



13. Babakin B. S. Khladagency, masla, servis kholodilnykh system [Refrigerants, oils, refrigeration systems service]. Ryazan: Uzoroche. 2003, 470 p. – ISBN: 5-85057-490-5.

14. Zhelezny V. P., Semenyuk Yu. V. Rabochie tela parokompressionnykh kholodilnykh mashin: svoystva, analiz, primeneniye [Working bodies of steam compression refrigerating machines: properties, analysis, application]. Odessa: Phoenix, 2012, 420 p.

© С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, С. А. Логинова, 2022

Получено: 29.11.2021 г.

УДК 725.381.3:[699.8+614.84]

А. М. ГРИМИТЛИН¹, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **А. П. ВОЛКОВ²**, инженер, представитель АС «СЗ Центр АВОК»; **А. В. СВЕРДЛОВ³**, инженер, представитель *FlaktGroup* в России

МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНОК

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Тел.: (812) 575-05-31; факс: (812) 316-58-72; эл. почта: grimitlin@sro-is.ru

²АС «СЗ Центр АВОК»

Россия, 197342, г. Санкт-Петербург, Сердобольская ул., д. 65-А. Тел.: +7 911 280 60 50, эл. почта: alex78477@yandex.ru

³ООО «ФЛЕКТГРУП РУС»

Россия, 117418, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 23.

Тел. +7 916 690 28 40, эл. почта: alexander.sverdlov@flaktgroup.com

Ключевые слова: противодымная вентиляция, струйная противодымная вентиляция, имитация пожара, тестовый пожар.

На основе теории подобия авторами рассмотрены методики расчета параметров испытательного (тестового) пожара и объемной производительности противодымной вентиляции, позволяющие получить результаты, релевантные к проектным параметрам пожара.

Важнейшим фактором безопасности нахождения человека на автостоянке является качество воздуха [1] в штатном и аварийном режимах работы вентиляции. Наибольший риск для человека возникает при задымлении помещения во время пожара [2]. Анализ стандартов по проектированию канальной противодымной вентиляции автостоянок в России и Европе [3, 4] был выполнен в работе [5]. Показано, что Российские нормы проектирования допускают более низкую производительность вентиляторов дымоудаления, что может быть фактором риска в современных многоуровневых автостоянках с высотой потолка 3,5–2,5 м [2, 4].

Монтаж системы противодымной вентиляции должен следовать всем указаниям проекта. Однако опыт строительно-монтажных работ свидетельствует о наличии возможных (неучтенных) отклонений от оригинального проекта, что в итоге может привести к ошибкам при *CFD*-моделировании, проводимом для проверки проектных решений перед началом строительства.



Для подтверждения проектных показателей противодымной вентиляции и всего комплекса противопожарной защиты автостоянки проводят экспериментальную проверку – испытания с использованием тестового пожара, имитирующего реальный проектный пожар и горячего искусственного дыма, обеспечивающего визуализацию воздушных потоков.

Данный метод испытаний в России официально практически не применяется по причинам нормативного характера. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении являются актуальной задачей.

Еще в 60–70-е годы прошлого века для имитации пожара на автостоянке использовали воздушные отопительные агрегаты, производящие поток горячего воздуха [6, 7]. Для создания тестового пожара применялся строительный мусор [8]. Более практичным для создания тестового пожара оказался метиловый 95 % денатурированный спирт. В продуктах сгорания спирта практически отсутствует сажа, мелкие твердые частицы, и они относительно низкотоксичны.

Синтетический искусственный дым (индикаторный газ), используемый в соответствии с ГОСТ [9], позволяет визуализировать конвективный поток продуктов горения и дымовой слой.

Исследования горения спирта в поддонах, термостатируемых с помощью водяной ванны, выполненные в Австралии, привели к разработке стандарта [10]. Испытание с горячим дымом состоит в создании потока горячего воздуха при помощи тестового пожара и введении в него индикаторного газа, позволяющего проиллюстрировать взаимодействие горячего восходящего конвективного потока дыма с вентиляционным холодным воздушным потоком в исследуемом пространстве. Во время испытания с горячим дымом система противопожарной защиты должна работать в автоматическом режиме, в том числе это касается системы автоматического обнаружения пожара. В стандарте [10] основной целью испытаний с использованием горячего дыма является проверка алгоритма включения и работы противодымной вентиляции автостоянки, однако, в документе нет четких критериев соответствия тестового пожара реальному или проектному сценарию пожара, что не позволяет экспериментально определить границы распространения дыма в поперечном (по высоте помещения) и продольном направлениях.

При испытании поперечной канальной противодымной вентиляции при помощи горячего дыма важно ответить на вопрос: возможна ли стабилизация нижней границы дыма?

