

УДК 699.814

yvgontarenko@gmail.com

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ В ОБЛАСТИ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

SMOKE VENTILATIONS PROBLEMS ANALYSIS

*Гонтаренко Ю. В.,
Однолько А. А., кандидат технических наук,
Воронежский государственный
технический университет, Воронеж*

*Gontarenko Y. V., Odnolko A. A.,
Voronezh State Technical University, Voronezh*

Показана актуальность совершенствования противодымной вентиляции (ПДВ). Цель: на основе анализа проблематики осуществить постановку проблемы исследования в области ПДВ. Задачи: обзор и анализ законодательных и нормативных правовых актов и документов (ЗиНПАД) в области ПДВ, рекомендаций по расчету параметров СПДВ, научных трудов в области ПДВ, определение направлений совершенствования методики расчета параметров СПДВ. В результате работы показана актуальность совершенствования расчета параметров систем ПДВ (СПДВ), приведены краткие обзоры источников в области ПДВ, сформулированы проблемы в области ПДВ, определены направления совершенствования методики расчета параметров СПДВ.

Ключевые слова: система противодымной защиты, противодымная вентиляция, дымоудаление, температура продуктов горения, толщина дымового слоя.

The relevance of improving smoke ventilation (SV) is shown. Goal: based on the analysis of the problem, to formulate the problem of research in the field of SV. Tasks: review and analysis of legislative and normative law acts and documents (LaNLAD) in the field of SV, recommendations for calculating the SVS parameters, scientific papers in the SV field, determining directions for improving the methodology for calculating the SVS parameters. As a result, the paper shows the relevance of improving the calculation of parameters of SV systems (SVS), provides brief reviews of sources in the field of SV, formulated problems in the field of SV, identified areas for improving the methodology for calculating the parameters of SVS.

Keywords: smoke protection system, smoke ventilation, smoke exhaust, temperature of combustion products, smoke layer thickness.

Актуальность. Среднее число погибших на пожаре на 100 тыс. населения в России составляет почти семь человек, что более чем в четыре раза превышает среднемировой уровень [33], причем по причине отравления токсичными продуктами горения (ПГ) при пожарах в зданиях погибает порядка 70 % [32]. В соответствии с [1] каждый объект защиты должен иметь

систему обеспечения пожарной безопасности (СОПБ), целью которой является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре. Система включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты (СППЗ), комплекс организационно-технических мероприятий по

обеспечению пожарной безопасности (ПБ).

СППЗ выполняет цель защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара (ОФП) и (или) ограничения его последствий, что обеспечивается снижением динамики нарастания ОФП, эвакуации людей и имущества в безопасную зону и (или) тушением пожара в течение времени, необходимого для достижения целей обеспечения ПБ [1]. СППЗ должны обладать надежностью и устойчивостью к воздействию ОФП в течение времени, необходимого для достижения целей обеспечения (ПБ) [1].

Одним из способов защиты людей и имущества от воздействия ОФП и (или) ограничения последствий их воздействия является система противодымной защиты (СПДЗ), чем обусловлена актуальность совершенствования методов прогнозирования динамики ОФП и, в частности, расчета параметров СПДВ.

Цель работы – на основе анализа проблематики осуществить постановку проблемы исследования в области ПДВ.

Задачи работы:

- выполнить обзор и анализ законодательных и нормативных правовых актов и документов (ЗиНПАД) в области ПДВ;
- выполнить обзор и анализ рекомендаций по расчету параметров СПДВ;
- выполнить обзор и анализ научных трудов в области ПДВ;
- определить направления совершенствования методики расчета параметров СПДВ.

Используемые методы: системный анализ, сравнение, синтез.

Результаты. Анализ нормативной базы позволяет сделать вывод о том, что основными ЗиНПАД в области ПДВ являются [1, 2, 4, 5], а также стандарты ГОСТ Р 53302–2009, ГОСТ Р 53299–2013, ГОСТ 53301–2013, ГОСТ Р 53303–2009, ГОСТ Р 53305–2009, ГОСТ Р 53296–2009, ГОСТ Р 53300–2009.

В техническом регламенте [1] введено определение СПДЗ, место СПДЗ в

СОПБ объекта защиты, задачи СПДЗ, которыми являются предотвращение или ограничение опасности задымления зданий и сооружений при пожаре, обеспечение защиты людей на путях эвакуации и в безопасных зонах от воздействия ОФП в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или всего времени развития и тушения пожара посредством удаления продуктов горения (ПГ) и термического разложения и (или) предотвращения их распространения. Согласно [1] СПДЗ должна предусматривать один или несколько из следующих способов защиты:

- 1) использование объемно-планировочных решений зданий и сооружений для борьбы с задымлением при пожаре;
- 2) использование конструктивных решений зданий и сооружений для борьбы с задымлением при пожаре;
- 3) использование приточной ПДВ для создания избыточного давления воздуха в защищаемых помещениях, тамбур-шлюзах и на лестничных клетках;
- 4) использование устройств и средств механической и естественной вытяжной ПДВ для удаления ПГ и термического разложения [1].

