

**УДК 629.039.58**

Белых Д.С., студент ГБмоз-211

Фомин А.И., д. т. н., профессор кафедры аэрология, охраны труда и природы

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Belykh DS, student GBmoz-211

Fomin AI, d-R tekhn. Sciences, Professor of chair of aerology and protection of labour and the nature of the "Vest"

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АВАРИЙ  
НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ (КАО «АЗОТ»)****ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF ACCIDENTS AT A CHEMICALLY HAZARDOUS FACILITY (KAO "AZOT")**

Одна из наиболее значимых угроз безопасности человека - нарастание количества техногенных аварий и катастроф и увеличение масштабов их последствий. Преимущественно различного рода аварии техногенного характера связаны с бесконтрольным и спонтанным выбросом вещества, выходом энергии в окружающую среду. Из-за таких действий могут произойти промышленные взрывы и аварии, а из-за самих веществ и материалов возникают опасности – пожары, взрывы и химическое загрязнение.

К главным источникам техногенных аварий относят объекты, на которых используются, производятся, хранятся и перевозятся токсичные, взрывчатые, радиоактивные, опасные химические вещества и материалы, которые получают посредством химического синтеза, в том числе и биологические вещества, представляющие источники инфекционных заболеваний [5].

Химическая промышленность является одной из центральных отраслей индустрии. Она играет немаловажную роль в развитии государства: оказывает существенное влияние на развитие научно-технического прогресса, расширяет сырьевую базу промышленности, строительства, является необходимым условием интенсификации сельского хозяйства, удовлетворяет спрос населения на продукцию народного потребления. В ее составе выделяют основную химию, основной органический синтез, производство азотных удобрений и аммиачной селитры сельскохозяйственного и промышленного применения.

Кемеровская область имеет целый ряд техногенных источников опасности, которые могут вызвать образование чрезвычайных ситуаций, в

их состав входят 18 химически опасных объектов, находящихся на территории городов и районов области. Также присутствуют крупные железнодорожные узлы и станции, расположенные на участке Транссибирской магистрали.

Такие факторы как чрезвычайно высокий износ технологического оборудования, высокий износ трубопроводных систем и человеческий фактор относятся к основным причинам возникновения ЧС на химически опасных объектах [1].

Аварийные выбросы опасных веществ могут произойти вследствие нарушения целостности технологического оборудования или при неисправности, разрушении емкостей при хранении или перевозке.

Вместе с этим есть вероятность того, что находящиеся в особых условиях некоторые нетоксичные вещества, могут образовывать АХОВ.

Площадка КАО «Азот» расположена в юго-западной части города Кемерово в 6,5 км от центра, на левом берегу реки Томи и занимает площадь 250 га, на которой располагаются основные и вспомогательные цеха и сооружения. С восточной стороны проходит городская автомагистраль, которая соединяет ОАО «Азот» и ТЭЦ с микрорайонами города. Территория предприятия незатопляемая, для данной местности не характерны землетрясения, сели, оползни, лавины.

Независимо от времени года возможны пожары, аварии, связанные с выбросом и проливом АХОВ. Существует вероятность появления наиболее опасной локальной аварии с тяжелыми последствиями в цехе транспортировки аммиака (ЦТА), а именно в отделении транспортировки и наливки жидкого аммиака.

Данный цех относится к опасному производственному объекту I класса опасности – чрезвычайно высокой опасности, так как в данном цеху обращается более 5000 т аммиака. В оборудовании аммиак находится в двух состояниях в жидком и газообразном. Представляет собой токсичное, опасное для окружающей среды вещество. Горючий бесцветный газ с резким запахом, легче воздуха. Коррозионно активен. По степени воздействия на организм человека относится к 4 классу опасности. ПДК в воздухе рабочей зоны - 20 мг/м<sup>3</sup>. Эмпирическая формула - NH<sub>3</sub> [4].

Само отделение транспортировки и наливки жидкого аммиака предназначено для того, чтобы направлять цехам-потребителям жидкий аммиак и на заполнение железнодорожных вагонов-цистерн.

В ЦТА для хранения жидкого аммиака предусмотрены два изотермических резервуара, 16 хранилищ жидкого аммиака. Одно из хранилищ жидкого аммиака выступает в качестве резервного и предназначено для освобождения рабочего при аварийной разгерметизации.

Предусмотрен горизонтальный испаритель для испарения жидкого аммиака. Вместимость горизонтального испарителя для жидкого аммиака

равна 31,6 т. Горизонтальный испаритель жидкого аммиака представлен на рисунке 1.

Объем  $V = 67 \text{ м}^3$ , высота испарителя  $h = 3,2 \text{ м}$ . Температура жидкого аммиака в аппарате  $t = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

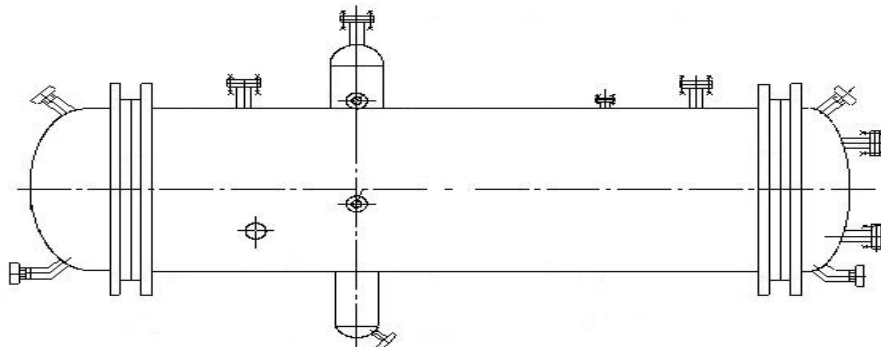


Рисунок 1 – Горизонтальный испаритель жидкого аммиака

В работе рассматривается наружная установка – горизонтальный испаритель, в котором обращается жидкий аммиак. Вещество является труднотопящим, вызывает ожоги кожи, а пары покраснение кожи с расширением сосудов дермы, также существует опасность при попадании в глаза.

Рассмотрим сценарий развития аварии, который представлен на рисунке 2, с участием жидкого аммиака при локальном повреждении горизонтального испарителя объемом  $67 \text{ м}^3$  цеха транспортировки аммиака (ЦТА).

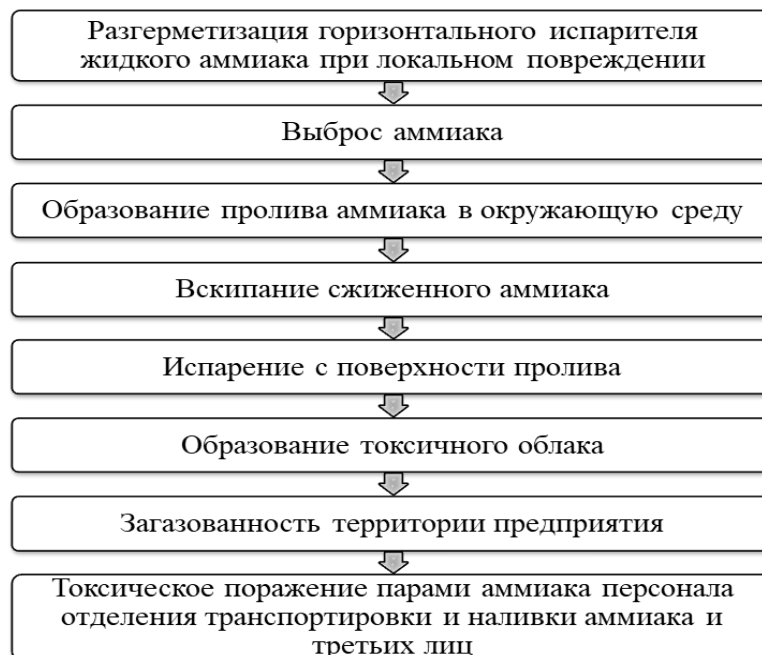


Рисунок 2 – Сценарий развития аварии с участием жидкого аммиака при локальном повреждении горизонтального испарителя

Для оценки пожаровзрывоопасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования произведем расчет. Выход горючего вещества из поврежденного технологического оборудования приводит к образованию взрывоопасной зоны и при наличии источника зажигания к взрыву горючей смеси [3].

Массу выходящих наружу веществ при локальном повреждении горизонтального испарителя вычисляем по формуле:

$$m_{\text{ж}} = \mu \cdot f \cdot w \cdot \rho_t \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, изменяющийся в пределах 0,45 – 0,85;  
 $f$  – сечение отверстия, через которое вещество выходит наружу, м<sup>2</sup>;  
 $w$  – скорость истечения вещества из отверстия, м/с;  
 $\rho_t$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>, 690,2 кг/м<sup>3</sup> при  $t = -40$  °С;  
 $\tau$  – длительность истечения, с,  $\tau = 600$  с.

Определяем сечение трещины, образовавшейся на стыке сварного шва по формуле:

$$f = a \cdot b, \quad (2)$$

где  $a$  – длина отверстия по условию задачи, м,  $a = 0,3$  м;  
 $b$  – ширина трещины, м,  $b = 0,005$  м.

По формуле (2) производим расчет:

$$f = 0,3 \cdot 0,005 = 0,0015 \text{ м}^2.$$

Скорость истечения жидкости через отверстие в корпусе горизонтального испарителя вычисляем по формуле:

$$w = \sqrt{2g \cdot H_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>);  
 $H_{\text{пр}}$  – приведенный напор, под действием которого происходит истечение жидкости через отверстие, м.

При работе аппарата под давлением приведенный напор вычисляем по формуле:

$$H_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{р.и}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H, \quad (4)$$

где  $P_{p.u}$  – избыточное давление среды в аппарате над поверхностью жидкости, Па ( $P_{p.u} = P_p - 1 \cdot 10^5 = 15 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 14 \cdot 10^5$  Па,  $P_p$  – абсолютное рабочее давление среды в аппарате, Па);

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости при рабочей температуре, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>);

$H$  – высота столба жидкости, м,  $H = 1,5$  м.

По формуле (4) производим расчет:

$$H_{пр} = \frac{14 \cdot 10^5}{690,2 \cdot 9,81} + 1,5 = 208,26 \text{ м.}$$

По формуле (3) производим расчет:

$$w = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 208,26} = 63,92 \text{ м/с.}$$

По формуле (1) производим расчет:

$$m_{ж} = 0,45 \cdot 0,0015 \cdot 63,92 \cdot 690,2 \cdot 600 = 17867,62 \text{ кг.}$$

Стадия образования паров жидкого аммиака при локальном повреждении испарителя происходит в результате кипения и испарения вещества за счет теплоты подстилающей поверхности. При выходе жидкого аммиака наружу на подстилающую поверхность, вещество сразу перейдет в газообразное состояние, так как его температура кипения ( $-33,4$  °С) [2].

Таким образом, масса паров аммиака будет равна массе жидкости, выходящей наружу из трещины аппарата  $m_{ж} = m_{п}$ .

Объем взрывоопасной зоны вблизи места выхода паров вычисляем по формуле:

$$V_{вок} = \frac{G_{\delta}}{\varphi_n^*}, \quad (5)$$

где  $G_{\delta}$  – масса паров аммиака, испарившихся с поверхности разлива, кг;

$\varphi_n^*$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, кг/м<sup>3</sup>.

Нижний концентрационный предел распространения пламени рассчитывается по формуле:

$$\varphi_n^* = \frac{273 \cdot \varphi_{нп} \cdot M}{2,24 \cdot T}, \quad (6)$$

где  $\varphi_{ни}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа, % (об.);

$M$  – молярная масса, кг/кмоль,  $M = 17,02$  кг/кмоль;

$T$  – рабочая температура аммиака, К.

По формуле (6) производим расчет:

$$\varphi_n^* = \frac{273 \cdot 15 \cdot 17,02}{2,24 \cdot 298,5} = 104 \text{ г/м}^3 = 0,104 \text{ кг/м}^3.$$

Объем взрывоопасной зоны вблизи места выхода паров (газа) определяется по формуле (5):

$$V_{\text{вок}} = \frac{17867,62}{0,104} = 171804,03 \text{ м}^3.$$

Расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  для горючих газов, ограничивающие область концентраций, превышающих НКПР, рассчитывают по формулам:

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

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left( \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (8)$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса поступившего в открытое пространство горючего газа при аварийной ситуации, кг;

$\rho_{\Gamma}$  – плотность горючего газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{НКПР}}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа, % (об.).

По формулам (7) и (8) производим расчет:

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left( \frac{17867,62}{0,73 \cdot 15} \right)^{0,33} = 86,59 \text{ м.}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left( \frac{17867,62}{0,73 \cdot 15} \right)^{0,33} = 2,98 \text{ м.}$$

Для расчетной аварии разгерметизации горизонтального испарителя с аммиаком геометрически зона, ограниченная НКПР газов, будет представлять цилиндр с основанием радиусом  $R_6 = 86,59$  м и высотой  $h_6 = h_a + R_6 = 3,2 + 86,59 = 89,79$  м. За начало зоны принимаем внешние габаритные размеры испарителя.

Выброс 17,9 тонн аммиака может нанести ущерб жизни и здоровью не только персонала данного цеха, но и рядом расположенных цехов. Вдобавок, может повлечь за собой неблагоприятные последствия для экологической обстановки.

### **Список литературы**

1. Алексеев, В. С. Безопасность жизнедеятельности: конспект лекций / В. С. Алексеев, О. И. Жидкова, Н. В. Ткаченко. – Москва: Эксмо, 2008. – 160 с.
2. ГОСТ 6221-90 Аммиак жидкий технический. Технические условия. – Введен 01.01.1991. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 27 с.
3. Иванов, Ю. И. Пожарная безопасность технологических процессов и производств: методические указания / Ю. И. Иванов. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. – 115 с.
4. Маршалл, В. К. Основные опасности химических производств: пер. с англ. / В. К. Маршалл. – Москва: Мир, 1989. – 672 с.
5. Храмцов, Б. А. Промышленная безопасность опасных производственных объектов: учебное пособие / Б. А. Храмцов, А. П. Гаевой, И. В. Дивиченко. – Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – 187 с.

### **References**

1. Alekseev, V. S. Life safety: lecture notes / V. S. Alekseev, O. I. Zhidkova, N. V. Tkachenko. - Moscow: Eksmo, 2008 .- 160 p.
2. GOST 6221-90 Technical liquid ammonia. Technical conditions. - Introduced 01.01.1991. - Moscow: Publishing house of standards, 1990 .- 27 p.
3. Ivanov, Yu. I. Fire safety of technological processes and production: guidelines / Yu. I. Ivanov. - Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of the Food Industry, 2014 .- 115 p.
4. Marshall, V. K. The main hazards of chemical industries: trans. from English / V.K. Marshall. - Moscow: Mir, 1989 .- 672 p.
5. Khramtsov, B. A. Industrial safety of hazardous production facilities: textbook / B.A. Khramtsov, A.P. Gayevoy, I.V. Divichenko. - Belgorod: Publishing house BSTU im. V.G. Shukhova, 2007 .- 187 p.