При испытаниях продольной струйной противодымной вентиляции необходимо ответить на 2 вопроса:

1) возможно ли удержание нижней границы дыма в первые 8–10 минут после обнаружения пожара за счет продольного вентиляционного потока при выключенных струйных вентиляторах?

2) возможно ли удержание распространения дыма в продольном направлении при работе струйных вентиляторов?

Испытания осуществляют при конвективной мощности тестового пожара $Q_{кт}$, меньшей мощности проектного пожара $Q_{кп}$. В этом случае, исходя из принципов теории подобия, необходимо определить какие проектные параметры пожара необходимо масштабировать для получения достоверных результатов испытаний.

В работах [11–15] обобщен опыт экспериментальных работ в области использования маломасштабных физических моделей для изучения восходящих потоков горячих продуктов горения с использованием числа Фруда (Fr). Также был проанализирован собственный опыт, полученный при проведении пусконаладочных

испытаний системы противодымной вентиляции многоуровневой, подземной автостоянки в Казани, где также были проведены испытания с применением горячего дыма [16–18] и использовалось моделирование на основе числа Fr применительно к системам реверсивной, продольной струйной вентиляции [19–20].

В соответствии с СП 300.1325800.2017 [21] проектными параметрами, описывающими пожар автомобиля на автостоянке, являются проектная мощность пожара $Q_{он}$ (кВт) и проектный периметр очага горения $P_{н}$ (м). При наличии на автостоянке автоматической системы пожаротушения наиболее распространенным сценарием пожара является пожар одного автомобиля $Q_{он} = 4500–5000$ кВт; $P_{н} = 14$ м.

Тестовый пожар допускается в помещениях автостоянки, имеющих степень огнестойкости, не ниже установленной для автостоянок в СП 2.13130.2020 [22], и внутренний объем не менее 250 м^3 . Максимальная мощность тестового пожара определяется по допустимой температуре продуктов горения, безопасной для потолочных перекрытий и ограждающих конструкций. Поэтому при выборе параметров тестового пожара наиболее целесообразно выбрать шкалу масштабирования на основе параметра Θ (К): разности между температурой наружного, приточного воздуха T_0 (К) и температурой горячих продуктов горения, приведенной к нижней границе дымового слоя, T_c (К). На рис. 1 представлена схема очага горения в закрытом помещении.

Массовый расход продуктов горения для проектного пожара рассчитывается по формуле (1) [11]:

$$M_{н} = C_{е} P_{н} (Y_{нр})^{1,5}, \quad (1)$$

где $C_{е}$ – коэффициент захватывания, равный для больших помещений с низким потолком (например, подземная автостоянка) 0,21 и 1,9 для больших помещений, где дымовой слой находится на значительной высоте; $Y_{нр}$ – см. рис. 1.

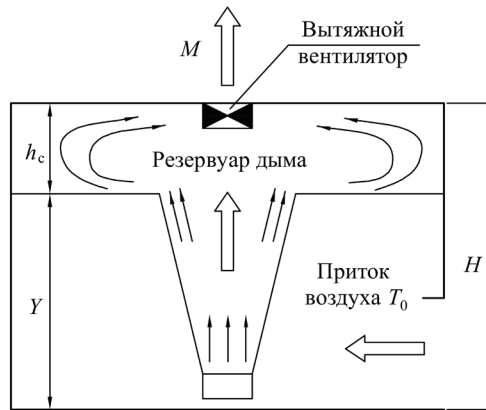


Рис. 1. Схема очага горения в закрытом помещении: H – высота потолочного перекрытия; Y – высота нижней границы дыма; h_c – толщина дымового слоя (резервуара дыма); M – массовый расход удаляемых продуктов горения

Далее определяем разность температур $\Theta_{н}$ проектного пожара:

$$\Theta_{н} = Q_{н} / (M_{н} C_p), \quad (2)$$

где C_p – удельная теплоемкость продуктов горения, кДж/(кг·К); принимается равной $1,01$ кДж/(кг·К); $Q_{нк}$ – конвективная мощность проектного пожара, принимаемая равной $0,6 Q_{он}$ [3] или 3000 кВт при пожаре одного автомобиля.



Таким образом, вышеперечисленные параметры проектного пожара должны быть экстраполированы в параметры тестового пожара исходя из допустимого значения разности температур Θ_T тестового пожара (Θ_T принимают в диапазоне 50–150 К).

