В. И. ПРИСАДКОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: z080637@yandex.ru)

Д. В. УШАКОВ, начальник отдела, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: k708@yandex.ru)

В. В. ЛИЦКЕВИЧ, старший научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

С. Ю. ХАТУНЦЕВА, старший научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: lu2986@yandex.ru)

Н. В. СОБОЛЕВ, генеральный директор ООО "ТехИнСПАС" (Россия, 600000, г. Владимир, ул. Большая Московская, 1, оф. 2; e-mail: molot33@rambler.ru)

УДК 64.841

ОЦЕНКА РИСКА ОПУСКАНИЯ ОБОЛОЧКИ ВОЗДУХООПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

При эвакуации людей из воздухоопорных сооружений (ВОС) во время пожара возникает риск опускания оболочки за счет истечения воздуха через дверные проемы. Предложена модель для оценки критического времени $t_{кр}$ опускания оболочки, за которое объем ВОС уменьшается до предельного значения, например в два раза по сравнению с рабочим объемом. Установлено, что критическое время является суммой времен t_1 и t_2 . За время t_1 рабочее избыточное давление в ВОС уменьшается при постоянном объеме оболочки до критического значения, при котором происходит опускание оболочки. За время t_2 объем ВОС уменьшается до предельного (критического) значения $V_{кр}$. Получены аналитические выражения для определения t_1 и t_2 с учетом работы вентиляторов подпора воздуха в оболочку. Приведен пример расчета критического избыточного давления $\Delta P_{кр}$ для оболочки с реальными параметрами. Расчетами подтверждено наличие риска опускания оболочки в процессе эвакуации.

Ключевые слова: воздухоопорное сооружение; время опускания оболочки; коэффициент расхода; открытые двери эвакуационных выходов; критическое время эвакуации; индивидуальный пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57

Введение

Воздухоопорные сооружения (ВОС) привлекают пользователей и строителей возможностью быстрого возведения, прекрасными весовыми характеристиками, многофункциональностью использования, возможностью быстрого изменения их назначения.

В России первые пожарно-технические исследования ВОС начали проводиться в 80–90-е годы XX столетия Т. Г. Меркушиной, В. С. Харитоновым, Е. И. Назаровым [1]. Имеются данные и о зарубежных исследованиях в этой области [1–3].

В те же годы в связи с высокими пожароопасными характеристиками материалов оболочек (по современной классификации они бы были отнесены к группам горючести Г2–Г3) основное внимание сосредотачивалось на вопросах:

- исследования пожароопасных характеристик материала оболочек;
- изучения распространения горения по оболочке при наличии модельного очага пожара внутри оболочки или снаружи рядом с ней;

- динамики изменения температуры внутри оболочки и задымления ее объема.

Вместе с тем уже первые исследования показали, что существует риск опускания оболочки во время эвакуации людей при пожаре при открытии части или всех эвакуационных выходов. Ниже приведены результаты по оценке риска опускания оболочки, приводящего к блокированию эвакуационных выходов, с учетом требований [4]. Они показывают, насколько актуальны современные конструктивные решения, в частности устройство защитных дуг на путях эвакуации с целью повышения их надежности.

Воздухоопорные сооружения обладают повышенной пожарной опасностью по следующим причинам:

- 1) материалы оболочек относятся к группе горючих материалов; степень огнестойкости ВОС — V;
- 2) весьма часто двери на путях эвакуации из ВОС открываются против направления эвакуации;

- 3) избыточное давление, поддерживающее оболочку в устойчивом положении, в том числе при атмосферных воздействиях, быстро падает во время эвакуации при открытии дверей (ворот). В результате возникает риск опускания оболочки и ее “заплескивания” при малых избыточных давлениях;
- 4) существует риск потери герметичности оболочек при пожаре, что будет иметь те же последствия, что и при открытии дверей на путях эвакуации.

В связи с вышеизложенным при рассмотрении пожарной опасности оболочек необходимо, кроме требований по безопасности людей, учитывать риск уменьшения объема оболочки. За критическое (предельное) состояние оболочки примем уменьшение объема ВОС, например, в 2 раза относительно номинального.