Приведены общие требования к приводу исполнительных механизмов СПДЗ, устройству общих систем для защиты помещений с различными классами функциональной пожарной опасности, конструктивному исполнению и характеристикам элементов, оборудованию СПДЗ, фактическим значениям параметров СПДЗ (в том числе пределы огнестойкости и сопротивления дымогазопроницанию), условия взаимодействия СПДЗ с автоматическими установками пожаротушения, пожарной сигнализации, системам общеобменной и технологической вентиляции и кондиционирования воздуха.

Свод правил [2] содержит термины и определения ПДВ, СПДВ, элементов СПДЗ, пожарно-технические характеристики конструкций и оборудования систем

общеобменной вентиляции, местных отсосов, воздушного отопления и кондиционирования в зданиях различного назначения, необходимые для обеспечения комплексной безопасности (техногенной, экологической, санитарно-гигиенической и пожарной безопасности); требования для устройства общих систем вентиляции, в том числе требования к устройству общих приемных устройств наружного воздуха для систем вентиляции; требования к категории по взрывопожарной и пожарной опасности помещений для вентиляционного оборудования вытяжных и приточных систем общеобменной вентиляции и местных отсосов, размещению таких помещений, их ограждающим конструкциям; требования для обеспечения предотвращения ПГ при пожаре в помещениях различных этажей по воздуховодам систем общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования, к противопожарным клапанам, воздушным затворам, воздуховодам, вентиляционным каналам, их конструкциям и материалам, а также огнестойкости; приведены условия прокладки транзитных воздуховодов и коллекторов систем любого назначения.

Приведены требования к устройству СПДВ с естественным и механическим побуждением, номенклатура задний и помещений, подлежащих устройству, указанных систем; приведены критерии зависимости расчета расхода ПГ, удаляемых СПДВ, и расхода наружного воздуха СПДВ; приведены условия совместного действия приточной и вытяжной СПДВ; требования к устройству дымоприемных устройств в коридорах прямолинейной, угловой и кольцевой конфигурациях, дымовых зон помещений; приведены составы оборудования СПДВ, требования к этому оборудованию, решения по выбросу ПГ; условия определения параметров СПДВ, использования СПДВ, совмещенных с системами общеобменной вентиляции; требования к управлению исполнительными элементами оборудования СПДВ; требова-

ния к объемно-планировочным и конструктивным решениям, в частности требования к ограждающим строительным конструкциям помещений для вентиляционного оборудования, приведены типовые решения к поэтажным переходам через наружную воздушную зону незадымляемых лестничных клеток типа Н1, требования к устройству естественного проветривания коридоров при пожаре, компенсирующей подачи наружного воздуха СПДВ.

Свод правил [4] устанавливает требования к системам вентиляции, кондиционирования, оборудованию и иным элементам этих систем, размещению такого оборудования и помещениям для него, для обеспечения комплексной безопасности зданий, учитывая функциональное назначение помещений, класс функциональной пожарной опасности помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий, категорию по взрывопожарной и пожарной опасности производственных помещений, заданные параметры микроклимата, размещение приемных устройств наружного воздуха, возможность применения рециркуляции воздуха, режим и одновременность работы систем, организацию воздухообмена, выброс воздуха в атмосферу; требования к энергосбережению системами вентиляции и кондиционирования воздуха, электроснабжению и автоматизации, водоснабжению и канализации таких систем, а также требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям, методику расчета расхода и температуры приточного воздуха в центральных системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

В своде правил [5] представлены климатические параметры, которые применяются при расчете параметров СПДВ, в частности температуру наружного воздуха для теплого и холодного периодов года, скорость ветра.

В стандартах ГОСТ Р 53302–2009, ГОСТ Р 53299–2013, ГОСТ 53301–2013, ГОСТ Р 53303–2009, ГОСТ Р 53305–2009, ГОСТ Р 53296–2009, ГОСТ Р 53300–2009

приведены положения необходимые для оценки технического состояния СПДВ, в частности методы испытания на огнестойкость вентиляторов, предназначенных для применения в СПДВ, элементов конструкций, таких как воздуховоды (вентиляционные каналы), противопожарные нормально открытые и нормально закрытые клапаны, дымовые клапаны, противопожарные клапаны двойного действия; дымовые люки, противодымные экраны, методы испытания на дымогазопроницаемость дверей и ворот, требования пожарной безопасности к пассажирским лифтам, имеющим режим работы «перевозка пожарных подразделений», порядок и периодичность проведения приемосдаточных и периодических испытаний СПДВ зданий и сооружений различного назначения.

