

Об эффективной длительности процессов испарения

Богач В. В.¹, Маркина Г. А.², Васьков Р. Е.³, Бодрова В. В.⁴, Карзанова Н. Ю.⁵

¹Богач Виталий Васильевич / Bogach Vitalij Vasil'evich – кандидат химических наук, доцент,
кафедра промышленной безопасности,
химический факультет,

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань;

²Маркина Галина Алексеевна / Markina Galina Alekseevna – эксперт;

³Васьков Роман Евгеньевич / Vas'kov Roman Evgen'evich – эксперт;

⁴Бодрова Виолетта Вячеславовна / Bodrova Violetta Vjacheslavovna – эксперт;

⁵Карзанова Наталья Юрьевна / Karzanova Natal'ja Jur'evna – эксперт,

ЗАО «Центр аварийно-спасательных формирований», г. Новомосковск

Аннотация: всегда вставал вопрос об эффективной длительности процесса при определении массы вещества, которая поступает в атмосферу за счет теплообмена, пролитой жидкости с подстилающей поверхностью и воздухом. Величина массы вещества зависит от интенсивности испарения (кипения) жидкости с поверхности. В статье авторами приведены формулы для определения времени испарения на открытой площадке и внутри помещения. Формула для определения времени испарения на открытой площадке имеет ряд недостатков, без устранения которых она не может быть применима.

Ключевые слова: испарение, интенсивность кипения, масса вещества.

При определении массы вещества, поступившего в атмосферу за счет теплообмена пролитой жидкости с подстилающей поверхностью G_4'' и воздухом G_5'' , всегда вставал вопрос об эффективной длительности этих процессов τ_u [1-3]:

$$G_4'' = 2 \cdot \frac{T_0 - T_k}{r} \cdot \frac{\varepsilon}{\sqrt{\pi}} \cdot F_n \cdot \sqrt{\tau_u}, \quad (1)$$

$$G_5'' = m_u \cdot F_{жс} \cdot \tau_u, \quad (2)$$

$$m_u = 10^{-6} \eta P_n \sqrt{M}, \quad (3)$$

$$P_n = P_0 \exp \left[\frac{r}{R} \left(\frac{1}{T_k} - \frac{1}{T_p} \right) \right], \quad (4)$$

где, T_0 , T_k - соответственно температуры подстилающей поверхности и жидкости, r - скрытая теплота испарения жидкости, F_n - площадь контакта жидкости с твердой поверхностью разлива (площадь теплообмена между пролитой жидкостью и твердой поверхностью), $F_{жс}$ - площадь поверхности зеркала жидкости, M - молекулярная масса вещества, η - безразмерный коэффициент, ε - коэффициент тепловой активности поверхности ($\varepsilon = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$, где λ - коэффициент теплопроводности материала, c - теплоемкость материала, ρ - плотность материала твердой поверхности), τ_u - время контакта жидкости с поверхностью пролива, принимаемое в расчет, P_n - давление насыщенного пара при расчетной температуре T_p .

Соотношение (1) описывает нестационарный (затухающий во времени) процесс кипения по мере того, как поверхность будет охлаждаться. Интенсивность испарения (кипения) жидкости (количество испарившегося вещества из пролива с единичной поверхности в единицу времени) есть производная по времени (1):

$$m_u = \frac{T_0 - T_k}{r} \cdot \frac{\varepsilon}{\sqrt{\pi \cdot \tau_u}}. \quad (5)$$

По мере снижения теплового потока от подстилающей поверхности со временем падает интенсивность кипения жидкости согласно зависимости (5) и в какой-то момент времени она становится равной интенсивности стационарного испарения, представленной уравнением (3) (процесс кипения переходит в процесс стационарного испарения). Таким образом, совместное решение уравнений (5) и (3) определяет так называемое «эффективное время интенсивного кипения»:

$$\tau_{кин} = \left(\frac{(T_0 - T_k) \cdot F_n \cdot \varepsilon}{r \cdot \sqrt{\pi} \cdot F_{жс} \cdot m_u} \right)^2, \quad (6)$$

где m_u – интенсивность стационарного испарения (3). Отметим, что $\tau_{кин}$ – константа, зависящая от свойств сжиженного газа, поверхности пролива и подвижности воздушного потока.

