунке 1.



*R<sub>28</sub> – радиус зон повреждений при P<sub>изб.</sub>=28 кПа*

*R<sub>70</sub> – радиус зон повреждений при P<sub>изб.</sub>=70 кПа*

- 1 – технологическая насосная; 2 – производственное здание;
- 3 — помещение пульта управления; 4 – блок контакторов;
- 5 – открытые технологические установки; 6 – место утечки;
- 7 – место предполагаемого источника зажигания;
- 8 – места нахождения пострадавших

Рисунок 1. Схема разрушений зданий и сооружений при взрыве пропан-бутановой смеси [14]

Произведем оценку последствий взрыва облака пропан-бутановой смеси с помощью программ TOXI+Risk и ПВ-Безопасность.

Результат расчета радиусов зон разрушений зданий с помощью TOXI+Risk представлен на рисунке 2.

Критерии поражения.	Давление	Радиус
Полное разрушение зданий	100000 Па	33,06 м
50%-ое разрушение зданий	53000 Па	46,27 м
Средние повреждения зданий	28000 Па	67,29 м
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам и т.п.)	12000 Па	120,27 м
Нижний порог повреждения человека волной давления	5000 Па	266,93 м
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3000 Па	395,92 м

Критерии поражения.	Давление	Радиус
Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, погибнут в результате прямого поражения ЧВ, под развалинами зданий или вследствие удара о твердые предметы	190000 Па	24,21 м
Наиболее вероятно, что все люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут, либо получат серьезные повреждения в результате действия взрывной волны, либо при обрушении здания или перемещении тела взрывной волной	69000 Па	40,09 м
Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут или получат серьезные повреждения барабанных перепонки и легких под действием взрывной волны, либо будут поражены осколками и развалинами здания	55000 Па	45,34 м
Обслуживающий персонал получит серьезные повреждения с возможным летальным исходом в результате поражения осколками, развалинами здания, горящими предметами и т.п. Имеется 10%-ая вероятность разрыва барабанных перепонки	24000 Па	74,14 м
Возможна временная потеря слуха или травмы в результате вторичных эффектов взрывной волны, таких, как обрушение зданий, и третичного эффекта переноса тела	16000 Па	97,38 м
С высокой надежностью гарантируется отсутствие летального исхода или серьезных повреждений	5900 Па	223,69 м

Рисунок 2. Результат расчета последствий взрыва облака пропан-бутановой смеси помощью TOXI+Risk

Из рисунка 2 видно, что величина радиуса среднего повреждения зданий (28 кПа) в результате взрыва облака пропан-бутановой смеси, согласно программе TOXI+Risk, составляет 67,29 м. Радиус, соответствующий избыточному давлению 70 кПа, определен с помощью метода интерполяции и составляет 41,5 м.

Результат расчета радиусов зон повреждения зданий в результате взрыва облака пропан-бутановой смеси с помощью ПВ-Безопасность представлен в таблице 1.

Таблица 1. Расчет радиусов зон повреждения по программе ПВ-Безопасность

Вероятные последствия, характер повреждений зданий и сооружений	Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Радиус разрушения R, м
Сильное повреждение всех зданий	>100	39,748
Среднее повреждение зданий с массовыми обвалами	70	58,576
Среднее повреждение промзданий	28	100,416
Легкие повреждения фабричных труб	14	292,880
Частичное разрушение остекления	<2	585,76

Из таблицы 1 видно, что величина радиуса среднего повреждения промзданий (28 кПа) согласно программе ПВ-Безопасность составляет 100,416 м, а среднее повреждение зданий с массовыми обвалами (70 кПа) – 58,576 м.

На рисунке 3 представлено сравнение радиусов зон повреждения зданий и сооружений в результате взрыва облака пропан-бутановой смеси при избыточном давлении 28 кПа и 70 кПа согласно фактическим данным аварии, а также расчетам, полученным при моделировании взрыва в программах ТОХI+Risk и ПВ-Безопасность.

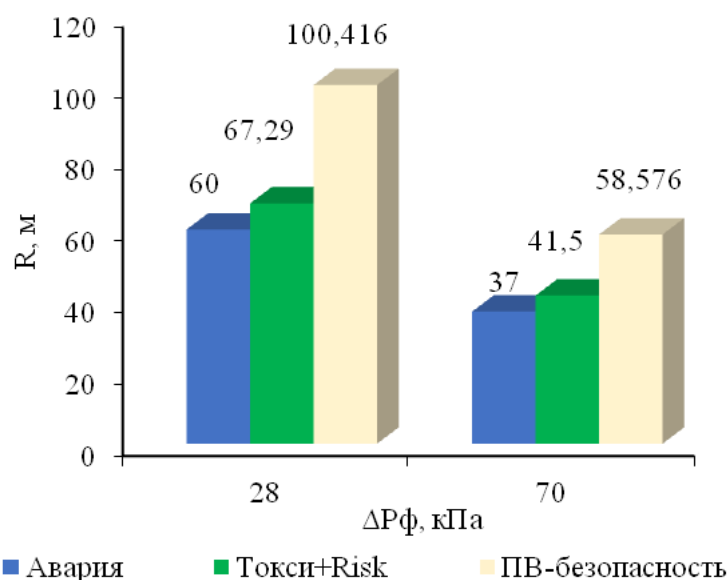
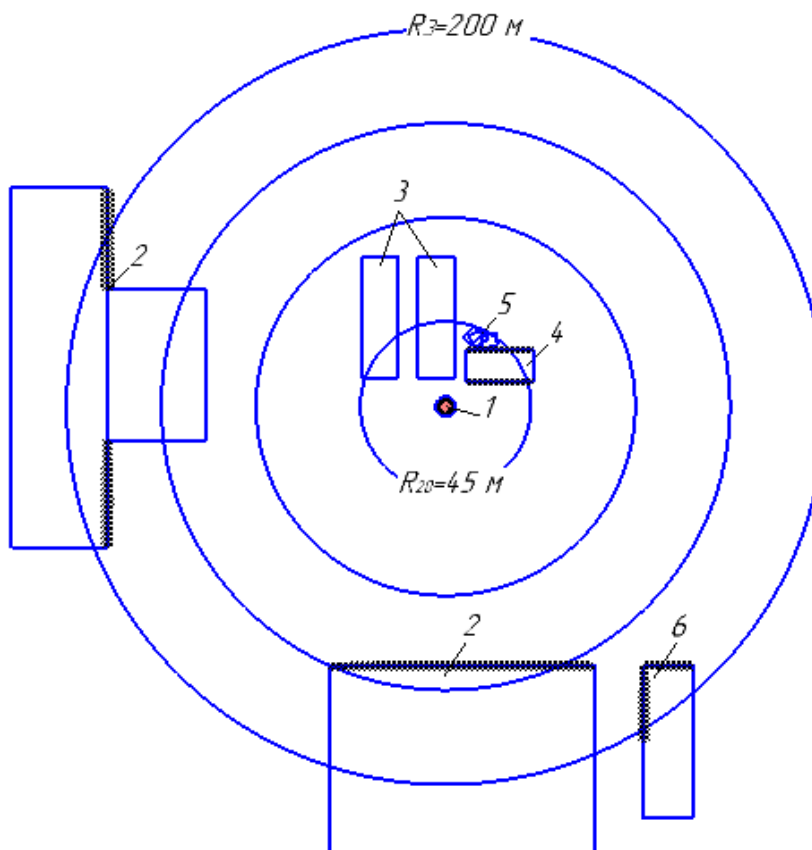


