

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Кудряшов В.А., Панасик А.С., Коба С.С.

Цель. Провести ретроспективный анализ норм противопожарного проектирования систем общеобменной вентиляции, а также методов испытаний воздуховодов на огнестойкость; определить значимость понятия огнестойкости в системе обеспечения пожарной безопасности систем общеобменной вентиляции.

Методы. Ретроспективный анализ проведен на основании опубликованных нормативных документов и стандартов за последние 100 лет. Сопоставлены зарубежные и отечественные стандарты испытаний огнестойкости систем общеобменной вентиляции.

Результаты. Пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими в себе серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных последствий могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период становления системы противопожарного нормирования в области вентиляционных систем. Огнестойкость воздуховодов общеобменной вентиляции наряду с устройством противопожарных клапанов является одним из ключевых аспектов ограничения распространения пожара за пределы обслуживаемого помещения.

Результаты исследований позволили авторам подготовить предложения в изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009 (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороной воздуховода более 1600 мм. Доработка существующего метода испытаний воздуховодов позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздуховоды аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть внедрены в систему противопожарного нормирования и стандартизации в части, касающейся требований пожарной безопасности к системам общеобменной вентиляции, методов испытаний воздуховодов на огнестойкость и распространения результатов испытаний.

Ключевые слова: нормирование, пожарная безопасность, системы общеобменной вентиляции, огнестойкость, воздуховоды, испытание.

(Поступила в редакцию 12 июля 2024 г.)

Введение

Проблема модернизации строительства во все времена являлась актуальной задачей: строительство должно осуществляться в кратчайшие сроки, качественно и с наименьшими затратами. Это идеальное условие, к которому стремится строительство любого объекта в современных реалиях, однако такой баланс достичь достаточно сложно. Ускоренное развитие технологий и стремительная модернизация систем жизнеобеспечения вследствие целого ряда причин, среди которых присутствуют как технологические риски, так и человеческий фактор, нередко приводят к пожарам. Так, современное строительство невозможно представить без систем вентиляции, задачей которых является регулирование воздухообмена в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ с целью обеспечения благоприятного микроклимата и чистоты воздуха¹. При этом мероприятия по устройству систем вентиляции несут серьезнейшие риски с точки зрения обеспечения необходимого

¹ Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Термины и определения: ГОСТ 22270-2018. – Взамен ГОСТ 22270-76; введ. 01.11.18. – М.: Стандартинформ, 2018. – 19 с.

уровня пожарной безопасности, и разработка таких сложных систем требует серьезного внимания.

Актуальность проблемы обеспечения пожарной безопасности систем вентиляции обусловлена несколькими факторами. Во-первых, вентиляционная система может стать непосредственным путем распространения пожара, в том числе через места пересечения противопожарных преград. Во-вторых, в некоторых случаях от работы вентиляционных систем – систем подпора и удаления воздуха – напрямую зависит пожарная безопасность здания [1]. Понимание связанных с вентиляционными системами опасностей позволяет сформулировать пути их решения, в том числе экспериментальные методы оценки.

Основная часть

Назначение и устройство вентиляционных систем. Системы вентиляции, как правило, включают сети воздуховодов, воздухораспределителей, вентиляционных установок и других устройств, обеспечивающих проектный режим эксплуатации системы в целом.

Воздуховод – это трубопровод (короб, канал), предназначенный для циркуляции воздуха в здании [2]. Система таких каналов обеспечивает передачу очищенного, подогретого или охлажденного воздуха от вентиляционных систем, систем кондиционирования или отопления по всему зданию. Воздуховоды могут быть изготовлены из различных материалов, таких как металл, винилпласт, стекловолокно, асбестоцемент и других материалов (в том числе их комбинаций), в зависимости от проектного назначения разработанных систем и требований нормативных правовых актов. При этом воздуховоды могут быть выполнены в виде самостоятельных инженерных вентиляционных систем либо являться частью строительных конструкций.

В зависимости от направления подачи воздуха вентиляционные системы подразделяют на приточные, вытяжные или приточно-вытяжные [2]. По способу организации воздухообмена системы могут быть местными, общеобменными, аварийными и противодымными [3]. Кроме вышперечисленных случаев применяют также системы воздушного отопления и кондиционирования воздуха, а также пневмотранспорт [4].

Задача местной приточной вентиляции состоит в подаче подготовленного (очищенного, подогретого и т.п.) воздуха в определенные места либо в помещение в целом. Местная вытяжная вентиляция или местные отсосы (аспирация), наоборот, выполняют функцию улавливания загрязняющих веществ в местах их возникновения. Этот метод обеспечивает удаление загрязненного воздуха либо непосредственно у источника (станок, агрегат, установка и т.п.), либо также в целом из помещения, здания [5].

Совокупность приточной и вытяжной вентиляции образует общеобменную систему вентиляции здания [2]. В дополнение к общеобменной системе вентиляции могут применяться также аварийная и (или) противодымная система вентиляции.

Аварийная вентиляция предназначена для устранения взрывоопасных газов и паров, токсичных веществ, пылей, взвесей, которые могут поступать в существенных объемах в случае аварийной ситуации². Такие системы предусматривают, например, в условиях отказа или неправильной работы технологического оборудования, сбое и возникновении аварийной ситуации при выполнении техпроцесса. Для функционирования аварийной вентиляции, как правило, могут использоваться и основные системы общеобменной вентиляции, но с включением дополнительных резервных вентиляторов и работой перекрывных (запорных) систем, обеспечивающих повышенный расход удаляемых воздуха/газов/паров/пылей/взвесей. В случаях, если использование основных систем по техническим причинам нецелесообразно или невозможно, системы аварийной вентиляции проектируют самостоятельными [6].

² Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

Системы противодымной вентиляции предназначены для защиты объемов помещений и зданий от опасных факторов пожара, прежде всего от дыма³, а в некоторых случаях – для осуществления регулируемого газообмена внутреннего объема здания при пожаре с целью обеспечения нормируемого времени эвакуации и благоприятных условий для локализации и ликвидации пожара. Такие системы проектируют отдельно от систем общеобменной вентиляции и предусматривают их работу исключительно при возникновении пожара, с соответствующей защитой таких систем от высоких температур.

