

А. И. КУПЦОВ, аспирант кафедры промышленной безопасности, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68; e-mail: artpb@yandex.ru)

Р. Р. АКБЕРОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной безопасности, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

Ф. М. ГИМРАНОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной безопасности, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

УДК 614.838.5

РАСЧЕТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЧЕРЕЗ СВЕЧИ СБРОСА

Приведено описание параметров и условий процесса сброса опасного газа со свечи при критическом и некритическом истечении газа в зависимости от времени. Указано два альтернативных способа нахождения времени опорожнения. Определены различия между ними. Показано, что причиной расхождения получаемых разными методами значений является изменение во времени температуры газа в оборудовании. Проведен анализ процесса сброса при некритическом и критическом истечении газа. Получены зависимости, которые могут использоваться при численном моделировании сброса со свечи.

Ключевые слова: опорожнение оборудования; свеча сброса; истечение газа; длительность истечения; граничные условия.

Для опорожнения емкостных аппаратов и трубопроводов в случае остановок технологических систем на ремонт или аварийной ситуации, когда требуется незамедлительно освободить оборудование от обращающихся в нем газов, используются технологические свечи, обеспечивающие стравливание газа в окружающую среду. Как правило, в целях безопасности такие свечи размещаются с подветренной стороны за пределами промышленных площадок предприятия. Однако анализ недавних аварий [1, 2] и результаты экспериментов [3] показывают, что существует вероятность того, что при определенных обстоятельствах, например из-за метеоусловий, шлейф газовой смеси может достигнуть мест расположения технологических установок или других промышленных объектов и привести к образованию опасной загазованности на территории предприятия с концентрациями, превышающими предельно допустимые значения или нижний концентрационный предел распространения пламени.

В настоящее время расчеты концентраций сбрасываемого газа при известных параметрах конструкции свечи (высота выброса, диаметр оголовка свечи) осуществляются по нормативной методике ОНД-86 [4] и методике, приведенной в “Руководстве по безопасности факельных систем” [5]. Однако в этих методиках используются допущения, которые

существенно ограничивают их применимость, поэтому рассчитанные по ним значения могут значительно отличаться от действительных [6]. В отличие от указанных методик численное моделирование позволяет получать реальную картину рассеивания газов при выбросах со свеч с учетом рельефа и характера застройки местности и атмосферной устойчивости [1–3].

Известно, что при численном моделировании достаточно сложно задать весь комплекс граничных и начальных условий [6–9]. В целях адекватного расчета распространения газовой смеси в приземном слое важно, в первую очередь, корректно заложить параметры и условия сброса со свечи — скорость, давление, температуру, плотность и сжимаемость сбрасываемого газа на выходе из свечи, а также образующийся эффект дросселирования, когда давление газа резко понижается до давления окружающей среды. Так как процессы стравливания газа нестационарные, параметры и условия сброса должны рассматриваться как функции от времени. В конечном счете это позволило бы определить длительность времени опорожнения технологического оборудования, что само по себе является важной задачей для специалистов эксплуатирующих организаций.

Таким образом, целью данной статьи являлось определение расчета длительности опорожнения технологического оборудования через свечи сброса.

Процессы истечения газа при относительно высоких давлениях могут рассматриваться как адиабатические, т. е. протекающие без внешнего теплообмена со средой при одновременном изменении давления, температуры и объема газа.

Известно, что скорость газа w_t (м/с), сбрасываемого со свечи, определяется формулой Сен-Венана – Венцеля в предположении, что площадь поперечного сечения свечи существенно меньше площади сечения оборудования, из которого сбрасывается газ:

$$w_t = \varphi \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (1)$$

где φ — коэффициент гидравлического сопротивления; для идеального газа (при отсутствии потерь) $\varphi = 1$; для реального газа $\varphi = 0,8 \div 0,9$ [10];

k — показатель адиабаты;

P_1 — давление газа в оборудовании, Па;

ρ_1 — плотность газа в оборудовании, кг/м³;

β — отношение давлений в атмосфере P_2 и в оборудовании P_1 ; $\beta = P_2/P_1$.

Формулу (1) можно представить через уравнение Майера $C_p = kR/(k-1)$ и классическое уравнение Менделеева – Клапейрона в следующем виде:

$$w_t = \varphi \sqrt{2 \frac{C_p T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (2)$$

где C_p — молярная теплоемкость при постоянном давлении;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

μ — молярная масса газа, кг/моль;

T_1 — температура газа в оборудовании, К.