Рисунок 3. Сравнение радиусов зон повреждения зданий при взрыве пропан-бутановой смеси

Из рисунка 3 можно сделать вывод о том, что результаты расчета радиусов зон повреждения зданий и сооружений при взрыве облака пропан-бутановой смеси, полученные программными продуктами, превышают фактические данные аварии в 1,12 раз (ТОХI+Risk) и 1,67 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 28 кПа, в 1,12 раз (ТОХI+Risk) и 1,58 раз (ПВ-Безопасность) при 70 кПа.

Рассмотрим следующую аварию со взрывом ТВС [14]. В 1987 г. на открытой установке полиэтилена в результате аварийного разрушения

трубопровода в течение 3 с в атмосферу было выброшено 450 кг этилена. При взрыве образовавшегося этиленового облака произошло разрушение остекления расположенных в непосредственной близости зданий и сооружений, при этом максимальное давление взрыва в радиусе 45 м составило 20 кПа. На рисунке 4 представлена схема разрушений при взрыве облака этилена.



*R<sub>20</sub> – радиус зон разрушений при P<sub>взр</sub>=20 кПа  
 R<sub>3</sub> – радиус зон разрушений при P<sub>взр</sub>=3 кПа*

- 1 – место истечения этилена; 2 – производственный корпус;
- 3 – реакторный блок (полимеризации этилена) в ограждающих железобетонных конструкциях; 4 – здание станции горячей воды;
- 5 – место разрушения стеновых панелей;
- 6 – административно-бытовой корпус

Рисунок 4. План-схема разрушений от взрыва облака этилена [14]

Согласно рисунку 4 частичное разрушение стен и перегородок (20 кПа) в результате взрыва облака этилена наблюдалось на расстоянии 45 м, а разрушение остекления (3 кПа) – при 200 м.



Произведем оценку последствий взрыва облака этилена с помощью программ TOXI+Risk и ПВ-Безопасность. Результат расчета радиусов зон повреждений зданий с помощью TOXI+Risk представлен на рисунке 5.

Методики		Давление-импульс	Давление	Пробит-функция
Методика <input checked="" type="radio"/> РБ (утв. РТН №159 от 20.04.2015) <input type="radio"/> ГОСТ 12.3.047-2012/Методика определения расчетных величин пожарного риска на ПО		Критерии поражения.		
Вещество Этилен		Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах		
Удельная теплота сгорания 47200000 Дж/кг		<input type="checkbox"/>	Полное разрушение зданий	100000 Па 18,86 м
Стехиометрическая концентрация 0,07735 кг/м <sup>3</sup>		<input type="checkbox"/>	50%-ое разрушение зданий	53000 Па 26,39 м
Класс чувствительности вещества Чувствительные вещества		<input type="checkbox"/>	Средние повреждения зданий	28000 Па 38,38 м
Чувствительные вещества Агрегатное состояние вещества Газовое		<input type="checkbox"/>	Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам и т.п.)	12000 Па 68,59 м
Температура окружающей среды 25 °C		<input type="checkbox"/>	Нижний порог повреждения человека волной давления	5000 Па 152,23 м
Концентрация горючего в смеси <input checked="" type="checkbox"/> Равна стехиометрической 0,06 кг/м <sup>3</sup>		<input type="checkbox"/>	Малые повреждения (разбита часть остекления)	3000 Па 225,8 м
Масса горючего в облаке 45 кг		Критерии поражения.		
Скорость фронта пламени <input checked="" type="checkbox"/> Определяется программой 293 м/с		Руководство по оценке пожарного риска, 2006 г.		
<input checked="" type="checkbox"/> Наличие труб, полостей, каверн		<input checked="" type="checkbox"/>	Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, погибнут в результате прямого поражения ЧВ, под развалинами зданий или вследствие удара о твердые предметы	190000 Па 13,81 м
<input checked="" type="checkbox"/> Облако у поверхности земли		<input checked="" type="checkbox"/>	Наиболее вероятно, что все люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут, либо получат серьезные повреждения в результате действия взрывной волны, либо при обрушении здания или перемещении тела взрывной волной	69000 Па 22,86 м
		<input checked="" type="checkbox"/>	Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут или получат серьезные повреждения барабанных перепонок и легких под действием взрывной волны, либо будут поражены осколками и развалинами здания	55000 Па 25,86 м
		<input checked="" type="checkbox"/>	Обслуживающий персонал получит серьезные повреждения с возможным летальным исходом в результате поражения осколками, развалинами здания, горящими предметами и т.п. Имеется 10%-ая вероятность разрыва барабанных перепонок	24000 Па 42,28 м
		<input checked="" type="checkbox"/>	Возможна временная потеря слуха или травмы в результате вторичных эффектов взрывной волны, таких, как обрушение зданий, и третичного эффекта переноса тела	16000 Па 55,54 м
		<input checked="" type="checkbox"/>	С высокой надежностью гарантируется отсутствие летального исхода или серьезных повреждений	5900 Па 127,57 м

Рисунок 5. Результат расчета последствий взрыва облака этилена с помощью TOXI+Risk

В соответствии с данными, определенными программой TOXI+Risk (рисунок 5), используя метод интерполяции, получим, что избыточному давлению 20 кПа соответствует радиус 77,14 м, а давлению 3 кПа – 225,8 м.

Результат расчета радиусов зон повреждения зданий в результате взрыва облака этилена с помощью ПВ-Безопасность представлен в таблице 2.

Согласно данным, рассчитанным по программе ПВ-Безопасность (таблица 2) с учетом использования метода интерполяции, получим, что избыточному давлению 20 кПа соответствует радиус 101,72 м, а давлению 3 кПа – 269,85 м.

Таблица 2. Расчет радиусов зон повреждения в ПВ-Безопасность

Вероятные последствия, характер повреждений зданий и сооружений	Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Радиус разрушения, м
Сильное повреждение всех зданий	> 100	19,22
Среднее повреждение зданий с массовыми обвалами	70	28,32
Среднее повреждение промзданий	28	48,55
Легкие повреждения фабричных труб	14	141,60
Частичное разрушение остекления	< 2	281,512

Проведем сравнение радиусов зон повреждения зданий и сооружений в результате взрыва облака этилена при избыточном давлении 20 кПа и 3 кПа согласно фактическим данным аварии, а также результатам, полученным при моделировании взрыва по программам TOXI+Risk и ПВ-Безопасность (рисунок 6).

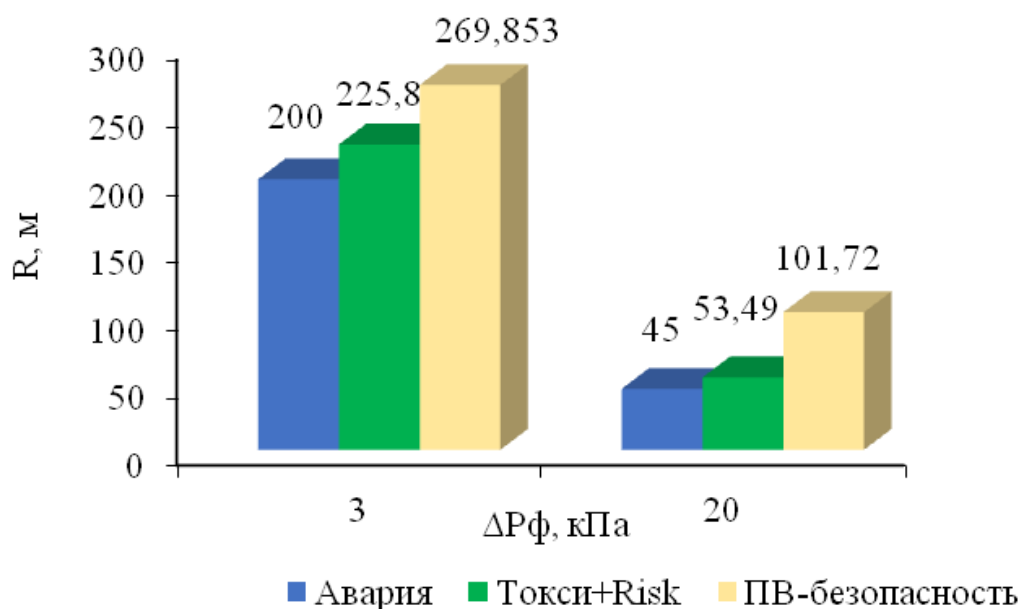


Рисунок 6. Сравнение радиусов зон повреждения зданий при взрыве облака этилена

Из рисунка 6 можно сделать вывод о том, что результаты расчета радиусов зон повреждения зданий и сооружений при взрыве облака

этилена, полученные программными продуктами, превышают фактические данные аварии в 1,19 раз (ТОХI+Risk) и 2,03 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 20 кПа, а также в 1,07 раз (ТОХI+Risk) и 1,35 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 3 кПа.

Рассмотрим еще один пример аварии со взрывом ТВС [16]. 19 июня 1974 г. около 5 часов утра на товарной сортировочной станции Декейтора (штат Иллинойс, США) произошло столкновение автомобиля с цистерной, содержащей 69 т бутана. В результате соударения в цистерне образовалась дыра размером 1/3 м<sup>2</sup>. Около 8-10 мин спустя произошло возгорание вещества и последующий взрыв парового облака.

Общая характеристика аварии представлена в таблице 3 [16].

Таблица 3. Исходные данные аварии на товарной сортировочной станции Декейтора (штат Иллинойс, США)

Характеристика аварии	Значение
Вовлеченное в аварию вещество	Изобутан
Давление в резервуаре, Мпа	0,25
Количество вещества в разлитие, т	69
Количество вещества в облаке, т	40
Задержка воспламенения парового облака, мин	8-10

На рисунке 7 представлены зоны разрушений зданий и сооружений при взрыве облака изобутана.

Из рисунка 7 видно, что зона серьезного разрушения зданий и сооружений при взрыве облака изобутана наблюдается при радиусе 70 м, умеренные разрушения – при 250 м, а легкие – на расстоянии 850 м. Произведем оценку последствий взрыва облака изобутана с помощью программ ТОХI+Risk и ПВ-Безопасность. Результат расчета радиусов зон разрушений зданий и сооружений с помощью ТОХI+Risk представлен на рисунке 8.

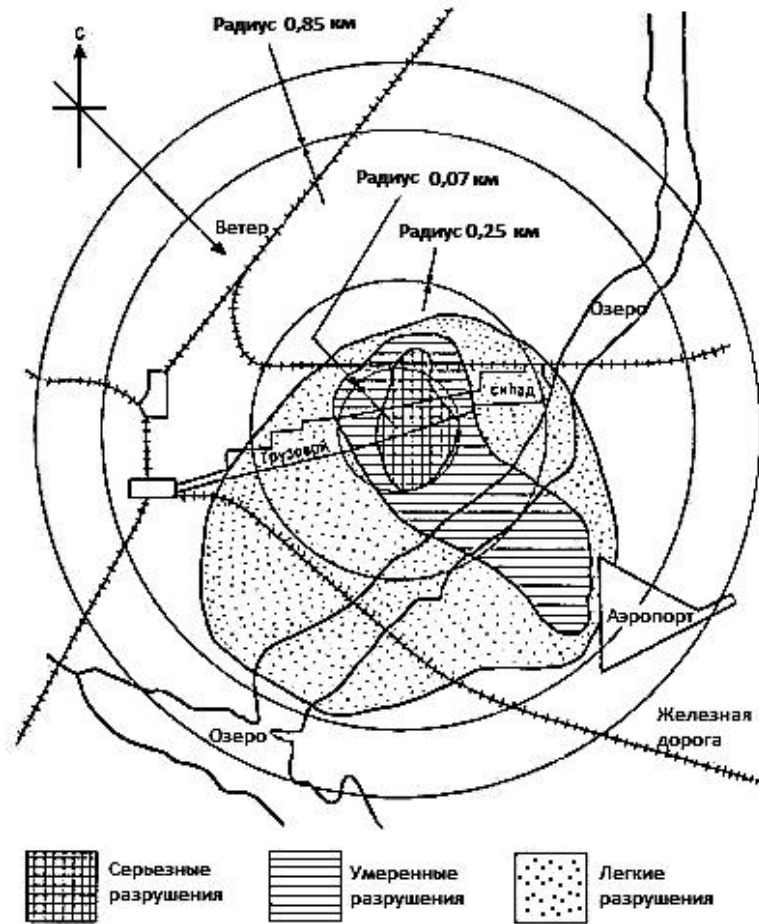


Рисунок 7. Зоны разрушений зданий и сооружений при взрыве облака изобутана [16]