В настоящее время на практике при расчете параметров СПДВ используются рекомендации [6, 7].

Рекомендации [6] регламентируют основные зависимости для расчета параметров СПДВ зданий различного назначения, в то время как рекомендации [7] предназначены для расчета параметров СПДВ жилых и общественных зданий.

Значительный вклад в развитие математического моделирования пожаров, прогнозирования ОФП, термодинамики, теплопередачи, теплопереноса, теплообмена из отечественных исследователей внесли В. М. Астапенко, М. П. Башкирцев, Г. Н. Валеев, В. М. Есин, Ю. С. Зотов, М. А. Михеев, И. С. Молчадский, С. В. Пузач, А. М. Рыжов, М. П. Стецовский [11–13, 15, 16, 18–20, 22–26, 29]. Результаты перечисленных трудов применяются в рекомендациях [6, 7].

Рассмотрим зависимости, используемые при расчете параметров СПДВ.

Расчет параметров СПДВ основывается на уравнениях математических моделей пожара. Описание решений указанных уравнений, а также изложение сущности зонного и полевого методов математического моделирования проведено Ю. А. Кошмаровым [19]. В частности, в

указанном источнике [19] приведены зависимости определения распределения давлений и перепадов этих давлений по высоте помещения, формулы определения для расчета выбрасываемых ПГ и поступающего воздуха через прямоугольные проемы и т. д. Ряд уравнений, приведенных в [19], используются в современных рекомендациях [6, 7], так, располагаемый перепад давления (разность давлений внутри помещения и вне его на уровне проема дымоудаления) $\Delta P_{РАСП}$, Па, в рекомендациях [6, 7] определяют по формуле:

$$\Delta P_{РАСП} = g(\rho_H - \rho_{ПГ})(H - Z), \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, m/s^2 , ρ_H — плотность наружного воздуха, kg/m^3 , $\rho_{ПГ}$ — плотность ПГ, kg/m^3 , H — высота помещения от пола до места выброса ПГ, м, Z — высота незадымленной зоны, м.

Удельное критическое количество пожарной нагрузки, $g_{ккр}$, kg/m^2 , определяется следующей зависимостью [6, 20, 23]:

$$g_{ккр} = \frac{4500 \cdot \Pi^3}{1 + 500 \cdot \Pi^3} + \frac{V^{1/3}}{6 \cdot V_0}, \quad (2)$$

где $g_{ккр}$ — удельное критическое количество пожарной нагрузки, kg/m^2 ; Π — проемность помещения, $m^{1/2}$; V_0 — удельное количество воздуха, необходимое для полного сгорания пожарной нагрузки помещения, m^3/kg .

Полное давление снаружи здания $P_{НАР}$, Па, определяют по формуле [11]:

$$P_{НАР} = P_{НО} - g\rho_{НУ}, \quad (3)$$

где $P_{НО}$ — давление снаружи здания на нулевом уровне, Па; g — ускорение свободного падения, m/s^2 ; ρ_H — плотность наружного воздуха, kg/m^3 ; y — вертикальная координата рассматриваемой точки (расстояние от уровня пола до рассматриваемого уровня), м.

Максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении, К, при пожаре, регулируемой нагрузкой (ПРН), определяется по формуле [6, 7, 11]:

$$T_{0\max} = T_B + 224g_k^{0,528}, \quad (4)$$

где T_B — температура внутреннего воздуха, К; g_k — удельная приведенная пожарная нагрузка, кг/м².

Максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении, К, при пожаре, регулируемом вентиляцией (ПРВ), определяется по [6, 7, 11]:

$$T_{0\max} = T_B + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141), \quad (5)$$

g_0 — удельная приведенная пожарная нагрузка, отнесенная к площади пола помещения, кг/м².

Температуру газов, поступающих из горящего помещения в коридор, T_0 , К, определяют по [6, 7, 23]:

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\max}, \quad (6)$$

где $T_{0\max}$ — максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении.

Отметим, что в основе определения скорости воздуха, подаваемого системами приточной ПДВ, расхода ПГ из помещения очага пожара в поэтажный коридор, температуры ПГ, выходящих из очага пожара в коридор, давления на первом этаже лестничной клетки лежат результаты работ [12, 29], используемых при разработке рекомендаций [9].

В работах В. М. Есина, С. П. Калмыкова [13–15] приведены результаты исследований моделирования процессов тепло- и массопереноса при работе СПДВ, совершенствованием существующих методик расчета параметров вентиляционных систем, в частности определения среднеобъемных параметров газовой среды при пожаре в помещении, влияния различных параметров на определение температуры удаляемых ПГ и их массового расхода, оказывающих влияние на эффективность ПДВ, работы импульсной ПДВ.

Вопросами совершенствования методики расчета параметров СПДВ, методов

выбора сечений воздуховодов и вопросами разработки методики аэродинамического расчета СПДВ также занимались В. В. Мамаев, М. Н. Бубела [21].

Разработкой аналитических методов определения токсичных ПГ и термического разложения в помещении, параметров вертикального профиля температуры в смежном с очагом пожара помещении, динамики и критической продолжительности пожара при линейном распространении пожара, распределение давлений газовых сред в помещениях на основе моделирования процессов тепло- и массопереноса занимались М. Ю. Овсянников, С. П. Калмыков [13–15, 24].

С. В. Пузач внес значительный вклад в исследование особенностей термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях, факторов и явлений, снижающих эффективность системы дымоудаления и модификацией зонной модели расчета термогазодинамики пожара в помещении занимались, в частности, учет формы конвективной колонки, возникновения явления «поддува», скорости опускания нижней границы припотолочного дымового слоя, особенностей расчета массовых расходов вытяжной и приточной ПДВ и их влияние на высоту незадымляемой зоны, особенностей тепломассообмена в помещениях со сложной геометрией [25].

Таковыми задачами, как разработка расчетного метода количественной оценки эффективности функционирования противодымной защиты многоэтажных зданий занимался С. П. Смирнов [28].

Следует отметить работы А. В. Карпова, В. М. Казеннова, посвященные моделированию процессов тепло- и массопереноса в припотолочной струе ПГ на начальной стадии пожара в помещении и методам расчета тепломассообмена [17, 18], работы И. А. Хурина, С. В. Колмогорова, посвященные особенностям проектирования механических систем компенсации дымоудаления и учету степени изменения объемного расхода системы дымоудаления в зависимости от температуры перемещаемой

среды [30], работы М. Ю. Цыбульской о влиянии высоты расположения дымоприемного устройства на эффективность ПДВ [31], а также ряд других работ в этой области [10, 27].

Из зарубежных источников в этой области следует отметить труды D. D. Drysdale, J. A. Milke, J. H. Klote, G. D. Lougheed, H. P. Morgan, M. Law, G. Haskestad, T. Yamana, T. Tanaka, которые, в частности, внесли вклад в создание стандарта национальной ассоциации противопожарной защиты [40], содержащего положения по устройству СПДВ в торговых центрах, атриумах и больших пространствах.

D. D. Drysdale является автором научных трудов, посвященных исследованию процессов теплопередачи, распространения пламени, формирования, состава и движения ПГ [34].

Работы J. A. Milke, J. H. Klote посвящены разработке и обзору систем управления дымом для защиты лестничных клеток, лифтов, больших пространств зданий, зональному контролю дыма, а также исследованию скорости выделения тепла, токсичности дыма, естественной вентиляции атриумов, явления plugholing, толщины дымового слоя в атриума [38].

H. P. Morgan, G. D. Lougheed, M. Law, G. Haskestad, T. Yamana, T. Tanaka

$$T_{\text{ПГ}} = T_{\text{В}} + \frac{1,22 \cdot (T_0 - T_{\text{В}}) \cdot \left(2h_{\text{д}} + \frac{F_{\text{кор}}}{l_{\text{кор}}}\right)}{l_{\text{кор}}} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-0,58 \cdot l_{\text{кор}}}{2 \cdot h_{\text{д}} + \frac{F_{\text{кор}}}{l_{\text{кор}}}}\right)\right), \quad (8)$$

где T_0 — температура газов, поступающих из горящего помещения в коридор, К; $T_{\text{В}}$ — температура внутреннего воздуха, К; $h_{\text{д}}$ — предельная толщина дымового слоя, м; $F_{\text{кор}}$ — площадь коридора, м²; $l_{\text{кор}}$ — длина коридора, м.

Проблемой определения температуры ПГ, удаляемых из помещений смежных с горящим, в частности, неполного участия в теплообмене ограждающих конструкций коридора при пожаре, занимались В. М. Есин и С. П. Калмыков [14, 15].

занимались исследованием методов контроля дыма в закрытых торговых комплексах, потока ПГ в атриумах, подходам к проектированию СПДВ в атриумных зданиях [34–37, 39, 41].

Значительные изменения в расчете параметров СПДВ связаны с вступлением в силу свода правил [3], согласно которому значение температуры удаляемых ПГ не допускается принимать фиксированным, как это было ранее, а требуется определять расчетным путем.

Таким образом, в рекомендациях [6, 8] появляются зависимости определения температуры ПГ.

Для горящих помещений температура ПГ определяется согласно [6, 8]:

$$T_{\text{ПГ}} = \frac{Q_{\text{к}}}{c_{\text{р}} G_{\text{у}} + \alpha (F_{\text{ном}} + L_{\text{ок}} (H - Z))} + T_{\text{В}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{к}}$ — конвективная составляющая мощности очага пожара, кВт; $T_{\text{В}}$ — температура внутреннего воздуха, К; $c_{\text{р}}$ — удельная изобарная теплоемкость воздуха и ПГ, кДж/(кг·К); α — коэффициент теплоотдачи от ПГ к ограждающим конструкциям, кВт/(м²·К).

Для помещений смежных с горящим температура ПГ определяется согласно [6, 8]:

Следует отметить, что температура ПГ, удаляемых из коридора, является параметром, который влияет на производительность вентилятора дымоудаления. В результате исследования [14] подтверждено предположение о влиянии расположения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора и в работе [15] получены зависимости температуры удаляемого из коридора

этажа пожара дыма от расстояния от дымового клапана до двери помещения с очагом пожара для различных конфигураций коридоров, которые в последствии учтены только в рекомендациях [7].

Температура ПГ, удаляемых из коридоров прямолинейной конфигурации жилых и общественных зданий, определяется зависимостью [7, 15]:

$$T_{\text{ПГ}} = (0,0368x^2 - 3,9258x + 119,81) + T_{\text{В}} + \frac{1,22 \cdot (T_0 - T_{\text{В}}) \cdot (2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}})}{I_{\text{КОР}}} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-0,58 \cdot I_{\text{КОР}}}{2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}}}\right) \right), \quad (9)$$

где x — расстояние от помещения с очагом пожара до дымового клапана.

Температура ПГ, удаляемых из коридоров угловой конфигурации жилых и общественных зданий, определяется зависимостью [7, 15]:

$$T_{\text{ПГ}} = (-0,0488x^2 - 0,8243x + 77,346) + T_{\text{В}} + \frac{1,22 \cdot (T_0 - T_{\text{В}}) \cdot (2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}})}{I_{\text{КОР}}} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-0,58 \cdot I_{\text{КОР}}}{2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}}}\right) \right). \quad (10)$$

Температура ПГ, удаляемых из коридоров кольцевой конфигурации жилых и общественных зданий, определяется зависимостью [7, 15]:

$$T_{\text{ПГ}} = (0,0067x^2 - 4,3122x + 88,453) + T_{\text{В}} + \frac{1,22 \cdot (T_0 - T_{\text{В}}) \cdot (2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}})}{I_{\text{КОР}}} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-0,58 \cdot I_{\text{КОР}}}{2 \cdot h_{\text{Д}} + \frac{F_{\text{КОР}}}{I_{\text{КОР}}}}\right) \right). \quad (11)$$

Стоит отметить, что указанные выше ЗиНПАД [1–5] не содержат методики расчета параметров СПДВ и не устанавливают конкретные рекомендации по расчету указанных параметров, а лишь указывают, что расчеты могут быть выполнены в соответствии с [6] или на основе других методических пособий, не противоречащих требованиям [2].

Рекомендации [6] содержат ряд зависимостей для определения параметров различных систем, не имеющих выраженного алгоритма, последовательности и разъяснений, достаточных для инженерного применения.

Рекомендации [7] имеют порядок расчета более удобный для применения в инженерных целях, но не учитывают некоторых положений, приведенных в рекомендациях [6]. Так, в частности, в [7] не учтены условия определения толщины дымового слоя, методики определения величины приведенной пожарной нагрузки с ее критическим значением и, таким образом,

определения вида пожара, от которого будет зависеть выбор зависимости определения максимальной среднеобъемной температуры в горящем помещении, которые имеются в рекомендациях [6].

Несмотря на значительные достижения, приоритетными направлениями совершенствования ПДЗ являются модернизация существующих методик расчета параметров вентиляционных систем, исследования определения среднеобъемных параметров газовой среды при пожаре в помещении и влияния различных факторов на эффективность СПДВ.

В рекомендациях [6, 7] применяются допущения, на наш взгляд, не всегда достаточно обоснованные, такие как: определение температуры газов, поступающих из горящего помещения в коридор, определяемых по формуле (6), определение предельной толщины дымового слоя из условия:

$$0,5 \leq h_{\text{Д}} / H \leq 0,6, \quad (12)$$

где H – высота коридора, м.

Таким образом, на основе обзора и анализа источников можно сформулировать следующие выводы:

– ЗиНПАД в области ПДВ не содержат указаний по применению конкретных рекомендаций по расчету параметров СПДВ;

– существующие методики расчета параметров СПДВ разобщены, отсутствует обобщенная методика расчета параметров СПДВ;

– нуждается в дополнительном научном обосновании порядок расчета температуры ПГ, определение предельной толщины дымового слоя.