По мере увеличения перепада давлений β скорость газа w_t увеличивается лишь до максимальной, которая приблизительно равна скорости звука в данной среде. Критическое отношение давлений $\beta_{кр}$, соответствующее максимальной критической скорости истечения газа со свечи, определяется следующим образом:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}. \quad (3)$$

Однако при повышении давления P_1 выше сверхкритического значения действительная скорость истечения возрастать не будет. Следовательно, при расчете истечения в формулу (1) подставляют:

- в случае критического истечения ($P_2/P_1 \leq \beta_{кр}$):

$$\beta = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}; \quad (4)$$

- в случае некритического истечения ($P_2/P_1 > \beta_{кр}$):

$$\beta = P_2/P_1. \quad (5)$$

Таким образом, критическая скорость истечения газа на выходе из свечи будет примерно равна местной скорости звука и может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} w_t = w_{кр} &= \varphi \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{P_1}{\rho_1}} = \varphi \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{RT_1}{\mu}} = \\ &= \varphi \sqrt{2 \frac{C_p T_1}{\mu} \frac{k-1}{k+1}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Сброс газа через свечу так или иначе связан с изменением исходного состояния среды в опорожняемом оборудовании вследствие убывания газа.

Закон изменения (убывания) общей массы газа m (кг) в оборудовании в рассматриваемом объеме за счет выхода газа через свечу, имеющую площадь поперечного сечения s [11], имеет вид:

$$\frac{dm}{dt} = -\rho_2 w_t s, \quad (7)$$

где ρ_2 — плотность газа при адиабатическом истечении;

$$\rho_2 = \rho_1 (\beta)^{1/k}. \quad (8)$$

Тогда с учетом формулы (1) для скорости газа на выходе из свечи закон изменения массы газа примет вид:

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{m}{V} (\beta)^{1/k} \varphi \sqrt{2 \frac{C_p T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]} s, \quad (9)$$

где V — объем газа в оборудовании, м³.

Полное время опорожнения массы газа τ_m может быть определено из соотношения

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_m} &= \left(\frac{1}{m} \left| \frac{dm}{dt} \right| \right)_{t=0} = \\ &= \frac{1}{V} (\beta)^{1/k} \varphi \sqrt{2 \frac{C_p T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]} s. \end{aligned} \quad (10)$$

Время, за которое начальное давление в оборудовании сравнивается с давлением окружающей среды, находится через уравнение изменения полной энергии газа E внутри рассматриваемого объема оборудования:

$$\frac{dE}{dt} = - \left(\frac{\rho_2 w_t^2}{2} + \frac{\rho_2 C_p T_2}{\mu} \right) w_t s, \quad (11)$$

где $(\rho_2 w_t^2/2 + \rho_2 C_p T_2/\mu)$ — плотность энергии газа (количество энергии, отнесенной к единице объема) вблизи отверстия свечи;

$\rho_2 w_t^2/2$ — плотность кинетической энергии, связанной с перемещением газа;

$\rho_2 C_p T_2/\mu$ — плотность внутренней энергии газа;

C_V — молярная теплоемкость при постоянном объеме;

T_2 — температура на оголовке свечи.

Полная энергия сбрасываемого газа E в рассматриваемом объеме оборудования связана с давлением газа P (зависящим от времени) и объемом V (постоянной величиной) соотношением

$$E = \frac{C_V}{R} PV, \quad (12)$$

откуда получаем $\frac{dE}{dt} = \frac{C_V}{R} V \frac{dP}{dt}$ и уравнение изменения давления:

$$\begin{aligned} \frac{C_V}{R} V \frac{dP}{dt} = & -\rho_2 \left(\varphi^2 \frac{C_P T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right] + \frac{C_V T_2}{\mu} \right) \times \\ & \times \varphi \sqrt{2 \frac{C_P T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]} s. \end{aligned} \quad (13)$$

Тогда с учетом уравнения для плотности (8) и того факта, что температура на выходе из свечи

$$T_2 = T_1 (\beta)^{(k-1)/k}, \quad (14)$$

зависимость приобретает вид:

$$\begin{aligned} \frac{C_V}{R} V \frac{dP}{dt} = & -\rho_1 (\beta)^{1/k} \left(\varphi^2 \frac{C_P T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{C_V T_1}{\mu} (\beta)^{\frac{k-1}{k}} \right) \varphi \sqrt{2 \frac{C_P T_1}{\mu} \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]} s. \end{aligned} \quad (15)$$