Так, например, нетрудно рассчитать, что эффективная продолжительность времени интенсивного кипения сжиженного аммиака на бетонной гладкой поверхности при скорости ветра 1 м/с и температуре подстилающей поверхности 20 °С составляет 2 минуты.

Время стационарного испарения, принимаемое в расчетах ранее (до вступления в силу [3]), определялось, как правило, временем локализации и ликвидации пролива, т. е. наличием и техническими характеристиками противоаварийных средств, отвечающих за локализацию и эвакуацию пролива, но не более 1 часа [2, 4-5].

В нормативном документе [3] предлагают следующую формулу для определения времени испарения по формулам (1) и (2):

$$\tau_u = \max \left(\frac{L_{0,5нкпр}}{U_{ветра}} \cdot \left(\frac{3 \cdot (T_0 - T_k)}{r \cdot \sqrt{\pi}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{F_n}{F_{жс}} \cdot \frac{1}{m_u} \right)^2 \right) \quad (7)$$

Здесь $L_{0,5нкпр}$ – расстояние, на котором опасное вещество рассеивается до концентрации 0,5·НКПР при скорости ветра $U_{ветра}$.

Подробнее рассмотрим функциональную зависимость (7). Подстановка в (7) соотношения (6) несколько упрощает его, однако не придает ему большего физического смысла:

$$\tau_u = \max \left(\frac{L_{0,5нкпр}}{U_{ветра}} \cdot \frac{9 \cdot \tau_{кин}}{\tau} \right) \quad (8)$$

Покажем, что соотношение (7) имеет ряд недостатков, без устранения которых оно не может быть применимо. Разберем их.

1. Вид функциональной зависимости \max предполагает нахождение максимального значения функции, т. е. максимального времени испарения. Однако первый множитель под функцией \max является текущим временем $L_{0,5нкпр}/U_{ветра} = \tau$, а второй – обратно пропорционален ему. Поэтому непонятно, о каком максимальном значении функции может идти речь.

2. Отсутствуют рекомендации по оценке расстояния $L_{0,5нкпр}$.

3. Соотношение (7) не применимо для скорости ветра $U_{ветра} = 0$, т. е. в штиль или внутри помещений.

4. Соотношение (7) не применимо при $T_k > T_0$.

Авторы полагают, что вид зависимости (7), по крайней мере, исходя из логики представленных в статье рассуждений, для открытых площадок должен иметь следующий вид:

$$\tau_u = \max \left(\frac{L_{0,5нкпр}}{U_{ветра}} ; \left(\frac{(T_0 - T_k)}{r \cdot \sqrt{\pi}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{F_n}{F_{жс}} \cdot \frac{1}{m_u} \right)^2 \right) \cdot (9)$$

Теперь первое выражение в формуле (7) есть время, за которое опасное вещество рассеивается до концентрации 0,5·НКПР при скорости ветра $U_{ветра}$, второе – «эффективное время кипения».

Для расчета $L_{0,5нкпр}$ на открытых площадках следует воспользоваться рекомендациями по расчету границ зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени (п. VI [6]).

Выражение (7) внутри помещений представляется следующим:

$$\tau_u = \max \left(\tau_{лок.}; \left(\frac{(T_0 - T_k)}{r \cdot \sqrt{\pi}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{F_n}{F_{жс}} \cdot \frac{1}{m_u} \right)^2 \right) \quad (10)$$

где $\tau_{лок.}$ – время локализации (ликвидации) пролива с учетом имеющихся на производстве противоаварийных средств, предусмотренных проектом, и их технических характеристик.

Литература

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (утв. Госгортехнадзором СССР от 06.09.1988 г.).
2. ПБ 09-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (утверждены постановлением ГГТН России от 05.05.03 г. № 29).
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила безопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (утв. приказом Ростехнадзора от 11.03.2013 г. № 96); взамен ПБ 09-540-03.

4. *Гимранов Ф. М.* Прогнозирование сценариев развития аварии на нефтехимических производствах / *Ф. М. Гимранов* // Вестник Казанского технологического университета. - 2010. - № 5. – С. 158-161.
5. *Васьков Р. Е., Богач В. В.* О некоторых вопросах планирования мероприятий по локализации и ликвидации аварий / *Р. Е. Васьков, В. В. Богач* // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - № 2. – С. 428-429.
6. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (утверждены приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 г. № 158).