ВОС могут быть отнесены к уникальным сооружениям, особенно с учетом возможности управления “атмосферой” внутри оболочки [5–11] в зависимости от параметров среды вне ее: давления, скорости ветра, снеговой нагрузки и ее возможного обледенения.

При эксплуатации контроль за параметрами, влияющими на пожарную опасность оболочки, величиной избыточного давления воздуха и температурой воздуха в ВОС реализуется через параметры воздуха, подаваемого в оболочку.

В ряде важных случаев можно принять, что во время эвакуации пожар внутри оболочки не приводит к ее разрушению и горению. Такая ситуация возникает при расположении очага пожара на уровне пола, вдали от периметра сооружения, во встроенном административно-бытовом блоке, а также при тлеющих пожарах, при отсутствии мощного факельного горения внутри ВОС [1]. В этом случае происходит задымление ВОС и, как следствие, возникает необходимость в эвакуации людей из-за риска наступления критических значений опасных факторов пожара на путях эвакуации.

Риск опускания оболочки при пожаре характеризуется критическим временем опускания $t_{кр}$. При этом диапазон изменения избыточного рабочего давления ΔP составляет 150–250 Па, а внутренней средней температуры ΔT — до 10 К.

С учетом истечения воздуха из оболочки в атмосферу со стандартными физическими условиями (давление $P_0 \cong 10^5$ Па, температура $T_0 \sim 273$ К) и относительными колебаниями давления и температуры $\Delta P/P_0 \ll 1$, $\Delta T/T_0 \ll 1$ примем, что воздух, выходящий из ВОС через проемы, можно рассматривать как несжимаемый газ плотностью ρ (кг/м³).

Эвакуационные выходы из ВОС открываются после возникновения пожара через интервал вре-

Рис. 1. Последовательность интервалов времени опускания оболочки ВОС

мени $\Delta t_{обоп} + t_{нз} + \Delta t_1$ (где $\Delta t_{обоп}$ — время обнаружения и оповещения людей в ВОС о пожаре; $t_{нз}$ — время начала эвакуации [12]; Δt_1 — время подхода эвакуирующихся людей к выходам).

Время опускания оболочки до высоты, при которой объем уменьшается до критического, представим как

$$t_{кр} = t_1 + t_2,$$

где t_1 — время после открытия выходов и уменьшения избыточного рабочего давления в оболочке до $\Delta P_{кр} = \Delta P(t_1)$;

t_2 — время с момента начала опускания оболочки до достижения критического (предельного) объема $V_{кр} = V_0/2$;

V_0 — рабочий объем оболочки.

Предполагается, что опускание оболочки происходит при избыточном давлении $\Delta P_{кр}$, уравнивающим вес оболочки G (без учета колебаний в плотности воздуха внутри и вне оболочки за счет разности температур):

$$\Delta P_{кр} = Mg/S, \quad (1)$$

где M — масса оболочки, кг;

g — сила тяжести, м/с²;

S — площадь пола ВОС, м².

Расчетное время эвакуации t_p (с) должно отвечать условию $t_p - \Delta t_1 < t_1 + t_2$ (рис. 1) и определяется по [12].

Объем воздуха, выходящий из оболочки за 1 с через n дверей, V (м³/с) [13, 14] определяется по выражению

$$V = \mu_{отв} n S_0 \sqrt{2\Delta P/\rho}, \quad (2)$$

секундный расход газа $\dot{m}$ (кг/с) — по формуле

$$\dot{m} = \mu_{отв} n S_0 \sqrt{2\rho\Delta P}, \quad (2a)$$

где $\mu_{отв}$ — коэффициент расхода, учитывающий сжатие струи и сопротивление проемов дверей; примем $\mu_{отв} = 0,62$ [14];

S_0 — площадь в свету одной двери, м².

Согласно закону Менделеева – Клайперона количество воздуха в оболочке m_0 и m_1 (кг) определяется по формулам:

- при $t = 0$ (момент открытия дверей) и перед опусканием оболочки

$$m_0 = \frac{(P_0 + \Delta P_0) V_0 \mu}{RT_0}; \quad (3)$$

- при $t = t_1$

$$m_1 = \frac{(P_0 + \Delta P_{кр}) V_0 \mu}{R T_0}, \quad (3a)$$

где R — универсальная газовая постоянная;

$R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$;

μ — молярная масса воздуха; $\mu = 0,029 \text{ кг/моль}$.