Настоящая статья посвящена преимущественно проблемам пожарной опасности/безопасности систем общеобменной вентиляции, их ретроспективному анализу и возможным путям решения.

Пожарная опасность вентиляционных систем общеобменной вентиляции. Системы общеобменной вентиляции, являясь сетью коммуникаций, объединяющих объемы помещений, несут риск распространения продуктов сгорания и даже переноса процесса горения в другие помещения. Это обусловлено прежде всего тем, что воздуховоды общеобменной вентиляции объединяют в единый объем совокупность помещений и выполнены, как правило, из тонкостенной листовой стали и разрушаются (разгерметизируются в результате деформаций) в течение первых 15 мин развитого пожара [4].

Проведенный анализ показал, что описанные выше риски находят свое подтверждение в случаях реальных пожаров⁴. Например, на пожаре в гостинице в 1980 г. (Лас-Вегас, США) из-за неисправных противопожарных клапанов токсичные продукты сгорания циркулировали по системе общеобменной вентиляции, способствуя их распространению по всему зданию. Это привело к быстрому распространению пожара и гибели 85 человек. На пожаре в терминале аэропорта в 1996 г. (Дюссельдорф, Германия) система общеобменной вентиляции стала причиной гибели 17 человек.

Отдельно следует отметить риск переноса горения и даже взрыва по системам вентиляции. К таким случаям относят прежде всего пожары в вентиляционных системах, связанных с функционированием технологических процессов, в результате которых возможны лакокрасочные или жировые отложения⁵. Такие отложения, накапливаясь в результате работы систем вентиляции, могут способствовать распространению пожара, а также при определенных условиях могут служить самостоятельным источником возгорания (например, в случае теплового самовозгорания). К таким случаям следует отнести пожар в 2004 г. в супермаркете Ycuá Bolaños (Асунсьон, Парагвай), жертвами которого стали 374 человека, начавшийся в кухонной системе вентиляции. Аналогичные пожары встречаются повсеместно и по настоящий день.

³ Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции: СН 2.02.07-2020. – Введ. 12.11.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 16 с.

⁴ Масштабный пожар в отеле «MGM Grand Hotel and Casino» в Лас-Вегасе: 85 погибших (в том числе 7 сотрудников), 650 пострадавших, в том числе 14 пожарных [Электронный ресурс] // Портал про пожарную безопасность PRO ПБ. – 1980. – 21 нояб. – Режим доступа: <https://propb.ru/calendar/pozhar-v-otele-mgm-grand-hotel-and-casino-v-las-vegase/#:~:text=Из-за%20неисправных%20дымовых%20клапанов,отеля%2C%20ускоряя%20распространение%20ядовитых%20газов.> – Дата доступа: 01.04.2024.

• Пожар в аэропорту Дюссельдорфа в Германии: 17 погибших, 88 пострадавших [Электронный ресурс] // ВикибриФ. – 1996. – 11 апр. – Режим доступа: https://ru.wikibrief.org/wiki/Düsseldorf_Airport_fire. – Дата доступа: 01.04.2024.

⁵ Ycuá Bolaños supermarket fire [Electronic resource] // Wikipedia. – 2004. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Ycu%C3%A1_Bola%C3%B1os_supermarket_fire. – Date of access: 01.05.2024.

• Пожар в «Макдональдс» в Москве: эвакуировано 27 человек [Электронный ресурс] // lenta.ru. – 2009. – 19 мая. – Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2009/05/19/fire/>. – Дата доступа: 01.05.2024.

• Пожар торгового дома ЦУМ в Москве: эвакуировано около тысячи человек [Электронный ресурс] // RBK.RU. – 2016. – 23 нояб. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/23/11/2016/583570f39a7947266bed53eb>. – Дата доступа: 01.05.2024.

• Пожары в Тюменской области: пострадавших нет [Электронный ресурс] // Вслух.ru. – 2019. – 18 июля. – Режим доступа: https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/zhir-v-ventilyatsii-stal-prichinoj-pyati-pozharov_329571/. – Дата доступа: 01.05.2024.

В 2023 г. как минимум 5 пожаров⁶, произошедших на территории Республики Беларусь и Российской Федерации, так или иначе были связаны с работой систем вентиляции. К одному из таких примеров можно отнести инцидент, произошедший 11 ноября 2023 г. на производственном участке в здании цеха по производству плит МДФ ОАО «Витебскдрев», который произошел со взрывом пылевоздушной смеси, затронувший систему технологического пневмотранспорта. В результате данного инцидента погиб 1 человек, повреждены бункер формировочной машины на участке приготовления древесно-волоконного ковра и 216 м² обшивки фасада здания.

Проведенный анализ свидетельствует, что пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных рисков могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период их становления в истории противопожарного нормирования.

Этапы становления требований пожарной безопасности при проектировании систем вентиляции. Становление проблемы и пути ее решения наиболее полно можно отследить по развитию соответствующих нормативных документов, история которых насчитывает уже более 100 лет [5]. Примечательно, что требования пожарной безопасности всегда являлись ключевой частью нормативных документов для проектирования систем общеобменной вентиляции.