Методики  
 РБ (утв. РТН №159 от 20.04.2015)  
 ГОСТ 12.3.047-2012/Методика определения расчетных величин пожарного риска на ПО

Вещество  
 Изобутан

Удельная теплота сгорания  
 45550000 Дж/кг

Стехиометрическая концентрация  
 0,0836649 кг/м<sup>3</sup>

Класс чувствительности вещества  
 Чувствительные вещества

Агрегатное состояние вещества  
 Газовое

Температура окружающей среды  
 40 °C

Концентрация горючего в смеси  
 Равна стехиометрической  
 0,06 кг/м<sup>3</sup>

Масса горючего в облаке  
 4000 кг

Скорость фронта пламени  
 Определяется программой  
 293 м/с

Наличие труб, полостей, каверн  
 Облако у поверхности земли

Давление-импульс | Давление | Пробит-функция

Критерии поражения.  
 Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах

<input type="checkbox"/>	Полное разрушение зданий	100000	Па	83,16	м
<input type="checkbox"/>	50%-ое разрушение зданий	53000	Па	116,37	м
<input type="checkbox"/>	Средние повреждения зданий	28000	Па	169,25	м
<input type="checkbox"/>	Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам и т.п.)	12000	Па	302,51	м
<input type="checkbox"/>	Нижний порог повреждения человека волной давления	5000	Па	671,39	м
<input type="checkbox"/>	Малые повреждения (разбита часть остекления)	3000	Па	995,85	м

Критерии поражения.  
 Руководство по оценке пожарного риска, 2006 г.

<input checked="" type="checkbox"/>	Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, погибнут в результате прямого поражения УВ, под развалинами зданий или вследствие удара о твердые предметы	190000	Па	60,89	м
<input checked="" type="checkbox"/>	Наиболее вероятно, что все люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут, либо получат серьезные повреждения в результате действия взрывной волны, либо при обрушении здания или перемещении тела взрывной волной	69000	Па	100,84	м
<input checked="" type="checkbox"/>	Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут или получат серьезные повреждения барабанных перепонки и легких под действием взрывной волны, либо будут поражены осколками и развалинами здания	55000	Па	114,05	м
<input checked="" type="checkbox"/>	Обслуживающий персонал получит серьезные повреждения с возможным летальным исходом в результате поражения осколками, развалинами здания, горящими предметами и т.п. Имеется 10%-ая вероятность разрыва барабанных перепонки	24000	Па	186,48	м
<input checked="" type="checkbox"/>	Возможна временная потеря слуха или травмы в результате вторичных эффектов взрывной волны, таких, как обрушение зданий, и третичного эффекта переноса тела	16000	Па	244,95	м
<input checked="" type="checkbox"/>	С высокой надежностью гарантируется отсутствие летального исхода или серьезных повреждений	5900	Па	562,64	м

Рисунок 8. Результат расчета последствий взрыва с помощью TOXI+Risk

Из рисунка 8 следует, что величина радиуса полного разрушения зданий (100 кПа) составляет 83,16 м, умеренного повреждения (12 кПа) – 302,51 м, а малого повреждения (3 кПа) – 995,85 м.

Результат расчета последствий взрыва с помощью ПВ-Безопасность представлен в таблице 4.

Согласно таблице 4 сильное повреждение зданий (> 100 кПа) произошло на расстоянии 186,762 м, частичное разрушение остекления (<2 кПа) – при 2752,28 м. С помощью метода интерполяции получим, что избыточному давлению 3 кПа соответствует радиус 2637,6 м.

Таблица 4. Расчет радиусов зон повреждения в ПВ-Безопасность

Характер разрушения	Давление ударной волны, к Па	Радиус разрушения, м
Сильное повреждение всех зданий	> 100	186,762
Среднее повреждение зданий	70	275,228
Среднее повреждение промзданий	28	471,820
Легкие повреждения фабричных труб	14	1376,140
Частичное разрушение остекления	< 2	2752,280

Проведем сравнение радиусов зон поражения зданий и сооружений в результате взрыва бутановой фракции при избыточном давлении 100 кПа, 12 кПа и 3 кПа согласно фактическим данным аварии, а также результатам, полученным при моделировании взрыва в программах TOXI+Risk и ПВ-Безопасность (рисунок 9).

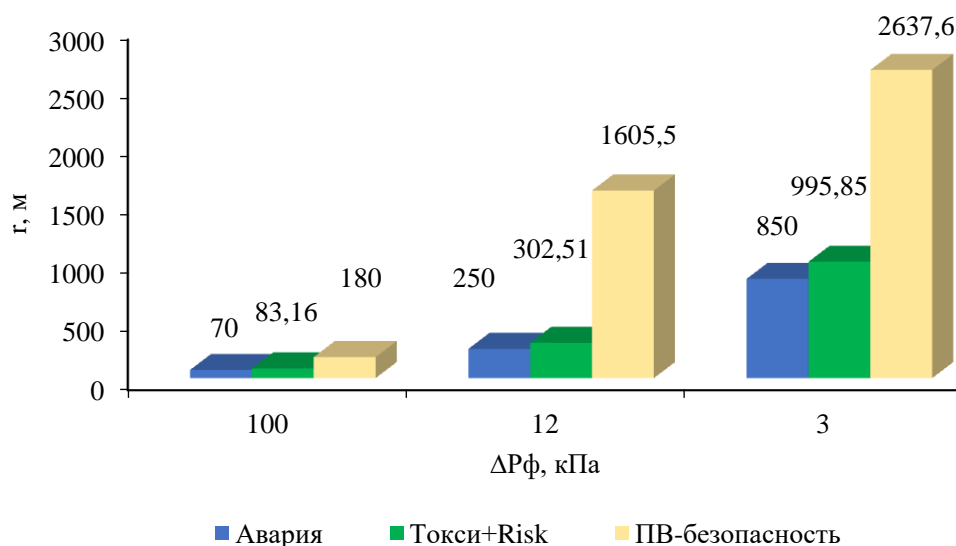


Рисунок 9. Сравнение радиусов зон повреждения зданий при взрыве облака изобутана

Из рисунка 9 можно сделать вывод о том, что результаты расчета радиусов зон повреждения зданий и сооружений при взрыве облака изобутана, полученные программными продуктами, превышают реальные значения показателей аварии в 1,19 раз (ТОХИ+Risk) и 2,25 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 100 кПа, и в 1,21 раз (ТОХИ+Risk) и 6,42 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 12 кПа и в 1,17 раз (ТОХИ+Risk) и 3,10 раз (ПВ-Безопасность) при избыточном давлении 3 кПа.

