



19-й научный семинар «Промышленная безопасность»,
22 ноября 2010, ЗАО НТЦ ПБ, Москва

О некоторых критических замечаниях в адрес РД-03-26-2007

(в ответ на выводы доклада заслуженного деятеля науки РФ,
д.т.н. проф. В.Н. Антипьева «Критический анализ методического
руководства РД-03-26-2007»)

Сумской Сергей Иванович

*к.т.н., научный сотрудник АНО «Агентство
исследований промышленных рисков»*

www.riskprom.ru

www.safety.ru

risk@safety.ru

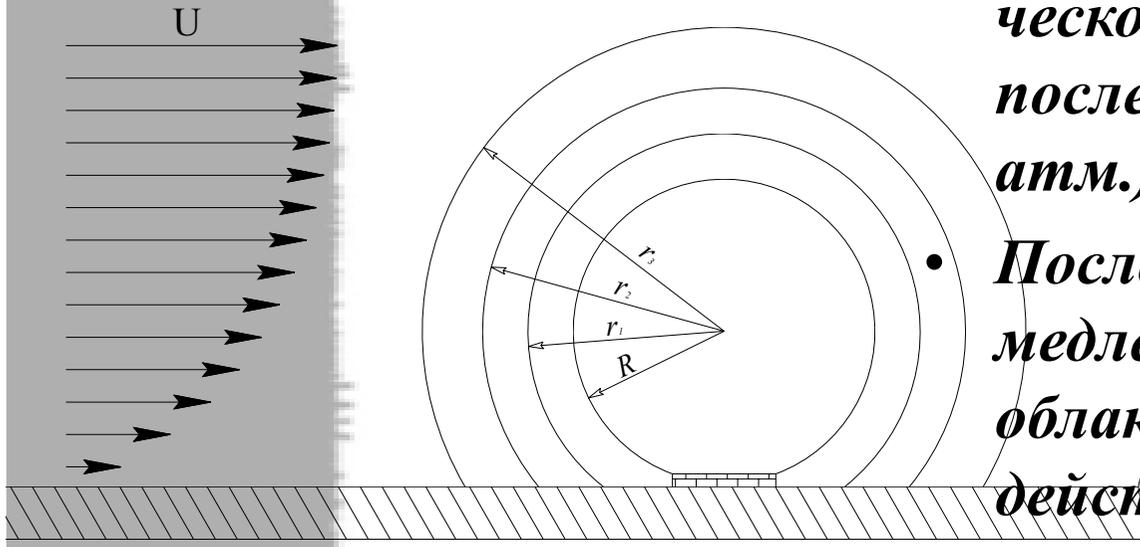
(495) 620-4750



Замечание 1. О форме первичного облака. Суть.

Цилиндрическая форма и размеры первичного облака, не отвечают реальным физическим УСЛОВИЯМ

• *Так будет*



- *Под действием гидростатического давления внутри облака последнее расширяется (до 1 атм.), принимая форму шара*
- *После ... начинается более медленный процесс рассеивания облака опасного вещества под действием ветровой нагрузки.*

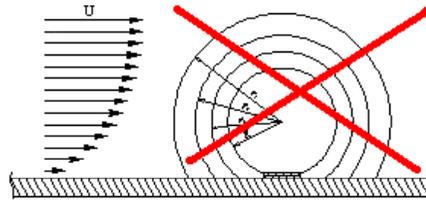




Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

Крайне упрощенная и практически непригодная

МОДЕЛЬ



- ***Так не будет***
- *Никакого «действия гидростатического давления внутри облака, кроме начального момента времени нет*
- *Есть динамическая картина циркуляции волн. Волны, в частности отраженные, будут искажать форму облака*
- *Сосуды бывают не цилиндрические, и облако изначально не будет сферой*
- *Разрушение сосудов не мгновенно и не изотропно, поэтому даже начальное давление в разных направлениях будет действовать по разному. Будут выбросы в разные стороны.*
- *Взаимодействие потока с окружающими объектами*

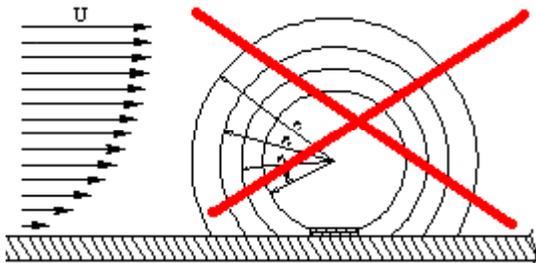




Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

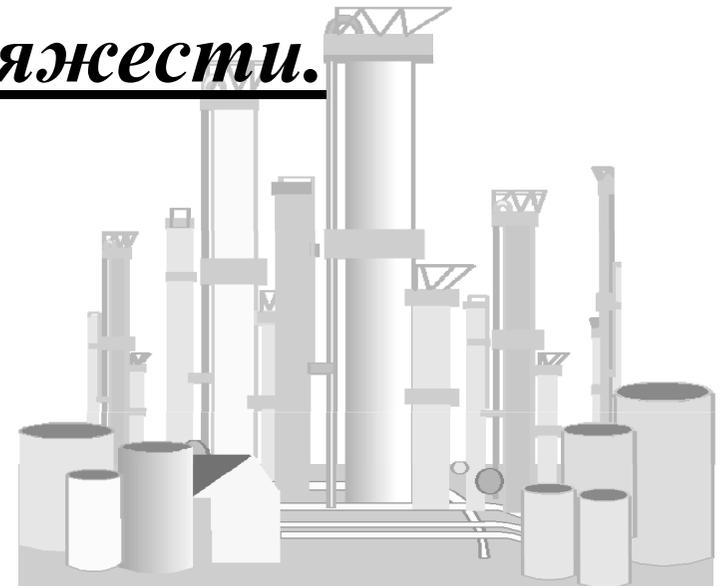
**Крайне упрощенная и практически непригодная
МОДЕЛЬ**

• **Так не будет**



- *Но главное даже не в этих очень существенных промахах. Главное в том, что «После ... начинается более медленный процесс рассеивания облака опасного вещества под действием ветровой нагрузки» - крайне примитивное понимание.*

Имеется сила тяжести.

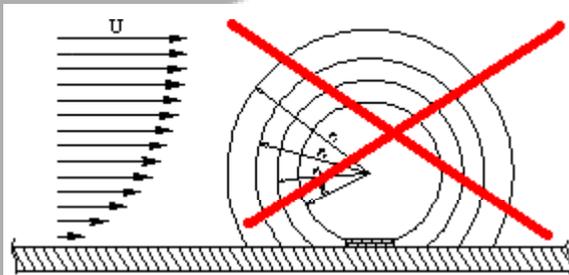




Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

Таким образом, «сферическая модель» предложена без детального анализа, умозрительно, на основе интуитивных представлений

- *Как надо?*



При построении модели нужно

- *Правильно описывать основные физические закономерности и корректно отражать наблюдаемые реальные факты*
- *Стараться не усложнять без надобности модель*



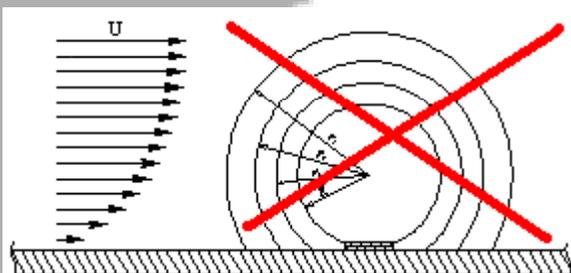
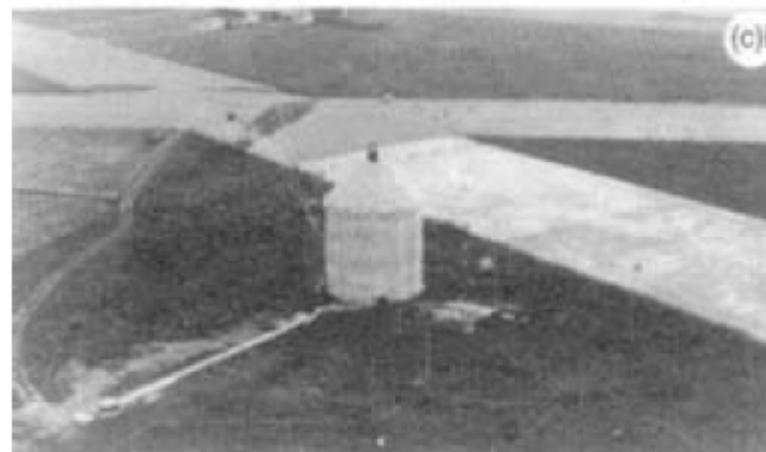


Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

*Эксперименты Торней Айленд (постановка
опыта)*

- *Как в реальности*

(сценарий 1)

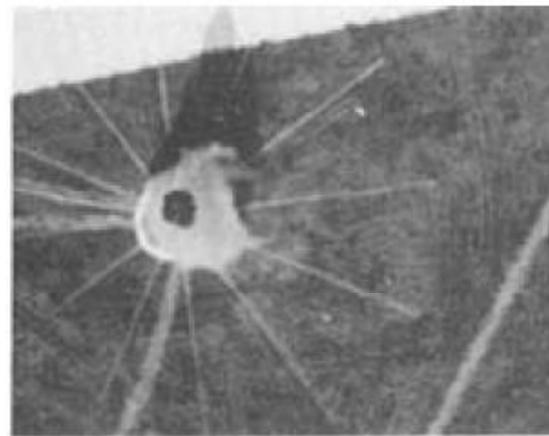
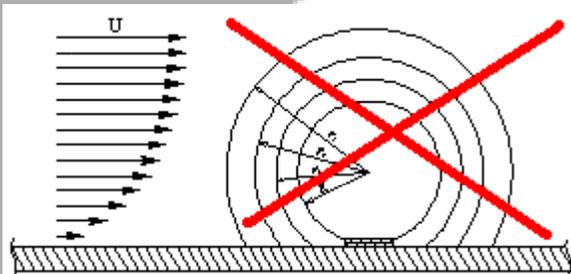




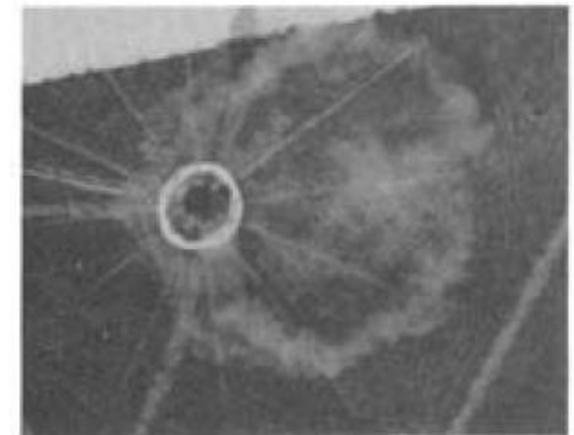
Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

Эксперименты Торней Айленд (вид сверху)

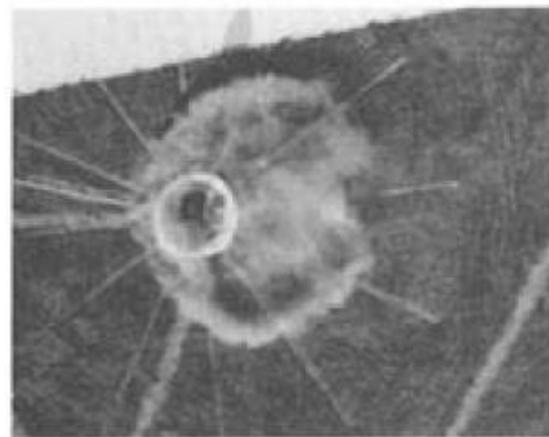
- *Как в реальности*
(сценарий 1)



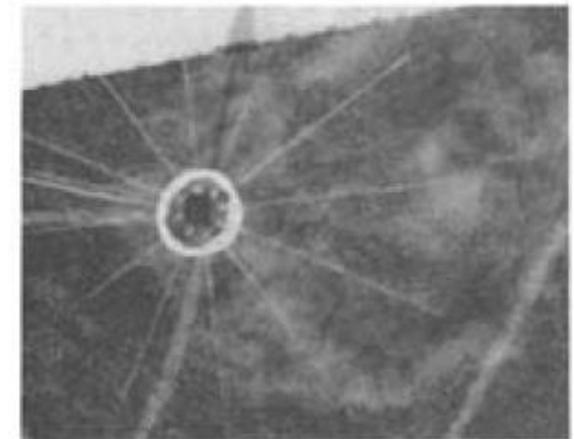
(a) 1.0



(c) 7.1



(b) 4.1



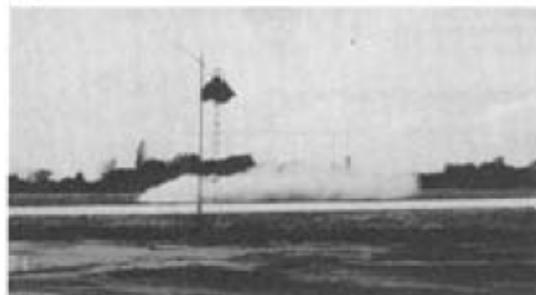
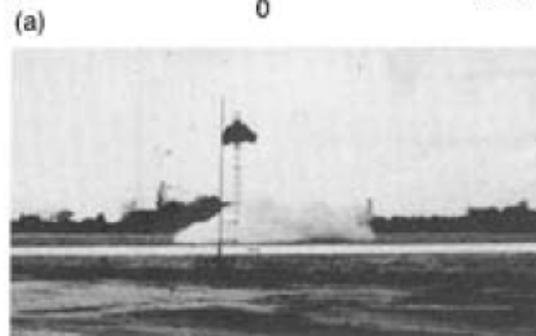
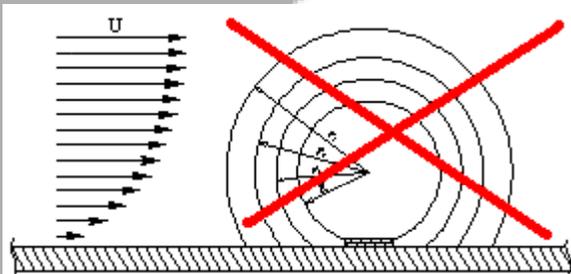
10.2



Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

Эксперименты Торней Айленд (вид сбоку)

- *Как в реальности*
(сценарий 1)



6.1

11.2



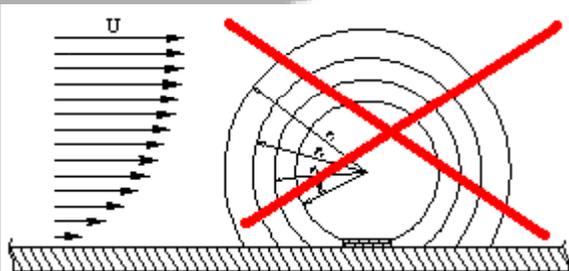
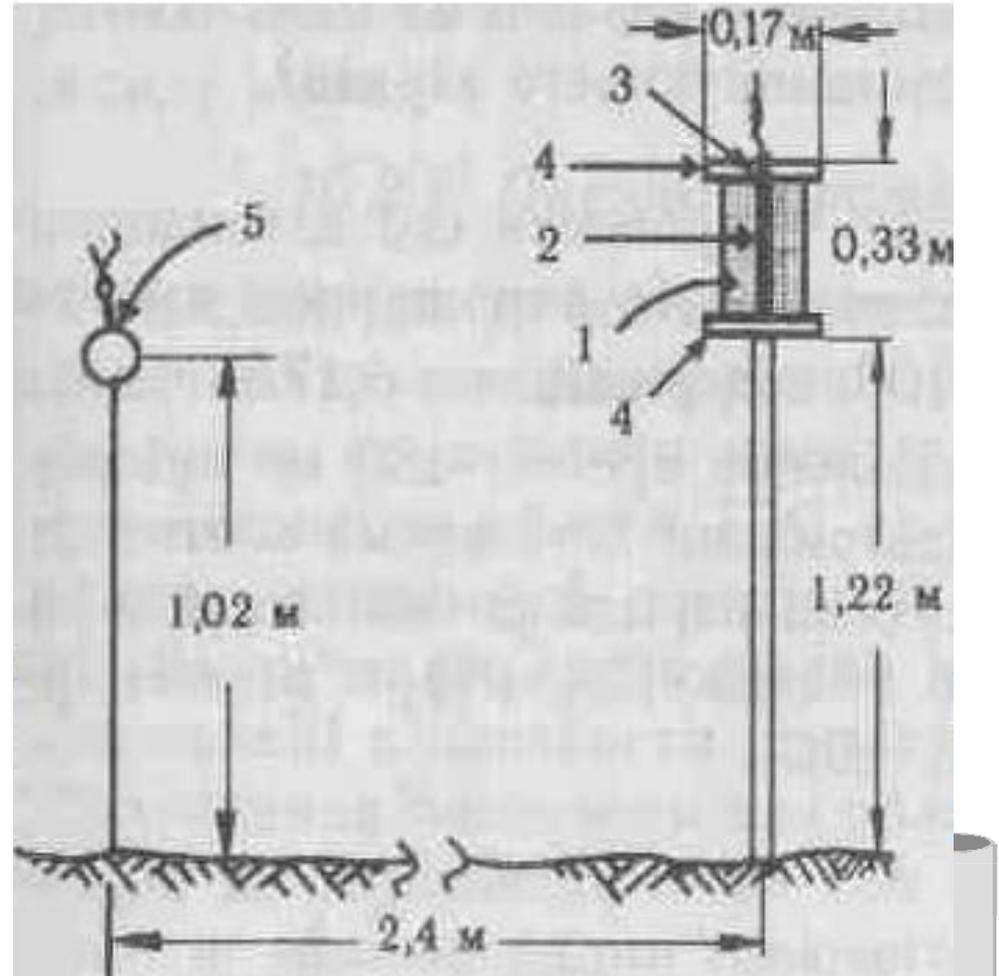
Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

*Эксперименты с окисью пропилена (постановка
опыта)*

• Как в реальности

(сценарий 2)

- 1 - топливо (23 кг);*
- 2 – заряд ВВ (0.23 кг)*
- 3 – детонатор*
- 4 - торцы контейнера
толщиной 20 мм,*





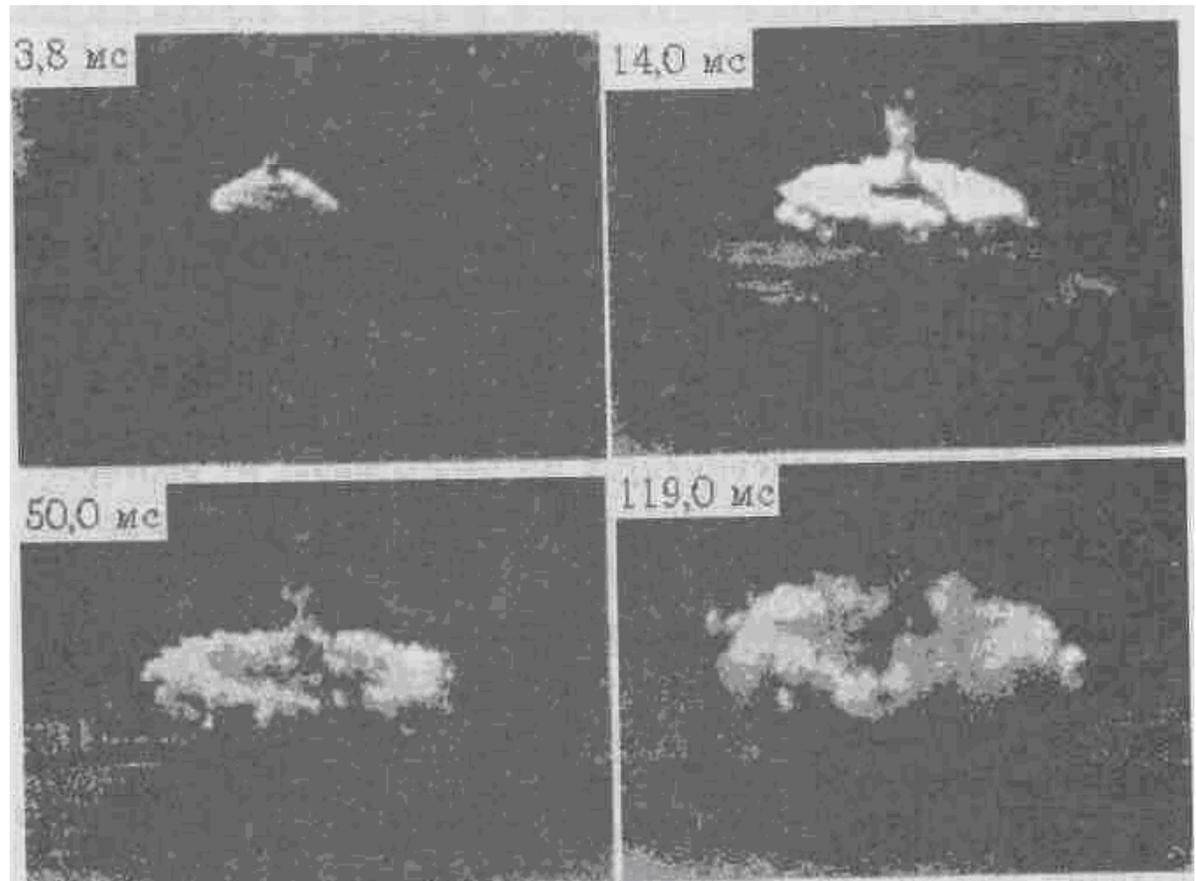
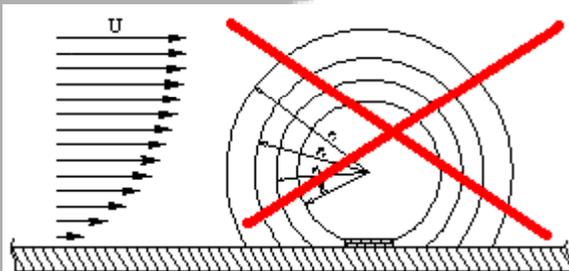
Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

*Эксперименты с окисью пропилена (форма
облака)*

- *Как в реальности*

(сценарий 2)

- *диаметр 16 м*
- *высота 0,8 м*



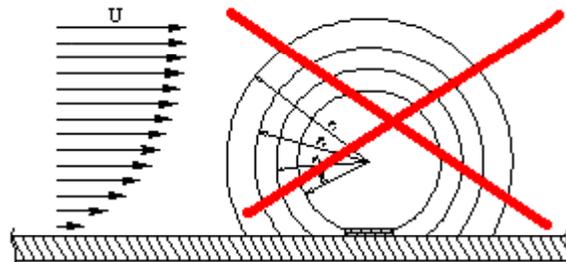


Замечание 1. О форме первичного облака. Ответ.