В соответствии с рис. 1, для давления, вызывающего восходящий поток дымовых газов от очага горения до нижней границы дыма на высоте Y (м) от пола, можно записать уравнение:

$$\Delta p = \Delta \rho g Y = \rho_0 \frac{\Theta}{T_T} g Y, \quad (3)$$

где Δp – разность плотностей холодного приточного воздуха ρ_0 (кг/м³) при температуре T_0 (К) и горячего воздуха ρ_T (кг/м³) при температуре T_T (К).

Восходящий конвективный турбулентный поток продуктов горения может быть описан уравнением Вейсбаха:

$$\Delta p = \zeta \frac{u^2}{2} \rho, \quad (4)$$

где Δp – перепад давлений, Па, приводящий в движение газовый поток (воздух и/или дым) с плотностью ρ (кг/м³) со скоростью u (м/с), при коэффициенте сопротивления движению ζ .

Из (4) следует соотношение (5):

$$\Delta p = \infty u^2 \rho. \quad (5)$$

Объединяя (3) и (5), возможно получить соотношение (6) [11]:

$$u^2 \propto \Theta L, \quad (6)$$

где L представляет собой масштаб характеристической длины.

В случае проведения испытаний в реальном помещении автостоянки шкала характеристической длины составляет 1:1 $L = 1$.

На основе результатов, полученных в работе [11], отношения масштабирования (коэффициенты масштабирования) могут быть представлены в виде выражений (7)–(10).

Скорость восходящего потока u определяется по зависимости:

$$u \propto \Theta^{0.5} = K_u, \quad (7)$$

а объемный расход с восходящим потоком V равен:

$$V \propto \Theta^{0.5} = K_V. \quad (8)$$

Массовый расход M и конвективный тепловой поток Q_k определяются соответственно по зависимостям (9) и (10):

$$M \propto \frac{\Theta^{0.5}}{T_T} = K_M; \quad (9)$$

$$Q_k \propto \frac{\Theta^{0.5}}{T_T} = K_Q. \quad (10)$$

Далее следует определить параметры тестового пожара («т»), используя известные параметры проектного пожара («п»). Для этого необходимо:

- принять по условиям проекта допустимое значение перепада температур в очаге тестового пожара Θ_T , исключающее повреждение помещений и оборудования;
- используя (7)–(10) рассчитать коэффициенты масштабирования для проектного и тестового пожара;
- по формулам (11)–(15) рассчитать параметры тестового пожара:

$$u_T = u_{\Pi} \frac{K_{u,T}}{K_{u,\Pi}}; \quad (11)$$

$$V_T = V_{\Pi} \frac{K_{V,T}}{K_{V,\Pi}}; \quad (12)$$

$$M_T = M_{\Pi} \frac{K_{M,T}}{K_{M,\Pi}}; \quad (13)$$

$$Q_{к.т} = Q_{к.п} \frac{K_{Q.т}}{K_{Q.п}} \quad (14)$$

В соответствии с зависимостью (1): $M \propto P$, следовательно:

$$P_{т} = P_{п} \frac{K_{M.т}}{K_{M.п}} \quad (15)$$

В настоящее время подавляющее большинство подземных многоярусных автостоянок, проектируемых и строящихся в России, оснащены автоматической спринклерной системой пожаротушения и имеют высоту потолков в пределах 2,5–3,5 м. Испытания с использованием горячего дыма системы противодымной вентиляции автостоянки могут осуществляться в двух режимах, а именно:

- 1) проверка алгоритма включения и работы противодымной вентиляции автостоянки, не предусматривающая масштабирование параметров проектного пожара;
- 2) проверка границ распространения дыма при пожаре, предусматривающая масштабирование параметров проектного пожара.

В первом случае, в соответствии с требованиями [4], мощность тестового пожара должна быть не менее 300 кВт для автостоянок, оборудованных стационарными водяными установками пожаротушения, и не менее 450 кВт для автостоянок без автоматической системы пожаротушения. Для автостоянок с высотой потолка более 3,20 м рекомендуется увеличить мощность пожара до 1–1,5 МВт, чтобы достичь более высокой температуры дымового слоя, растекающегося под потолком.

На рис. 2 представлены возможные варианты расположения стандартных топливных поддонов типа А1 (см. таблицу).

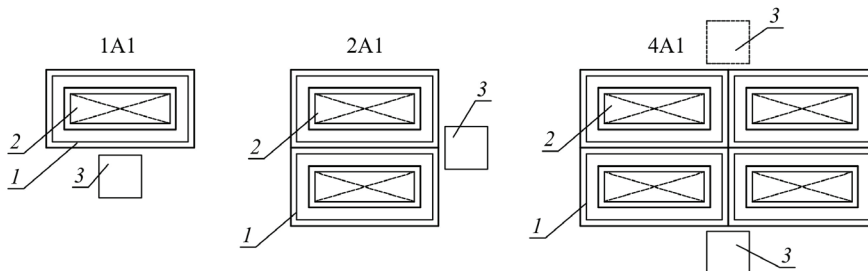


Рис. 2. Возможное расположение стандартных топливных поддонов типа А1, установленных в водяные термостаты (ванны, заполненные водой с температурой 15–25 °С): 1 – водяная ванна; 2 – топливный поддон; 3 – дымо-генератор

Во втором случае параметры тестового пожара рассчитываются исходя из правил масштабирования (11)–(15). Система противодымной вентиляции таких автостоянок рассчитывается исходя из сценария пожара одного или двух автомобилей с конвективной мощностью очага горения $Q_{кп} = 3\,000$ кВт. Результаты масштабирования тестового пожара одного автомобиля для данного типа автостоянок имеют наибольший практический интерес.

На рис. 3–5 представлены результаты расчета параметров тестового пожара одного автомобиля для следующих исходных данных: $Q_{кп} = 3\,000$ кВт; $P_{п} = 14$ м; $\Theta_{п}$ рассчитано по формулам (1) и (2).

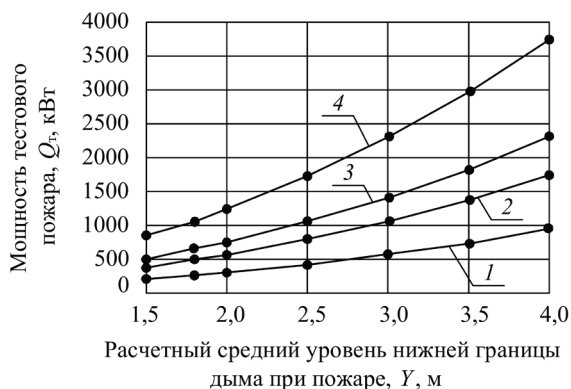


Рис. 3. График зависимости конвективной мощности тестового пожара $Q_{к.т.}$ от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур Θ_T : 1 – $\Theta_T = 50^\circ\text{C}$; 2 – $\Theta_T = 80^\circ\text{C}$; 3 – $\Theta_T = 100^\circ\text{C}$; 4 – $\Theta_T = 150^\circ\text{C}$

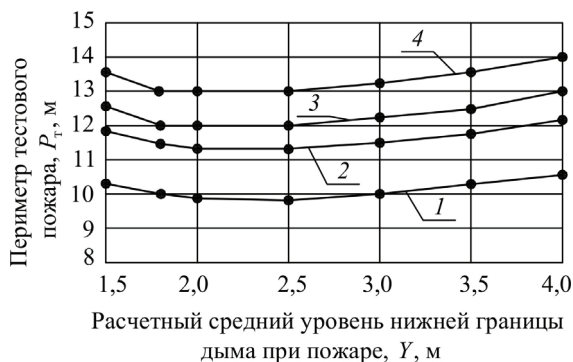


Рис. 4. График зависимости периметра тестового пожара P_T от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур Θ_T : 1 – $\Theta_T = 50^\circ\text{C}$; 2 – $\Theta_T = 80^\circ\text{C}$; 3 – $\Theta_T = 100^\circ\text{C}$; 4 – $\Theta_T = 150^\circ\text{C}$

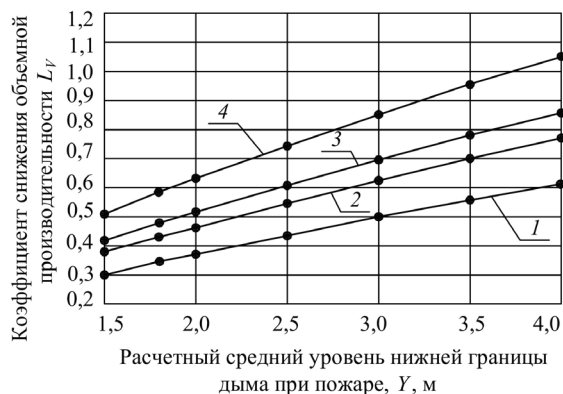


Рис. 5. График зависимости коэффициента снижения объемной производительности противодымной вентиляции $L_V = K_{V,T} / K_{V,0}$ от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур Θ_T : 1 – $\Theta_T = 50^\circ\text{C}$; 2 – $\Theta_T = 80^\circ\text{C}$; 3 – $\Theta_T = 100^\circ\text{C}$; 4 – $\Theta_T = 150^\circ\text{C}$



Снижение объемной производительности противодымной вентиляции возможно за счет использования регулятора частоты вращения электродвигателя вентилятора дымоудаления и электродвигателей струйных вентиляторов, при продольной системе вентиляции. Допускается применение шайб для снижения расхода воздуха.

