



Серия 27

Декларирование промышленной  
безопасности и оценка риска

Выпуск 2

**МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Сборник документов

2010

---

Нормативные документы в сфере деятельности  
Федеральной службы по экологическому,  
технологическому и атомному надзору

---

**Серия 27**

**Декларирование промышленной  
безопасности и оценка риска**

**Выпуск 2**

**МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Сборник документов**

*3-е издание, исправленное и дополненное*

Москва  
ЗАО НТЦ ПБ  
2010

---

ББК 30н  
М54

Ответственные составители-разработчики:  
**Е.А. Иванов, А.А. Агапов, К.В. Буйко, Б.Е. Гельфанд,  
Ю.А. Дадонов, А.М. Ильин, Ю.Ф. Карabanов,  
М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров,  
С.И. Сумской, А.А. Шаталов, А.В. Пчельников**

**М54** Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 208 с.

ISBN 978-5-9687-0206-7.

В настоящий Сборник включены методики оценки опасностей, входящие в состав нормативных документов Госгортехнадзора России, а также исправленные и дополненные методики оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей и оценки последствий химических аварий, разработанные ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность». Методики позволяют оценить последствия аварий со взрывами топливно-воздушных смесей и конденсированных взрывчатых материалов, аварий с выбросом опасных химических веществ. Методики могут быть использованы при разработке деклараций промышленной безопасности опасных производственных объектов и экспертизе промышленной безопасности.

ББК 30н

ISBN 978-5-9687-0206-7



© Оформление. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409–01) .....	4
Общие принципы количественной оценки взрывоопасности технологических блоков (приложение 1 к ПБ 09-540–03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств») .....	35
Методика расчета участвующей во взрыве массы вещества и радиусов зон разрушений (приложение 2 к ПБ 09-540–03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств») .....	45
Порядок определения безопасных расстояний при взрывных работах и хранении взрывчатых материалов (глава VIII ПБ 13-407–01 «Единые правила безопасности при взрывных работах») .....	49
Методика расчета концентраций аммиака в воздухе и распространения газового облака при авариях на складах жидкого аммиака .....	81
Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) .....	123

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ АММИАКА В ВОЗДУХЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВОГО ОБЛАКА ПРИ АВАРИЯХ НА СКЛАДАХ ЖИДКОГО АММИАКА

### 1. Определение количественных характеристик выброса аммиака

1.1. В зависимости от агрегатного состояния аммиака в оборудовании и характера разрушения оборудования выбирается один из четырех вариантов сценария.

*Сценарий 1.* Полное разрушение оборудования, содержащего аммиак в газовом состоянии.

*Сценарий 2.* Нарушение герметичности оборудования, содержащего аммиак в газовом состоянии.

*Сценарий 3.* Полное разрушение оборудования, содержащего аммиак в жидком состоянии.

*Сценарий 4.* Нарушение герметичности оборудования, содержащего аммиак в жидком состоянии.

По сценариям 1 и 3 аммиак мгновенно поступает в окружающую среду; по сценариям 2 и 4 аммиак поступает в окружающую среду через отверстия площадью  $S$  в течение некоторого времени.

Сценарии 1 и 3 применимы только к емкостному оборудованию, сценарии 2 и 4 — как к емкостному оборудованию, так и к трубопроводам.

1.2. Для выбранного  $i$ -го сценария рассчитываются следующие характеристики выброса:

$Q_i, q_i^*, q_i^g, q_i^{гн}, q_i^n, q_i^c, t_i^*, t_i^g, t_i^{гн}, t_i^n, t_i^c, \rho_i^{*гб}, \rho_i^*, \rho_i^g, \rho_i^{гн}, \rho_i^n, \rho_i^c, R_i, R_i^*, R_i^g, R_i^{гн}, R_i^n, R_i^c, \eta(T_i), \dot{q}^n, \dot{q}^c$ .

Вспомогательные характеристики  $\eta(T_i), \dot{q}^n, \dot{q}^c$  рассчитываются по следующим формулам:

$$\eta(T_i) = \exp \left( - \frac{C_p (T_i - T_{\text{кип}} - |T_i - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \right); \quad (1)$$

$$\dot{q}'' = (5,83 + 4,1U) \cdot 10^{-6} \cdot p_{\text{н}} \sqrt{\mu}; \quad (2)$$

$$\dot{q}^c = 5,83 \cdot 10^{-6} \cdot p_{\text{н}} \sqrt{\mu}, \quad (3)$$

где  $p_{\text{н}}$  — давление насыщенного пара, рассчитываемое соответственно для выбранного сценария.

1.2.1. Для сценария 1 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

$$Q_1 \approx Q \quad (4)$$

если известна масса аммиака в оборудовании  $Q$ ;

$$\text{или} \quad Q_1 \approx \frac{\mu}{R} \frac{V_1 P_1}{T_1 + 273,15} \quad (5)$$

если неизвестна масса аммиака в оборудовании  $Q$ , но известны объем оборудования  $V_1$ , давление в оборудовании  $P_1$  и температура в оборудовании  $T_1$ .

$$q_1^* = q_1^r = \theta_1 q_1^{\text{н}} = q_1^{\text{н}} = q_1^c = \quad (6)$$

$$t_1^* = t_1^r = \theta_1 t_1^{\text{н}} = t_1^{\text{н}} = t_1^c = \quad (7)$$

$$\rho_1^{\text{выб}} = \rho_1 \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}; \quad (8)$$

$$\rho_1^* = \rho_1^r = \rho_1^{\text{н}} = \rho_1^{\text{н}} = \rho_1^c = 0,0, \quad (9)$$

где  $\rho_1 = Q/V_1$  — плотность газообразного аммиака в оборудовании.

$$R_1 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_1}{\rho_1^{\text{выб}}}} \quad (10)$$

$$R_1^* = R_1^r \quad 0,0 R_1^{\text{гн}} = R_1^{\text{н}} = R_1^c = \quad (11)$$

1.2.2. Для сценария 2 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

$$Q_2 \neq 0, \quad (12)$$

$$q_2^{\text{гн}} \neq 0,8 \quad \text{min} \left\{ 2 \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma-1} P_2 \rho_2 \left( \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)}, \right. \\ \left. \sqrt{P_2 \rho_2 \gamma \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\} \quad (13)$$

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит компрессор, и величина  $S$  превосходит  $0,15 S_{\text{тр}}$ , то  $q_2^{\text{гн}}$  предполагается равным расходу компрессора.

$$q_2^* = q_2^{\text{н}}, 0, q_2^r = q_2^c = \quad (14)$$

если известна масса аммиака в оборудовании  $Q$ ,

$$\text{то} \quad t_2^{\text{гн}} = \text{min} \left( \frac{Q}{q_2^{\text{гн}}} \quad t_{\text{отс}}; \right) \quad (15)$$

