

*А.А. Тесленко, канд. физ.-мат. наук, доцент, НУГЗУ,
А.Ю. Бугаев, адъюнкт, НУГЗУ*

РАСЧЕТНЫЕ И ПРОВЕРОЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО СЛИВА ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Рассмотрена проблема надежности алгоритма определения расчетных характеристик аварийного слива. Предложены более точные алгоритмы расчета параметров слива, позволяющие достичь большей надежности и избежать избыточности защитного оборудования. Впервые опробован обобщенный численный алгоритм определения условий обратного движения сливаемой жидкости в случае нескольких аппаратов, подключенных к одному трубопроводу.

Ключевые слова: аварийный слив, пожарная безопасность технологических процессов, абсолютная ошибка, время опорожнения технологических аппаратов, авария, чрезвычайная ситуация, модель.

Постановка проблемы. Масштабы пожара зависят от количества горючего вещества, находящегося в области воспламенения и областях, на которые пожар распространяется. Для уменьшения наносимого пожаром ущерба необходимо уменьшить объем горючего вещества, постоянно находящегося в зоне производства. Сущность технологического процесса не всегда позволяет такое уменьшение. Если производственная необходимость заставляет хранить значительные объемы опасных веществ в зоне возможной аварии, проблему уменьшения масштаба аварии часто удается решить удалением горючего вещества из опасной зоны после того, как аварийная ситуация началась или непосредственно перед началом аварии, когда очевидно, что аварийная ситуация наступит. Удаление жидкого горючего вещества из области охваченной аварией по трубопроводу самотеком или посредством перекачивания называется аварийным сливом.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на тот факт, что установка аварийного слива является важной проблемой, постановка которой сделана значительный период времени назад [1-3], решение задачи расчета параметров слива нуждается в дополнительном исследовании.

Постановка задачи и ее решение. Необходимость таких исследований обусловлена отсутствием данных о достоверности и надежности таких расчетов. Неизвестно, как скажутся нарушения технологиче-

ского режима и (или) неточность исходных характеристик защищаемого оборудования на способность аварийного слива выполнять свои функции. Как будет показано ниже, решение задачи определения параметров слива приводит к использованию как прямой задачи расчета скорости жидкости и времени слива по известным напорам и параметрам трубопровода, так и обратной, когда требуется определять параметры трубопровода. В случае приводимых ниже итерационных вычислений, прямая и обратная задачи используются в одном алгоритме. Если прямые задачи характеризуются устойчивостью своих алгоритмов, то обратные являются, как правило, неустойчивыми. Как следствие, незначительные изменения технологического режима аппаратов или свойств смеси веществ в них находящиеся могут привести к неприемлемым изменениям в расчетных параметрах аварийного слива.

В данной статье поставлена цель исследовать свойства расчетных алгоритмов аварийного слива. Задача аварийного слива в краткой форме описана, например, в [1, 2]. Главный параметр аварийного слива – время аварийного слива ($\tau_{\text{аварийного слива}}$).

$$d\tau_{\text{аварийного слива}} = \frac{dV}{Q(H)} \quad (1)$$

где V – объем жидкости в аппарате; H – напор (высота уровня жидкости над сливным отверстием в аварийной емкости); Q – расход жидкости во время аварийного слива.

Полное время аварийного слива определится формулой

$$\tau_{\text{аварийного слива}} = \int_{H_2}^{H_1} \frac{S(H)dH}{Q(H)} \quad (2)$$

где H_1 – напор непосредственно перед началом слива; H_2 – напор в конце слива; $S(H)$ – площадь поверхности жидкости в аппарате при напоре H (S не зависит от H , если аппарат имеет форму вертикального цилиндра). Q всегда является функцией H , скорости жидкости в трубопроводе w (как следствие, функцией критерия Рейнольдса Re , диаметра трубопровода d , вязкости μ и плотности ρ сливаемой жидкости).

Формула для w имеет нелинейную зависимость от H

$$w = 4.42945 \cdot \varphi_{\text{нелинейная}} \sqrt{H} \quad (3)$$

В предлагаемых алгоритмах [1, 2] используется усредненное значение скорости $w_{\text{среднее}}$ (среднее арифметическое значение скоро-

сти в начале и конце слива).

$$w_{\text{среднее}} = 2.21472 \cdot \varphi_{\text{сист}} \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right) \quad (4)$$

где $\varphi_{\text{сист}}$ - коэффициент расхода системы аварийного слива, который в свою очередь от скорости w [3] (такая циклическая зависимость приводит к необходимости применения итерационного алгоритма расчета трудоемкого в случае счета «вручную», в котором возникают вопросы сходимости и устойчивости, не обсуждаемые в этой статье), H_1, H_2 – напоры в начале и конце слива. Как следствие, в вычислительных алгоритмах [1-3], скорость w считается постоянной, равной среднему арифметическому от своих значений в начале и конце аварийного слива. Коэффициент расхода трубопроводной системы $\varphi_{\text{сист}}$ считается во время слива тоже постоянным и соответствующим скорости $w_{\text{среднее}}$.

Исследования алгоритма [1, 2] показывают нелинейный характер зависимости $\varphi_{\text{сист}}$ от H рис. 1.

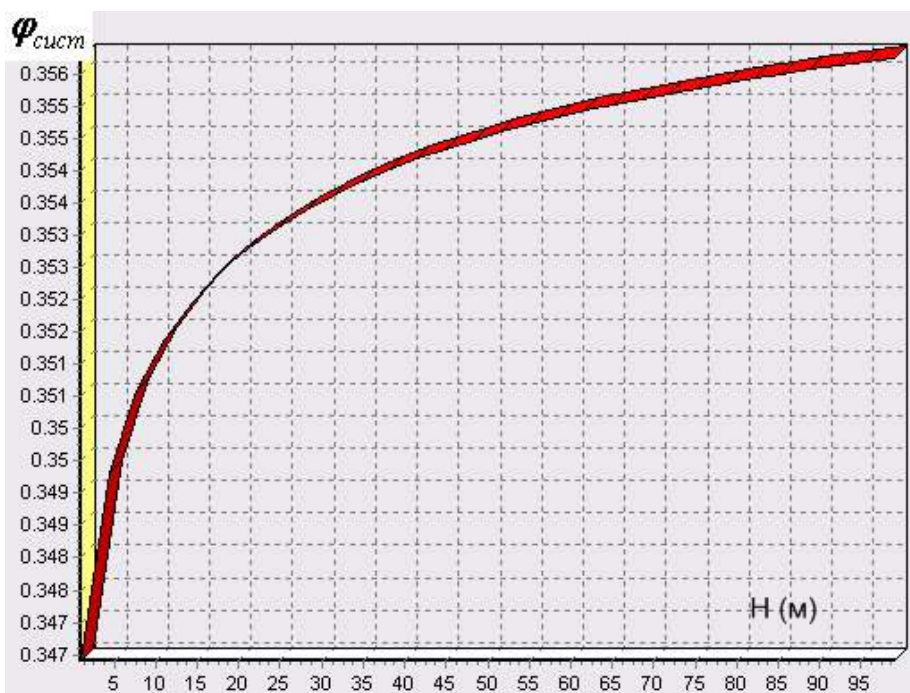


Рис. 1 – Зависимость коэффициента расхода трубопроводной системы $\varphi_{\text{сист}}$ от напора H (м).

Учитывая нелинейный характер зависимости, показанный на рис. 1, усреднение, сделанное в формуле (4), некорректно, но может

служить приближенной оценкой реального значения. Можно найти верное $w_{\text{среднее}}$, но это потребует численных расчетов для каждого варианта трубопроводной системы. В работе предлагается подход, состоящий в численном интегрировании (2), при Q , выраженном через точное значение скорости.

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot w = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot 4.42945 \cdot \varphi_{\text{н\ddot{e}н\ddot{o}}} \sqrt{H} \quad (5)$$

где d – диаметр трубопровода.

Данный подход дает более точное значение времени аварийного слива, позволяет сделать конструкцию трубопровода менее избыточной.

Полные и надежные численные результаты, характеризующие достоверность расчетов, можно получать только для конкретных применений аварийного слива в имитационных экспериментах. Методы и некоторые результаты этих экспериментов представлены в [1,2]. Для схемы «один аппарат – одна аварийная емкость» и ограниченного количества случаев реализации этой схемы получены оценки погрешности в получаемых результатах. Для времени аварийного слива и диаметров труб погрешности не превышают 2-4%. Учитывая некоторую избыточность в защитных свойствах (например, выбираются для использования трубы большего диаметра, чем расчетный, из числа промышленно выпускаемых и доступных), принятую при постановке и реализации задачи расчета аварийного слива, данная погрешность является приемлемой.

Подход без усреднений (прямой записью численного вычисления (2) с использованием (3), (5)) позволяет решить более общую задачу защиты произвольного количества аппаратов. Для случая двух аппаратов такая задача решена в [3]. Для трех и более аппаратов в [3] предлагается использовать графический подход, который даже в случае трех аппаратов является громоздким. Впервые предлагаемый в данной статье численный подход решения задачи аварийного слива значительно менее трудоемок в применении. В [3], для случая двух аппаратов, указывалось, что возможен перелив жидкости из одного аппарата в другой (обратное движение жидкости по трубопроводу) вместо слива в аварийную емкость. Такая возможность является дополнительным источником опасности и должна быть полностью исключена. В численных исследованиях, представленных в [2], показаны случаи, когда это происходит. Имитационное моделирование позволяет предсказать возможность возникновения обратного движения жидкости и подобрать надежную схему трубопровода.

Выводы. Имитационные эксперименты с расчетным алгоритмом из [3] показывают приближенный характер расчетов. Алгоритм на основе численного интегрирования (2) успешно решает задачу расчета параметров аварийного слива. С его помощью удастся предсказать и разработать изменения к конструкции аварийного слива для предотвращения обратного течения сливаемой жидкости. Имитационное моделирование аварийного слива позволяет численно определить надежность расчетов, связанных с неустойчивостью численного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание и исследование модели опасного производства [Электронный ресурс] / В.В. Олейник, А.П. Михайлюк, С.А. Дудак, А.А. Тесленко // 2009 // <http://www.emergencemodeling.narod.ru/>

2. Modeling for fire overflow [Электронный ресурс] / А.А. Тесленко // 2012 // <http://www.fire-overflow.narod.ru/>

3. 3. Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств/ М.В. Алексеев, О.М. Волков, Н.Ф. Шатров - Москва: //Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР. - 1986. – С. 111-119.

nuczu.edu.ua

О.О. Тесленко, А.Ю. Бугайов

Розрахункові і перевірочні алгоритми визначення параметрів аварійного зливу небезпечної речовини

Розглянута проблема надійності алгоритму визначення розрахункових характеристик аварійного зливу. Запропоновані точніші алгоритми розрахунку параметрів зливу. Алгоритми дозволяють досягти більшої надійності і уникнути надмірності захисного устаткування. Уперше випробуваний узагальнений чисельний алгоритм визначення умов зворотного руху зливної рідини у разі декількох апаратів, підключених до одного трубопроводу.

Ключові слова: показник адіабати, запобіжний клапан, аварія, надзвичайна ситуація, модель, об'єкт підвищеної небезпеки, обчислювальний експеримент.

A.A. Teslenko, A.U. Bugaev

Calculation and verification algorithms of determination of parameters of emergency weathering of hazardous substance

The algorithm problem of reliability of calculation parameters determination of safety-valve is considered. More exact algorithms of calculation are offered. Algorithms allow to obtain greater reliability and avoid excess of protective equipment. The generalized numeral algorithm of determination of conditions for reverse motion liquid is first tested.

Keywords: pressure in equipped, safety-valve, accident, emergency, simulation, model, computation experiment.