В довоенное время не было принято разделять нормативные документы на отдельные издания, как это принято сейчас. Поэтому общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий 1939 г.⁷ помимо других частей включали раздел «Нормы устройства вентиляционных установок». Значительную часть указанного раздела занимали требования пожарной безопасности: было принято категорирование допустимых решений вентиляционных установок в зависимости от пожарной опасности перемещаемой среды, были установлены правила пересечения противопожарных преград (в то время – «брандмауеров») и перекрытий, – в том числе в виде устройства управляемых с обеих сторон преграды противопожарных клапанов (в то время именуемых огнезадерживающими заслонками), а также способы крепления и область применения стораемых воздуховодов. Для воздуховодов, обслуживающих взрывоопасные помещения, не допускалась транзитная прокладка, за исключением их герметичного исполнения (на сварке или пайке). В местах прохода воздуховодов через стены и перекрытия нормировалась их плотная заделка. Совмещенные вертикальные воздушные коллекторы не допускались. Требования к огнезащите воздуховодов на то время отсутствовали, и общая пожарно-техническая классификация материалов и конструкций также была далека от современной: все материалы и конструкции подразделялись на огнестойкие, полугогнестойкие, полустораемые и стораемые

⁶ • Пожар на территории предприятия «ИНКО-ФУД» в Бресте [Электронный ресурс] // БрестСИТИ. Новости. – 2023. – 23 окт. – Режим доступа: <https://brestcity.com/blog/pozhar-inko-fud>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• В Нижневартовске загорелся колбасный цех [Электронный ресурс] // Новости. NV86.ru. – 2023. – 21 дек. – Режим доступа: <https://nv86.ru/news/incidents/1660458/>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• Пожарные раскрыли причину пожара в «Монблане» [Электронный ресурс] // Чита онлайн. Новости – 2023. – 24 мая. – Режим доступа: <https://www.chita.ru/text/society/2023/05/24/72331532/>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• Огонь прошел по вентиляции: Стали известны подробности пожара в многоквартирном доме в Светлом [Электронный ресурс] // Новости Орска – БезФормата – 2023. – 29 май. – Режим доступа: <https://orsk.bezformata.com/listnews/pozhara-v-mnogokvartirnom-dome-v-svetlom/117697974/>. – Дата доступа: 01.04.2024.

• В торговом центре в Екатеринбурге случился пожар [Электронный ресурс] // Екатеринбург онлайн. Происшествия. – 2024. – 8 янв. – Режим доступа: <https://www.e1.ru/text/incidents/2024/01/08/73098650/>. – Дата доступа: 01.04.2024.

⁷ Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий: ОСТ 90015-39. – Введ. 23.04.39. – М.: Госстройиздат, 1939. – 45 с.

(сталь относилась к полужестким материалам), понятие «предел огнестойкости» еще не было принято, хотя понятие «категории пожарной опасности производства» в целом соответствовало современному понятию. Согласно существовавшему нормированию венткамеры предполагалось выносить за пределы обслуживаемых помещений, выделяя огнестойкими или полужесткими ограждениями.

Строительные нормы 1951⁸ и 1954⁹ гг. во многом повторяли положения 1939 г., однако в указанных документах категоричность воздухопроводов, требования к выделению венткамер и правила транзитной прокладки были исключены, в местах пропуска воздухопроводов через противопожарные преграды появилось требование о применении негорючих материалов. Нормы допускали случаи объединения воздухопроводов для различных помещений, при условии их выполнения из негорючих материалов, при этом для категорий А, Б, В перед входом в объединенный коллектор приточной вентиляции требовалось наличие огнезадерживающих перекрытий устройств. Впервые в пожарно-технической классификации появилось понятие «предел огнестойкости», измеряемый во времени и определяемый путем испытаний, однако указанная классификация распространялась только на строительные конструкции, а не на системы воздухопроводов.

В 1962 г. глава СНиП «Отопление и вентиляция»¹⁰ была выведена в отдельное издание, значительным образом переработанное и расширенное, – впервые были сформулированы требования к аварийной вентиляции. В указанной главе предусматривался отдельный раздел – «Пожарная профилактика», который снова предусматривал выделение венткамер ограждающими конструкциями из негорючих или трудногорючих материалов (но не огнестойких). Требования к объединенным коллекторам были сохранены, при этом впервые появилось требование об альтернативе огнезадерживающим устройствам при пересечении перекрытий (только для вертикальных воздухопроводов) – возможность применения воздухопроводов с пределом огнестойкости, соответствующим пределу огнестойкости пересекаемого перекрытия (при этом воздухопровод не должен был иметь в пределах защищенного участка отверстий для забора или выпуска воздуха). Огнезадерживающие устройства предполагалось предусматривать по обе стороны противопожарной преграды с автоматическим или ручным управлением. В местах прохода трубопроводов должна была быть предусмотрена тщательная и прочная заделка (наглухо) строительным раствором. К этому времени для строительных конструкций впервые были сформулированы требования к предельным состояниям по огнестойкости (целостность, теплоизолирующая способность, несущая способность).

В СНиП 1975 г.¹¹ был исключен раздел «Пожарная профилактика», а требования пожарной безопасности были распределены по основным подразделам. Впервые появилось требование об отключении общеобменной вентиляции в случае возникновения пожара, но с сохранением подачи воздуха в тамбур-шлюзы (регламентировалось не избыточное давление, а нормативный расход приточного воздуха не менее 250 м³/ч, обеспечивающий давление до 5 кг на двери). Уточнены требования по объединению систем вентиляции для различных помещений, при этом было исключено требование об установке в коллекторах огнезадерживающих устройств, но введено требование об установке в таких коллекторах обратных клапанов. Впервые появилось требование к огнестойкости горизонтальных воздухопроводов (при пересечении противопожарных преград), при этом максимальное значение предела

⁸ Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест: НСП 102-51. – Введ. 27.05.53. – М.: Госиздательство лит. по строит. и архитектуре, 1953. – 49 с.

⁹ Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест: Н 102-54. – Введ. 01.01.55. – Киров: Госкомитет Совмина СССР по делам строительства, 1955. – 62 с.

¹⁰ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. Строительные нормы и правила: СНиП II-Г.7-62. – Введ. 28.05.63. – М.: Госстрой СССР, 1964. – 57 с.

¹¹ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. Строительные нормы и правила: СНиП II-33-75. – Введ. 01.07.76. – М.: Госстрой СССР, 1976. – 109 с.

огнестойкости было ограничено значением 0,5 ч, возвращено понятие транзитных воздухопроводов, требования к их огнестойкости не превышали 0,5 ч. Однако способы подтверждения огнестойкости установлены еще не были. В качестве альтернативы было введено понятие «огнестойкая гильза», представляющая по сути конструктивную огнезащиту по всей длине воздуховода. Впервые были введены конкретные перечни материалов для изготовления воздухопроводов, а также типовые размеры поперечного сечения воздухопроводов с указанием требуемой толщины металла. В отличие от норм предыдущих лет впервые был введен запрет на пересечение воздухопроводами противопожарных стен, а также перечень помещений, не допускающих транзитную прокладку воздухопроводов. Требование к ограждениям венткамер было уточнено путем присвоения венткамерам категорий обслуживаемого помещения, а соответственно, и выделения их (впервые) противопожарными преградами и установкой противопожарных клапанов в ограждениях.

В СНиП 1985 г.¹² было откорректировано давление воздуха в тамбурах-шлюзах – не более 50 Па (не менее 20 Па). Впервые появился раздел аварийной противодымной вентиляции, в том числе приточной противодымной вентиляции. Введена классификация воздухопроводов по плотности (плотные, нормальные) – с нормированием потерь на подсосы для развернутой площади воздухопроводов, с использованием только плотных воздухопроводов в случае требований огнестойкости. Впервые введена классификация огнезадерживающих клапанов в зависимости от предела огнестойкости пересекаемой преграды (1 / 2,5 ч; 0,5 / 0,75 ч; 0,25 / 0,25 ч), а также возможность их устраивать даже в отверстиях между помещениями для перетекания воздуха. Принято, что системы воздухопроводов для тамбуров-шлюзов, а также транзитные воздухопроводы систем местных отсосов взрывоопасных смесей должны проектироваться с пределом огнестойкости 0,5 ч. Уточнено, что огнестойкость может быть обеспечена путем размещения воздуховода в «шахте, кожухе или гильзе из негорючих материалов с пределом огнестойкости 0,5 ч» (сохранено до настоящего времени). Впервые появилось условие, при котором допускалась прокладка транзитного участка воздуховода с ненормируемым пределом огнестойкости при условии установки огнезадерживающего клапана в каждой противопожарной преграде с пределом огнестойкости 0,75 ч и более (для отдельных типов помещений).

В СНиП 1991 г.¹³ в очередной раз было откорректировано давление воздуха в тамбурах-шлюзах – 20 Па (с разностью по отношению к примыкающему помещению не более 50 Па). Нормы допускали ограниченное объединение в единой системе вентиляции, обслуживание ограниченных площадей разнофункциональных помещений при условии установки огнезадерживающих клапанов. Впервые было введено требование огнезащиты воздуховода от противопожарной преграды до огнезадерживающего клапана. Введена многовариантная таблица пределов огнестойкости транзитных воздухопроводов в зависимости от типа обслуживаемого помещения. Предел огнестойкости транзитного воздуховода мог не нормироваться при условии обслуживании помещений категорий Г и Д, при прокладке воздухопроводов через такие же помещения, а также при обслуживании коридоров, административно-бытовых, общественных и жилых помещений, при прокладке в пределах обслуживаемого этажа через помещения такого же назначения [7].

В 2003 г. советские нормы и правила были заменены национальным документом – СНБ 4.02.01-03¹⁴. В национальном документе в целом были сохранены противопожарные требования к системам общеобменной вентиляции, при этом были внесены некоторые терминологические уточнения: исключено понятие огнестойкого воздуховода со ссылкой на

¹² Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-86. – Введ. 01.01.88. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 64 с.

¹³ Отопление, вентиляция и кондиционирование. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.92. – М.: Госстрой СССР, 1992. – 63 с.

¹⁴ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Беларуси: СНБ 4.02.01*-03. – Введ. 30.12.03. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

термин СТБ 11.0.03-95¹⁵ («огнестойкий воздуховод» – воздуховод с нормируемым пределом огнестойкости), а также исключено требование плотного класса воздуховода для огнестойкости (при этом «плотные» воздуховоды – в современных требованиях класса герметичности В по СТБ 2522-2018¹⁶ – все равно требуются для транзитных воздуховодов), «огнезадерживающие клапаны» были переименованы в «противопожарные клапаны». Введено допущение, согласно которому допускается проектировать транзитные воздуховоды из негорючих материалов с ненормируемым пределом огнестойкости, предусматривая установку противопожарных клапанов при пересечении воздуховодами перекрытия с нормируемым пределом огнестойкости REI 15 и более или каждой противопожарной преграды с нормируемым пределом огнестойкости REI 45 и более.

В настоящее время требования к проектированию систем вентиляции изложены в аутентичном СН 4.02.03-2019¹⁷. В документе полностью исключено использование в качестве изделий и материалов для воздуховодов гипсовых вентиляционных блоков, асбестоцементных труб и коробов, бумаги и картона с соответствующими покрытиями и пропиткой. Введено требование об устройстве противопожарных клапанов в местах пересечения воздуховодом-коллектором междуэтажных перекрытий, при этом клапаны допускается не устанавливать при условии огнезащиты рассматриваемых воздуховодов. Допущено не предусматривать противопожарные клапаны на воздуховодах, пересекающих ограждающие конструкции помещения для размещения вентиляционного оборудования, если воздуховоды подсоединяются к данному оборудованию. Дополнено, что участки воздуховодов с нормируемым пределом огнестойкости должны быть выполнены из негорючих материалов.

На сегодня в нормах пожаробезопасного проектирования систем общеобменной вентиляции сложились следующие подходы:

- разделение систем вентиляции для помещений с различной пожарной опасностью и ограничением площади/количества этажей обслуживаемых помещений;
- использование негорючих воздуховодов для вентиляции, обслуживающей взрывоопасные и пожароопасные помещения, а также для транзитных воздуховодов;
- отделение венткамер, обслуживающих взрывоопасные и пожароопасные помещения, от остального объема здания противопожарными преградами;
- использование противопожарных клапанов в местах пересечения противопожарных преград в сочетании / либо путем огнезащиты воздуховодов с заданными пределами огнестойкости;
- использование огнестойких воздуховодов с заданными пределами огнестойкости в местах транзитной прокладки.

Этапы становления методов испытаний на огнестойкость воздуховодов систем вентиляции. Как было отмечено раньше, пределы огнестойкости воздуховодов, выполненных из тонкостенных стальных листов, как правило, недостаточны для соответствия предъявляемым требованиям по огнестойкости. При этом достаточно часто именно от огнестойкости воздуховодов общеобменной вентиляции зависит успех мероприятий пожарной безопасности. Это приводит к необходимости использования средств и способов дополнительной огнезащиты, а также ее подтверждения результатами натурных испытаний.

Длительное время пределы огнестойкости воздуховодов и средств их огнезащиты не подтверждались экспериментально, а фактически назначались на основании свойств строительных материалов, изученных при проведении отдельных испытаний. Кроме того, как было отмечено выше, наибольшее внимание на первых этапах нормирования пожарной

¹⁵ Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 16.04.95. – Минск: Госстандарт, 1995. – 6 с.

¹⁶ Вентиляция в зданиях. Система воздуховодов. Прочность и герметичность воздуховодов из тонколистового металла круглого поперечного сечения: СТБ 2522-2018. – Введ. 01.12.18. – 17 с.

¹⁷ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.02.03-2019. – Введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

безопасности воздуховодов систем вентиляции уделялось местам пересечения ими противопожарных преград.

Исходя из этого первые рекомендации в части огнестойких воздуховодов преимущественно касались способов обеспечения огнестойкости. Так, в пособии к СНиП II-33-75¹⁸, в котором были использованы результаты научно-исследовательских работ ВНИИПО МВД СССР и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, впервые было введено понятие «гильза», – огнестойкая оболочка из несгораемых материалов, в которой располагался воздуховод, – в случае предъявления к нему требований по огнестойкости. В качестве гильзы могли выступать трубы, блоки, плиты из несгораемых материалов, силикатный кирпич, минеральная вата, покрытая стеклотканью и другие подобные материалы. Было акцентировано внимание на недопущении использования асбестоцементных материалов для изготовления огнестойких воздуховодов.

Однако непосредственно методики испытаний воздуховодов в период существования Советского Союза так и не были стандартизированы. Об этом свидетельствуют рекомендации, изложенные в пособии 6.91 к СНиП 2.04.05-91¹⁹, для изготовления огнестойких воздуховодов без проведения специальных испытаний. Для систем дымоудаления рекомендовалось использование компенсаторов линейного расширения воздуховодов. Для повышения огнестойкости воздуховодов слой из негорючих или трудногорючих матов и плит минеральной ваты рекомендовалось покрывать стальными листами вместо стеклоткани, образуя замкнутый контур изоляции.

На международном уровне методика испытаний огнестойкости воздуховодов также введена относительно недавно. Первый стандарт ISO 6944 Fire resistance tests – Ventilation ducts²⁰ был издан лишь в декабре 1985 г. В нем впервые были отражены условия, порядок подготовки и способ проведения испытаний, а также критерии эффективности оценки огнестойкости воздуховодов. На его основании в 1987 г. введен в действие Британский стандарт BS 476-23: 1987²¹ с аналогичным подходом к определению огнестойкости вентиляционных каналов.

Типовая схема испытаний горизонтальных воздуховодов в испытательной печи представлена на рисунке 1. Указанная схема практически в неизменном виде сохранена и в современной редакции ISO 6944-2008^{22, 23}. Суть огневых испытаний состоит в следующем: огневым испытаниям подвергают воздуховоды как закрытые (в нашей терминологии – транзитные), так и открытые (обслуживающие помещение с потенциальным пожаром). При этом методика не распространяется на воздуховоды, оборудованные противопожарными клапанами. Для закрытых (транзитных) воздуховодов обязательным условием является включение ответвления к горизонтальному участку воздуховода, а также их испытание при разрежении 300 Па, а также упор (защемление) тупикового торца воздуховода в стенку печи. Более того, испытаниям подвергается стандартный типоразмер воздуховода 1000×500 мм прямоугольный либо диаметром 800 мм – круглый. Для открытых воздуховодов регламентируется скорость перемещения воздуха ($3 \pm 0,45$ м/с), не требуется ответвление, стандартные размеры –

¹⁸ См. сноску 11.

¹⁹ Отопление, вентиляция и кондиционирование. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.92. – М.: Госстрой СССР, 1992. – 63 с.

²⁰ Fire resistance tests – Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-1985. – First edition 15.12.1985, Switzerland: International organization for Standardization, 1985. – 21 p.

²¹ Fire tests on building materials and structures – Part 24: Method for determination of the fire resistance of ventilation ducts. British Standard: BS 476-24: 1987. – First edition 29.05.1987, Chiswick High Road London: British Standards Institution, 1987. – 23 p.

²² Fire containment – Elements of building construction – Part 1: Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-2008. – First published 04.2008, Switzerland: International organization for Standardization, 2008. – 40 p.

²³ В ходе подготовки рукописи настоящей статьи в июне 2024 г. была подготовлена новая редакция стандарта ISO 6944-2024, включающая незначительные технические уточнения методики.

1000×250 мм прямоугольный либо диаметром 630 мм круглый. Часть перегородки, обеспечивающая пропуск и герметизацию места проходки воздуховода, также отнесена к системе вентиляции, а соответственно, и объекту исследований.

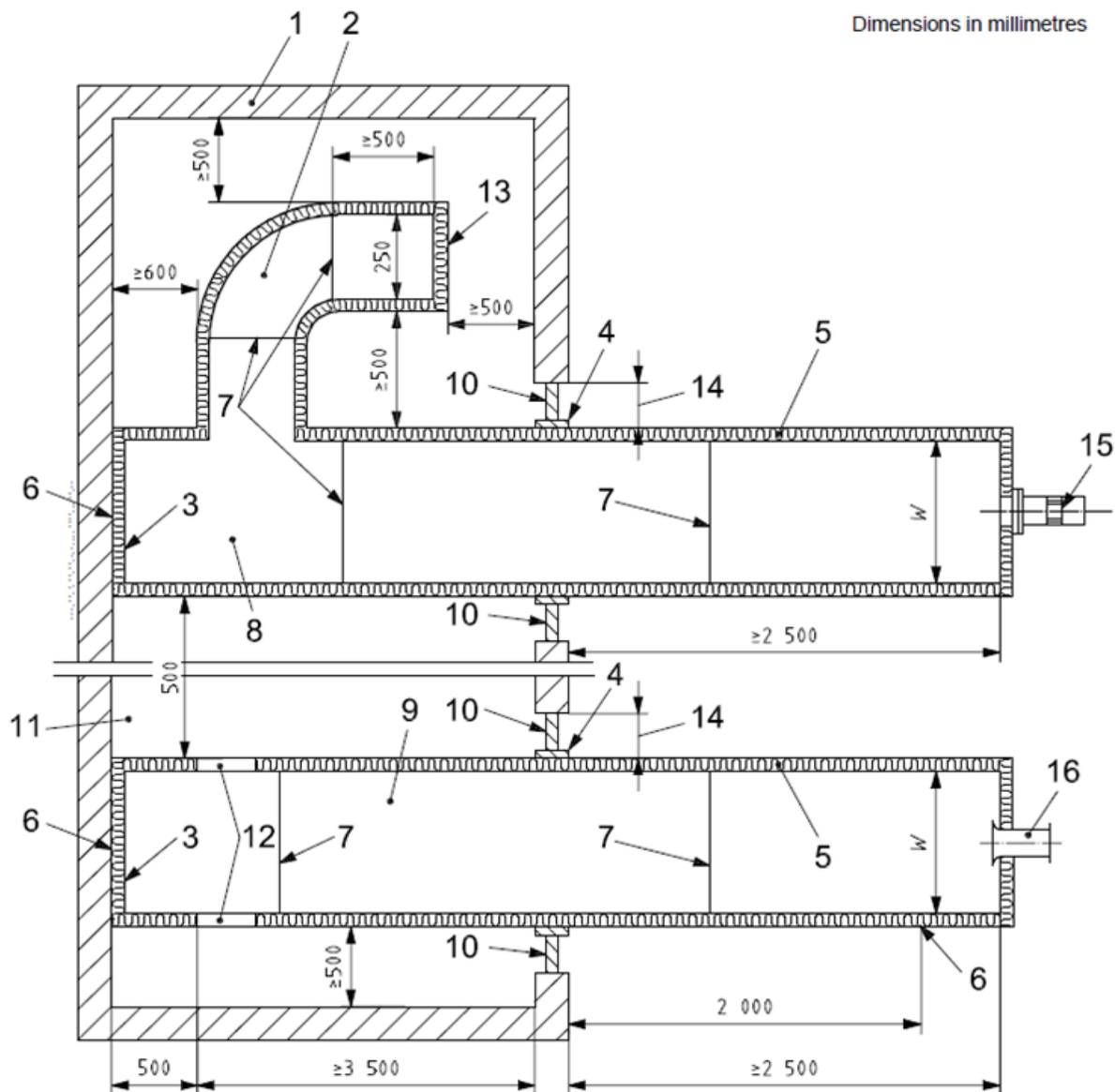


Рисунок 1. – Схема расположения горизонтального воздуховода в испытательной печи²⁴

В качестве критериев огнестойкости выступают 3 признака:

- целостность (места проходки, а также для транзитных воздуховодов – превышение расхода удаляемого воздуха на 15 м³/ч с каждого 1 м² внутренней поверхности воздуховода);
- теплоизолирующая способность (превышение максимальной температуры с необогреваемой стороны в месте проходки выше 180 °С либо средней температуры на удалении 300 мм от проходки – выше 140 °С, а в случае горючей отделки или возможных горючих отложений внутри воздуховодов – в том числе на внутренних стенках воздуховода в печи);
- дымонепроницаемость (для транзитных воздуховодов – превышение расхода удаляемого воздуха на 10 м³/ч с каждого 1 м² внутренней поверхности воздуховода).

На территории постсоветского пространства первые методы испытаний были введены в Российской Федерации в 1997 г. с введением в действие НПБ 239-97²⁵, устанавливающего

²⁴ См. сноску 21.

²⁵ Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. Нормы пожарной безопасности: НПБ 239-97. – Введ. 01.09.97. – М.: МВД Российской Федерации, 1997. – 15 с.

методы испытаний огнестойкости воздуховодов приточно-вытяжных систем общеобменной, аварийной противодымной вентиляции, систем местных отсосов, систем кондиционирования воздуха. Во многом методика испытаний была принята подобной международному стандарту ISO 6944²⁶, при этом было решено отказаться от испытаний открытых воздуховодов (ввиду недопущения таковых при проектировании пожарной безопасности), а для закрытых (транзитных) воздуховодов – отказаться от стандартного типоразмера. Однако по какой-то причине испытательное давление 300 Па для закрытых воздуховодов было принято, несмотря на явное противоречие с существующими нормами проектирования. Более того, предполагалось испытание не только на разрежение, но и на нагнетание (по ISO 6944 это не требуется), а превышение расхода удаляемого воздуха было определено для каждого 1 м² поперечного сечения воздуховода, но не внутренней поверхности воздуховода – в размере 0,15 м³/с.

В Республике Беларусь первые методы испытаний были введены в 2001 г. с введением в действие НПБ 18-2000²⁷. Нормативный документ во многом был аутентичным и повторял содержание НПБ 239-97.

Сущность метода, сохранившаяся до настоящего времени, заключалась в определении времени, по истечении которого наступает одно из предельных состояний (потеря теплоизолирующей способности и потеря целостности) конструкции воздуховода при наружном его обогреве в испытательной печи. Отечественные стандарты незначительно отличались от зарубежных размерами испытательных огневых печей и образцов, способами крепления конструкций и методикой применения результатов испытаний, которые, начиная с НПБ 18-2000²⁸ и до настоящего времени, привязаны к достаточно спорной величине – гидравлическому диаметру испытанного воздуховода, хотя это понятие подразумевает под собой меру эффективности пропускания потока воздуха (воздушной среды) и не в полной мере может быть применено к тупиковым участкам воздуховодов [8].

В 2009 г. НПБ 18-2000 был заменен СТБ 11.03.01-2009²⁹, в котором было введено третье предельное состояние – потеря несущей способности, под которым понималось разрушение конструкции воздуховода до такой степени, что нормальная работа вентиляционной системы не обеспечивалась. Однако в 2013 г. критерий несущей способности R (потеря несущей способности) был исключен с введением изменения № 2, и вместе с тем введено нормирование огнестойкости элементов подвесок и креплений воздуховодов, предусмотренных конструкторской документацией разработчика. Позже, в 2016 г., стандарт дополнен методикой испытания по определению огнестойкости воздуховодов систем вытяжной противодымной вентиляции.

До недавнего времени методика огневых испытаний, описанных в СТБ 11.03.01-2009, имела некоторые ограничения по применению полученных результатов: величина гидравлического диаметра не должна была отличаться более чем на 50 % от испытанного воздуховода, при этом размер поперечного сечения ограничивался величиной 1000 мм. Хотя в это же время нормативные правовые акты отечественных и зарубежных стран, определяющие порядок проведения испытаний на огнестойкость, допускают применение результатов испытаний к воздуховодам размерами сечения свыше 1000 мм.

Так, в Российском ГОСТ Р 53299-2019³⁰ результаты испытаний воздуховода допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции прямоугольного или круглого

²⁶ См. сноску 22.

²⁷ Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. Нормы пожарной безопасности: НПБ 18-2000. – Введ. 01.01.01. – Минск: НИИ ПБ МЧС Республики Беларусь, 2001. – 13 с.

²⁸ См. сноску 27.

²⁹ Система стандартов пожарной безопасности. Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. Государственный стандарт Республики Беларусь: СТБ 11.03.01-2009. – Введ. 01.12.16. – Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2016. – 13 с.

³⁰ Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость. Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 53299-2019. – Введ. 01.09.20. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 15 с.

сечения испытанному образцу, если величина их гидравлического диаметра не превышает значения диаметра испытанного воздуховода более чем на 50 %, а внутренние размеры их поперечного сечения (диаметр или длина большей стороны) составляют не более 1500 мм.

В Британском стандарте BS EN 1366-1: 2014³¹ и международном стандарте ISO 6944-1: 2015³² экстраполяция результатов испытаний допускается на воздуховоды размерами поперечного сечения до 1250 мм прямоугольного сечения и до 1000 мм круглого сечения при размерах испытываемых образцов 1000×500 (250) мм и 800 (630) мм соответственно. Более того, в 2011 г. был подготовлен специальный стандарт по расширению области применения результатов испытаний воздуховодов и их элементов – EN 15882-1:2011 Extended application of results from fire resistance tests for service installations Part 1: Ducts – учитывающий более десятка параметров, влияющих на огнестойкость воздуховодов с точки зрения распространения результатов испытаний, и допускающий процедуру распространения результатов для воздуховодов с шириной поперечного сечения не более 2500 мм и высотой – не более 1250 мм.

Исходя из необходимости совершенствования существующих методов проведения испытаний и возрастающей актуальности технических решений устройства огнестойких систем вентиляции со стороны воздуховода более 1000 мм на территории Республики Беларусь с участием авторов настоящей статьи было разработано и введено изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009³³ (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороны воздуховода более 1600 мм. При этом механизмы оценки результатов огневых испытаний со стороны воздуховода до 1000 мм остались неизменными.

Доработка существующего метода позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздуховоды аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм. Результаты испытаний воздуховодов с размерами поперечного сечения от 1000 до 1600 мм включительно (для которых при испытаниях не регламентируется соотношение сторон) допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции, размером, не превышающим размеры испытанного воздуховода, при этом соотношение размера поперечного сечения к испытанному должно быть не менее 0,5. Результаты испытаний воздуховодов с размерами поперечного сечения выше 1600 мм допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции, размером, не превышающим размеры испытанного воздуховода более чем на 2 %. Величины максимального зазора вокруг воздуховода и минимальной толщины узла уплотнения проходки воздуховода через ограждающую конструкцию не должны быть превышены по сравнению с испытанными.

Заключение

1. Пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных рисков могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период их становления в истории противопожарного нормирования.

2. В настоящее время в нормах пожаробезопасного проектирования систем общеобменной вентиляции сложились следующие подходы:

³¹ Fire resistance tests for service installations. Ventilation ducts. Part 1: Ventilation ducts. BSI Standards Publication: BS EN 1366-1: 2014. – Was approved by CEN on 13.06.2014, Brussels, 2014. – 50 p.

³² Fire containment – Elements of building construction – Part 1: Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-1: 2015. – 32 p.

³³ См. сноску 29.

- разделение систем вентиляции для помещений с различной пожарной опасностью и ограничением площади обслуживаемых помещений;
- использование негорючих воздуховодов для вентиляции, обслуживающей взрывоопасные и пожароопасные помещения;
- отделение венткамер, обслуживающих взрывоопасные и пожароопасные помещения, от остального объема здания противопожарными преградами;
- использование противопожарных клапанов в местах пересечения противопожарных преград в сочетании / либо путем огнезащиты воздуховодов с заданными пределом огнестойкости;
- использование огнестойких воздуховодов с заданными пределом огнестойкости в местах транзитной прокладки.

3. Сущность современной методики испытаний воздуховодов СТБ 11.03.01-2009 во многом перекликается с международным стандартом ISO 6944³⁴, при этом методика предусматривает испытания только закрытых (транзитных) воздуховодов без единого стандартного типоразмера, что вызывает определенные сложности при распространении результатов испытаний.

4. Результаты исследований позволили авторам подготовить предложения в изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009 (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороной воздуховода более 1600 мм. Доработка существующего метода позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздуховоды аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) в рамках проекта Ф23В-013 «Анализ композитных строительных конструкций в условиях высокой температуры с использованием методов компьютерного моделирования» (государственная регистрация № 20230543).

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанов, Б.С. Проектирование промышленной вентиляции: пособие для проектировщиков / Б.С. Молчанов. – Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1970. – 228 с.
2. Наумов, В.Д. Большой строительный терминологический словарь-справочник: официальные и неофициальные термины и определения в строительстве, архитектуре, градостроительстве и строительной технике / В.Д. Наумов [и др.]; под ред. Ю.В. Феофилова. – Минск: Минсктипроект, 2008. – 812 с.
3. Грушевский, Б.В. Пожарная профилактика в строительстве: учебник для курсантов и слушателей пожар.-техн. училищ / Б.В. Грушевский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 366 с.
4. Захарченко, И.Р. Пожарная опасность вентиляционных систем / И.Р. Захарченко // Наука, техника и образование. – 2019. – № 8 (61). – С. 38–41. – DOI: 10.24411/2312-8267-2019-10803. – EDN: QLULAN.
5. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – СПб.: Авок Северо-Запад, 2005. – 399 с.
6. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
7. Стомахина, Г.И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие / Г.И. Стомахина [и др.]. – М.: Изд-во «Пантори», 2003. – 275 с.
8. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов: в 2 ч. Ч. 2. Вентиляция / В.Н. Богословский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 160–164.

³⁴ См. сноску 22.

**Развитие методов обеспечения пожарной безопасности систем
общеобменной вентиляции**

Development of methods of ensuring fire safety of general ventilation systems

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
пожарной безопасности, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: vatkud@gmail.com

SPIN-код: 1417-4096

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: vatkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Панасик Александр Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет подготовки
руководящих кадров, магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: pasik182@rambler.ru

Aleksandr S. Panasik

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Administration Training Faculty,
graduate student

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: pasik182@rambler.ru

Коба Станислав Сергеевич

Учреждение «Научно-исследовательский
институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций» Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь, отдел полигонных испытаний,
главный специалист

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, Минск, Беларусь

Email: kobastanislav31@gmail.com

Stanislav S. Koba

Institution «Scientific and Research Institute
of Fire Safety and Emergency Situations»
of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus,
Field Testing Department,
Chief Specialist

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: kobastanislav31@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0236-9349

DEVELOPMENT OF METHODS OF ENSURING FIRE SAFETY OF GENERAL VENTILATION SYSTEMS

Kudryashov V.A., Panasik A.S., Koba S.S.

Purpose. To conduct a retrospective analysis of fire safety design regulations for general ventilation systems, as well as fire resistance testing methods for ductwork; to determine the significance of the concept of fire resistance within the fire safety framework for general ventilation systems.

Methods. The retrospective analysis was conducted based on regulatory documents and standards published for the past 100 years. International and domestic fire resistance testing standards for general ventilation systems were compared.

Findings. Fires associated with general ventilation systems are quite rare events that carry serious potential consequences, and the level of these consequences cannot be classified as negligible. In most cases, measures to eliminate these consequences can be provided for and standardized, however, the rare nature of these events and the complexity of general ventilation systems led to a rather long and difficult period of formation of the fire safety regulation system in the field of ventilation systems. Fire resistance of general ventilation ductwork, along with the installation of fire dampers, is one of the key aspects of limiting the spread of fire outside the service area.

The results of the research allowed the authors to prepare proposals for Amendment No. 3 to State Standards of the Republic of Belarus 11.03.01-2009 (May 2024), which provides for the possibility of conducting tests and criteria for assessing/extending the results to ventilation systems with an air duct side longer than 1600 mm. Refinement of the existing test method for air ducts made it possible to formulate rules for extrapolation (distribution) of test results for air ducts of a similar tested design with a side length from 1000 to 1600 mm.

Application field of research. The obtained results can be implemented in the system of fire safety regulation and standardization, in terms of concerning fire safety requirements for general ventilation systems, testing methods for ductwork for fire resistance and dissemination of test results.

Keywords: regulation, fire safety, general ventilation systems, fire resistance, ductwork, testing.

(The date of submitting: July 12, 2024)

REFERENCES

1. Molchanov B.S. *Proektirovanie promyshlennoy ventilyatsii [Industrial ventilation design]: a guide for designers.* Leningrad: Stroyizdat, 1970. 228 p. (rus)
2. Naumov V.D., Alyavdina T.I., Bedula N.V., Zholud' A.S., Zholud' T.V., Poslova T.G., Feofilova Yu.Yu., Frolova T.S. *Bol'shoy stroitel'nyy terminologicheskiy slovar'-spravochnik: ofitsial'nye i neofitsial'nye terminy i opredeleniya v stroitel'stve, arkhitekture, gradostroitel'stve i stroitel'noy tekhnike [Large Construction Terminology Dictionary: official and unofficial terms and definitions in construction, architecture, urban planning and construction technology].* Minsk: Minsktipproekt, 2008. 812 p. (rus)
3. Grushevskiy B.V., Kotov N.L., Sidoruk V.I. et al. *Pozharnaya profilaktika v stroitel'stve [Fire prevention in construction]: textbook for cadets and students of fire technical schools.* Moscow: Stroyizdat, 1989. 366 p. (rus)
4. Zakharchenko V.V. *Pozharnaya opasnost' ventilyatsionnykh system [Fire hazard of ventilation systems]. Science, Technology and Education, 2019. No. 8 (61). Pp. 38–41. (rus). DOI: 10.24411/2312-8267-2019-10803. EDN: QLULAN.*
5. Stefanov E.V. *Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Ventilation and air conditioning].* Saint-Petersburg: Avok Severo-Zapad, 2005. 399 p. (rus)
6. Bogoslovskiy V.N., Pirumov A.I., Posokhin V.N. et al. *Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva [Internal sanitary engineering devices]: in 3 parts. Part 3. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Ventilation and air conditioning]. Book 1.* Moscow: Stroyizdat, 1992. 319 p. (rus)
7. Stomakhina G.I., Bobrovitskiy I.I., Malyavina E.G., Plotnikova L.V. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha: Zhilye zdaniya so vstroenno-pristroennymi pomescheniyami obshchestvennogo naznacheniya i stoyankami avtomobiley. Kottedzhi [Heating, ventilation and air conditioning: Residential buildings with built-in and attached public premises and parking lots. Cottages]: reference manual.* Moscow: Pantori, 2003. 275 p. (rus)
8. Bogoslovskiy V.N., Novozhilov V.I., Simakov B.D., Titov V.P. *Otoplenie i ventilyatsiya [Heating and ventilation]: textbook for universities: in 2 parts. Part 2: Ventilyatsiya [Ventilation].* Moscow: Stroyizdat, 1976. Pp. 160–164. (rus)