

Alexey A. Teslenko, PhD, Assistant Professor,
National university of civil protection of Ukraine

Artem I. Tokar, master degree,
National university of civil protection of Ukraine

Надежность оценок взрывоопасности наружных установок в России, Беларуси и Украине

Reliable Estimates Explosion for External unit in Russia, Belarus and Ukraine

Key words: category, explosion safety, the object of the increased danger.

Summary: Aim of this study is to compare the reliability of evaluation explosion of external unit in Russia, Belarus and Ukraine. Factor, whose influence on the reliability of the estimates of explosion studied, elected participation rate of combustible gases and vapors in the combustion. The study was performed on the example of a the unit of separation and releasing of gas.

В нормативных документах, оценивающих взрывоопасность, наружной установкой называется комплекс аппаратов и технологического оборудования, расположенных вне зданий, сооружений и строений. На сегодняшний день в России пожарная опасность и взрывоопасность наружных установок оценивается на основе нормативного акта СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [3], на Украине НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [1], в Беларуси ТКП 474-2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [5]. Недостатком алгоритмов оценки взрывоопасности является недостаточная изученность их надежности. Важность надежности оценок взрывоопасности внешних установок трудно переоценить. Такие исследования необходимы. Интерес представляет также сравнение методов оценок различных стран.

На взрывоопасность наружных установок влияют многие факторы. В данной работе изучаются влияние коэффициента участия горючих газов и паров в горении (Z) и общая масса горючего вещества, находящегося в установке на надежность оценок взрывоопасности наружных установок. Публикации с последовательным исследованием влияния данных факторов на оценки взрывобезопасности наружных установок, сделанные на основе алгоритмов применяемых в нормативных актах, авторами не найдены.

В статье рассматривается корректность оценок взрывоопасности установки блок №8 сепарации и выдачи газа, которая является частью установки комплексной подготовки газа (УКПГ) – «Сосновка» Христищенского ОПС, расположенной по адресу: Харьковская область, Красноградский район, село Петровка. Установка комплексной подготовки газа «Сосновка» предназначена для подготовки газа для следующего транспортирования в газопровод и потребителю село Петровка, регулирования и контролирования за работой газовых скважин. К УКПГ «Сосновка» подключено 6 газовых скважин. Рассмотрены различия в результатах применения соответствующих нормативных актов Российской Федерации, Республики Беларусь и Украины к оценке взрывоопасности.

Блок №8 сепарации и выдачи газа является наиболее опасным участком (технологическим блоком) УКПГ «Сосновка». Проведем и исследуем на устойчивость некоторые алгоритмы [1,3,5] на примере этой установки. В технологическом процессе задействованы сепараторы С-1 и С-2 марки ГБ-23 установки низкотемпературной сепарации НТС-500. Общий объем трубопроводов и оборудования, которые входят в состав блока, оценивается как $9,9 \text{ м}^3$. Примем, что природный газ полностью состоит из метана, средняя температура его составляет $+20^\circ\text{C}$, а давление 6 МПа (избыточное). Тогда масса газа в блоке составляет 434 кг.

Вычисление приведенной массы - место, где учитываются особенности газа. Учитываются они через удельную теплоту сгорания. Однако, газы могут быть не чистые. Удельная теплота сгорания может изменяться. Также может

меняться в воздухе процент содержания кислорода (процент кислорода влияет на избыточное давление взрыва). Вычисление приведенной массы происходит по формуле:

$$m_{\text{пр}}=(Q_{\text{зг}}/Q_0)\cdot m\cdot Z, \quad (1)$$

где $Q_{\text{зг}}$ - удельная теплота сгорания газа или пара, Дж·кг⁻¹;

Z - коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который допускается принимать равным 0,1;

Q_0 - константа, равная $4,52\cdot 10^6$ Дж·кг⁻¹;

m - масса горючих газов и/или паров, поступивших в момент аварии во внешнюю среду, кг.

Формула вычисления приведенной массы идентична для документов [1,2,4].

Коэффициент участия Z сильно не определен и влияет на избыточное давление взрыва. Его значение согласно [1,3,5] для горючих газов и паров в горении, допускается принимать равным 0,1. Коэффициент Z определяется особенностями процесса выхода газа и далее условиями его смешивания с воздухом. В простейшей модели горение происходит в областях газового облака, граничащих с атмосферным воздухом, где смешиванием достигнута концентрация, находящаяся в пределах границ распространения пламени. Конкретный коэффициент Z определен на момент инициации взрыва состоянием и движением атмосферного воздуха и его смеси с газом во время всего периода выхода газа. Рассмотрим устойчивость математического алгоритма к возмущениям в величине Z .