При формировании очага тестового пожара возникает проблема с конструктивным обеспечением расчетных характеристик тестового пожара, а именно обеспечение сочетания параметров $Q_{кт}$ и $P_{г}$. В этом случае целесообразно использовать набор стандартных емкостей для топлива (топливных поддонов), характеристики которых представлены в таблице согласно стандарту [10]. Для выбора количества и типа топливных поддонов удобно использовать приведенную мощность тестового пожара, рассчитанную по формуле (16) $Q_{пр}$ (кВт/м):

$$Q_{пр} = Q_{кт} / P_{г} \quad (16)$$

Расчетные значения $Q_{пр}$ при пожаре одного автомобиля представлены на рис. 6.

Конструктивные характеристики топливных поддонов

Тип топливного поддона	Объем 95 % спирта в топливном поддоне, л	Удельная скорость горения, кВт/м ²	Мощность тестового пожара на стенде $Q_{тс}$, кВт	Периметр топливного поддона $P_{с}$, м	Приведенная мощность тестового пожара на стенде $Q_{прс} = Q_{тс} / P_{с}$, кВт/м
4 × A1	16,0 × 4	751	1500	5,744	261,1
2 × A1	15,0 × 2	696	700	4,062	172,3
A1	13	678	340	2,872	118,4
A2	5,5	566	140	2,028	69,0
A3	2,5	471	60	1,434	41,8
A4	1	412	26	1,014	25,6
A5	0,4	379	11	0,718	15,3

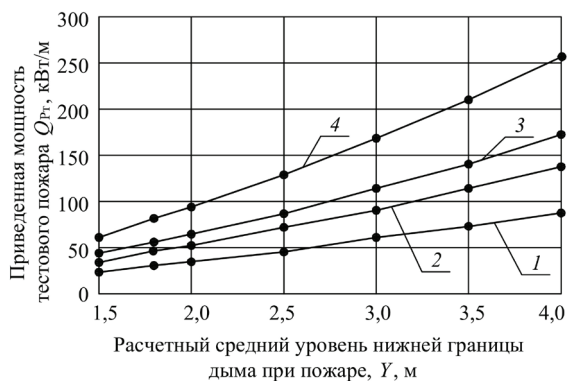


Рис. 6. График зависимости приведенной мощности тестового пожара от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур Θ_{τ} : 1 – $\Theta_{\tau} = 50$ °C; 2 – $\Theta_{\tau} = 80$ °C; 3 – $\Theta_{\tau} = 100$ °C; 4 – $\Theta_{\tau} = 150$ °C



При моделировании тестового пожара следует выбирать топливные поддоны исходя из условия (17):

$$Q_{\text{рт}} \approx Q_{\text{pc}}, \quad (17)$$

а количество выбранных топливных поддонов $N_{\text{т}}$ вычисляется по (18):

$$N_{\text{т}} = Q_{\text{кт}} / Q_{\text{тс}}. \quad (18)$$

Рассчитанное значение $N_{\text{т}}$ округляется до целого, значения Q_{pc} и $Q_{\text{тс}}$ выбираются по данным таблицы.

Пример расчета параметров тестового пожара. На закрытой автостоянке, оснащенной автоматической системой пожаротушения, принимается сценарий пожара одного автомобиля: $Q_{\text{кп}} = 3000$ кВт; $P_{\text{п}} = 14$ м; $Y_{\text{п}} = 2,5$ м; $\Theta_{\text{т}} = 80$ К – по условиям проекта.

Начальные параметры проектного пожара соответствуют условиям построения графиков, представленным на рис. 4–6. В этом случае можно определить: $Q_{\text{кт}} = 780$ кВт; $P_{\text{т}} = 11,6$ м; $Q_{\text{рт}} = 67$ кВт/м.

По данным таблицы по значению $Q_{\text{рт}}$ выбирается топливный поддон типа А2, основные рабочие параметры которого составляют: $Q_{\text{pc}} = 69$ кВт/м; $Q_{\text{тс}} = 140$ кВт; $P_{\text{тс}} = 2,028$ м.

По формуле (18) определяем количество поддонов типа А2 и после округления получаем: $N_{\text{т}} = 6$ шт.

Проверочный расчет значения $\Theta_{\text{т}}$ по параметрам топливного поддона выполняется по формулам (1) и (2). Значение $\Theta_{\text{т}} = 82,4$ К, что свидетельствует о правильном выборе типа и количества топливных поддонов.

Выводы по проведенным исследованиям:

1. Доказана актуальность исследований технологии испытаний противодымной вентиляции автостоянок с использованием горячего дыма для экспериментальной проверки возможности безопасной эвакуации людей при возникновении пожара.

2. Выполнен анализ развития технологии испытаний противодымной вентиляции автостоянок с использованием горячего дыма.

3. На основе теории подобия предложена методика масштабирования параметров тестового пожара и противодымной вентиляции, позволяющая получить результаты испытаний, релевантные к параметрам проектного пожара на объекте.

4. Предложена практическая методика расчета параметров тестового пожара и противодымной вентиляции при дымовых испытаниях наиболее востребованного типа подземных автостоянок (при пожаре одного автомобиля). Приведен пример расчета параметров тестового пожара на современной подземной автостоянке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, А. П. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок /А. П. Волков, А. В. Свердлов, С. В. Рыков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2014. – № 3. – С. 9–16.

2. Вишнеvский, Е. П. Противодымная защита крытых и подземных автопарковок, оборудованных струйной (импульсной) вентиляцией / Е. П. Вишнеvский, А. В. Свердлов, С. В. Рыков. – Текст : непосредственный // Мир строительства и недвижимости. – 2012. – № 44. – С. 54–56 .

3. Р НП «АВОК» 5.5.1-2015. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий : дата принятия 01 декабря 2014. – Москва : АВОК-Пресс, 2015. – Текст : непосредственный.

4. Vengzhinsky, W. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja /



W. Vengzhinsky, G. Krajewski ; Instytut Techniki Budowlanej. – Warszawa : Instytut Techniki Budowlanej, 2015. – ISBN 987-83-249-6792-6. – URL: <http://www.flaktwoods.ru/about-us/media/news/sistemy-protivopozharnoj-ventilyatsii-garazhej> (дата обращения 08.12.2021). – Текст : электронный.

5. Свердлов, А. В. Анализ европейских и российских правил проектирования традиционных канальных систем противодымной вентиляции автостоянок закрытого типа / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2017. – № 6. – С. 34–37.

6. Keogh, J. J. Moulen Smoke control tests in a multi-level shopping mall and associated stores / J. J. Keogh, A. W. Moulen // Experimental Building Station (Australia). 1983. – Record 495.

7. Seifert, U. Stein J., Koerner H-J. Hot smoke tests in buildings // Proceedings of Eurofire 99, 24-27 November (1999).

8. McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. Validated facts emerge from smoke ventilation tests / McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. // Fire Engineer's Journal. – 1991. – Vol. 51, № 161. – P. 15–18.

9. ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 616-ст. : дата введения 2008-10-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 55 с. – Текст : непосредственный.

10. AS 4391–1999. Australian Standard™ Smoke management systems. Hot smoke test. Reconfirmed. 2016.

11. Morgan, H. P. Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse systems / Morgan, H. P. De Smedt J-C. // FireAsia 2003, A Safe City in Motion. Hong Kong, 26-28 February 2003. – № 7.

12. Investigations into the flow of hot gases in roof venting / Thomas P. H., Hinkley P. L., Theobald C. R., Simms D. L. // Fire Research Technical Paper. – London : The Stationary Office, 1963.

13. Heskestad, G. Physical modeling of fire / G. Heskestad // Journal of Fire & Flammability. – 1975. – Vol. 6 (July). – P. 253–273.

14. Quintiere, J. G. Scaling applications in fire research / J. G. Quintiere // Fire Safety Journal. – 1989. – Vol. 15 – P. 3–29.

15. Seifert U. Hot Smoke Tests in buildings: theory, application, results / Seifert U., Stein J. // EUSAS Workshop on smoke propagation and smoke control in buildings, 20-21 June 2002. – 2002. – Vienna, Austria.

16. Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения / А. В. Свердлов, А. П. Волков, С. В. Рыков, М. А. Волков // Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 1. – С. 3–10.

17. Свердлов, А. В. Почему проводят испытания горячим дымом при пусконаладочных работах системы струйной вентиляции и дымоудаления автостоянок / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2018. – № 3. – С. 20–23.

18. Свердлов, А. В. Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Инженерные системы. – 2018. – № 4. – С. 20–22.

19. Волков, А. П. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок / А. П. Волков, А. В. Свердлов // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2015. – № 1. – С. 34–38.

20. Проектирование систем противодымной вентиляции современных автостоянок закрытого типа с использованием математических моделей процессов тепло- и массообмена на основе числа Фруда / А. В. Свердлов, А. П. Волков, С. В. Рыков, Э. А. Гордеева, М. А. Волков // Научный журнал НИУ ИТМО Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2018, № 1. – С. 47–56.

21. СП 300.1325800.2017 Системы струйной вентиляции и дымоудаления подзем-



ных и крытых автостоянок. Правила проектирования : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 21 августа 2017 г. № 1145/пр : дата введения 22 февраля 2018 г. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 63 с. – Текст : непосредственный.

