

**ПРИКАЗ РТН 20.04.2015 N 159 ОБ УТВ.РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОП. МЕТОДИКА  
ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ  
СМЕСЕЙ.PDF**

---

**Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному  
надзору от 20 апреля 2015 г. N 159  
"Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки последствий  
аварийных взрывов топливно-воздушных смесей"**

В целях реализации [Положения](#) о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного [постановлением](#) Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. N 401, приказываю:

1. Утвердить прилагаемое [Руководство](#) по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей".
2. Считать не подлежащим применению [постановление](#) Федерального горного и промышленного надзора России от 26 июня 2001 г. N 25 "Об утверждении "Методики оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей" (РД 03-409-01).

Руководитель

А.В. Алёшин

**Руководство по безопасности**  
**"Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей"**  
(утв. [приказом](#) Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N 159)

## I. Общие положения

1. Руководство по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей" (далее - Руководство) разработано в целях содействия соблюдению требований [Федеральных норм и правил](#) в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств", утвержденных [приказом](#) Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. N 96 (зарегистрирован Минюстом России 16 апреля 2013 г., регистрационный N 28138) (далее - Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств"), и требований [Федеральных норм и правил](#) в области промышленной безопасности "Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта", утвержденных [приказом](#) Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. N 306 (зарегистрирован Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный N 29581) (далее - Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта").

2. Настоящее Руководство содержит рекомендации к оценке параметров воздушных ударных волн при взрывах топливно-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях, для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов, и не является нормативным правовым актом. Руководство содержит рекомендации по определению вероятных степеней поражения людей и степени повреждений зданий от взрывной нагрузки при авариях со взрывами облаков ТВС.

3. Организации, осуществляющие оценку последствий аварий со взрывом топливно-воздушных смесей, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве.

4. В Руководстве используются сокращения, обозначения, а также термины и определения, приведенные в [приложениях N 1 и 2](#) к настоящему Руководству.

5. Руководство распространяется на опасные производственные объекты, на которых возможны случаи аварии, сопровождающиеся взрывами облаков ТВС.

## II. Общие рекомендации по оценке последствий взрывов ТВС

6. Для количественной оценки параметров воздушных ударных волн при взрывах ТВС рекомендуется рассматривать частичную разгерметизацию и полное разрушение оборудования, содержащего горючее вещество в газообразной или жидкой фазе, выброс этого вещества в окружающую среду, образование облака ТВС, инициирование

ТВС, взрывное превращение (горение или детонация) в облаке ТВС.

7. В образовании облака ТВС рекомендуется рассматривать горючее вещество одного вида, в противном случае (для смеси нескольких горючих веществ) характеристики ТВС, используемые при расчетах параметров ударных волн, определяются отдельно.

8. Для расчета параметров ударных волн при взрыве облака ТВС рекомендуется учитывать следующие исходные данные:

а) характеристики горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС;

б) агрегатное состояние ТВС (газовое или гетерогенное);

в) средняя концентрация горючего вещества в смеси  $c_g$ ;

г) стехиометрическая концентрация горючего газа с воздухом  $c_{ct}$ ;

д) масса горючего вещества, содержащегося в облаке,  $M_g$  (если эта величина неизвестна, то ее расчет рекомендуется проводить согласно [приложению N 3](#) к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств");

е) удельная теплота сгорания горючего вещества  $q_g$ ;

ж) информация об окружающем пространстве.

9. В качестве основных структурных элементов алгоритма расчетов ([рисунок 3-1](#) [приложения N 3](#) к настоящему Руководству) рекомендуется рассматривать:

а) определение массы горючего вещества, содержащегося в облаке;

б) определение эффективного энергозапаса ТВС;

в) определение ожидаемого режима взрывного превращения ТВС;

г) расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн для различных режимов;

д) определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;

е) оценка поражающего воздействия взрыва ТВС.

### III. Рекомендации по определению основных параметров взрыва ТВС

#### Определение эффективного энергозапаса ТВС

10. Эффективный энергозапас горючей смеси определяется по соотношению:

$$E = M_g q_g \text{ при } c_g \leq c_{ct} \quad (1)$$

или

$$E = M_g q_g c_{ct} / c_g \text{ при } c_g > c_{ct}.$$

11. При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается. Для оценки объема газового облака ТВС можно воспользоваться простым соотношением:

$$V = M_r / c_{ct} . \quad (2)$$

12. Массу, участвующую во взрыве для дрейфующего облака, рекомендуется определять на момент времени, когда взрывоопасный объем дрейфующего облака достигает источников возможного воспламенения, или, если распределение источников воспламенения по территории неизвестно, то на момент времени, когда взрывоопасная масса при дрейфе достигает своего максимального значения. Определение массы, участвующей во взрыве для дрейфующего облака, рекомендуется выполнять в соответствии с Руководством по безопасности "Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ", утвержденного приказом Ростехнадзора от \_\_\_\_ апреля 2015 г. N \_\_\_\_.

**Примечания:** 1. Стехиометрическая концентрация горючего вещества в ТВС определяется из справочных данных или рассчитывается отдельно.

2. В случае, если определение концентрации горючего вещества в смеси затруднено, в качестве величины  $c_r$  в соотношении (1) принимается концентрация, соответствующая нижнему концентрационному пределу воспламенения горючего газа.

3. Теплота сгорания горючего газа  $q_r$  в ТВС берется из справочных данных или оценивается по формуле:  $q_r = 44\beta \text{ МДж/кг}$

Корректировочный параметр  $\beta$  для наиболее распространенных в промышленном производстве опасных веществ определяется из [таблице N 4-1](#).

4. Масса горючего газа, содержащегося в облаке ТВС, может задаваться в качестве исходного параметра или определяться исходя из условий развития аварий. При оценке последствий аварий массу  $M_r$  рекомендуется определять согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтеперерабатывающих производств".

### **Определение ожидаемого режима взрывного превращения**

#### **,Классификация горючих веществ по степени чувствительности**

13. ТВС, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам разделены на четыре класса. Классификация горючих веществ приведена в [таблице N 4-1 приложения N 3](#) к настоящему Руководству.

В случае если вещество отсутствует в [таблице N 4-1](#), его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в таблице веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества - относить его к классу 1, то есть рассматривать как наиболее опасный случай.

#### **Классификация окружающей территории**

14. В связи с тем, что характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака ТВС рекомендуется параметры ударной волны, геометрические характеристики окружающего пространства

разделять на виды в соответствии со степенью его загроможденности.

Вид 1. Наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания с размером не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси. Если размер детонационной ячейки для данной смеси неизвестен, то минимальный характерный размер турбулентных струй принимается равным 5 см для веществ класса 1; 20 см - для веществ класса 2; 50 см - для веществ класса 3 и 150 см - для веществ класса 4.

Вид 2. Сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.

Вид 3. Средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.

Вид 4. Слабо загроможденное и свободное пространство.

### Классификация ожидаемого режима взрывного превращения

15. Известны два основных режима протекания быстропротекающих процессов - детонация и дефлаграция. Для оценки параметров действия взрыва возможные режимы взрывного превращения ТВС разбиты на шесть диапазонов по скоростям их распространения, причем пять из них приходятся на процессы дефлаграционного горения ТВС, поскольку характеристики процесса горения со скоростями фронта меньшими 500 м/с имеют существенные качественные различия.

16. Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью [таблицы N 1](#) в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства. Допускается использование более точных значений скорости взрывного превращения при их обосновании.

Таблица N 1

### Экспертная таблица для определения режима взрывного превращения

| Класс горючего вещества | Вид окружающего пространства                      |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|---|
|                         | 1   | 2 | 3 | 4 |
|                         | Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения |   |   |   |
| 1                       | 1   | 1 | 2 | 3 |
| 2                       | 1   | 2 | 3 | 4 |
| 3                       | 2   | 3 | 4 | 5 |
| 4                       | 3   | 4 | 5 | 6 |

17. Ниже приводится разбиение режимов взрывного превращения ТВС по диапазонам скоростей.

Диапазон 1. Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше.

Диапазон 2. Дефлаграция, скорость фронта пламени 300-500 м/с.

Диапазон 3. Дефлаграция, скорость фронта пламени 200-300 м/с.

Диапазон 4. Дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

Диапазон 5. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением:

$$V_r = k_1 M_r^{1/6}, \quad (3)$$

где  $k_1$  - константа, равная 43.

Диапазон 6. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением:

$$V_r = k_2 M_r^{1/6}, \quad (4)$$

где  $k_2$  - константа, равная 26.

### Оценка агрегатного состояния ТВС

18. Для дальнейших расчетов необходимо оценить агрегатное состояние топлива смеси. Предполагается, что смесь гетерогенная, если более 50% топлива содержится в облаке в виде капель, в противном случае ТВС считается газовой. Провести такие оценки можно исходя из величины давления насыщенных паров топлива при данной температуре и времени формирования облака. Для летучих веществ, таких, как пропан при температуре +20°C, смесь можно считать газовой, а для веществ с низким давлением насыщенного пара (распыл дизтоплива при 20°C) расчеты проводятся в предположении гетерогенной топливно-воздушной смеси.

### Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн

19. После того как определен вероятный режим взрывного превращения, рассчитываются основные параметры воздушных ударных волн (избыточное давление  $\Delta P$  и импульс волны давления I) в зависимости от расстояния до центра облака.

### Детонация газовых и гетерогенных ТВС

20. Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии  $r$  от центра облака при детонации облака ТВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по соотношению:

$$R_x = r / (E / P_0)^{1/3} . \quad (5)$$

Примечание. Все соотношения также могут быть записаны в функциях аргумента  $\lambda_{\text{пар}} = 100r / E^{1/3}$ . При принятых в Руководстве допущениях между  $R_x$  и  $\lambda_{\text{пар}}$  существует

простая связь:  $\lambda_{\text{пар}} = 2,15R_x$ .

21. Далее рассчитываются безразмерное давление  $P_x$  и безразмерный импульс фазы сжатия  $I_x$ .

22. В случае детонации облака газовой ТВС расчет производится по следующим формулам:

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26 (\ln(R_x))^2 \pm 10\% ; \quad (6)$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898 \ln(R_x) - 0,0096 (\ln(R_x))^2 \pm 15\% . \quad (7)$$

Зависимости (6) и (7) справедливы для значений  $R_x$ , больших величины  $R_k = 0,2$  и меньших  $R_k = 24$ . В случае  $R_x < 0,2$  величина  $P_x$  полагается равной 18, а в выражение (7) подставляется значение  $R_x = 0,142$ .

23. В случае детонации облака гетерогенной ТВС расчет производится по следующим формулам:

$$P_x = 0,125/R_x + 0,137/R_x^2 + 0,023/R_x^3 \pm 10\% ; \quad (8)$$

$$I_x = 0,022/R_x \pm 15\% . \quad (9)$$

Зависимости (8) и (9) справедливы для значений  $R_x$  больших величины  $R_k = 0,25$ . В случае если  $R_x < R_k$ , величина  $P_x$  полагается равной 18, а величина  $I_x = 0,16$ .

### Дефлаграция газовых и гетерогенных ТВС

24. В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени ( $V_r$ ) и степень расширения продуктов сгорания ( $\sigma$ ). Для газовых смесей принимается  $\sigma = 7$ , для гетерогенных -  $\sigma = 4$ . Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси домножается на коэффициент  $(\sigma - 1)/\sigma$ .

25. Безразмерные давление  $P_{x1}$  и импульс фазы сжатия  $I_{x1}$  определяются по соотношениям:

$$P_{x1} = (V_r/C_0)^2 ((\sigma - 1)/\sigma) (0,83/R_x - 0,14/R_x^2) ; \quad (10)$$

$$I_{x1} = (V_r/C_0) ((\sigma - 1)/\sigma) (1 - 0,4(\sigma - 1)V_r/\sigma C_0) \times (0,06/R_x + 0,01/R_x^2 - 0,0025/R_x^3) . \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) справедливы для значений  $R_x$ , больших величины  $R_{kp}$  = 0,34, в противном случае вместо  $R_x$  в соотношения (10) и (11) подставляется величина  $R_{kp}$ .

26. Далее вычисляются величины  $P_{x2}$  и  $I_{x2}$ , которые соответствуют режиму детонации и для случая детонации газовой смеси рассчитываются по соотношениям (6), (7), а для детонации гетерогенной смеси - по соотношениям (8), (9). Окончательные значения  $P_x$  и  $I_x$  выбираются из условий:

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}); \quad I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}). \quad (12)$$

27. После определения безразмерных величин давления и импульса фазы сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины:

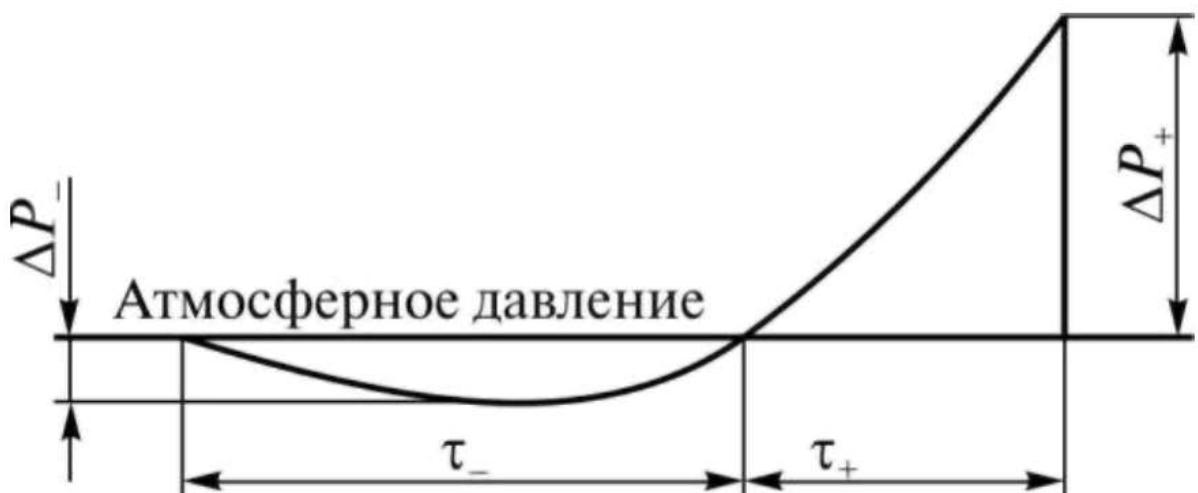
$$\Delta P = P_x P_0; \quad (13)$$

$$I = I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0. \quad (14)$$

#### IV. Рекомендации по определению дополнительных характеристик взрыва ТВС

##### Профиль ударной волны

28. Характерный профиль ударной волны при взрыве ТВС показан на рисунке 1.



В пунктах 29 - 35 показано, как определяются количественные характеристики дополнительных параметров ударной волны.

##### Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси

29. Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси рассчитываются по следующим соотношениям:

Амплитуда фазы сжатия:

$$\ln(\Delta P_+/P_0) = 0,299 - 2,058 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,26 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (15)$$

Амплитуда фазы разрежения:

$$\ln(\Delta P_-/P_0) = -1,46 - 1,402 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,079 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (16)$$

Длительность фазы сжатия:

$$\ln(10^5 \tau_+ / E^{1/3}) = 0,106 + 0,448 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,026 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (17)$$

Длительность фазы разрежения:

$$\ln(10^5 \tau_- / E^{1/3}) = 1,299 + 0,412 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,079 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (18)$$

Импульс фазы сжатия:

$$\ln(I_+/E^{1/3}) = -0,843 - 0,932 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,037 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (19)$$

Импульс фазы разрежения:

$$\ln(I_-/E^{1/3}) = -0,873 - 1,25 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,132 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (20)$$

30. Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением:

$$\Delta P(t, \lambda_{\text{пар}}) = \Delta P_+ \left( \sin(\pi(t-\tau_+)/\tau_+) / \sin(-\pi\tau_+/\tau_-) \right) \exp(-K_t t / \tau_+) . \quad (21)$$

31. Декремент затухания в падающей волне рассчитывается по соотношению:

$$K_i = 0,889 - 0,356 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,105 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (22)$$

### Параметры отраженной ударной волны

32. Для расчета параметров отраженной волны при ее нормальном падении на препятствие используются следующие соотношения:

Амплитуда отраженной волны давления:

$$\ln(\Delta P_{r+}/P_0) = 1,264 - 2,056 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,211 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (23)$$

Амплитуда отраженной волны разрежения:

$$\ln(\Delta P_{r-}/P_0) = -0,673 - 1,043 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,252 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (24)$$

Длительность отраженной волны давления:

$$\ln(10^5 \tau_{r+}/E^{1/3}) = -0,109 + 0,983 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,23 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (25)$$

Длительность отраженной волны разрежения:

$$\ln(10^5 \tau_{r-}/E^{1/3}) = 1,265 + 0,857 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,192 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (26)$$

Импульс отраженной волны давления:

$$\ln(I_{r+}/E^{1/3}) = -0,07 - 1,033 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,045 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (27)$$

Импульс отраженной волны разрежения:

$$\ln(I_{r-}/E^{1/3}) = -0,052 - 0,462 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,27 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (28)$$

Общее время действия отраженных волн на мишень:

$$\ln(10^5 (\tau_{r+} + \tau_{r-})/E^{1/3}) = 1,497 + 0,908 \ln \lambda_{\text{пар}} - 0,404 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (29)$$

33. Форма отраженной волны с описанием фаз сжатия и разрежения с хорошей для практических целей точностью может быть описана соотношением:

$$\Delta P_r(t, \lambda_{\text{пар}}) = \Delta P_{r+} \left( \sin(\pi(t - \tau_{r+})/\tau_{r-}) / \sin(-\pi\tau_{r+})/\tau_{r-} \right) \exp(-K_r t/\tau_{r+}) . \quad (30)$$

34. Декремент затухания в отраженной волне рассчитывается по соотношению:

$$K_r = 0,978 - 0,554 \ln \lambda_{\text{пар}} + 0,26 (\ln \lambda_{\text{пар}})^2 . \quad (31)$$

Соотношения (15)-(31) справедливы при значениях  $\lambda_{\text{пар}}$  до 51,6.

