

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ОПАСНОСТИ ПРИ АВАРИЙНЫХ ПРОЛИВАХ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ РИСКА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

С. А. Хлуденев, Н. М. Рябчиков, А. Г. Шумихин, В. Б. Гриценко
УралПромБезопасность, Ростехнадзор

Для нефтехимических производств одним из наиболее вероятных и опасных вариантов развития аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией оборудования, является горячий пролив легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и токсичных веществ (ТВ) на подстилающую поверхность с последующим их нестационарным испарением и формированием взрывоопасного или токсичного облака.

Известные методики расчета массы токсичного или взрывоопасного облака, определяющей силу взрывного или токсического воздействия, весьма разноречивы и предназначены только для установившихся процессов испарения опасных веществ.

Указанные обстоятельства не позволяют объективно оценить риск аварийных ситуаций при эксплуатации нефтехимического оборудования, и тем самым, затрудняют решение задач управления безопасностью нефтехимических производств.

В этой связи нами предпринято экспериментальное исследование кинетических закономерностей испарения опасных веществ с поверхности горячих аварийных проливов.

Объектом исследования служили крупнотоннажные продукты нефтехимии: бензол, метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), а также этилбензол, являющиеся легковоспламеняющимися жидкостями и опасными химическими веществами II и III класса опасности.

Исследование кинетики испарения проводили на специально изготовленной лабораторной установке методом динамической термогравиметрии в политермических условиях при различной подвижности воздушной среды.

Политермический режим обеспечивался в результате естественного охлаждения горячего пролива от температур, близких к температурам кипения, до комнатной температуры. Это позволило максимально приблизить условия эксперимента к реальным условиям испарения аварийных проливов. Скорость набегающего воздушного потока U варьировалась от 0.5 до 3.5 м/с.

Опытные данные обрабатывались в соответствии с молекулярно-кинетической теорией испарения по уравнению

$$J = K \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

где J — интенсивность испарения, кг/с·м²;

E — наблюдаемая энергия активации, кДж/моль;

R — универсальная газовая постоянная, кДж/моль·К;

K — коэффициент, зависящий от химического состава вещества.

Обработка опытных данных позволила определить кинетические параметры процесса изотермического испарения опасных веществ (ОВ) для широкого интервала температур как в неподвижной, так и подвижной воздушной среде (табл. 1, 2).

Кинетические параметры испарения ОБ в условиях неподвижной воздушной среды

E , кДж/моль		K , кг/с·м ²
МТБЭ	56.39	1.7×10^7
Бензол	47.22	1.57×10^5
Этилбензол	35.36	5.09×10^2

Таблица 2

Кинетические параметры испарения ОБ в условиях обтекания пролива воздухом

$E=f(U)$, кДж/моль		$K=f(U)$
МТБЭ	$27.9 + 1.7 \cdot U - 1.6 \cdot U^2 + 0.034 \cdot U^3$	$\exp(6.34 + 0.58 \cdot U - 0.21 \cdot U^2 + 0.05 \cdot U^3)$
Бензол	$29.3 + 4.9 \cdot U - 1.6 \cdot U^2 + 0.7 \cdot U^3$	$\exp(5.83 + 3.78 \cdot U - 1.33 \cdot U^2 + 0.39 \cdot U^3)$
Этилбензол	$22.4 + 4.9 \cdot U - 0.9 \cdot U^2 + 0.001 \cdot U^3$	$\exp(1.41 + 3.48 \cdot U - 0.02 \cdot U^2 + 0.05 \cdot U^3)$

Полученные уравнения изотермической кинетики испарения были использованы нами для моделирования массообмена при разработке математического описания процесса нестационарного испарения опасных веществ с поверхности горячих аварийных проливов.

Для определения полей температур в слое жидкости и ее окружении при нестационарном испарении рассмотрена дифференциальная постановка двумерной задачи переноса тепла теплопроводностью и конвекцией, ее вариационный аналог и численная реализация вариационной постановки с помощью метода конечных элементов.

На основании математического описания разработан программный комплекс «VAPOUR», позволяющий адекватно оценить массу вещества во взрывоопасном или токсичном облаке, а также время и интенсивность его образования в различных условиях обтекания пролива воздушным потоком.

Рис. 1 иллюстрирует полученные с помощью программного комплекса «VAPOUR» результаты моделирования распределения температур в системе жидкость — подстилающая поверхность — воздух при испарении аварийного пролива МТБЭ для различных скоростей обтекания. Характер деформации температурного поля на рис. 1 свидетельствует о том, что в подвижной воздушной среде при скорости воздушного потока 0.5 м/с процесс испарения ЛВЖ переходит из внешнедиффузионной области в кинетическую, т.е. лимитируется скоростью молекулярных процессов на межфазной границе, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

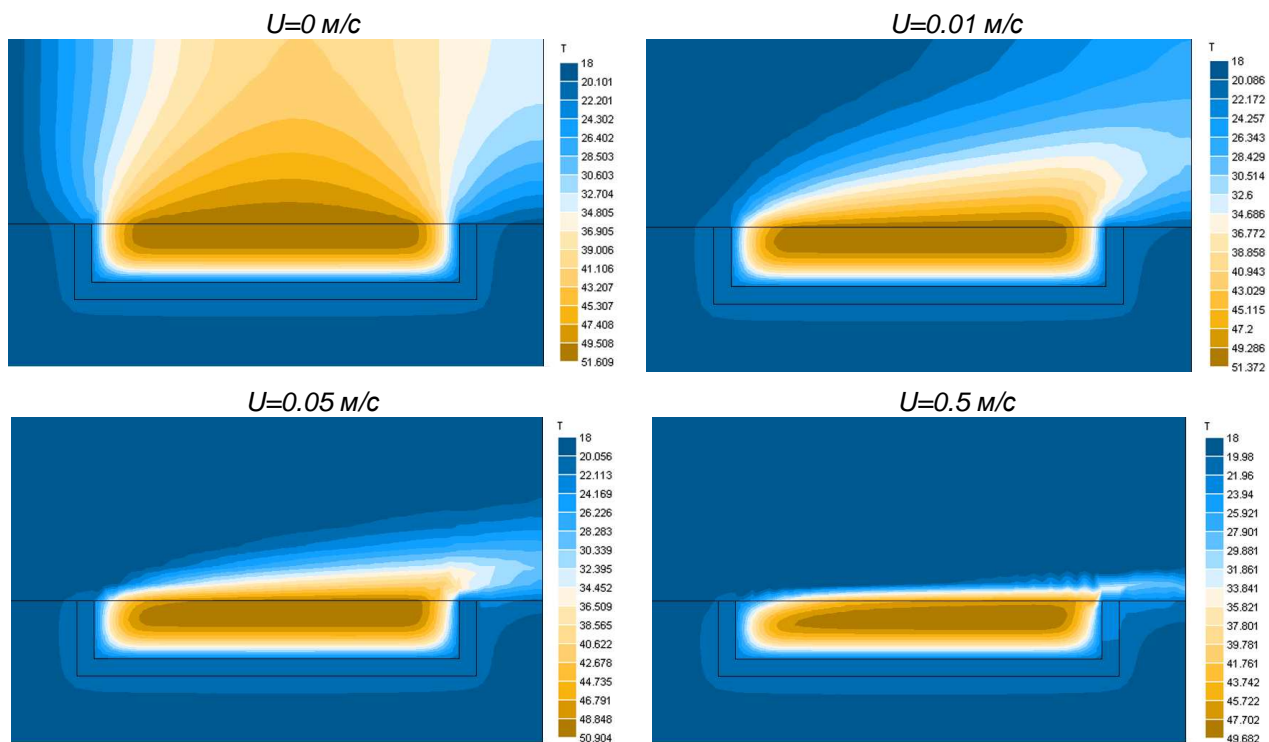


Рис. 1. Поле температур при нестационарном испарении МТБЭ для различных скоростей обтекания

Результаты исследований могут способствовать расширению арсенала программных средств для управления безопасностью на основе современных информационных технологий.