

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЁТА МАССОВОЙ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

Роженцова Анна Сергеевна

студент, Поволжский государственный технологический университет, РФ, г. Йошкар-Ола

Смотрин Константин Александрович

научный руководитель, канд. техн. наук, заведующий кафедрой БЖД, Поволжский государственный технологический университет, РФ, г. Йошкар-Ола

ВВЕДЕНИЕ

С ростом числа применимости химических веществ на производстве, увеличивается и число аварии, связанных с ЛВЖ в частности. Именно поэтому важным является прогнозирование чрезвычайного происшествия (ЧП) такого типа, одной из стадий которого является образование так называемого вторичного облака вследствие испарения жидкости со свободной поверхности. В свою очередь последнее учитывает такой важный параметр, удельная массовая скорость испарения вещества.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДИКИ

Что касается отечественных методик, то установленный алгоритм расчёта массы испарившейся жидкости можно найти в Приложении И [3], а также Руководство по безопасности [5]. Однако, многие специалисты указывают на большую неточность результатов, вычисленных согласно приведенным формулам нормативных документов в связи с отсутствием учёта множества факторов, влияющих на процесс испарения []. Рассмотрим их подробнее.

1. ГОСТ Р 12.3.047-2012

Приложение И [3] гласит, что интенсивность испарения $W, \text{кг}/(\text{с} * \text{м}^2)$ может быть найдена по следующему соотношению:

$$W = 10^{-6} * \eta * \sqrt{M} * P_H, \quad (1)$$

где η - коэффициент, принимаемый для помещений по таблице И.1 [3] в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения. При проливе жидкости вне помещения допускается принимать 1;

M - молярная масса жидкости, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

P_H - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа .

Анализ показал, что данная формула наиболее точна для определения скорости испарения в

ограниченном пространстве, т.е. в помещении, в то время как для коэффициента, зависящего от скорости и температуры воздушного потока, на открытой местности дано единственное значение. Скорость ветра на открытом пространстве принято задавать на "стандартной" высоте 10 м. Такие «ограничения» параметров недопустимы и могут существенно повлиять на результаты расчёта.

Кроме того диапазон температур таблицы И.1 [3] отражает лишь «плюсовую» часть области температурных условий.

2. Руководство по безопасности №158

Руководство по безопасности [5] определяет расход ОВ во вторичном облаке, как:

$$q = F \sqrt{\mu} * 10^{-6} * (5,38 + 4,1 * u_{0z\phi\phi z}^H) * P_H, \text{ кг/с}, \quad (2)$$

где F - площадь поверхности пролива жидкого опасного вещества, м^2 ;

μ - молярная масса, кг/моль ;

$u_{0z\phi\phi z}^H$ - эффективная скорость движения вторичного облака, м/с ;

P_H - давление насыщенного пара опасного вещества при температуре воздуха, мм рт. ст.

Данная методика оценивает одну из составляющих формулы (2) $u_{0z\phi\phi z}^H$ более подробно через гамма-функцию:

$$u_{0z\phi\phi z}^H = \frac{\Gamma * [(1 + \alpha_B) / \beta]}{\Gamma * [1 / \beta]} * u_{10} * \left(\frac{S_z^1}{z_{10}} \right)^\alpha \quad (3)$$

где: α_B — показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;

β — вспомогательный коэффициент, $\beta = 1 + \alpha_B$;

S_z^1 — вертикальная дисперсия при рассеянии облака в атмосфере, м;

z_{10} — стандартная высота, на которой задается скорость ветра, равна 10 м;

Γ - гамма-функция.

Однако анализ Руководства показал, что в методике не раскрывается понятие эффективной скорости движения облака, и поиск данного множителя математически затруднен.

Необходимо учитывать, что молярная масса вещества и давление насыщенного пара входят в [3] и [5] и в различной размерности.

ЗАРУБЕЖНЫЕ МЕТОДИКИ

В качестве наиболее авторитетных и цитируемых источников информации можно рассмотреть модель Кавамуры – Маккея [1] и метод Саттона [2].

1). World bank technical paper № 55

В модели Всемирного Банка [2] подробно описана последовательность процесса испарения и обусловленность тех или иных процессов. Для количественной оценки используется модель Саттона (Sutton model):

$$w = \frac{\alpha}{\pi} * \left[\frac{P_{атм} * \mu}{R * T_a} \right] * u^{\frac{2-n}{2+n}} * r^{\frac{4+n}{2+n}} \text{ кг/с} \quad (4)$$

где u - скорость ветра, м/с;

r - радиус пролива, м;

$P_{атм}$ - атмосферное давление, Па;

μ - молярная масса вещества;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/моль * К;

T_a - температура атмосферного воздуха, К.

α и n - безразмерные коэффициенты, определяемые по таблице 2 [2] в зависимости от типа температурной стратификации. Однако в работе нет никаких объяснений касательно данных понятий, что делает определение данных параметров затруднительным.

В методике обосновано, что при проливе необходимо руководствоваться турбулентными механизмами переноса, что заставляет пересмотреть нормативные методики Российской Федерации [3], [5].

2). CPR-14E Methods for the calculation of physical effects

Зарубежное Руководство [1] предлагает осуществлять расчет по корреляции Кавамуры и МакКея (Kawamura&MacKay):

$$w = k_m * \frac{P_H * \mu}{R * T_{ПР}}, \quad (5)$$

где P_H - давление пара, Н/м²;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль*К);

μ - молекулярная масса вещества, кг/моль;

$T_{ПР}$ - температура жидкости, К;

k_m - коэффициент переноса массы, м/с:

В представленном методе учитываются многочисленные факторы, влияющие на процесс испарения (солнечное излучение, перенос тепла из атмосферы и др.). Но предполагается равенство температуры пролива $T_{пр}$ и температуры атмосферы T_a , и ее постоянство по всей глубине пролива, что делает её недостоверной. Учтём, что в работе не было представлено объяснение перерасчёта приземной температуры окружающего воздуха к высоте Флюгера для

вычисления $U_{10}^{0,78}$ - скорости ветра на стандартной высоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих на данный момент методик расчёта интенсивности испарения ЛВЖ при аварийном проливе, показал, что действующие алгоритмы вычислений имеют много недостатков. На основании обзорного материала можно утверждать о необходимости совершенствования методик расчёта интенсивности испарения опасного вещества. Лучшим аргументом будут являться экспериментальные данные.

Список литературы:

1. CPR-14E Methods for the calculation of physical effects (yellow book). 3th ed. – Hague: VROM, 2005 – 870 p.
2. World bank technical paper № 55. Techniques for assessing industrial hazard. A manual. – NY.: Technica Ltd, 1988. – 188 p.
3. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.- М.: Стандартинформ, 2014. – 65с.
4. Колесников Е.Ю. Неопределенность оценок аварийного риска объектов нефтегазовой отрасли: дис. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук. – Йошкар-Ола, 2019. – Режим доступа: <http://www.nsc.ru/interval/Library/ApplDiss/KolesnikovEYu-disser.pdf>
5. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. — 130 с.