



**Сравнение результатов расчета
взрывоопасных зон,
образующихся в результате
аварийного выброса горючих
газов по российским методикам и
методике DNV**

Сумской С.И., Лисанов М.В., Ефремов К.В.

20 октября, вторник

В настоящей работе проведено сравнение результатов расчета взрывоопасных зон, образующихся в результате аварийного выброса горючих газов по российским методикам и методике норвежской организации DNV (Det Norske Veritas).

Расчеты проводились по следующим нормативно-методическим документам РФ:

- Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1]**
- РД 03-409-01 [2] «ТВС»**
- РД-03-26-2007 [3] «ТОКСИ-3»**

ТОКСИ+, версия 3.3.19

Методики ТОКСИ

Файл Расчет Результаты База данных Настройки Окна Помощь

Методики ТОКСИ-2 и ТОКСИ-3

Исходные данные Результаты расчета

Параметры аварии Параметры расчета Начальные размеры об

Сценарий
3 - ОВ-жидкость, полное разрушение оборудования

Опасное вещество
Вещество: токсич. Кол-во вещ-ва:
Хлор < по объёму по массе >

Объём ёмк. (м³): 100 Масса ГФ (кг): 10
Доля газа в ёмк.: 0.5 Масса ЖФ (г): 41

Параметры местности
Тип: Равнинная местность: ...
Т пов-ти местности (°C): 13

Параметры пов-ти пролива
Тип: Песок
Т поверхности (°C): 13

Время экспозиции (ч.м.с/с): 0 ч. 30 м. 0 сек.
Н места аварии (м): 0.0

4.5776e-04	1.3720e-03	7.5864e+00	7.5864e+00
3.8147e-04	1.1434e-03	7.5858e+00	7.5858e+00
3.4332e-04	1.0290e-03	7.5854e+00	7.5854e+00
3.0518e-04	9.1469e-04	7.5851e+00	7.5851e+00
2.6703e-04	8.0035e-04	7.5848e+00	7.5848e+00
2.2888e-04	6.8601e-04	7.5844e+00	7.5844e+00

Сечения концентраций и токсодоз

Изображения Значения

Значения концентраций (плоскость XZ, Y = 0.0 м)

Значения концентраций (плоскость XY, Z = 0.0 м)

ГОСТ 12.3.047-98 ССБТ (приложение Б). МС (ВНИИПО) 1998

для горючих газов

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 14,6 \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{Б.1})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,33 \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{Б.2})$$

для паров ЛВЖ

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 3,2 \sqrt{K} \left(\frac{p_{\text{H}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}} \cdot p_{\text{H}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{Б.3})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 0,12 \sqrt{K} \left(\frac{p_{\text{H}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}} \cdot p_{\text{H}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{Б.4})$$

Методика...МС (ВНИИПО) 2009

для горючих газов

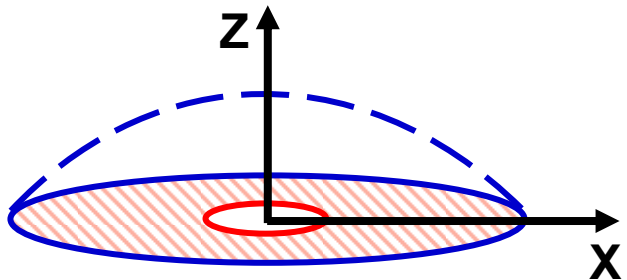
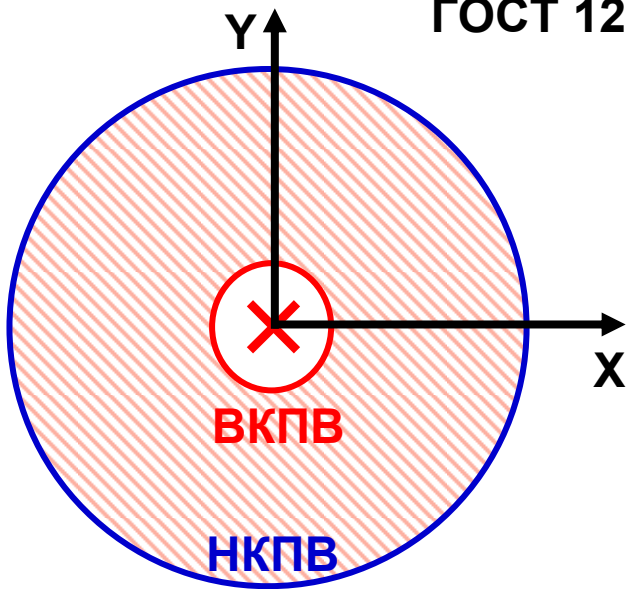
$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (\text{ПЗ.32})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (\text{ПЗ.33})$$