Однако на основании анализа аварий невозможно утверждать об отклонении результатов расчета с помощью методик [8, 9, 17] от значений реальных аварий. Кроме того, информация о реальных авариях со взрывами ТВС и известными зонами разрушений зданий в открытом доступе крайне ограничена.

Альтернативным вариантом анализа методик последствий взрыва является сравнительный анализ параметров взрывных процессов, смоделированных программными продуктами, с экспериментальными данными. Одно из таких экспериментальных исследований выполнено Фраунгоферским институтом химической технологии в Германии в 1983 г.



[18, 19]. Для эксперимента на равнинной местности был размещен полусферический купол диаметром 20 м (общий объем 2094 м<sup>3</sup>), заполненный гомогенной стехиометрической водородно-воздушной смесью (рисунок 10).

Необходимый воздух поступал из атмосферы с помощью вентилятора и вводился в купол через трубу, снабженную клапаном. Водород, общей массой 51 кг, подавался из нескольких бутылок, соединенных параллельно, при этом необходимое количество определялось на основании известных объемов и давления в бутылках. Воздушные вентиляторы осуществляли эффективное смешивание горючего газа в куполе. Образцы газа на разных высотах анализировались с использованием газовой хроматографии для проверки гомогенности смеси водород – воздух. Начальное давление в куполе было равным 98,9 кПа, начальная температура составляла 283 К. После инициирования возгорания по центру купола пламя заполнило объём полусферы. Купол слегка вытянулся наружу, пока не разорвался по швам, граничащим с землей, и вдоль продольных сварных швов. Это произошло в тот момент, когда пламя достигло примерно половины радиуса купола (5 м).



Рисунок 10. Эксперимент с водородом [18]

Динамика избыточного давления во фронте ударной волны регистрировалась с использованием 11 датчиков, установленным на уровне земли на различных расстояниях (таблица 5) [18].

Таблица 5. Динамика избыточного давления во фронте ударной волны

Радиус, м	Давление, кПа
20	27
25	20
30	10
35	3

Из таблицы 5 можно сделать вывод о том, что при экспериментальном взрыве наблюдаются легкие повреждения зданий и сооружений, серьезных разрушений при этом не будет.

Произведем моделирование эксперимента с водородом с помощью программ TOXI+Risk и ПВ-Безопасность. Результат расчета последствий взрыва с помощью TOXI+Risk представлен на рисунке 11.

The screenshot shows the TOXI+Risk software interface with the following settings and criteria:

- Methodology:** РБ (утв. РТН №159 от 20.04.2015) / ГОСТ 12.3.047-2012/Методика определения расчетных величин пожарного риска на ПО
- Substance:** Водород
- Udacity of heat of combustion:** 120900000 Дж/кг
- Stoichiometric concentration:** 0,0266104 кг/м3
- Class of substance sensitivity:** Особо чувствительные вещества
- Aggregative state of substance:** Газовое
- Temperature of surrounding environment:** 20 °C
- Concentration of combustible in mixture:** Равна стехиометрической (0,06 кг/м3)
- Mass of combustible in cloud:** 51 кг
- Flame front velocity:** 293 м/с
- Presence of pipes, ducts, cables:** Наличие труб, полостей, кабелей
- Cloud at ground level:** Облако у поверхности земли

**Criteria of damage (Критерии поражения):**

- Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах:
  - Полное разрушение зданий: 100000 Па, 21,35 м
  - 50%-ое разрушение зданий: 53000 Па, 29,87 м
  - Средние повреждения зданий: 28000 Па, 43,45 м
  - Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам и т.п.): 12000 Па, 77,66 м
  - Нижний порог повреждения человека волной давления: 5000 Па, 172,36 м
  - Малые повреждения (разбита часть остекления): 3000 Па, 255,66 м
- Руководство по оценке пожарного риска, 2006 г.:
  - Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, погибнут в результате прямого поражения УВ, под развалинами зданий или вследствие удара о твердые предметы: 190000 Па, 15,63 м
  - Наиболее вероятно, что все люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут, либо получат серьезные повреждения в результате действия взрывной волны, либо при обрушении здания или перемещении тела взрывной волной: 69000 Па, 25,89 м
  - Люди, находящиеся в неукрепленных зданиях, либо погибнут или получат серьезные повреждения барабанных перепонки и легких под действием взрывной волны, либо будут поражены осколками и развалинами здания: 55000 Па, 29,28 м
  - Обслуживающий персонал получит серьезные повреждения с возможным летальным исходом в результате поражения осколками, развалинами здания, горящими предметами и т.п. Имеется 10%-ая вероятность разрыва барабанных перепонки: 24000 Па, 47,88 м
  - Возможна временная потеря слуха или травмы в результате вторичных эффектов взрывной волны, таких, как обрушение зданий, и третичного эффекта переноса тела: 16000 Па, 62,88 м
  - С высокой надежностью гарантируется отсутствие летального исхода или серьезных повреждений: 5900 Па, 144,44 м

Рисунок 11. Результат расчета последствий взрыва с помощью TOXI+Risk



Результаты расчета последствий взрыва с помощью ПВ-Безопасность подставлены в таблице 6.

Таблица 6. Расчет радиусов разрушения в ПВ-Безопасность

Вероятные последствия, характер повреждений зданий и сооружений	Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Радиус разрушения, м
Сильное повреждение всех зданий	>100	18,015
Среднее повреждение зданий с массовыми обвалами	70	26,548
Среднее повреждение промзданий	28	45,272
Легкие повреждения фабричных труб	14	132,740
Частичное разрушение остекления	<2	265,479

Проведем анализ изменения избыточного давления во фронте ударной волны при взрыве водорода согласно экспериментальным данным, а также расчетам, полученным при оценке взрыва по программам ТОХИ+Risk и ПВ-Безопасность (рисунок 12).

