

# ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.835; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-1-10

## ОЦЕНКА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА НА ПРИМЕРЕ ВЗРЫВА ГАЗА НА ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ В ПОСЕЛКЕ ЧАГОДА

✉ Никишов Дмитрий Сергеевич;

Хафизов Ильдар Фанилевич;

Хафизов Фаниль Шамильевич.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

✉ [nikishov\\_2018@mail.ru](mailto:nikishov_2018@mail.ru)

**Аннотация.** Взрывы внутри помещений являются серьезной угрозой для жизни и здоровья людей, а также причиной значительных материальных потерь. Поэтому оценка избыточного давления взрыва является важной задачей для обеспечения безопасности и разработки соответствующих мер предотвращения и защиты.

Данное исследование является актуальным в свете повышенного интереса к безопасности и предотвращению взрывов. Исследование позволит оценить, насколько коэффициент, учитывающий негерметичность помещения, влияет на избыточное давление взрыва и разработать рекомендации по созданию более безопасных условий внутри помещений. Это имеет большое значение для промышленных предприятий, где риск взрывов является особенно высоким, а также для разработки нормативных документов и строительных норм, учитывающих безопасность помещений.

В работе определены недочеты методики, изложенной в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009 при оценке избыточного давления взрыва. Показано, насколько сильно влияние значения коэффициента негерметичности помещения. Наглядно продемонстрировано, что неправильное использование данного коэффициента может привести к значительному снижению возможных последствий аварий. В работе показано значение коэффициента негерметичности, которое следует принимать в расчетах. Благодаря данному исследованию можно более точно определять параметры взрыва, что, в свою очередь, позволяет подобрать оптимальные методы защиты оборудования и зданий, а также определять безопасное расстояние от эпицентра взрыва для обеспечения безопасности людей.

**Ключевые слова:** взрыв, избыточное давление взрыва, безопасность, коэффициент негерметичности помещения, горение, риск, утечки, промышленные объекты, газы, степень разрушения

**Для цитирования:** Никишов Д.С., Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш. Оценка избыточного давления взрыва на примере взрыва газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 1. С. 1–10. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-1-10.

Scientific article

## ESTIMATION OF THE EXCESS PRESSURE OF AN EXPLOSION USING THE EXAMPLE OF A GAS EXPLOSION AT A GAS FILLING STATION IN THE VILLAGE OF CHAGODA

✉ Nikishov Dmitry S.;

Khafizov Ildar F.;

Khafizov Fanil Sh.

Ufa state petroleum technical university, Ufa, Russia

✉ nikishov\_2018@mail.ru

*Abstract.* Indoor explosions pose a serious threat to human life and health, as well as cause significant material losses. Therefore, assessing the excess pressure of an explosion is an important task for ensuring safety and developing appropriate prevention and protection measures.

This study is relevant in light of the increased interest in safety and explosion prevention. The study will make it possible to assess how the coefficient, which takes into account the leakiness of the room, affects the excess pressure of the explosion and develop recommendations for creating safer indoor conditions. This is of great importance for industrial enterprises, where the risk of explosions is particularly high, as well as for the development of regulatory documents and building regulations that take into account the safety of premises.

The paper identifies the shortcomings of the methodology described in NPB 105–03 and SP 12.13130.2009 when assessing the excess pressure of an explosion. It is shown how strongly the value of the room leakage coefficient affects. It has been clearly demonstrated that improper use of this coefficient can lead to a significant underestimation of the possible consequences of accidents. The paper shows the value of the leak coefficient, which should be taken into account. Thanks to this study, it is possible to more accurately determine the parameters of the explosion, which in turn allows you to choose the best methods of protecting equipment and buildings, as well as determine the safe distance from the epicenter of the explosion to ensure the safety of people.

*Keywords:* explosion, overpressure of explosion, safety, coefficient of leakage of the room, burning, risk, leakage, industrial facilities, gases, degree of destruction

**For citation:** Nikishov D.S., Khafizov I.F., Khafizov F. Sh. Estimation of the excess pressure of an explosion using the example of a gas explosion at a gas filling station in the village of Chagoda // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 1. P. 1–10. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-1-10.

### Введение

Вопросы безопасности и устойчивости объектов в условиях горения и взрыва всегда являются актуальными. В ряде случаев критическое значение имеют коэффициенты, учитывающие особенности условий, в которых происходят эти процессы. Одним из них является коэффициент, принимающий во внимание негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

Негерметичность помещения характеризует его способность удерживать воздух и газы. В условиях промышленных объектов это особенно важно, так как утечка газов может привести к накоплению взрывоопасных смесей. Коэффициент негерметичности позволяет точно рассчитывать скорость утечки и, следовательно, предсказывать возможные уровни давления при возникновении горения или взрыва.

Неадиабатичность процесса горения также играет значительную роль в оценке опасности. Это свойство описывает ситуацию, когда тепло, выделяемое в результате реакции, взаимодействует с внешней средой. В неадиабатичных условиях энергия может как уходить, так и поступать в систему, что влияет на скорость и эффективность реакции горения.

Комбинирование этих двух факторов позволяет создать более точные модели, прогнозирующие поведение системы в условиях горения. Учитывая как негерметичность, так и неадиабатичность, исследователи могут лучше понять, как будет распространяться пламя, какое давление будет возникать в объемах с газом и как возможно предотвратить взрывные реакции.

На практике такой коэффициент используется в проектировании и оценке безопасности промышленных объектов, позволяя инженерам принимать более обоснованные решения. Эти модели позволяют минимизировать риски и разрабатывать эффективные стратегии по предотвращению аварий.

В итоге использование коэффициента, учитывающего как негерметичность помещения, так и неадиабатичность горения, является важным инструментом в области безопасности. С помощью этих расчетов можно значительно улучшить защиту объектов и снизить вероятность возникновения опасных ситуаций, что в конечном итоге спасает жизни и сохраняет ресурсы.

Примером аварии является взрыв в результате утечки газа, произошедший 7 февраля 2014 г. в 7:15 утра на газонаполнительной станции в пос. Чагода Вологодской обл.

Данную аварию подробно проанализировали, определили ее причины и последствия в своей работе А.А. Комаров, Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников, Е.В. Бузаев [1]. При детальном анализе было выявлено, что авторами не учтены все необходимые параметры, соответственно, избыточное давление взрыва отличалось от реального значения. Такой вывод можно сделать по степени разрушений, которые произошли в результате этой аварии.

Данная работа поможет улучшить методику оценки избыточного давления взрыва, а, соответственно, повысить безопасность промышленных объектов.

## Методы исследования

В первую очередь необходимо проанализировать работу [1]. Она является важной составляющей для проведения данного исследования, так как авторы подробно описали причины и последствия аварии на газонаполнительной станции в пос. Чагода, благодаря чему можно сделать оценку избыточного давления взрыва по методике, отличной от той, которую использовали в научной статье [1].

Основным методом определения избыточного давления взрыва является методика, которая изложена в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009.

В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» определяется коэффициент  $K_n$  и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_n$  равным трем [2].

Коэффициент, учитывающий негерметичность помещения, зависит от множества параметров, таких как площадь поверхности помещения, состояние стен и перекрытий, наличие и состояние дверей и окон, наличие вентиляционных систем, наличие отверстий или каналов связи между помещениями и влияние внешних факторов [3]. Учет всех этих параметров позволяет провести более точную оценку избыточного давления взрыва в помещении и принять соответствующие меры по обеспечению безопасности.

Целью данной работы является определение: избыточного давления взрыва при аварии на газонаполнительной станции в пос. Чагода; достоверности полученных результатов путем сравнения их с фотографиями реальных повреждений; зависимостей, позволяющих максимально приблизенно найти избыточное давление взрыва в результате реальной аварии.

## Результаты исследования и их обсуждение

Проведем анализ аварии на газонаполнительной станции в пос. Чагода. В работе [1] подробно описаны события и последствия аварии.

В результате аварии было полностью разрушено здание административного корпуса ООО «НоваКомПСВ» (рис. 1). Здание имело длину 30,5 м, ширину 23 м, высоту 4,2 м.



Рис. 1. Разрушенное здание

В результате данного взрыва стены разрушились, железобетонные перекрытия не выдержали избыточного давления и также были разрушены. Мелкие обломки были обнаружены в радиусе 100 м. На таком же расстоянии в зданиях было разрушено остекление.

В работе [1] была определена масса пропан-бутана, необходимая для заполнения всего объема помещения до стехиометрической концентрации, которая составила 68 кг. Также определено, что в процессе горения в помещении сгорает не вся смесь, а только небольшая часть ее. Поэтому аналогичные разрушения будут и при массе 10,8 кг. Проведя расчеты, авторы определили, что в данной аварии избыточное давление взрыва составляло 9,2 кПа. Сравним полученное значение с табл. 1.

Таблица 1

### Значения избыточного давления, вызывающего различные разрушения зданий и сооружений

$\Delta p$ , кПа	Степень разрушения
0,5÷3,0	Частично разрушено остекление
3÷7	Полностью разрушено остекление
12	Разрушение оконных рам, перегородок
15	Разрушение перекрытий
30	Разрушение кирпичных и блочных стен
90	Разрушение железобетонных конструкций

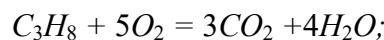
При избыточном давлении 9,2 кПа максимум, что могло произойти – разрушение перегородок, оконных рам и полное разрушение остекления. Как видно на рис. 1, здание было полностью разрушено, включая железобетонные конструкции. Соответственно, при взрыве значение избыточного давления превышало 90 кПа. Таким образом, значение избыточного давления в данной работе определено неверно. Проведем расчет по методике, изложенной в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009, для данной аварии.

Найдем коэффициент  $\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания пропан-бутана по следующей формуле:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2},$$

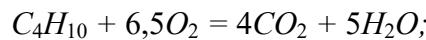
где  $n_C$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_X$  – число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Коэффициент  $\beta$  для пропана:



$$\beta = 3 + \frac{8 - 0}{10} - 0 = 3,8.$$

Коэффициент  $\beta$  для бутана:



$$\beta = 4 + \frac{10 - 0}{13} - 0 = 4,77.$$

Тогда среднее значение коэффициента для пропан-бутана будет равно 4,3.

Найдем  $C_{ct}$  – стехиометрическую концентрацию по формуле:

$$C_{ct} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4,3} = 4,59.$$

Определим плотность пропан-бутана при расчетной температуре  $t_p$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M}{\nu_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{51}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 61)} = 2,12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где  $M$  – молярная масса, кг/кмоль;  $\nu_0$  – молярный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль;  $t_p$  – расчетная температура, °С.

В методике рекомендуется принять ее равной 61 °С.

Свободный объем – это объем помещения минус объем пространства, занятого технологическим оборудованием [4]. Допускается принимать  $V_{ce} = 0,8 \cdot V_{nom.}$ , если неизвестен объем пространства, занятого технологическим оборудованием.

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  определяется по следующей формуле:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z \cdot 100}{V_{cb} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{ctx} \cdot K_H},$$

где  $P_{max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической смеси (если определить невозможно, допускается принимать  $P_{max}$  равным 900 кПа);  $P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  $m$  – масса горючего газа, кг;  $Z$  – коэффициент

участия горючего во взрыве (является справочной величиной, для пропан-бутана равен 0,5);  $V_{CB}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  $K_h$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается принимать  $K_h = 3$ ).

Подставив все необходимые значения, определим избыточное давление взрыва:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{10,8 \cdot 0,5 \cdot 100}{807 \cdot 0,8 \cdot 2,4 \cdot 4,59 \cdot 3} = 20,22 \text{ кПа.}$$

Таким образом, расчет по методике, изложенной в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009, показывает, что при взрыве пропан-бутана массой 10,8 кг избыточное давление взрыва составит 20,22 кПа.

Полученное значение также далеко от реального избыточного давления взрыва, так как при 20,22 кПа не наблюдалось бы даже разрушение кирпичных стен, а на фотографиях с места аварии видно гораздо большие разрушения. Проведем аналогичный расчет, уменьшая коэффициент негерметичности. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Изменение коэффициента для взрыва 10,8 кг пропан-бутана

Номер расчета	Значение коэффициента негерметичности	Избыточное давление взрыва, кПа
1	3,0	20,22
2	2,5	24,26
3	2,0	30,33
4	1,5	40,44
5	1,0	60,66
6	0,9	67,40
7	0,8	75,83
8	0,7	86,66
9	0,6	101,10
10	0,5	121,32
11	0,4	151,65
12	0,3	202,20
13	0,2	303,30

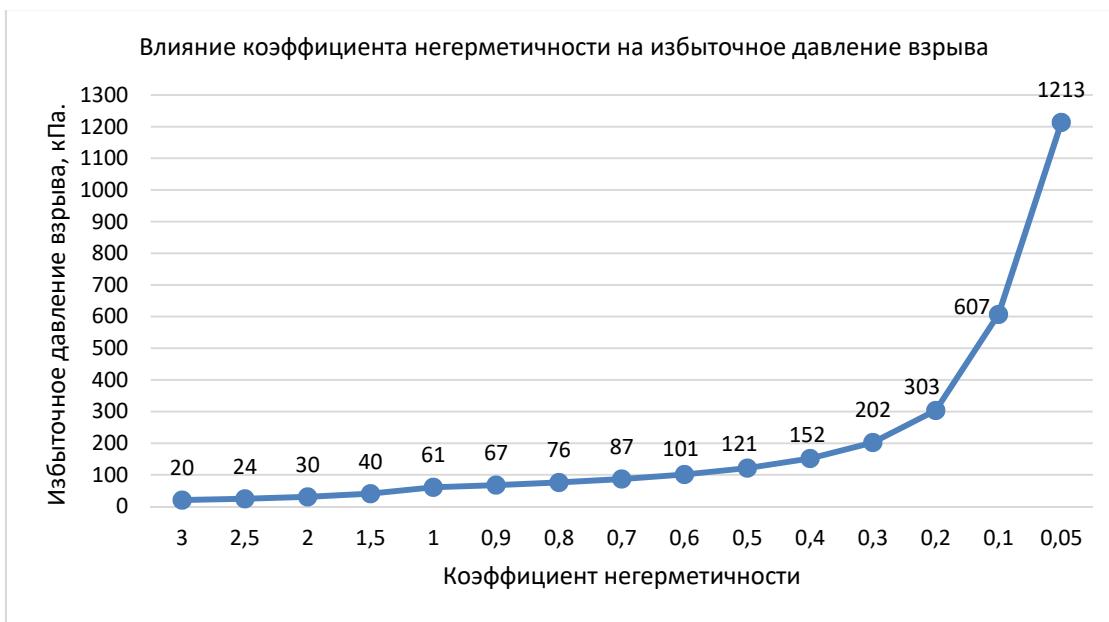


Рис. 2. Влияние коэффициента на избыточное давление взрыва

Зоны поражения на месте реальной аварии представлены на рис. 3, 4 и в табл. 3.

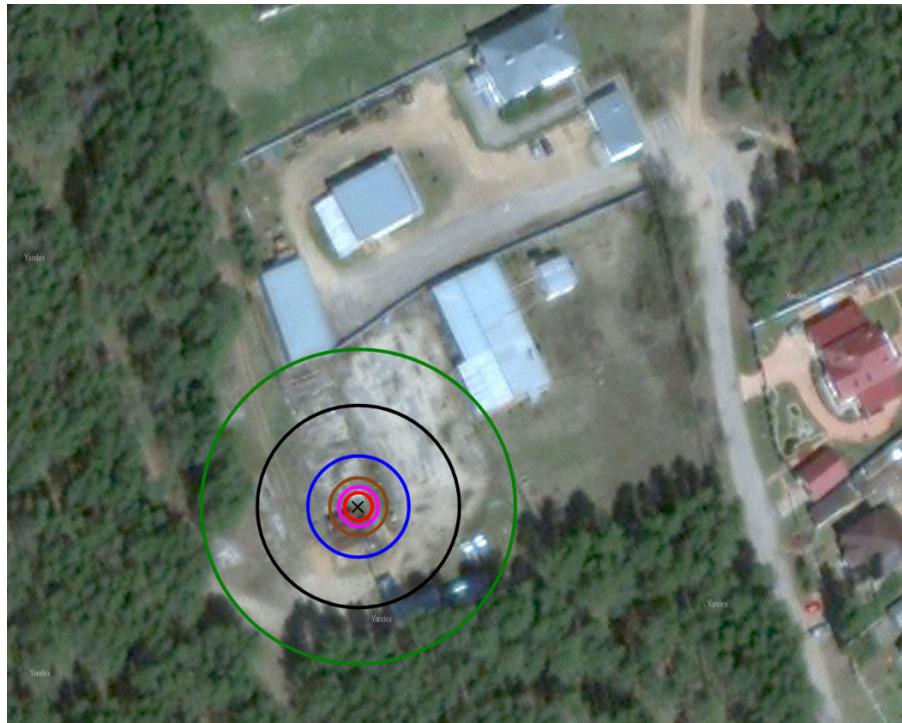


Рис. 3. Зоны поражения при избыточном давлении взрыва 9,2 кПа

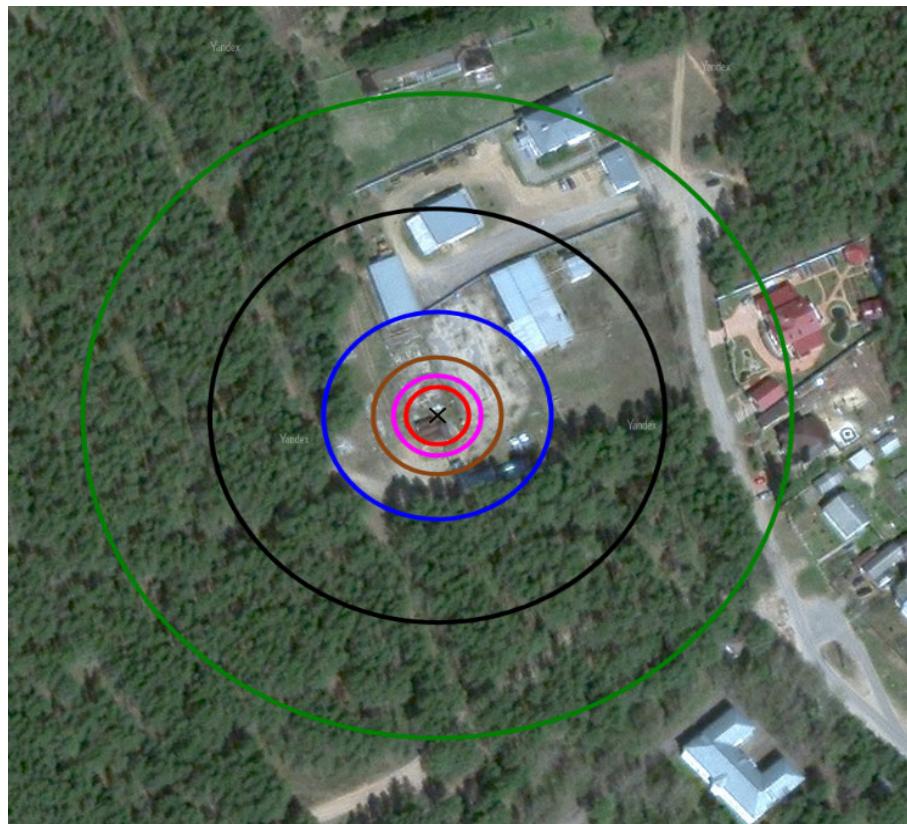


Рис. 4. Примерная схема реальных зон поражения

Таблица 3

## Примерные зоны поражения при реальной аварии

Степень повреждения	Избыточное давление $P$ , кПа	Примерные радиусы зон, исходя из работы [1]	Примерные реальные зоны разрушений
Полное разрушение зданий	100	3,1	9,9
50-процентное разрушение зданий	53	4,4	13,8
Средние повреждения зданий	28	6,4	20,2
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.)	12	11,3	35,9
Нижний порог повреждения человека волной давления	5	22,6	91,7
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3	35,1	151,7

Если бы избыточное давление взрыва составляло 9,2 кПа, остекление было бы разрушено в радиусе 35 м. Но, как описано в анализе аварии, остекление было нарушено в радиусе 100 м. Таким образом, рис. 4 и методика, изложенная в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009, с учетом принятия коэффициента негерметичности, равного 0,5, более точно описывает реальную обстановку в результате аварии.

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что значение избыточного давления взрыва, вызвавшего разрушения при данной аварии, достигается при коэффициенте негерметичности, равном 0,5 и ниже. Для уточнения данного коэффициента необходимо провести моделирование, где наглядно можно оценить, какое было давления взрыва, исходя из разрушений [5].

Данное исследование является актуальным в свете повышенного интереса к безопасности и предотвращению взрывов. Взрывы внутри помещений могут привести к серьезным последствиям как для людей, находящихся внутри, так и для окружающей среды [6].

В работе проанализирована авария, которая принесла значительные разрушения, а также привела к человеческим жертвам. Определено, что исследование, которое было взято за основу данной работы, не отражает реального давления взрыва, вызвавшего имеющиеся разрушения.

В работе определено, что существующий метод оценки избыточного давления значительно занижает реальные результаты. Такое упущение может привести к серьезным последствиям, человеческим жертвам и недооценке степени возможных разрушений при авариях [7].

Исходя из расчетов, видно, что при использовании значения коэффициента, учитывающего негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, избыточное давление, возникшее в результате аварии, никак не соотносится с имеющимися разрушениями. Поэтому необходимо принимать коэффициент негерметичности, равным 0,5 для данной ситуации, а не равным 3, как рекомендует методика, изложенная в НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009.

## Заключение

В исследовании выявлены недостатки методики, представленной в нормативных документах (НПБ 105–03 и СП 12.13130.2009), используемой для расчета избыточного давления взрыва. Установлено существенное влияние коэффициента негерметичности помещения на результаты оценки. Обосновано, что некорректное применение этого коэффициента может привести к значительному снижению потенциальных последствий аварийных ситуаций. Определено рекомендуемое значение коэффициента негерметичности, которое следует учитывать в расчетах.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на уточнение математической модели и расширение ее применимости. В частности, можно учесть более сложную геометрию помещений, различные типы взрывов и более точные данные о свойствах материалов. Также можно провести экспериментальные исследования для проверки точности модели и сравнения результатов с расчетами.

Оценка избыточного давления взрыва в помещении с учетом коэффициента негерметичности является важной задачей в области безопасности [8–10]. Проведенные исследования позволяют оценить величину избыточного давления и принять меры для обеспечения безопасности помещений. Дальнейшие исследования в данной области могут улучшить модели и методы оценки, что повысит эффективность мер по предотвращению взрывов и защите людей и имущества.

### Список источников

1. Взрыв газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода. Причины и последствия / А.А. Комаров [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 7. С. 58–64.
2. Тетерин И.А., Сулименко В.А. Влияние загромождённости на избыточное давление взрыва паров сжиженного природного газа // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны. М., 2024. С. 314–319.
3. Горев В.А., Корольченко А.Д. Влияние легкосбрасываемых конструкций на избыточное давление при взрыве в помещении // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 3. С. 12–23.
4. Моделирование аварийных выбросов взрывоопасных веществ в помещении / А.А. Комаров [и др.] // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 132–140.
5. Буякович А.Л. Определение расчетного избыточного давления взрыва в помещениях с обращением горючих пылей // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. 2015. Т. 10. № 1. С. 56–61.
6. Голиков А.В., Субботин Д.И., Куранов Д.В. Оценка достоверности расчетных моделей несущего каркаса трубчатых печей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 3. С. 18–33.
7. Овчинникова Л.А., Назымов Е.В. Пожарная безопасность помещений хранения и технического обслуживания газобалонных автомобилей // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса. 2018. С. 172–176.
8. Bradley D., Mitcheson A. The venting of gaseous explosion in spherical vessels. I-Theory // Combustion and Flame. 1978. Vol. 32. P. 221–236.
9. Propane/air deflagration and CTA measurements of turbulence inducting elements in closed pipes / C. Lohrer [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008. Vol. 21. P. 1–10.
10. Catlin C.A. Scale effects on the external combustion caused by venting of a confined explosion // Combustion and Flame. 1991. Vol. 83. № 3–4. P. 399–411.

### References

1. Vzryv gaza na gazonapolnitel'noj stancii v poselke Chagoda. Prichiny i posledstviya / A.A. Komarov [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2014. Т. 23. № 7. С. 58–64.
2. Teterin I.A., Sulimenko V.A. Vliyanie zagromozhdennosti na izbytochnoe davlenie vzryva parov szhizhennogo prirodnogo gaza // Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Vsemirnomu dnyu grazhdanskoy oborony. M., 2024. S. 314–319.
3. Gorev V.A., Korol'chenko A.D. Vliyanie legkosbrasyvaemyh konstrukcij na izbytochnoe davlenie pri vzryve v pomeshchenii // Pozharovzryvobezopasnost'. 2022. Т. 31. № 3. С. 12–23.
4. Modelirovaniye avarijnyh vybrosov vzryvoopasnyh veshchestv v pomeshchenii / A.A. Komarov [i dr.] // Vestnik MGSU. 2014. № 10. С. 132–140.

5. Buyakevich A.L. Opredelenie raschetnogo izbytochnogo davleniya vzryva v pomeshcheniyah s obrashcheniem goryuchih pylej // Chrezvychajnye situacii: obrazovanie i nauka. 2015. T. 10. № 1. S. 56–61.
6. Golikov A.V., Subbotin D.I., Kuranov D.V. Ocenka dostovernosti raschetnyh modelej nesushchego karkasa trubchatyh pechej // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2020. № 3. S. 18–33.
7. Ovchinnikova L.A., Nazymov E.V. Pozharnaya bezopasnost' pomeshchenij hraneniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya gazobalonnyh avtomobilej // Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa. 2018. S. 172–176.
8. Bradley D., Mitcheson A. The venting of gaseous explosion in spherical vessels. I-Theory // Combustion and Flame. 1978. Vol. 32. P. 221–236.
9. Propane/air deflagration and CTA measurements of turbulence inducting elements in closed pipes / C. Lohrer [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008. Vol. 21. P. 1–10.
10. Catlin C.A. Scale effects on the external combustion caused by venting of a confined explosion // Combustion and Flame. 1991. Vol. 83. № 3–4. P. 399–411.

#### Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 20.02.2025; одобрена после рецензирования: 13.03.2025; принята к публикации: 15.03.2025

#### Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 20.02.2025; approved after review: 13.03.2025; accepted for publication: 15.03.2025

#### Сведения об авторах:

**Никишов Дмитрий Сергеевич**, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: nikishov\_2018@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6007-2633>, SPIN-код: 2661-5512

**Хафизов Ильдар Фанилевич**, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), доктор технических наук, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

**Хафизов Фаниль Шамильевич**, заведующий кафедрой «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), доктор технических наук, профессор, e-mail: fanil150656@mail.ru, SPIN-код: 2965-0124

#### Information about authors:

**Nikishov Dmitry S.**, postgraduate student of the department of «Fire and industrial safety» of Ufa state petroleum technical university (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), e-mail: nikishov\_2018@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6007-2633>, SPIN: 2661-5512

**Khafizov Ildar F.**, professor of the department of «Fire and industrial safety» of Ufa state petroleum technical university (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), doctor of technical sciences, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

**Khafizov Fanil Sh.**, head of the department of «Fire and industrial safety» of Ufa state petroleum technical university (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fanil150656@mail.ru, SPIN: 2965-0124