Постановка задачи

В зальном помещении ВОС возникает загорание, не приводящее к прогару оболочки. В здании находится расчетное количество людей, которые обнаруживают пожар через время $t_{обоп}$ и начинают эвакуироваться через время $t_{нз}$. Среднее время подхода людей к эвакуационным выходам Δt_1 , т. е. через $t_{обоп} + t_{нз} + t_1$ после начала пожара эвакуационные выходы открываются.

Через открытые дверные проемы воздух выходит наружу при постоянном объеме оболочки V_0 . В результате давление изменяется от ΔP_0 до $\Delta P_{кр}$ за время t_1 . При $t \geq t_1$ оболочка начинает опускаться при квазистатическом давлении $\Delta P = \Delta P_{кр}$. За время t_2 объем оболочки уменьшается до предельного значения $V_2 = V_0/2$.

Расчетное время эвакуации должно удовлетворять условию

$$t_p < t_1 + t_2 + \Delta t_1. \quad (4)$$

Теория оценки t_1 и t_2

Обозначим абсолютное давление P , плотность газа ρ_0 и массу газа m_0 в начальный момент времени в оболочке:

$$P(t = 0) = P_0 + \Delta P_0; \quad m(t = 0) = m_0,$$

где ΔP_0 — избыточное давление в ВОС в момент открытия дверей.

Из уравнения Менделеева – Клайперона при $V = V_0$ и $T = T_0 = \text{const}$ находим:

$$V_0 \frac{dP}{dt} = \frac{R T_0}{\mu} \frac{dm}{dt}. \quad (5)$$

Приняв согласно закону Менделеева – Клайперона $m_0/P_0 = V_0 \mu / (R T_0)$, из (5) получим:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_0}{m_0} \frac{dm}{dt}, \quad (6)$$

где $dP/dt < 0$; $dm/dt < 0$.

Так как $P = P_0 + \Delta P = P_0(1 + \Delta P/P_0)$, где $\Delta P/P_0 \leq 250/10^5 = 2,5 \cdot 10^{-3} \ll 1$, можно положить в инженерных расчетах $P \cong P_0$. Тогда из выражения (6) получим

$$\frac{dP}{P} = \frac{\dot{m}}{m_0} dt. \quad (7)$$

Полагая $\dot{m} \cong \dot{m}_{кр}$, проинтегрируем (7):

$$\int_{P_0 + \Delta P_0}^{P_0 + \Delta P_{кр}} \frac{dP}{P} = \frac{\dot{m}_{кр}}{m_0} \int_0^{t_1} dt,$$

откуда

$$\ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} = \frac{\dot{m}_{кр}}{m_0} t_1,$$

или

$$\frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} = e^{(\dot{m}_{кр}/m_0) t_1}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{m}_{кр} &= - \frac{\dot{m}(\Delta P_0) + \dot{m}(\Delta P_{кр})}{2} = \\ &= - \frac{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{2 \rho_0} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражения (8) найдем время t_1 , за которое давление в ВОС уменьшится с ΔP_0 до $\Delta P_{кр}$:

$$t_1 = \ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} \frac{m_0}{\dot{m}_{кр}}. \quad (10)$$

Если учесть, что

$$\begin{aligned} \ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} &= \ln \left(1 - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} \right) \cong \\ &\cong \ln \left(1 - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \right) = - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0}, \end{aligned}$$

то

$$t_1 = \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \frac{m_0}{|\dot{m}_{кр}|}. \quad (11)$$

Из формулы (11) получим с учетом выражения (9)

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \frac{\sqrt{2} m_0}{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\rho_0} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)} = \\ &= \frac{\sqrt{2} \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{P_0} \frac{m_0}{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\rho_0}} = \\ &= \frac{\sqrt{2} \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{P_0} \frac{P_0 V_0 \mu}{R T_0 \sqrt{\rho_0}} \frac{1}{n S_0 \mu_{отв}} = \\ &= \frac{\sqrt{2} V_0 \mu \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{R T_0 \sqrt{\rho_0} n S_0 \mu_{отв}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Время опускания оболочки t_2 определяется из условия уменьшения рабочего объема ВОС в 2 раза при избыточном давлении $P_{кр}$:

$$n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\frac{2 \Delta P_{кр}}{\rho_0}} t_2 = \frac{V_0}{2}, \quad (13)$$