Расчет избыточного давления ΔP во всех трех методиках производится согласно формуле:

$$\Delta P=P_0\cdot(0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r+3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2+5m_{\text{пр}}/r^3), \quad (2)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа (согласно трем нормативным документам, допускается принимать равным 101 кПа);

r - расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;

$m_{\text{пр}}$ - приведенная масса газа или паров, кг.

Избыточное давление и импульс волны давления меняются нелинейно с изменением коэффициента Z (рисунки 1 и 2).

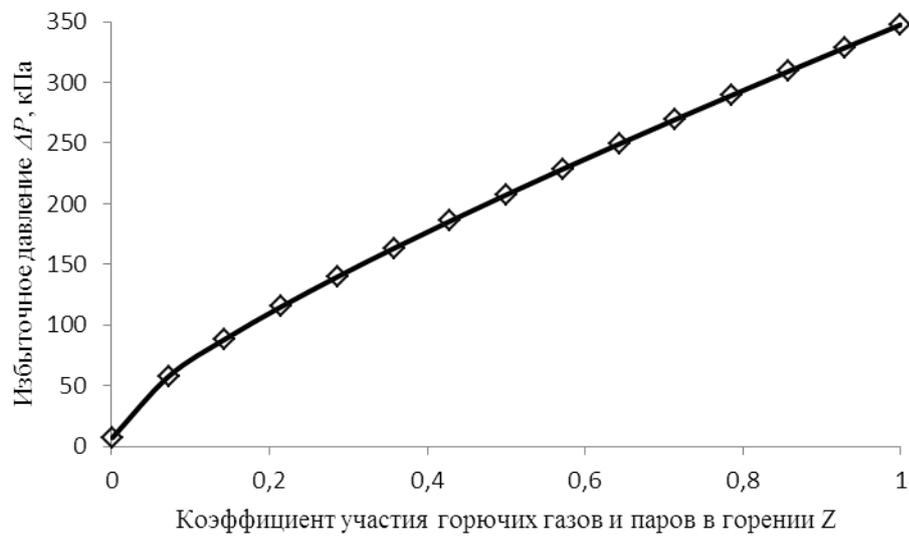


Рисунок 1. Изменение избыточного давления с изменением коэффициента Z .

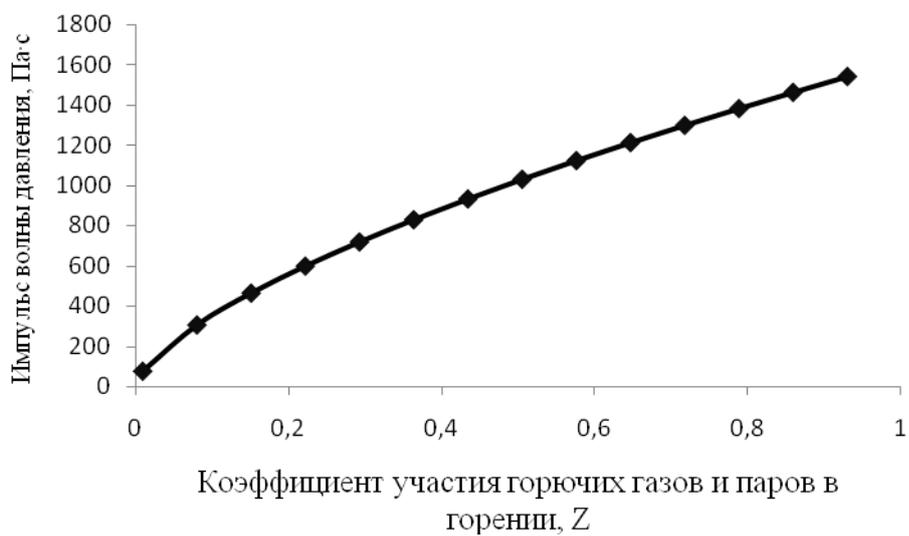


Рисунок 2. Изменение импульса волны давления с изменением коэффициента Z .

Избыточное давление – характеристика из украинского документа [1]. Установка будет считаться взрывоопасной, если на расстоянии 30 метров от нее

избыточное давление взрыва превысит 5 кПа. Для определения категории в России и Белоруссии необходимо определить величину риска смерти человека в соответствующем месте.

Риск смерти человека будет меняться, как показано на рисунке 3.

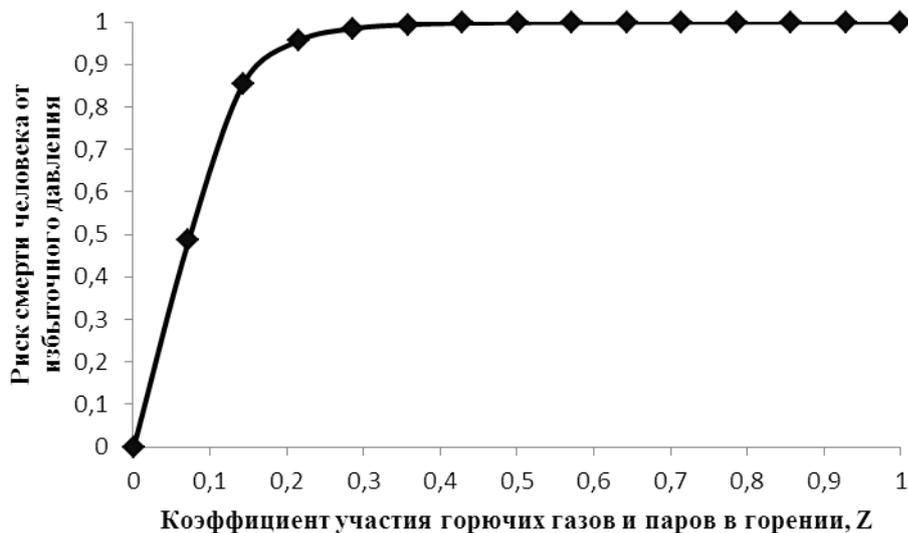


Рисунок 3. Изменение риска смерти человека с изменением коэффициента Z.

При оценке взрывоопасности внешних установок имеются следующие численные решающие критерии:

1. Риск смерти человека (R) превышает 10^{-6} (Российский и белорусский документы).
2. Избыточное давление (ΔP) больше 5 кПа.
3. Горизонтальный размер зоны (Γ), который ограничивает газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего вещества выше нижней концентрационной границы распространения пламени ($C_{НКРП}$), превышает 30 м.

Из смысла решающих критериев видно, что результаты определения взрывоопасности для документов [1] и [3,5] могут отличаться. Используя решающие критерии, составим функции, которые являются положительными при положительном ответе на вопрос об опасности, и отрицательными при отрицательном. Отметим эти функции верхним индексом R:

1. $R^R=R-10^{-6}$

2. $\Delta P^R=\Delta P-5$

3. $\Gamma^R=\Gamma-30$

Тогда критерием взрывоопасности внешних установок для Украинского документа будет положительное значение функции:

$$A^{укр}=\Delta P^R + \Delta \Gamma^R + \sqrt{(\Delta P^R)^2 + (\Delta \Gamma^R)^2} \quad ,$$

для русского документа:

$$A^{рус}=R^R=R-10^{-6},$$

для белорусского документа:

$$A^{бел}=A^{укр} + A^{рус} - \sqrt{(A^{укр})^2 + (A^{рус})^2}.$$

Здесь применена технология R-функций [2]. Далее используются R-функции из системы R_1 [2]. Применяя данную технологию, несложным, очевидным способом, можно создавать критерии для сравнения результатов работы нормативных актов. Например, можно создать критерий случая, когда установка взрывоопасна согласно нормативному акту одной страны и безопасна с точки зрения нормативных актов других стран. Рассмотрим такой критерий (R-ukr) для украинского документа. Данный критерий будет положительным, где установка оценивается категорией А только согласно [1] (согласно [3,5] $R-ukr < 0$).

Если принять массу газа в изучаемом технологическом блоке равной 700кг, то зависимость критерия опасности R-ukr, соответствующего украинскому документу, примет вид представленный на рисунке 4.

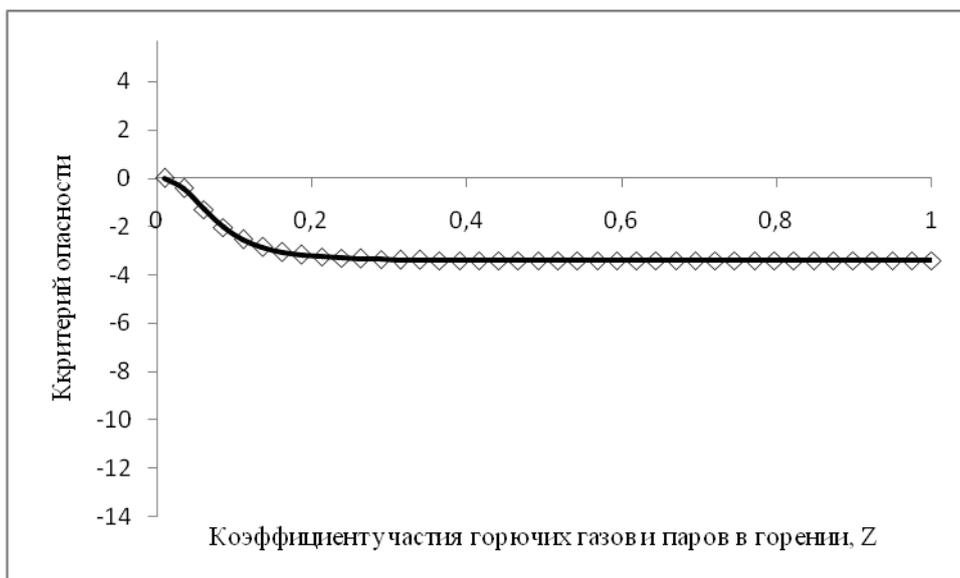


Рисунок 4. Критерий R-икг с изменением коэффициента Z для массы газа 700кг.

Если принять массу газа в технологическом блоке равной 15кг, то соответствующая зависимость примет вид показанный на рисунке 5.

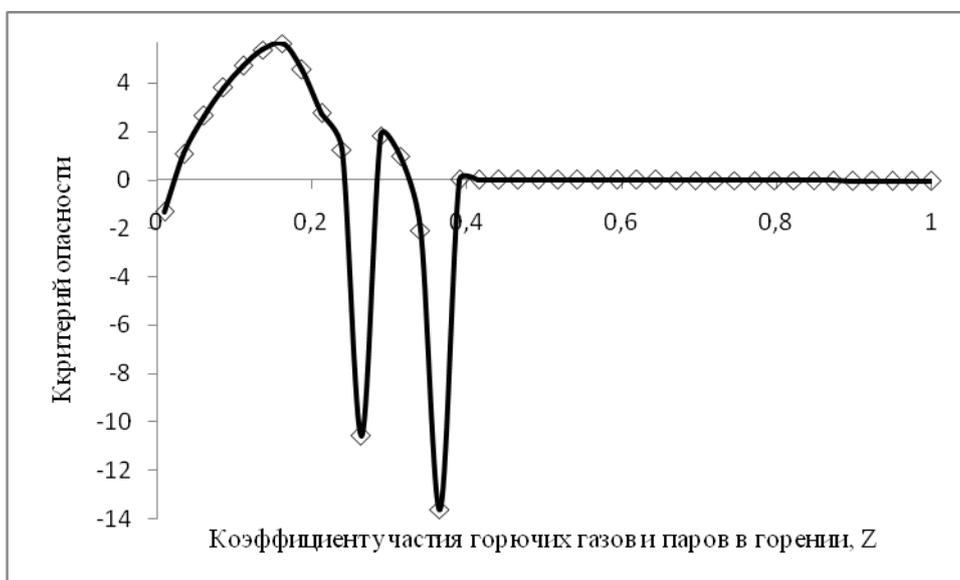


Рисунок 5. Критерий R-икг с изменением коэффициента Z для массы газа 15кг.

Результаты применения нормативных актов [1,3,5] к случаю рассмотренной в данной статье наружной установки совпадают. При некоторых

изменениях технических условий данной установки результаты применения указанных нормативных актов могут отличаться. Во внимание надо принять, что исследовано влияние лишь двух факторов (коэффициент Z , и частично масса газов вышедшей из наружной установки) на изменение в критериях опасности. Если предположить, что в реальном взрыве коэффициент участия горючих газов будет случайным, распределенным по нормальному закону со средним равным 0.1 и среднеквадратическим отклонением 0.001, то 99% доверительный интервал риска смерти человека будет лежать в пределах [0.66, 0.72]. Здесь нас интересует только верхняя граница вероятности. Однако большинство исследователей считают, что значение коэффициента Z сильно завышено. Более реалистичная цифра 0.01. В этом случае соответствующий интервал будет [0.0003, 0.0011]. Методы исследований использованы аналогичные методам в [4].

Библиографический список

1. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
2. Рвачев В. Л. Методы алгебры логики в математической физике, Наукова думка, Киев, 1974
3. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. Тесленко А. А. Четырехшаговый подход к оценке опасности объектов. / А.Ю. Бугаёв, А.Б. Костенко // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Харьков. ХНАГХ. - 2011.- № 99.- С.135-140.
5. ТКП 474-2013 Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.