**Параметры волны при произвольном режиме сгорания**

35. Импульсные характеристики падающих и отраженных волн не зависят от скорости взрывного превращения. Интенсивность и длительность действия ударных волн при  $\lambda_{\text{пар}} \geq 1$  рассчитываются по соотношениям предыдущего раздела. Возможность таких оценок основана на сравнении опытных данных с фактическими сведениями об авариях.

## V. Оценка поражающего воздействия

36. При взрывах ТВС существенную роль играют такие поражающие факторы, как длительность действия ударной волны и связанный с ней параметр импульс взрыва. Реальное деление плоскости факторов поражения на диаграмме импульс - давление на две части (внутри - область разрушения, вне - область устойчивости) не имеет четкой границы. При приближении параметров волны к границе опасной области вероятность заданного уровня поражения нарастает от 0 до 100%. При превышении известного уровня величин амплитуды давления и импульса достигается 100% вероятность поражения. Эта типичная особенность диаграмм поражения может быть отражена представлением вероятности достижения того или иного уровня ущерба с помощью пробит-функции -  $Pr_i$ .

### Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ТВС

37. Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1 . \quad (32)$$

Фактор  $V_1$  рассчитывается с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по соотношению:

$$V_1 = (17500 / \Delta P)^{8,4} + (290 / I)^{9,3} . \quad (33)$$

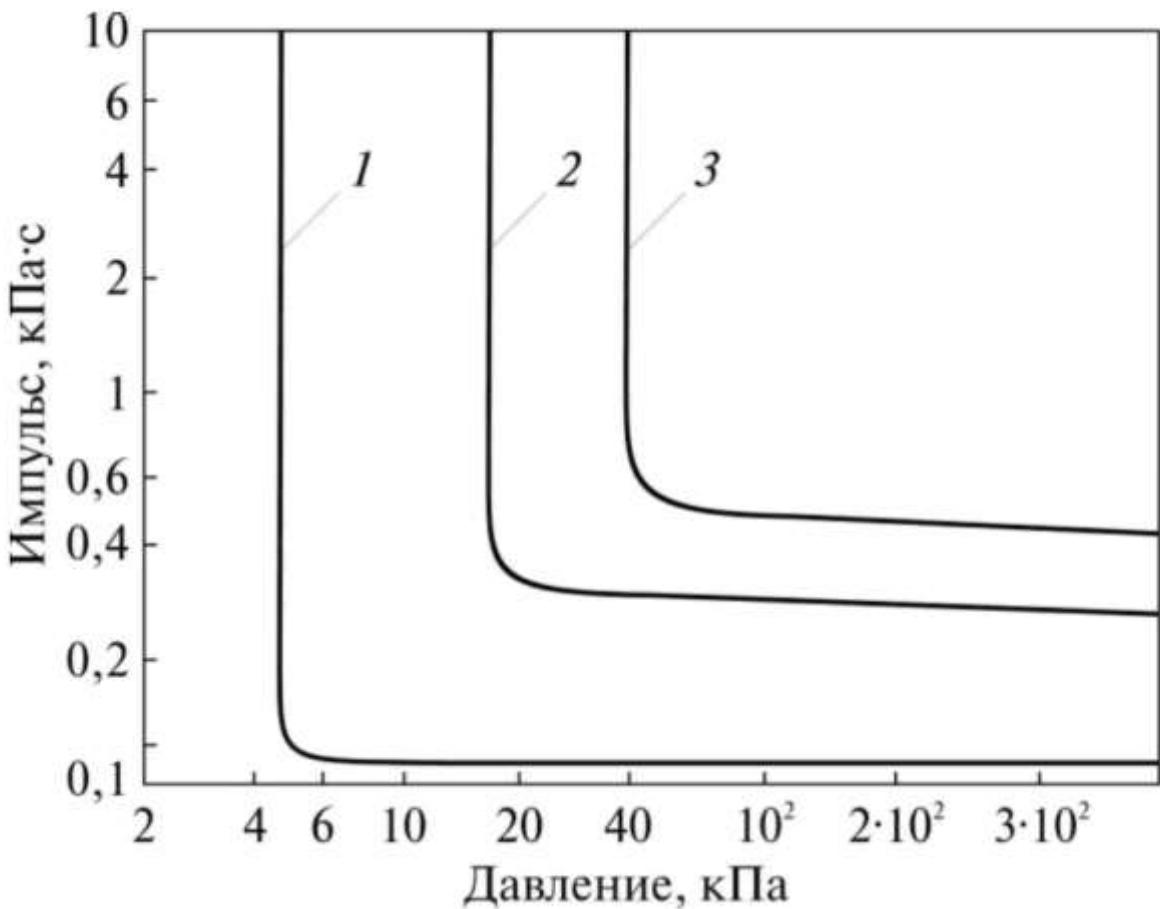
38. Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2 . \quad (34)$$

В этом случае фактор  $V_2$  рассчитывается по формуле:

$$V_2 = (40000 / \Delta P)^{7,4} + (460 / I)^{11,3} . \quad (35)$$

На рисунке 2 приведена Р-І диаграмма, соответствующая различным значениям поражения зданий ударной волной при взрыве облака ТВС.



### Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС

В пунктах 39 - 41 приводятся соотношения, которые могут быть использованы для расчета уровня вероятности поражения воздушной волной живых организмов (в том числе и человека).

39. Вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, может быть оценена по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3 . \quad (36)$$

Фактор опасности  $V_3$  рассчитывается по соотношению

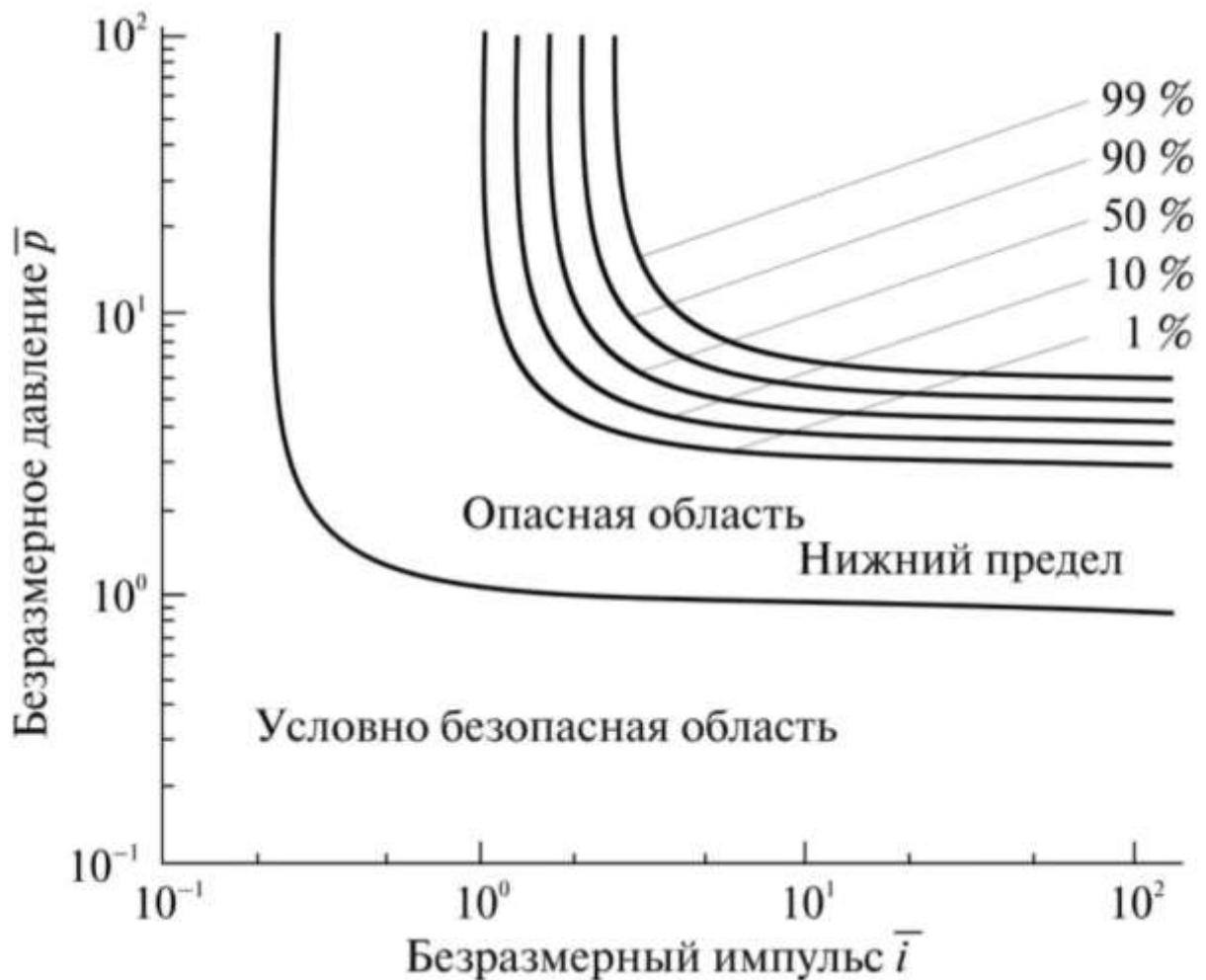
$$V_3 = 4,2 / \bar{P} + 1,3 / \bar{t} , \quad (37)$$

Безразмерное давление и безразмерный импульс задаются выражениями:

$$\bar{P} = 1 + \Delta P / P_0 \quad \text{и} \quad \bar{t} = I / \left( P_0^{1/2} m^{1/3} \right) , \quad (38)$$

где  $m$  - масса тела живого организма, кг.

На рисунке 3 приведена Р-І диаграмма, соответствующая различным значениям вероятности поражения людей, попавших в зону действия взрыва.



40. Вероятность разрыва барабанных перепонок у людей может оцениваться по пробит-функции:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P . \quad (39)$$

41. Вероятность отбраса людей волной давления может оцениваться по величине пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5 . \quad (40)$$

Здесь фактор  $V_5$  рассчитывается из соотношения

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^3 / \Delta P + 1,3 \cdot 10^9 / (\Delta PI) . \quad (41)$$

Связь функции  $Pr_i$  с вероятностью той или иной степени поражения находится по таблице N 2.

Таблица N 2

**Связь вероятности поражения с пробит-функцией**

| p, % | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0    |      | 2,67 | 2,95 | 3,12 | 3,25 | 3,38 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,66 |
| 10   | 3,72 | 3,77 | 3,82 | 3,86 | 3,92 | 3,96 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,12 |
| 20   | 4,16 | 4,19 | 4,23 | 4,26 | 4,29 | 4,33 | 4,36 | 4,39 | 4,42 | 4,45 |
| 30   | 4,48 | 4,50 | 4,53 | 4,56 | 4,59 | 4,61 | 4,64 | 4,67 | 4,69 | 4,72 |
| 40   | 4,75 | 4,77 | 4,80 | 4,82 | 4,85 | 4,87 | 4,90 | 4,92 | 4,95 | 4,97 |
| 50   | 5,00 | 5,03 | 5,05 | 5,08 | 5,10 | 5,13 | 5,15 | 5,18 | 5,20 | 5,23 |
| 60   | 5,25 | 5,28 | 5,31 | 5,33 | 5,36 | 5,39 | 5,41 | 5,44 | 5,47 | 5,50 |
| 70   | 5,52 | 5,55 | 5,58 | 5,61 | 5,64 | 5,67 | 5,71 | 5,74 | 5,77 | 5,81 |
| 80   | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,08 | 6,13 | 6,18 | 6,23 |
| 90   | 6,28 | 6,34 | 6,41 | 6,48 | 6,55 | 6,64 | 6,75 | 6,88 | 7,05 | 7,33 |
| 99   | 7,33 | 7,37 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,58 | 7,65 | 7,75 | 7,88 | 8,09 |

**Оценка радиусов зон поражения**

42. Для определения радиусов зон поражения может быть следующий метод, который состоит в численном решении уравнения:

$$k / (\Delta P(r) - P^*) = I(r) - I^*, \quad (42)$$

причем константы  $k$ ,  $P^*$ ,  $I^*$  зависят от характера зоны поражения и определяются из таблице N 3, а функции  $P(r)$  и  $I(r)$  находятся по соотношениям (8)-(14) соответственно.

Таблица N 3

**Константы для определения радиусов зон поражения при взрывах ТВС**

| Характеристика действия ударной волны   | $I^*$ , Па · с | $P^*$ , Па | $k$ , Па <sup>2</sup> · с |
|---|----------------|------------|---------------------------|
| <b>Разрушение зданий</b>  |                |            |                           |
| Полное разрушение зданий  | 770            | 70 100     | 886 100                   |
| Граница области сильных разрушений:<br>50-75% стен разрушено или находится на<br>грани разрушения                   | 520            | 34 500     | 541 000                   |
| Граница области значительных<br>повреждений: повреждение некоторых<br>конструктивных элементов, несущих<br>нагрузку | 300            | 14 600     | 119 200                   |
| Граница области минимальных<br>повреждений: разрывы некоторых<br>соединений, расчленение конструкций                | 100            | 3600       | 8950                      |
| Полное разрушение остекления  | 0              | 7000       | 0                         |

|   |     |         |                   |
|---|-----|---------|-------------------|
| 50% разрушение остекления   | 0   | 2500    | 0                 |
| 10% и более разрушение остекления   | 0   | 2000    | 0                 |
| Поражение органов дыхания незащищенных людей                                    |     |         |                   |
| 50% выживание   | 440 | 243 000 | $1,44 \cdot 10^8$ |
| Порог выживания (при меньших значениях смертельн. поражения людей маловероятны) | 100 | 65 900  | $1,62 \cdot 10^7$ |

43. Для оценки последствий взрывов ТВС допускается применять формулу для определения радиусов зон поражения:

$$r = KW^{1/3} / \left( 1 + (3180/W)^2 \right)^{1/6}, \quad (43)$$

где коэффициент К определяется согласно [таблице N 4](#), а W - тротиловый эквивалент взрыва, определяемый из соотношения:

$$W = \frac{0,4}{0,9} \frac{M_r q_r}{4,5 \cdot 10^6}, \quad (44)$$

где  $q_r$  - теплота сгорания газа.

**Таблица N 4**

#### Уровни разрушения зданий

| Категория повреждения | Характеристика повреждения здания                         | Избыточное давление $\Delta P$ , кПа | Коэффициент K |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------|
| A                     | Полное разрушение здания                                  | >100                                 | 3,8           |
| B                     | Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу                | 70                                   | 5,6           |
| C                     | Средние повреждения, возможно восстановление здания       | 28                                   | 9,6           |
| D                     | Разрушение оконных проемов, легкоубрасываемых конструкций | 14                                   | 28,0          |
| E                     | Частичное разрушение остекления                           | <2,0                                 | 56            |

44. Для определения радиуса смертельного поражения человека в соотношение (43) следует подставлять величину K = 3,8.

Примеры расчетов последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей приведены в [приложении N 5](#) к настоящему Руководству.

Приложение N 1  
к Руководству по безопасности  
"Методика оценки последствий аварийных  
взрывов топливно-воздушных смесей",  
утвержденному приказом Федеральной службы по  
экологическому, технологическому и атомному надзору  
от 20 апреля 2015 г. N 159

### Список сокращений

В настоящем Руководстве используются следующие обозначения и сокращения:  
ТВС - топливно-воздушная смесь;

ШФЛУ - широкая фракция легких углеводородов

$C_0$  - скорость звука в воздухе, м/с;

$c_g$  - концентрация горючего вещества в облаке ТВС, кг/м<sup>3</sup>;

$c_{st}$  - стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, кг/м<sup>3</sup>;

Е - эффективный энергозапас ТВС, Дж;

$I^*$ - коэффициент уравнения;

$I$  - импульс волны давления, Па·с;

$I_+$  - импульс фазы сжатия, Па·с;

$I_-$  - импульс фазы разрежения, Па·с;

$I_{r+}$  - импульс отраженной волны давления, Па·с;

$I_{r-}$  - импульс отраженной волны разрежения, Па·с;

$I_x$  - безразмерный импульс фазы сжатия;

$K$  - коэффициент уравнения;

$k$  - коэффициент уравнения;

$K_i$  - декремент затухания;

$K_r$  - декремент изменения давления в отраженной волне;

$M_t$  - масса горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС, кг;

$\bar{P}$  - безразмерное давление;

$P^*$ - коэффициент уравнения;

$\Delta P$  - избыточное давление, Па;

$\Delta P_+$  - амплитуда волны давления, Па;

$\Delta P_-$  - амплитуда волны разрежения, Па;

$\Delta P_{r+}$  - амплитуда отраженной волны давления, Па;

$\Delta P_{r-}$  - амплитуда отраженной волны разрежения, Па;

$P_0$  - атмосферное давление, Па;

$P_x$  - безразмерное давление;

$P_{r1}$  - пробит-функция повреждений стен промышленных зданий;

$P_{r^2}$  - пробит-функция разрушения промышленных зданий;

$P_{r^3}$  - пробит-функция длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна);

$P_{r^4}$  - пробит-функция разрыва барабанных перепонок у людей;

$P_{r^5}$  - пробит-функция отбrosа людей волной давления;

$r$  - расстояние от центра облака ТВС, м;

$R_x$  - безразмерное расстояние от центра облака ТВС;

$R_{kp}$  - пороговое значение величины  $R_x$ ;

$V_r$  - скорость видимого фронта пламени, м/с;

$W$  - тротиловый эквивалент взрыва ТВС, кг;

$m$  - средняя масса человека, кг;

$q_r$  - удельная теплота сгорания газа, Дж/кг;

$t$  - время процесса, с;

$\beta$  - корректировочный параметр, характеризующий фугасные свойства ТВС;

$\lambda_{par}$  - параметрическое расстояние;

$\sigma$  - степень расширения продуктов сгорания;

$\tau_+$  - длительность фазы сжатия, с;

$\tau_-$  - длительность фазы разрежения, с;

$\tau_{r+}$  - длительность отраженной волны давления, с;

$\tau_{r-}$  - длительность отраженной волны разрежения, с.

**Приложение N 2**  
**к Руководству по безопасности**  
**"Методика оценки последствий аварийных**  
**взрывов топливно-воздушных смесей",**  
**утвержденному приказом Федеральной службы по**  
**экологическому, технологическому и атомному надзору**  
**от 20 апреля 2015 г. N 159**

## Термины и определения

В настоящем Руководстве применены следующие термины с соответствующими определениями:

**авария** - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ ([статья 1](#) к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов");

**анализ риска аварии** - процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на опасном производственном объекте для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей природной среды;

**взрыв** - неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям;

**дефлаграция (дефлаграционный взрыв)** - взрыв, при котором нагрев и воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходит в результате диффузии и теплоотдачи, характеризующийся тем, что фронт ударной волны и фронт пламени движутся с звуковой скоростью;

**идентификация опасностей аварии** - процесс выявления и признания, что опасности аварии на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик;

**обоснование безопасности** - документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на опасном производственном объекте и связанной с ней угрозы, условия безопасной эксплуатации опасного производственного объекта, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации опасного производственного объекта ([статья 1](#) к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов");

**опасность аварии** - угроза, возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие аварии на опасном производственном объекте. Опасности аварий на опасных производственных объектах связаны с возможностью разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрывом и (или) выбросом опасных веществ с последующим причинением ущерба человеку, имуществу и (или) нанесением вреда окружающей природной среде;

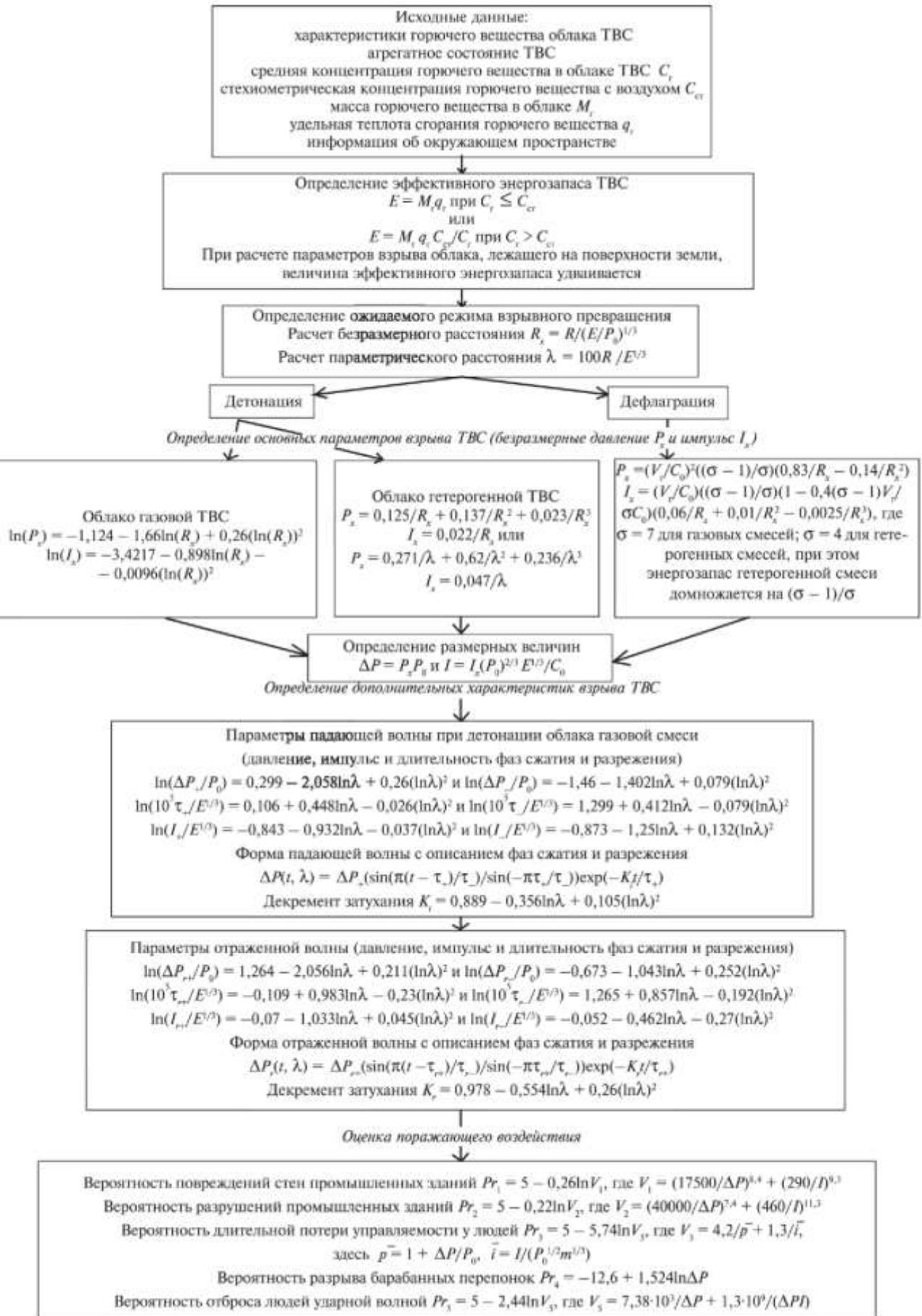
**опасные вещества** - воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, указанные в [приложении 1](#) к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов";

**оценка риска аварии** - процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий для здоровья человека, имущества и (или) окружающей природной среды. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий и их сочетания;

**риск аварии** - мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий;

**сценарий аварии** - последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим (исходным) событием, приводящих к определенным опасным последствиям аварии.

### Приложение N 3



**Приложение N 4**  
**к Руководству по безопасности**  
**"Методика оценки последствий аварийных**  
**взрывов топливно-воздушных смесей",**  
**утвержденному приказом Федеральной службы по**  
**экологическому, технологическому и атомному надзору**  
**от 20 апреля 2015 г. N 159**

**Таблица N 4-1**

**Классификация горючих веществ по степени чувствительности**

| Класс 1   |          | Класс 2  |          | Класс 3   |          | Класс 4   |          |
|---|----------|--|----------|---|----------|---|----------|
| Особо<br>чувствительные<br>вещества               |          | Чувствительные<br>вещества                           |          | Среднечувствитель-<br>ные вещества                    |          | Слабочувствитель-<br>ные вещества                   |          |
| (Размер<br>детонационной<br>ячейки<br>менее 2 см) |          | (Размер<br>детонационной<br>ячейки<br>от 2 до 10 см) |          | (Размер<br>детонационной<br>ячейки<br>от 10 до 40 см) |          | (Размер<br>детонационной<br>ячейки<br>больше 40 см) |          |
| 1   | 2        | 3  | 4        | 5   | 6        | 7   | 8        |
|   | β        |  | β        |   | β        |   | β        |
| Ацетилен  | 1,1      | Акрилонитрил   | 0,6<br>7 | Ацетальдегид  | 0,5<br>6 | Аммиак  | 0,4<br>2 |
| Винилацетилен                                     | 1,0<br>3 | Акролеин   | 0,6<br>2 | Ацетон  | 0,6<br>5 | Бензол  | 0,8<br>8 |
| Водород   | 2,7<br>3 | Бутан  | 1,0<br>4 | Бензин  | 1        | Декан   | 1        |
| Гидразин  | 0,4<br>4 | Бутилен  | 1        | Винилацетат   | 0,5<br>1 | Дизтопливо  | 1        |
| Изопропилнитрат                                   | 0,4<br>1 | Бутадиен   | 1        | Винилхлорид   | 0,4<br>2 | о-дихлорбензол                                      | 0,4<br>2 |
| Метилацетилен                                     | 1,0<br>5 | 1,3-пентадиен  | 1        | Гексан  | 1        | Додекан   | 1        |
| Нитрометан  | 0,2<br>5 | Пропан   | 1,0<br>5 | Генераторный газ                                      | 0,3<br>8 | Керосин   | 1        |
| Окись пропилена                                   | 0,7      | Пропилен   | 1,0<br>4 | Изооктан  | 1        | Метан   | 1,1<br>4 |
| Окись этилена                                     | 0,6<br>2 | Сероуглерод  | 0,3<br>2 | Метиламин   | 0,7      | Метилбензол   | 1        |
| Этилнитрат  | 0,3      | Этан   | 1,0<br>8 | Метилацетат   | 0,5<br>3 | Метилмеркаптан                                      | 0,5<br>3 |
|   |          | Этилен   | 1,0<br>7 | Метилбутилкетон                                       | 0,7<br>9 | Метилхлорид   | 0,1<br>2 |
|   |          | ШФЛУ   | 1        | Метилпропилкетон                                      | 0,7<br>6 | Нафталин  | 0,9<br>1 |
|   |          | Диметиловый эфир                                     | 0,6<br>6 | Метилэтилкетон  | 0,7<br>1 | Окись углерода                                      | 0,2<br>3 |