В связи с этим, одними из приоритетных направлений работы по совершенствованию расчета параметров СПДВ являются:

– разработка обобщенной методики расчета параметров СПДВ, объединяющая наиболее проработанные позиции существующих методик и доведенная до уровня, достаточного для инженерного применения;

– совершенствование расчета температуры ПГ на всем пути их движения — от помещения очага пожара до выбросного отверстия, что позволит значительно увеличить точность расчета параметров СПДВ.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 26.06.2020).
2. СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (утв. и введен в действие Приказом МЧС России от 21.02.2013 № 116). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098833> (дата обращения 26.06.2020).
3. СП 7.13130.2009 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071150> (дата обращения 26.06.2020).
4. СП 60.13.330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003» (ред. от 22.01.2019). URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054205> (дата обращения 26.06.2020).
5. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». URL: <http://docs.cntd.ru/document/554402860> (дата обращения 26.06.2020).
6. Методические рекомендации к СП 7.131130.2013 «Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий». М., 2013. 58 с.
7. Рекомендации АВОК 5.5.1-2018 «Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий» // ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2018. 68 с.
8. Методические рекомендации «Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий». М., 2008. 56 с.
9. Рекомендации по расчету систем противодымной защиты зданий различного назначения. М., 1983. 35 с.
10. Асминин В. Ф., Васюков Г. В., Однолько А. А. Проблемы и опыт обеспечения пожарной безопасности проектов строительства // Строительство и архитектура. 2009. № 1 (13). С. 133–137.
11. Астапенко В. М., Кошмаров Ю. А., Молчадский И. С., Шевляков А. Н. Термогазодинамика пожаров в помещении. М., 1988. 447 с.
12. Валеев Г. Н., Есин В. М., Ерофеев А. Н. Экспериментальное исследование температурных режимов в помещениях на этаже пожара // Огнестойкость строительных конструкций: сб. науч. тр. М., 1981. С. 50–57.
13. Есин В. М., Калмыков С. П. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23, № 6. С. 47–52.
14. Есин В. М., Калмыков С. П. К вопросу расчета температуры продуктов горения, удаляемых из коридоров зданий // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 1. С. 47–53.
15. Есин В. М., Калмыков С. П., Цыбульская М. Ю. Влияние расстояния от клапана дымоудаления до двери помещения с очагом пожара на температуру удаляемых из коридора продуктов горения // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика, 2018. № 5. С. 54–67.
16. Зотов Ю. С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода расчета необходимого времени эвакуации людей: дис. канд. техн. наук. М., 1990. 277 с.

17. Казеннов В. М. Методы расчета тепломассообмена при пожаре для обоснования объемно-планировочных решений зданий и сооружений: дис. канд. техн. наук. М., 2003. 162 с.
18. Карпов А. В., Рыжов А. М. Полевое моделирование тепло- и массопереноса в припотолочной струе продуктов горения над нестационарными очагами пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2001. Т. 10, № 3. С. 17–24.
19. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М., 2000. 118 с.
20. Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М., 1987. 443 с.
21. Мамаев В. В., Бубела М. Н. Обеспечение эффективной работы систем дымоудаления в зданиях и сооружениях на этапе проектирования // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. 2016. № 1 (5). С. 27–37.
22. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М., 1956. 392 с.
23. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М., 2005. 456 с.
24. Овсянников М. Ю. Исследование развития пожара в двух смежных помещениях при работе противодымной вентиляции для обоснования объемно-планировочных решений зданий и сооружений: дис. канд. техн. наук. М., 2004. 212 с.
25. Пузач С. В., Тунг Д. Т., Хай Н. Т. Снижение эффективности системы дымоудаления с искусственным побуждением при возникновении «поддува» // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 5. С. 54–60.
26. Рыжов А. М. Дифференциальный (полевой) метод моделирования пожаров // Моделирование пожаров и взрывов. М., 2000. С. 25–88.
27. Ситников И. В., Колодяжный С. А., Однолько А. А. Экспериментальное исследование и моделирование динамики удельной массовой скорости выгорания жидкости в условиях функционирования противодымной вентиляции // Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 149–157.
28. Смирнов С. П. Эффективность функционирования при пожаре отдельной противопожарной системы: на примере противодымной защиты многоэтажных зданий: дис. канд. техн. наук. М., 1997. С. 339.
29. Стецовский М. П. Исследование теплогазообмена на этаже пожара и определение некоторых параметров для расчета вентиляционных систем противодымной защиты жилых зданий: дис. канд. техн. наук. М., 1976. 198 с.
30. Хурин И. А., Колмогоров С. В. Особенности проектирования механических систем компенсации дымоудаления // В сб.: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии сборник статей. Самара, 2017. С. 384–386.
31. Цыбульская М. Ю. Влияние высоты расположения дымоприемного устройства в коридорах различной конфигурации на эффективность противодымной вентиляции // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 6 (70).
32. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.
33. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistic 2020. Report № 25 // Center of Fire Statistic of CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/news_files/2020-06/CTIF_Report25.pdf (дата обращения 26.06.2020).
34. Drysdale D. D. An Introduction of Fire Dynamics // John Wiley & Sons, New York, 1985.
35. Heskestad G. Inflow of Air Required at Wall and Ceiling Apertures to Prevent Escape of Fire Smoke // FMRC J.I. 0Q4E4.RU, Factory Mutual Research Corporation, July, 1989.
36. Law M. A Note on Smoke Plumes from Fires in Multilevel Shopping Malls // Fire Safety Journal 10, 1986. P. 197.
37. Loughheed G. D., Hadjisophocleous G. V. Investigation of Atrium Smoke Exhaust Effectiveness // ASHRAE Transactions, 1997. PP. 1–15.
38. Milke J., Klote J. Smoke Management in Large Spaces in Buildings // Building Control Commission, Melbourne, Australia, July, 1998.
39. Morgan H. P. Smoke Control Methods in Enclosed Shopping Complexes of One or More Storeys: A Design Summary // Building Research Establishment, 1979.
40. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Spaces, 2009.
41. Yamana T., Tanaka T. Smoke Control in Large Scale Spaces // Fire Science and Technology, 1985. P. 41.

References

1. Tekhnicheskii reglament o trebovaniikh požarnoi bezopasnosti: feder. zakon ot 22.07.2008 N 123-FZ (ред. от 27.12.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (data obrashcheniia 26.06.2020).
2. SP 7.13130.2013 «Otopleniia, ventiliatciia i konditcionirovanie. Trebovaniia požarnoi bezopasnosti (utv. i vveden v deistvie Priказom MCHS Rossii ot 21.02.2013 N 116). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098833> (data obrashcheniia 26.06.2020).

3. SP 7.13130.2009 Otoplenie, ventilatsiia i konditsionirovanie. Protivopozharnye trebovaniia URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071150> (data obrashcheniia 26.06.2020).
4. SP 60.13.330.2012. «Otoplenie, ventilatsiia i konditsionirovanie vozdukha. Aktualizirovannaia redaktsiia SNiP 41-01-2003» (red. ot 22.01.2019). URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054205> (data obrashcheniia 26.06.2020).
5. SP 131.13330.2018. «SNiP 23-01-99* Stroitelnaia klimatologiiia». URL: <http://docs.cntd.ru/document/554402860> (data obrashcheniia 26.06.2020).
6. Metodicheskie rekomendatsii k SP 7.131130.2013 «Raschetnoe opredelenie osnovnykh parametrov protivodymnoi ventilatsii zdaniia». M., 2013. 58 s.
7. Rekomendatsii AVOK 5.5.1–2018 «Raschet parametrov sistem protivodymnoi zashchity zhylykh I obshchestvennykh zdaniia» // OOO IIP «AVOK-PRESS». 2018. 68 s.
8. Metodicheskie rekomendatsii «Raschetnoe opredelenie osnovnykh parametrov protivodymnoi ventilatsii zdaniia». M., 2008. 56 s.
9. Rekomendatsii po raschetu citem protivodymnoi zashchity zdaniia razlichnogo naznacheniiia. M., 1983. 35 s.
10. Asminin V. F., Vasiukov G. V., Odolko A. A. Problemy i opyt obespecheniia pozharnoi bezopasnosti proektov stroitelstva // Stroitelstvo i arkhitektura. 2009. №1 (13). S. 133–137.
11. Astapenko V. M., Koshmarov Iu. A., Molchadskii I. S., Shevliakov A. N. Termogazodinamika pozharov v pomeshchenii. M., 1988. 447 s.
12. Valeev G. N., Esin V. M., Erofeev A. N. Eksperimentalnoe issledovanie temperaturnykh rezhimov v pomeshcheniakh na etazhe pozhara // V kn.: Ognestoikost stroitelnykh konstruktsii: sb. nauch. tr. M., 1981. C. 50–57.
13. Esin V. M., Kalmykov S. P. Sravnenie metodik rascheta trebuemykh parametrov ventilatsionnykh sistem protivodymnoi zashchity mnogoetazhnykh zdaniia // Pozharovzryvobezopasnost. 2014. T. 23, № 6. S. 47–52.
14. Esin V. M., Kalmykov S. P. K voprosu rascheta temperatury produktov goreniia, udaliaemykh iz koridorov zdaniia // Pozharovzryvobezopasnost. 2016. T. 25, № 1. S. 47–53.
15. Esin V. M., Kalmykov S. P., Tcybul'skaia M. Iu. Vliianie rasstoianiia ot klapans dymoudaleniiia do dveri pomeshcheniia s ochagom pozhara na temperaturu udaliaemykh iz koridora produktov goreniia // AVOK: ventilatsiia, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitelnaia teplofizika. 2018. № 5. S. 54–67.
16. Zotov Iu. S. Protseess zadymleniia pomeshchenii pri pozhare i razrabotka metoda rascheta neobkhdimogo vremeni evakuatsii liudei: dis. kand. tekhn. nauk. M., 1990. 277 s.
17. Kazennov V. M. Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare dlia obosnovaniia obemno-planirovochnykh reshenii zdaniia i sooruzhenii: dis. kand. tekhd. nauk. M., 2003. 162 s.
18. Karpov A. V., Ryzhov A. M. Polevoe modelirovanie teplo- i massoperenosa v pripotolochnoi strue produktov goreniia nad nestatsionarnymi ochagami pozhara // Pozharovzryvobezopasnost. 2001. T. 10, № 3. S. 17–24.
19. Koshmarov Iu. A. Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. M., 2000. 118 s.
20. Koshmarov Iu. A., Bashkirtcev M. P. Termodinamika i teploperedacha v pozharom dele. M., 1987. 443 s.
21. Mamaev V. V., Bubela M. N. Obespechenie effektivnoi raboty sistem dymoudaleniiia v zdaniakh i sooruzheniakh na etape proektirovaniia // Vestnik Instituta grazhdanskoi zashchity Donbassa, 2016. № 1 (5). S. 27–37.
22. Mikheev M. A. Osnovy teploperedachi. M., 1956. 392 s.
23. Molchadskii I. S. Pozhar v pomeshchenii. M., 2005. 456 s.
24. Ovsianikov M. Iu. Issledovanie razvitiia pozhara v dvukh smezhnykh pomeshcheniakh pri rabote protivodymnoi ventilatsii dlia obosnovaniia obemno-planirovochnykh reshenii zdaniia i sooruzhenii: dis. kand. tekhd. Nauk. M., 2004. 212 s.
25. Puzach S. V., Tung D. T., Khai N. T. Snizhenie effektivnosti sistemy dymoudaleniiia s iskusstvennym pobuzhdeniem pri vzniknovenii «podduva» // Pozharovzryvobezopasnost. 2015. T. 24, № 5. S. 54–60.
26. Ryzhov A. M. Differentsialnyi (polevoi) metod modelirovaniia pozharov // Modelirovanie pozharov i vzryvov. M., 2000. S. 25–88.
27. Sitnikov I. V., Kolodiazhyi S. A., Odolko A. A. Eksperimentalnoe issledovanie i modelirovanie dinamiki udelnoi massovoi skorosti vygoraniia zhidkosti v usloviakh funktsionirovaniia protivodymnoi ventilatsii // Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 3 (35). S. 149–157.
28. Smirnov S. P. Effektivnost funktsionirovaniia pri pozhare otdelnoi protivopozharnoi sistemy: na primere protivodymnoi zashchity mnogoetazhnykh zdaniia: dis. kand. tekhd. nauk. M., 1997. S. 212.
29. Stetcovskii M. P. Issledovanie teplogazoobmena na etazhe pozhara i opredelenie nekotorykh parametrov dlia rascheta ventilatsionnykh sistem protivodymnoi zashchity zhylykh zdaniia: dis. kand. tekhd. Nauk. M., 1976. 198 s.
30. Khurin I. A., Kolmogorov S. V. Osobennosti proektirovaniia mekhanicheskikh sistem kompensatsii dymoudaleniiia // Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Stroitelnye tekhnologii sbornik statei. Samara, 2017. S. 384–386.