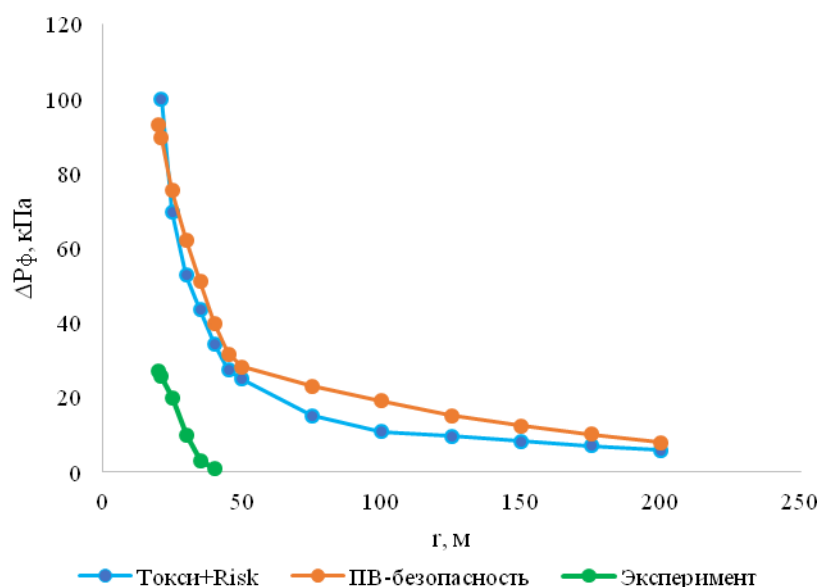


Рисунок 12. Изменение избыточного давления во фронте ударной волны при взрыве водорода

Из рисунка 12 можно сделать вывод о том, что результаты расчета последствий взрыва водорода с помощью программ ТОХИ+Risk и ПВ-Безопасность при заданных одинаковых условиях значительно (> 3 раз)

превышают экспериментальные данные. При этом следует отметить, что расчет с помощью программы TOXI+Risk наиболее приближен к значениям, полученным в результате эксперимента.

## Выводы

Таким образом, сравнительный анализ фактических и экспериментальных значений последствий взрыва с данными, полученными с помощью программ TOXI+Risk и ПВ-Безопасность, показал значительное завышение радиусов зон повреждения зданий и сооружений программными продуктами. При этом наибольшее отклонение от фактических/экспериментальных значений наблюдается при моделировании взрывов ТВС программой ПВ-безопасность [20, 21].

В основе методики [8, 22] по определению радиусов зон повреждений зданий и сооружений при взрывах, используемой программой ПВ-безопасность, лежит модель «тротилового эквивалента», которая не в полной мере отвечает реальным процессам, происходящим при промышленных авариях со взрывами ТВС, для которых характерен дефлаграционный, а не детонационный режим взрывного превращения [16, 23]. Также методика [8, 24, 25] не позволяет учитывать ряд других важных условий и факторов, влияющих на развитие и последствия взрыва, таких как агрегатное состояние опасного вещества, характеристики окружающего пространства и положения точки инициирования взрывоопасного облака. Указанные недостатки отсутствуют в методике оценки последствий аварийных взрывов, используемой программой TOXI+Risk [9]. Однако полученное завышение результатов расчета зон повреждения зданий и сооружений в TOXI+Risk (в среднем на 18 %) требует дальнейшего анализа. Необходимость повышения достоверности расчетов последствий взрыва связана с тем, что завышенные значения расчетных зон разрушения нередко требуют чрезмерных экономических расходов, а также затрат на увеличение прочности конструкций и

взрывоустойчивости зданий, сооружений или их удаление на значительное расстояние от возможных источников взрыва.

### Список используемых источников

1. Нуретдинова Д.Ф., Гостёнова Е.А. Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Анализ статистических данных об авариях на объектах нефтегазовой отрасли России за 2012-2016 гг. // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2017. № 3. С. 26-32.

2. Абдрахманов Н.Х., Матвеев В.П., Ницета А.С., Савицкий В.В., Доржиева О.А., Хакимов Т.А. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2015. № 5. С. 162-164.

3. Хафизов А.Р., Шайдаков В.В., Шутов Н.В., Кравцов В.В. Исследование и повышение ресурса работы уплотнительных устройств машин и агрегатов // Матер. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию ИжГТУ: в 5 ч. 2002. С. 83-89.

4. Абдрахимов Ю.Р., Макаренко О.А., Кравцов В.В., Шутов Н.В. Повышение износостойкости уплотнительных материалов понтонов и защитных покрытий внутренней поверхности резервуаров // Проблемы качества и безопасности в нефтегазохимическом комплексе: сб. науч.-техн. ст. / УГНТУ, филиал в г. Салавате. Салават, 2006. С. 68-69.

5. Селуянов А.А., Чернова К.В., Шутов Н.В. Анализ источников попадания нефти в гидросферу Земли // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 3. С. 96-104.

6. Гайсина Л.М. Дефицит в стране изобилия: нехватка высококвалифицированных кадров в системе нефтегазового комплекса России // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 6. С. 501-509. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Gaysina/Gaysina\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Gaysina/Gaysina_1.pdf).

7. Гайсина Л.М., Дорожкин Ю.Н. Управление персоналом в российских компаниях нефтегазового комплекса: современные социальные приоритеты. Уфа: Изд-во. «Нефтегазовое дело», 2010.

8. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 г. № 96 (ред. от 26.11.2015) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. 126 с.

9. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.03.2016 г. № 137 (ред. от 19.04.2016) «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 32 с.

10. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Абдрахманов Р.Н. Требования к информационному, организационному и техническому обеспечению построения информационно-управляющей системы безопасности для предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 2 (8). С. 14-17.

11. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Абдрахманов Р.Н. Требования к программному обеспечению построения информационно-управляющей системы безопасности при эксплуатации опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 2 (8). С. 43-45.

12. Нуретдинова Д.Ф., Гостёнова Е.А. Сравнительный анализ результатов оценки радиусов зон разрушений зданий в результате аварии на объектах нефтегазовой отрасли // Интеграция теории, методологии и практики в современных науках и образовании: матер. Междунар. науч. конф. Ульяновск: ЦНР «Большая книга», 2017. С. 53-55.

13. Kunelbayev M.M., Gaysin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption by Heat-Transfer Agent in a Flat Plate Solar Collector // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2017. Vol. 115, No. 455. P. 305-319. DOI: 10.12732/ijpam.v115i455.10. Available at: <http://www.ijpam.eu/contents/2017-115-3/index.html>.

14. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991. 432 с.

15. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N.Kh., Grogulenko N.V. Principios y métodos de modelización sinérgica del sistema de gestión en las empresas del sector de petróleo y gas // Revista ESPACIOS. 2017. Vol. 38 (Nº 33). <http://www.revistaespacios.com/a17v38n33/17383305.html>.

16. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 672 с.

17. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности / Р.Н. Бахтизин, С.Г. Родионова, Ю.В. Лисин, Р.Г. Шарафиев, Н.Х. Абдрахманов, В.Б. Барахнина, Н.Я. Багаутдинов, И.Р. Киреев, В.В. Ерофеев, Г.И. Латыпова, С.А. Половков. М.: Недра, 2017. 826 с.

18. Beccantini A., Malczynski A., Studer E. Intercomparison Exercise on the Capabilities of CTD Models to Predict Deflagration of a Large-Scale H-Air Mixture in Open Atmosphere // 5<sup>th</sup> International Seminar on Fire and Explosion Hazards, Edinburgh, 2007.

19. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Maier V.V., Abdrakhmanov N.Kh., Sultanova E.A. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the Period of Changes in Economics // Espacios. 2017. Vol. 38 (Nº 48). Available at: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n48/a17v38n48p12.pdf>.

20. Абдрахманов Н.Х., Шутов Н.В., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А. Исследование и анализ нестационарности возникновения и развития потенциально опасных ситуаций при эксплуатации опасных производственных объектов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 1. С. 292-306. URL: [http://ogbus.ru/issues/1\\_2015/ogbus\\_1\\_2015\\_p292-306\\_AbrakhmanovNKH\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p292-306_AbrakhmanovNKH_ru.pdf).

21. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А. Создание системы оперативного мониторинга промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: сб. матер. науч.-практ. конф. «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах» 20-21 мая 2015 г. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. С. 19-23.

22. Бейкер У., Кокс П. Взрывные явления. Оценка и последствия: Кн. 1 / Под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986. 319 с.

23. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaysin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact Through Forecasting the Occupational Risks // Man in India. 2017. Vol. 97, No. 20. P. 495-511.

24. Семченкова Д.Н., Растоскуев В.В., Абдрахманов Н.Х. Комплексная экспресс-оценка экологических рисков в нефтяной промышленности // Нефтяное хозяйство. 2008. № 8. С. 104-105.

25. Кускильдин Р.А. Абдрахманов Н.А., Закирова З.А., Ялалова Э.Ф., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 111-120.

## References

1. Nuretdinova D.F., Gostenova E.A. Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Analiz statisticheskikh dannykh ob avariakh na ob"ektakh neftegazovoi otrasli Rossii za 2012-2016 gg. [Analysis of Statistical Data on Accidents at Oil and Gas Facilities in Russia for 2012-2016]. *Vestnik molodogo uchenogo UGNTU – Bulletin of a Young Scientist of the UGNTU*, 2017, No. 3, pp. 26-32. [in Russian].
2. Abdrakhmanov N.Kh., Matveev V.P., Nishcheta A. S., Savitskii V.V., Dorzhieva O.A., Khakimov T.A. Analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta issledovaniy v oblasti bezopasnogo proektirovaniya i ekspluatatsii tekhnologicheskikh ob"ektov neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv [Analysis of Domestic and Foreign Experience of Research in the Field of Safe Design and Operation of Technological Facilities of Oil Refining and Petrochemical Industries]. *Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov – Expertise of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities*, 2015, No. 5, pp. 162-164. (in Russ.). [in Russian].
3. Khafizov A.R., Shaidakov V.V., Shutov N.V., Kravtsov V.V. Issledovanie i povyshenie resursa raboty uplotnitel'nykh ustroystv mashin i agregatov [Research and Increasing the Life of Machine and Aggregate Sealing Devices]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu IzhGTU: v 5 ch.* [Materials of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 50<sup>th</sup> Anniversary of IzhSTU: In 5 P.]. 2002, pp. 83-89.
4. Abdrakhimov Yu.R., Makarenko O.A., Kravtsov V.V., Shutov N.V. Povyshenie iznosostoikosti uplotnitel'nykh materialov pontonov i zashchitnykh pokrytii vnutrennei poverkhnosti rezervuarov [Increasing the Wear Resistance of Pontoon Sealing Materials and Protective Coatings of the Internal Surface of Tanks]. *Sbornik nauchno-tekhnicheskikh statei «Problemy kachestva i bezopasnosti v neftegazokhimicheskoy kompleksе», UGNTU, filial v g. Salavate* [Collection of Scientific and Technical Articles «Problems of Quality and Safety in the Oil and Gas Complex», USPTU, Branch in Salavat]. Salavat, 2006, pp. 68-69.



5. Seluyanov A.A., Chernova K.V., Shutov N.V. Analiz istochnikov popadaniya nefti v gidrosferu Zemli [The Analysis of Sources of Hit of Oil in Hydrosphere of The Earth]. *Neftegazovoe delo – Petroleum Engineering*, 2011, Vol. 9, No. 3, pp. 96-104.

6. Gaisina L.M. Defitsit v strane izobiliya: nekhvatka vysokokvalifitsirovannykh kadrov v sisteme neftegazovogo kompleksa Rossii [Deficiency in an Abundance Country: Shortage of Highly-Qualified Personnel in Russian Petroleum Industry]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2011, No. 6, pp. 501-509. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Gaysina/Gaysina\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Gaysina/Gaysina_1.pdf).

7. Gaisina L.M., Dorozhkin Yu.N. *Upravlenie personalom v rossiiskikh kompaniyakh neftegazovogo kompleksa: sovremennye sotsial'nye priority* [Personnel Management in Russian Oil and Gas Companies: Modern Social Priorities]. Ufa, Neftegazovoe delo Publ., 2010.

8. *Prikaz Federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 11.03.2013 g. № 96 (red. ot 26.11.2015) «Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Obshchie pravila vzryvobezopasnosti dlya vzryvopozharoopasnykh khimicheskikh, neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv»* [Order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision dd. March, 11, 2013, No. 96 (Edited on November, 26, 2015) «On the Approval of Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety General Explosion-proof Rules Chemical, Petrochemical and Oil Refineries»]. Moscow, ZAO NTTs PB, 2013. 126 p. [in Russian].

9. *Prikaz Federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 31.03.2016 g. № 137 (red. ot 19.04.2016) «Metodika otsenki posledstviy avariinykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesei»* [Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dd. March 31, 2016 No. 137 (Ed., dd. April 19, 2016) «Methodology for Assessing the Consequences of Emergency Explosions of Fuel and Air Mixtures»]. Moscow, ZAO NTTs PB, 2016. 32 p. [in Russian].



10. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Abdrakhmanov R.N. Trebovaniya k informatsionnomu, organizatsionnomu i tekhnicheskomu obespecheniyu postroeniya informatsionnoupravlyayushchei sistemy bezopas-nosti dlya predpriyatii neftegazopererabaty-vayushchei promyshlennosti [Requirements for Information, Organizational and Technical Support for the Construction of an Information and Control Security System for Oil and Gas Processing Enterprises]. *Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov – Expertise of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities*, 2016, No. 2 (8), pp. 14-17. (in Russ.). [in Russian].

11. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Abdrakhmanov R.N. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu postroeniya informatsionno-upravlyayushchei sistemy bezopasnosti pri ekspluatatsii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov neftegazovoi otrasli [Requirements to the Software of Creation of a Management Information Security System at Operation of Hazardous Production Facilities of Oil and Gas Branch]. *Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov – Expertise of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities*, 2016, No. 2 (8), pp. 43-45. [in Russian].

12. Nuretdinova D.F., Gostenova E.A. Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov otsenki radiusov zon razrushenii zdaniy v rezul'tate avarii na ob"ektakh neftegazovoi otrasli [Comparative Analysis of the Results of Estimating the Radii of the Zones of Building Destruction as a Result of an Accident at Oil and Gas Facilities]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchoi konferentsii «Integratsiya teorii, metodologii i praktiki v sovremennykh naukakh i obrazovanii»* [Materials of International Scientific Conference «Integration of Theory, Methodology and Practice in Modern Sciences and Education»]. Ulyanovsk, TsNR «Bol'shaya kniga», 2017, pp. 53-55. [in Russian].

13. Kunelbayev M.M., Gaysin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption by Heat-Transfer Agent in a Flat Plate Solar Collector. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2017, Vol. 115, No. 455, pp. 305-319. DOI: 10.12732/ijpam.v115i455.10. Available at: <http://www.ijpam.eu/contents/2017-115-3/index.html>.

14. Beschastnov M.V. *Promyshlennyye vzryvy. Otsenka i preduprezhdenie* [Industrial Explosions. Assessment and Warning]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 432 p. [in Russian].

15. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N.Kh., Grogulenko N.V. Principios y métodos de modelización sinérgica del sistema de gestión en las empresas del sector de petróleo y gas. *Revista ESPACIOS*, 2017, Vol. 38 (Nº 33). <http://www.revistaespacios.com/a17v38n33/17383305.html>.

16. Marshall V. *Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv* [The Main Hazards of Chemical Production]. Moscow, Mir Publ., 1989. 672 p. [in Russian].

17. Bakhtizin R.N., Rodionova S.G., Lisin Yu.V., Sharafiev R.G., Abdrakhmanov N.Kh., Barakhnina V.B., Bagautdinov N.Ya., Kireev I.R., Erofeev V.V., Latypova G.I., Polovkov S.A. *Entsiklopediya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Encyclopedia of Life Safety]. Moscow, Nedra Publ., 2017. 826 p. [in Russian].

18. Beccantini A., Malczynski A., Studer E. Intercomparison Exercise on the Capabilities of CTD Models to Predict Deflagration of a Large-Scale H-Air Mixture in Open Atmosphere. *5<sup>th</sup> International Seminar on Fire and Explosion Hazards*, Edinburgh, 2007.

19. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Maier V.V., Abdrakhmanov N.Kh., Sultanova E.A. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the Period of Changes in Economics. *Espacios*, 2017, Vol. 38 (Nº 48). Available at: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n48/a17v38n48p12.pdf>.

20. Abdrakhmanov N.Kh., Shutov N.V., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Shaibakov R.A. Issledovanie i analiz nestatsionarnosti vozniknoveniya i razvitiya potentsial'no opasnykh situatsii pri ekspluatatsii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov [Research and the Analysis of Not Stationarity of Emergence and Development of Potentially Dangerous Situations at Operation of Hazardous Production Facilities]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2015, No. 1, pp. 292-306. URL: [http://ogbus.ru/issues/1\\_2015/ogbus\\_1\\_2015\\_p292-306\\_AbdrakhmanovNKH\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p292-306_AbdrakhmanovNKH_ru.pdf). [in Russian].

21. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Shaibakov R.A. Sozdanie sistemy operativnogo monitoringa promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov [Creation of a System of Operational Monitoring of Industrial and Environmental Safety of Hazardous Production Facilities]. *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii «Promyshlennaya bezopasnost' na vzryvopozharoopasnykh i khimicheskii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh» 20-21 maya 2015 g.* [Collection of Materials of Scientific-Practical Conference «Industrial Safety in Explosive and Hazardous Industrial Facilities» May 20-21, 2015]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 19-23. [in Russian].

22. Beiker U., Koks P. *Vzryvnye yavleniya. Otsenka i posledstviya: Kn. 1* [Explosive Phenomena. Evaluation and Consequences: Book 1]. Moscow, Mir Publ., 1986. 319 p. [in Russian].

23. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaysin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact Through Forecasting the Occupational Risks. *Man in India*, 2017, Vol. 97, No. 20, pp. 495-511.

24. Semchenkova D.N., Rastoskuev V.V., Abdrakhmanov N.Kh. Kompleksnaya ekspressotsenka ekologicheskikh riskov v neftyanoi promyshlennosti [Complex Express-Evaluation of Ecological Risks in the Oil Industry]. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, No. 8, pp. 104-105. [in Russian].

25. Kuskil'din R.A. Abdrakhmanov N.A., Zakirova Z.A., Yalalova E.F., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Sovremennye tekhnologii dlya provedeniya proizvodstvennogo kontrolya, povyshayushchie uroven' promyshlennoi bezopasnosti na ob'ektakh neftegazovoi otrasli [Modern Technologies for Operation Control Monitoring Increasing Industrial Safety Level on Oil and Gas Industry Objects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov –Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 111-120. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Нуретдинова Д.Ф., магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

D.F. Nuretdinova, Undergraduate Student of Industrial Safety and Labor Protection Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: dia-nuretdinova@yandex.ru

Гостенова Е.А., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация.

E.A. Gostenova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: goevgenia@mail.ru

Абдрахманова К.Н., кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

K.N. Abdrakhmanova, Undergraduate Student of Industrial Safety and Labor Protection Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: akarinan@mail.ru

Шутов Н.В., канд. техн. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

N.V. Shutov, Candidate of Engineering Sciences, Professor of Fire and Industrial Security Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation