

Р. Р. Насибуллин, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБЛАКОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСАХ И ПРОЛИВАХ

Ключевые слова: завесы, выброс опасных веществ, рассеивание, концентрация.

В этой статье были рассмотрены основные виды завес, разработанных для ограничения распространения паров опасных веществ, описаны их механизмы действия, конструкции устройств, создающих завесы, приведена оценка их эффективности.

Keywords: curtains, the release of hazardous substances, dispersion, concentration.

In this paper the major types of curtains, that designed to limit the spread of hazardous vapours, are reviewed. The design of devices that create curtains and mechanisms of action of curtains are described. An estimate of water curtain effectiveness is given.

Введение

В химической промышленности, в процессе производства продукции, полуфабрикатов, а также при их транспортировке возможны случаи аварии с высвобождением больших количеств сильнодействующих ядовитых веществ в окружающую среду. Одно из наиболее опасных последствий данных выбросов – образование токсичных облаков, распространяющихся в атмосфере. Это приводит к превышению концентраций ядовитых веществ в воздухе выше безопасных норм, тем самым создаётся угроза жизни и здоровью людей, находящихся в районе случившейся аварии. Эвакуация людей не всегда представляется возможной из-за высокой скорости развития проявлений и последствий техногенного выброса. К одним из эффективных средств защиты людей от поражения высвободившимися из-за аварии опасными веществами можно отнести завесы, ограничивающие распространение облаков пара этих веществ.

Процессы формирования и последующего распространения газовой завесы облака исследовались в большом количестве работ, например, таких как [1,2]. Однако, число работ, где рассматривается влияние защитных систем на рассеивание облака, очень ограничено. Из всего вышесказанного можно заключить, что данная тема малоизучена и её дальнейшая разработка довольно актуальна.

Виды завес, их характеристики, особенности, эффективность

Из известных на данный момент средств ограничения распространения облаков пара опасных веществ наибольший интерес представляют завесы, так как они довольно эффективны, универсальны к различным типам веществ, высвобождающихся в результате аварии, также они просты в использовании [3].

Завесы различаются и классифицируются:

- по типу и агрегатному состоянию вещества, формирующего завесу (твёрдая стенка, водяная, паровая или газовоздушные завесы);

- по направлению формирования завесы (восходящая или нисходящая водяная, газовоздушная завесы), определяемого характером локализуемого облака пара [4];

Жидкостные и газообразные завесы формируются с помощью форсунок в форме конуса, цилиндрических патрубков, размеры которых варьируются в зависимости от требуемых параметров завесы. По трубопроводу под давлением подаётся вода, пар или воздух, в зависимости от того, какой тип завесы необходимо создать [4].

Защитные завесы устанавливают между источником выброса опасных веществ и защитной зоной. Основной защитный механизм у газовоздушных и водяных завес – это рассеивание, разбавление опасного вещества в воздухе до безопасных для человека концентраций.

Направленная вертикально вверх струйная газовоздушная завеса вызывает за счёт сил вязкостного трения подъём прилегающих с обеих сторон к завесе слоёв воздуха от поверхности вверх на высоту, равную высоте завесы. Двигающееся по ветру от источника заражения облако ядовитых или отравляющих веществ при приближении к защитной газовой завесе изменяют свою траекторию так, что приземная часть облака поднимается на высоту газовой завесы. Более высокие части облака поднимаются на ещё большую высоту. Поскольку подъём воздуха газовой завесой осуществляется с её подветренной стороны, то после завесы облако ядовитых или отравляющих веществ не опускается к поверхности, а рассеивается в атмосфере. При этом концентрация ядовитых или отравляющих веществ в приземном слое по пути движения облака будет значительно ниже, чем без его подъёма газовой завесой. Эффективность защитной газовой завесы по снижению концентрации ядовитых или отравляющих веществ в приземном слое, в основном, зависит от высоты завесы, её расстояния от источника заражения, метеоусловий и не зависит от вида ядовитых или отравляющих веществ [5].

Если в качестве примера опасного вещества взять хлористый водород, то исследования показали, что защитная газовоздушная завеса существенно (более чем в 10 раз) уменьшает концентрацию

хлористого водорода в приземном слое атмосферы вдоль пути центральной части облака. Эффективность действия газовой завесы особенно велика на малых расстояниях от завесы [5].

Водяная завеса может быть использована для растворения, абсорбции, нагрева или охлаждения и задерживания облаков газовых выбросов. В качестве устройств, распыляющих воду в виде вертикальной завесы, используют:

- различные трубопроводы, оборудованные распылителями, которые коррозионно-устойчивы и не склонны к закупориванию;

- веерообразные или дренчерные распылители, где под давлением в вертикальном направлении подается струя воды на полуэллиптическую пластину, которая далее распыляет струю воды на мелкие капли.

Вертикальное распыление может быть нисходящим или восходящим. Восходящие системы более эффективны чем нисходящие, с точки зрения растворения, но нисходящие завесы показывают лучший замедляющий эффект и могут задерживать паровые облака на начальном этапе выброса [6].

Выбор системы зависит от локальных условий, таких как движение облака. Водяная завеса не должна опускаться на поверхность пролива сжиженного газа, так как это может усилить его испарение из-за нагрева [6].

К параметрам, определяющим эффективность завесы, относят давление в форме кинетической энергии капель, высоту завесы, размер капель и расход воды.

Система может срабатывать или вручную, когда производственный персонал сам обнаруживает проблему (визуально, на слух или запах), или автоматически посредством использования газовых датчиков.

Защитное действие водяной завесы включает комбинацию следующих механизмов [6]:

- разбавление. Турбулентность, создаваемая водяными каплями, способствует смешению газового выброса с воздухом. Чем больше размер капель, тем лучше происходит разбавление [6].

- растворение или химическое превращение. Этот механизм зависит от внешней поверхности капель: чем меньше капли, тем выше эффективность. Распыленная вода может поглощать газы, если последние хорошо растворимы, как, например, пары кислот. Водяные завесы относительно неэффективны при снижении опасности воздействия водо-нерастворимых газов. Степень растворения можно расширить с помощью растворения реагентов в воде, например, аммиак для фосгеновых облаков, при условии, что его концентрация находится под контролем.

- тепловой эффект. В случае образования холодного облака, вода повышает его температуру, что, в случае легкого газа, усиливает вертикальное рассеяние. Также возможно применять завесу для тушения пламени. Если газ горючий, то при его охлаждении завесой может снижаться вероятность возгорания. В случаях возгорания нефтепродуктов

водяная завеса способна поглощать излучение пламени.

- эффект торможения движения облака. Водяная завеса ведет себя как проницаемое препятствие.

К защитным завесам также можно отнести паровые. Паровые завесы функционируют аналогично водяным, потому что пар, конденсируясь, почти мгновенно образует капли, хотя эффект абсорбции при этом будет невелик [6].

Паровая завеса снижает плотность газового облака, проходящего через него, за счёт теплообмена. Паровые завесы также могут способствовать разбавлению горючих газов, что предотвращает риск возгорания. Это свойство применяется в автоматических системах защиты.

Оценку эффективности водяной завесы принято выражать такими величинами, как фактор разбавления D_F и отношение импульсов завесы и газового облака R_M .

D_F определяется как отношение концентрации вещества в окружающем воздухе при отсутствии действия завесы $C_{\text{без завесы}}$ к концентрации вещества газового выброса в воздухе при функционировании водяной завесы $C_{\text{после завесы}}$ [3].

$$D_F = \frac{C_{\text{без завесы}}}{C_{\text{после завесы}}} \quad (1)$$

R_M представляет собой отношение импульса водяной завесы к импульсу газового облака [3]:

$$R_M = \frac{m_{l,U} \cdot U_{do}}{\rho V^2 \cdot H_{WC}} \quad (2)$$

где $m_{l,U}$ – расход жидкости на единицу длины, U_{do} – начальная скорость капли в отверстии сопла, ρ – плотность облака, V – скорость ветра, H_{WC} – высота водного занавеса.

На основе различных подходов визуализации и анализа результатов было установлено, что отношение импульсов R_M – важный параметр, позволяющий оценить эффективность водяной завесы.

С помощью математического моделирования было установлено, что при низких значениях R_M газовое облако проходит завесу без значимых изменений концентраций ($R_M=0 \div 2$) [3]. При высоких значениях R_M , обычно около 10, водяная завеса начинает вести себя как активное препятствие для газового облака. Из-за подмешивания воздуха в струю, газовое облако на уровне земли сталкивается с, направленным против ветра, турбулентным воздушным потоком, формируемым завесой. При этом размеры рециркуляционной зоны с наветренной стороны водяной завесы увеличиваются.

Значение R_M , при котором наблюдается изменение во взаимодействии завесы и облака, определялось в полевых и лабораторных

испытаниях. Обнаружено, что данное значение находится в интервале $3 < R_M < 5$ [3].

Литература

1. А. Д. Галеев, Е. В. Старовойтова, С. И. Поникаров, Вестник Казан.технол. ун-та, **14**, 3, 130-135, (2011).
2. Е. В. Старовойтова, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров, Вестник Казан.технол. ун-та, **13**, 175-179, (2011).
3. Karin Hald, Jean-Marie Buchlin, Aurelia Dandrieux, Gilles Dusserre, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **18**, 5, 506-511, (2005).
4. Morshed A. Rana, M. Sam Mannan, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **23**, 768-772, (2010).
5. Пат. РФ 2179046 (2002).
6. Atmospheric dispersion. European Process Safety Centre. 1999.

© **Р. Р. Насибуллин** - асп. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, rail90ongp@yandex.ru; **А. Д. Галеев** - канд. техн. наук, доц. той же, galeev_ainur@mail.ru; **С. И. Поникаров** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, ponikarov_si@kstu.ru.