если неизвестна масса аммиака в оборудовании  $Q$ , но известны объем оборудования  $V_2$ , давление в оборудовании  $P_2$  и температура в оборудовании  $T_2$ ,

$$\text{то } t_2^{\text{гн}} = \min \left( \frac{\mu}{R} \frac{V_2 P_2}{(T_2 + 273,15) q_2^{\text{гн}}}, t_{\text{огс}} \right); \quad (16)$$

$$t_2^* = t_2^{\text{гн}}, \Theta t_2^{\text{гн}} = t_2^{\text{г}} = t_2^{\text{с}} = \quad (17)$$

$$\rho_2^{\text{гн}} = \rho_2 \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (18)$$

где  $\rho_2 = \frac{\mu}{R} \frac{P_2}{T_2 + 273,15}$  — плотность газообразного аммиака

в оборудовании.

$$\rho_2^* = \rho_2^{\text{ннг}} = \rho_2^{\text{н}} = \rho_2^{\text{г}} = \rho_2^{\text{с}} = 0,0; \quad (19)$$

$$R_2^{\text{гн}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_2^{\text{гн}}}{\rho_2^{\text{гн}} U}} \quad (20)$$

$$R_2^* = R_2 \Theta, \Theta R_2^{\text{н}} = R_2^{\text{г}} = R_2^{\text{с}} = \quad (21)$$

1.2.3. Для сценария 3 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам:

$$Q_3 = Q_3^{\text{г}} + Q_3^* + Q_3^{\text{н}} + Q^{\text{г}} \quad (22)$$

$$Q^{\text{г}} = \alpha \frac{\mu}{R} \frac{V_3 P_3}{T_3 - 273,15} \quad (23)$$

где  $\alpha$  — объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой [формула (23) применяется, если заранее не известна величина  $Q^r$ ],

$$Q_3^r = Q^* - (\eta(T_3)); \quad (24)$$

$$Q_3^* = \min (Q_3^r, Q^* - Q_3^r); \quad (25)$$

$$Q_3^u = \min \left\{ \frac{(T_{\text{II}} - T_{\text{кип}} |T_{\text{II}} - T_{\text{кип}}|)}{\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{II}} c_{\text{II}} \rho_{\text{II}}}{\pi}} \frac{F_{\text{конт}}^2}{F} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{t_{\text{кип}}} Q^*, Q_3^r - Q_3^* - \right\}, \quad (26)$$

где  $F$  — площадь поверхности пролива принимается равной площади обваловки, а при разрушении обваловки определяется по формуле

$$F = \frac{Q^* - Q_3^r - Q_3^*}{0,05\rho_{\text{ж}}} \quad (27)$$

$F_{\text{конт}}$  — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обваловки, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность  $F_{\text{конт}} = F$ ;

$T_{\text{II}}, \lambda_{\text{II}}, c_{\text{II}}, \rho_{\text{II}}$  — температура, теплопроводность, теплоемкость и плотность подстилающей поверхности;

$p_{\text{II}}$  — давление насыщенных паров:

$$p_{\text{II}} = 60 \exp \left( \Delta H_{\text{кип}} \mu \left( \frac{1}{T_{\text{кип}} + 273,15} - \frac{1}{T_{\text{возд}} + 273,15} \right) / R \right); \quad (28)$$

$t_{\text{кип}}$  — время кипения жидкого аммиака за счет подвода тепла от подстиляющей поверхности:

$$\sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{(T_{\text{II}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{II}} - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{II}} c_{\text{II}} \rho_{\text{II}}}{\pi}} \frac{1}{\dot{q}^{\text{II}}} \times \right. \\ \left. \times \frac{F_{\text{конг}}}{F}, \sqrt{\frac{2\sqrt{F}}{U}} \right\} \quad (29)$$

$$q_3^{\text{II}} = F \dot{q}^{\text{II}} \quad (30)$$

$$q_3^{\text{Ж}} = q_3^{\text{Г}}, q_3^{\text{ГII}} = q_3^{\text{С}} = \quad (31)$$

$$t_3^{\text{II}} = \frac{(Q - Q_3)}{q_3^{\text{II}}} \quad (32)$$

$$t_3^{\text{Ж}} = t_3^{\text{Г}}, t_3^{\text{ГII}} = t_3^{\text{С}} = \quad (33)$$

$$\rho_3^{\text{выб}} = \begin{cases} \rho_{\text{кип}} \frac{Q_3}{Q_3^{\text{Г}} + Q_3^{\text{II}} + Q^{\text{Г}}} & T_3 > T_{\text{кип}} \text{ или } T_{\text{II}} > T_{\text{кип}} \\ \frac{\mu}{R} \frac{P_3}{T_3 - 273,15} \left( \frac{P_0}{P_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} & \text{(в остальных случаях)} \end{cases} \quad (34)$$

$$\rho_3^{\text{II}} = \rho_{\text{кип}} = \frac{\mu}{R} \frac{P_0}{T_{\text{кип}} - 273,15} \quad (35)$$

$$\rho_3^{\text{Ж}} = \rho_3^{\text{Г}} = \rho_3^{\text{С}} = \rho_3^{\text{ГII}} = 0,0 ; \quad (36)$$

$$R_3 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_3}{\rho_3^{\text{выб}}}} \quad (37)$$

$$R_3'' = 0,5 \sqrt{F} \quad (38)$$

$$R_3^{\text{ж}} = R_3^0, \theta \cdot R_3^{\text{с}} = R_3^{\text{м}} = \quad (39)$$

1.2.4. Для сценария 4 характеристики выброса рассчитываются по следующим формулам.

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит емкость, и величина  $S$  превосходит  $0,15S_{\text{тр}}$ , то расход определяется по формуле

$$q_{\text{выб}} = 0,6S \sqrt{2Hg\rho_{\text{ж}}^2 + 2\rho_{\text{ж}}(P_4 - p_{\text{н}}(T_4)) + \frac{1}{K} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \rho^2(T_4, p_{\text{н}}(T_4))}{C_p(T_{\text{кип}} + 273,15)}} \quad (40)$$

где  $p_{\text{н}} = P_0 \exp\left(\Delta H_{\text{кип}} \mu \left(\frac{1}{T_{\text{кип}} + 273,15} - \frac{1}{T_4 + 273,15}\right) / R\right) -$

давление насыщенных паров аммиака при температуре  $T_4$ ;

$$\rho(T_4, p_{\text{н}}(T_4)) = \frac{\mu}{R} \frac{p_{\text{н}}(T_4)}{T_4 + 273,15} - \text{плотность газообразно-}$$

го аммиака при температуре  $T_4$  и давлении  $p_{\text{н}}(T_4)$ ;

$K$  — функция, зависящая от длины участка трубопровода  $L$  от входа до места разгерметизации:

$$K = \begin{cases} \frac{\Delta H_{\text{кип}}^2 \rho^2 (T_4, p_n(T_4))}{2\rho_{\text{ж}} (p_n(T_4) - P_0) C_p (T_{\text{кип}} - 273,15)} + \frac{L}{30D_{\text{тр}}} \\ \text{где } 0 < L \leq 30D_{\text{тр}} \\ 1,18 \text{ для } 30D_{\text{тр}} < L \leq 50D_{\text{тр}} \\ 1,33 \text{ для } 50D_{\text{тр}} < L \leq 100D_{\text{тр}} \\ 1,54 \text{ для } 100D_{\text{тр}} < L \leq 200D_{\text{тр}} \\ 1,82 \text{ для } 200D_{\text{тр}} < L \leq 400D_{\text{тр}} \\ 2,10 \text{ для } 400D_{\text{тр}} < L \end{cases} \quad (41)$$

Если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит насос, а величина  $S$  превосходит  $0,15 S_{\text{тр}}$ , то  $q_{\text{выб}}$  предполагается равным расходу насоса.

В остальных случаях расход определяется по формуле

$$q_{\text{выб}} = \text{sign} \left( Q_{\text{н}} \right) S \rho_{\text{ж}} \sqrt{Hg - \frac{P_4 - P_0}{\rho_{\text{ж}}}} \quad (42)$$

$$Q_4 = \min \left\{ q_{\text{выб}} \min \{ t_{\text{кип}}, t_{\text{отс}} \}, Q_{\text{н}}^* \right. \\ \left. (q'_4 + q''_4) \min \{ t_{\text{кип}}, t_{\text{отс}} \} + \frac{(T_{\text{н}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{н}} - T_{\text{кип}}|)}{\Delta H_{\text{кип}}} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\frac{\lambda_{\text{н}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{F_{\text{копт}}^2}{F'} \sqrt{t_{\text{кип}}} \right\} \quad (43)$$

$$\text{где } \sqrt{t_{\text{кип}}} = \min \left\{ \frac{(T_{\text{п}} - T_{\text{кип}} + |T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}|)}{2\Delta H_{\text{кип}}} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{п}} c_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{\pi}} \frac{1}{\bar{q}''} \right. \\ \left. \sqrt{\frac{2\sqrt{F'}}{U}} \right\} \quad (44)$$

$F'$  — площадь поверхности пролива на стадии интенсивного кипения аммиака, принимается равной площади обваловки, а при отсутствии обваловки определяется по формулам:

$$F' = \frac{(q_{\text{выб}} - q'_4 - q''_4)t'}{0,05\rho_{\text{ж}}} \quad (45)$$

$$t' = \min \{t_{\text{кип}}; t_{\text{втс}}; Q_{\text{п}}^*/q_{\text{выб}}\} \quad (46)$$

$F_{\text{конт}}$  — площадь контакта с твердой поверхностью, эта площадь включает как боковую поверхность обваловки, так и подстилающую поверхность; при проливе на неограниченную поверхность  $F' = F_{\text{конт}}$ .

$$q_4^* = q'_4 + q''_4 = F \dot{q}'' \quad (47)$$

$$q'_4 = q_{\text{выб}} (1 - \eta(T_4)); \quad (48)$$

$$q''_4 = \min \{q'_4; q_{\text{выб}}; q'_4\} \quad (49)$$

$$q_4'' = F \dot{q}'' = S_{\text{max}} \dot{q}^c \quad (50)$$

$$q_4^c = S_{\text{max}} \dot{q}^c; \quad (51)$$

$$q_4''' = q_4^c + 0,8 \min \left\{ \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} P_4 \rho_4 \left[ \left( \frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left( \frac{P_0}{P_4} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]} \right. \\ \left. \sqrt{P_4 \rho_4 \gamma \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right\} \quad (52)$$

$$q_4^r = F \dot{q}'' + q_4''' \quad (53)$$

где  $S_{\max}$  — площадь эмиссии из разгерметизированного оборудования:

$$S_{\max} = \min \left\{ S_{\text{обор}} \rho_4 US / \dot{q}^c \right\}; \quad (54)$$

$F$  — площадь поверхности пролива, принимается равной площади обваловки, а при отсутствии обваловки определяется по формуле

$$F = \frac{(q_{\text{выб}} - q_4' - q_4'') t_4^* + q_{\text{выб}} t'}{0,05 \rho_{\text{ж}}} Q_4. \quad (55)$$

$$t_4^* = \min \left\{ \frac{Q_{\text{п}}^*}{q_{\text{выб}}}, t', t_{\text{отс}}^-, t' \right\} \quad (56)$$

$$t_4^r = \min \left\{ \frac{Q^r + (Q^* - Q_H^*)(\eta(T_4))}{q_4^r - F \dot{q}''}, \frac{t_{отс} - t' - t_4^* + |t_{отс} - t' - t_4^*|}{2}, t_{исп} \right\}; \quad (57)$$

$t_{исп}$  — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого аммиака,

$$t_{исп} \cong \frac{\min\{Q_H^*, t_{отс} q_{выб}\} - Q_4 - q_4^* t_4^*}{F \dot{q}''} \quad (58)$$

$$t_4^{\Gamma H} = \min \left\{ \frac{Q^r + (Q^* - Q_H^*)(\eta(T_4))}{q_4^r - F \dot{q}''} - t_{исп}, \frac{t_{отс} - t' - t_4^* - t_4^{\Gamma+} + |t_{отс} - t' - t_4^* - t_4^{\Gamma+}|}{2} \right\}; \quad (59)$$

$$t_4^H = \frac{\min\{Q_H^*, t_{отс} q_{выб}\} - Q_4 - q_4^* t_4^*}{2q_4^H} + \frac{q_4^r t_4^r}{2q_4^H} + \frac{|\min\{Q_H^*, t_{отс} q_{выб}\} - Q_4 - q_4^* t_4^* - q_4^r t_4^r|}{2q_4^H}; \quad (60)$$

$$\begin{aligned}
 t_4^c = \min & \left\{ 0,5 \left( \frac{(Q^* - Q_{II}^*) \eta(T_4)}{q_4^c} - t_4^r - t_4^{rn} - t_4^n + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left| \frac{(Q^* - Q_{II}^*) \eta(T_4)}{q_4^c}, t_4^r \quad t_4^{rn} \quad t_4^n \right| \right) \right. \\
 & \left. \frac{t_{отс} - t_4^* - t_4^r - t_4^{rn} - t_4^n}{2} + \right. \\
 & \left. + \frac{|t_{отс} - t_4^* - t_4^r - t_4^{rn} - t_4^n|}{2} \right\} \quad (61)
 \end{aligned}$$

$$\rho_4^{выб} = \begin{cases} \rho_{кип} \frac{Q_4}{Q_4 - q_4' t'}, T_4 > T_{кип} \text{ или } T_{II} > T_{кип} \\ 0,0 \text{ (в остальных случаях);} \end{cases} \quad (62)$$

$$\rho_4^* = \rho_{кип} \frac{q_4^*}{q_4' + F \dot{q}''}; \quad (63)$$

$$\rho_4^r = \rho_4^{rn} = \rho_4 (P_0/P_4)^{\frac{1}{\gamma}}; \quad (64)$$

$$\text{где } \rho_4 = \frac{\mu}{R} \frac{P_4}{T_4 \cdot 273,15}$$

$$\rho_4^{\text{н}} = \rho_4^{\text{с}} = \rho_{\text{кип}} ; \quad (65)$$

$$R_4 = ; \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_4}{\rho_4^{\text{выб}}}} \quad (66)$$

$$R_4^{\text{ж}} = ; \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{ж}}}{\rho_4^{\text{ж}} U}} \quad (67)$$

$$R_4^{\text{г}} = ; \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{г}}}{\rho_4^{\text{г}} U}} \quad (68)$$

$$R_4^{\text{гн}} = ; \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{q_4^{\text{гн}}}{\rho_4^{\text{гн}} U}} \quad (69)$$

$$R_4^{\text{н}} \approx 0,5 ; \sqrt{F} \quad (70)$$

$$R_4^{\text{с}} \approx 0,5 . \sqrt{S} \quad (71)$$

1.3. Высота выброса  $h$ , м, задается равной 0 при разрушении обвалования, а при наличии обвалования — равной его высоте над уровнем земли.

## 2. Определение зоны поражения при растекании выброса аммиака

Для первичного облака, образовавшегося по  $i$ -му сценарию, при  $\rho_i^{\text{выб}} > \rho_{\text{возл}}$  имеет место гравитационное растекание облака. Облако растекается до радиуса

$$R_{\text{раст}} = \frac{1,15}{U} \sqrt{\frac{4}{3} g R_i^3 \left( \frac{\rho_i^{\text{выб}}}{\rho_{\text{возл}}} \right)} \quad (72)$$

### 3. Определение полей концентрации и токсодозы

3.1. Для условий, в которых происходит выброс, определяются шероховатость поверхности  $z_0$ , класс стабильности и величины дисперсии в зависимости от расстояния  $x$ .

3.1.1. Шероховатость поверхности определяется по табл. 1 в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние выброса.

3.1.2. Класс стабильности атмосферы определяется по табл. 2 в зависимости от скорости ветра и интенсивности теплового потока у поверхности (инсоляция и облачность).

Для расчета наилучшего варианта принимается класс стабильности  $F$  и скорость ветра  $1$  м/с.

3.1.3. Величины дисперсии в зависимости от расстояния  $x$  определяются по следующим формулам:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{C_3 x}{\sqrt{1 + 0,0001x}} \quad (73)$$

$$\sigma_z = f(z_0, x) g(x) \quad (74)$$

где

$$g(x) = \frac{A_1 x^{B_1}}{1 + A_2 x^{B_2}} \quad (75)$$

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln [C_1 x^{D_1} \cdot (1 + C_2 x^{D_2})], & z_0 \leq 0,1 \text{ м}; \\ \ln [C_1 x^{D_1} / (1 + C_2 x^{D_2})], & z_0 \geq 1 \text{ м}. \end{cases} \quad (76)$$

Коэффициенты  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, C_3, D_1, D_2$  определяются по табл. 3 и 4. Величина  $\sigma_z$ , рассчитанная по формуле (74), не должна превосходить величины  $\sigma_z$ , указан-

ной в табл. 5, а если это имеет место, то вместо величины, рассчитанной по формуле (74), следует использовать соответствующее данному классу стабильности значение из табл. 5.

3.2. Для каждого из этапов выброса по  $i$ -му сценарию определяются поля концентрации и максимальная концентрация на оси  $x$ .

3.2.1. Концентрация при прохождении первичного облака определяется по формуле

$$c_i(x, y, z, t) = \frac{Q_i}{\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t) \quad (77)$$

$$\begin{aligned} \text{где } G_3(x, y, z, t) = & \exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \\ & \times \left( \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right). \end{aligned} \quad (78)$$

Максимальная концентрация при прохождении первичного облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  в центре облака и рассчитывается по формуле

$$c_i(x, 0, 0, t = x/U) = \frac{2Q_i}{\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x) \quad (79)$$

$$G_0(x) = \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (80)$$

3.2.2. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования, определяется по формулам:

$$G_H(x, y, z) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right); \quad (81)$$

$$c_i^*(x, y, z, t) = \begin{cases} \frac{\text{sign}(t_i^*) q_i^*}{U(2\pi R_i^{*2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_H(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^* ; \\ \frac{q_i^* t_i^*}{2\pi R_i^{*2} t_i^* U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_3(x, y, z, t), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^* \end{cases} \quad (82)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и рассчитывается по формуле

$$c_{i \max}^* (x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2 \operatorname{sign}(t_i^*) q_i^*}{U(2\pi R_i^{*2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} U t_i^* ; \\ \frac{2 q_i^* t_i^*}{2\pi R_i^{*2} t_i^* U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} U t_i^* . \end{cases} \quad (83)$$

3.2.3. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования до испарения пролива, определяется по формуле

$$c_i^3(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, 0, & t \leq t_i^* ; \\ \frac{\operatorname{sign}(t_i^r) q_i^r}{U(2\pi R_i^{r2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_H(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} U t_i^r \text{ и } t > t_i^* \\ \frac{q_i^r t_i^r}{2\pi R_i^{r2} t_i^r U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_3(x, y, z, t - t_i^*), & \\ & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} U t_i^r \text{ и } t > t_i^* . \end{cases} \quad (84)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0, z = 0$  и рассчитывается по формуле

$$c_{i \max}^r(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2 \operatorname{sign}(t_i^r) q_i^r}{U(2\pi R_i^{r^2} + 2\pi \sigma_y \sigma_z)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^r; \\ \frac{2 q_i^r t_i^r}{2\pi R_i^{r^2} t_i^r U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^r. \end{cases} \quad (85)$$

3.2.4. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования после испарения пролива, определяется по формуле

$$c_i^{rn}(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, 0, & t \leq t_i^* + t_i^r; \\ \frac{\operatorname{sign}(t_i^{rn}) q_i^{rn}}{U(2\pi R_i^{rn^2} + 2\pi \sigma_y \sigma_z)} G_H(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{rn} \text{ и } t > t_i^* + t_i^r \\ \frac{q_i^{rn} t_i^{rn}}{2\pi R_i^{rn^2} t_i^{rn} U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t - t_i^* - t_i^r), & \\ & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{rn} \text{ и } t > t_i^* + t_i^r \end{cases} \quad (86)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и рассчитывается по формуле

$$c_{i \max}^{\text{гн}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2 \operatorname{sign}(t_i^{\text{гн}}) q_i^{\text{гн}}}{U(2\pi R_i^{\text{гн}^2} + 2\pi \sigma_y \sigma_z)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{гн}}; \\ \frac{2 q_i^{\text{гн}} t_i^{\text{гн}}}{2\pi R_i^{\text{гн}^2} t_i^{\text{гн}} U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{гн}}. \end{cases} \quad (87)$$