|  |  |                       |          |                         |          |             |          |
|--|--|-----------------------|----------|-------------------------|----------|-------------|----------|
|  |  | Дивиниловый эфир      | 0,7<br>7 | Октан                   | 1        | Фенол       | 0,9<br>2 |
|  |  | Метилбутиловый эфир   | -        | Пиридин                 | 0,7<br>7 | Хлорбензол  | 0,5<br>2 |
|  |  | Дизтиловый эфир       | 0,7<br>7 | Сероводород             | 0,3<br>4 | Этилбензол  | 0,9<br>0 |
|  |  | Дизопропильтовий эфир | 0,8<br>2 | Метиловый спирт         | 0,5<br>2 | Дихлорэтан  | 0,2<br>5 |
|  |  |                       |          | Этиловый спирт          | 0,6<br>2 | Трихлорэтан | 0,1<br>4 |
|  |  |                       |          | Пропиловый спирт        | 0,6<br>9 |             |          |
|  |  |                       |          | Амиловый спирт          | -        |             |          |
|  |  |                       |          | Изобутиловый спирт      | 0,7<br>9 |             |          |
|  |  |                       |          | Изопропиловый спирт     | 0,6<br>9 |             |          |
|  |  |                       |          | Циклогексан             | 1        |             |          |
|  |  |                       |          | Этилформиат             | 0,4<br>6 |             |          |
|  |  |                       |          | Этилхлорид              | 0,4<br>3 |             |          |
|  |  |                       |          | Сжиженный природный газ | 1        |             |          |
|  |  |                       |          | Кумол                   | 0,8<br>4 |             |          |
|  |  |                       |          | Печной газ              | 0,0<br>9 |             |          |
|  |  |                       |          | Циклопропан             | 1        |             |          |
|  |  |                       |          | Этил амин               | 0,8      |             |          |

Приложение N 5  
к Руководству по безопасности  
"Методика оценки последствий аварийных  
взрывов топливно-воздушных смесей",  
утвержденному приказом Федеральной службы по  
экологическому, технологическому и атомному надзору  
от 20 апреля 2015 г. N 159

**Примеры расчетов последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей**

**Пример 1**

В результате аварии на автодороге, проходящей по открытой местности, в безветренную погоду произошел разрыв автоцистерны, содержащей 8 т сжиженного пропана. Для оценки максимально возможных последствий принято, что в результате выброса газа в пределах воспламенения оказалось практически все топливо, перевозившееся в цистерне. Средняя концентрация пропана в образовавшемся облаке составила около  $140 \text{ г}/\text{м}^3$ . Расчетный объем облака составил 57 тыс.  $\text{м}^3$ . Воспламенение облака привело к возникновению взрывного режима его превращения. Требуется определить параметры воздушной ударной волны (избыточное давление и импульс фазы сжатия) на расстоянии 100 м от места аварии.

Решение:

сформируем исходные данные для дальнейших расчетов:

тип топлива - пропан;

агрегатное состояние смеси - газовое;

концентрация горючего в смеси  $c_r = 0,14 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

масса топлива, содержащегося в облаке,  $M_r = 8000 \text{ кг}$ ;

удельная теплота сгорания топлива  $q_r = 4,64 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$ ;

окружающее пространство - открытое (вид 4).

Определяем эффективный энергозапас ТВС  $E$ . Так как  $c_r > c_{cr}$ , следовательно,

$$E = 2M_r q_r c_{cr} / c_r = 2 \cdot 8000 \cdot 4,64 \cdot 10^7 \cdot 0,077 / 0,14 = 4,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Исходя из классификации веществ, определяем, что пропан относится к классу 2 опасности (чувствительные вещества). Геометрические характеристики окружающего пространства относятся к виду 4 (открытое пространство). По таблице N 1 определяем ожидаемый режим взрывного превращения облака ТВС - дефлаграция с диапазоном видимой скорости фронта пламени от 150 до 200 м/с. Для проверки рассчитываем скорость фронта пламени по соотношению (3):

$$V_r = k_1 M_r^{1/6} = 43 \cdot 8000^{1/6} = 192 \text{ м/с.}$$

Полученная величина меньше максимальной скорости диапазона данного взрывного превращения.

Для заданного расстояния  $r = 100$  м рассчитываем безразмерное расстояние  $R_x$ :

$$R_x = r / (E/P_0)^{1/3} = 100 / (4,1 \cdot 10^{11} / 101324)^{1/3} = 0,63$$

Рассчитываем параметры взрыва при скорости горения 200 м/с. Для вычисленного безразмерного расстояния по соотношениям (10) и (11) определяем величины  $P_{x1}$  и  $I_{x1}$ :

$$P_{x1} = \left( V_r^2 / C_0^2 \right) \left( (\sigma - 1) / \sigma \right) \left( 0,83 / R_x - 0,14 / R_x^2 \right) = 200^2 / 340^2 \cdot 6 / 7 \left( 0,83 / 0,63 - 0,14 / 0,63^2 \right) = 0,29 ;$$

$$I_{x1} = \left( V_r / C_0 \right) \left( (\sigma - 1) / \sigma \right) \left( 1 - 0,4 \left( V_r / C_0 \right) \left( (\sigma - 1) / \sigma \right) \right) \times \left( 0,06 / R_x + 0,01 / R_x^2 - 0,0025 / R_x^3 \right) = (200 / 340) \left( (7 - 1) / 7 \right) \times \left( 1 - 0,4 (200 / 340) \left( (7 - 1) / 7 \right) \right) \left( 0,06 / 0,63 + 0,01 / 0,63^2 - 0,0025 / 0,63^3 \right) = 0,0427 .$$

Так как ТВС - газовая, величины  $P_{x2}$ ,  $I_{x2}$  рассчитываем по соотношениям (6) и (7):

$$P_{x2} = \exp\left(-1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26 (\ln(R_x))^2\right) = 0,74 \pm 10\% ;$$

$$I_{x2} = \exp\left(-3,4217 - 0,898 \ln(R_x) - 0,0096 (\ln(R_x))^2\right) = 0,049 \pm 15\% .$$

Согласно (12) определяем окончательные значения  $P_x$  и  $I_x$ :

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}) = \min(0,29, 0,74) = 0,29 ;$$

$$I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}) = \min(0,0427, 0,049) = 0,0427 .$$

Из найденных безразмерных величин  $P_x$  и  $I_x$  вычисляем согласно (13) и (14) искомые величины избыточного давления и импульса фазы сжатия в воздушной ударной волне на расстоянии 100 м от места аварии при скорости горения 200 м/с:

$$\Delta P = 2,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$I = I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0 = 2,04 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с} .$$

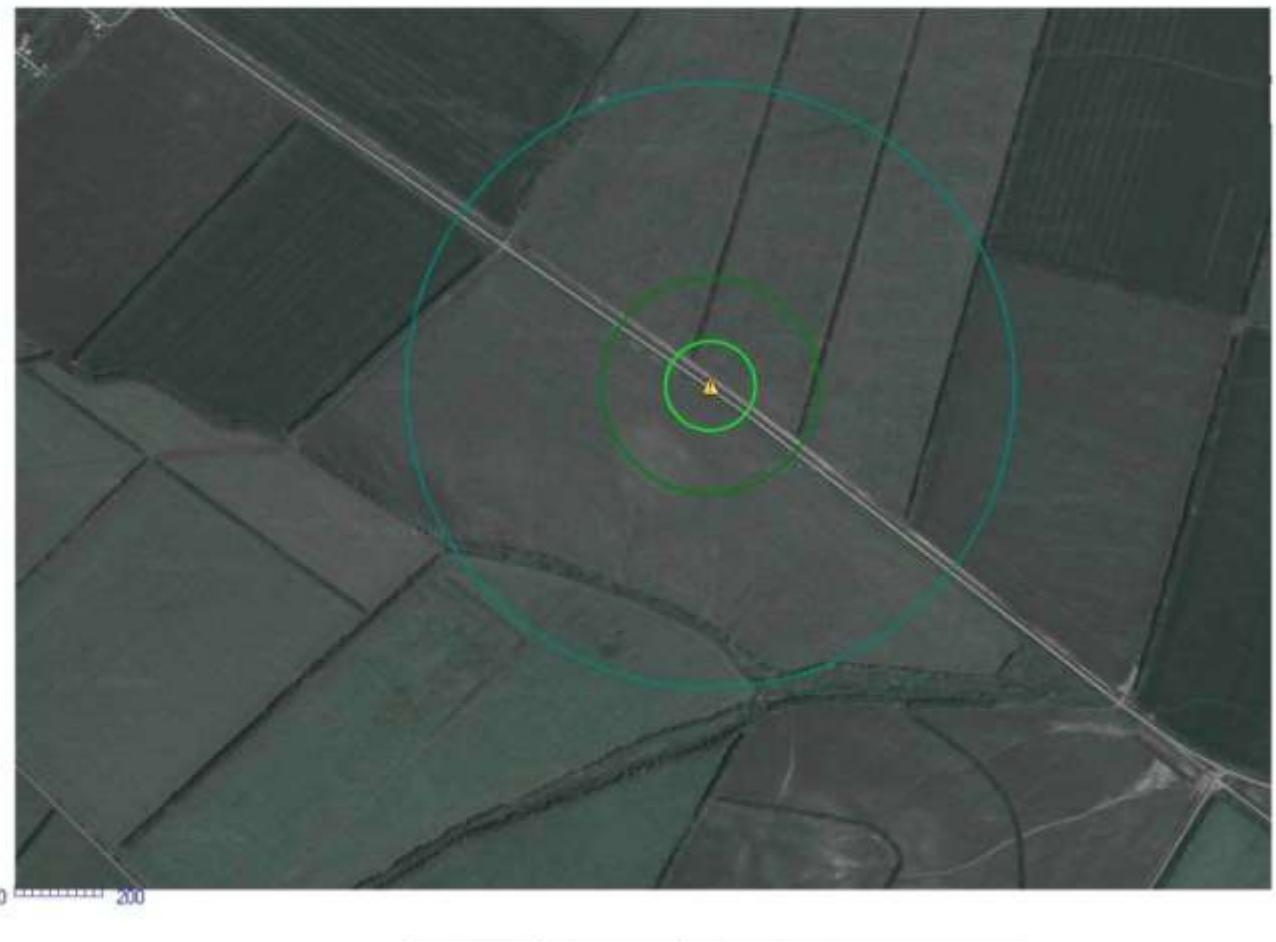
Используя полученные значения  $\Delta P$  и  $I$ , находим:

$$Pr_1 = 6,06, \quad Pr_2 = 4,47, \quad Pr_3 = -1,93, \quad Pr_4 = 3,06, \quad Pr_5 = 2,78$$

(при расчете  $Pr_3$  предполагается, что масса человека 80 кг).

Это согласно [таблице N 2](#) означает: 86% вероятность повреждений и 30% вероятность разрушений промышленных зданий, а также 2,5 % вероятность разрыва барабанных перепонок у людей и 1% вероятность отброса людей волной давления. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

На [рисунке 5-1](#) приведены зоны распространения ударной волны при взрыве ТВС.



|   |                            |
|---|----------------------------|
| 2 | Избыточное давление 5 кПа  |
| 2 | Избыточное давление 14 кПа |
| 2 | Избыточное давление 28 кПа |

## Пример 2

В результате внезапного раскрытия обратного клапана в пространство, загроможденное подводящими трубопроводами, выброшено 100 кг этилена. Рядом с загазованным объектом на расстоянии 150 м находится помещение цеха.

Концентрация этилена в облаке  $80 \text{ г}/\text{м}^3$ . Требуется определить степень поражения здания цеха и расположенного в нем персонала при взрыве облака ТВС.

Решение:

сформируем исходные данные для дальнейших расчетов:

горючий газ - этилен;

агрегатное состояние смеси - газовое;

концентрация горючего в смеси  $c_g = 0,08 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

стехиометрическая концентрация этилена с воздухом  $c_{st} = 0,09 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

масса топлива, содержащегося в облаке,  $M_g = 100 \text{ кг}$ ;

удельная теплота сгорания горючего газа  $q_g = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$ ;

окружающее пространство - загроможденное.

Находим эффективный энергозапас горючей смеси  $E$ . Так как  $c_r < c_{cr}$ , следовательно,

$$E = M_r q_r \cdot 2 = 100 \times 4,6 \cdot 10^7 \cdot 2 = 9,2 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Исходя из классификации веществ, определяем, что этилен относится к классу 2 опасности (чувствительные вещества). Геометрические характеристики окружающего пространства относятся к виду 1 (загроможденное пространство). По экспертной [таблице N 1](#) определяем диапазон ожидаемого режима взрывного превращения облака топливно-воздушной смеси - первый, что соответствует детонации.

Для заданного расстояния 150 м определяем безразмерное параметрическое расстояние  $\lambda_{par}$ :

$$\lambda_{par} = r/E^{1/3} = 100 \cdot 150 / (9,2 \cdot 10^9)^{1/3} = 7,16$$

По соотношениям для падающей волны (15)-(20) находим:  
амплитуда фазы давления:

$$\Delta P_+/P_0 = 0,064 \quad \text{или} \quad \Delta P_+ = 6,5 \cdot 10^3 \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па;}$$

амплитуда фазы разрежения:

$$\Delta P_-/P_0 = 0,02 \quad \text{или} \quad \Delta P_- = 2 \cdot 10^3 \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па;}$$

длительность фазы сжатия:

$$\tau_+ = 0,0509 \text{ с;}$$

длительность фазы разрежения:

$$\tau_- = 0,127 \text{ с;}$$

импульсы фаз сжатия и разрежения:

$$I_+ \approx I_- = 126,4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением:

$$\Delta P(t) = 6,5 \cdot 10^3 \left( \sin(\pi(t-0,0509)/0,1273) / \sin(-\pi 50,9/0,1273) \right) \times \exp(-0,6t/0,0509)$$

Используя полученные значения  $\Delta P_+$  и  $I_+$ , по формулам раздела V имеем:

$$Pr_1 = 2,69; Pr_2 = 1,69; Pr_3 = -11,67; Pr_4 = 0,76; Pr_5 = -13,21$$

(при расчете  $Pr_3$  предполагается, что масса человека 80 кг).

Это согласно таблицы N 2 означает 1% вероятность разрушений производственных зданий. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

По соотношениям для отраженной волны (23)-(28) находим:  
амплитуда отраженной волны давления

$$\Delta Pr_+/P_0 = 0,14 \quad \text{или} \quad \Delta Pr_+ = 1,4 \cdot 10^4 \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па;}$$

амплитуда отраженной волны разрежения

$$\Delta Pr_-/P_0 = 0,174 \quad \text{или} \quad \Delta Pr_- = 1,74 \cdot 10^4 \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па;}$$

длительность отраженной волны давления

$$\tau_{r+} = 0,0534 \text{ с;}$$

длительность отраженной волны разрежения

$$\tau_{r-} = 0,1906 \text{ с;}$$

импульсы отраженных волн давления и разрежения:

$$\begin{aligned} I_{r+} &= 308 \text{ Па} \cdot \text{с;} \\ I_{r-} &= 284,7 \text{ Па} \cdot \text{с.} \end{aligned}$$

Форма отраженной волны при взаимодействии со стенкой

$$\Delta P_r(t) = 1,4 \cdot 10^4 \left( \sin(\pi(t-0,0534)/0,1906) / \sin(-\pi 0,0534/0,1906) \right) \times \exp(-0,8906t/0,0534)$$

Используя полученные значения  $\Delta P_+$  и  $I_+$ , по формулам раздела V имеем:

$$Pr_1 = 4,49; Pr_2 = 3,28; Pr_3 = -7,96; Pr_4 = 1,95; Pr_5 = -9,35.$$

Это, согласно [таблице N 2](#), означает вероятности: 30% повреждений и 4% разрушений производственных зданий. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

На [рисунке 5-2](#) приведены зоны распространения ударной волны при взрыве ТВС.