Введя понятие “скорости истечения газа в вакуум” $w_{\text{вак}}(T_1) = \sqrt{2(C_P T_1)/\mu}$ и используя уравнение Менделеева – Клапейрона, получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{P_1} \frac{dP}{dt} = & -\frac{s w_{\text{вак}}(T_1)}{C_V V} (\beta)^{1/k} \times \\ & \left(\varphi^2 C_P \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right] + C_V (\beta)^{\frac{k-1}{k}} \right) \varphi \sqrt{\left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \end{aligned} \quad (16)$$

В свою очередь оценку времени сброса давления τ_P можно найти по формуле

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_P} = & \left(\frac{1}{P_1} \left| \frac{dP}{dt} \right| \right)_{t=0} = \frac{s w_{\text{вак}}(T_1)}{V} (\beta)^{1/k} \times \\ & \times \left(\varphi^2 k \left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right] + (\beta)^{\frac{k-1}{k}} \right) \varphi \sqrt{\left[1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \end{aligned} \quad (17)$$

Рассмотрим критическое отношение давлений $\beta_{\text{кр}}$ при сбросе газа со свечи. В этом случае параметры состояния газа на выходе из свечи могут быть выражены через так называемые параметры “заторможенного потока”, т. е. через параметры в оборудовании, являющиеся функциями от времени. Пренебрегая скоростью перемещения газа в оборудовании

в сторону сбросной свечи по сравнению со скоростью газа в выходном отверстии свечи, получим:

$$\rho_{\text{кр}} = \rho_1(t) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)}; \quad (18)$$

$$T_{\text{кр}} = T_1(t) \left(\frac{2}{k+1} \right); \quad (19)$$

$$P_{\text{кр}} = P_1(t) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} > P_2. \quad (20)$$

Тогда с учетом формул (6), (7), (11), (18)–(20) получаем следующие оценки времени при опорожнении оборудования через критическую скорость:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_m} = & \left(\frac{1}{m} \left| \frac{dm}{dt} \right| \right)_{t=0} = \frac{1}{V} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \times \\ & \times \varphi \sqrt{2 \frac{C_P T_1}{\mu} \frac{k-1}{k+1}} s; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_P} = & \left(\frac{1}{P_1} \left| \frac{dP}{dt} \right| \right)_{t=0} = \frac{s w_{\text{вак}}(T_1)}{V} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \times \\ & \times \left(\frac{\varphi^2 k(k-1) + 2}{k+1} \right) \varphi \sqrt{\frac{k-1}{k+1}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Формулы (21) и (22) принимаются с допущением, что время до перехода критического истечения в некритическое ($P_2/P_1 > \beta_{\text{кр}}$) намного больше интервала времени от перехода в некритическое истечение до полного окончания сброса.

На основе формул (10), (17), (21) и (22) проведен анализ процесса сброса при некритическом и критическом истечении газа.

Из таблицы следует, что времена опорожнения, которые находятся через убыль массы газа (τ_m) или через снижение давления (τ_P) в оборудовании, примерно равны (отличие составляет примерно 1–2 %). Причина расхождения состоит в том, что температура газа в оборудовании также изменяется со временем. При этом нельзя предполагать, что она всегда успевает сравняться с температурой окружающей среды, так как процесс сброса может идти непродолжительное время. Ясно, что за такое малое время температура газа в объеме оборудования не успевает сравняться с температурой окружающей среды за счет теплообмена с ней через стенки оборудования. Тем не менее значения времени могут быть уточнены, если, например, уравнения (10), (17), (21) и (22) будут решены численно [11]. Погрешность расчетов будет снижаться с уменьшением числа Маха при докритической скорости [12].

Анализ также показал, что разница между временами опорожнения, определяемыми через уменьшение массы газа и сброс давления, инвариантна при изменениях диаметра свечи, температуры в оборудовании и объема последнего. Таким образом, мож-

Расчетные данные при некритическом и критическом отношении давлений

Газ	P_1 , МПа	ϕ	V_1 , м ³	T_1 , К	Диаметр свечи d , м	τ_m , с	τ_p , с
Ацетилен	0,14/4	0,9/0,9	100/200	293/273	0,3/0,3	8,23/15,82	8,18/15,64
Метан	0,14/4	0,9/0,9	100/200	293/273	0,3/0,3	6,46/12,41	6,42/12,27
Воздух	0,14/4	0,9/0,9	100/200	293/273	0,3/0,3	8,62/16,42	8,51/16,06

Пр и м е ч а н и е. Над чертой приведены данные для докритического отношения давлений, под чертой — для критического.

но использовать разные способы нахождения времени опорожнения в зависимости от постановки задачи. При численном моделировании сброса со свечи появляется возможность выбора типа граничного начального условия на оголовке свечи заданием давления, или массового расхода, или скорости потока газа в зависимости от времени.

Выводы

Приведенное математическое описание основных параметров и условий процессов сброса опасных газов из технологического оборудования с учетом их нестационарности позволило получить уравнения для определения длительности истечения газа из оборудования до его полного опорожнения в случаях докритической и критической скоростей истечения.

Предложенные два метода определения времени опорожнения оборудования через уменьшение массы газа (τ_m) и сброс давления (τ_p) дают расхождения в результатах порядка 1–2 %.

Полученные аналитические зависимости позволяют определить параметры потока у оголовка свечи (давление, массовый расход, температура, плотность, скорость) в зависимости от времени. Использование этих зависимостей в качестве граничных условий при расчете сброса в таких программных комплексах, как Fluent [1, 6], позволяет адекватно рассчитать процесс распространения газозвушной смеси в приземном слое атмосферы при стравливании опасных газов из промышленного емкостного оборудования в случае остановок технологических систем на ремонт или при возникновении внештатных аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купцов А. И., Гимранов Ф. М. Численное моделирование сброса газов через свечу рассеивания на газотранспортных и газоперерабатывающих объектах // Журнал экологии и промышленной безопасности. — 2013. — Т. 59, № 3. — С. 16–17.
2. Завгороднев А. В., Мельников А. В., Сафонов В. С. Проблема обеспечения безопасности сброса газа в атмосферу на объектах транспортирования и хранения природного газа // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 11. — С. 66–71.
3. Завгороднев А. В., Аكوпова Г. С., Толстова Н. С., Мельников А. В. Результаты исследований рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий // Территория Нефтегаз. — 2011. — № 12. — С. 90–97.
4. ОНД–86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : утв. председателем Госкомгидромета 04.08.1986 № 192; введ. 01.01.1987. — Л. : Гидрометеиздат, 1987.
5. Руководство по безопасности факельных систем: утв. приказом Ростехнадзора от 26.12.2012 № 779 // Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. — 2013. — Сер. 03, вып. 68. URL : www.normacs.ru (дата обращения: 01.04.2015).
6. Купцов А. И., Акберов Р. Р., Исламхусин Д. Я., Гимранов Ф. М. Проблемы расчета рассеивания легких газов в атмосфере при их выбросах со свечи с учетом рельефа и застройки местности и атмосферной устойчивости // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17, № 6. — С. 284–286.
7. Richards P. J., Hoxey R. P. Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the $k-\epsilon$ turbulence model // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 1993. — No. 46–47. — P. 145–153. doi: 10.1016/0167-6105(93)90124-7.
8. Blocken B., Carmeliet J. The influence of the wind-blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 2006. — Vol. 94, No. 2. — P. 101–127. doi: 10.1016/j.jweia.2005.11.001.
9. Moonen P., Blocken B., Roels S., Carmeliet J. Numerical modeling of the flow conditions in a closed-circuit low-speed wind tunnel // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 2006. — Vol. 94, No. 10. — P. 699–723. doi: 10.1016/j.jweia.2006.02.001.

10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. — М. : Машиностроение, 1992. — 672 с.
11. Лукьянов А. А. Оценка времени сброса давления газа в газопроводе при открывании его в атмосферу посредством свечи // Социальная политика и социология. — 2012. — № 5(83). — С. 227–236.
12. Емцев Б. Т. Техническая гидромеханика : учебник для вузов по специальности “Гидравлические машины и средства автоматики”. — М. : Машиностроение, 1987. — 440 с.

Материал поступил в редакцию 13 апреля 2015 г.

English

CALCULATION OF DURATION OF EMPTYING THE PROCESSING EQUIPMENT THROUGH RELEASE STACKS

KUPTSOV A. I., Postgraduate Student of Department of Industrial Safety, Kazan National Research Technological University (K. Marksa St., 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail address: artpb@yandex.ru)

AKBEROV R. R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Industrial Safety, Kazan National Research Technological University (K. Marksa St., 68, Kazan, 420015, Russian Federation)

GIMRANOV F. M., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Industrial Safety, Kazan National Research Technological University (K. Marksa St., 68, Kazan, 420015, Russian Federation)

ABSTRACT

The proposed mathematical description of the key parameters and conditions of the processes of emptying the processing equipment by releasing dangerous gases from it with the account of non-stationarity of the processes allowed to obtain equations for determination of duration of the gas efflux from the equipment before its full emptying in cases of subcritical and critical efflux velocities.

The proposed two methods of determining the time of emptying the equipment, through reducing mass of the gas (τ_m) and through pressure dumping (τ_p), give divergences in the results about 1–2 %.

The obtained analytical dependences allow determining flow parameters at the stack tip (pressure, mass flow rate, temperature, density, speed) depending on time. The use of these dependences as boundary conditions for calculation of gas releases in such software packages as Fluent [1, 6], allows for adequate calculating the process of propagation of the air-gas mixture in the atmospheric surface layer at releasing dangerous gases from the industrial tanks and vessels in cases of shutdowns of technological systems for repairs or at emergencies.

Keywords: emptying the equipment; release stack; gas efflux; efflux duration; boundary conditions.

REFERENCES

1. Kuptsov A. I., Gimranov F. M. Chislennoye modelirovaniye sbrosa gazov cherez svechu rasseivaniya na gazotransportnykh i gazopererabatyvayushchikh ob'yektakh [Numerical simulation of gas releases through stacks at gas transmission and refining facilities]. *Zhurnal ekologii i promyshlennoy bezopasnosti* — *Journal of Ecology and Industrial Safety*, 2013, vol. 59, no. 3, pp. 16–17.
2. Zavgorodnev A. V., Melnikov A. V., Safonov V. S. Problema obespecheniya bezopasnosti sbrosa gaza v atmosferu na ob'yektakh transportirovaniya i khraneniya prirodnogo gaza [The problem of ensuring safety of gas discharge to the atmosphere at the facilities of natural gas transportation and storage]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* — *Occupational Safety in the Industry*, 2011, no. 11, pp. 66–71.
3. Zavgorodnev A. V., Akopova G. S., Melnikov A. V. Rezultaty issledovaniy rasseivaniya v atmosfere organizovannykh nestatsionarnykh vybrosov gaza na ob'yektakh gazotransportnykh predpriyatiy [Results of investigation of dispersion of organized nonstationary gas emissions into the atmosphere at gas transmission enterprises]. *Territoriya Neftegaz* — *Oil And Gas Territory*, 2011, no. 12, pp. 90–97.
4. OND-86. The method for calculation of concentrations of harmful substances, contained in the releases of enterprises into atmospheric air: approved by the chairman of the USSR's national committee on hydrometeorology and environmental control on 4 August 1986, No. 192 (in Russian).

5. Safety guidelines for flaring systems: approved by the order of Russia's Rostekhnadzor on 12 December 2012, No. 779. Normative documents in the field of activity of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision, 2013, series 03, issue 68. Available at: www.normacs.ru (Accessed 1 April 2015) (in Russian).
6. Kuptsov A. I., Akberov R. R., Islamkhuzin D. Ya., Gimranov F. M. Problemy rascheta rasseivaniya legkikh gazov v atmosfere pri ikh vybrosakh so svechi s uchetom relyefa i zastroyki mestnosti i atmosferno yustoychivosti [Problems of calculation of dispersion of light gases in the atmosphere at their emissions from stacks with account for surface topography, buildings terrain and atmospheric stability]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Herald of Kazan Technological University*, 2014, vol. 17, no. 6, pp. 284–286.
7. Richards P. J., Hoxey R. P. Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k–turbulence model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1993, no. 46–47, pp. 145–153. doi: 10.1016/0167-6105(93)90124-7.
8. Blocken B., Carmeliet J. The influence of the wind-blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2006, vol. 94, no. 2, pp. 101–127. doi: 10.1016/j.jweia.2005.11.001.
9. Moonen P., Blocken B., Roels S., Carmeliet J. Numerical modeling of the flow conditions in a closed-circuit low-speed wind tunnel. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2006, vol. 94, no. 10, pp. 699–723. doi: 10.1016/j.jweia.2006.02.001.
10. Idelchik I. E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. M. O. Shteynberg (ed.). Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1992. 672 p.
11. Lukyanov A. A. Otsenka vremeni sbrosa davleniya gaza v gazoprovode pri otkryvanii yego v atmosferu posredstvom svechi [Assessment of the time of releasing gas pressure from the gas pipeline in case it is opened to the atmosphere by means of a stack]. *Sotsialnaya politika i sotsiologiya — Social Policy and Sociology*, 2012, no. 5 (83), pp. 227–236.
12. Emtsev B. T. *Tekhnicheskaya gidromekhanika. Uchebnik dlya vuzov po spetsialnosti "Gidravlicheskiye mashiny i sredstva avtomatiki"* [Engineering fluid dynamics: Textbook for students of institutions of higher education majoring in "Hydraulic machines and automatic equipment means"]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 440 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 «Системы безопасности комплексные и интегрированные», входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru