

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И
АТОМНОМУ НАДЗОРУ**
ПРИКАЗ
от 28 ноября 2022 г. N 415
ОБ УТВЕРЖДЕНИИ РУКОВОДСТВА
ПО БЕЗОПАСНОСТИ "МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ
АВАРИЙ НА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВАХ"

В соответствии с пунктом 5 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", пунктом 1 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 аварий на взрывопожароопасных химических производствах".

2. Признать утратившим силу приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N 160 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах".

Руководител
ь
А.В.ТРЕМБИЦ
КИЙ

**РУКОВОДСТВО
ПО БЕЗОПАСНОСТИ "МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА
ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВАХ"**

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности "Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах" (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 15 декабря 2020 г. N 533, зарегистрированным Минюстом России 25 декабря 2020 г., регистрационный N 61808, 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, зарегистрированным Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный N 29581, и требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности химически опасных производственных объектов", утвержденных приказом Ростехнадзора от 7 декабря 2020 г. N 500, зарегистрированным Минюстом России 22 декабря 2020 г., регистрационный N 61706.

2. Руководство содержит рекомендации к расчетам зон распространения опасных веществ в атмосфере и оценке параметров воздушных ударных волн при взрывах топливно-воздушных смесей (далее - ТВС), 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 химических производств.

3. Организации, осуществляющие оценку последствий аварийных взрывов ТВС, могут использовать иные обоснованные способы и методы, не указанные в Руководстве.

4. В Руководстве используются сокращения, обозначения, а также термины и определения, приведенные в приложениях N 1 и N 2.

5. Руководство распространяется на опасные производственные объекты, на которых обращаются взрывопожароопасные вещества.

II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

6. При количественной оценке последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах рекомендуется проводить:

- а) определение количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов аварии;

б) определение количественных параметров, характеризующих действие поражающих факторов (давление и импульс для ударных волн, интенсивность теплового излучения для пламени, размеры пламени и зоны распространения высокотемпературной среды при термическом воздействии, дальность дрейфа облака ТВС до источника зажигания);

в) сравнение рассчитанных количественных параметров с критериями поражения (разрушения).

7. Для определения количества опасного вещества (далее - ОВ), участвующего в создании поражающих факторов аварии, рекомендуется учитывать: деление технологического оборудования и трубопроводов на

изолируемые запорной арматурой секции (участки); интервал срабатывания и производительность систем аварийного сброса и опорожнения (в том числе на факел); влияние волновых гидродинамических процессов на режим истечения опасного вещества для протяженных трубопроводных систем (длиной более 500 м).

8. Оценку возможных последствий аварий рекомендуется проводить на основе методических документов, указанных в таблице N 1.

Таблица N 1

Назначение	Документ
Расчет параметров ударной волны, зон поражения и разрушения при воспламенении взрыве облаков ТВС	Руководство по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей"
Расчет концентрации, массы ОБ во взрывоопасных пределах и зон поражения при пожаре-вспышке и взрыве ТВС	Руководство по безопасности "Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ"
Определение параметров воздействия и зон поражения при горении пролива, огненном шаре, факельном горении	Методика определения величин пожарного риска на производственных объектах
Расчет параметров воздействия и зон поражения при горении ОБ в зданиях	
Расчет параметров воздействия и зон поражения продуктами горения	
Расчет параметров воздействия и зон поражения осколками	Руководство по безопасности "Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа"

9. Для более точного расчета, а также расчета последствий аварий с выбросом ОБ и взрывом облака ТВС в помещениях рекомендуется использовать методы вычислительной гидродинамики в соответствии с разделом III Руководства.

III. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА ТВС

10. Для моделирования распространения опасных веществ рекомендуется проводить численное интегрирование системы уравнений в частных производных, представимых в виде уравнений (1) - (5).

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho) + \sum_j \frac{\partial}{\partial x_j} (\beta \rho u_j) = \frac{m}{V} \cdot (1)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho u) + \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial x^i} \left(\beta_j \rho u_j^i \right) - \beta_v \frac{\partial}{\partial x^i} \left(\beta_j \sigma_{ij} \right) - F_{o,i} - F_{w,i} - \beta_v (\rho - \rho_0) g_i = 0, \quad (2)$$

где: τ_{ij} - тензор напряжений;

$F_{w,j}$ - сопротивление потока стенкам;

$F_{o,i}$ - сопротивление потока препятствиям, чей размер меньше одной ячейки вычислительной сетки:

$$F_{o,i} = \rho \left| \frac{\partial \beta}{\partial x_i} \right| u_i |u_i|.$$

Уравнение переноса для энтальпии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\beta \rho u_j h) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_{ef} \frac{\partial h}{\partial x_j}) = \frac{Dp}{Dt} + \dot{Q}. \quad (3)$$

Уравнение переноса для массовой доли топлива:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho Y_{fuel}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\beta \rho u_j Y_{fuel}) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_{ef} \frac{\partial Y_{fuel}}{\partial x_j}) = R_{fuel}. \quad (4)$$

где R_{fuel} - скорость реакции топлива.

Уравнение переноса для доли смешения:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho \xi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\beta \rho u_j \xi) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_{ef} \frac{\partial \xi}{\partial x_j}) = 0. \quad (5)$$

11. Турбулентность рекомендуется моделировать по модели $k-\epsilon$, которая состоит из двух уравнений: одно - для кинетической энергии турбулентности (6), второе - для диссипации кинетической энергии турбулентности (7).

Уравнение турбулентной кинетической энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\beta \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\beta \rho u_j k) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_{ef} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + \beta P = \beta \rho \epsilon. \quad (6)$$

Уравнение скорости диссипации турбулентной кинетической энергии:

$$\mu_{ef} = \rho \nu \epsilon + C_{2\varepsilon} \beta_{\nu\rho} \frac{\beta_j}{\epsilon} \sigma_{\rho j} \quad (7)$$

12. Тензор турбулентных вязких напряжений, используемый в уравнении (2), рекомендуется определять

следующим образом:

$$\sigma_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij}, \quad (8)$$

где эффективная вязкость определяется следующим образом:

$$\mu_{eff} = \mu + \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon}, \quad (9)$$

где $\rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ - турбулентная или вихревая вязкость.

13. Вклад сдвиговой турбулентности G_s , движения поверхностей G_w , гравитационной турбулентности G_b и препятствий, чей размер меньше одной ячейки G_o , в образование кинетической энергии турбулентности рекомендуется представлять в виде:

$$P_k = G_s + G_w + G_b + G_o \quad (10)$$

где:

$$G_s = \sigma_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}; \quad (11)$$

$$G_b = \frac{1}{\rho} \frac{\mu_{eff}}{\sigma_b} g_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i}; \quad (12)$$

$$G_o = C_0 \beta_v \rho |u| u_i f_i; \quad (13)$$

14. Диссипацию турбулентной энергии рекомендуется описывать уравнением:

$$P = C_\varepsilon \frac{\varepsilon}{k} P \left(1 - C_{Rf} \frac{R}{f} \right), \quad (14)$$

где модель плавучести определяется следующим образом:

$$R_f = \frac{G_b |u \times g|}{P_k |\vec{u}| |\vec{g}|}.$$

Для моделей с вихревой вязкостью тензор напряжений Рейнольдса определяется следующим образом:

$$\rho u'' u'' = \mu \left(\frac{\partial u''}{\partial x} + \frac{\partial u''}{\partial x} \right)$$

u_i

$$i \quad j \quad eff \quad \frac{u_j}{x_i} \quad \rho_3^{k\delta ij} \quad (15)$$

В уравнениях (10) - (15) используются константы, сведения о которых приведены в таблицах N 2 и N 3.

Значения коэффициентов модели Лаундера и Спалдинга

C_μ	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	C_3 ε
0,09	1,44	1,92	0,8

Таблица N 3

Значения коэффициентов модели турбулентности Прандтля-Шмидта

σ_h	σ_{fuel}	σ_ξ	σ_k	σ_ε	σ_b
0,7	0,7	0,7	1,0	1,3	0,9

15. У поверхности земли рекомендуется учитывать эффекты пограничного слоя. Характеристический масштаб в приграничном слое определяется по формуле:

$$L \approx \frac{\rho}{c_p T_a} \frac{u_a^*}{g H_s}, \quad (16)$$

где: ρ_a и T_a - плотность и температура

среды; c_p - изобарная теплоемкость;

k - кинетическая энергия

турбулентности; g - гравитационная

постоянная;

H_s - поток тепла от

поверхности; u^* - скорость

трения.

Масштаб Монины-Обухова (таблица N 4) является мерой стабильности атмосферных пограничных слоев.

Таблица N 4

Масштабы Монины-Обухова и классы устойчивости

Масштаб Монины-Обухова, м	Устойчивость
Малый отрицательный, $-100 < L < 0$	Очень неустойчивая
Большой отрицательный, $-10^5 < L < 100$	Неустойчивая
Очень большой, $ L > 10^5$	Нейтральная

Большой положительный, $10 < L < 10^5$	Устойчивая
Малый положительный, $0 < L < 10$	Очень устойчивая

16. Масштаб Монина-Обухова рекомендуется оценивать с помощью классов по Паскуиллу, которые являются методом классификации количества турбулентности в атмосфере.

Распределение скорости по высоте:

$$U(z) = \frac{u^*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} + \psi_u(z) \quad \text{при } z_0 > 0$$

$$U(z) = U_0 \quad \text{при } z_0 = 0$$

(17)

Скорость сдвига:

$$u^* = \frac{U_0 \kappa}{\ln \left(\frac{z_d}{z_0} + \psi_u \right)}, \quad (18)$$

$$\psi_u = \int_{z_0}^z \frac{dz}{z}$$

где ψ_u

определяется по формуле:

$$\psi_u(z) = \begin{cases} 0 & \text{для класса устойчивости D} \\ \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \xi}{2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \xi^2}{2} + \arctan(\xi) - \frac{\pi}{4} & \text{при } L > 0; \end{cases} \quad (19)$$

$$\xi = \left(\frac{z}{L} \right)^{1/4}$$

$$\psi_u(z) = 17 \exp(-0,29 \frac{z}{L}) \quad \text{при } L = 0,$$

где

$$\xi = (1 + 16z/L)^{1/4} \quad (20)$$

17. В таблице N 5 приведены параметры, необходимые для расчета скорости, κ и ϵ в пограничных слоях.

Масштабы Монина-Обухова и классы устойчивости

Класс Паскуилла	Устойчивость	Высота пограничного слоя	L_s , м	z_s , м
A	Неустойчивая	1500 м	$33,16 \frac{L}{2}$	1117
B	Неустойчивая	1500 м	$33,25 \frac{L}{8}$	11,46
C	Слабо неустойчивая	1000 м	$51,78 \frac{L}{7}$	1,324
D	Нейтральная	$\min \left[500 \text{ м}, 0,3 \frac{u^* L}{L_f} \right]$	1	0
E	Слабо устойчивая	$0,4 \sqrt{\frac{u^* L}{f}}$	-48,33	1,262
F	Устойчивая	$0,4 \sqrt{\frac{u^* L}{f}}$	$31,32 \frac{L}{3}$	19,36

По приведенным данным из таблицы N 5 масштаб Монина-Обухова рассчитывается следующим образом:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_s} \log \frac{z_0}{z_s} \quad (21)$$

18. Для неустойчивых пограничных слоев (A, B и C) параметры рекомендуется рассчитывать по формулам:

$$k(z) = \begin{cases} 0,36 \omega^2 \left[0,85 u^* \frac{z}{L} \right]^2 & \text{при } z \leq 0,1h; \\ 0,8 \left[0,36 \left(0,9 \frac{z}{h} \right)^2 \right] \omega^2 & \text{при } z > 0,1h; \end{cases} \quad (22)$$

$$\varepsilon(z) = \begin{cases} \frac{u^*{}^3}{kz} \left[1 - 0,5 \left| \frac{z}{L} \right|^{2/3} \right]^2 & \text{при } z \leq 0,1h; \\ \omega^3 z & \text{при } z > 0,1h; \end{cases} \quad (23)$$

$$\frac{\omega^*}{h} = 0,8 - 0,3 z \quad \text{при } z \leq 0,1h,$$

$$\frac{\omega^*}{h} = \bar{h}$$

где ω^* - скорость передачи тепла,

$$\omega^* = \frac{gq h^{1/3}}{T_0 \rho c_p}, \quad (24)$$

где h - коэффициент теплопередачи, плотность ρ и теплоемкость c_p воздуха получены при температуре T_0 и ρ_0 плотности окружающей среды.

19. Для нейтральных и устойчивых пограничных слоев:

$$k(z) = \begin{cases} 6u^{*2} & \text{при } z \leq 0,1h; \\ 6u^{*2} \left(1 - \frac{z}{1,75h}\right) & \text{при } z > 0,1h; \end{cases} \quad (25)$$

$$\varepsilon(z) = \begin{cases} \frac{u^{*3}}{kz} \left(1,24 + 4,3 \frac{z}{L}\right) & \text{при } z \leq 0,1h; \\ \frac{u^{*3}}{kz} \left(1,24 + 4,3 \frac{z}{L}\right) \left(1 - \frac{z}{0,85h}\right) & \text{при } z > 0,1h. \end{cases} \quad (26)$$

20. Ламинарную скорость пламени смеси горючих веществ рекомендуется оценивать по формулам (27) - (28).

Зависимость скорости ламинарного горения от давления:

$$S_L = S_L^0 \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\gamma_P} \quad (27)$$

Для квазиламинарного режима горения:

$$S_{QL} = S_L \left(1 - \chi_{\min}\right)^{0,5} \quad (28)$$

где R - газовая постоянная для конкретного вещества или смеси:

$$R = \frac{R_u}{M}, \quad (29)$$

где: R_u - универсальная газовая постоянная; M - молярная масса.

21. Турбулентную скорость пламени рекомендуется определять по формуле:

$$S = 15 S_u^{0,784} l^{0,412} \tilde{u}^{0,190} \quad (30)$$

T L I

22. Скорость пламени рекомендуется определять по следующему соотношению:

$$S_u = \max(S_{QL}, S_T). \quad (31)$$

23. Коэффициент диффузии из уравнения переноса топлива определяется по формуле:

$$D = \frac{\mu_{eff}}{\sigma_{fuel}}. \quad (32)$$

Безразмерную скорость реакции и коэффициент диффузии можно определить по следующим соотношениям:

$$W^* = \frac{W}{\beta} = W \frac{l_{LT}}{\Delta_g}; \quad (33)$$

$$D^* = D\beta = D \frac{g}{l_{LT}}, \quad (34)$$

где: l_g - длина контрольного объема в первом слое над поверхностью земли;

l_{LT} - перемешивание,

$$l_{LT} = C \kappa^{3/2} \varepsilon^{-1}. \quad (35)$$

При заданном пределе затухания $\chi_q = 0,05$ получено следующее соотношение между коэффициентом диффузии D и безразмерной скоростью реакции W :

$$WD = 1,37 S_u^2 = W^* D^*, \quad (36)$$

где:

$$W^* = c \frac{S_u}{\beta \Delta_g}; \quad (37)$$

$$D^* = c \frac{S_u}{2\beta g}. \quad (38)$$

Скорость реакции топлива моделируется следующим образом:

$$R_{fuel} = W^* \rho \min(\delta(\chi_H = \chi), \chi_q^9 = 9\chi), \quad (39)$$

где δ_H - функция Хевисайда.

24. Примеры моделирования аварий с использованием методов вычислительной гидродинамики приведены в приложении N 3 к Руководству.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

В Руководстве применены следующие обозначения и

сокращения: **ОВ** - опасное вещество;

ТВС - топливно-воздушная смесь;

β - объемная пористость;

β_i - поверхностная пористость в i -м направлении;

β_p - показатель степени давления для ламинарного горения;

δ_{ij} - дельта функция, $\delta_{ij} = 1$, если $i = j$ и $\delta_{ij} = 0$, если $i \neq j$;

δ_H - функция Хевисайда, тэта-функция; $\delta_H(a - b) = 1$, если $a \geq b$ и $\delta_H(a - b) = 0$, если $a < b$;

ε - диссипация турбулентной кинетической энергии, $m^2 \cdot c^{-3}$;

ξ - доля компонента смеси;

μ - динамическая вязкость, $Pa \cdot c$;

μ_t - динамическая турбулентная вязкость, $Pa \cdot c$;

μ_{eff} - эффективная вязкость, $\mu \leq \mu_t$;
 $Pa \cdot c$, μ_{eff}

ρ - плотность, $kg \cdot m^{-3}$;

ρ_a - плотность окружающей среды, $kg \cdot m^{-3}$;

σ_ε , σ_ξ , σ_b , σ_k , σ_{fuel} , σ_h - турбулентные числа Прандтля-Шмидта,

σ_{ij} - компонента тензора напряжений, $N \cdot m^{-2}$;

λ - прогрессная переменная, локализующая фронт пламени,

$$\chi = \frac{0}{Y + \xi(Y^{1-\lambda})} Y_{fuel}$$

$$\frac{Y^0}{fuel} \left) \frac{fuel}{fuel} \right);$$

q - предел затухания;

ω^* - скорость передачи тепла;

Δg - длина контрольного объема в первом слое над поверхностью земли;

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$, C_μ , - константы $k-\varepsilon$ модели турбулентности, как правило, $C_{1\varepsilon} \approx 1,44$, $C_{2\varepsilon} \approx 1,92$,
 $C_{3\varepsilon} \approx 0,8$, $C_\mu \approx 0,09$;

c_p - изобарная теплоемкость воздуха;

\vec{g} - вектор ускорения свободного падения;

g_i - компонента вектора ускорения свободного

падения; g - гравитационная постоянная;

f - коэффициент, характеризующий турбулизацию от препятствий меньшего размера, чем размер расчетной сетки;

$F_{w,i}$ - сопротивление потока стенкам;

$F_{o,j}$ - сопротивление потока препятствиям, чей размер меньше одной ячейки вычислительной сетки; h - энтальпия, Дж·кг⁻¹;

H_s - поток тепла от поверхности

земли; H - коэффициент

теплопередачи;

k - кинетическая турбулентная энергия,

м²·с⁻²; L - масштаб Монино-Обухова, м;

l_{LT} -

перемешивание; M

- молярная масса;

m - масса, кг;

\dot{m} - скорость изменения массы,

кг·с⁻¹; p - абсолютное давление, Па;

P_0 - среднее давление, Па;

P_ε - член, описывающий диссипацию кинетической турбулентной энергии;

P_k - член, описывающий генерацию кинетической турбулентной

энергии; Q - теплота, Дж;

\dot{Q} - скорость потока тепла, Дж·с⁻¹;

R - газовая постоянная смеси, Дж·кг⁻¹·К;

R_u - универсальная газовая постоянная,

Дж·кг⁻¹·К; R_{fuel} - скорость реакции топлива,

кг·м⁻³·с⁻¹;

S_L - ламинарная скорость пламени, м·с⁻¹;

S_T - турбулентная скорость пламени, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

S_{QL} - квазиламинарная скорость пламени,

$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; t - время, с;

T_a - температура окружающей среды, К;

\vec{u} - вектор скорости;

u_i - компонент вектора скорости, м/с;

u^* - динамическая скорость (скорость сдвига),

м/с; U_0 - характеристическая скорость, м/с;

V - объем, м^3 ;

x_j - линейная координата,

м; Y - массовая доля;

z - высота над землей, м;

z_0 - коэффициент шероховатости, м.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В 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;

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;

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;

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".

**ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ГИДРОДИНАМИКИ**

Пример 1

В результате полного разрушения емкости произошел выброс пропана в газовой фазе. Скорость ветра 4 м/с, температура окружающей среды 20 °С, класс устойчивости атмосферы по Паскуиллу - F. На расстоянии 10 м по направлению ветра от емкости находится непроницаемое препятствие высотой 3 м. На рисунке 3-1, приведены профили распространения облака пропана в различные моменты времени.

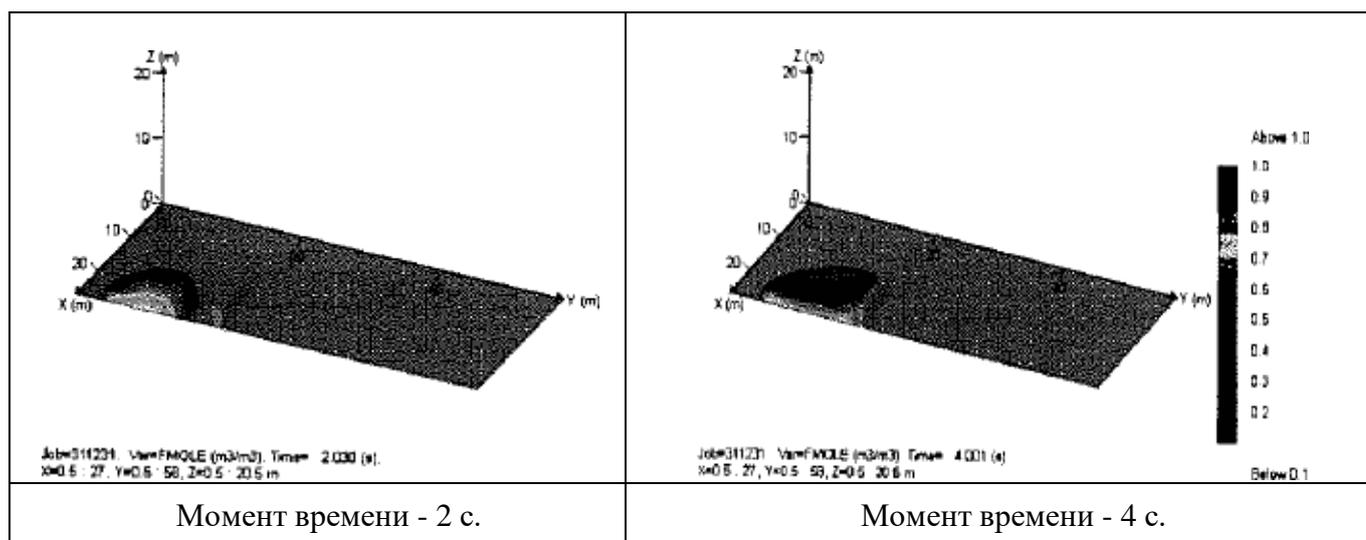


Рисунок 3-1. Профили распространения облака пропана по направлению ветра в различные моменты времени (горизонтальная поверхность с препятствием) (начало).

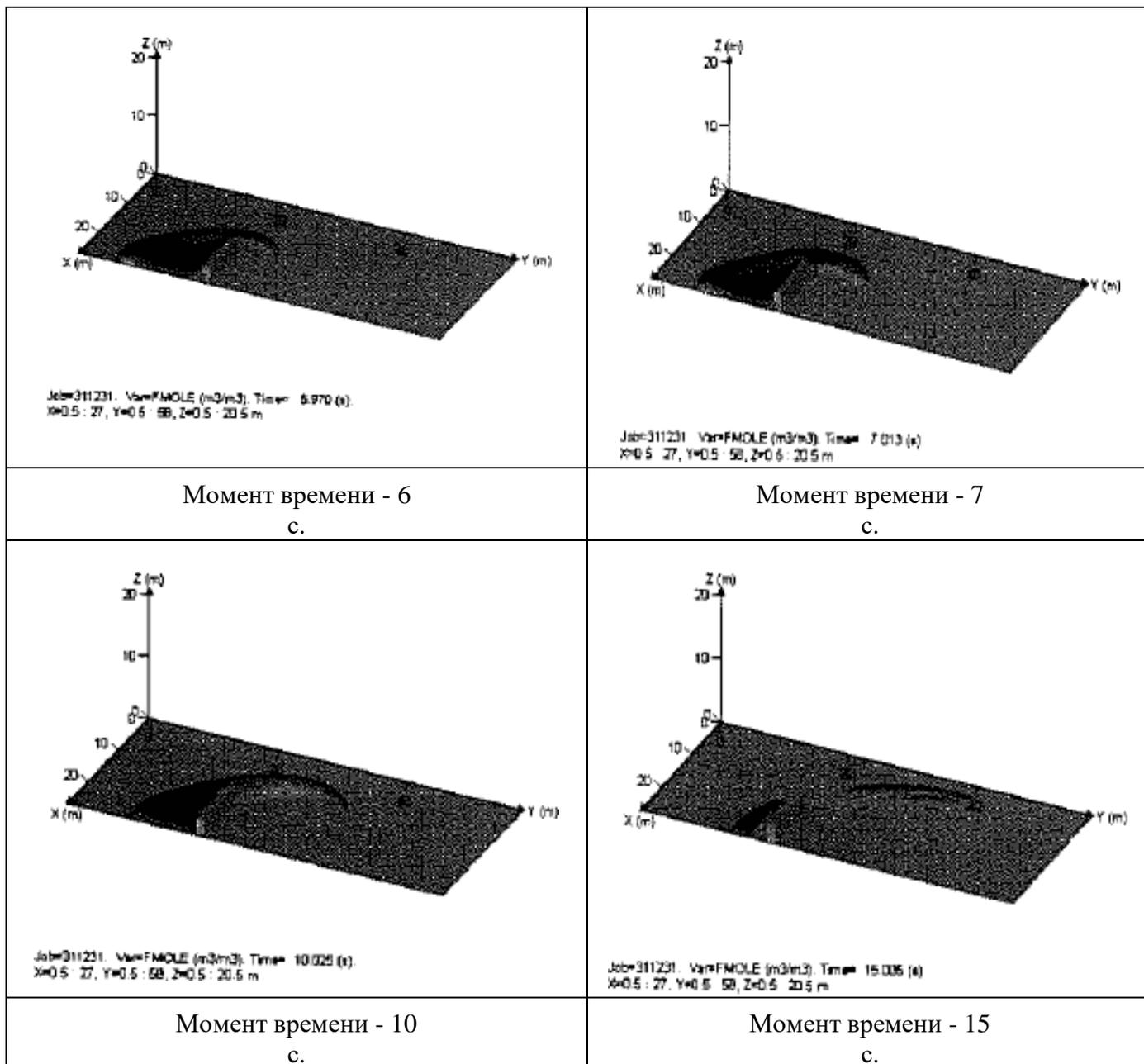


Рисунок 3-1. Профили распространения облака пропана по направлению ветра в различные моменты времени (горизонтальная поверхность с препятствием) (окончание).

Пример 2

В результате полного разрушения емкости произошел выброс пропана в газовой фазе. Скорость ветра 4 м/с, температура окружающей среды 20 °С, класс устойчивости атмосферы по Паскуиллу - F. На расстоянии 10 м по направлению ветра от емкости находится наклонная вверх поверхность. На рисунке 3-2 приведены профили распространения облака пропана в различные моменты времени.

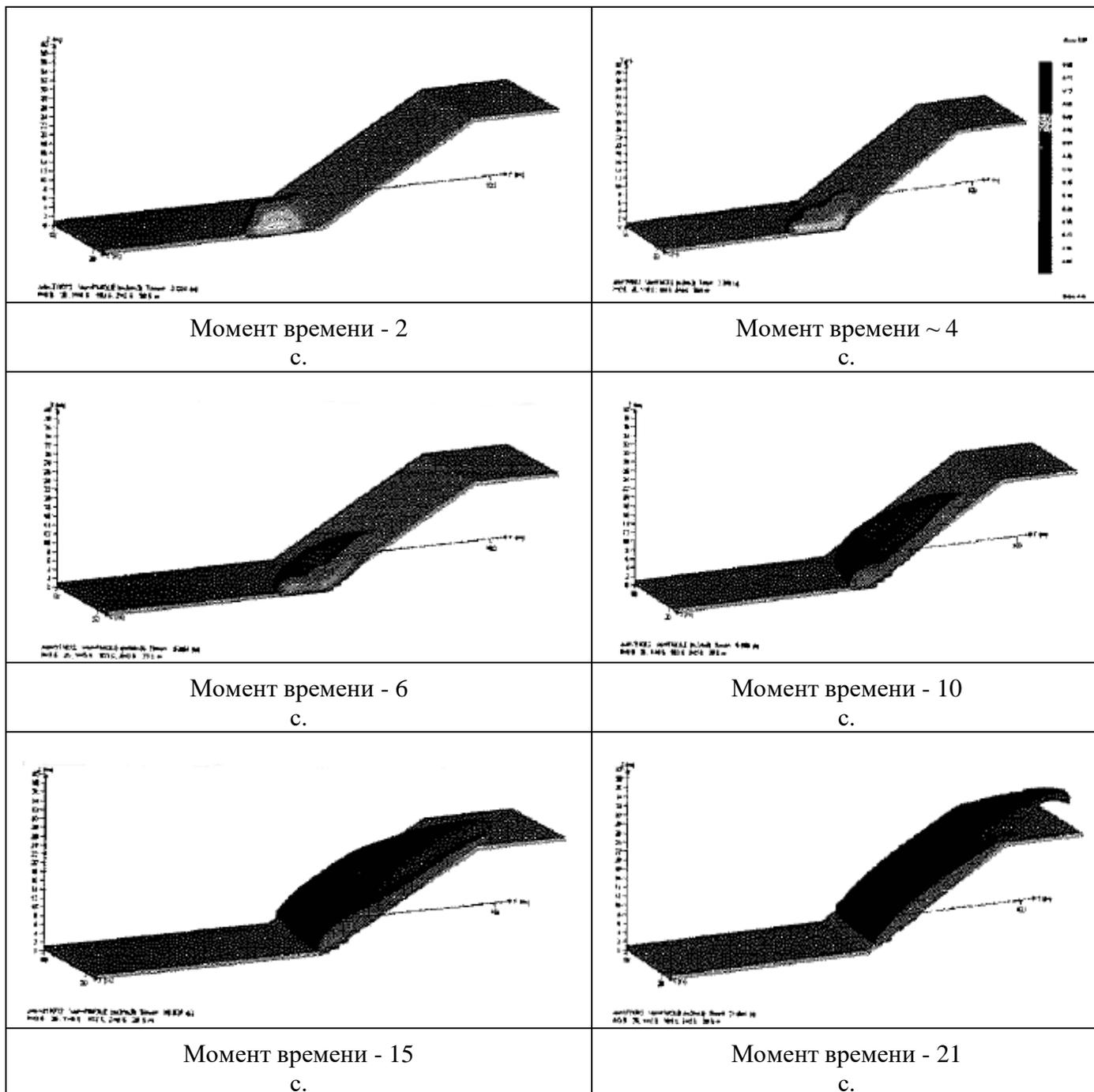


Рисунок 3-2. Профили распространения облака пропана по направлению ветра в различные моменты времени (подъем в горку).

Пример 3

В результате полного разрушения емкости произошел выброс пропана в газовой фазе. Скорость ветра 4 м/с, температура окружающей среды 20 °С, класс устойчивости атмосферы по Паскуиллу - F. Емкость расположена на возвышенности в 10 м от наклонной вниз поверхности. На рисунке 3-3 приведены профили распространения облака пропана в различные моменты времени.

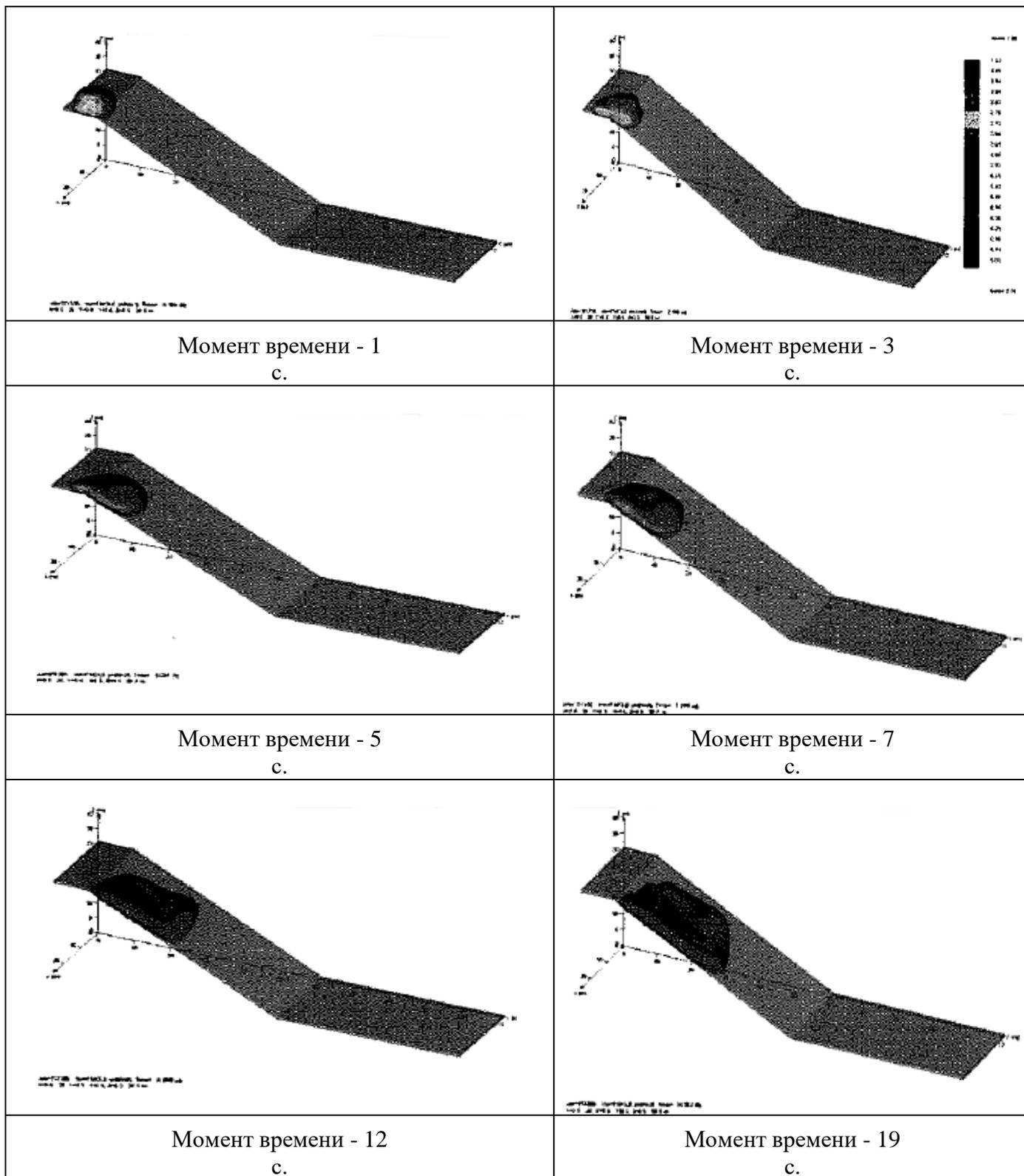


Рисунок 3-3. Профили распространения облака пропана по направлению ветра в различные моменты времени (спуск вниз).

Пример 4

В прямоугольном ангаре, заполненном трубами, произошел взрыв ТВС. На расстоянии 10 м и 25 м от ангара расположены квадратные препятствия. На рисунке 3-4 приведены распределения давления при взрыве облака ТВС. На рисунке 3-5 приведены распределения продуктов горения при взрыве облака ТВС.

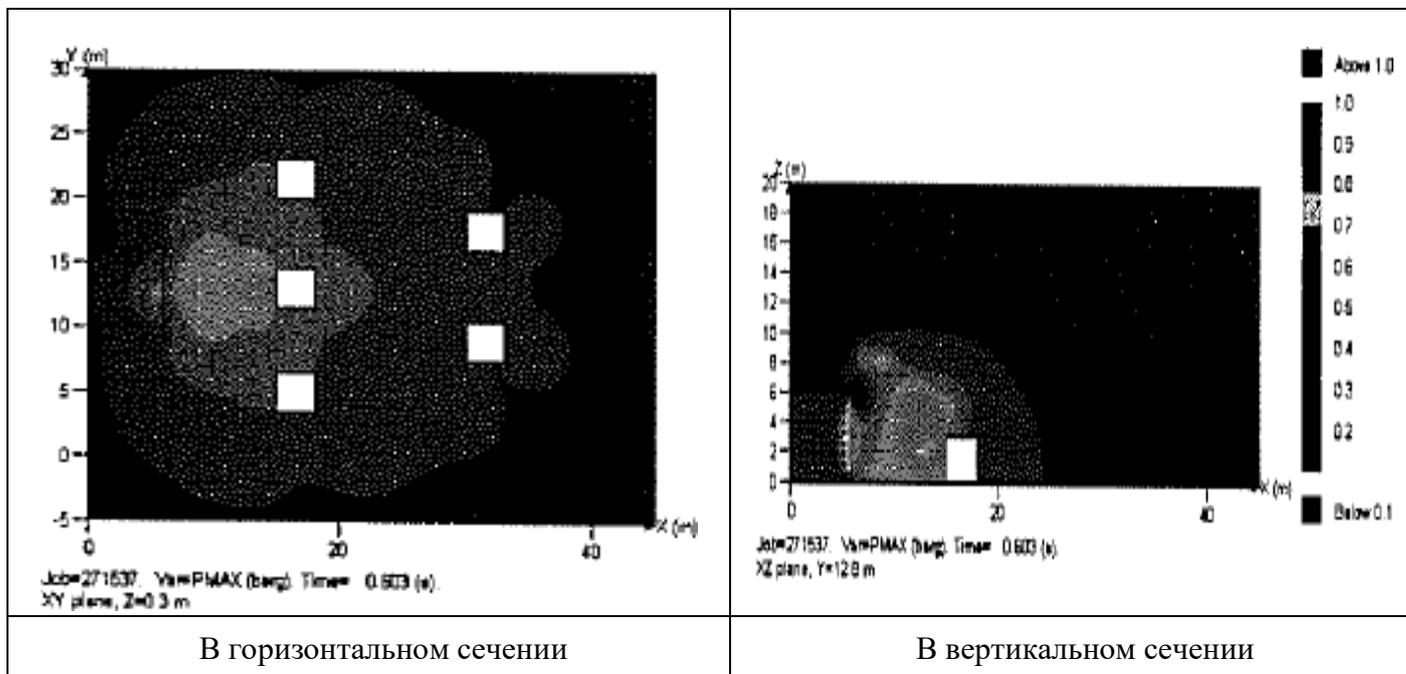


Рисунок 3-4. Распределение давления при взрыве облака ТВС.

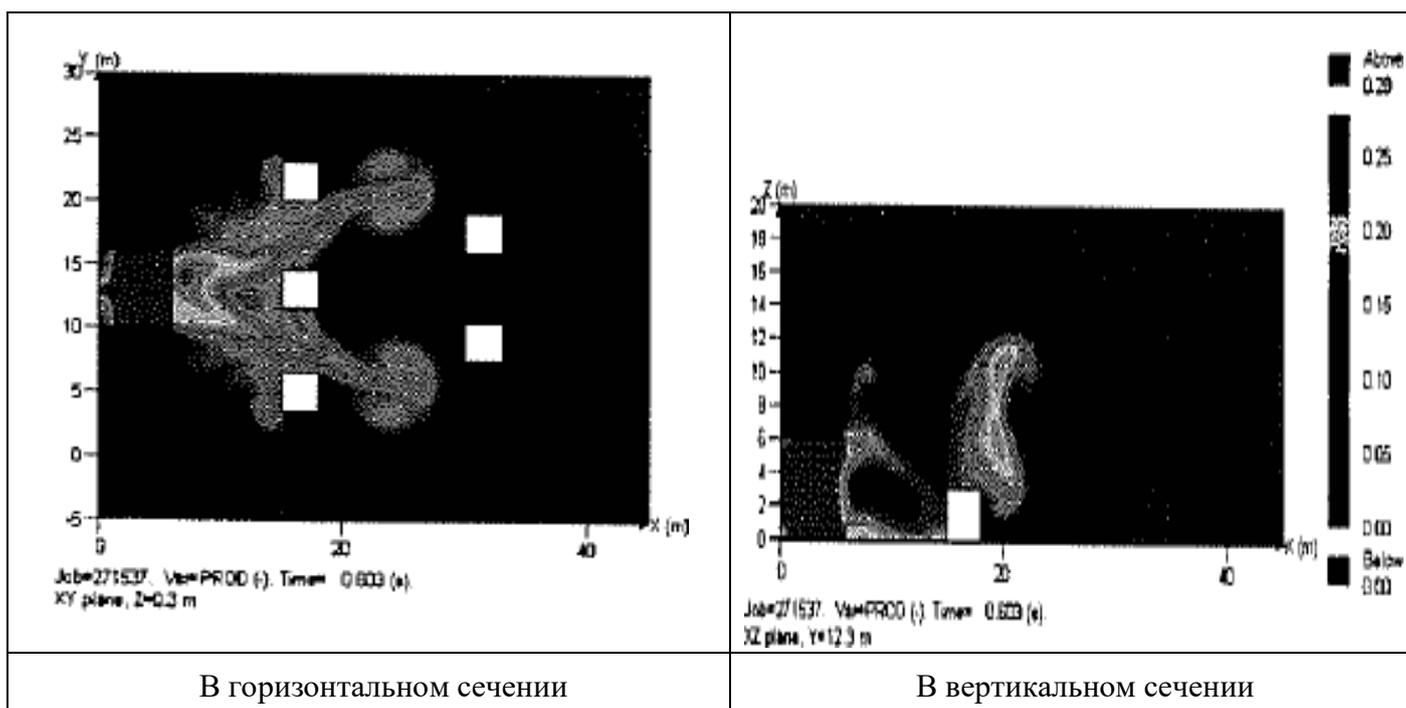


Рисунок 3-5. Распределение продуктов горения при взрыве облака ТВС.

Пример 5

В загроможденном производственном модуле произошел взрыв ТВС.

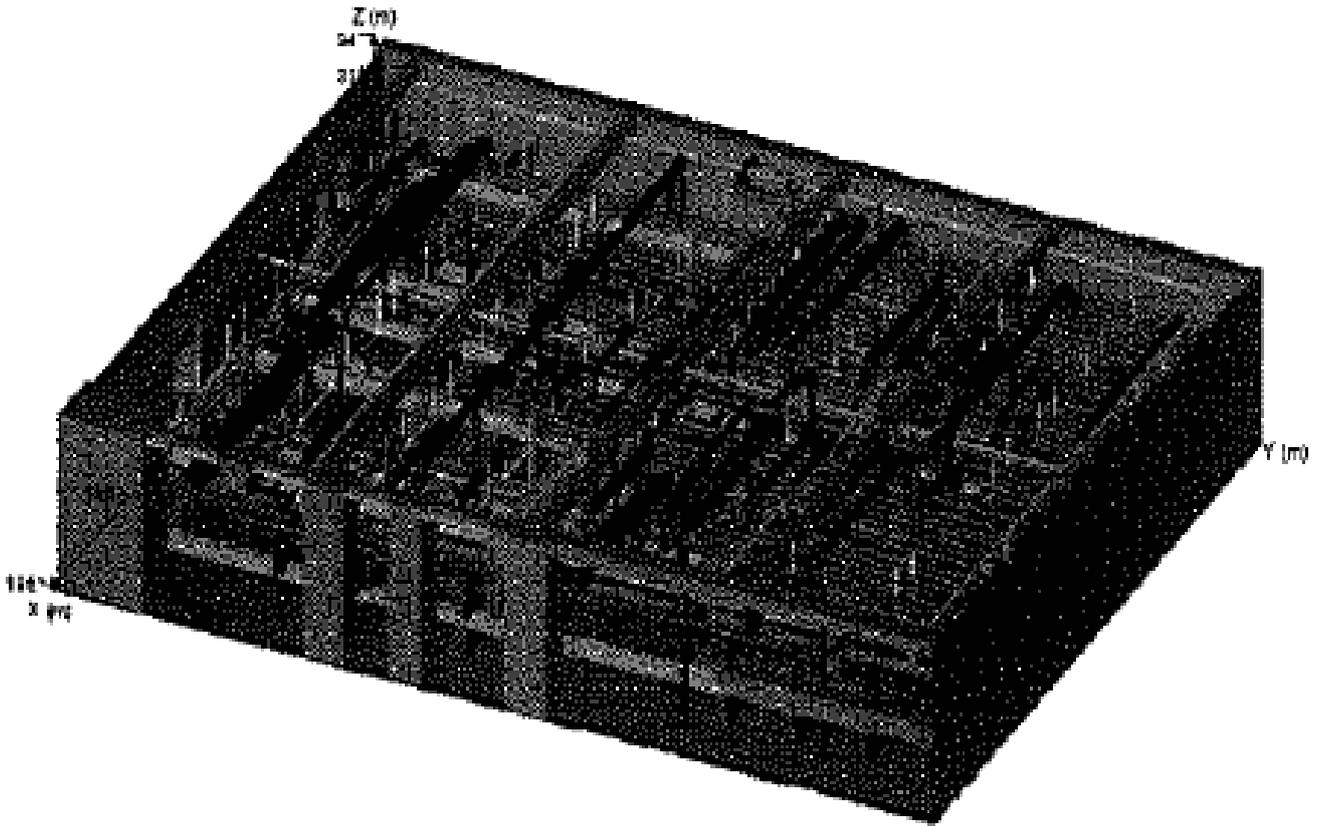


Рисунок 3-6. Схема модуля (направление на север соответствует оси Oy).

Параметры модуля: 25,5 x 20,5 x

5,5 м. Объем модуля: 2875 м³.

Площади боковых поверхностей: 112,75 м² (южная/северная стена); 140,25 м² (западная/восточная стена).

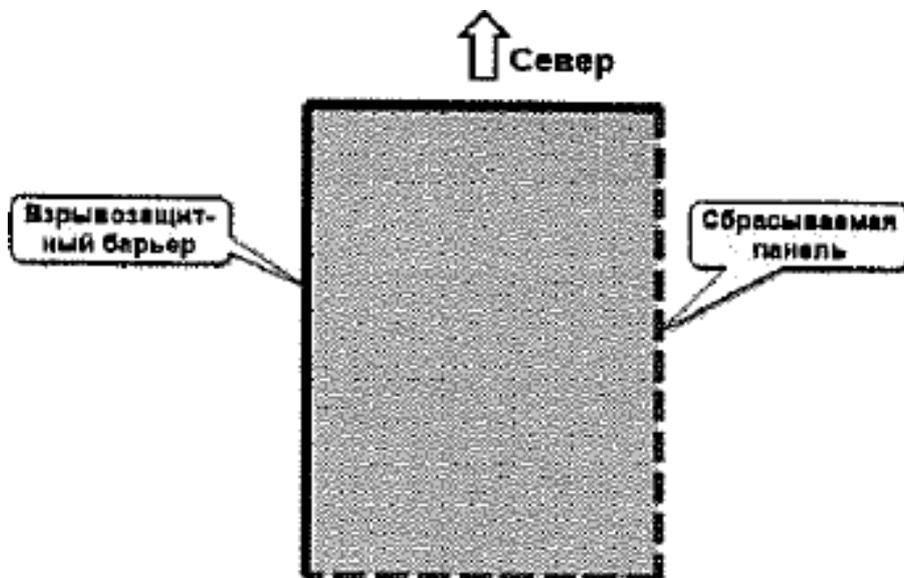


Рисунок 3-7. Конфигурация стен модуля (вид сверху).

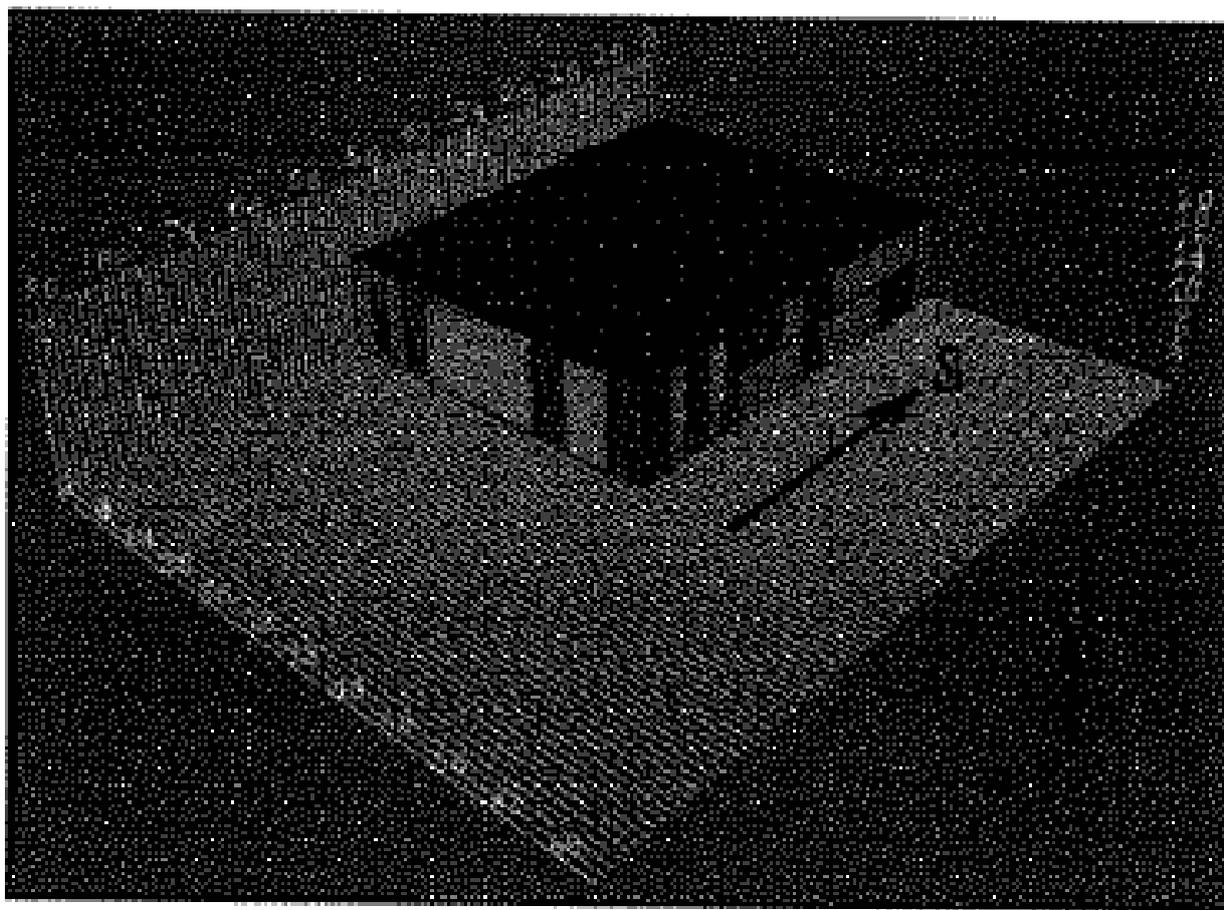


Рисунок 3-8. Моделирование объекта в программном комплексе.

На южной и восточной стенах расположены легкобрасываемые конструкции, которые составляют 62 - 68% площади соответствующей боковой стены. На южной стороне их площадь составляет 76,75 м², а на восточной - 87 м².

Легкобрасываемые конструкции (ЛСК) срабатывают при избыточном давлении 0,05 атм.

Состав смеси: метан 87,44%;
этан 6,43%;
пропан 3,13%;
бутан 2,57%;
СО₂ 0,01%;
Н₂О 0,01%.

Загроможденность 1 (неравномерная), загроможденность 2 (равномерная).

Координаты места воспламенения
1: (6; 5,5; 3);
2: (12; 10; 3);
3: (20; 15; 3).

Сценарии моделирования

Номер эксперимента	Загроможденность	Угол раскрытия панели, % (или площадь панели)	Координата места воспламенения
21100 1	1	100	1
21100 2	1	100	2
21100 3	1	100	3
21070 1	1	70	1
21070 2	1	70	2
21070 3	1	70	3
22100 1	2	100	1
22100 2	2	100	2
22100 3	2	100	3
22070 1	2	70	1
22070 2	2	70	2
22070 9	2	70	3

Таблица N 2

Значение избыточного давления P_{\max} при
различных сценариях
моделирования

	Место воспламенения	Значение избыточного давления P_{\max} , бар.	
		Угол раскрытия ЛСК (или площадь панели)	
		100 %	70 %
1	1	10	13
	2	4,7	6

загроможденност ь	3	12	13
2 загроможденност ь	1	8	10
	2	3,9	4,6
	3	12	13

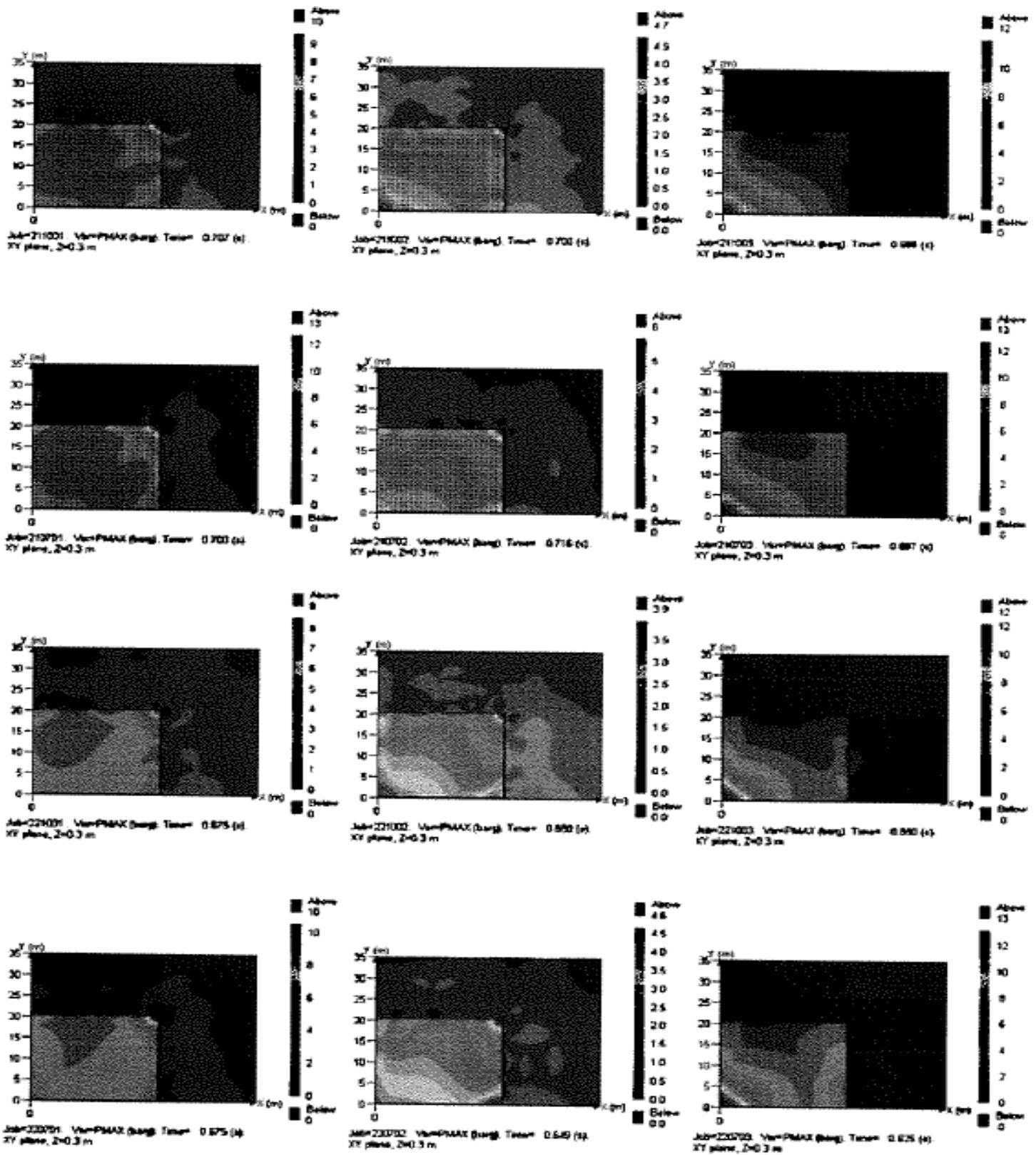


Рисунок 3-9. Распределение давления при взрыве облака ТВС при различных сценариях моделирования.

Оглавление:

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	2
II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ	2
III. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА ТВС	3
Приложение N 1	11
СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ	11
Приложение N 2	14
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	14
Приложение N 3	15
ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ	15

25 лет



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ **ТЕХКРАНЭНЕРГО**

Организация оказывает комплексы работ:

<p>Экспертные услуги по промышленной безопасности</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Экспертиза промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений, документации на опасных производственных объектах (ОПО) • Обследование строительных конструкций, зданий, сооружений. • Разработка планов мероприятий (ПЛА, ПМЛА), ПЛАРН, технологических регламентов, паспортов технических устройств, техническое освидетельствование.
<p>Консультационные услуги по промышленной безопасности</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Промышленный аудит предприятий, т.е. проведение обследования предприятий на соответствие требованиям промышленной безопасности. • Идентификация и классификация ОПО по четырем классам опасности, сопровождение в Ростехнадзоре. • Помощь при лицензировании деятельности на эксплуатацию ОПО.
<p>Проектирование</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Проектирование новых производств. • Инженерные изыскания (обследование, оценка состояния). • Разработка проектов технического перевооружения, консервации, ликвидации ОПО.
<p>Оценка соответствия</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Сертификация оборудования на соответствие регламентам: ТР ТС 010/2011; ТР ТС 011/2011; ТР ТС 016/2011; ТР ТС 032/2013; ТР ТС 004/2011; ТР ТС 020/2011. • Оценка соответствия лифтов (декларация, полное и периодическое техническое освидетельствование). • Специальная оценка условий труда (рабочих мест).
<p>Обучение, аттестация</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Профессиональное обучение (более 150 рабочих профессий). Предаттестационная подготовка (промышленная безопасность, электробезопасность). Охрана труда. Пожарная безопасность. • Аттестация лабораторий и специалистов неразрушающего контроля (ЛНК)
<p>Экологическая безопасность</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка проектов ПДВ, ПДС, обоснование деятельности по обращению с отходами. • Разработка проектов санитарно-защитной зоны предприятия (СЗЗ). • Лабораторные исследования, отбор и первичная обработка проб.
<p>Строительство, монтаж</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Электромонтажные, электроремонтные и электроизмерительные работы. • Испытания и измерения электроустановок потребителей. • Монтаж, наладка, ремонт и техническое обслуживание приборов безопасности.



Наш сайт: krantest.ru Telegram-канал: [@tke_bot](https://t.me/tke_bot)

Кузнецов Максим Борисович

Почта: po@tke.ru

Телефоны: +7 (4922) 33-15-50, +7 (910) 174-84-80

15.01.2023