***Во ВСЕХ моделях рассеяния тяжелого газа
первичное облако цилиндрично***

Примеры

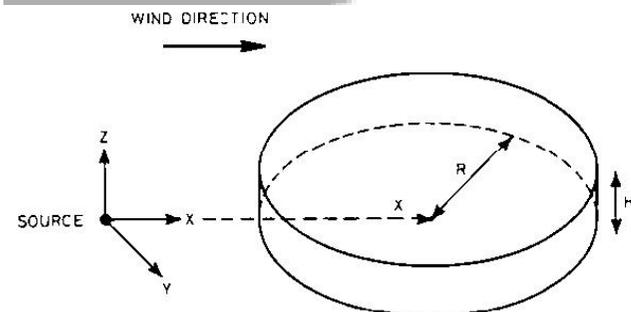
- ***Как у других*** • «облако ... имеет в начальный момент форму цилиндра» (ГОСТ-12.3.047-98)



- *Van Ulden (1974) – 1-ая модель ТГ*
- *ВБ (Cox and Carpenter (1980))*
- *HEGADAS (1984)*
- *ТНО ...*

Факт цилиндрической формы закреплен в самом названии этих моделей:

- *cake model*
- *top hat model*





Замечание 1. О форме первичного облака. Вывод.

~~Цилиндрическая форма и размеры первичного облака, не отвечают реальным физическим условиям~~

Вывод ошибочен

Цилиндрическая форма для первичного облака в наиболее точном виде отвечает реальным фактам, наблюдаемым в эксперименте. Она используется во всех моделях интегрального типа. Модель цилиндра хорошо себя зарекомендовала и проверена временем (40 летний опыт использования).





Замечание 2. О вторичных облаках. Суть.

формирование вторичного облака на открытой местности (то есть не в помещении) и наличие ветра - не совместимы, [т.е. на открытом пространстве в присутствии ветра вторичных облаков нет (???)]

- В соответствии с МУ сначала происходит формирование вторичного облака в течение длительного времени и только потом начинается процесс рассеивания опасного вещества под действием ветра. То есть, начало отсчета времени рассеивания облака не совпадает с началом испарения и формирования вторичного облака.*





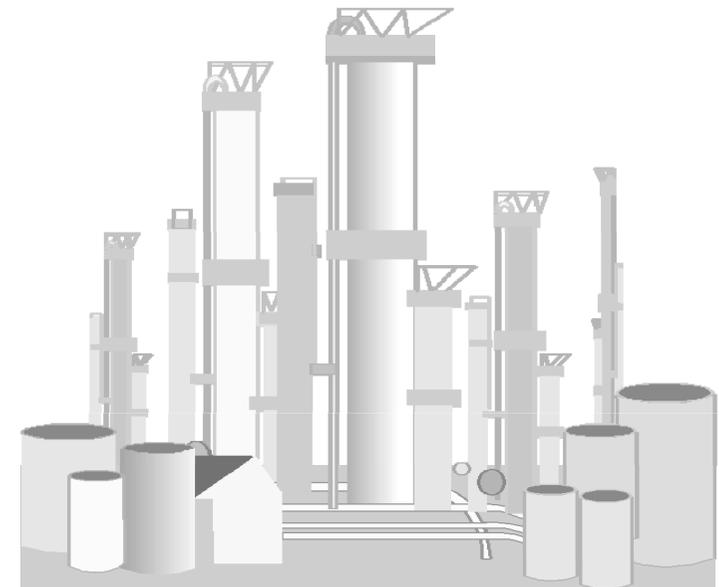
Замечание 2. О вторичных облаках. Ответ.

- *История вопроса*

- *Как всегда делали*

Термин «вторичное облако» пришел из методики штаба ГО (ок. 30 лет назад). Его смысл всем был известен.

Он означает шлейф, длительный выброс, как принято говорить в иностранной литературе.



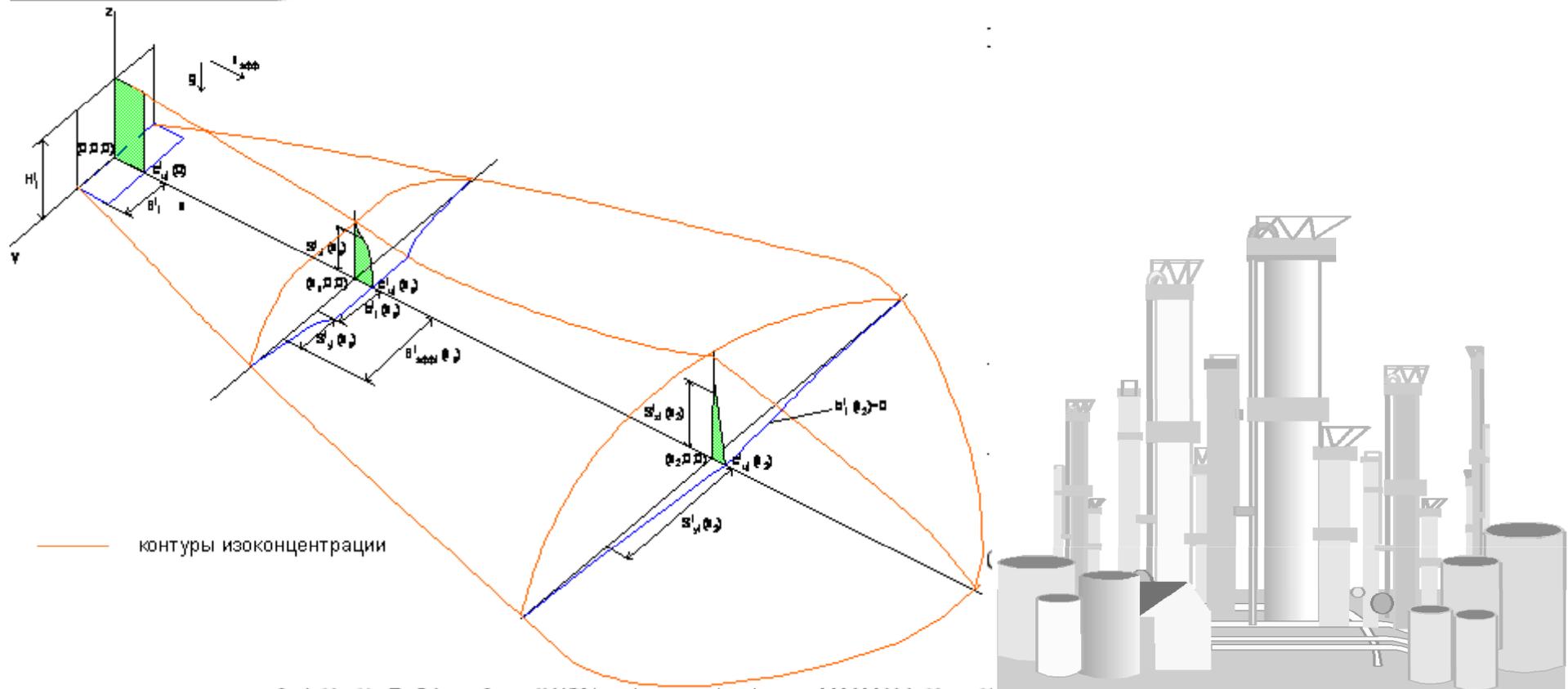


Замечание 2. О вторичных облаках. Ответ.

- *История вопроса*

- *Как трактуются вторичные олака в РД*

В РД есть рисунок 3.2 (приложение 3) со схемой вторичного облака.





Замечание 2. О вторичных облаках. Ответ.

- *Вторичные облака отсутствуют на открытой местности при наличии ветра*
- *Утверждение не соответствует тексту РД*

Согласно формулам РД для каждого вторичного облака определяется время начала его рассеяния и расход ОВ в этом облаке. С началом рассеяния соответствующего вторичного облака в нем тут же устанавливается и соответствующий расход. Т.е. поступление в облако ОВ (формирование облака) и его рассеяние протекают одновременно и они не разнесены во времени.





Замечание 2. О вторичных облаках. Ответ.

- *Вторичные облака отсутствуют на открытой местности при наличии ветра*
 - *Утверждение не соответствует тексту РД*
 - *Например, для сценария 2 (выбираем его в качестве наиболее простого примера) длительность стадии определяется формулами (14), (15) и (16), А время начала рассеяния соответствующего вторичного облака (время начала движения его переднего края) определяется формулой (127).*
 - *Тогда при длительности выброса в 100 с, согласно формуле (127) рассеяние начинается с 0-ой секунды.*





Замечание 2. О вторичных облаках. Суть.

Вторичное облако не может быть неразбавленным

- *Вторичное облако **не разбавлено** воздухом (т.е. концентрация опасного вещества равна единице) – это абсурд ... тем более при наличии ветра.*





Замечание 2. О вторичных облаках. Ответ.

- Вторичное облако не может быть неразбавленным
 - *Утверждение не соответствует наблюдаемым фактам*
 - *Отсутствие разбавления имеет место на срезе выброса*





Замечание 2. О вторичных облаках. Вывод.

~~Модели ... формирование вторичного облака за счет длительного испарения жидкости в присутствии скорости ветра противоречат физической сущности.~~

Вывод ошибочен

Модель вторичного облака полностью соответствует реальным фактам, наблюдаемым в эксперименте. Она используется во всех моделях интегрального типа и гауссовского типа. Она хорошо себя зарекомендовала и проверена временем.



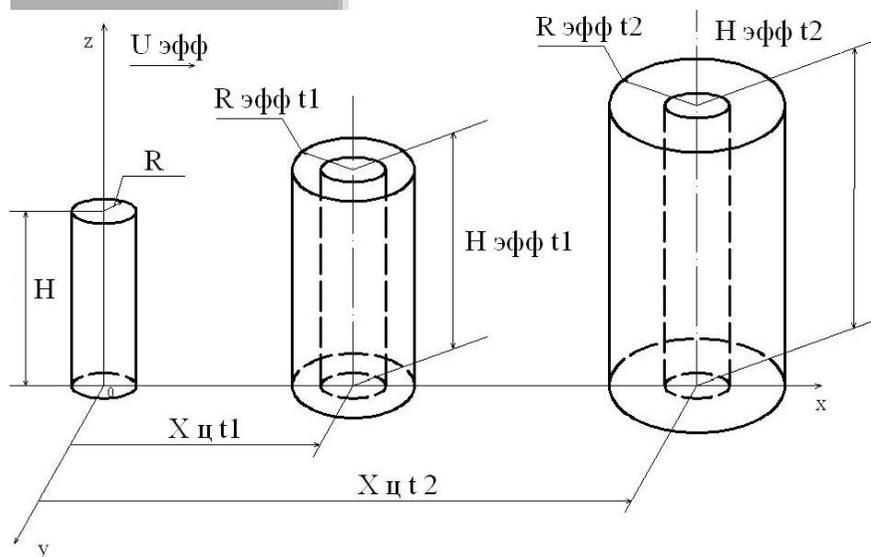


Замечание 3. О модели рассеяния. Суть (часть 1).

Закономерности рассеивания ОВ противоречат законам физики и термо-гидро-газодинамики

• Все неправильно

- Изменение скорости ветра по высоте не учитывается*
- Отсутствует и зависимость радиуса ядра от времени*
- Уравнения (102) и (103) не отвечают начальным условиям*
- Заявление о гравитационном растекании носит чисто декларативный характер*



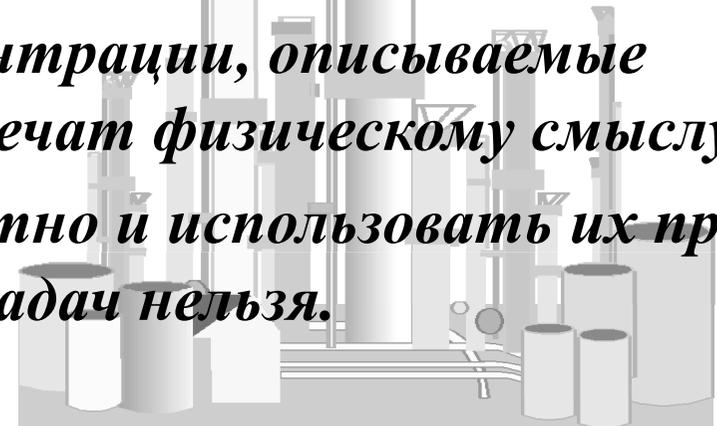


Замечание 3. О модели рассеяния. Суть (часть 2).

Закономерности рассеивания ОВ противоречат законам физики и термо-гидро-газодинамики

- ***Все неправильно***

- *$c_{ци}$ - это кон-ция не в центре , а в самой нижней точке облака, т.е. на поверхности земли*
- *Примитивное представление атмосферной турбулентности.*
- *При турбулентном движении никакой симметрии в распределения концентрации быть не может.*
- *Закономерности распределения концентрации, описываемые выражениями (102) и (103), противоречат физическому смыслу*
- *Происхождение этих формул не известно и использовать их при решении практических инженерных задач нельзя.*





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

Происхождение этих формул не известно и использовать их при решении практических инженерных задач нельзя.

- ***Все известно***

- *Ссылка приведена в РД - 5.*
- *Это гауссовские и гауссоподобные зависимости.*
- *На основе таких зависимостей построена вся инженерная наука о турбулентных течениях. См. монографию Абрамовича.*



35.°Распределение концентрации опасного вещества в облаке описывается зависимостями.¶

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right], \rightarrow \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 < r_i^2 \rightarrow (102)¶$$

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right] \cdot \exp\left[-\frac{(x - x_{yi})^2 + y^2 - r_i^2}{[S_{yi}^2]}\right], \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 \geq r_i^2 \dots\dots\dots(103)¶$$



Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

*Закономерности распределения концентрации,
описываемые выражениями (102) и (103),
противоречат физическому смыслу*

- ***Все понимают***

- *Гауссовский профиль - это решение уравнения диффузии.*
- *Гауссовский профиль подтвержден экспериментально.*



35.° Распределение концентрации опасного вещества в облаке описывается зависимостями. ¶

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right], \rightarrow \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 < r_i^2 \rightarrow (102) \¶$$

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right] \cdot \exp\left[-\frac{(x - x_{yi})^2 + y^2 - r_i^2}{[S_{yi}^2]}\right], \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 \geq r_i^2 \dots \dots (103) \¶$$



Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

Происхождение этих формул не известно и использовать их при решении практических инженерных задач нельзя.

- **Все используют**
- *Heavy gas and risk assessment.*

$$c_i^l(x, y, z) = c_{\text{т}}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{S_{zi}^l} \right]^\beta \right],$$

при $\cdot |y| < b_i^l \cdot \text{и} \cdot x_{3i}^l < x < x_{\text{т}}^l \cdot$

$$c_i^l(x, y, z) = c_{\text{т}}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{S_{zi}^l} \right]^\beta \right] \cdot \exp \left[- \left[\frac{|y| - b_i^l}{S_{yi}^l} \right]^2 \right]$$

при $\cdot |y| \geq b_i^l \cdot \text{и} \cdot x_{3i}^l < x < x_{\text{т}}^l \cdot$

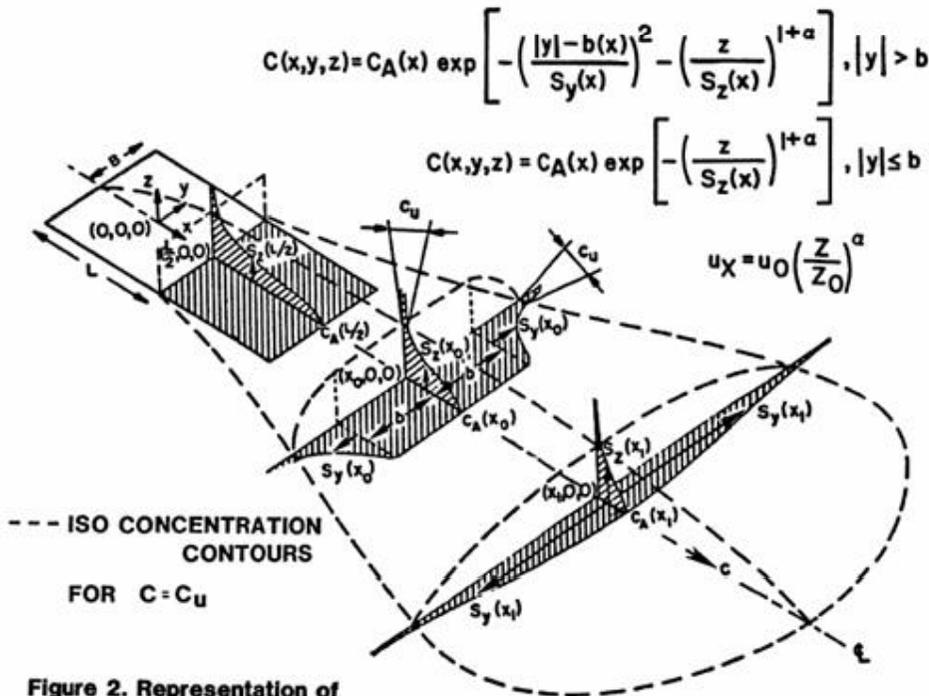
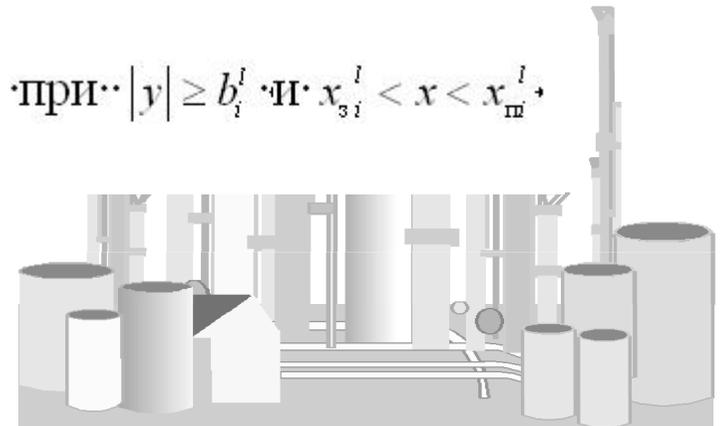


Figure 2. Representation of Concentration and Velocity Profiles Downwind of Area Source—Colenbrander





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

Происхождение этих формул не известно и использовать их при решении практических инженерных задач нельзя.