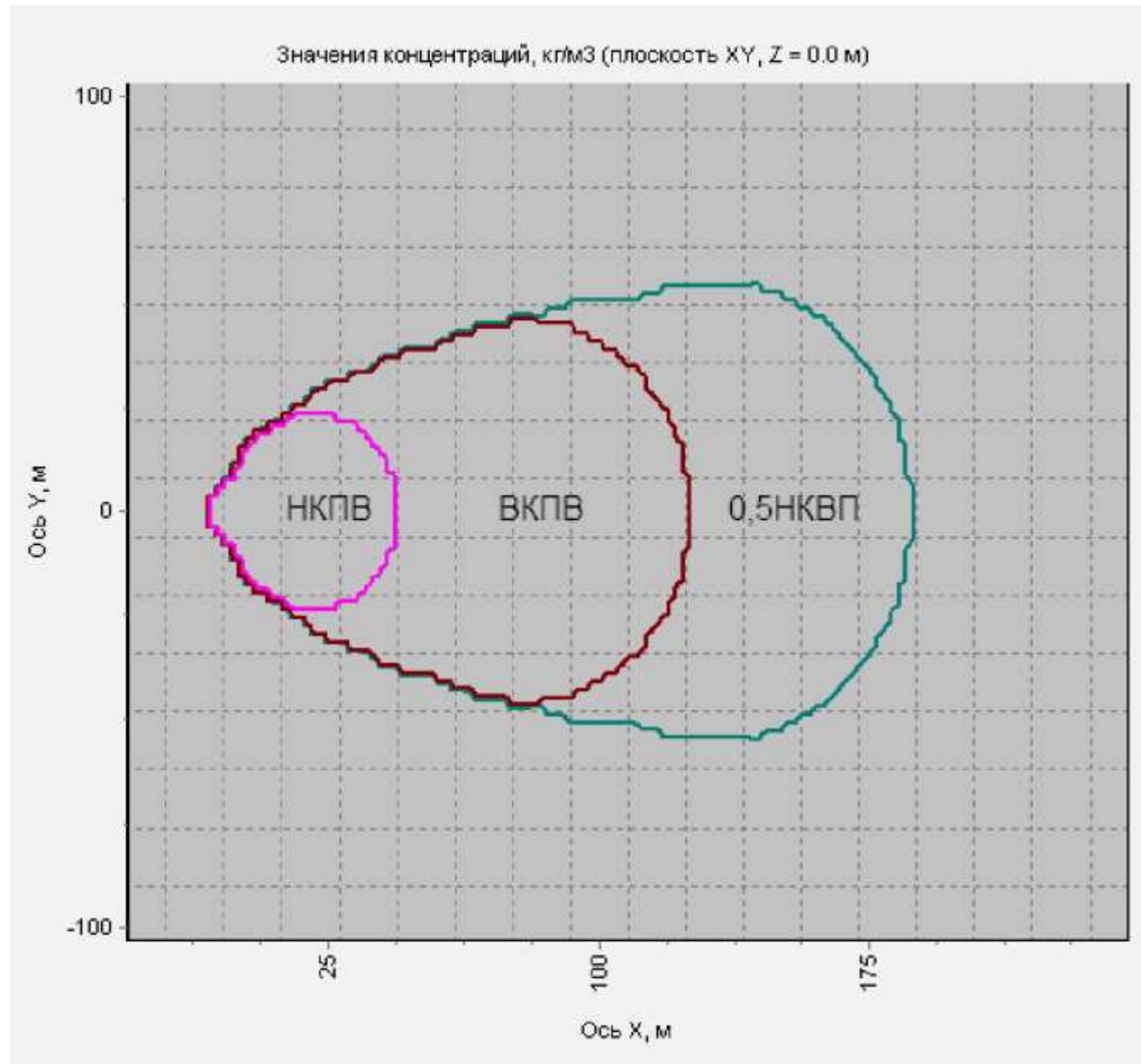


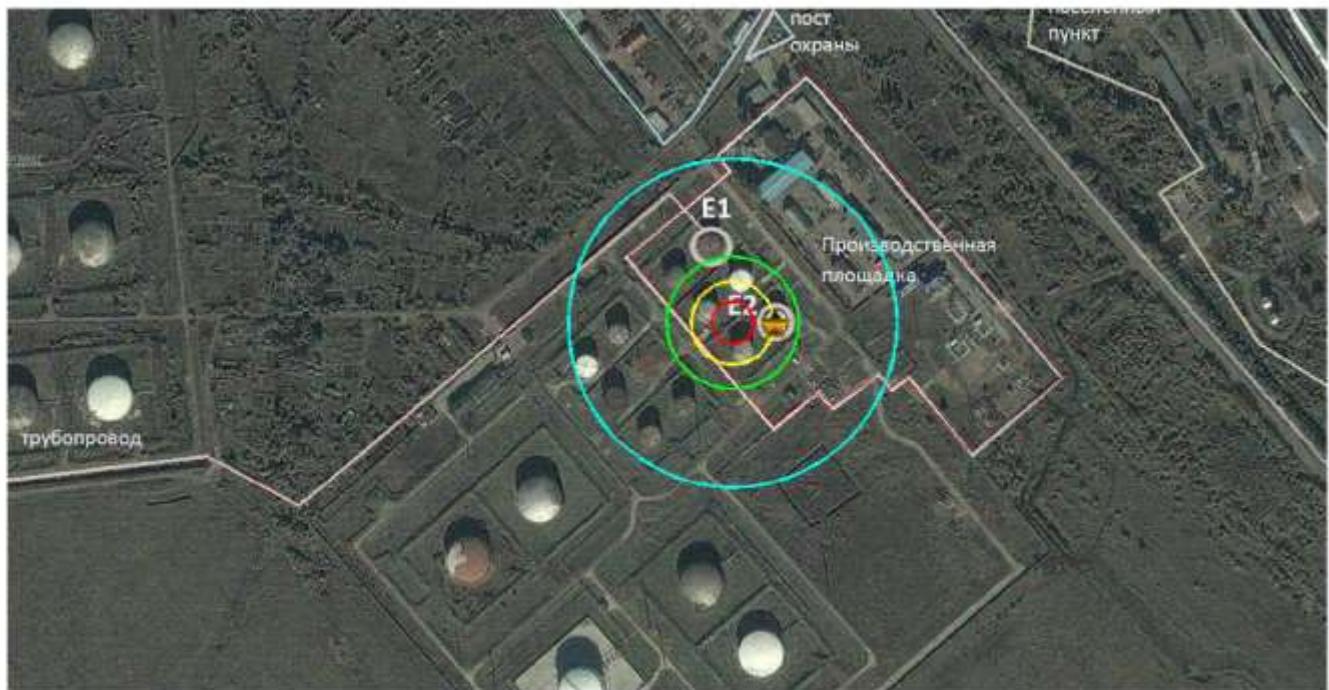
|   |   |                             |
|---|---|-----------------------------|
| 1 | 2 | Избыточное давление 5 кПа   |
| 2 | 2 | Избыточное давление 14 кПа  |
| 3 | 2 | Избыточное давление 100 кПа |
| 4 | 2 | Избыточное давление 70 кПа  |
| 5 | 2 | Избыточное давление 28 кПа  |

### Пример 3

В резервуаре вместимостью  $2000 \text{ м}^3$  находится пропан в газовой фазе при температуре окружающей среды  $24,5^\circ\text{C}$  и давлении 2 атм. Резервуар расположен на товарно-сырьевой базе в равнинной местности. Происходит разрушение емкости

и выбрасывается все опасное вещество. Метеоусловия: скорость ветра 3,2 м/с, класс устойчивости атмосферы - устойчивая стратификация. Требуется определить зоны поражения ударной волной при взрыве облака ТВС.





**Таблица N 5-1**

| №  | Наименование изолинии  | Радиус изолинии, м | Цвет изолинии |
|----|--|--------------------|---------------|
| 1. | Взрыв ТВС: Пропан M=622,00 кг, поражение избыточным давлением 5 кПа  | 732,44             | —             |
| 2. | Взрыв ТВС: Пропан M=622,00 кг, поражение избыточным давлением 14 кПа | 294,09             | —             |
| 3. | Взрыв ТВС: Пропан M=622,00 кг, поражение избыточным давлением 28 кПа | 184,64             | —             |
| 4. | Взрыв ТВС: Пропан M=622,00 кг, поражение избыточным давлением 70 кПа | 93,64              | —             |

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| ПРИКАЗ РТН 20.04.2015 N 159 ОБ УТВ.РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОП. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ.PDF .....  | 1  |
| Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N 159 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей" ..... | 1  |
| Руководство по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей" (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N 159)2             |    |
| I. Общие положения .....  | 2  |
| II. Общие рекомендации по оценке последствий взрывов ТВС .....  | 2  |
| III. Рекомендации по определению основных параметров взрыва ТВС .....   | 3  |
| Определение эффективного энергозапаса ТВС .....   | 3  |
| Определение ожидаемого режима взрывного превращения .....   | 4  |
| Классификация горючих веществ по степени чувствительности .....   | 4  |
| Классификация окружающей территории .....   | 4  |
| Классификация ожидаемого режима взрывного превращения .....   | 5  |
| Экспертная таблица для определения режима взрывного превращения .....   | 5  |
| Оценка агрегатного состояния ТВС .....  | 6  |
| Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн .....   | 6  |
| Детонация газовых и гетерогенных ТВС .....  | 6  |
| Дефлаграция газовых и гетерогенных ТВС .....  | 7  |
| IV. Рекомендации по определению дополнительных характеристик взрыва ТВС .....   | 8  |
| Профиль ударной волны .....   | 8  |
| Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси .....   | 8  |
| Параметры отраженной ударной волны .....  | 9  |
| Параметры волны при произвольном режиме сгорания .....  | 10 |
| V. Оценка поражающего воздействия .....   | 11 |
| Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ТВС .....   | 11 |
| Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС .....  | 12 |
| Связь вероятности поражения с пробит-функцией .....   | 14 |
| Оценка радиусов зон поражения .....   | 14 |
| Константы для определения радиусов зон поражения при взрывах ТВС .....  | 14 |
| Уровни разрушения зданий .....  | 15 |
| Список сокращений .....   | 16 |
| Термины и определения .....   | 18 |
| Классификация горючих веществ по степени чувствительности .....   | 21 |
| Примеры расчетов последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей .....  | 23 |
| Пример 1 .....  | 23 |

|                |    |
|----------------|----|
| Пример 2 ..... | 27 |
| Пример 3 ..... | 30 |