$$(\text{ПЗ.34})$$

$$(\text{ПЗ.35})$$

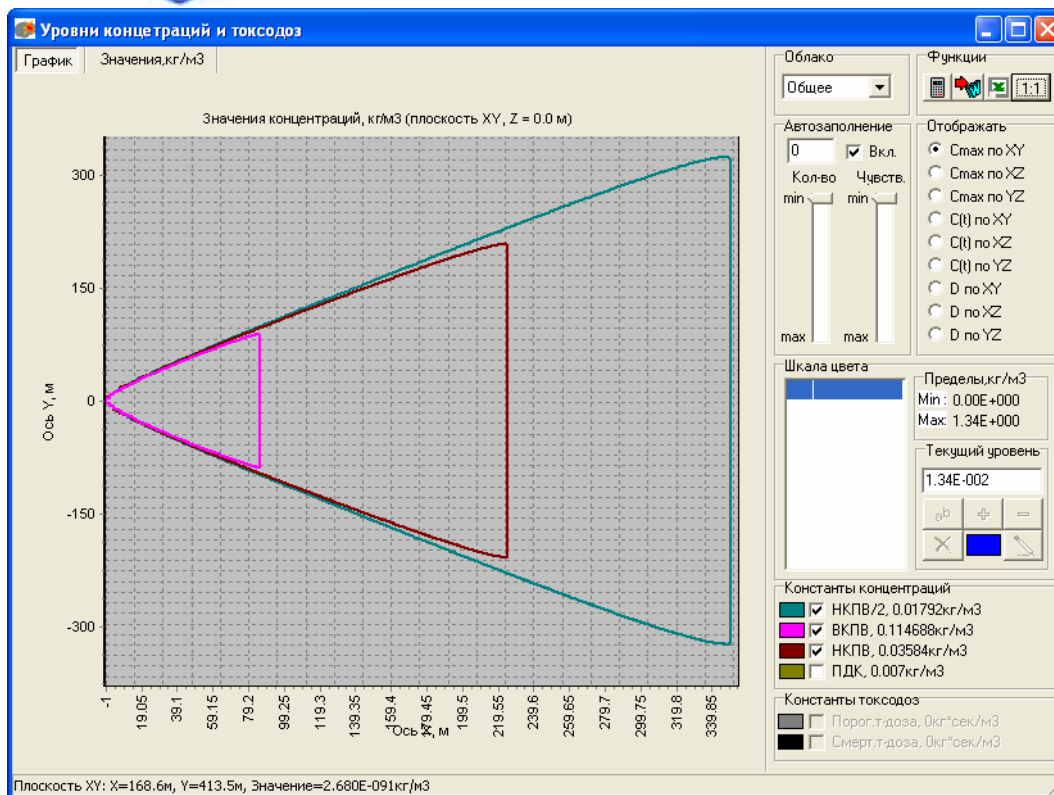
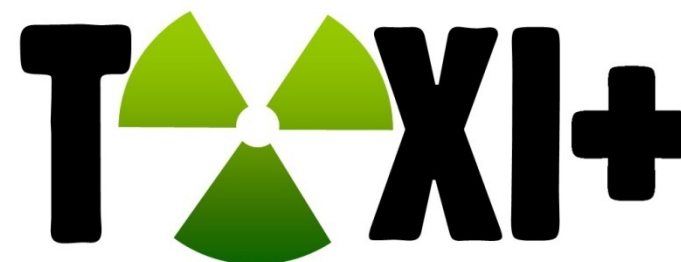
$$X_{\text{НКПР}}^{2009} = 0,54 \cdot X_{\text{НКПР}}^{1998}$$



для паров ЛВЖ

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{p_{\text{H}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}} \cdot p_{\text{H}}} \right)^{0,33}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{p_{\text{H}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}} \cdot p_{\text{H}}} \right)^{0,33}$$



Утечка метана (утечка на входе теплообменника газа мгновенного испарения)

Давление: 71,5 бар изб.

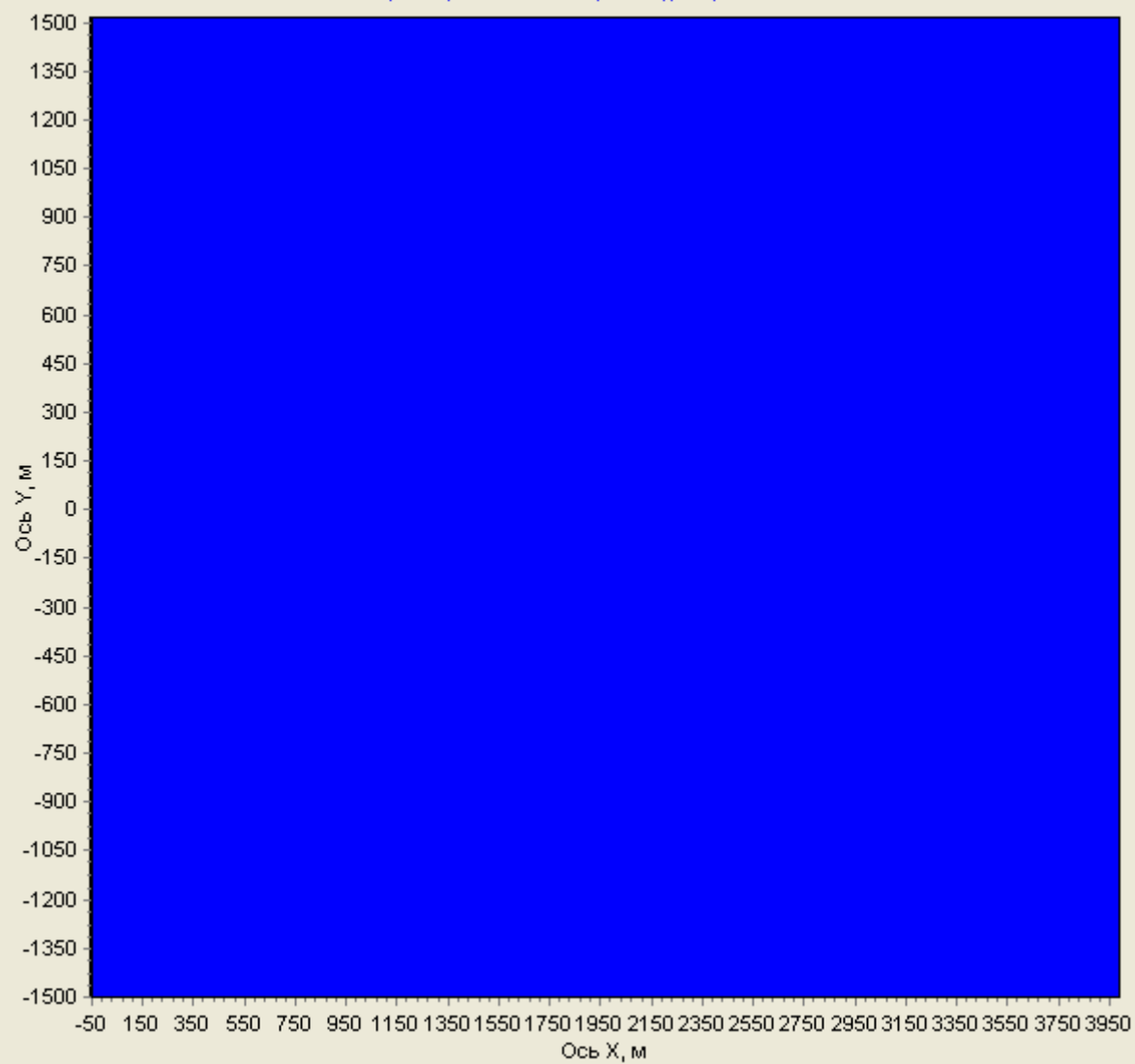
Температура: -34,2°C

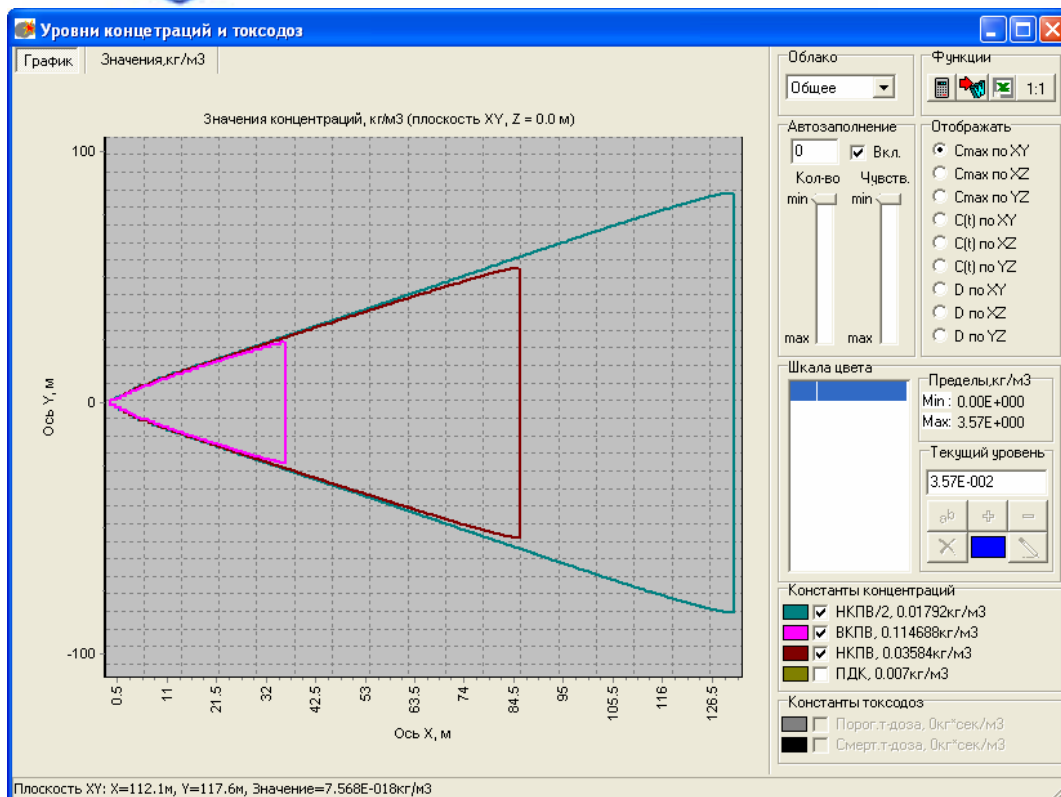
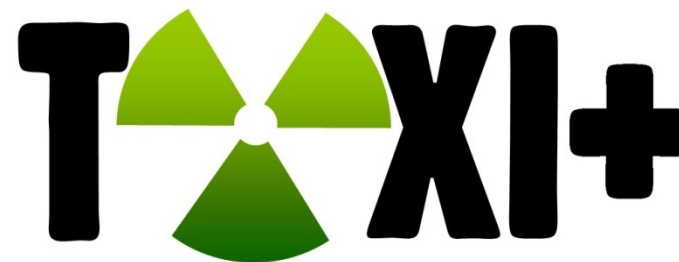
Диаметр отверстия: 80 мм

Характеристика	DNV	«ТОКСИ-3»*
Зона достижения НКПВ	258	225

*РД-03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.

Анимация 2D, плоскость XY, токсодозы, кг*сек/м3





Струйный выброс криогенного метана

Давление: 7,5 бар изб.