- **Все используют**
- **Желтая книга ТЮ.**

$$c_i^l(x, y, z) = c_{\text{т}}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{S_{zi}^l} \right]^\beta \right],$$

$$\text{при } |y| < b_i^l \cdot \text{и } x_{3i}^l < x < x_{\text{т}}^l.$$

$$c_i^l(x, y, z) = c_{\text{т}}^l \cdot \exp \left[- \left[\frac{z}{S_{zi}^l} \right]^\beta \right] \cdot \exp \left[- \left[\frac{|y| - b_i^l}{S_{yi}^l} \right]^2 \right],$$

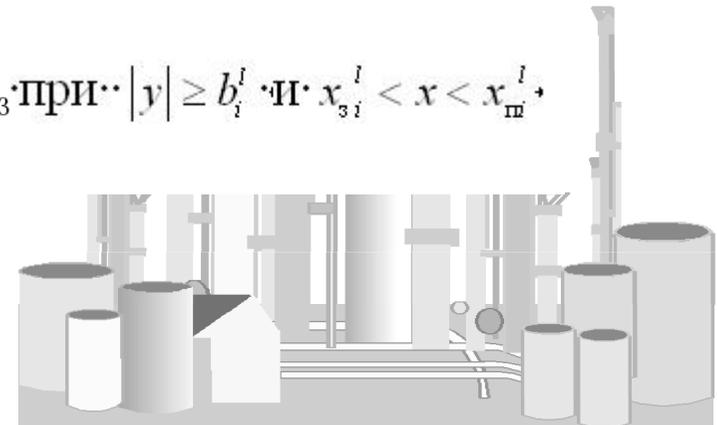
In formula:

$$c(x, y, z) = c_c(x) F_y(y) F_z(z),$$

$$\begin{cases} F_y(y) = 1 & \text{for } |y| \leq b, \\ F_y(y) = \exp(-(|y| - b(x))^2 / \sigma_y(x)^2) & \text{for } |y| > b, \end{cases}$$

$$F_z(z) = \exp(-z / \sigma_z(x))^2$$

$$(\text{kg m}^{-3}) \text{ при } |y| \geq b_i^l \cdot \text{и } x_{3i}^l < x < x_{\text{т}}^l,$$



СРР 14Е

Chapter 4 of the 'Yellow Book'



Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

Турбулентный режим характерен хаотическим движением

- *Подходы к описанию имеются, но выбор среди них невелик*
- *Турбулентность – самый сложный процесс в физике; пожалуй, это единственный раздел физики десятилетиями остающийся без изменения.*
- *Хаотическое движение описать невозможно:*
 - - *широкий спектр пространственно временных масштабов;*
 - - *высокая чувствительность к начальным и граничным условиям;*
 - - *ценность одного решения с «хаотическим движением» - нулевая.*
- *Наиболее достоверен подход – решение осредненных уравнений.*

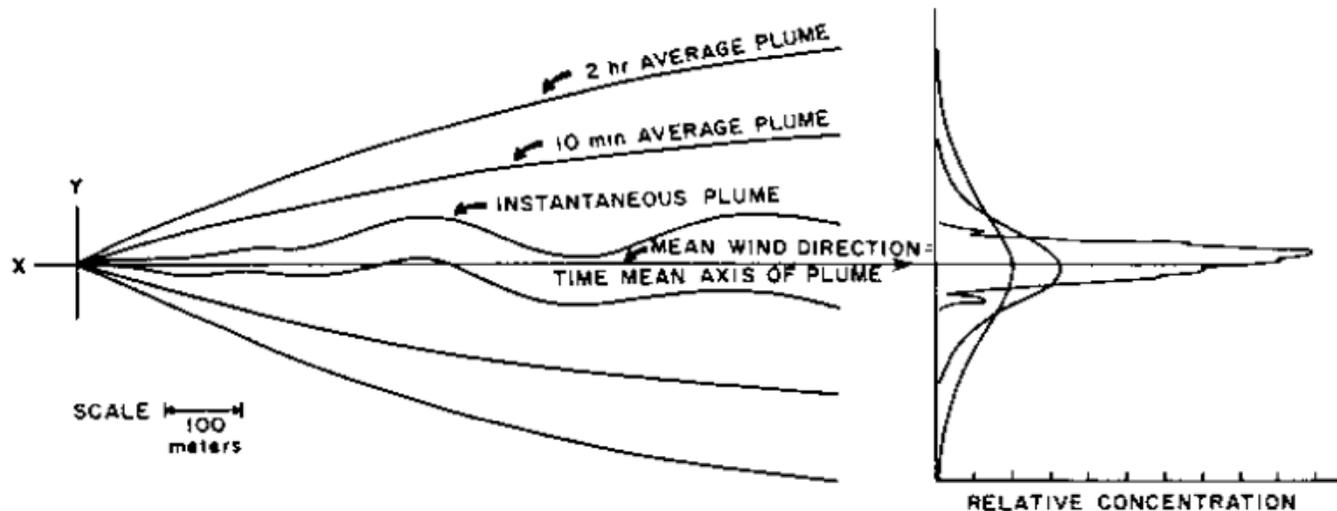




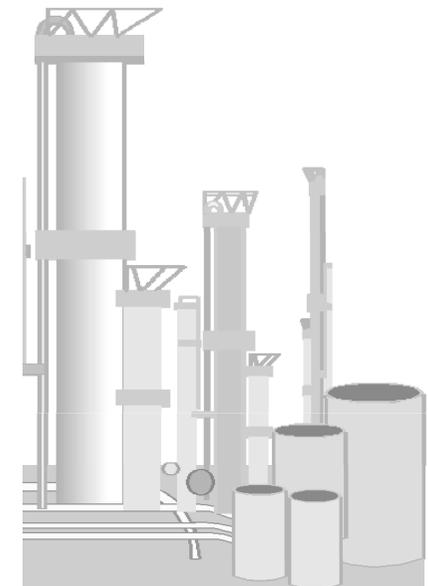
Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

При турбулентном движении никакой симметрии в распределения концентрации быть не может.

- ***Наиболее достоверен – подход на основании осредненных уравнений***
- *При осреднении хаотичные пульсации сглаживаются; и при симметрии начальных и граничных условий (в т.ч. скорости ветра) получить несимметричную картину невозможно*



Concentration fluctuations in a meandering plume: effect of combination of meandering and of turbulence (Slade, 1968)





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

Примитивное представление атмосферной турбулентности.

- *Все используют стандартный подход*
- *В настоящее время используется типовой подход к описанию атмосферы, основанный на классах стабильности:*
 - *МАГАТЭ*
 - *F. Pasquill, Atmospheric Diffusion*
 - *«Энциклопедия промышленной безопасности» Лиуса*
 - *«Желтая книга» ТНО*
 - ...





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

$c_{ци}$ - это кон-ция не в центре , а в самой нижней
точке облака, т.е. на поверхности земли

- **Утверждение не соответствует
тексту РД**

В РД центр облака находится на поверхности земли:

- $c_{ци}$ - концентрация опасного вещества в центре облака;
- С другой стороны согласно формулам (102)-(103) $c_{ци}$, это концентрация в точке $z=0, y=0, x=x_{ци}$.
- Согласно законам формальной логики центр облака и есть точка в точке $z=0, y=0, x=x_{ци}$.





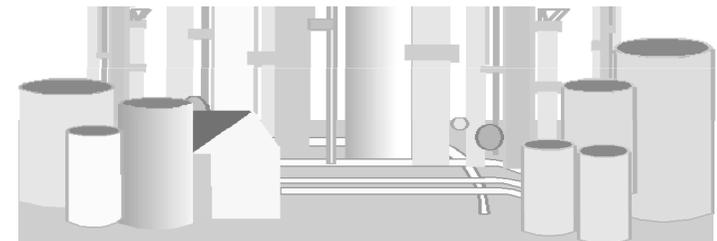
Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

- *Заявление о гравитационном растекании носит чисто декларативный характер*
 - *Утверждение не соответствует тексту РД*

В РД имеются уравнения (106), (123), описывающие гравитационное растекание. Они сопровождаются специальной подписью «гравитационное растекание».

Гравитационное растекание облака: ¶

$$\rightarrow \frac{d}{dt} [R_{\text{эфф}i}] = u_{\text{эфф}i} \frac{d}{dx} [R_{\text{эфф}i}] = C_e \sqrt{g \cdot H_{\text{эфф}i} \cdot \left[1 - \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{эфф}i}} \right]} \rightarrow \rightarrow \rightarrow (106) ¶$$





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

- Уравнения (102) и (103) не отвечают начальным условиям
 - **Утверждение не соответствует тексту РД**

Уравнения (102), (103) не могут не отвечать начальным условиям, поскольку в начальный момент времени (и это напрямую следует из п. 35) распределение концентрации описывается теми же уравнениями - (102), (103).

35.°Распределение концентрации опасного вещества в облаке описывается зависимостями:¶

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right], \rightarrow \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 < r_i^2 \rightarrow (102)¶$$

$$c_i^0(x, y, z, t) = c_{ци} \cdot \exp\left[-\left[\frac{z}{S_{zi}}\right]^\beta\right] \cdot \exp\left[-\frac{(x - x_{yi})^2 + y^2 - r_i^2}{[S_{yi}^2]}\right], \cdot \text{при} \cdot (x - x_{oi})^2 + y^2 \geq r_i^2 \cdot \dots \cdot (103)¶$$

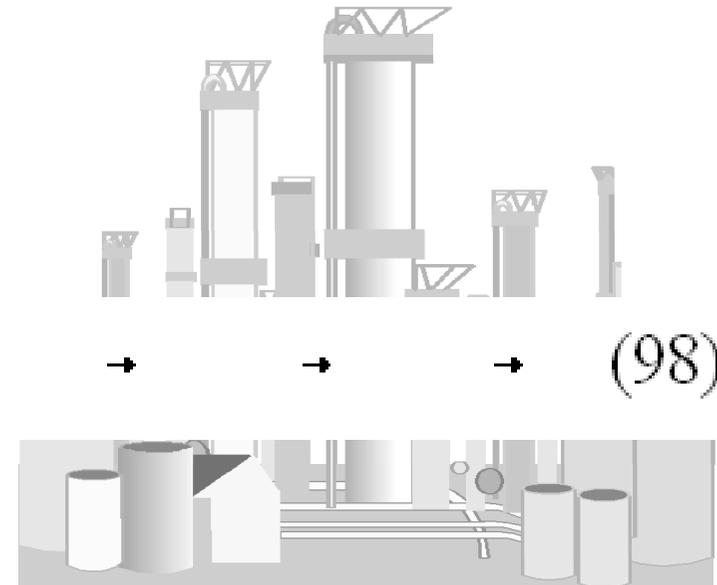


Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

- *Отсутствует и зависимость радиуса ядра от времени*
 - *Утверждение не соответствует тексту РД*

Зависимость радиуса от ядра определяется из уравнения (98), в котором эффективный радиус и дисперсия по y являются переменными зависящими от времени (106), (107).

$$R_{эффi} = r_i + 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_{yi} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (98)'$$





Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

- *Изменение скорости ветра по высоте не учитывается*

- *Утверждение не соответствует тексту РД*

п. 25 Вводится характеристика профиля ветра α_v ,

п. 28 Выбирается α_v

табл. 7.3 приведены значения α_v

α_v - показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;



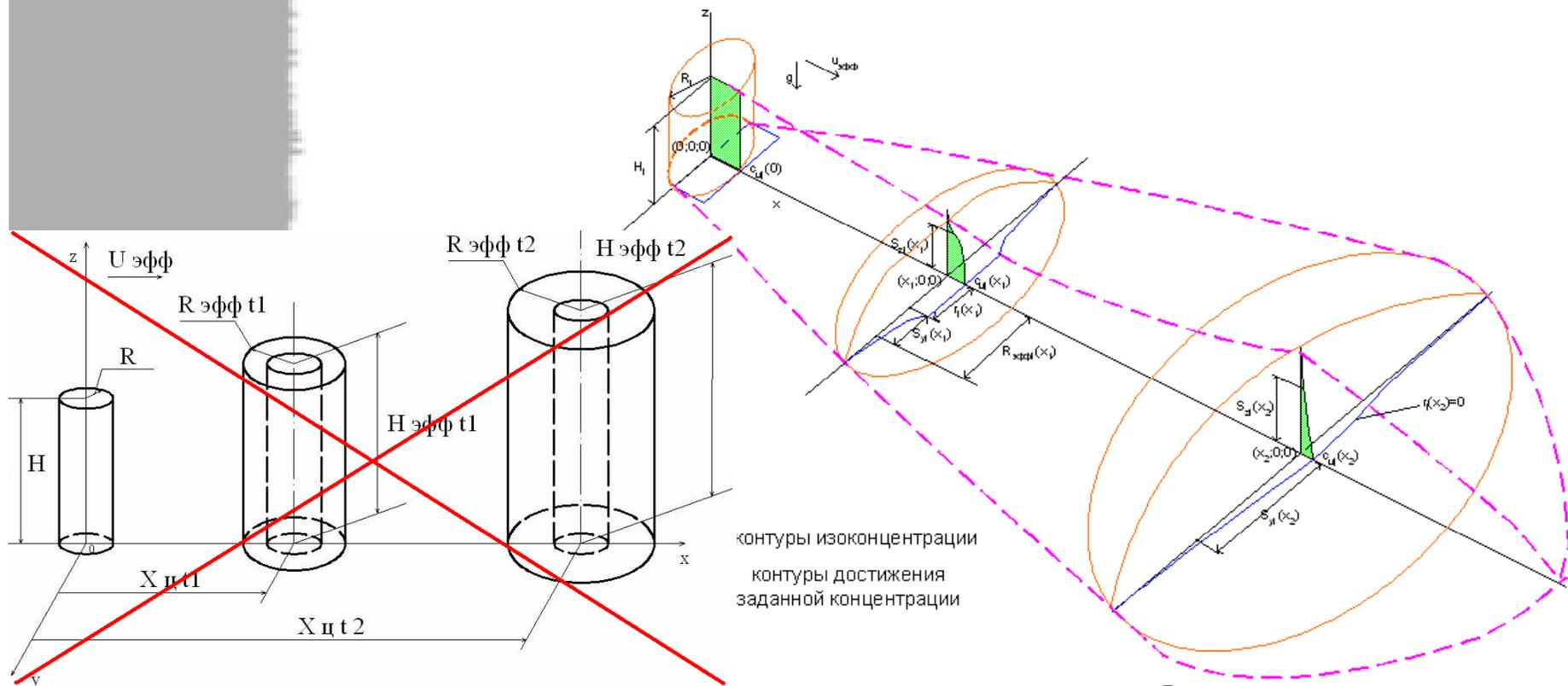


Замечание 3. О модели рассеяния. Ответ.

- *Схема рассеяния*

- *Рисунок не соответствует тексту РД*

В РД используется совершенно иная схема многие замечания глядя на нее просто отпадают





Замечание 3. О модели рассеяния. Вывод.

~~Предлагаемые закономерности рассеивания опасного вещества (в виде пара или газа) противоречат законам физики и термо-гидро-газодинамики~~

Данный вывод безоснователен (формально такой вывод даже невозможен на основе приведенных замечаний)

Приведенные аргументы не отвергают предлагаемые закономерности рассеивания опасного вещества. Используемая в РД модель рассеяния соответствует требованиям современных достижений в этой области.

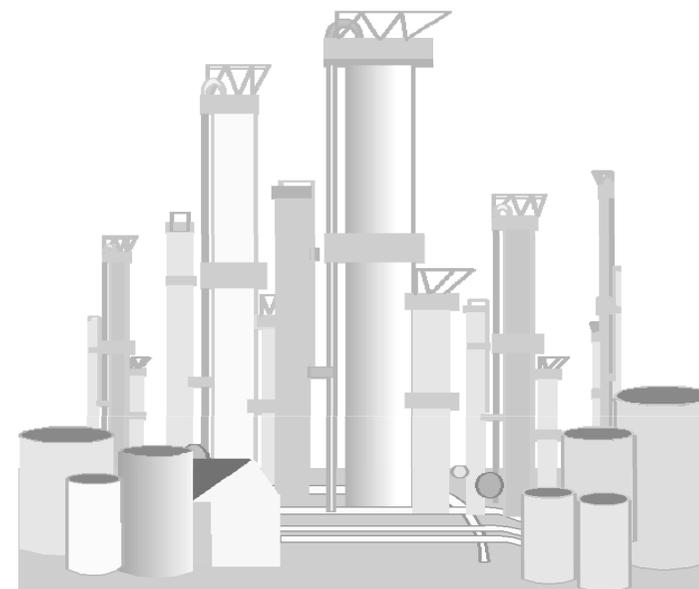




Замечание 4. О математических ошибках. Суть.

- *Следует особо отметить, что в РД-03-26-2007 имеется много математических ошибок и опечаток*

НИКАКИХ ПРИМЕРОВ НЕТ





Замечание 4. О

математических ошибках.

Ответ.

- **В публикациях В.Н.Антипова имеется огромное количество мат. ошибок**

q_3^u и время испарения t_3^u . Для вычисления t_3^u в МУ предложена зависимость:

$$t_3^u = \frac{Q - Q_3}{q_3^u}, \quad (11)$$

где Q — общая масса опасного вещества в оборудовании включает массу жидкости и массу газа.

Следует отметить, что выражение (11) находится в противоречии с законом сохранения массы. В самом деле, из (11) с учетом (10) следует выражение:

$$Q = Q_3^g + Q_3^* + Q_3^u + Q^g + q_3^u t_3^u,$$

в котором количество испарившейся жидкости учитывается дважды (т.к. $Q_3^u = q_3^u t_3^u$).

Предлагаемый в МУ подход определения t_3^u газ

изначально неизвестна величина Q_3^g .

$$Q_3^g = Q^* \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T_3 - T_{\text{кип}} + |T_3 - T_{\text{кип}}|)}{2 \Delta H_{\text{кип}}} \right) \right), \rightarrow \rightarrow \rightarrow (24) \text{¶}$$

$$Q_3^* = \min \{ Q_3^g, Q^* - Q_3^g \}, \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (25) \text{¶}$$

$$Q_{ж3}^0 = Q_3^* \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (26) \text{¶}$$

$$Q_3^* = \min \left\{ \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{F_{\text{конт}}^2}{F} \sqrt{t_{\text{кип}}}, Q^* - Q_3^g - Q_3^* \right\}, \dots (27) \text{¶}$$

где F^{∞} — площадь поверхности пролива; принимается равной площади обвалования; а при отсутствии обвалования или незначительной массе выброса определяется по формуле: ¶



Замечание 4. О математических ошибках.

Ответ.

Следует обратить внимание еще на одно выражение:

$$Q_i = c_{ui} R^2_{эфф i} H_{эфф i} \quad (7),$$

связывающего значения $R_{эфф i}$ (радиус первичного облака в i -м сценарии в момент времени t) и $H_{эфф i}$ (эффективная высота первичного облака в i -м сценарии в момент времени t) с массой опасного вещества в первичном облаке в i -м сценарии к моменту начала рассеивания Q_i . Как утверждается в МУ, равенство (7) выражает закон сохранения массы. В действительности же это выражение не является таковым, если принимать в нем значение c_{ui} , как принято в МУ (концентрация опасного вещества в центре облака в некоторый момент). Выражение (7) формулирует закон сохранения массы только в том случае, если в нем концентрацию рассматривать как среднеинтегральное значение по всему объему облака.

- *В публикациях В.Н.Антипова имеется огромное количество мат. ошибок*

$$\lim_{y_i \rightarrow 0} c_{ui} \cdot e^{-\left(\frac{z}{S_{zi}}\right)^\beta} \cdot e^{-\frac{R^2 - r_i^2}{S_{yi}^2}} = 0$$

$$2 \pi \cdot \int_0^{+\infty} \int_0^{r_i} R \cdot c_{ui} \cdot e^{-\left(\frac{z}{S_{zi}}\right)^\beta} dR dz \text{ assuming } r_i > 0, S_{yi} > 0, S_{zi} > 0, \beta > 0 = \frac{\pi c_{ui} r_i^2 \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)}{(S_{zi}^\beta)^{-\frac{1}{\beta}} \beta}$$

$$\xrightarrow{\text{simplify symbolic}} \frac{\pi c_{ui} r_i^2 S_{zi} \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)}{\beta}$$

$$2 \pi \cdot \int_0^{+\infty} \int_{r_i}^{+\infty} R \cdot c_{ui} \cdot e^{-\left(\frac{z}{S_{zi}}\right)^\beta} \cdot e^{-\frac{R^2 - r_i^2}{S_{yi}^2}} dR dz \text{ assuming } r_i > 0, S_{yi} > 0, S_{zi} > 0, \beta > 0 =$$

$$\frac{\pi c_{ui} S_{yi}^2 \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)}{(S_{zi}^\beta)^{-\frac{1}{\beta}} \beta} \xrightarrow{\text{simplify symbolic}} \frac{\pi c_{ui} S_{yi}^2 S_{zi} \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)}{\beta}$$



Замечание 4. О математических ошибках.

Ответ.

Следует обратить внимание на то, что в правых частях уравнений (1) и (3) время t в явном виде не входит. Оно входит через значение x_{wi} в соответствии с выражением:

$$dx_{wi} = U_{эфф i} dt \quad (5)$$

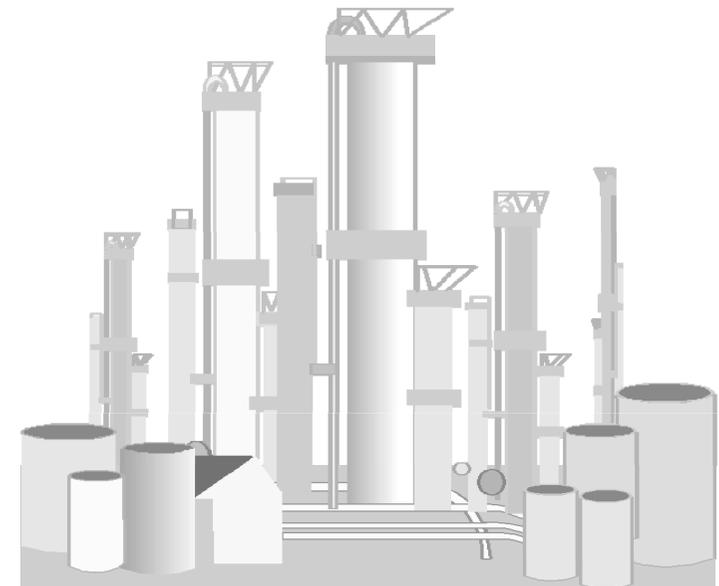
или, что то же самое:

$$x_{wi} = U_{эфф i} t, \quad (6),$$

где $U_{эфф i}$ – скорость перемещения цилиндрического облака в i -м сценарии.

- *В публикациях В.Н.Антипова имеется огромное количество мат. ошибок*

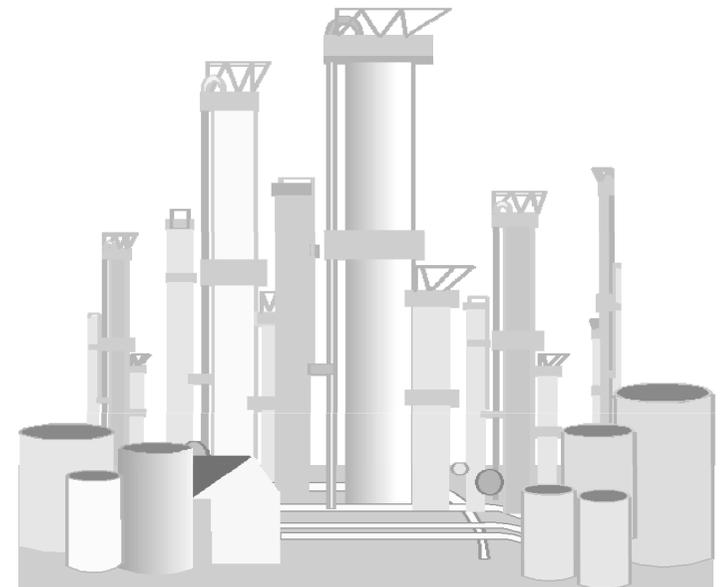
- *Неправильное интегрирование*





Замечание 5. О точности расчетов. Суть.

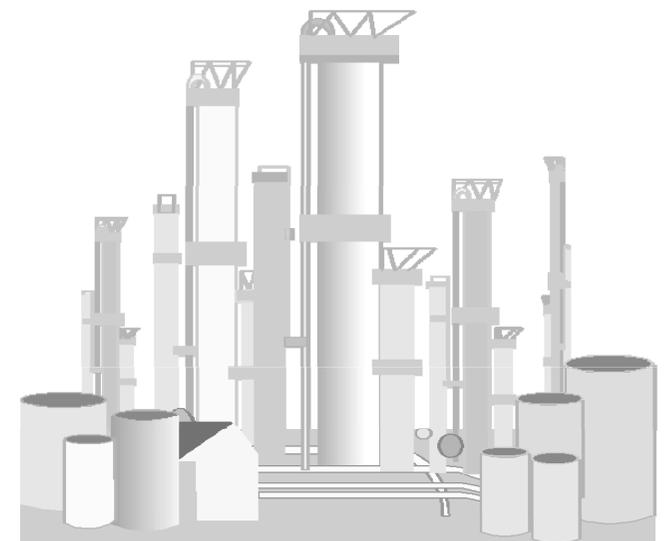
- *заведомо [ВОТ ТАК !] будут результаты, неадекватные реальным условиям, которые могут возникнуть при авариях на опасных производственных объектах.*





Методика «ТОКСИ-3» (критерий приемлемости)

*Конечная оценка любой методики это
ее совпадение с практикой.*





Методика «ТОКСИ-3» (подходы к верификации)

– *Сравнение с экспериментом:*

+ *возможность провести количественное сравнение с большим объемом достаточно точно регистрируемой информацией;*

+ *возможность верификации конкретного физического процесса в хорошо известных условиях;*

- *далеко не всегда перекрывается спектр возможных условий аварии.*





Методика «ТОКСИ-3» (подходы к верификации)

– Сравнение с авариями:

+ большой диапазон возможных на практике аварийных ситуаций; (например, аммиак)

+ возможность увидеть взаимосвязь и взаимообусловленность всей совокупности протекающих физических процессов;

+ уникальные данные по степени поражения;

- отсутствие фиксации условий аварии.





Методика «ТОКСИ-3» (верификация)

• Методика «ТОКСИ-3» верифицирована по около 20 серий экспериментов (сотни опытов) по множеству параметров:

- - достигаемые концентрации*
- - размеры облаков*
- - динамика движения облаков*
- - временные зависимости концентрац.*
- - расходы в выбросах*
- - скорости испарения*
- - ...*

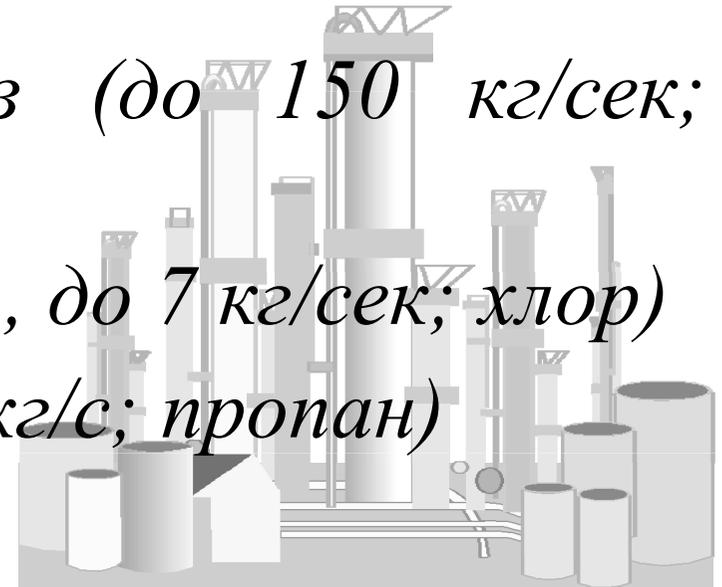




Методика «ТОКСИ-3» (верификация)

• В презентации представлены наиболее крупные эксперименты для токсичных и пожаровзрывоопасных веществ:

- - Торней Айленд (до 8 т; до 5 кг/с; фреон)
- - Десерт Тортоиз (до 150 кг/сек; до 40 т; аммиак)
- - Лайм Бей (до 10 т, до 7 кг/сек; хлор)
- - HSL (до 4 т, до 5 кг/с; пропан)





Методика «ТОКСИ-3» (верификация)

• Методика «ТОКСИ-3» верифицирована по нескольким крупным авариям:

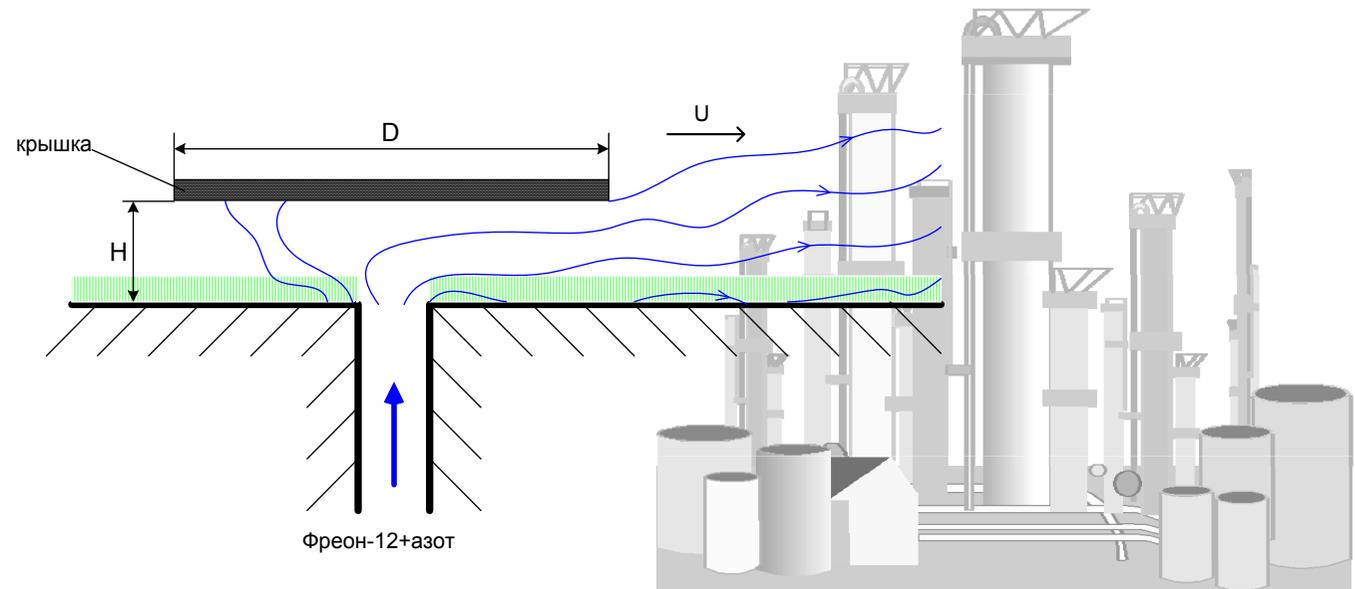
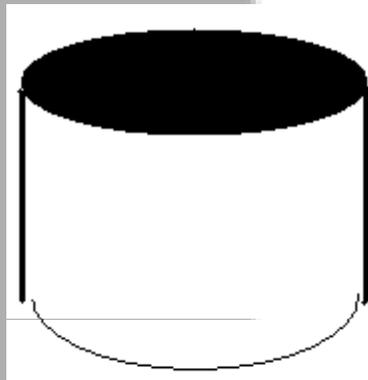
- - достигаемые концентрации*
- - зоны поражения*
- - размеры облаков*
- - временные характеристики*





Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

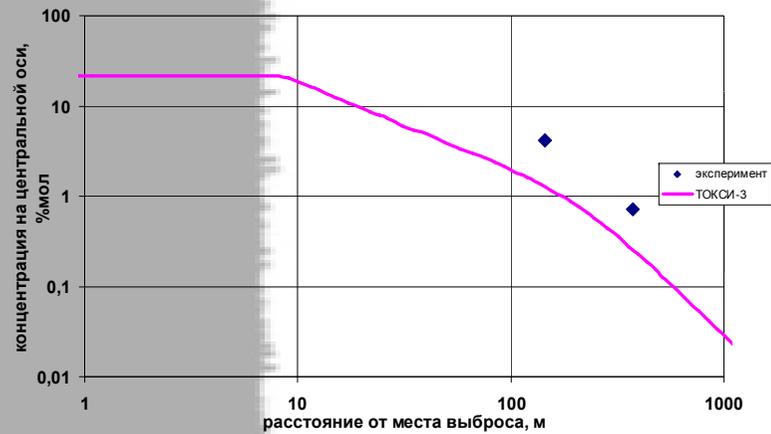
- *Несколько десятков опытов:*
 - *залповые 2000 м³ (до 8 т);*
 - *длительные ок. 5 кг/с*



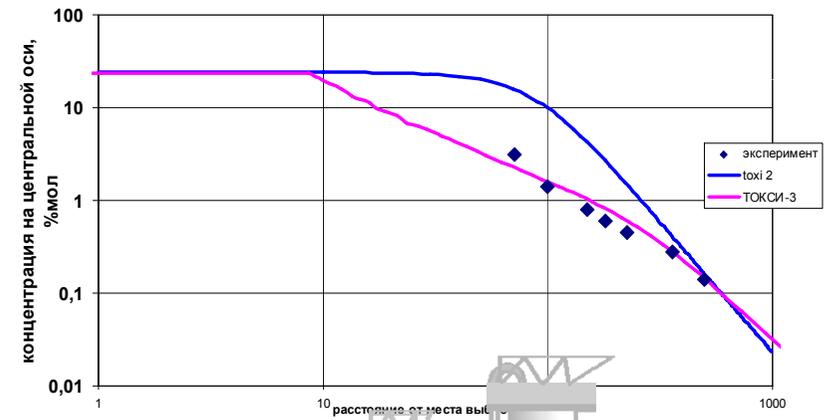


Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

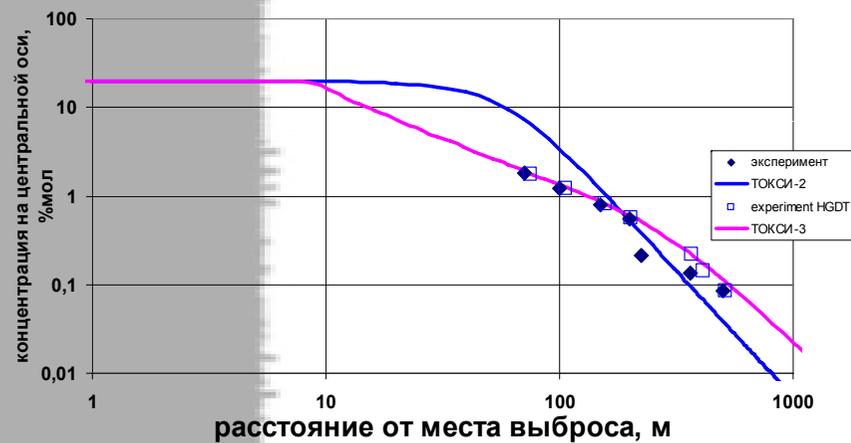
005 Thorney Island



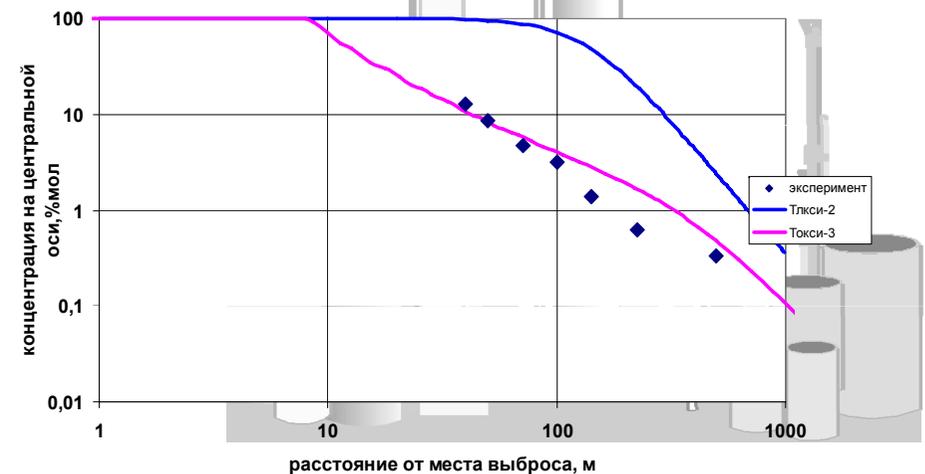
007 Thorney Island



008 Thorney Island



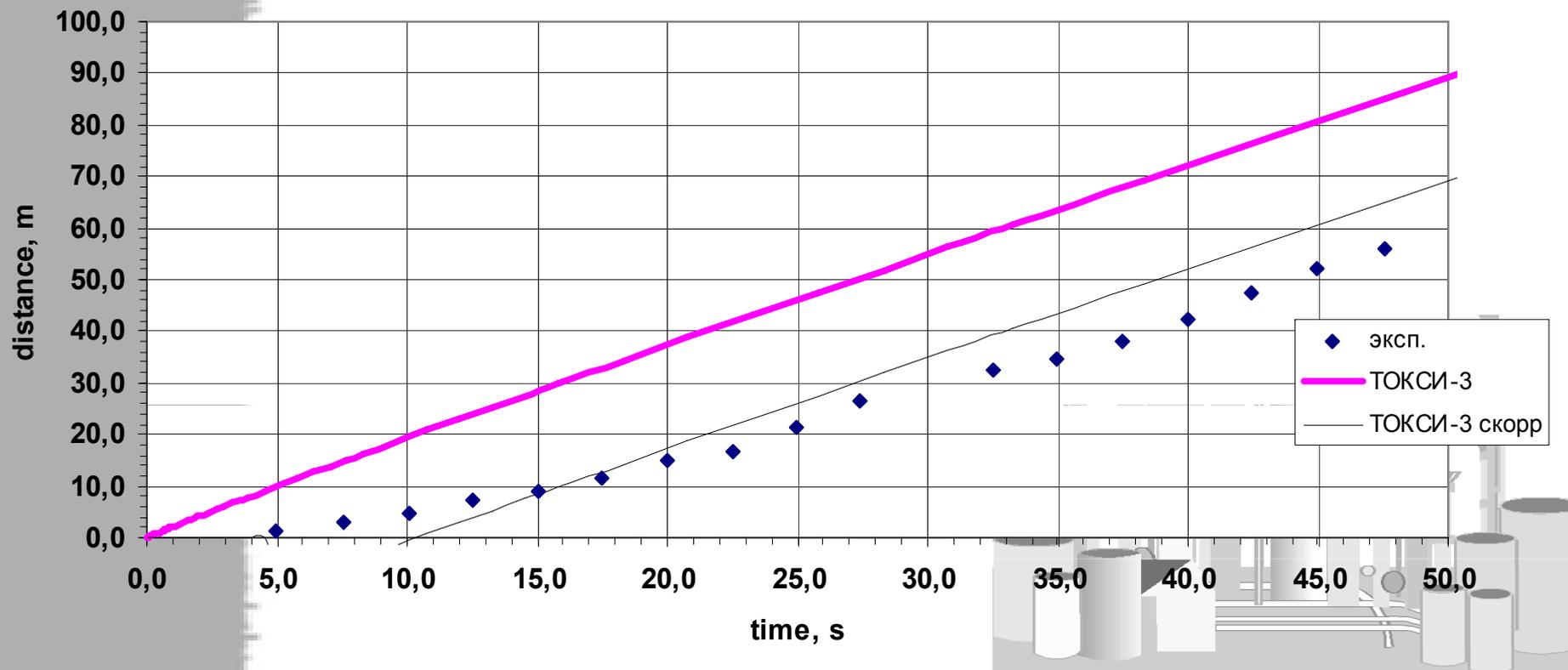
017 Thorney Island





Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

- *Положение облака (опыт 8)*
движение центра облака

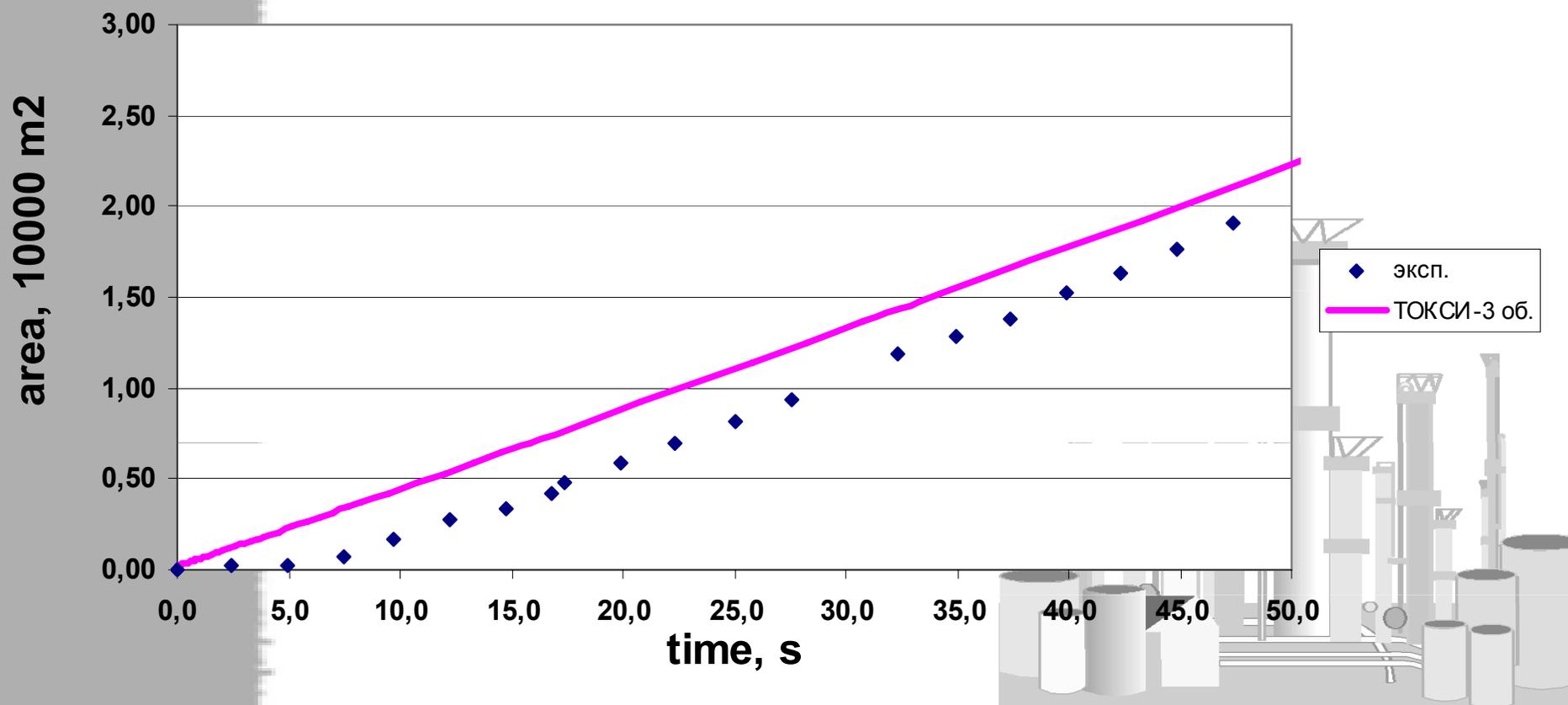




Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

• *Площадь облака*

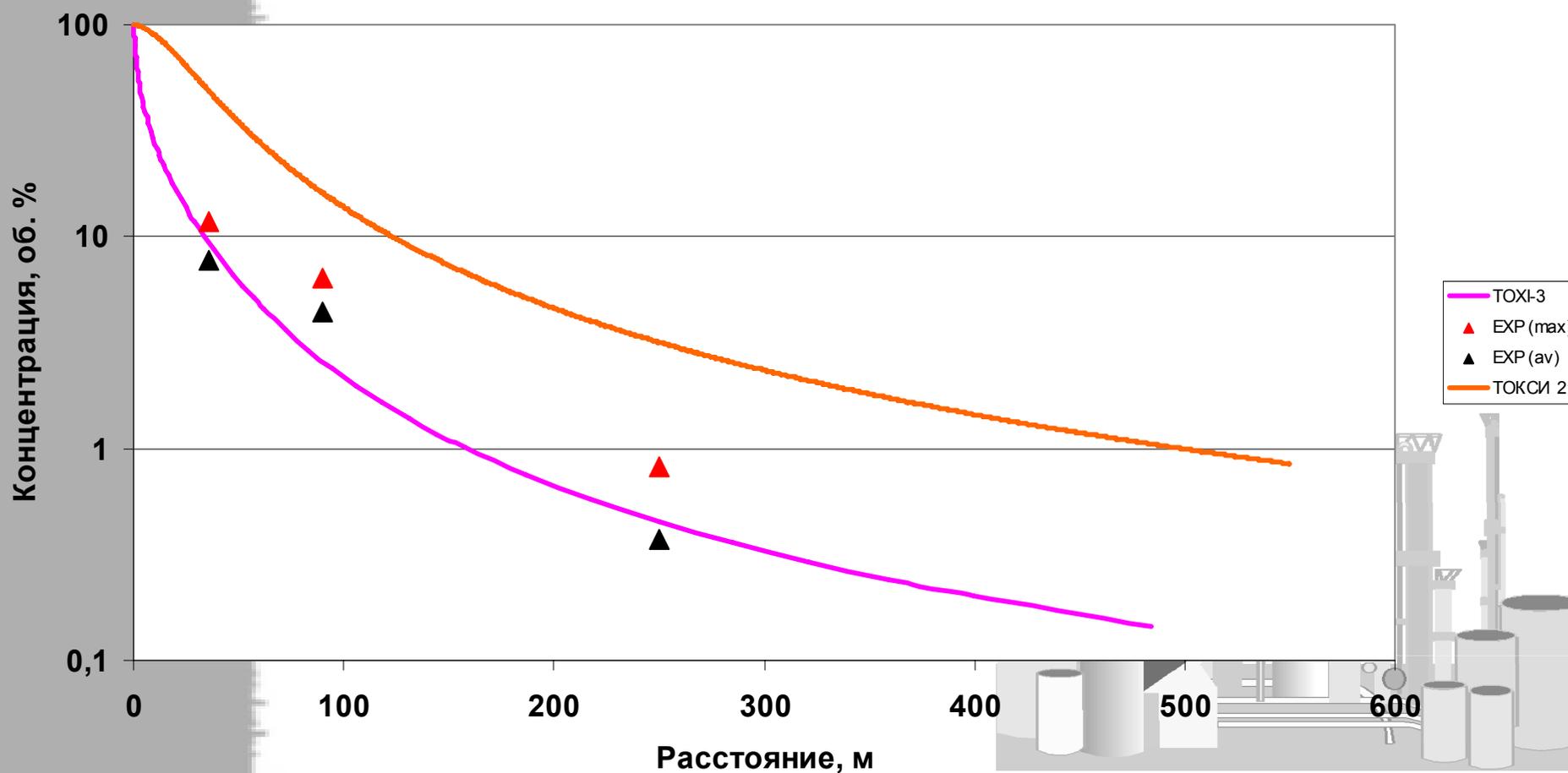
площадь, покрываемая облаком





Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

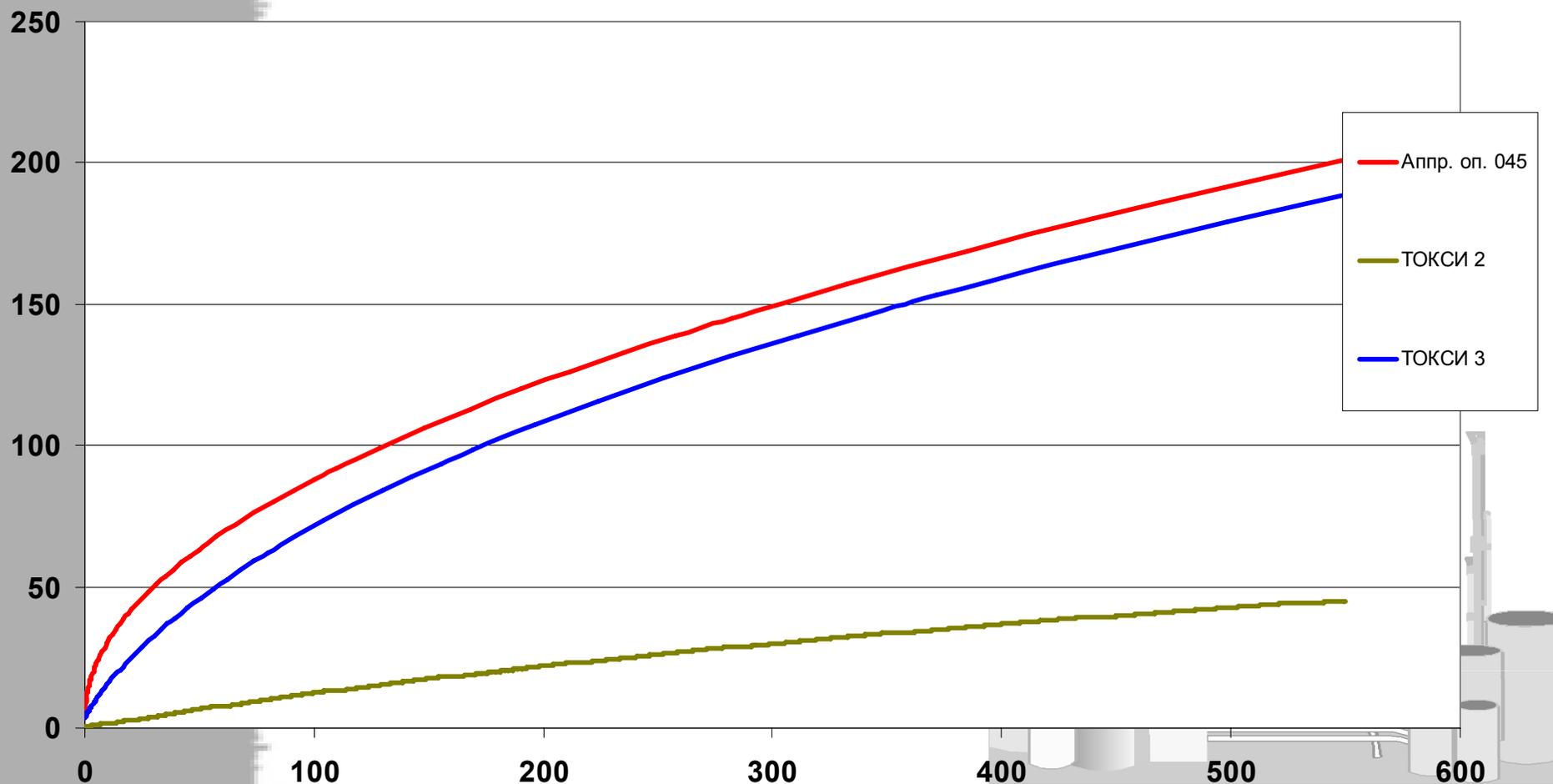
• Концентрации (опыт 45)





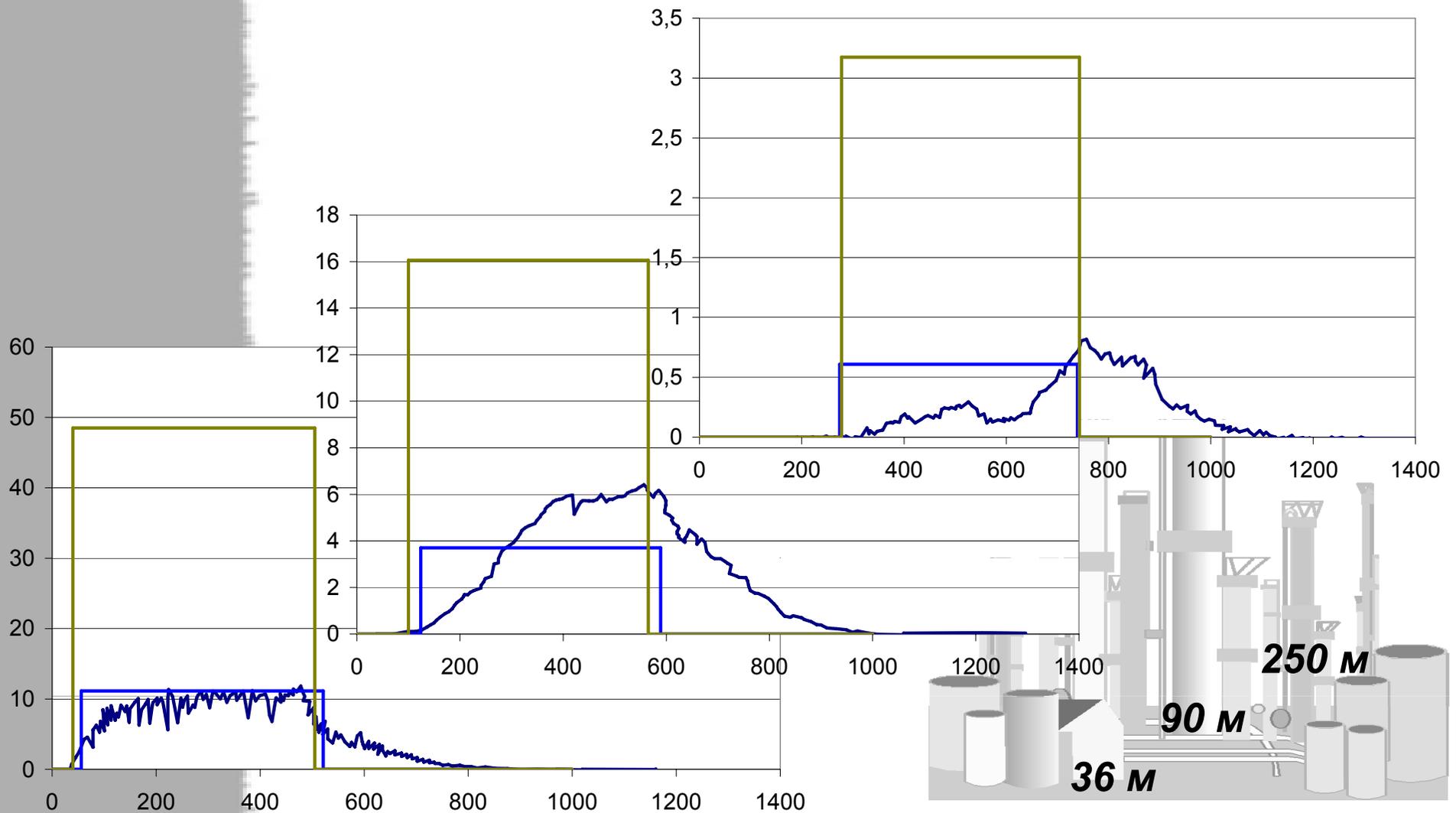
Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

• *Размеры облака (опыт 045)*





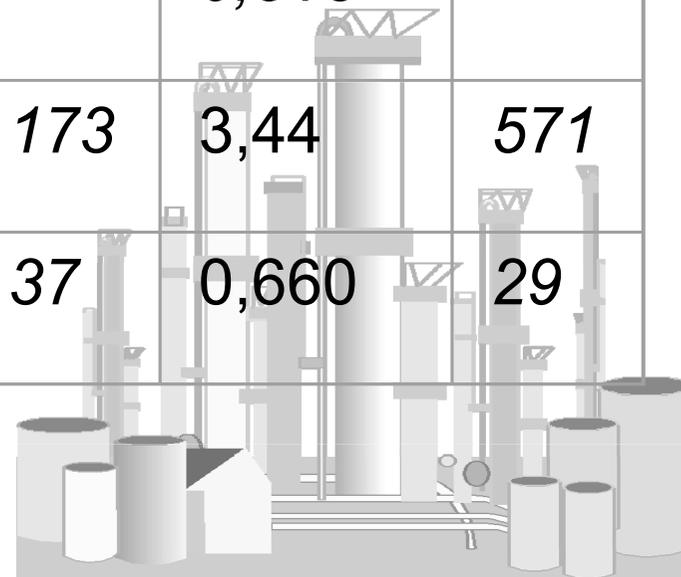
Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)





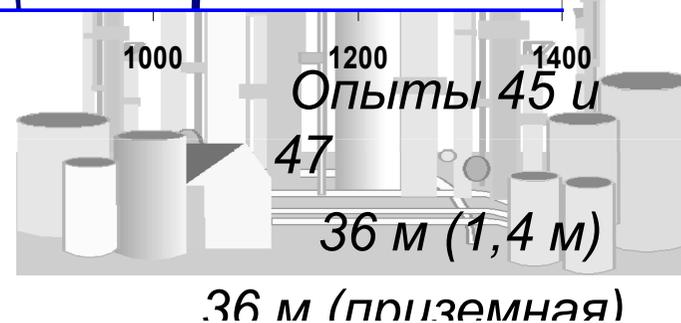
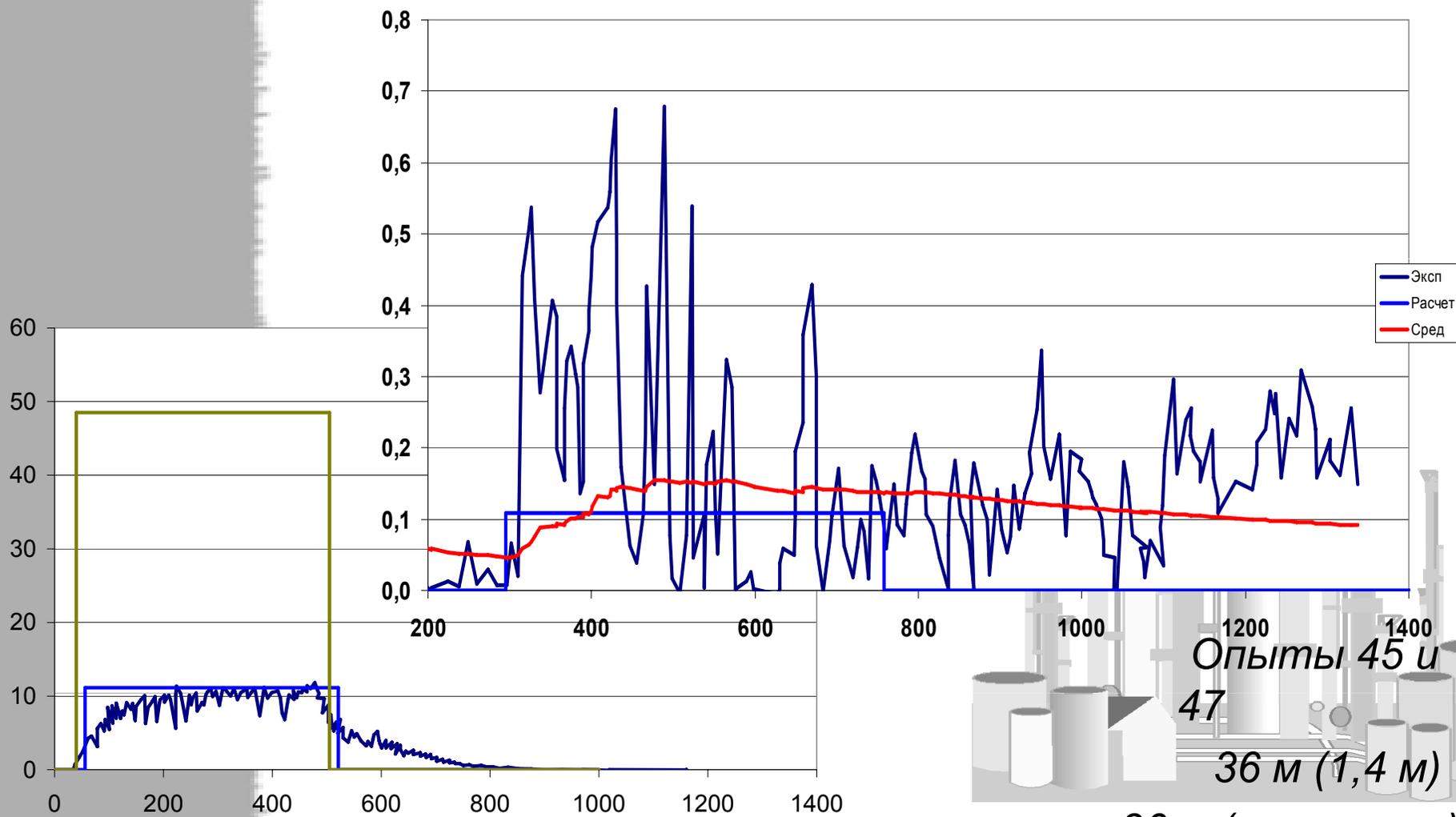
Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

Способ опреде лени	Расстояние от места выброса					
	36 м		90 м		250 м	
	Доза, кг•ч/л	Δ , %	Доза, кг•ч/л	Δ , %	Доза, кг•ч/л	Δ , %
Эксп. Я	11,4	—	6,38	—	0,513	—
ТОКСИ- 2	52,6	361	17,4	173	3,44	571
ТОКСИ- 3	12,1	6	4,02	37	0,660	29





Методика «ТОКСИ-3» (опыты Торней Айленд)

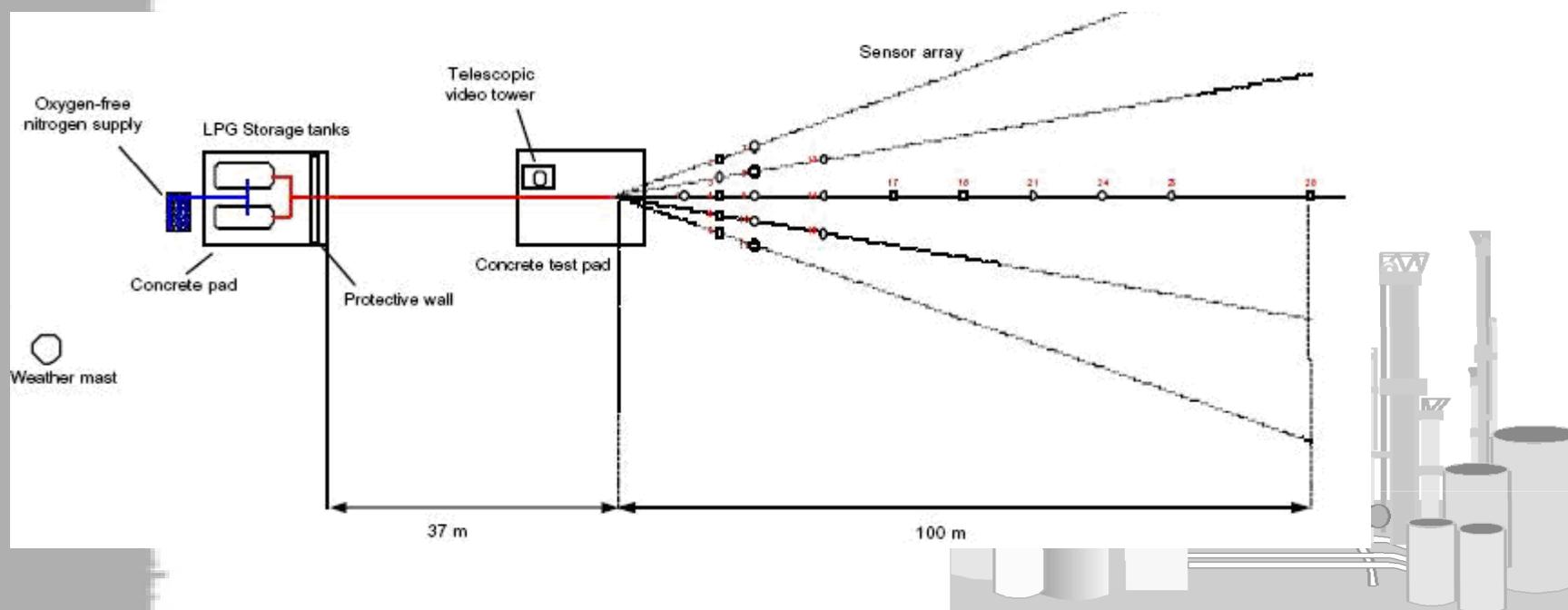




Методика «ТОКСИ-3» (ОПЫТЫ HSL)