3.2.5. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из пролива, определяется по формуле

$$c_i^{\text{н}}(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, 0, & t < t_i^{\text{н}*} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{гн}}; \\ \frac{\operatorname{sign}(t_i^{\text{н}}) q_i^{\text{н}}}{2q_i^{\text{н}}/\rho_i^{\text{н}} + 2\pi \sigma_y \sigma_z U} G_{\text{н}}(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{н}} \text{ и } t \geq t_i^{\text{н}*} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{гн}} \\ \frac{q_i^{\text{н}} t_i^{\text{н}}}{2q_i^{\text{н}} t_i^{\text{н}}/\rho_i^{\text{н}} + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t - t_i^{\text{н}*} - t_i^{\text{г}} - t_i^{\text{гн}}), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{н}} \text{ и } t \geq t_i^{\text{н}*} + t_i^{\text{г}} + t_i^{\text{гн}} \end{cases} \quad (88)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и рассчитывается по формуле

$$c_{i \max}''(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2 \operatorname{sign}(t_i'') q_i''}{2q_i''/\rho_i'' + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i''; \\ \frac{2q_i'' t_i''}{2q_i'' t_i''/\rho_i'' + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i''. \end{cases} \quad (89)$$

3.2.6. Концентрация при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из емкости, определяется по формуле

$$c_i^c(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, 0, & t < t_i^{*} + t_i^r + t_i^{rn} + t_i''; \\ \frac{\operatorname{sign}(t_i^c) q_i^c}{2q_i^c/\rho_i^c + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_n(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^c \text{ и } t \geq t_i^{*} + t_i^r + t_i^{rn} + t_i'' \\ \frac{q_i^c t_i^c}{2q_i^c t_i^c/\rho_i^c + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t - t_i^{*} - t_i^r - t_i^{rn} - t_i''), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^c \text{ и } t \geq t_i^{*} + t_i^r + t_i^{rn} + t_i'' \end{cases} \quad (90)$$

Максимальная концентрация на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и рассчитывается по формуле

$$c_{i \max}^e(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2 \operatorname{sign}(t_i^e) q_i^e}{2q_i^e / \rho_i^e + 2\pi \sigma_y \sigma_z U} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^e; \\ \frac{2q_i^e t_i^e}{2q_i^e t_i^e / \rho_i^e + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^e. \end{cases} \quad (91)$$

3.3. Определяется максимально возможная концентрация на расстоянии  $x$  от места аварии при  $i$ -м сценарии:

$$c_i^{\max} = \max \left( c_{i \max}^c, c_{i \max}^*, c_{i \max}^r, c_{i \max}^{IH}, c_{i \max}^H, c_{i \max}^e \right) \quad (92)$$

3.4. Определение поля токсодозы.

3.4.1. Токсодоза при прохождении первичного облака рассчитывается по формуле

$$D_i(x, y, z) = \frac{(2\pi)^{1/2} Q_i \sigma_x}{U \left( \frac{8}{3} \pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right)} G_H(x, y, z) \quad (93)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении первичного облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}(x, 0, 0) = \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} Q_i \sigma_x}{U \left( \frac{8}{3} \pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right)} G_0(x) \quad (94)$$

3.4.2. Токсодоза при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования, рассчитывается по формуле

$$D_{i \max}^*(x, y, z) = \begin{cases} \frac{q_i^* \min\{t_i^*, t_{\text{ксп}}\}}{U (2\pi R_i^{*2} + 2\pi \sigma_y \sigma_z)} G_H(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^*; \\ \frac{(2\pi)^{1/2} q_i^* t_i^* \sigma_x}{U (2\pi R_i^{*2} t_i^* U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_H(x, y, z), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^*. \end{cases} \quad (95)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}^* (x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2q_i^* \min \{t_i^*, t_{\text{эсп}}\}}{U(2\pi R_i^{*2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^*; \\ \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} q_i^* t_i^* \sigma_x}{U(2\pi R_i^{*2} t_i^* U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x\sigma_y\sigma_z)} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^*. \end{cases} \quad (96)$$

3.4.3. Токсодоза при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования до испарения пролива, рассчитывается по формуле

$$D_i^r (x, y, z) = \begin{cases} \frac{q_i^r \min \left\{ t_i^r, \frac{t_{\text{эсп}} - t_i^* + |t_{\text{эсп}} - t_i^*|}{2} \right\}}{U(2\pi R_i^{r2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_n(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^r; \\ \frac{(2\pi)^{1/2} q_i^r t_i^r \sigma_x}{U(2\pi R_i^{r2} t_i^r U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x\sigma_y\sigma_z)} G_n(x, y, z), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^r. \end{cases} \quad (97)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}^r(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2q_i^r \min \left\{ t_i^r, \frac{t_{\text{эксп}} - t_i^* + |t_{\text{эксп}} - t_i^*|}{2} \right\}}{U(2\pi R_i^{r^2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^r; \\ \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} q_i^r t_i^r \sigma_x}{U(2\pi R_i^{r^2} t_i^r U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^r. \end{cases} \quad (98)$$

3.4.4. Токсодоза при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования после испарения пролива, рассчитывается по формуле

$$D_i^{\text{rn}}(x, y, z) = \begin{cases} \frac{q_i^{\text{rn}} \min \left\{ t_i^{\text{rn}}, \frac{t_{\text{эксп}} - t_i^* - t_i^r + |t_{\text{эксп}} - t_i^* - t_i^r|}{2} \right\}}{U(2\pi R_i^{\text{rn}^2} + 2\pi\sigma_y\sigma_z)} G_{\text{н}}(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^{\text{rn}}; \\ \frac{(2\pi)^{1/2} q_i^{\text{rn}} t_i^{\text{rn}} \sigma_x}{U(2\pi R_i^{\text{rn}^2} t_i^{\text{rn}} U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_{\text{н}}(x, y, z), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^{\text{rn}}. \end{cases} \quad (99)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}^{\text{гн}}(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2q_i^{\text{гн}} \min \left\{ t_i^{\text{гн}}, \frac{t_{\text{эсп}} - t_i^{\text{ж}} - t_i^{\text{г}} + |t_{\text{эсп}} - t_i^{\text{ж}} - t_i^{\text{г}}|}{2} \right\}}{U \left( 2\pi R_i^{\text{гн}^2} + 2\pi \sigma_y \sigma_z \right)} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{гн}} \\ \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} q_i^{\text{гн}} t_i^{\text{гн}} \sigma_x}{U \left( 2\pi R_i^{\text{гн}^2} t_i^{\text{гн}} U + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right)} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^{\text{гн}}. \end{cases} \quad (100)$$

3.4.5. Токсодоза при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из пролива, рассчитывается по формуле

$$D_i''(x, y, z) = \begin{cases} \frac{q_i'' \min \left\{ t_i'', \frac{t_{\text{эсп}} - t_i^* - t_i^r - t_i^{\text{ГН}} + |t_{\text{эсп}} - t_i^* - t_i^r - t_i^{\text{ГН}}|}{2} \right\}}{2q_i''/\rho_i'' + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_n(x, y, z), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i'' \\ \frac{(2\pi)^{1/2} q_i'' t_i'' \sigma_x}{U(2q_i'' t_i''/\rho_i'' + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_n(x, y, z), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i'' \end{cases} \quad (101)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0, z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}''(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2q_i'' \min \left\{ t_i'', \frac{t_{\text{эсп}} - t_i^* - t_i^r - t_i^{\Gamma H} + |t_{\text{эсп}} - t_i^* - t_i^r - t_i^{\Gamma H}|}{2} \right\}}{2q_i''/\rho_i'' + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i'' \\ \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} q_i'' t_i'' \sigma_x}{U(2q_i'' t_i''/\rho_i'' + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_0(x), & x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i'' \end{cases} \quad (102)$$

3.4.6. Токсодоза при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из емкости, рассчитывается по формуле

$$D_i^e(x, y, z) = \begin{cases} \frac{q_i^e \min \left\{ t_i^e, \frac{t_{\text{ЭКСП}}^\Sigma - t_i^\Sigma + |t_{\text{ЭКСП}}^\Sigma - t_i^\Sigma|}{2} \right\}}{2q_i^e/\rho_i^e + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_H(x, y, z), \\ \quad x \leq \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^e \\ \quad t_i^\Sigma = t_i^* + t_i^r + t_i^m + t_i^n; \\ \\ \frac{(2\pi)^{1/2} q_i^e t_i^e \sigma_x}{U(2q_i^e t_i^e/\rho_i^e + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z)} G_H(x, y, z), \\ \quad x > \frac{1}{C_3\sqrt{2\pi}} Ut_i^e \end{cases} \quad (103)$$

Максимальная токсодоза на поверхности земли при прохождении этого облака наблюдается на оси  $y = 0$ ,  $z = 0$  и определяется по формуле

$$D_{i \max}^e(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{2q_i^e \min \left\{ t_i^e, \frac{t_{\text{эксп}} - t_i^\Sigma + |t_{\text{эксп}} - t_i^\Sigma|}{2} \right\}}{2q_i^e / \rho_i^e + 2\pi\sigma_y\sigma_z U} G_0(x), & x \leq \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^e \\ & t_i^\Sigma, \quad t_i^* + t_i^r + t_i^{\Gamma H} + t_i^H \\ \frac{2 \cdot (2\pi)^{1/2} q_i^e t_i^e \sigma_x}{U \left( 2q_i^e t_i^e / \rho_i^e + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right)} G_H(x), & x > \frac{1}{C_3 \sqrt{2\pi}} U t_i^e. \end{cases} \quad (104)$$

3.5. Определяется максимальная токсодоза на расстоянии  $x$  от места аварии при  $i$ -м сценарии:

$$D_i^{\max} = D_{i \max} + D_{i \max}^* + D_{i \max}^r + D_{i \max}^{\Gamma H} + D_{i \max}^H + D_{i \max}^e. \quad (105)$$

3.6. Сравнением с пороговыми, смертельными концентрациями и токсодолами определяются расстояния, соответствующие смертельному поражению и пороговому воздействию.

**СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И РАЗМЕРНОСТЕЙ**  
(В АЛФАВИТНОМ ПОРЯДКЕ ЛАТИНСКИЕ ПРОПИСНЫЕ, ЛАТИНСКИЕ  
СТРОЧНЫЕ, ГРЕЧЕСКИЕ СТРОЧНЫЕ)

$A_1$	— коэффициент в расчете дисперсии
$A_2$	— коэффициент в расчете дисперсии
$B_1$	— коэффициент в расчете дисперсии
$B_2$	— коэффициент в расчете дисперсии
$C_1$	— коэффициент в расчете дисперсии
$C_2$	— коэффициент в расчете дисперсии
$C_3$	— коэффициент в расчете дисперсии
$C_p$	— теплоемкость жидкого аммиака, Дж/(кг·К)
$D_1$	— коэффициент в расчете дисперсии
$D_2$	— коэффициент в расчете дисперсии
$D_i$	— токсодоза в точке от прохождения первичного облака, кг·с/м <sup>3</sup>
$D_{i \max}$	— токсодоза в точке на оси $y = 0$ , $z = 0$ от прохождения первичного облака, кг·с/м <sup>3</sup>
$D_{гр}$	— диаметр трубопровода, м
$D_i^{\max}$	— токсодоза в точке на оси $y = 0$ , $z = 0$ за все время аварии(наблюдения), кг·с/м <sup>3</sup>
$D_i'$	— токсодоза в точке от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из оборудования в $i$ -м сценарии, кг·с/м <sup>3</sup>

---

- $D_{i \max}^i$  — токсодоза в точке на оси  $y = 0, z = 0$  от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из оборудования в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_i^c$  — токсодоза в точке от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении аммиака, оставшегося в оборудовании в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_{i \max}^c$  — токсодоза в точке на оси  $y = 0, z = 0$  от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении аммиака, оставшегося в оборудовании в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_i^*$  — токсодоза в точке от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого аммиака из оборудования в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_{i \max}^*$  — токсодоза в точке на оси  $y = 0, z = 0$  от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении жидкого аммиака из оборудования в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_i^{\text{II}}$  — токсодоза в точке от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из пролива в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_{i \max}^{\text{II}}$  — токсодоза в точке на оси  $y = 0, z = 0$  от прохождения вторичного облака, образующегося при испарении аммиака из пролива в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_i^{\text{III}}$  — токсодоза в точке от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении аммиака из оборудования после испарения пролива в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $D_{i \max}^{\text{III}}$  — токсодоза в точке на оси  $y = 0, z = 0$  от прохождения вторичного облака, образующегося при истечении аммиака из оборудования после испарения пролива в  $i$ -м сценарии, кг·с/м<sup>3</sup>
- $F$  — площадь поверхности пролива жидкого аммиака, м<sup>2</sup>
- $F'$  — площадь поверхности пролива жидкого аммиака при образовании первичного облака в сценарии 4, м<sup>2</sup>
- $F_{\text{конт}}$  — площадь контакта жидкого аммиака с подстилающей поверхностью при проливе, м<sup>2</sup>

---

$G_0$	—	вспомогательная величина при расчете значений концентрации и токсодозы
$G_s$	—	вспомогательная величина при расчете рассеяния залпового выброса
$G_{II}$	—	вспомогательная величина при расчете рассеяния непрерывного выброса
$\Delta H_{\text{кин}}$	—	теплота испарения жидкого аммиака, Дж/кг
$H$	—	высота жидкого аммиака в оборудовании над уровнем отверстия, через которое происходит истечение, м
$K$	—	функция, зависящая от $L$ длины участка трубопровода от входа до места разгерметизации
$L$	—	длина участка трубопровода от входа до места разгерметизации, м
$P_i$	—	давление в оборудовании в $i$ -м сценарии, Па
$P_0$	—	давление в окружающей среде, при нормальных условиях принимается равным $10^5$ Па
$Q$	—	общая масса аммиака в оборудовании, включает массу жидкости и массу газа, кг
$Q_i$ (от $Q_1$ до $Q_4$ )	—	масса аммиака, образующего первичное облако в $i$ -м сценарии, кг
$Q^*$	—	масса жидкого аммиака в оборудовании (при истечении из трубопровода с насосом на входе равна $Q_{II}^*$ ), кг
$Q^r$	—	масса газообразного аммиака в оборудовании, кг
$Q_3^*$	—	масса жидкого аммиака, переходящая в первичное облако в сценарии 3 в виде аэрозоля, кг
$Q_{II}^*$	—	масса жидкого аммиака в оборудовании выше уровня отверстия, через которое происходит истечение (при истечении из трубопровода с

---

- насосом на входе предполагается равной бесконечной величине; если отверстие разгерметизации выше уровня жидкости, то величина полагается равной 0), кг
- $Q_3^g$  — масса газообразного аммиака, переходящего в первичное облако при сценарии 3 в виде газа при мгновенном вскипании перегретого аммиака, кг
- $Q_3^l$  — масса газообразного аммиака, переходящая в первичное облако при сценарии 3 при кипении пролива, кг
- $R$  — универсальная газовая постоянная, равна 8,31 Дж/(кг·моль)
- $R_i$  — размер первичного облака аммиака в начальный момент времени в  $i$ -м сценарии, м
- $R_i^*$  — начальный размер вторичного облака аммиака, образующегося при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии, м
- $R_i^g$  — начальный размер вторичного облака аммиака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии до испарения пролива, м
- $R_i^{gl}$  — начальный размер вторичного облака аммиака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии после испарения пролива, м
- $R_i^l$  — начальный размер вторичного облака аммиака, образующегося при испарении аммиака из пролива в  $i$ -м сценарии, м
- $R_i^e$  — начальный размер вторичного облака аммиака, образующегося при испарении аммиака из емкости в  $i$ -м сценарии, м
- $R_{\text{раст}}$  — радиус гравитационного растекания облака аммиака, м
- $S$  — площадь отверстий разгерметизации, м<sup>2</sup>
- $S_{\text{обор}}$  — максимальная площадь горизонтального сечения оборудования, м<sup>2</sup>
- $S_{\text{max}}$  — площадь эмиссии при испарении аммиака из разгерметизированной емкости, м<sup>2</sup>
- $S_{\text{тр}}$  — площадь поперечного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>

- $T_i$  — температура в оборудовании в  $i$ -м сценарии, °С
- $T_{\text{возд}}$  — температура воздуха, °С
- $T_{\text{кип}}$  — температура кипения жидкого аммиака при давлении  $P_0$ , °С
- $T_{\text{п}}$  — температура подстилающей поверхности, °С
- $U$  — скорость ветра на высоте 10 м, м/с
- $V_i$  — объем оборудования в  $i$ -м сценарии, при выбросе с трубопровода, на входе которого стоит компрессор (насос), предполагается равным бесконечной величине, м<sup>3</sup>
- $c_{\text{п}}$  — теплоемкость подстилающей поверхности, Дж/(кг·К)
- $c_i$  — концентрация аммиака при прохождении первичного облака, кг/м<sup>3</sup>
- $c_{i \text{ max}}$  — максимальная концентрация аммиака при прохождении первичного облака на оси  $y = 0, z = 0$  в центре облака, кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^*$  — концентрация аммиака при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования, кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^{* \text{ max}}$  — максимальная концентрация аммиака на поверхности земли при прохождении вторичного облака (на оси  $y = 0, z = 0$ ), кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^1$  — концентрация аммиака при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования при наличии пролива, кг/м<sup>3</sup>
- $c_{i \text{ max}}^1$  — максимальная концентрация аммиака на поверхности земли при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования при наличии пролива (на оси  $y = 0, z = 0$ ), кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^{\text{II}}$  — концентрация аммиака при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в отсутствие пролива, кг/м<sup>3</sup>
- $c_{i \text{ max}}^{\text{II}}$  — максимальная концентрация аммиака на поверхности земли при прохождении вторичного облака, образующегося при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в отсутствие пролива (на оси  $y = 0, z = 0$ ), кг/м<sup>3</sup>

- $c_i^n$  — концентрация аммиака при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении жидкого аммиака из пролива, кг/м<sup>3</sup>
- $c_{i\max}^n$  — максимальная концентрация аммиака на поверхности земли при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении жидкого аммиака из пролива (на оси  $y = 0, z = 0$ ), кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^e$  — концентрация аммиака при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении жидкого аммиака из емкости, кг/м<sup>3</sup>
- $c_{i\max}^e$  — максимальная концентрация аммиака на поверхности земли при прохождении вторичного облака, образующегося при испарении жидкого аммиака из емкости (на оси  $y = 0, z = 0$ ), кг/м<sup>3</sup>
- $c_i^{\max}$  — максимально возможная концентрация в точке на оси  $y = 0, z = 0$  при  $i$ -м сценарии
- $f(z_0, x)$  — вспомогательная функция при расчете дисперсии
- $g$  — ускорение свободного падения (равно 9,81 м/с<sup>2</sup>)
- $g(x)$  — вспомогательная функция при расчете дисперсии
- $h$  — высота источника выброса, м
- $p_n$  — давление насыщенного пара аммиака в окружающей среде при температуре воздуха  $T_{\text{возд}}$ , мм рт. ст.
- $p_n(T_4)$  — давление насыщенных паров аммиака при температуре  $T_4$ , Па
- $q_4'$  — расход газообразного аммиака, образующегося при мгновенном вскипании жидкой фазы в случае истечения жидкого аммиака из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с
- $q_4''$  — расход аммиака в виде аэрозольных включений, образующихся при мгновенном вскипании жидкой фазы, в случае истечения жидкого аммиака из разрушенного оборудования в сценарии 4, кг/с

- $q_i^{алб}$  — расход аммиака в случае истечения жидкого аммиака из разрушенного оборудования
- $q_i^i$  — расход аммиака во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии до испарения пролива, кг/с
- $q_i^{ii}$  — расход аммиака во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии после испарения пролива, кг/с
- $q_i^c$  — расход аммиака во вторичном облаке, образующемся при испарении жидкого аммиака из емкости в  $i$ -м сценарии, кг/с
- $q_i^*$  — расход аммиака во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии, кг/с
- $q_i^{ii}$  — расход аммиака во вторичном облаке, образующемся при испарении жидкого аммиака из пролива в  $i$ -м сценарии, кг/с
- $q_i^{ii}$  — удельная скорость испарения аммиака с единицы площади, кг/(с·м<sup>2</sup>)
- $q_i^c$  — удельная скорость испарения аммиака с единицы площади при скорости ветра  $U$ , равной нулю, кг/(с·м<sup>2</sup>)
- $t$  — время, с
- $t_{исп}$  — длительность испарения пролива после окончания истечения жидкого аммиака, с
- $t_{кип}$  — длительность интенсивного кипения жидкого аммиака за счет теплопритока от подстилающей поверхности, с
- $t_{отс}$  — время ликвидации отверстий разгерметизации, с
- $t_{экс}$  — длительность экспозиции, с
- $t^*$  — длительность формирования первичного облака в сценарии 4, с
- $t_i^i$  — длительность истечения газообразного аммиака из разрушенного оборудования в  $i$ -м сценарии до испарения пролива, с

$t_i^{\text{пн}}$	—	длительность истечения газообразного аммиака из разрушенного оборудования в $i$ -м сценарии после испарения пролива, с
$t_i^{\text{е}}$	—	длительность испарения аммиака из емкости в $i$ -м сценарии, с
$t_i^{\text{ж}}$	—	длительность истечения жидкого аммиака из разрушенного оборудования в $i$ -м сценарии, с
$t_i^{\text{н}}$	—	длительность испарения аммиака из пролива в $i$ -м сценарии, с
$x$	—	пространственная переменная (координата вдоль ветра), м
$y$	—	пространственная переменная (координата высоты), м
$z$	—	пространственная переменная (координата, перпендикулярная направлению ветра), м
$\alpha$	—	объемная доля газовой фазы в оборудовании
$\gamma$	—	показатель адиабаты газообразного аммиака
$\eta (T_i)$	—	вспомогательная величина, используемая для определения доли перегретой жидкости, перешедшей в пар
$\lambda_{\text{п}}$	—	коэффициент теплопроводности подстилающей поверхности, Вт/(м·К)
$\mu$	—	молярная масса аммиака, кг/моль
$\pi$	—	число, равное 3,1459
$\rho [T_4, p_{\text{н}}(T_4)]$	—	плотность газообразного аммиака при температуре $T_4$ и давлении $p_{\text{н}}(T_4)$ , кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i$	—	плотность газовой фазы аммиака в оборудовании в $i$ -м сценарии, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_{\text{возд}}$	—	плотность воздуха при температуре $T_{\text{возд}}$ и давлении $P_0$ , кг/м <sup>3</sup>
$\rho_{\text{ж}}$	—	плотность жидкого аммиака, кг/м <sup>3</sup>

---

$\rho_{\text{кин}}$	— плотность газообразного аммиака при температуре кипения и давлении $P_0$ , кг/м <sup>3</sup>
$\rho_{\text{п}}$	— плотность материала подстилающей поверхности, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^{\text{пшб}}$	— плотность аммиака в первичном облаке в начальный момент времени в $i$ -м сценарии, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^f$	— плотность аммиака в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в $i$ -м сценарии до испарения пролива, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^{\text{пш}}$	— плотность аммиака в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении газообразного аммиака из разрушенного оборудования в $i$ -м сценарии после испарения пролива, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^c$	— плотность аммиака в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при испарении аммиака из емкости в $i$ -м сценарии, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^*$	— плотность аммиака в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при истечении жидкого аммиака из разрушенного оборудования в $i$ -м сценарии, кг/м <sup>3</sup>
$\rho_i^{\text{пш}}$	— плотность аммиака в начальный момент времени во вторичном облаке, образующемся при испарении аммиака из пролива в $i$ -м сценарии, кг/м <sup>3</sup>
$\sigma_x$	— дисперсия вдоль оси $x$ , м
$\sigma_y$	— дисперсия вдоль оси $y$ , м
$\sigma_z$	— дисперсия вдоль оси $z$ , м

---

**Обозначение функций**

- $||$  — модуль величины, равен самой величине, если величина больше нуля, и величине со знаком «минус», если величина меньше нуля; используется для автоматического зануления выражений
- $\text{sign}$  — знак величины, равен 1, если величина больше нуля,  $-1$ , если величина меньше нуля, и 0, если величина равна нулю

Таблица 1

**Шероховатость поверхности  $z_0$  в зависимости от типа местности, где происходит рассеяние выброса**

Тип местности	$z_0$ , м
Ровная местность, покрытая снегом	0,001
Ровная местность с высотой травы до 1 см	0,001
Ровная местность с высотой травы до 15 см	0,01
Ровная местность с высотой травы до 60 см	0,05
Местность, покрытая кустарником	0,12
Лес высотой до 10 м	0,4
Городская застройка	1,0

Таблица 2

**Класс стабильности атмосферы**

Скорость ветра на высоте 10 м, м/с	День			Ночь	
	Интенсивная инсоляция	Умеренная инсоляция	Слабая инсоляция	Тонкая сплошная облачность или более $\frac{5}{8}$ облачного покрова	Менее $\frac{3}{8}$ облачного покрова
$U \leq 2$	A	B	B	F	F
$2 < U \leq 3$	B	B	C	E	F
$3 < U \leq 5$	B	C	C	D	E
$5 < U \leq 6$	C	D	D	D	D
$U > 6$	D	D	D	D	D

Таблица 3

**Коэффициенты  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $C_3$   
в зависимости от класса стабильности атмосферы**

Класс стабильности	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	$C_3$
A	0,112	0,000538	1,060	0,815	0,22
B	0,130	0,000652	0,950	0,750	0,16
C	0,112	0,000920	0,920	0,718	0,11
D	0,098	0,00135	0,889	0,688	0,08
E	0,0609	0,00196	0,895	0,684	0,06
F	0,0638	0,00136	0,783	0,672	0,04

Таблица 4

**Коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $D_1$ ,  $D_2$   
в зависимости от размера шероховатости**

$z_0$ , м	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$
0,01	1,56	0,000625	0,048	0,45
0,04	2,02	0,000776	0,027	0,37
0,1	2,73	0	0	0
0,4	5,16	0,0538	-0,098	0,225
1,0	7,37	0,000233	-0,0096	0,6

Таблица 5

**Максимальное значение  $\sigma_z$**

Класс стабильности атмосферы	$\sigma_z$ , м	Класс стабильности атмосферы	$\sigma_z$ , м
A	1600	D	400
B	920	E	220
C	640	F	100

Таблица 6

## Характеристики подстилающих поверхностей

Тип поверхности	$\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda_n$ , Вт/(м·К)	$c_n$ , Дж/(кг·К)
Бетон	2220	1,42	770
Песок	1380	0,35	840
Лед	920	2,23	2080

## Свойства аммиака

Молярная масса .....	0,01703 кг/моль
Плотность жидкости .....	681 кг/м <sup>3</sup>
Температура кипения .....	-33,41 °С
Показатель адиабаты .....	1,32
Теплоемкость жидкости .....	4700 Дж/(кг·К)
Теплота испарения .....	$1,37 \cdot 10^6$ Дж/кг
Смертельная токсодоза .....	150 мг·мин/л
Пороговая токсодоза .....	15 мг·мин/л

По вопросам приобретения  
нормативно-технической документации  
обращаться по тел./факсам:  
(495) 620-47-53, 984-23-56, 984-23-57, 984-23-58, 984-23-59  
E-mail: ornd@safety.ru

Подписано в печать 27.09.2010. Формат 60×84 1/16.  
Гарнитура Times. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Объем 13,0 печ. л.  
Заказ № 464.  
Тираж 40 экз.

Закрытое акционерное общество  
«Научно-технический центр исследований  
проблем промышленной безопасности»  
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21

Отпечатано в ООО «Полимедиа»  
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 18, стр. 1

---