

УДК 614.8

А.А. ТЕСЛЕНКО, канд. ф.-м. наук, А.Ю. БУГАЕВ

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

А.Б. КОСТЕНКО, канд. ф.-м. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ЗАВИСИМОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ОТ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ОБОРУДОВАНИИ

Рассмотрена проблема достоверности результатов расчета характеристик предохранительного клапана в зависимости от погрешности в определении избыточного давления в оборудовании. Изучен алгоритм расчета из действующего нормативного документа. Исследования проведены методами имитационного моделирования.

Розглянуто проблему стійкості алгоритму визначення розрахункових характеристик запобіжного клапана в залежності від похибки у визначенні тиску в обладнанні. Вивчено алгоритм розрахунку з діючого нормативного документу. Дослідження проведено методами імітаційного моделювання.

The problem of firmness of algorithm of determination of calculation descriptions of safety-valve is considered depending on an error in determination of pressure in an equipment. The algorithm of calculation is studied from an operating normative document. Study is undertaken by simulation techniques.

Ключевые слова: избыточное давление, предохранительный клапан, авария, чрезвычайная ситуация, модель, объект повышенной опасности, вычислительный эксперимент.

Предохранительный клапан — трубопроводная арматура, предназначенная для защиты от механического разрушения оборудования и трубопроводов избыточным давлением путём автоматического выпуска избытка жидкой, паро- и газообразной среды из систем и сосудов с

давлением, сверх установленного. Клапан также должен обеспечивать прекращение сброса среды при восстановлении рабочего давления. Предохранительный клапан является арматурой прямого действия, работающей непосредственно от рабочей среды, наряду с большинством конструкций защитной арматуры и регуляторами давления прямого действия. От правильности выбора клапана и конструкции всей системы сброса зависит вероятность возникновения аварийной ситуации. Конструкция всей линии сброса определяется расчетным путем и зависит от многих параметров защищаемого оборудования. Если какие-либо данные являются неверными, предохранительный клапан свои защитные функции выполнять не будет. Если все исходные данные верны, они всегда известны с некоторой степенью точности, которая будет влиять на выбор клапана и правильность расчетов всей линии сброса. Для уверенности в правильности работы линии сброса необходимы исследования влияния неточности исходных данных на параметры результирующей линии сброса. Иначе говоря, необходимо исследование алгоритма расчета линии сброса, в том числе и предохранительного клапана, на устойчивость к погрешностям исходных данных. Такие исследования производят поэтапно, для каждого параметра отдельно. Данная статья посвящена исследованию устойчивости алгоритма расчета клапана и линии сброса к точности определения давления в защищаемой системе.

Литературные данные о последовательных исследованиях устойчивости алгоритма расчета клапана отсутствуют. Для подобных исследований необходима постановка большого количества экспериментов. Дешевле всего произвести подобные исследования методами имитационного моделирования. Аналогичные исследования уже проводились. Имеется опыт и программные средства для их проведения. Так, в области моделирования аварий и чрезвычайных ситуаций начато создание специализированных языков имитационного моделирования [1].

Такой подход делает достижимым решение многих задач. С его помощью были построены обобщенные имитационные модели объектов повышенной опасности (ОПО), сориентированные на оценку опасности этих объектов для людей и окружающей среды. В [2] разработаны языковые средства для оценки опасности ОПО, называемой идентификацией. В [3] подход моделирования с помощью специализированного языка применен к прогнозированию последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. В [4,5] аналогичный подход применен к исследованию производственных коммуникаций. В работах [6-7] в языковые средства моделирования добавлялись и использовались в модельных исследованиях средства статистики и оптимизации. В работе [8] предложен многошаговый подход к построению имитационных моделей ОПО.

Когда предохранительный клапан закрыт, на его чувствительный элемент воздействует сила рабочего давления в защищаемой системе, которая стремится открыть клапан. С возникновением в системе возмущений, вызывающих повышение давления свыше рабочего, клапан открывается и происходит сброс рабочей среды через клапан. Если с понижением давления в защищаемом оборудовании, вызываемом сбросом среды, исчезает нежелательная величина давления, запорный орган клапана закрывается. При расчете клапана предполагается знание допустимых пределов изменения давления в защищаемом оборудовании и пределов реального изменения давления при возможном его повреждении [9]. В данной работе изучена устойчивость алгоритма расчета параметров предохранительного клапана к точности, с которой известно давление в защищаемом оборудовании. Также определяется, к какому индивидуальному риску приведет такое нарушение в достоверности величины давления. Для сосудов, содержащих газовую (паровую) фазу,

пропускная способность предохранительного клапана определяется по формуле:

$$G = \frac{K_n \cdot F_n \cdot (t_r - t_n) \cdot 3,6}{C_p (t_n + 273)} , \quad (1)$$

где: F_n - полная наружная поверхность аппарата, м^2 ;

t_r - температура газо-воздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверхность аппарата, $^{\circ}\text{C}$, $t_r = 600$ $^{\circ}\text{C}$;

t_n - температура газов (паров) в аппарате при нормальном режиме, $^{\circ}\text{C}$;

C_p - теплоемкость газа (пара) при давлении, $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$;

K_n - общий коэффициент теплопередачи от окружающего воздуха через стенку аппарата к газу (пару), $\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Площадь проходного сечения предохранительного клапана следует рассчитывать по формулам:

для газа

$$F = \frac{G}{3,16 \cdot B \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0,1)\rho_1}} \quad (2)$$

для жидкости

$$F = \frac{G}{5,03 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{(P_1 - P_2)\rho_2}} , \quad (3)$$

где: P_1 - максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном, равное давлению полного открытия клапана, МПа;

P_2 - максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном, МПа;

ρ_1 (ρ_2) - плотность реального газа (жидкости) перед клапаном при параметрах P_1 (P_2) и T_1 (T_2), кг/м^3 ;

T_1 - температура среды перед клапаном при давлении P_1 , $^{\circ}\text{C}$;

T_2 - температура среды за клапаном при давлении P_2 , $^{\circ}\text{C}$;

в качестве T_1 , T_2 может быть взята температура t_n);

α_1 - коэффициент расхода, соответствующие площади для газообразных сред;

α_2 - коэффициент расхода, соответствующий площади для жидких сред;

B – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах (коэффициент B_3 из таблицы А.1 в [9]).

Количество предохранительных клапанов определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{f} \quad (4),$$

где: f , мм² - площадь проходного сечения седла выбранного клапана.

Особая ценность имитационного моделирования состоит в том, что оно может прийти на помощь не только в сугубо теоретических исследованиях, а также при изучении и оптимизации свойств конкретных проектируемых, существующих или изменяемых объектов. Удачно разработанная стратегия моделирования позволяет не создавать новые модели для проверки версий отказов, аварий и т.п., а модифицировать или продолжать развитие уже готовых. Продолжим развитие имитационной модели из [10]. В [10] была создана абстрактная модель с двумя типами установок. Для простоты предполагалось, что в ней отсутствуют коммуникации и линии сброса. Дополним модель этими элементами. Коммуникаций в нашей модели будет 25 метров, 12 колен, расширение потока 4, заслонки 2, предохранительный клапан (СППК-4) 2. Также включим в нее модель прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ, анонсированную в [3]. Полностью модель представлена в виде программы в [10] без результатов, представленных в этой статье. Усложним модель, введя в нее возможность отказа предохранительного клапана СППК-4 вследствие ошибки в определении давления, которая является нормально распределенной. Зададим такую

ошибку в две атмосферы. Такая модель позволяет, например, выяснить, на каком расстоянии от данного производственного помещения риск поражения человека бутиленом и ацетоном будет приемлемым, т.е. ниже 10^{-6} год⁻¹. Расчеты на модели показывают расстояние 11,3 метра.

По результатам работы программы ошибка составляет 6,7% от величины пропускной способности предохранительного клапана. Необходимо, чтобы эта ошибка не выходила за пределы возможного изменения максимальной продуктивности аппарата во время аварии.

1. Тесленко А.А., Михайлюк А.П., Олейник В.В. О возможности создания обобщенного языка моделирования чрезвычайной ситуации для планирования профилактической деятельности // Матеріали науково-технічної конференції "Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України", (Харків, 19 грудня 2007р.) / X. : М-во України НС та справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи УЦЗУ, 2007. – С. 60-62

2. Тесленко О.О., Михайлюк О.П., Олійник В.В. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗУ. – Харків 2008. – № 7. – С.139-144.

3. Тесленко А.А., Михайлюк А.П., Олейник В.В. К вопросу использования имитационного моделирования прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах //Проблеми надзвичайних ситуацій. Сб. науч. тр. УЦЗУ. Харьков. -2008. – №8. – С.194-198.

4. Тесленко А.А., Бугаёв А.Ю., Погребняк Б.И. Защита производственных коммуникаций. //Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". ХНАГХ, Харьков. - 2011.- № 99.- С.157-160.

5. Тесленко А.А., Погребняк Б.И. Защита производственных коммуникаций. // Матеріали науково-технічної конференції "Безпека життєдіяльності в навколишньому та виробничому середовищі", (Харків, 20 лютого 2011р.) / - X. : ХНАМГ, 2011.- С.81-82.

6. Тесленко А.А. Метод мультистарта при поиске экстремума в задаче взрывобезопасности // Матеріали науково-технічної конференції "Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України", (Харків 16 грудня 2009 р.) / УЦЗУ, с.131-132.

7. Дудак С.А., Тесленко А.А., Костенко А.Б., Погребняк Б.И. К вопросу об оптимизации параметров и структуры объектов повышенной опасности методами специализированного языка моделирования. // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. К. Техника. -2009.- № 90. - С.487-491.

8. Тесленко А.А., Бугаёв А.Ю., Костенко А.Б. Четырехшаговый подход к оценке опасности объектов. // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Харьков. ХНАГХ. - 2011.- № 99.- С.135-140.

9. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности : ГОСТ 12.2.85-2002. Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации.- изд. Стандартов – 2002.

10. Modeling for emergency – Создание и исследование модели производства //http://www.emergencemodeling.narod.ru/