Рис. 2. Зависимость среднего расхода воздуха m_{cp} (1) и времен t_1 (2) и t_2 (3) от количества открываемых дверей

т. е.

$$t_2 = \frac{V_0}{2n S_0 \mu_{отв}} \sqrt{\frac{\rho_0}{2\Delta P_{кр}}} \quad (14)$$

На рис. 2 приведена зависимость величины t_2 от количества дверей, открываемых при эвакуации, для условий примера, рассмотренного ниже.

Пример

Воздухоопорное сооружение для занятий нетехническими видами спорта (командными, индивидуальными) имеет размеры в плане 38,0×93,0 м и максимальную высоту около 13 м. Площадь сооружения — 3534 м², объем — 24 тыс. м³. В ВОС встроены одноэтажный административно-хозяйственный блок размером 24,0×14,0×3,0 м, на покрытии которого расположены трибуны на 214 посадочных мест. Максимальное количество одновременно занимающихся спортом — 68 чел.

В ВОС предусмотрены 4 эвакуационных выхода наружу размером в свету 1,2×2,0 м и грузовые ворота размером 3,0×2,0 м. Площадь двери — 2,4 м², ворот — 6,0 м². Масса оболочки $M = 12760$ кг. Ткань — армированный эластомер.

Подпор воздуха в оболочку предусмотрен от двух вентиляционных агрегатов, обеспечивающих приток воздуха в объеме 35 тыс. м³/ч каждый. Атмосферное давление $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па, расчетная температура $T_0 = 290$ К, молярная масса воздуха $\mu = 0,029$ кг/моль, коэффициент расхода $\mu_{отв} = 0,62$; время обнаружения пожара и оповещения о нем $t_{обоп} = 0,5$ мин; время начала эвакуации $t_{нз} = 30$ с; время подхода эвакуирующихся к выходам наружу и открытия дверей $\Delta t_2 = 0,5$ мин; плотность воздуха $\rho_0 = 1,29$ кг/м³, рабочее избыточное давление в ВОС $\Delta P_0 = 150$ Па, $g = 9,8$ м/с².

По формуле (1) рассчитаем критическое избыточное давление в ВОС:

$$\Delta P_{кр} = Mg/S = (12760 \cdot 9,8)/3534 = 35,2 \text{ Па.}$$

При одной открытой эвакуационной двери расход воздуха через дверь составит:

- максимальный:

$$\dot{m}(\Delta P_0) = 0,62 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,29 \cdot 150} = 29,3 \text{ кг/с;}$$

- минимальный в конце цикла при давлении $P_{кр}$:

$$\dot{m}(\Delta P_{кр}) = 0,62 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,29 \cdot 35,2} = 14,2 \text{ кг/с.}$$

Средний массовый расход воздуха

$$|\dot{m}_{cp}| = \frac{29,3 + 14,2}{2} = 21,7 \text{ кг/с.}$$

Подставляя в формулу (12) значения параметров при одной открытой двери, получим:

$$t_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 0,029 (\sqrt{150} - \sqrt{35})}{8,3 \cdot 290 \cdot \sqrt{1,29} \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 0,62} = 1,7 \text{ с.}$$

При n открытых эвакуационных дверях время t_1 уменьшится в n раз.

Для очень больших по объему воздухоопорных сооружений t_1 может увеличиться до 10–30 с.

Далее оценим время опускания оболочки t_2 исходя из предельного значения по объему без учета работы вентиляторов подпора воздуха в ВОС.

По формуле (14) при одной открытой двери находим:

$$t_2 = \frac{27 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 2,4} \sqrt{\frac{1,29}{2 \cdot 35}} = 1,232 \cdot 10^3 \text{ с} = 20,52 \text{ мин.}$$

При четырех открытых эвакуационных дверях время опускания оболочки уменьшится в 4 раза и составит 5,1 мин.