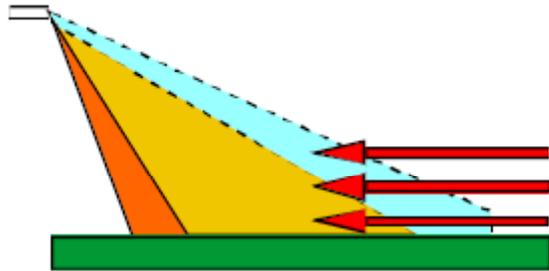
Пропан – 2 x 2 м, труба 40 м, $r_{mp} = 2,5$ см

Выброс 3-5 кг/с (ок. 15 оп.), $r_{отв} = 1$ см





Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL)





Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL- 16)



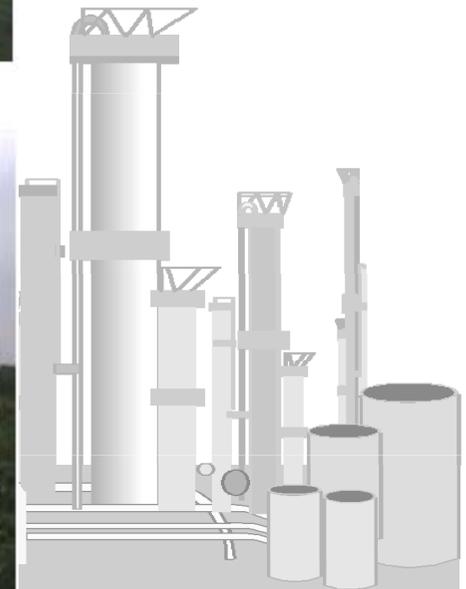
1

2

сек

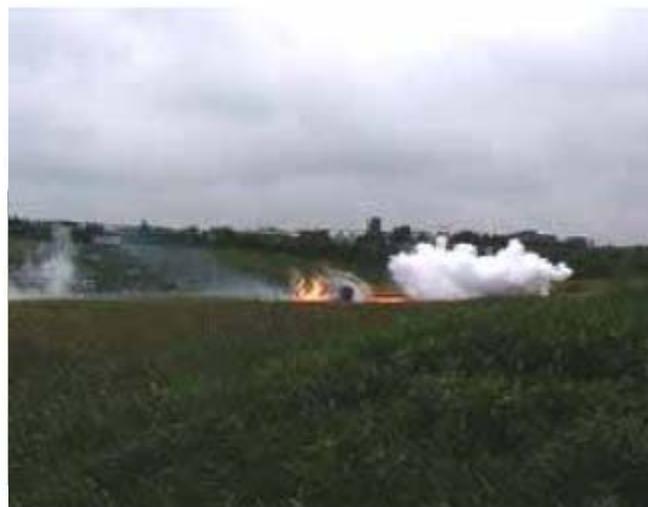
4

81





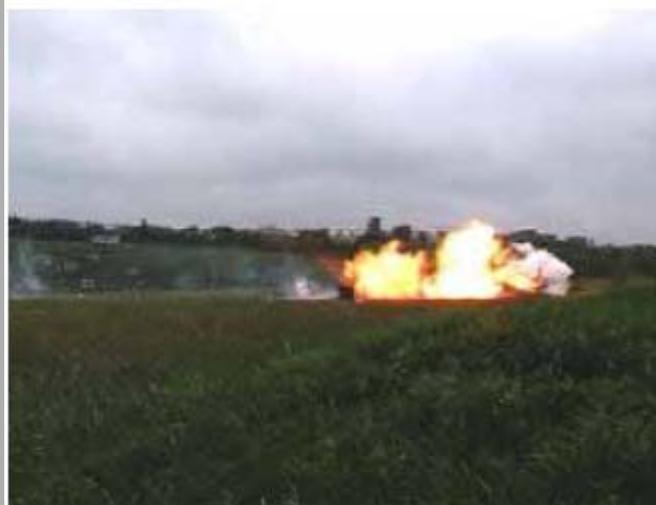
Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL - 16)



104 106

сек

107 111





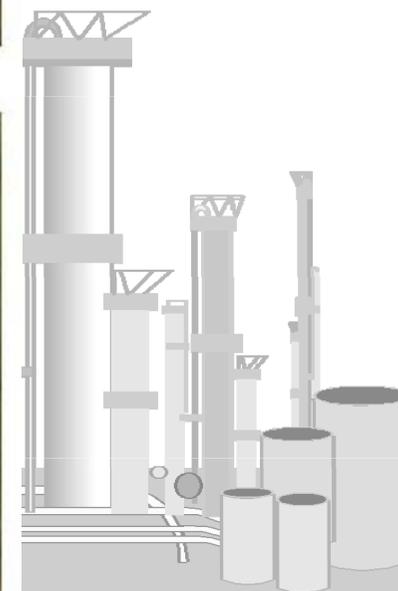
Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL - 23)



2 38

сек

39 40

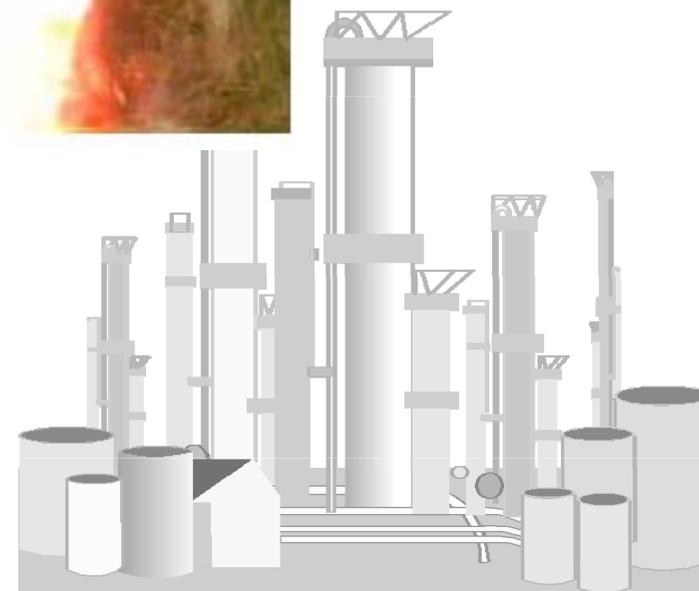




Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL - 23)

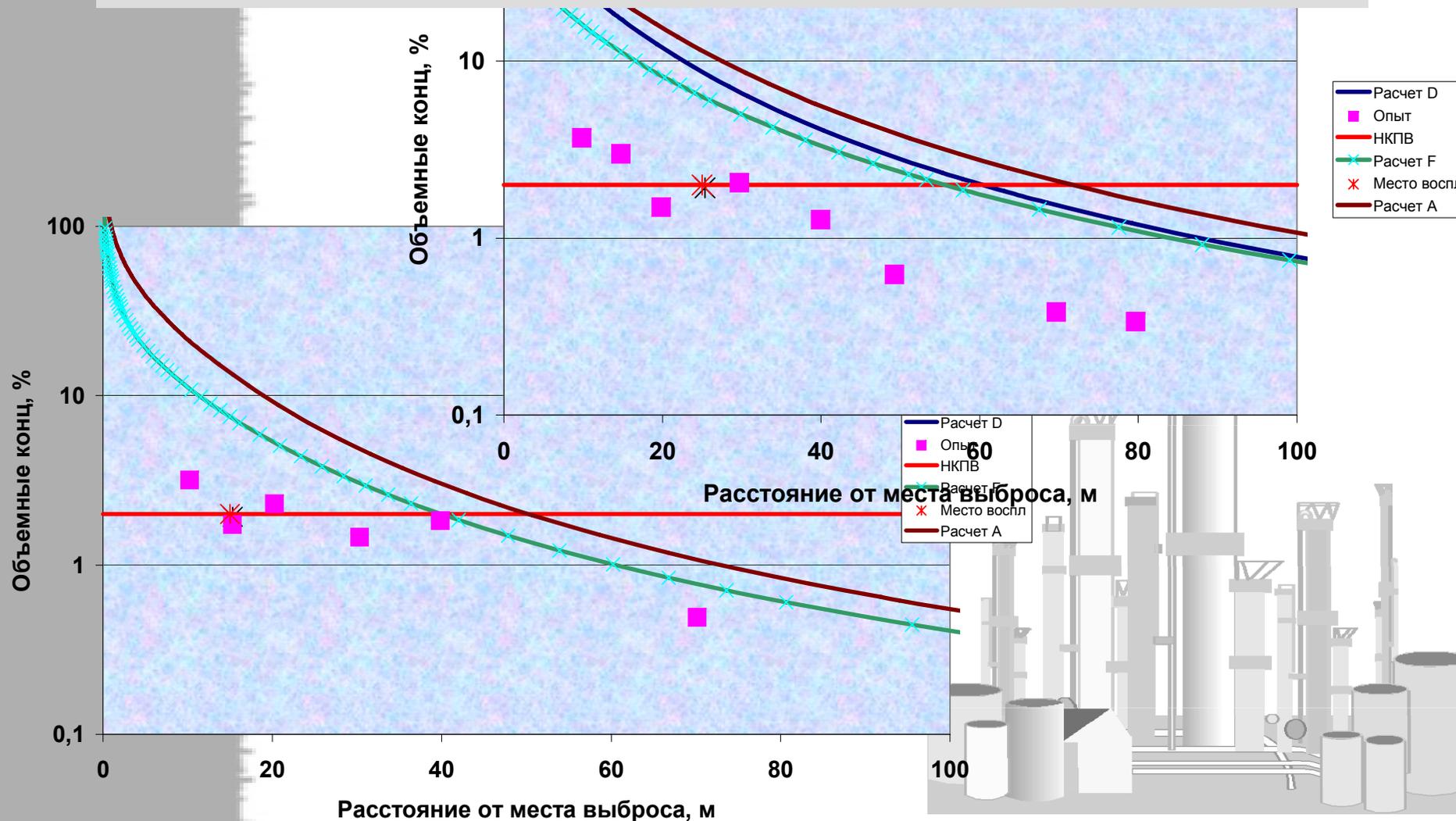


41 43
сек





Методика «ТОКСИ-3» (опыты HSL – 4 и 17)

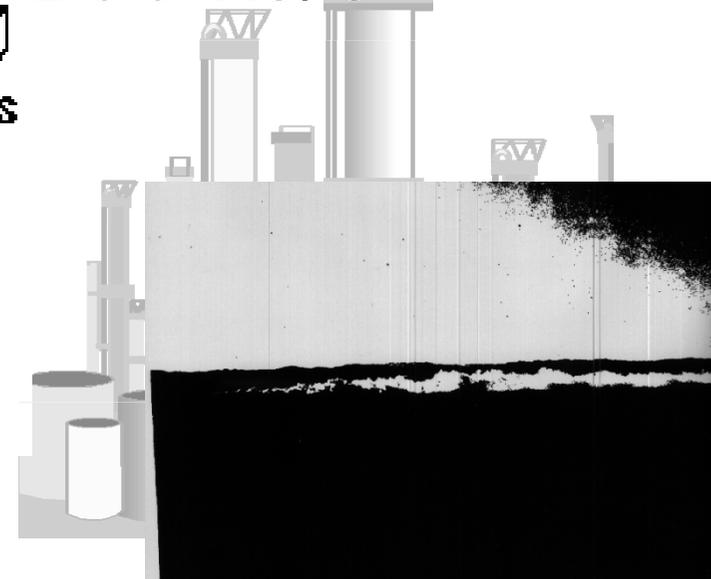
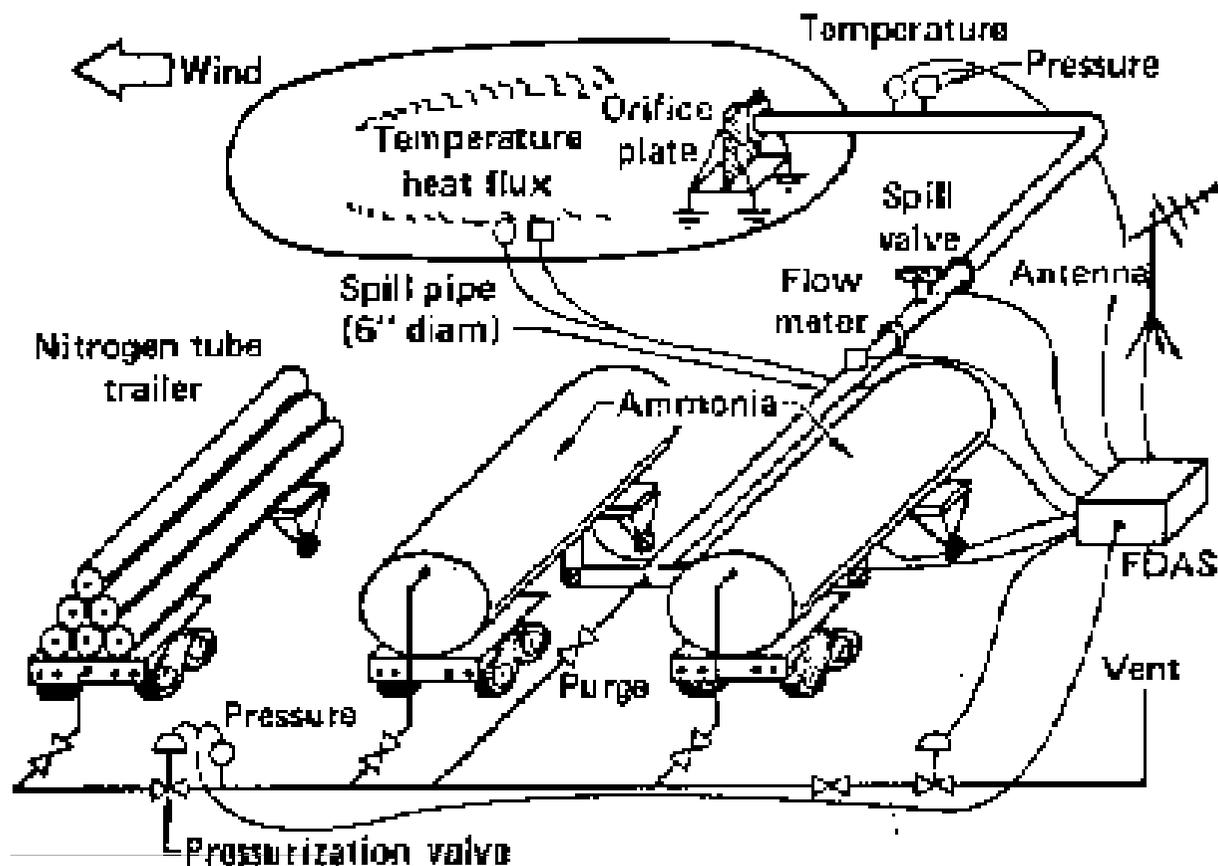




Методика «ТОКСИ-3» (опыт Десерт Тортороиз)

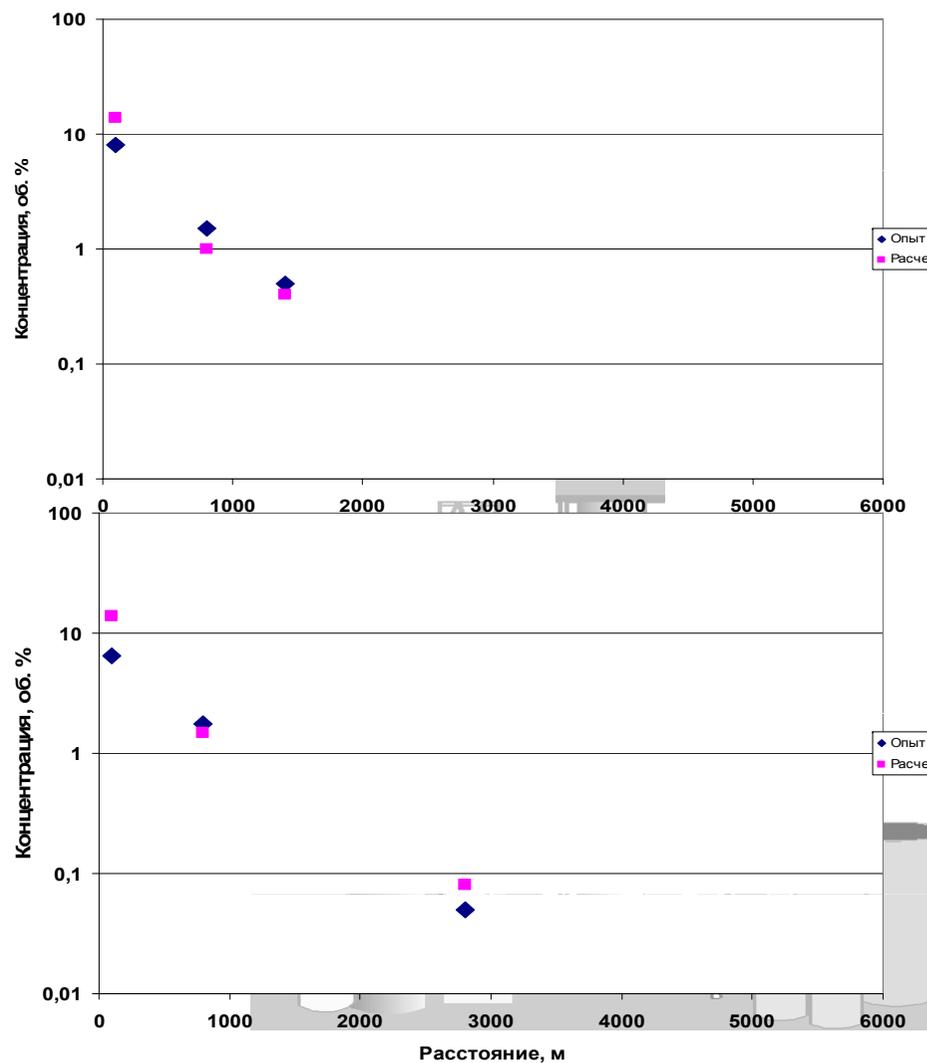
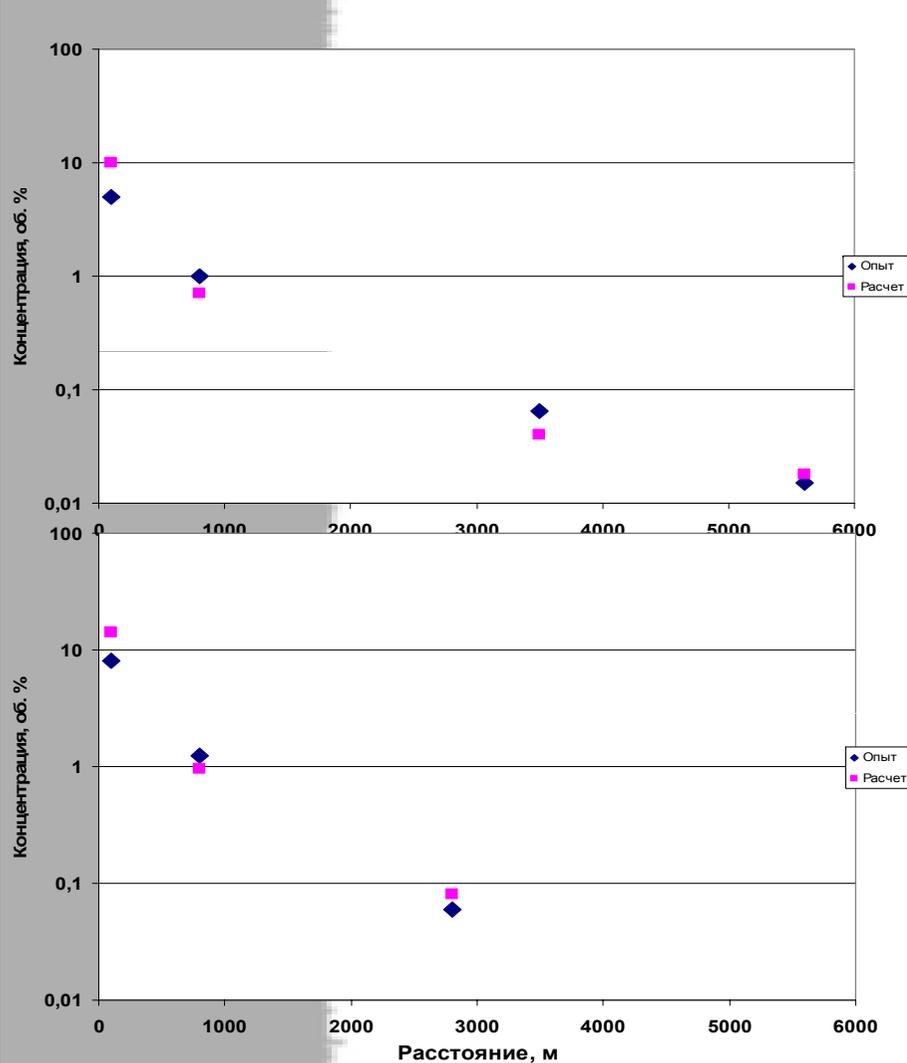
*Выброс до 40
т аммиака.*

*Расходы - до
100 кг/с*





Методика «ТОКСИ-3» (опыт Десерт Тортороиз–конц.)





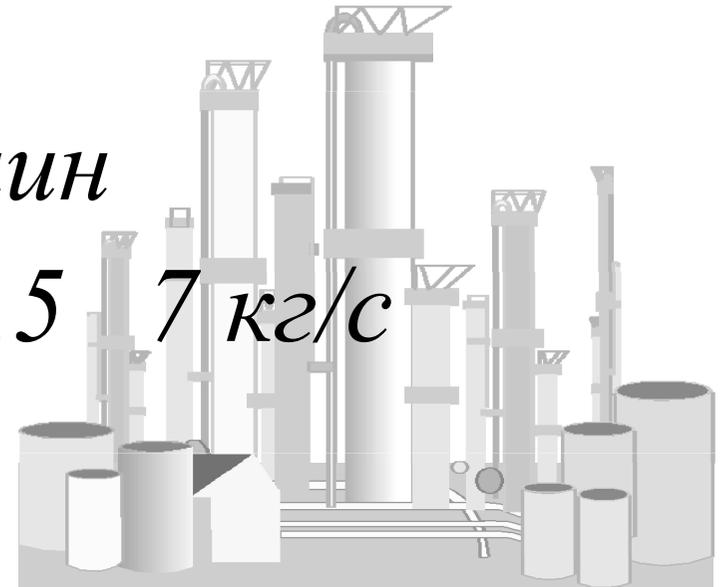
Методика «ТОКСИ-3» (опыты Лайм Бей)

*Выброс до 10 т хлора, сжиженный
при 11-13 С*

*С борта корабля в море по ветру (3-
4 м/с)*

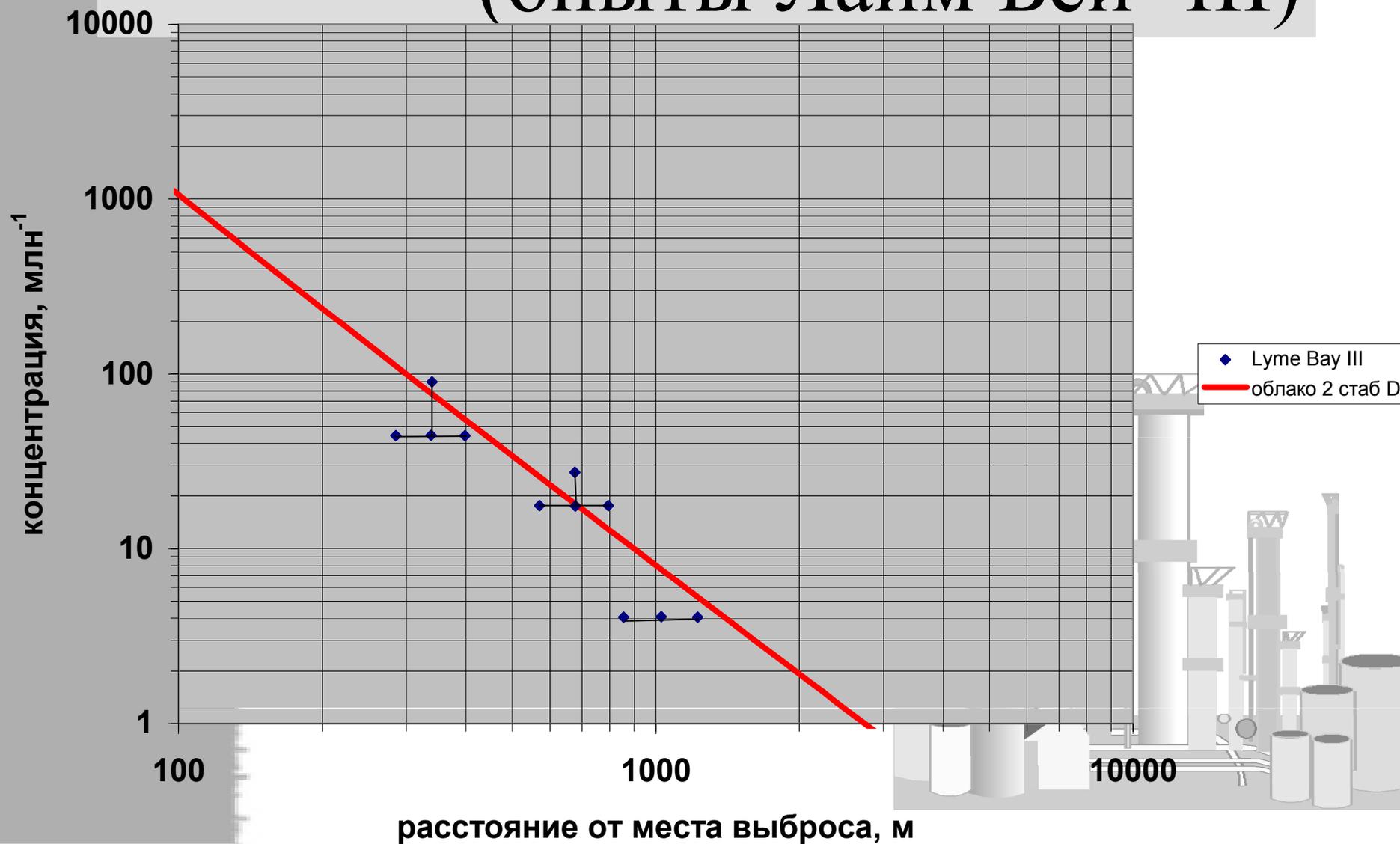
Длительность 15-30 мин

Расходы – 3,6 7,7 11,5 7 кг/с



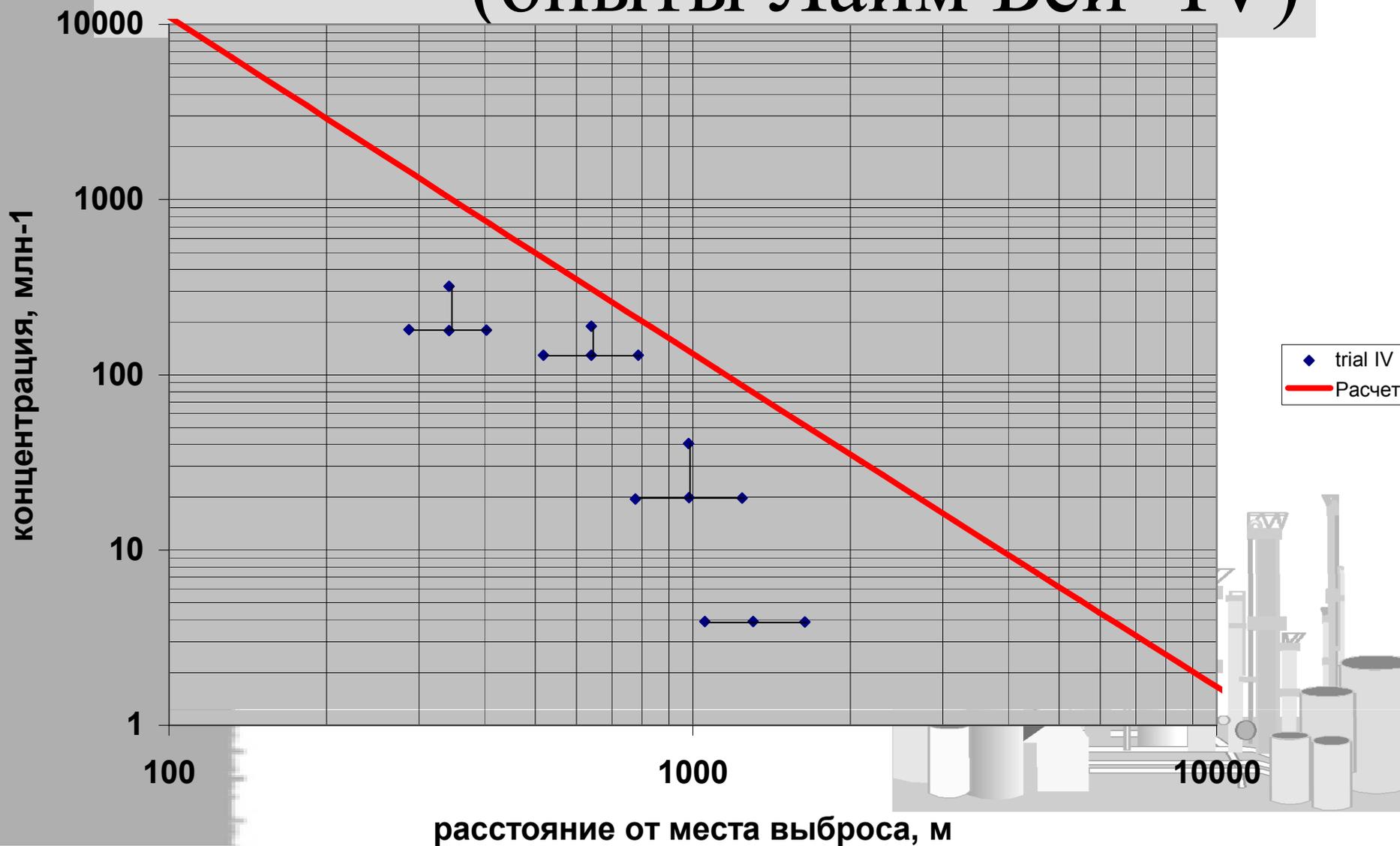


Методика «ТОКСИ-3» (опыты Лайм Бей -III)



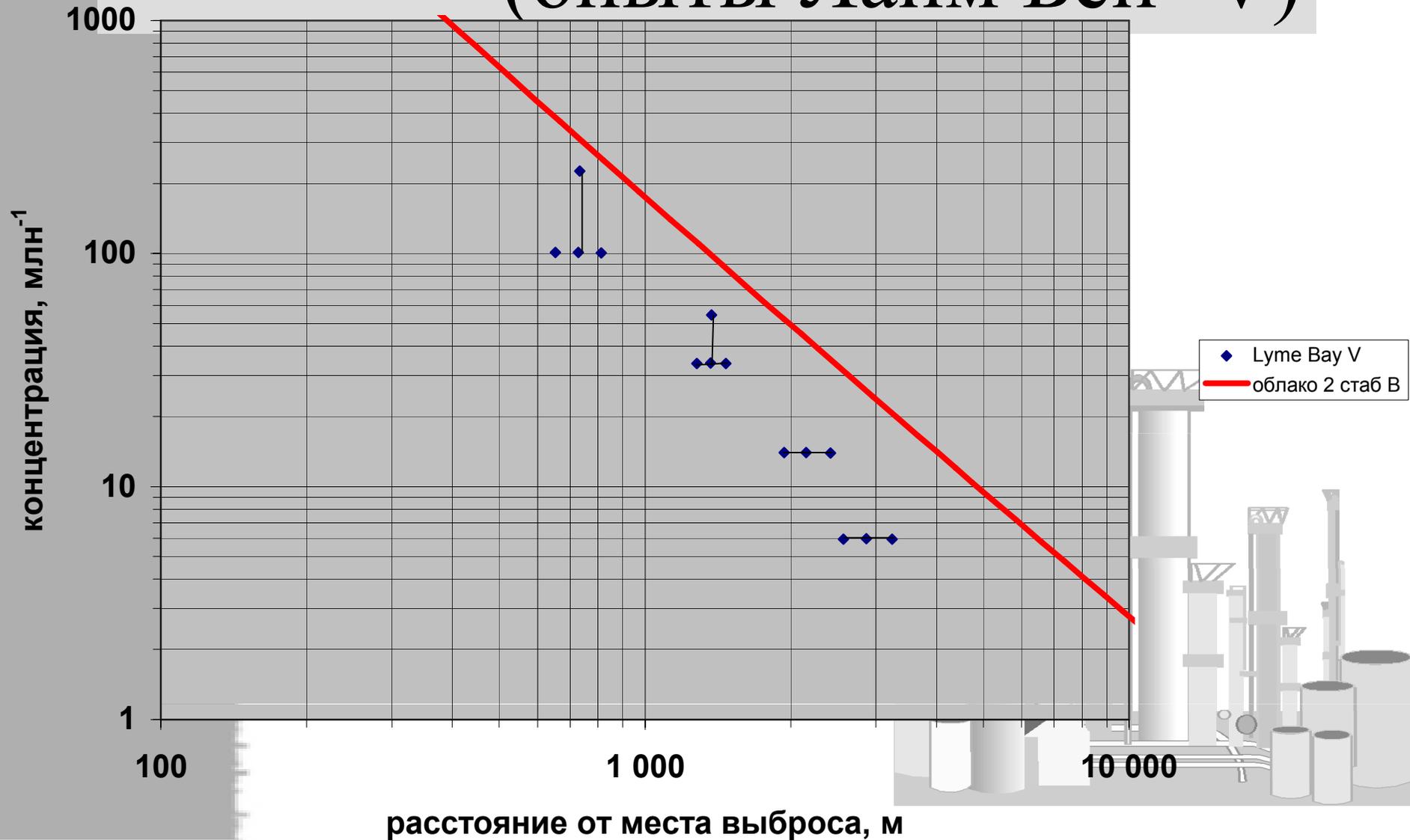


Методика «ТОКСИ-3» (опыты Лайм Бей -IV)



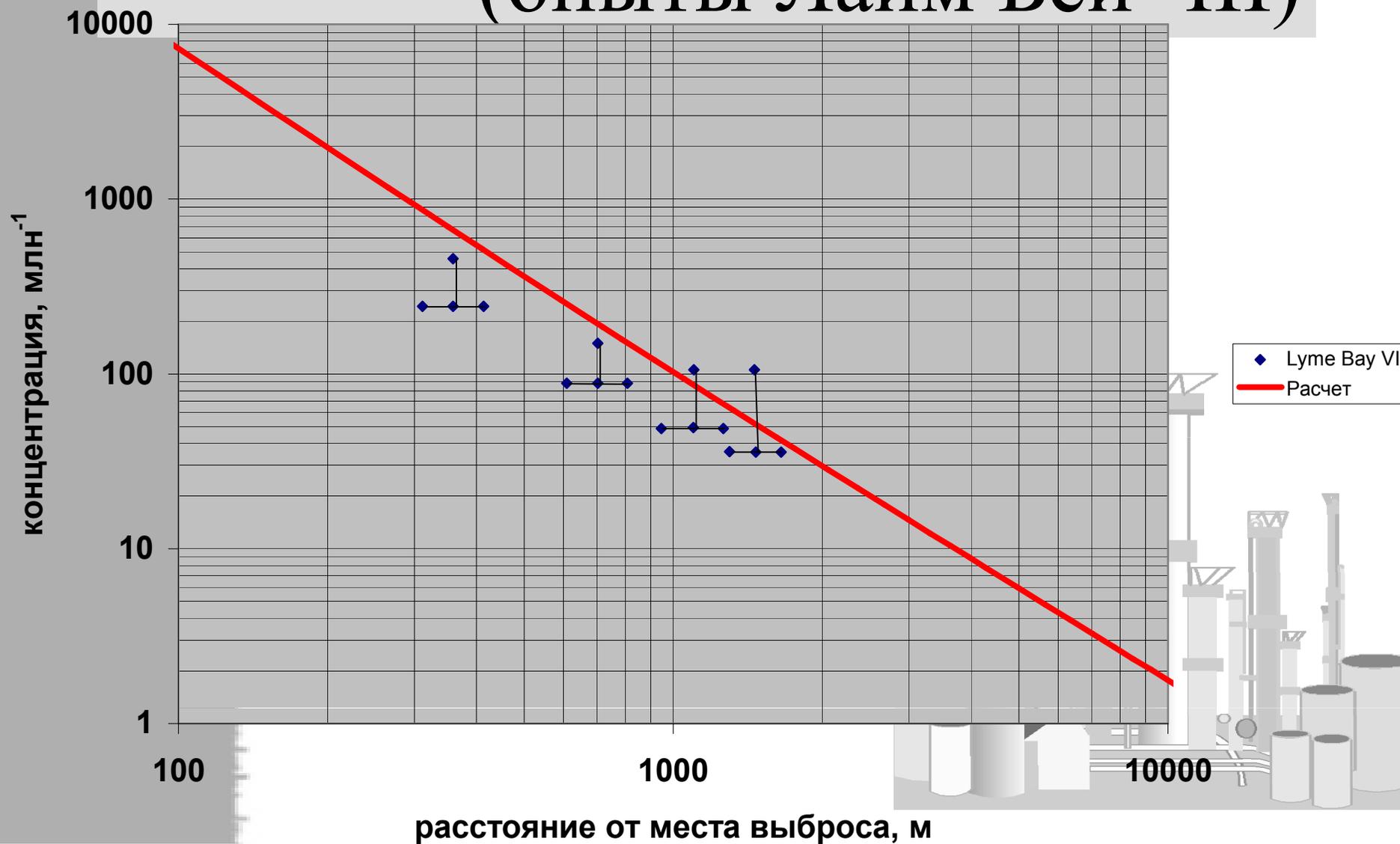


Методика «ТОКСИ-3» (опыты Лайм Бей - V)





Методика «ТОКСИ-3» (опыты Лайм Бей -III)





Методика «ТОКСИ-3» (авария в ЮАР, 1973 г.)

*Выброс 38 т аммиака, сжиженный
при 15 С.*

*Погибло 18 человек (14 рабочих –
двое на месте, и 4 посторонних)*

Наибольшее удаление – 200 м

*Облако имело размер 150 м, высота
выброса ок. 20.*

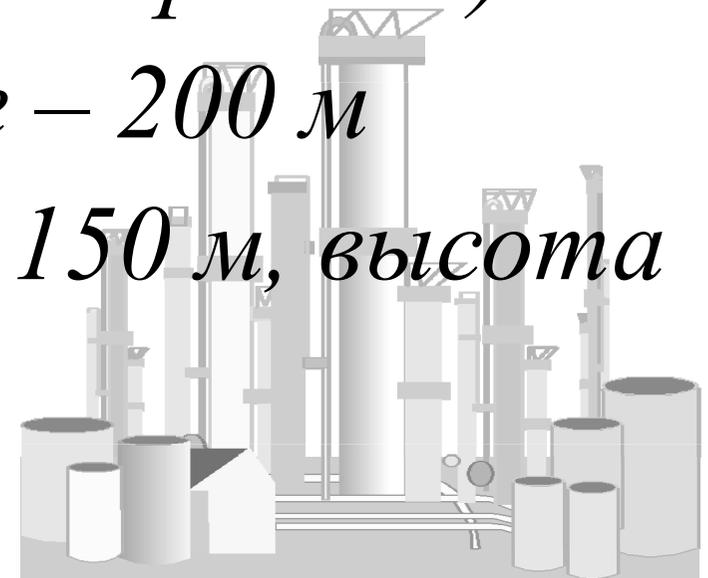
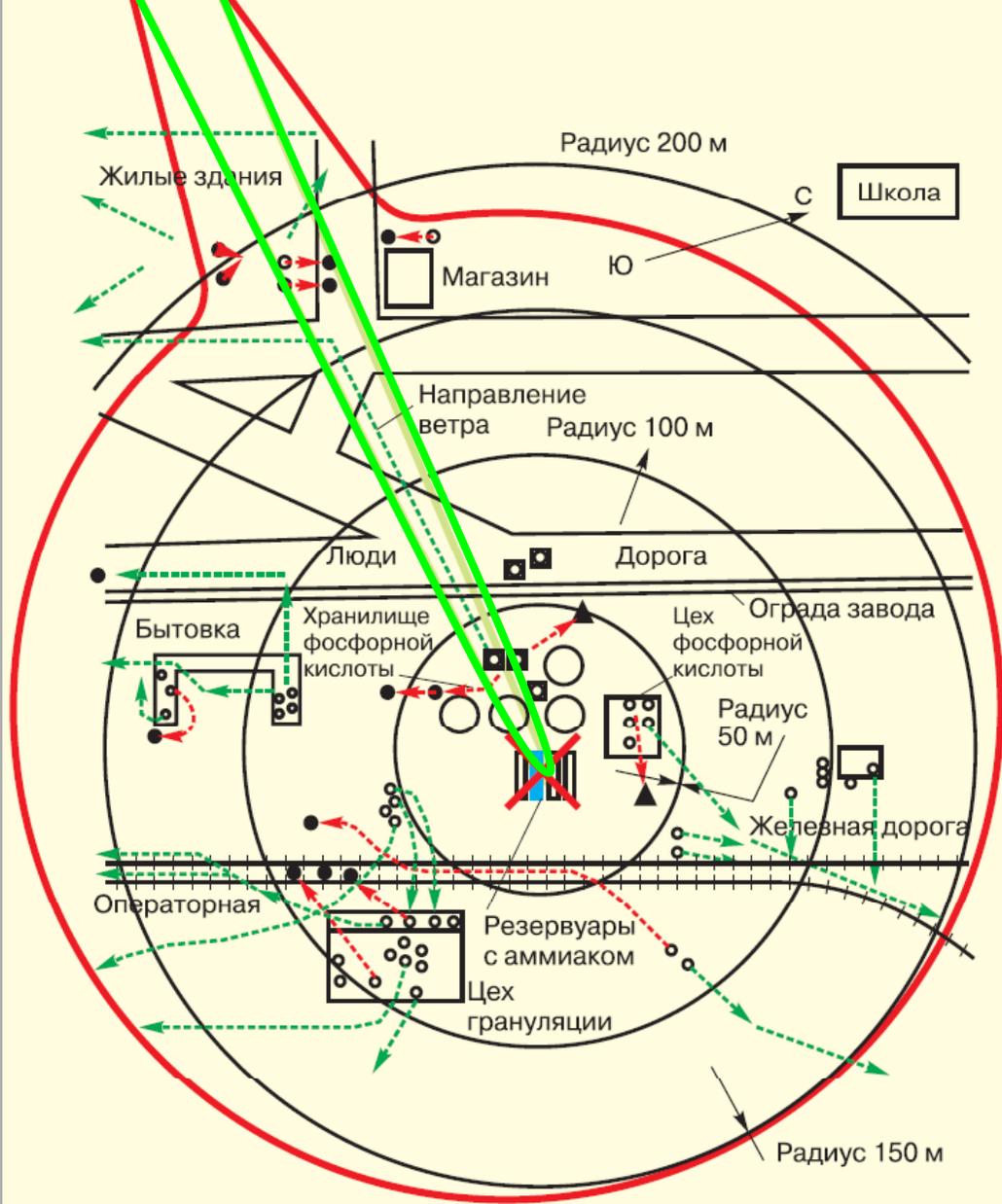


Схема расположения погибших при аварии в Потchefструме (ЮАР), 13.07.1973



- разрушенный резервуар
 - местоположение людей во время аварии
 - люди, найденные мертвыми
 - люди, попытавшиеся выйти из зоны поражения, но впоследствии умершие
 - Не пытались выбраться, погибли
- маршруты движения:
- ВЫЖИВШИХ
 - ПОГИБШИХ
- «ТОКСИ-3»
РД-03-26-2007
- «Гауссова» модель
(без учета силы тяжести)



Методика «ТОКСИ-3» (аварии с хлором)

США, 1961, 35 т сжиж. хлора

Погиб 1 ребенок

(500 м) = 530 м

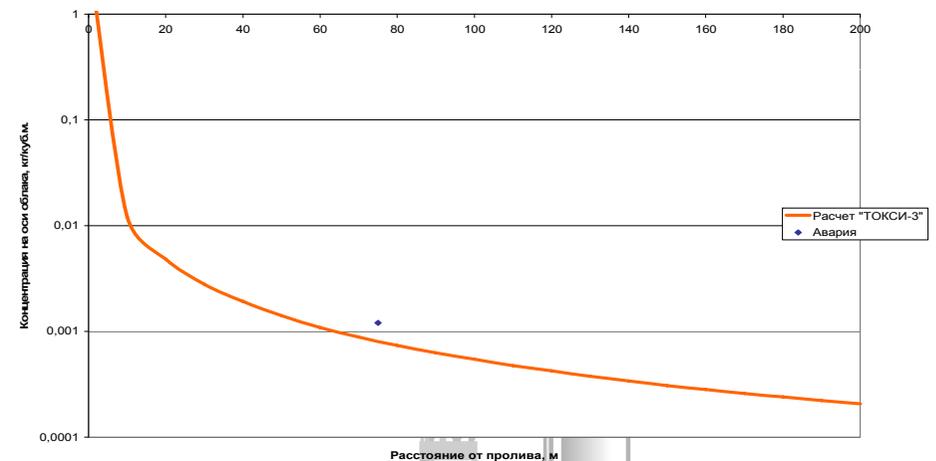
по «ТОКСИ-3»

Румыния, 1939, 24 т сжиж. хлора

Низкая скорость ветра, погибло 60

человек (до 800 м) = 790 м по

«ТОКСИ-3»





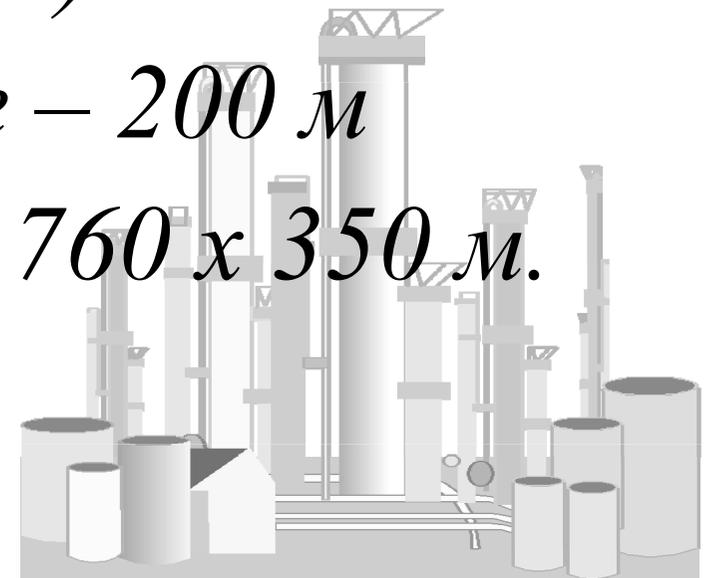
Методика «ТОКСИ-3» (авария в США, 2005 г.)

*Выброс 82 т хлора, сжиженный
при -3 С.*

*Погибло 9 человек (7 рабочих, 1
машинист и 1 житель)*

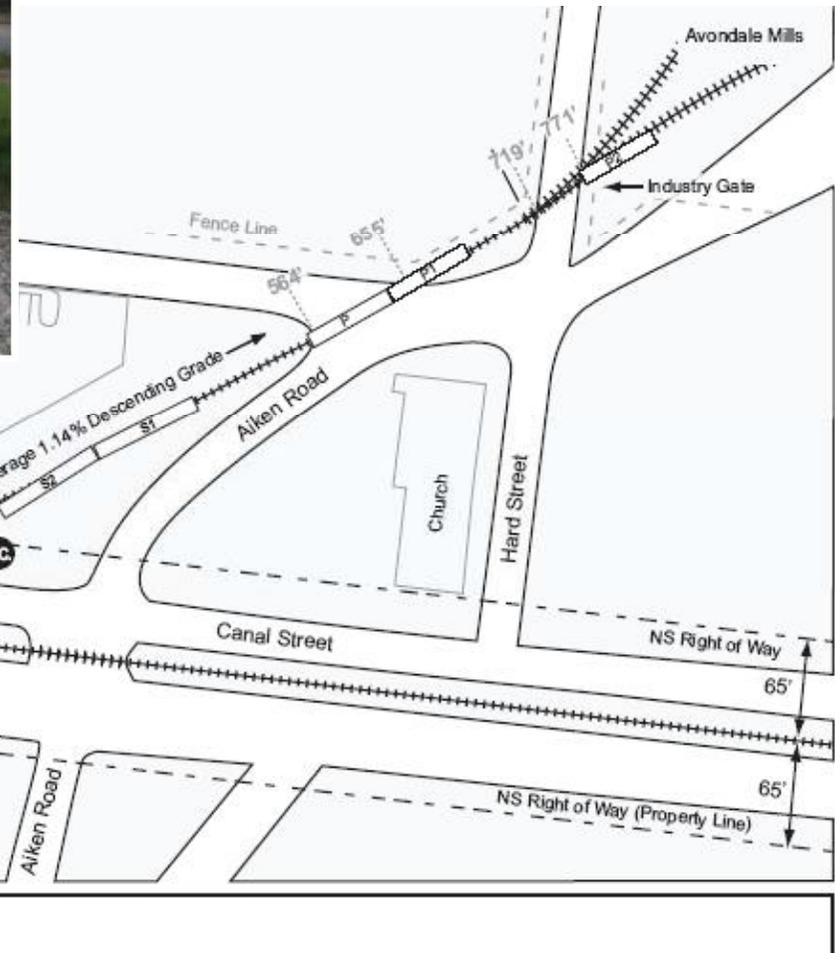
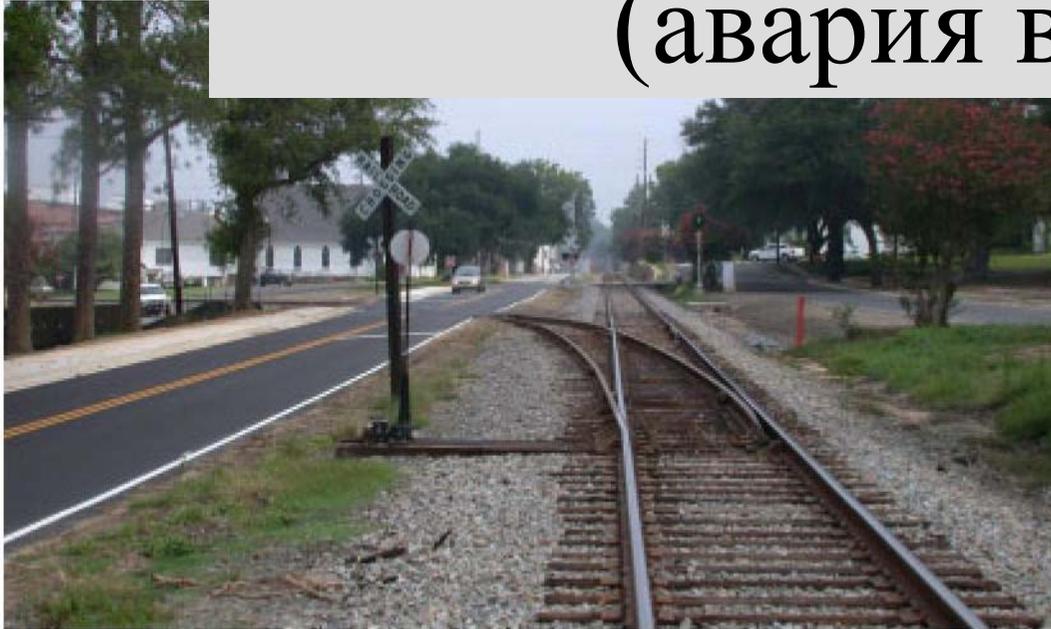
Наибольшее удаление – 200 м

Облако имело размер 760 x 350 м.



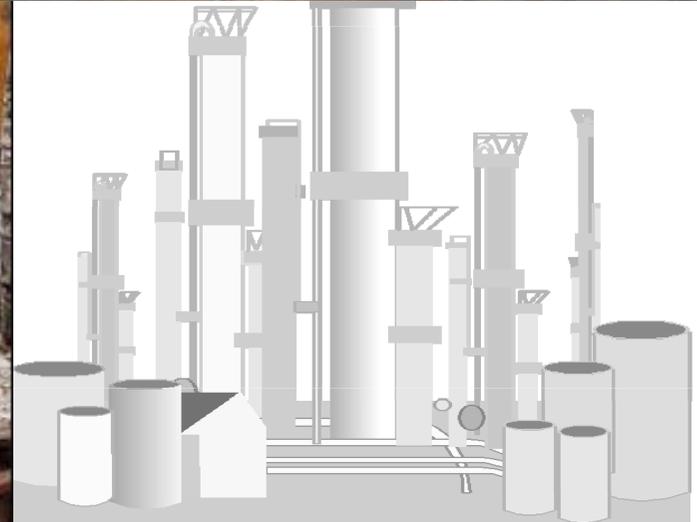
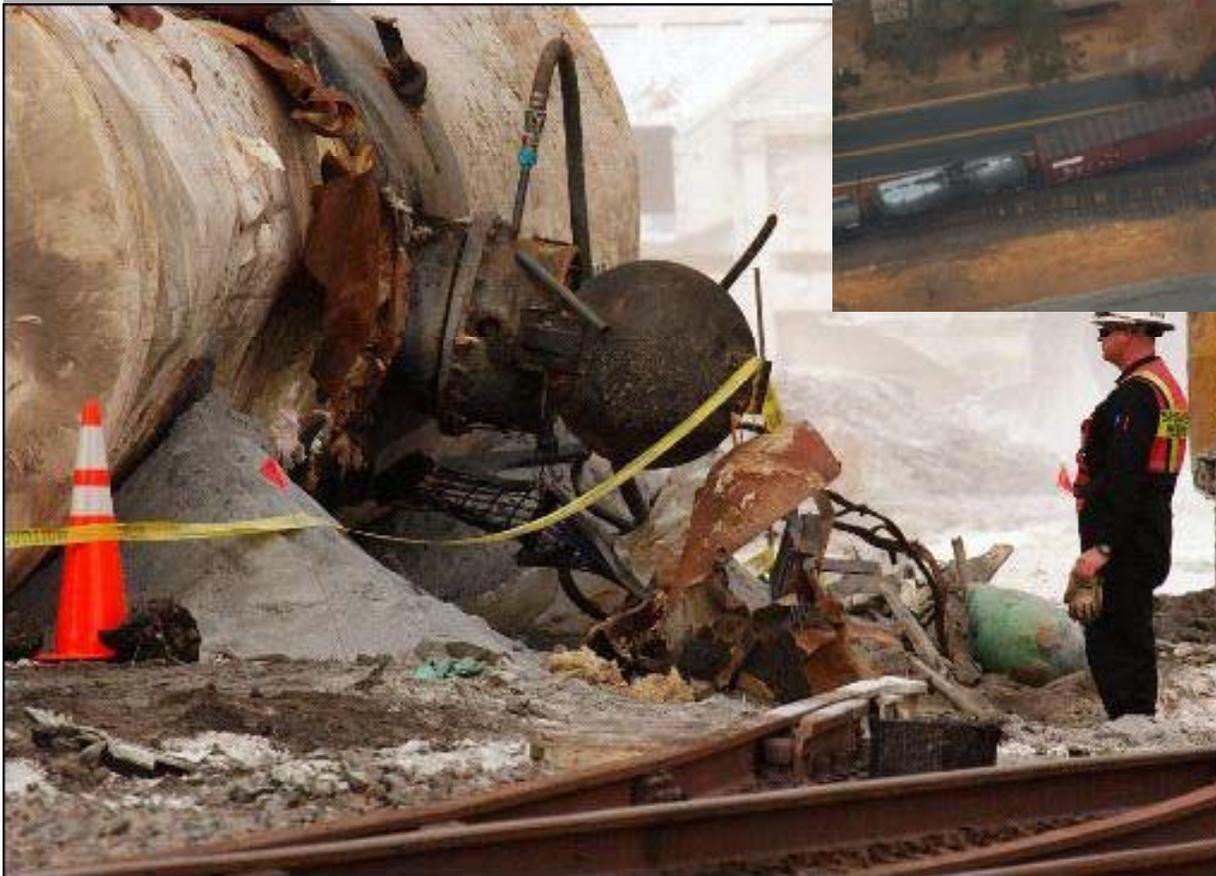
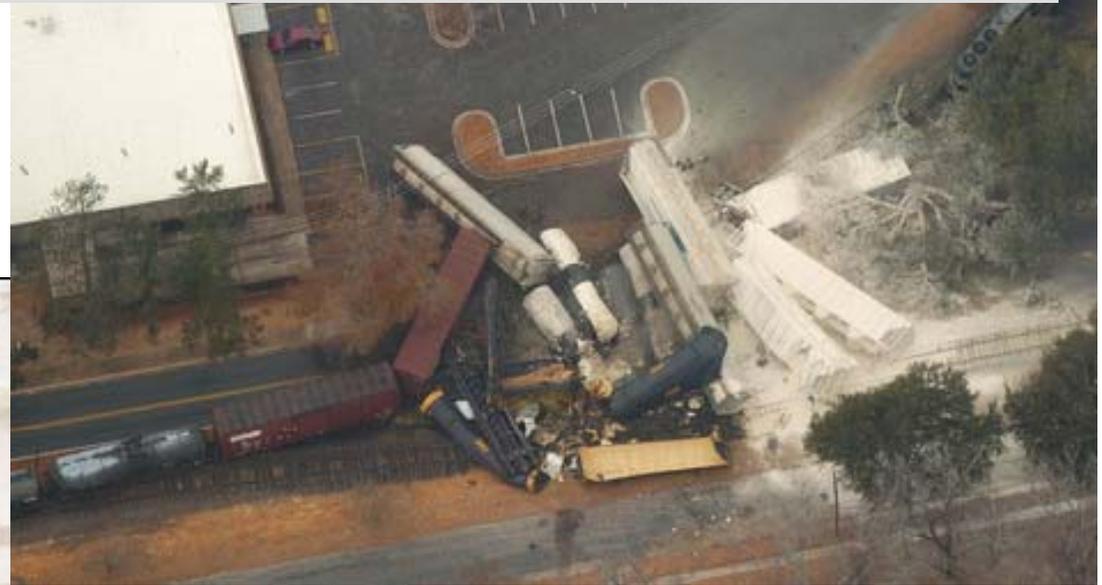


Методика «ТОКСИ-3» (авария в США, 2005 г.)

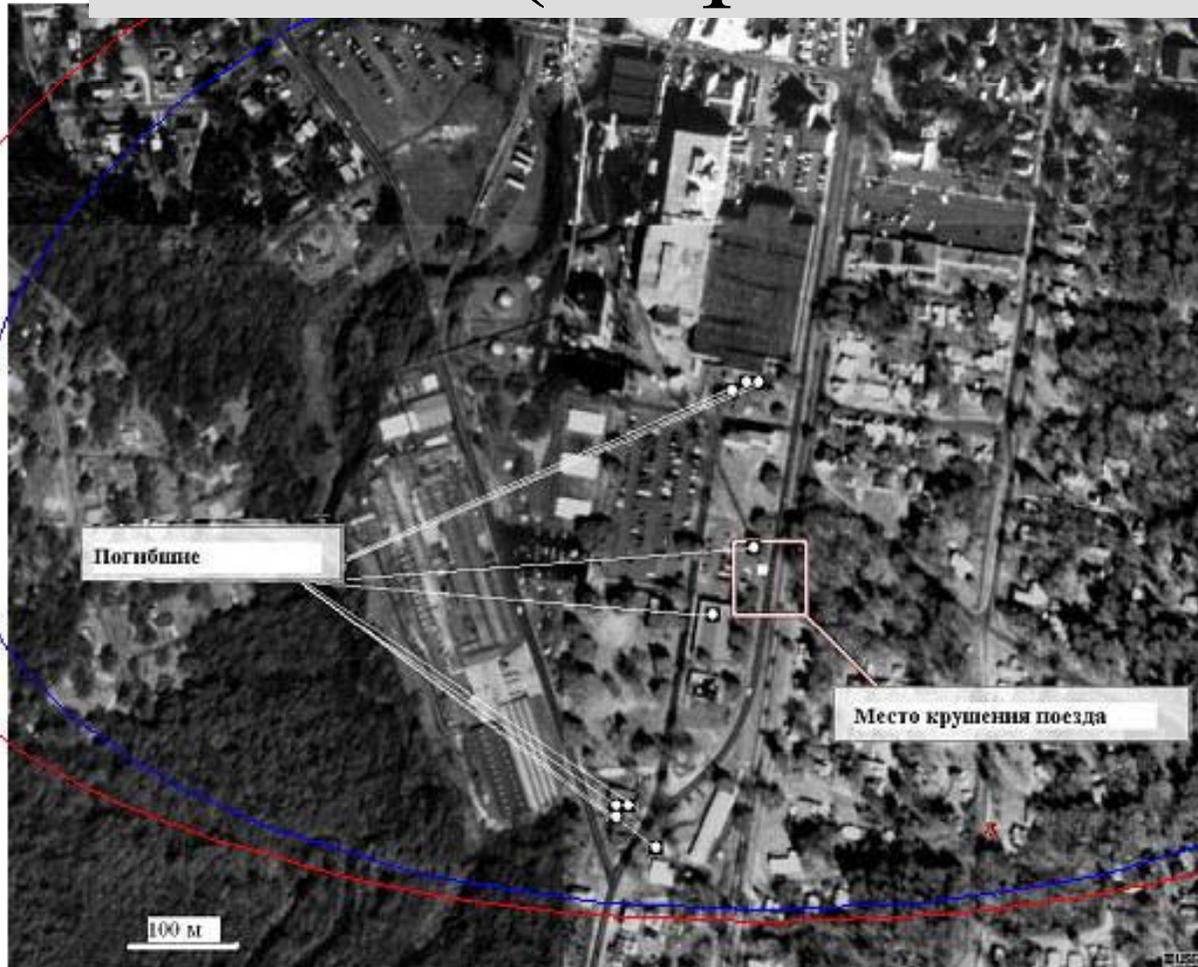




Методика «ТОКСИ-3» (авария в США, 2005 г.)



Методика «ТОКСИ-3» (авария в США, 2005 г.)





ВЫВОД

Разработанная НТЦ «Промышленная безопасность» методика РД-03-26-2007 показала хорошую способность давать прогноз с удовлетворительной точностью. Расчеты по методике РД-03-26-2007 («с помощью программного комплекса ТОКСИ+») хорошо согласуются с экспериментальными данными и происшедшими авариями.