Температура: -158,4°С

Диаметр отверстия: 20 мм

Характеристика	DNV	«ТОКСИ-3»*
Зона достижения НКПВ	82	86

***РД-03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.**

Выводы по сравнению

В целом можно отметить хорошее совпадение результатов расчетов по модели DNV и данных, полученных по российским методикам. Такое совпадение обусловлено тем, что и в моделях DNV, и в отечественных методиках используются схожие подходы.

Например, при взрыве/сгорании облака в зависимости от загроможденности пространства рассматриваются различные по скорости режимы энерговыделения;

при дрейфе облаков учитываются эффекты плавучести;

при расчете теплового излучения от пламен использовались сходные по форме, размерам и характеристикам излучающие поверхности, моделирующие пламя.

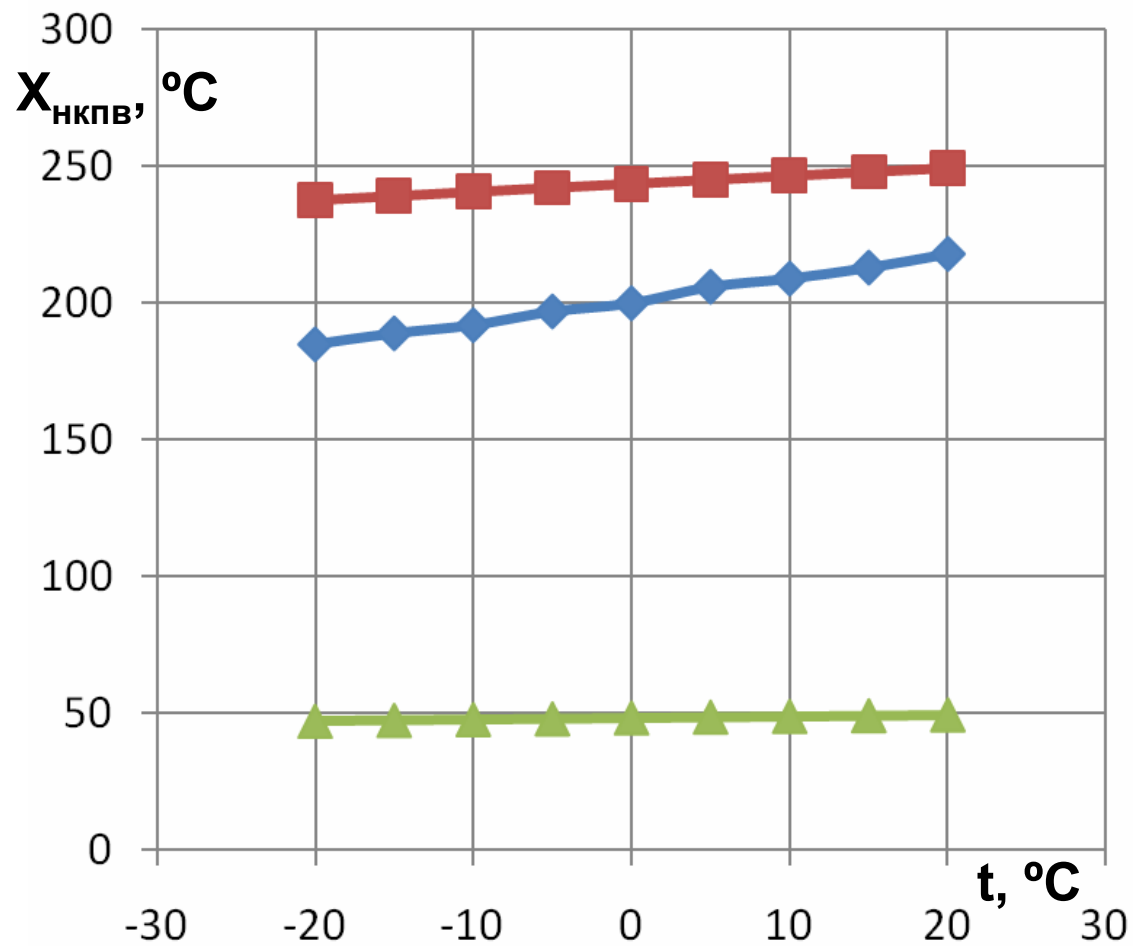
Вместе с тем выявлено различие в результатах расчета дальности дрейфа облака ТВС, полученных по методике МЧС (размер зоны загазованности), по сравнению с «ТОКСИ-3» и «ТВС».

10 июля 2009 года МЧС России утверждена

**Методика определения расчетных
величин пожарного риска на
производственных объектах**

разработчик: ВНИИПО МЧС России

Зависимость размера взрывоопасной зоны от температуры



Сценарий: полное разрушение резервуара с 1т пропана, окраины города, 1м/с, 30мин, 1.1атм, F класс

- ТОКСИ-3
- МЧС (пары ЛВЖ)
- МЧС (газ)

Подытожим наши замечания, возникшие при расчетах по Методике МЧС 2009:

Модель рассеяния выброса в атмосфере более чем упрощенна!

Не рассматривается дрейф облаков и модель предназначена только для неподвижной среды. Предложенный подход обладает рядом недостатков:

- он физически неверен: размер зон поражения зависит только от массы поступившей в окружающую среду, и не зависит от скорости поступления, хотя даже в штилевых условиях размер взрывоопасных зон будет зависеть от соотношения.

- неучет дрейфа облака ведет к искажению зон поражения от последующего взрыва облака, поскольку при дрейфе эпицентр взрыва за счет дрейфа смещается на некоторое расстояние от места взрыва.

Отсутствие внятного подхода к учету метеорологических факторов тем более странно, что этот фактор согласно п. 3.2 (собственно «Методика») должен учитываться при реализации частот пожарных ситуаций.

-не учитываются различные метеорологические условия;

-фраза в конце раздела 3.3 «при необходимости может быть учтено влияние метеорологических условий» в отсутствии конкретных методических рекомендаций открывает путь к манипулированию количественными оценками

- в методике рассматривается выброс только горючих газов и паров ЛВЖ, однако нет ясности в ее применимости к сжиженным газам, где существенное влияние на динамику оказывает присутствие в выбросе аэрозолей;

- применение методики к «легким газам» (например к трубопроводам природного газа, выбросам водорода) дает существенное искажение размера зон поражения, поскольку метан (или водород) не образует облаков у поверхности земли;

Масса вещества, находящегося в пожаровзрывоопасной зоне

Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах предписывает: допускается величину M_T принимать равной массе горючего вещества, содержащегося в облаке, с учетом коэффициента Z участия горючего вещества во взрыве. При отсутствии данных коэффициент Z может быть принят равным 0,1. (т.е. 10% массы всей смеси может образовывать пожаровзрывоопасную ТВС.)

$$M_T = 0,1 * M_{\text{п}}$$

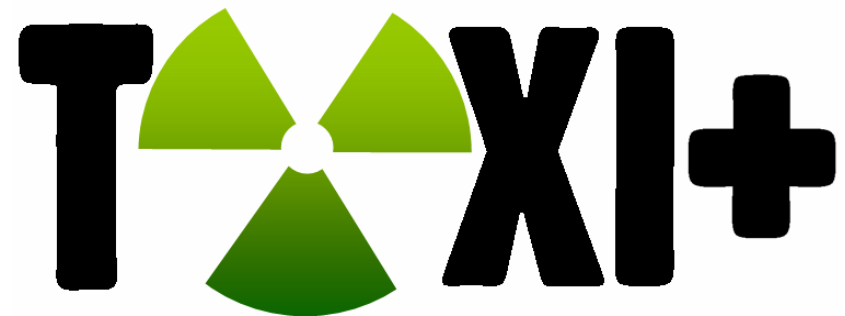
Методика РД-03-26-2007 («ТОКСИ») Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. Для

взрывопожароопасных выбросов в момент времени t_0 определяются масса топлива, находящаяся во взрывоопасных пределах и способная участвовать в процессах горения или детонации. Эта масса определяется путем интегрирования концентрации по пространству, ограниченному поверхностями $\Sigma_{\text{ВКПВ}}$ и $\Sigma_{0,5\text{НКПВ}}$:

$$Q_{\text{вз}} = \iiint_{\Sigma_{0,5\text{НКПВ}} < V < \Sigma_{\text{ВКПВ}}} c(x, y, z, t_0) dx dy dz$$

- такой расчет реализован в программном комплексе ТОКСИ+, версия 3.3

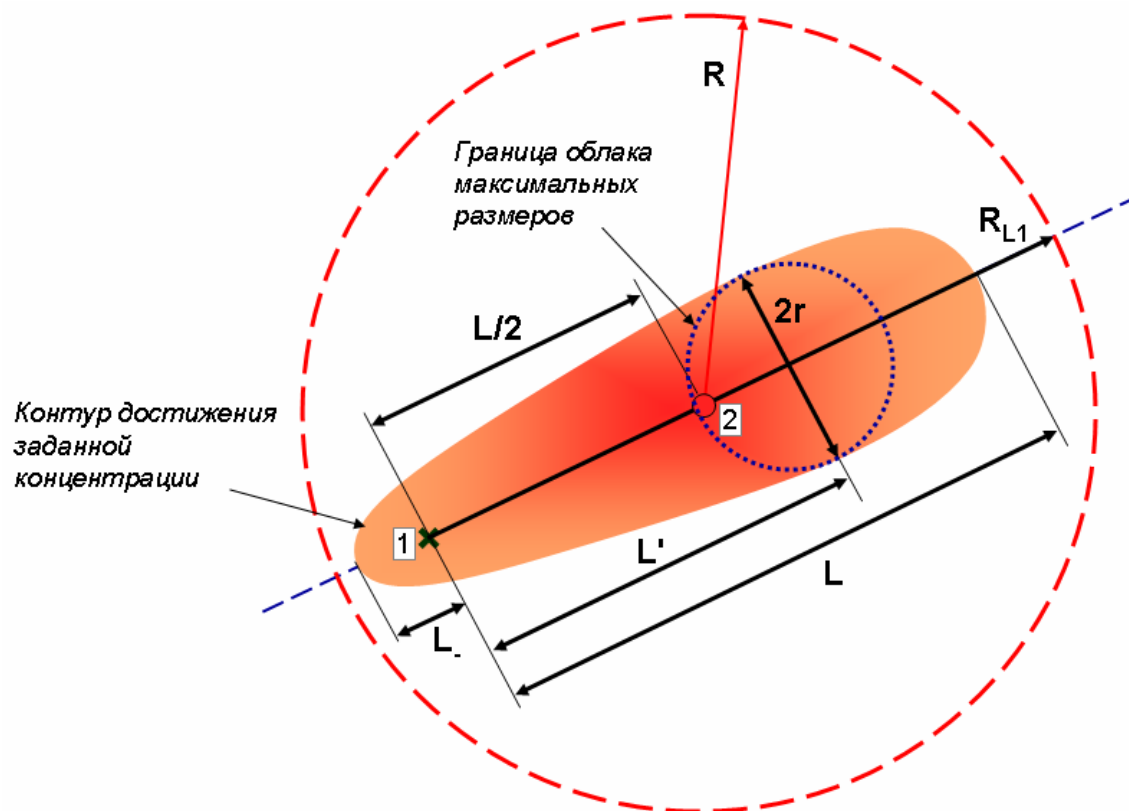
Спасибо за Ваше внимание!



Список литературы:

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утверждена МЧС РФ 10.07.2009.
2. РД-03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей.
3. РД-03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.

Схема распространения первичного и вторичного облаков ТВС при аварийном выбросе вскипающих жидкостей



1 – источник выброса опасного вещества

2 – источник инициирования взрывного превращения

L – максимальная дальность дрейфа облака ТВС в направлении ветра

L₋ – максимальное расстояние распространения облака ТВС в направлении против ветра

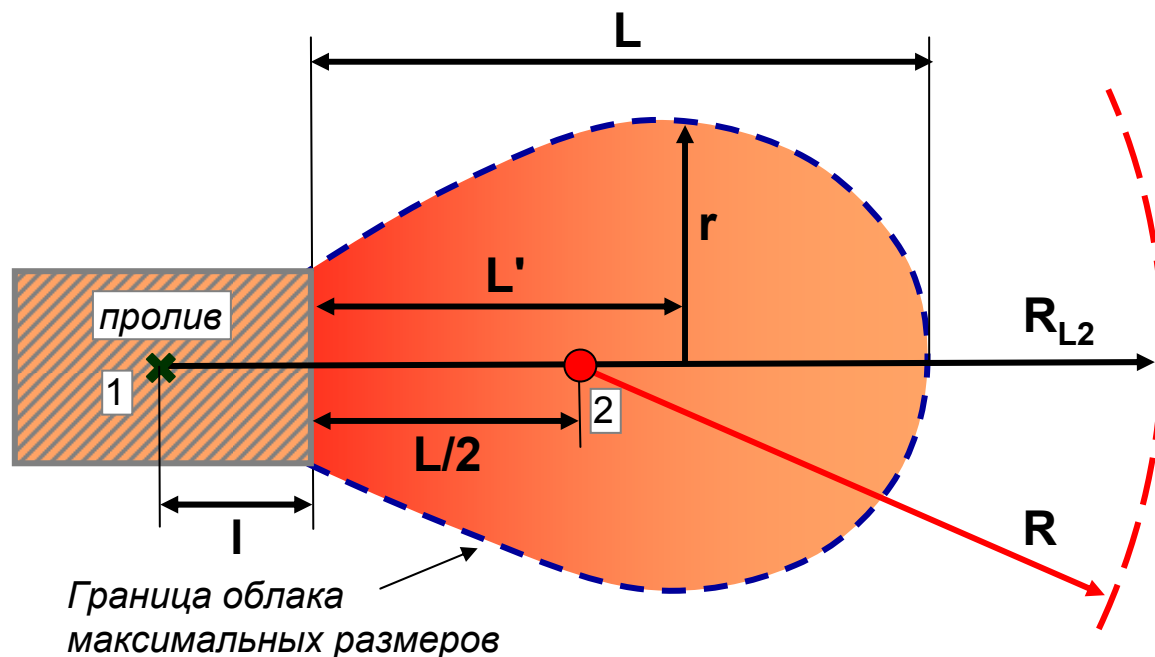
L' – расстояние от места выброса, на котором достигается максимальная ширина облака

r – полуширина облака ТВС

R – граница зоны избыточного давления при взрыве ТВС

R_{L1} – максимальный размер (от источника выброса) зоны поражения при взрыве с учетом дрейфа облака ТВС

Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей



1 – источник выброса опасного вещества

2 – источник иницирования ТВС

3 – пролив

L – максимальная дальность дрейфа облака ТВС в направлении ветра

l – размер пролива в направлении ветра

L' – расстояние, на котором достигается максимальная ширина облака

r – полуширина облака ТВС

R – граница зоны избыточного давления при взрыве ТВС

R_{L2} – максимальный размер зоны поражения при взрыве с учетом дрейфа облака ТВС (от источника выброса)

Оценка массы топлива способной участвовать во взрыве проводится по неоднозначной схеме. В разделе 3.4 (прилож. №3) даны три варианта расчета:

- масса между пределами;
- с учетом стационарного распределения концентрации в струе
- 0,1 от массы облака.

Первые два подхода в «пожарных методиках» не освещаются, поэтому уже в этом кроется возможность манипулирования.

По поводу последнего подхода можно указать, что он очень неточен.

Например от пролива нефти (35 °С, давление паров 70 кПа, мол. вес паров 50, ветер 1 м/с) 10000 кв. м. скорость испарения составит около 25 кг/с (согласно формуле 3.68), за 3600 с испарится около 90 т нефти, соответственно во взрыве будет участвовать 9 т. паров. Т.е. эквивалент по тротилу около 100 т – ситуация просто невероятная. Более того, данный подход при усилении ветра вообще искажает суть физических процессов, согласно «пожарным методикам» масса, участвующая во взрыве, при этом будет возрастать.

Например при скорости 10 м/с во взрыве может участвовать около 50 т паров нефти (тротильный эквивалент прим. – 500 т !!!!)

Представляется правильным использовать подход ТОКСИ-3 (брать интеграл между пределами).