31. Tcibulskaia M. Iu. Vliianie vysoty raspolozheniia dymopriemnogo ustroistva v koridorakh razlichnoi konfiguratsii na effektivnost protivodymnoi ventilatsii // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. 2016. № 6 (70).
32. Pozhary i pozharnaia bezopasnost v 2018 godu / pod obshch. red. D. M. Gordienko. M., 2019. 125 s.
33. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistic 2020. Report № 25 // Center of Fire Statistic of CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/news_files/2020-06/CTIF_Report25.pdf (дата обращения 26.06.2020).
34. Drysdale D. D. An Introduction of Fire Dynamics // John Wiley & Sons, New York, 1985.
35. Heskestad G. Inflow of Air Required at Wall and Ceiling Apertures to Prevent Escape of Fire Smoke // FMRC J.I. 0Q4E4.RU, Factory Mutual Research Corporation, July, 1989.
36. Law M. A Note on Smoke Plumes from Fires in Multilevel Shopping Malls // Fire Safety Journal 10, 1986. P. 197.
37. Loughheed G. D., Hadjisophocleous G. V. Investigation of Atrium Smoke Exhaust Effectiveness // ASHRAE Transactions, 1997. PP. 1–15.
38. Milke J., Klote J. Smoke Management in Large Spaces in Buildings // Building Control Commission, Melbourne, Australia, July, 1998.
39. Morgan H. P. Smoke Control Methods in Enclosed Shopping Complexes of One or More Storeys: A Design Summary // Building Research Establishment, 1979.
40. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Spaces, 2009.
41. Yamana T., Tanaka T. Smoke Control in Large Scale Spaces // Fire Science and Technology, 1985. P. 41.