Время опускания оболочки t_2 обратно пропорционально количеству открываемых дверей и их площади S_0 .

На рис. 3 приведена динамика избыточного давления газа и объема ВОС в процессе эвакуации.

В соответствии с принятой формой [4, 5] запишем необходимое время эвакуации из ВОС с учетом риска опускания оболочек ВОС:

$$t_{нб} = \min(t_{обоп} + t_{нз} + \Delta t_1 + t_1 + t_2, t_{бл}), \quad (15)$$

где $t_{бл}$ — время блокирования эвакуационных выходов опасными факторами пожара по методике [5].

Увеличение критического времени опускания оболочки может быть достигнуто за счет увеличения количества подаваемого воздуха при пожаре в оболочку.

Так как время до начала опускания оболочки t_1 значительно меньше времени t_2 , должны быть предусмотрены мероприятия, увеличивающие время t_2 или создающие условия для предотвращения опускания оболочки при открытии дверей.

Рис. 3. Зависимость избыточного давления ΔP (1, 2) и объема V (3, 4) оболочки от времени t и количества открываемых дверей: 1, 3 — $n = 1$; 2, 4 — $n = 4$

Иначе говоря, подача воздуха в оболочку при пожаре вентиляционными агрегатами должна превышать потери воздуха через открытые проемы (по объему). Из формулы (2) находим:

$$\dot{Q} > n \mu_{\text{отв}} S \sqrt{2P_0/\rho}, \quad (16)$$

где $\dot{Q}$ — подача воздуха в ВОС всеми вентиляторами подпора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для оболочки, рассмотренной в примере, при четырех открытых эвакуационных дверях

$$\dot{Q} > 4 \cdot 0,62 \cdot 2,4 \sqrt{\frac{2 \cdot 35}{1,29}} = 43,8 \text{ м}^3/\text{с} = 157680 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По-видимому, для относительно небольших оболочек такие расходы обеспечить сложно, как и в рассмотренном примере ($\dot{Q} = 70000 \text{ м}^3/\text{ч}$), поэтому целесообразно идти по пути увеличения интервалов времен t_1 и t_2 .

Критерием в этом случае является выполнение условия

$$t_{\text{обоп}} + t_{\text{нз}} + \Delta t_1 + t_1 + t_2 < t_{\text{бл}}. \quad (17)$$

При этом формулу (9) для расчета средних массовых расходов воздуха “через двери” следует записать в виде

$$|\dot{m}_{\text{ср}}| = n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{\rho_1}{2}} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{\text{кр}}} \right) - \dot{Q}$$

при

$$|\dot{m}_{\text{ср}}| = n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{\rho_1}{2}} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{\text{кр}}} \right) > \dot{Q} \quad (18)$$

и далее воспользоваться вышеприведенными формулами для оценки t_1 (формула (12)).

Для оценки t_2 формула (14) запишется в виде:

$$t_2 = \frac{V_o}{2} \left(n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{кр}}}{\rho}} - \dot{Q} \right)^{-1}$$

при

$$\dot{Q} < n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{кр}}}{\rho}}. \quad (19)$$

Выводы

1. Предложено оценивать время опускания оболочки воздухоопорных сооружений, характеризующееся временем уменьшения объема ВОС до некоторого критического значения, суммой двух времен: времени снижения рабочего давления в оболочке до критического значения при постоянном объеме оболочки t_1 и времени уменьшения объема оболочки до критической величины при квазистатическом критическом давлении t_2 .

2. Критическое избыточное давление в оболочке определяется через массу ВОС и площадь его основания.

3. Получены аналитические оценки для определения времен t_1 и t_2 в условиях задымления оболочки при внутреннем пожаре без наступления прогара оболочки.

4. Выяснено, что ведущим параметром при определении критического времени опускания оболочки является фактор времени t_2 .

5. Предложено для снижения риска опускания оболочки использовать вентиляторы подпора воздуха в нее. Получены выражения для оценки влияния объема нагнетаемого воздуха в оболочку на значения t_1 и t_2 и, как следствие, на снижение характеристик пожарного риска оболочки.

6. Для повышения точности расчетов необходимо экспериментально определить коэффициент расхода воздуха $\mu_{\text{отв}}$ через открытые дверные проемы ВОС.

7. Необходимо учитывать, что полученные оценки времен t_1 и t_2 являются нижними оценками, так как при эвакуации двери открыты не полностью. Этот вопрос требует дополнительного исследования.

***

Выражаем глубокую благодарность профессору Т. Г. Меркушкиной и канд. техн. наук В. С. Харитонову за предоставленные материалы по ВОС, позволяющие понять физику процесса опускания оболочек при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркушкина Т. Г. Обоснование и метод расчета продолжительности эвакуации людей из тентовых сооружений в условиях пожара : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ им. Куйбышева В. В., 1978. — 125 с.
2. Stroi-Archive. Все о строительстве и ремонте. Безопасность и надежность воздухоопорных зданий. URL: <http://stroj-archive.ru/vozdushoopornye-zdaniya/355-bezopasnost-i-nadezhnost-vozdushoopornyh-zdaniy.html> (дата обращения: 02.11.2016).
3. Ермолов В. В. Воздухоопорные здания и сооружения. — М. : Стройиздат, 1980. — 304 с.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 02.11.2016).
5. Ким А. Ю. Численное исследование нелинейных мембранно-пневматических систем / СГАУ. — Саратов, 2001. — 263 с. Деп. в ВИНТИ РАН 28.04.2001, № 1122-B2001.
6. Скопенко В. А. Тентовая архитектура: “спортивные” возможности // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2010. — № 2. — С. 50–55.
7. Ким А. Ю., Ермилов Д., Смирнов А. Итерационный метод приращений в задачах расчета мембранно-пневматических сооружений // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 5-6. — С. 51–53.
8. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Применение итерационных численных методов в задачах расчета пневматических сооружений // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 50–52.
9. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Большепролетные комбинированные пневматические сооружения // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 54–55.
10. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Расчет пневматических сооружений на различные виды нагрузок с применением программных комплексов // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 58–59.
11. Хрусталева Б. М., Акельев В. Д., Манюшинец Т. В., Костевич М. Ф. Моделирование конвективных потоков в пневмоопорных объектах. Часть 1 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2014. — № 4. — С. 42–55.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382. URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 02.11.2016).
13. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика. — М. : Машиностроение, 1981. — 374 с.
14. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. — 2-е изд., перераб. — М.-Л. : Госэнергоиздат, 1961. — 670 с.

Материал поступил в редакцию 10 ноября 2016 г.

Для цитирования: Присадков В. И., Ушаков Д. В., Лицкевич В. В., Хатунцева С. Ю., Соболев Н. В. Оценка риска опускания оболочки воздухоопорного сооружения при пожаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 50–57. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57.

English

ASSESSMENT OF RISK OF LOWERING OF THE COVER OF THE COMPRESSED-AIR SUPPORTED CONSTRUCTION AT THE FIRE

PRISADKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Main Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: z080637@yandex.ru)

USHAKOV D. V., Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: k708@yandex.ru)

LITSKEVICH V. V., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

KHATUNTSEVA S. Yu., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: lu2986@yandex.ru)

SOBOLEV N. V., General Director, TekhInSPAS JSC (Bolshaya Moskovskaya St., 1, Office 2, Vladimir, 600000, Russian Federation; e-mail: molot33@rambler.ru)

ABSTRACT

In article the risks of lowering of covers of compressed-air supported constructions (VOS) arising during the opening of all or a part of emergency exits from a construction are considered. Lowering of covers can lead to violation of functioning of doors.

For prevention of lowering of VOS establish on the ways of evacuation of an arch of safety that it is integrated to additional costs and restrictions.

For purity of assessment of the risk factor connected with lowering of a cover in article the fires leading to distribution of dangerous factors of the fire within VOS amount, but not to loss of an integrity of a cover are considered.

The characteristic of fire risk of lowering of a cover is critical time of t_{kr} of reduction of amount of a cover to some extreme value, for example, before reduction of amount of a cover twice of rather working hours. For receipt of engineering estimates it is offered to break process of lowering of a cover into two stages:

- the first stage — reduction of excessive pressure in a cover from working pressure up to the critical pressure during t_1 when preserving amount of a cover;
- the second stage — isobaric reduction of amount of a cover to limiting amount with a critical pressure during t_2 .

Critical time for VOS is equal to the amount of times of t_1 and t_2 .

Approximate analytical estimates of times of t_1 and t_2 depending on space-planning characteristics of VOS, number and the sizes of emergency exits from constructions, the mass of a cover, excessive working pressure in a cover are received.

The example of calculations of t_1 and t_2 for the real compressed-air supported construction used for sporting events by amount about 27 thousand m^3 is given. It is established that time of t_1 changes within seconds, and t_2 within 5–15 minutes.

With settlement way existence of risk of lowering of a cover taking into account holding mass actions in VOS in case of which evacuation time from a cover changes within 4–10 minutes is confirmed.

It is offered to use for increase in t_{kr} technological system of a subtime of air in VOS which in case of the maximum feed rates of air can compensate substantially an air consumption through open doors.

Formulas for assessment of times of t_1 and t_2 taking into account amounts of the given air in ventagregatama VOS are offered.

Taking into account not fixed opening of doors in case of evacuation, very frequent device of opening of doors against the direction of evacuation, the assumption of a soft design of covers, the received time estimates of lowering of covers should be considered as the lower estimates of critical time.

Further comparison of settlement critical times of lowering of covers with experimentally received values of times is necessary for the operated covers that will allow including, to specify effective consumption factor of μ_{otv} air through VOS doors.

Keywords: compressed-air supported construction; time of lowering of cover; expense coefficient; open doors of emergency exits; critical time of evacuation; individual fire risk.

REFERENCES

1. Merkusheva T. G. *The rationale and method of calculation of the length of the evacuation of tent structures in fire conditions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow Institute of Civil Engineering named after V. V. Kuybyshev, 1978. 125 p. (in Russian).

2. Story-Archive. *In total about construction and repair. Safety and reliability of compressed-air supported buildings* (in Russian). Available at: <http://stroj-archive.ru/vozduhoopornye-zdaniya/355-bezopasnost-i-nadezhnost-vozduhoopornyh-zdaniy.html> (Accessed 2 November 2016).
3. Ermolov V. V. *Vozdukhoopornyye zdaniya i sooruzheniya* [Air-supported buildings and structures]. Moscow, Stroyizdat, 1980. 304 p. (in Russian).
4. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 2 November 2016).
5. Kim A. Yu. *Chislennoye issledovaniye nelineynykh membranno-pnevmaticheskikh sistem* [Numerical study of non-linear membrane pneumatic systems]. Saratov, 2001. 263 p. Deposited in VINITI RAN 28.04.2001 No. 1122-B2001 (in Russian).
6. Skopenko V. A. Awning architecture: “sports” facilities. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN / Academic Bulletin of UralNIiprojekt RAACS*, 2010, no. 2, pp. 50–55 (in Russian).
7. Kim A. Yu., Ermilov D., Smirnov A. Calculation of combined pressurized systems using iterative incremental approach. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2014, no. 5-6, pp. 51–53 (in Russian).
8. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. Interazioni application of numerical methods in problems of calculation of pneumatic structures. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 50–52 (in Russian).
9. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. Combined large-span pneumatic structures. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 54–55 (in Russian).
10. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. The calculation of pneumatic structures for different types of loads with the use of software systems. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 58–59 (in Russian).
11. Khrustalyov B. M., Akelyev V. D., Manyushinets T. V., Kostevich M. F. Modeling of convective flows in pneumobased objects. Part 1. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG / Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 2014, no. 4, pp. 42–55 (in Russian).
12. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 2 November 2016).
13. Sergel O. S. *Prikladnaya gidrogazodinamika* [Applied fluid dynamics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 374 p. (in Russian).
14. Deych M. E. *Tekhnicheskaya gazodinamika. 2-e izd.* [Technical dynamics. 2nd ed.]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 1961. 670 p. (in Russian).

For citation: Prisadkov V. I., Ushakov D. V., Litskevich V. V., Khatuntseva S. Yu., Sobolev N. V. Assessment of risk of lowering of the cover of the compressed-air supported construction at the fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 50–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57.