

А.Ю. Бугаев, адъюнкт, НУГЗУ

ДОСТОВЕРНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПРИ НЕТОЧНО ИЗВЕСТНОМ ДАВЛЕНИИ В ОБОРУДОВАНИИ

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

Рассмотрена проблема достоверности расчетных характеристик предохранительного клапана и всей линии сброса, связанная с неточностью информации об избыточном давлении в защищаемом технологическом оборудовании. Показан способ, позволяющий количественно определить надежность расчетных характеристик устройств, обеспечивающих взрывобезопасность оборудования, находящегося под избыточным давлением.

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

Постановка проблемы. 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, сверхустановленного. 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 данных защищаемого оборудования. Если какие-либо данные являются неверными, предохранительный клапан свои защитные функции выполнять не будет. Если все исходные данные верны, то степень точности, с которой они заданы, 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 вычисляемые параметры 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 устойчивости алгоритма расчета клапана и линии сброса от точности в определении давления в защищаемой системе.

Анализ последних исследований и публикаций. Литературные данные о последовательных исследованиях устойчивости алгоритма расчета клапана отсутствуют. Для последовательных исследований устойчивости алгоритма расчета клапана 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 [2]. В [3] разработаны языковые средства для оценки опасности ОПО, называемой идентификацией. В [4] подход моделирования с помощью специализированного языка применен к прогнозированию последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. В [5, 6] аналогичный подход применен к исследованию производственных коммуникаций. В работах [7-10] в языковые средства моделирования добавлялись и использовались в модельных исследованиях средства статистики и оптимизации. В работах [11] предложен многошаговый подход к построению имитационных моделей ОПО.

Постановка задачи и ее решение. В работе ставится задача создать способ, позволяющий количественно определить устойчивость расчетного алгоритма и связанную с ней надежность расчетных характеристик устройств, обеспечивающих взрывобезопасность оборудования, находящегося под избыточным давлением. Когда предохранительный клапан закрыт, на его чувствительный элемент действует сила от рабочего давления в защищаемой системе, стремящаяся открыть клапан. С возникновением в системе возмущений, вызывающих повышение давления выше рабочего, клапан открывается и происходит сброс рабочей среды. 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 [12]. Для сосудов, содержащих газовую (паровую) фазу, пропускная способность предохранительного клапана определяется по формуле [1]:

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

где F_n - полная наружная поверхность аппарата, m^2 ; t_r - температура газо-воздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверх-

ность аппарата, °С, $t_r = 600$ °С; t_n - температура газов (паров) в аппарате при нормальном режиме, °С; C_p - теплоемкость газа (пара) при давлении, Дж/кг·К; K_n - общий коэффициент теплопередачи от окружающего воздуха через стенку аппарата к газу (пару), Вт/м²·К.

Площадь проходного сечения предохранительного клапана следует рассчитывать по формулам (2), (3):

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

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

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 - плотность реального газа перед клапаном при параметрах P_1 и T_1 , кг/м³; ρ_2 - плотность жидкости перед клапаном при параметрах P_1 и P_2 , кг/м³; T_1 - температура среды перед клапаном при давлении P_1 , °С; α_1 - коэффициент расхода, соответствующие площади для газообразных сред; α_2 - коэффициент расхода, соответствующий площади для жидких сред; B – коэффициент из таблицы приложения 2 [12].

Количество предохранительных клапанов определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{f} \quad (6)$$

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

Особая ценность имитационного моделирования в том, что оно может прийти в помощь не в чисто теоретических исследованиях, а при изучении и оптимизации свойств конкретных проектируемых 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 [11]. В [11] 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, анонсиро-

ванную в [4]. Полностью модель представлена в виде программы в [13] 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 социально приемлемым, т.е. ниже 10^{-6} год⁻¹. Расчеты на модели показывают расстояние 11,3 метра.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесленко А.А. О возможности создания обобщенного языка моделирования чрезвычайной ситуации для планирования профилактической деятельности: матеріали науково-техничної конференції // Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС України: науч.-техн. конф., 19 грудня 2007 р. : тезиси докл. - / Х., 2007. – С. 60-62.

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

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением : ПБ 03-576-03. [Действующий с 11.06.03]— Офиц. изд. — 2003. – 537 с. (Госгортехнадзор России)

4. Тесленко А.А. К вопросу использования имитационного моделирования прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. /В.В.Олійник, О.П.Михайлюк //Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. – №8. – С.194-198.

5. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций./ А.Ю. Бугаёв, Б.И. Погребняк // Коммунальное хозяйство городов. - 2011.- № 99.- С. 157-160.

6. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций / Б.И. Погребняк // Безпека життєдіяльності в навколишньому та виробничому середовищі: науч.-техн. конф., 20 лютого 2011р : тезиси докл. - Х., 2011.- С. 81-82.

7. Тесленко А.А. Метод мультистарта при поиске экстремума в задаче взрывобезопасности: матеріали науково-техничної конференції // Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС

України: науч.-техн. конф., 16 грудня 2009 р. : тезиси докл. - Х., 2009. - С. 131-132.

8. Тесленко А.А. К вопросу об оптимизации параметров и структуры объектов повышенной опасности методами специализированного языка моделирования. / С.А. Дудак // Коммунальное хозяйство городов. -2009.- № 90. - С. 487-491.

9. Тесленко А.А. Оптимизация технологического процесса с точки зрения его взрывобезопасности / С.А. Дудак // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: междунар. науч.-техн. конф., 20 вересня 2010р : тезиси докл. – В., 2010. – С. 347

10. Тесленко А.А. Методы имитационного моделирования при оценке опасности техногенных объектов / В.В.Олійник // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: междунар. науч.-техн. конф., 20 вересня 2010р : тезиси докл. - В., 2010. – С. 235

11. Тесленко А.А. Четырехшаговый подход к оценке опасности объектов. / А.Ю. Бугаёв, А.Б. Костенко // Коммунальное хозяйство городов. - Х. - 2011.- № 99.- С. 135-140.

12. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности : ГОСТ 12.2.85-2002. – [Действующий с 1983-07-01] - Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации – 2002. - 9 с. - (Межгосударственный стандарт).

13. 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/nuczu.edu.ua>

А.Ю. Бугайов

Достовірність розрахункових характеристик запобіжного клапану при неточно визначених тиску у обладнанні

Розглянута проблема достовірності розрахункових характеристик запобіжного клапана і усієї лінії скидання пов'язана з неточністю інформації про надлишковий тиск в технологічному обладнанні, що захищається. Показаний спосіб, що дозволяє кількісно визначити надійність розрахункових характеристик пристроїв, що забезпечують вибухобезпечність устаткування, що знаходиться під надлишковим тиском.

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

A.U. Bugaev

Dependence of safety-valve calculation from an error in pressure in equipped

The problem of reliability of safety-valve descriptions calculation, related to inaccuracy of information about overpressure in the protected technological equipment, is considered. The method is allowing numerically to define reliability of calculation descriptions of devices, providing explosion safety of equipment with overpressure.

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