22. СП 2.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 12 марта 2020 г. № 151 : взамен СП 2.13130.2012 : дата введения 09 декабря 2020. – Москва : МЧС, 2020. – 45 с. – Текст : непосредственный.

GRIMITLIN Aleksandr Moiseevich¹, doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; VOLKOV Aleksey Platonovich², engineer, representative of the “AU SZ Center AVOK”; SVERDLOV Aleksandr Viktorovich³, engineer, representative of the FlaktGroup in Russia

METHOD OF SCALING FIRE PARAMETERS DURING TESTS OF SMOKE VENTILATION OF CLOSED PARKING LOTS

¹St. Petersburg State University of Architecture and Construction
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, Russia.
Tel.: +7 (812) 575-05-31; fax: +7 (812) 316-58-72; e-mail: grimitlin@sro-is.ru

²AS “SZ Center AVOK”

65-A, Serdobolskaya St., St. Petersburg, 197342, Russia.

Tel.: +7 911 280 60 50; e-mail: alex78477@yandex.ru

³“FlaktGroup”

23, Profsovnaya St., Moscow, 117418, Russia.

Tel. +7 916 690 28 40; e-mail: alexander.sverdlov@flaktgroup.com

Key words: anti-smoke ventilation, jet anti-smoke ventilation, simulated fire, test fire.

In the article, based on the theory of similarity, the authors consider a method for calculating the parameters of a test fire and the volumetric performance of smoke ventilation, allowing to obtain results relevant to the design parameters of the fire.

REFERENCES

1. Volkov A. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V. Ekologiya i raschyot vozdukhooobmena podzemnykh avtostoyanok [Ecology and calculation of air exchange of underground parking lots] // Nauchny zhurnal NIU ITMO. Seriya: Holodilnaya tekhnika i konditsionirovanie [St Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics: Refrigeration and Air Conditioning]. – 2014, № 3. – P. 9–16.

2. Vishnevsky E. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V. Protivodymnaya zaschita krytykh i podzemnykh avtoparkovok, oborudovannykh struynoy (impulsnoy) ventilyatsiey [Smoke protection of indoor and underground car parks equipped with jet (pulse) ventilation] // Mir stroitelstva i nedvizhimosti [The world of construction and real estate]. – 2012, № 44. P. 54–56.

3. R NP “AVOK” 5.5.1-2015. Raschyot parametrov sistem protivodymnoy zaschity zhilykh i obschestvennykh zdaniy [Calculation of parameters of smoke protection systems for residential and public buildings]: data prinyatiya 01 dekabrya 2014. – Moscow: AVOK-Press, 2015.

4. Vengzhinsky W. G., Krajewski G. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja / Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2015. – ISBN 987-83-249-6792-6 – URL: <http://www.flaktwoods.ru/about-us/media/news/systemy-protivopozharnoj-ventilyatsii-garazhej> (data obrascheniya 08.12.2021).



5. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Analiz evropeyskikh i rossiyskikh pravil proektirovaniya traditsionnykh kanalnykh sistem protivodymnoy ventilyatsii avtostoyanok zakrytogo tipa [Analysis of European and Russian rules for the design of traditional duct systems for smoke ventilation of close-type parking lots] // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. – 2017, № 6. P. 34–37.
6. Keogh J.J., Moulen A.W. Smoke control tests in a multi-level shopping mall and associated stores, Experimental Building Station (Australia) Record 495 (1983).
7. Seifert U., Stein J., Koerner H.-J. Hot smoke tests in buildings // Proceedings of Eurofire 99, 24–27 November (1999).
8. McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. Validated facts emerge from smoke ventilation tests // Fire Engineer's Journal, 1991, Vol. 51, № 161. – P. 15–18.
9. GOST R ISO 14644-3-2007. Chistye pomescheniya i svyazannye s nimi kontroliruemye sredy. Chast 3. Metody ispytaniy [Clean rooms and associated controlled environments. Part 3. Test methods] : natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Fed. agentstva po tekhnich. regulirov. i metrologii ot 27 dekabrya 2007 g. № 616-st. : data vved. 2008-10-01. – Moscow: Standartinform, 2008. – 55 p.
10. AS 4391–1999 Australian Standard™ Smoke management systems. Hot smoke test. Reconfirmed. 2016.
11. Morgan H. P., De Smedt J.-C. Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse systems // FireAsia 2003, A Safe City in Motion, Hong Kong, 26–28 February 2003.
12. Thomas P. H., Hinkley P. L., Theobald C. R., Simms D. L. Investigations into the flow of hot gases in roof venting // Fire Research Technical Paper, № 7, London, The Stationary Office, 1963.
13. Heskestad G. Physical modeling of fire // Journal of Fire & Flammability. – Vol. 6 (July), 1975. – P. 253–273.
14. Quintiere J. G. Scaling applications in fire research // Fire Safety Journal, Vol. 15, 1989. – P. 3–29.
15. Seifert U., Stein J. Hot Smoke Tests in buildings: theory, application, results // EUSAS Workshop on smoke propagation and smoke control in buildings, 20–21 June 2002, Vienna, Austria.
16. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Volkov M. A. Modelirovanie protsessov dymoudaleniya v podzemnykh sooruzheniyakh transportnogo naznacheniya [Modeling smoke removal processes in underground transport facilities] // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda [Journal of International Academy of Refrigeration]. – 2019, № 1. – P. 3–10.
17. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Pochemu provodyat ispytaniya goryachim dymom pri puskonaladochnykh rabotakh sistemy struynoy ventilyatsii i dymoudaleniya avtostoyanok [Why hot smoke tests are carried out during commissioning of the jet ventilation and smoke removal systems of parking lots] // AVOK Ventiljacija Otoplenie Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)] 2018, № 3. – P. 20–23.
18. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Sistema reversivnoy struynoy ventilyatsii chetyryokhetazhnoy podzemnoy avtostoyanki v Kazani // Inzhenernye sistemy. 2018, № 4. – P. 20–22.
19. Volkov A. P., Sverdlov A. V. Revers vozdušnogo potoka pri prodolnoy ventilyatsii i dymoudaleni podzemnykh i krytykh avtostoyanok [Reverse air flow during longitudinal ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots] // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. – 2015. № 1. – P. 34–38.
20. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Gordeeva E. A., Volkov M. A. Proektirovanie sistem protivodymnoy ventilyatsii sovremennykh avtostoyanok zakrytogo tipa s ispolzovaniem matematicheskikh modeley protsessov teplo i massoobmena na osnove chisla Fruda [Design of smoke ventilation systems of modern closed-type parking lots using mathematical models of heat and mass transfer processes based on the Froude number] // Nauchny zhurnal NIU ITMO Seriya: Holodilnaya tekhnika i konditsionirovanie [St Petersburg National Research University of



Information Technologies, Mechanics and Optics: Refrigeration and Air Conditioning]. – 2018, № 1. – P. 47–56.

21. SP 300.1325800.2017 Sistemy struynoy ventilyatsii i dymoudaleniya podzemnykh i krytykh avtostoyanok. Pravila proektirovaniya [Systems of jet ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots. Design rules] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 21 avgusta 2017 g. № 1145/pr : data vved. 22 fevralya 2018 g. – Moscow: Standartinform, 2017. – 63 p.

22. SP 2.13130.2020 Sistemy protivopozharnoy zaschity. Obespechenie ognestoykosti obektov zaschity [Fire protection systems. Ensuring fire resistance of protection objects] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Min-va RF po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy (MChS Rossii) ot 12 marta 2020 g. № 151 : vzamen SP 2.13130.2012 : data vved. 09 dekabrya 2020. – Moscow : MChS, 2020. – 45 p.

© А. М. Гримитлин, А. П. Волков, А. В. Свердлов, 2022

Получено: 27.12.2022 г.

УДК 621.182

**Е. А. ЛЕБЕДЕВА¹, канд. техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения;
М. А. РАЗИНА¹, магистрант кафедры теплогазоснабжения; В. А. ЯКОВЛЕВ²,
канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции**

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОТЕЛЬНЫХ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35; эл. почта: evgelebedeva@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4. Тел.: (812) 575-05-31; эл. почта: yakovlevspb@rambler.ru

Ключевые слова: проектирование, расчет, когенерационные технологии, когенераторы, эффективность применения.

Рассмотрены особенности расчета и проектирования когенерационных технологий при реконструкции котельных в мини-ТЭЦ. Выявлены наиболее эффективные когенераторы применительно к паровым и водогрейным котельным. Приведены основы выбора и расчета электрогенерирующих установок, примеры реконструкции, показана эффективность когенерационных технологий.

Применение когенерационных технологий в паровых и водогрейных котельных позволяет эффективно дополнить рынок энергоснабжения. При этом решается проблема обеспечения потребителей теплотой и электроэнергией без дополнительного строительства новых линий электропередач и теплотрасс [1].

Паровая, или водогрейная котельная в результате проектирования электрогенерирующей установки на ее территории по своим функциям превращается в мини-ТЭЦ.

Проект использования когенерационных технологий в паровых и водогрейных котельных состоит из следующих этапов: