

УДК: 697.911
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.9
EDN: JCDKEC



Развитие режима работы системы противодымной вентиляции в межквартирном коридоре

А.В. Бусахин¹, Г.А. Савенко¹

¹Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный
Университет, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация: *Актуальность* исследования обусловлена интенсивным развитием высотного строительства. Традиционное проектирование противодымной вентиляции часто не учитывает динамику пожара и взаимодействие систем дымоудаления и компенсации. По данным МЧС России за 5 лет, 68% пожаров в многоквартирных домах сопровождаются критическим задымлением путей эвакуации, особенно в зданиях с открытыми планировками.

Постановка задачи. Исследование направлено на оценку эффективности решений для систем противодымной вентиляции в условиях развития пожара на примере 26-этажного жилого комплекса. Цель — анализ взаимодействия систем дымоудаления и компенсации воздуха в межквартирных коридорах на этапе роста мощности пожара и разработка методики оценки эффективности противодымной вентиляции при его нестационарном развитии.

Задачи исследования: на основе нормативной методики рассчитать мощность очага пожара и растущее потребление кислорода с учетом параметров помещения и пожарной нагрузки. Определены массовый и объемный расход удаляемых продуктов горения, их температура и плотность. Рассчитано время развития очага (30 мин до пиковой мощности) и распространения пламени.

Результаты. Показано, что системы противодымной вентиляции, обеспечивающие объемный баланс между удалением дымогазовой смеси и подачей компенсационного воздуха, предотвращают избыточное разряжение на дверях (перепад давления ≤ 150 Па). За 30 минут пожарная нагрузка выгорает на 50%, при этом объем компенсационного воздуха не превышает критических значений, способных стимулировать развитие пожара.

Выводы. Расчетный подход к проектированию противодымной вентиляции, обеспечивающий объемный баланс, повышает безопасность эвакуации и соответствует требованиям нормативной документации. Результаты актуальны для многоквартирных домов, где корректная работа систем критична для минимизации рисков. Исследование подтверждает необходимость учета динамики пожара и взаимодействия систем вентиляции.

Ключевые слова: противодымная вентиляция, время развития пожара, воздушный режим, эвакуация, безопасность

Для цитирования: Бусахин А.В., Савенко Г.А. Развитие режима работы системы противодымной вентиляции в межквартирном коридоре // Известия КГАСУ, 2025, № 3(73), с. 103-114, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.9, EDN: JCDKEC

Development of the operation mode of the smoke ventilation system in the inter-apartment corridor

A.V. Busakhin¹, G.A. Savenko¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russian Federation

Abstract: *The relevance of the research* is due to the intensive development of high-rise construction. The traditional design of smoke ventilation often does not take into account the dynamics of the fire and the interaction of smoke extraction and compensation systems. According to the Ministry of Emergency Situations of Russia over a 5-year period, 68% of fires in apartment buildings are accompanied by critical smoke on evacuation routes, especially in buildings with open-plan layouts.

Problem statement. The study is aimed at evaluating the effectiveness of solutions for smoke ventilation systems in conditions of fire development using the example of a 26-storey residential complex. The purpose is to analyze the interaction of smoke extraction and air compensation systems in inter-apartment corridors at the stage of fire power growth and to develop a methodology for evaluating the effectiveness of fire control during its unsteady development.

Research objectives: based on a normative methodology, calculate the power of the fire source and the growing oxygen consumption, taking into account the parameters of the room and the fire load. The mass and volume consumption of the burning products being removed, their temperature and density were determined. The development time of the fire source (30 minutes to peak power) and the flame spread have been calculated.

Results show, that smoke ventilation systems that provide a volumetric balance between the removal of the smoke and gas mixture and the supply of compensation air prevent excessive underpressure at the doors (pressure drop ≤ 150 Pa). In 30 minutes, the fire load burns out by 50%, while the volume of compensation air does not exceed critical values capable of stimulating the development of the fire.

Conclusions. A calculated approach to the design of smoke ventilation, which ensures a volumetric balance, increases the safety of evacuation and complies with regulatory requirements. The results are relevant for apartment buildings, where the correct operation of systems is critical to minimize risks. The study confirms the need to take into account the dynamics of fire and the interaction of ventilation systems.

Keywords: smoke ventilation, time of fire development, air mode, evacuation, safety

For citation: Busakhin A.V., Savenko G.A. Development of the operation mode of the smoke ventilation system in the inter-apartment corridor // News of KSUAE, 2025, № 3(73), p. 103-114, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.9, EDN: JCDKEC

1. Введение

Актуальность исследования связана с увеличением числа пожаров в жилых комплексах мегаполисов, где эвакуация осложняется высокой плотностью заселения и сложностью воздушных потоков. Согласно данным МЧС России (2023), 68% пожаров в многоквартирных домах сопровождаются критическим задымлением эвакуационных путей, что подчеркивает необходимость оптимизации систем противодымной вентиляции (далее ПДВ) [1]. Существующие методы, основанные на требованиях СП 7.13130, фокусируются на стационарных режимах работы вентиляции, игнорируя влияние компенсационных потоков на рост мощности пожара [2-3].

Анализ современных исследований выявил противоречия в подходах к моделированию ПДВ. Работы [4-6] демонстрируют эффективность моделирования для прогноза задымления и анализа работы систем противодымной вентиляции в период пожара [7-8], но их результаты слабо согласуются с требованиями российской нормативной документации. Исследования акцентируют внимание на образовании

дымогазовоздушной смеси, однако не учитывают динамику выгорания пожарной нагрузки, что искажает оценку времени безопасной эвакуации [9-10]. Некоторые авторы [11-12] предлагают концепции адаптивных систем ПДВ, регулирующих потоки в реальном времени, но их внедрение ограничено высокой стоимостью и отсутствием нормативной базы. При этом экспериментальные данные по взаимодействию дымоудаления и компенсации в условиях реальных пожаров остаются фрагментарными [13]. Большинство публикаций не учитывают архитектурные особенности современных жилых комплексов и реализованные системы общеобменной вентиляции [14-15].

Цель исследования - разработка комплексной методики оценки эффективности систем ПДВ в условиях нестационарного развития пожара, учитывающей динамику выгорания нагрузки, распределение воздушных потоков и нормативные требования к эвакуации. Для ее достижения решаются следующие задачи:

1. Моделирование развития очага пожара в типовой квартире с учетом переменной скорости выгорания и распределения нагрузки.
2. Анализ взаимодействия систем дымоудаления и компенсации воздуха в межквартирных коридорах на различных стадиях пожара.
3. Верификация расчетных параметров (перепад давления на дверях, температура продуктов горения) с требованиями СП 7.13130 и ФЗ-123.
4. Формулировка рекомендаций по оптимизации проектирования ПДВ для высотных жилых комплексов.

Поддержание рабочих параметров инженерных систем при штатной эксплуатации принципиально отличается от их функционирования в режиме развития пожара. Данное положение подтверждается анализом отчетной документации и статистических данных по последствиям реальных пожаров на объектах после непосредственного возгорания. Проводимые экспертизы и полученные заключения, в большинстве случаев, описывают деструктивные последствия развития очага пожара и влияние факторов дымогазовоздушной смеси и температуры на людей. Работа соответствующих внутренних инженерных коммуникаций во время пожара направлена на решение вопросов временной локализации очага и снижения температуры горючей нагрузки в здании (системы пожаротушения), а также обеспечения эвакуационных путей и безопасности в период эвакуации граждан при возникновении очага пожара в здании (системы противодымной вентиляции). Заложенные параметры, требуемые для обеспечения надежной работы систем при разработке и проектировании комплекса противодымной вентиляции, тщательно отслеживаются, проверяются и исследуются на всех этапах жизненного цикла здания. При этом, не представляется возможным проверить новые вводимые требования в условиях имитации реального пожара, что напрямую сказывается на образованный режим работы комплекса приточно-вытяжных установок противодымной вентиляции в пределах защищаемых объемов и помещений. Следовательно, необходимо рассматривать развитие пожара в разрабатываемом здании, чтобы иметь правильное представление о режиме работы систем.

2. Материалы и методы

Объектом исследования выступает 26-этажный жилой комплекс №10 в Москве (район Хорошёво-Мневники), спроектированный как единый пожарный отсек в соответствии с СП 7.13130.2013. Особенностью объекта является открытая планировка межквартирных коридоров и интеграция систем противодымной вентиляции, включающих дымоудаление (далее ДУ), компенсацию воздуха (далее КДУ) и подпор (далее ПД) в лифтовых холлах (рис.1). Выбор такого объекта обусловлен ростом строительства высотных жилых зданий с повышенными требованиями к пожарной безопасности, где традиционные подходы к проектированию ПДВ часто не учитывают динамику развития пожара и взаимодействие систем.

Для наглядности описываемой проблематики представлен разработанный комплекс ПДВ согласно СП 7.13130. для представленных архитектурных и конструктивных решений (далее АР и КР соответственно) в объеме исследуемого здания (рис.1).

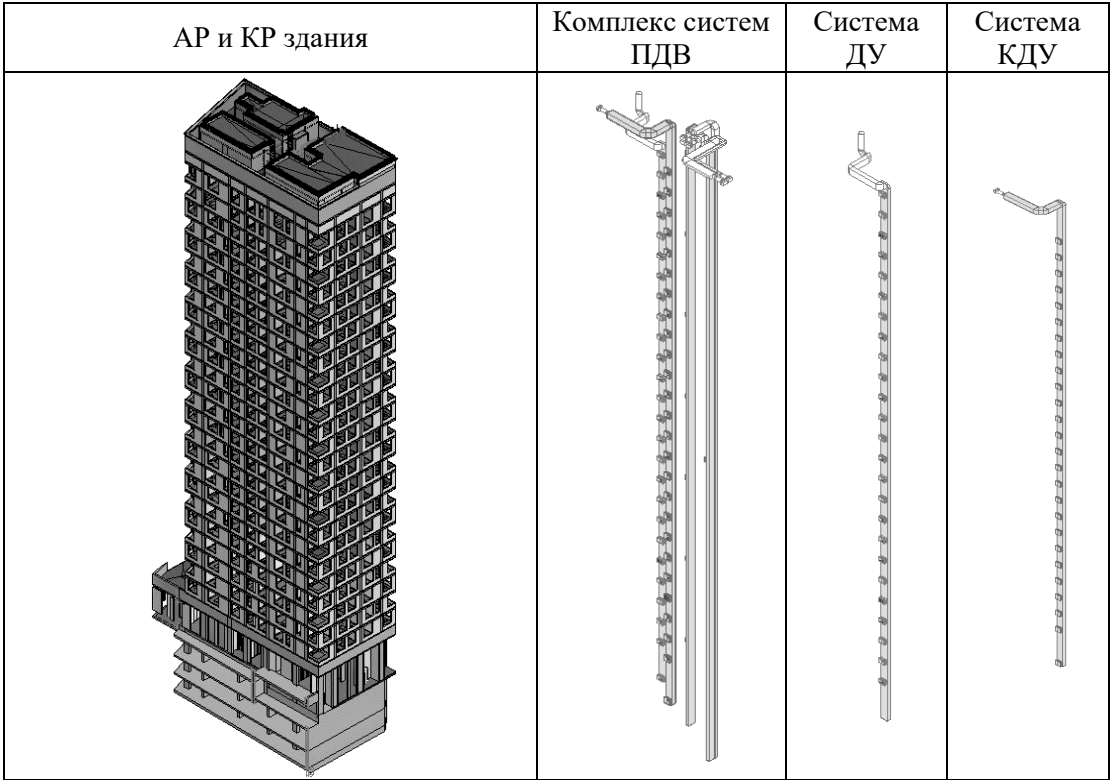


Рис. 1 Графическая визуализация разработанного комплекса противодымной вентиляции (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Graphical visualization of the developed smoke ventilation system (illustration by the authors)

Типовой этаж включает в себя системы дымоудаления и компенсации в межквартирный коридор, подпор в пожаробезопасную зону для маломобильных групп населения, в незадымляемые лестничные клетки типа Н2, в шахты лифта в режиме работы «пожарная опасность» и «перевозка пожарных подразделений». (рис.2).

Принимаются для расчета по методике Р НП АВОК 5.5.1-2023 следующие данные, сведенные в табл.1.

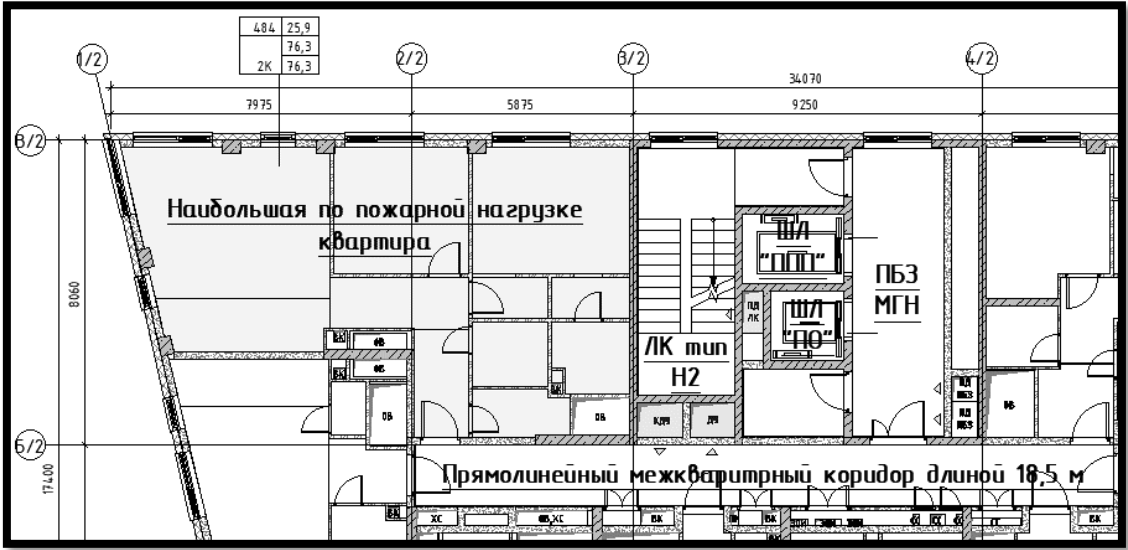


Рис 2. Пример типового лестнично-лифтового узла рассматриваемого объекта (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Example of a typical staircase / elevator node of the object under consideration (illustration by the authors)

Таблица 1

Исходные данные для расчета системы дымоудаления из коридора

Конфигурация коридора			Прямолинейный
x	6,09	м	расстояние от двери помещения с пожаром до КПУ
t_n	23	°C	температура наружного воздуха в теплый период года
V_v	2	м/с	скорость ветра
t_v	23	°C	температура внутреннего воздуха до начала пожара
$h_{эт}$	3,36	м	высота этажа
$h_{выбр}$	91,2	м	уровень расположения выбросного отверстия удаления продуктов горения
$F_{кор}$	29,61	м ²	площадь коридора
$l_{кор}$	18,5	м	длина коридора
H	3,08	м	высота коридора
$B_{п}$	0,95	м	ширина дверного проема из коридора в ЛК тип Н2
$H_{п}$	2,41	м	высота дверного проема из коридора в ЛК тип Н2
$a_{ш}$	1,2	м	большая сторона шахты воздуховода
$b_{ш}$	0,6	м	меньшая сторона шахты воздуховода
$a_{кл}$	1,1	м	больший из установочных размеров клапана
$b_{кл}$	0,6	м	меньший из установочных размеров клапана
h_d	1,848	м	предельная толщина дымового слоя
$S_{уд}$	24000	м ³ /кг	удельная характеристика сопротивления газопроницанию для КПУ
ΣA_0	2,2895	м	суммарная площадь проемов помещения
Σh_{oi}	2,41	м	сумма высот i-го проема помещения
V	235,004	м ³	объем помещения
$P_{п.н.}$	350	МДж/м ²	плотность пожарной нагрузки (среднее значение)
M	1935,14	кг	масса пожарной нагрузки в помещении
$Q_{нi}^p$	13800	кДж/кг	теплота сгорания i-го вещества или материала в составе пожарной нагрузки
$Q_{нд}^p$	13800	кДж/кг	теплота сгорания древесины
F_f	76,3	м ²	площадь пола помещения

На основе методики Р НП «АВОК» 5.5.1-2023, для представленных исходных данных выполняется расчет основных параметров дымоудаления из коридора. Наиболее значимыми показателями для описания развития очага пожара являются:

$G_{пг}$ - массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора [3,41 кг/с];

$T_{пг}$ - температура продуктов горения в коридоре [598,42 K];

$\rho_{пг}$ - плотность продуктов горения в коридоре [0,59 кг/м³];

$L_{пг}$ – объемный часовой расход продуктов горения, удаляемых из коридора, [$G_{пг} \cdot \rho_{пг} \cdot 3600 = 20\,830$ м³/ч].

Квартира площадью $F_f = 76,3$ м² имеет пожарную нагрузку массой $M = 1935,14$ кг, распределенную равномерно в пределах рассматриваемого объема с удельной теплотой сгорания $Q = 13\,800$ кДж/кг и плотностью очага пожара 350 МДж/м². Периметр такой квартиры составляет 43,7 метра вдоль стен. Допуская поправку на расположение потенциальной пожарной нагрузки в пределах квартиры, производится смещение границы на 500 мм от общего контура и полученный периметр составляет 39,65 м (рис.3). Расстановка мебели, её горючесть, общая наполненность помещений, промежутки между элементами и т.д. являются исключительно уникальными и индивидуальными показателями для каждого отдельно взятого случая. В рамках данного исследования рассматривается общий подход к выполнению расчета на усредненное значение.

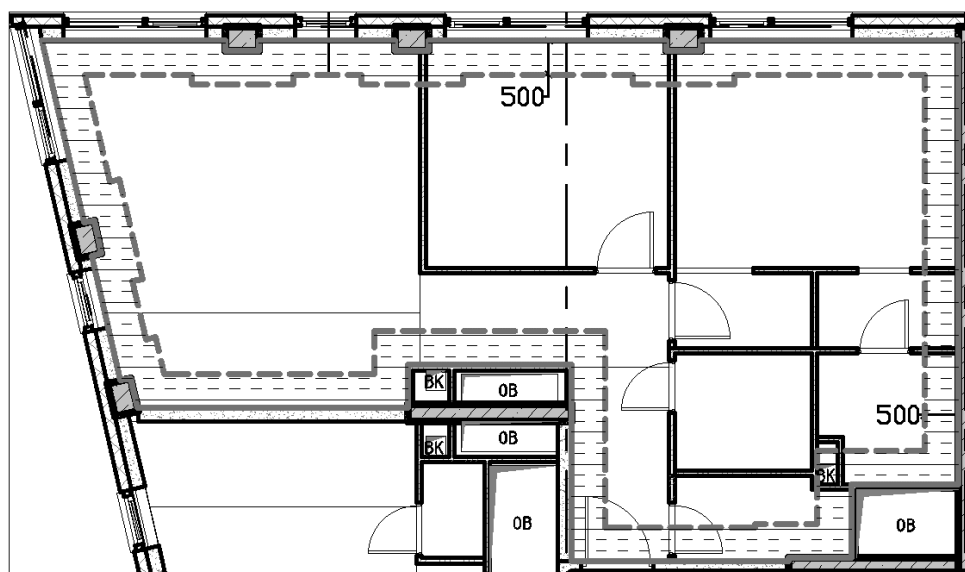


Рис. 3. Распределение пожарной нагрузки в объеме квартиры (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Fire load distribution within an apartment volume
(illustration by the authors)

Рассмотрим время развития очага пожара $t_{\text{очаг}}$ по значению коэффициента удельной скорости выгорания $\psi_{\text{уд}} = 0,015$ (кг/м²·с) по формуле (1). Масса пожарной нагрузки подбирается по расчетному примеру в указанной методике. Скорость выгорания является справочной величиной для рассматриваемой пожарной нагрузки, которая также отражена в приложении документа Р 5.5.1-2023, а площадь принимается для всей квартиры, поскольку расчет массы пожарной нагрузки может производиться для одного помещения на большее значение удельной величины нагрузки или для всей площади рассматриваемого помещения, но на меньшую удельную величину. Выбранный подход в рамках данного исследования является более унифицированным, поскольку узнать планировку помещений и состав пожарной нагрузки пользователя жилого здания на этапе проведения вычислений – невозможно.

$$t_{\text{очаг}} = \frac{M}{\psi_{\text{уд}} \cdot F_f} = \frac{1935,14}{0,015 \cdot 76,3} = 1691 [\text{сек}] \approx 30 [\text{мин}] = 0,5 [\text{час}]. \quad (1)$$

Следовательно, пиковое значение расчетной мощности очага пожара достигается в течение 30 минут, после начала возгорания и максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении составляет $T_{\text{0макс}} = 1215,73$ К.

При достаточном количестве поступающего кислорода на поддержание реакции горения, пламя очага пожара в зависимости от линейной скорости выгорания $v_{\text{лин}} = 0,005$ м/с по периметру квартиры будет перекидываться на смежные объекты мебели (в центре помещений, как правило, пожарная нагрузка отсутствует) в течение следующего времени (рассматривается вариант одностороннего (2) и двустороннего развития пожара (3)):

$$t_{\text{пламя}}^{\text{в одну сторону}} = \frac{P_f}{v_{\text{лин}}} = \frac{39,65}{0,005} = 7930 [\text{сек}] \approx 130 [\text{мин}] \approx 2,0 [\text{час}]. \quad (2)$$

$$t_{\text{пламя}}^{\text{в две стороны}} = \frac{P_f}{v_{\text{лин}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{39,65}{0,005} = 3965 [\text{сек}] \approx 65 [\text{мин}] \approx 1,0 [\text{час}]. \quad (3)$$

3. Результаты и обсуждение

Выполненный расчет времени развития очага пожара и его полного выгорания показывает, что в худшем варианте, в течение 60 минут пожар будет перекидываться за счет пламени через смежные элементы пожарной нагрузки в квартире и полное время, которое потребуется на выгорание заданной массы составит порядка 30 минут. На это также может влиять принимаемая схема реализованной системы общеобменной вентиляции, но эта зависимость будет исследована в последующих работах. Данная тема широко обсуждается и исследуется профильными прикладными специалистами. Можно выделить материалы основателя школы противоподымной защиты зданий, Есина В.М.,

специалиста Академии МЧС Калмыкова С.П. Стоит учитывать, что пока пламя перекидывается по объему квартиры, часть нагрузки уже выгорит к моменту полного охвата огнем расчетного очага пожара.

Согласно ФЗ-№123, статье 76 пункт 1, время приезда пожарных подразделений на объект с очагом пожара в городских населенных пунктах не должно превышать 10 минут, в сельских населенных пунктах 20 минут.

Согласно ФЗ-№123, статье 81 пункт 3, системы противопожарной защиты зданий и сооружений должны обеспечивать возможность эвакуации людей в безопасную зону до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара.

Опираясь на положение указанной статьи, можно заключить, что рассматривать весь интервал распространения пожара и оценивать выгорание всей пожарной нагрузки нецелесообразно. Поэтому, рассмотрим развитие параметров очага пожара за период охвата пламенем всей площади квартиры по табл.2 и далее выделим из полученных данных интервал 30 минут с момента обнаружения пожара до этапа окончания эвакуации пользователей из здания.

Вентилятор в период работы поддерживает заданный объемно-часовой расход на противопожарном нормально-закрытом клапане на этаже потенциального пожара. По выполненному расчету подбираются рабочие характеристики, которые обеспечиваются в течение всего периода работы ПДВ.

Таблица 2

Изменение параметров за время развития очага пожара

время, мин	Периметр очага пожара, м	Площадь очага пожар, м ²	Масса горящей пожарной нагрузки, кг	Температура в горящем помещении, К	Плотность продуктов горения в помещении, кг/м ³	Температура в коридоре, К	Плотность продуктов горения в коридоре, кг/м ³
0	0	0	0	296	1,193	296	1,193
5	3,30	6,36	161,26	372,64	0,947	321,20	1,099
10	6,61	12,72	322,52	449,29	0,786	346,40	1,019
15	9,91	19,08	483,79	525,93	0,671	371,61	0,950
20	13,22	25,43	645,05	602,58	0,586	396,81	0,890
25	16,52	31,79	806,31	679,22	0,520	422,01	0,836
30	19,83	38,15	967,57	755,87	0,467	447,21	0,789
35	23,13	44,51	1128,83	832,51	0,424	472,41	0,747
40	26,43	50,87	1290,10	909,15	0,388	497,61	0,709
45	29,74	57,23	1451,36	985,80	0,358	522,82	0,675
50	33,04	63,58	1612,62	1062,44	0,332	548,02	0,644
55	36,35	69,94	1773,88	1139,09	0,310	573,22	0,616
60	39,65	76,3	1935,14	1215,73	0,290	598,42	0,590

Необходимо учитывать, что подаваемый по объемно-часовому баланс воздуха компенсационной подачи участвует сразу в двух процессах:

- поступает в объем горящей квартиры на поддержание и развитие очага пожара (является неотъемлемой частью процесса подачи кислорода (в составе воздуха) на выполнение процесса окисления пожарной нагрузки);

- нивелирует образовавшееся разряжение на клапане дымоудаления с целью поддержания допустимого перепада давления на эвакуационной двери от 20 до 150 Па.

Опираясь на справочные данные, для поддержания процесса горения 1 кг древесины (наиболее распространенная пожарная нагрузка в зданиях категории Ф1.3. (многоквартирные жилые дома)) требуется объем воздуха в среднем от 4 до 8 м³ (принимая значение 6 м³).

Рассмотрим развитие массы пожарной нагрузки. Метод определения расчетных параметров для рассматриваемых интервалов базируется на выявлении максимально возможных величин за установленный период, приведение значений к удельным по времени составляющим и соответствующий пересчет каждого значения на заданный

временной диапазон. Исследуется значение требуемого количества воздуха на поддержание реакции горения, и данную величину необходимо сравнить со значением дымоудаления дымогазовоздушной смеси и оставшегося значения массовой компенсационной подачи за рассматриваемый период эвакуации в течение 30 минут (исходя из указанных положений по времени приезда пожарных подразделений и времени развития очага пожара). Исходя из условия обеспечения объемного баланса по расходу между системами дымоудаления и компенсации (за вычетом $\approx 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$, подсосываемых через закрытые двери высотой 2,41 м среднего значения герметичности) составим таблицу расчетных значений (табл.3) и приведём значения в графическом виде (рис.4). График представляет из себя по оси ординат значение массового расхода при удалении дымогазовоздушной смеси системой вытяжной противодымной вентиляции (фиолетовая кривая), значение поступающего массового расхода компенсационной подачи в коридор (оранжевая кривая) и результирующее значение разницы массового расхода при разделении компенсационного расхода на поддержание и развитие пожарной нагрузки (желтая кривая). Ось абсцисс характеризует изменение соответствующих значений массового расхода за интервалы времени.

Значение массового расхода удаления дымогазовоздушной смеси с этажа пожара в переводе с расчетного объемного значения $20\,830 \text{ м}^3/\text{ч}$ в начальный момент времени принимается равным $24\,845 \text{ кг/ч}$ при температуре и плотности удаляемого воздуха 296 К и $1,193 \text{ кг/м}^3$ соответственно. Развитие пожара и увеличение пожарной нагрузки приводит к соответствующему росту температуры дымогазовоздушной смеси и изменению массового расхода. Значение массового расхода компенсационной подачи на этаже пожара в переводе с расчетного объемного значения $19\,330 \text{ м}^3/\text{ч}$ в начальный момент времени принимается равным $23\,055 \text{ кг/ч}$. Развитие пожара и увеличение пожарной нагрузки приводит к увеличению требуемого количества воздуха на поддержание и развитие пожара от поступающей компенсационной подачи. Рассматривая исследуемый пример, с момента начала пожара, в течение 5 минут времени, площадь очага пожара возрастет до $6,36 \text{ м}^2$, соответственно увеличится приведенная масса пожарной нагрузки до $161,26 \text{ кг}$. Увеличение массы пожарной нагрузки приведет к росту температуры удаляемой дымогазовоздушной смеси с 296 до $321,20 \text{ К}$, и плотность изменится с $1,193$ до $1,099 \text{ кг/м}^3$. Результирующее значение массового расхода удаления дымогазовоздушной смеси изменится до значения $22\,895 \text{ кг/ч}$. Увеличение пожарной нагрузки требует большего количества воздуха на поддержание горения, и для значения $161,26 \text{ кг}$ потребляемый объем воздуха составляет 970 м^3 (1160 кг/ч), забираемый непосредственно из массы поступающей компенсационной подачи. Можно сформулировать следующее уравнение и проверить условие выполнения требования не превышения поступающего расхода над удаляемым:

$$\Delta G_{\text{комп}}^{\text{при } t=5 \text{ мин}} = 23\,055 - 1160 = 21\,895 \text{ [кг/ч]} < 22\,895 = G_{\text{пг}}^{\text{при } t=5 \text{ мин}} \text{ [кг/ч]}.$$

Таблица 3

Развитие режима работы систем противодымной вентиляции в коридоре

время, мин	Масса горящей пожарной нагрузки, кг	Требуемый объем воздуха для поддержания горения, м^3	Уходящая масса компенсационной подачи на поддержание горения, кг/ч	Изменение массового расхода удаляемых продуктов горения, кг/ч	Остаток поступающего расхода компенсационной подачи, кг/ч
0	0	0	0	24845	23055
5	161,262	970	1160	22895	21895
10	322,524	1940	2315	21230	20740
15	483,786	2905	3465	19790	19590
20	645,048	3875	4625	18535	18430
25	806,31	4840	5775	17425	17280
30	967,572	5810	6930	16445	16125

Рассматривая начальную фазу развития пожара, из-за равенства плотностей воздуха из помещения с очагом пожара и поступающего воздуха от системы компенсации, можно заключить о фактически полном равенстве объемного часового расхода при удалении и подаче воздуха, что указывает на невозможность образования деструктивного разряжения на эвакуационной двери (перепад давления в этой фазе стремится к 0 Па). Заключительная исследуемая фаза за расчетный интервал 30 минут демонстрирует, что рост пожарной нагрузки и изменение массового расхода удаляемой дымогазовоздушной смеси сопровождается сопутствующим процессом разделения расхода компенсационной подачи в таком пропорциональном соотношении, при котором выполняется условие превышения удаляемого расхода над поступающим, и при близких по значению величинах итогового расхода дымоудаления и компенсации указывает на подтверждение условия обеспечения допустимого перепада давления на эвакуационной двери.

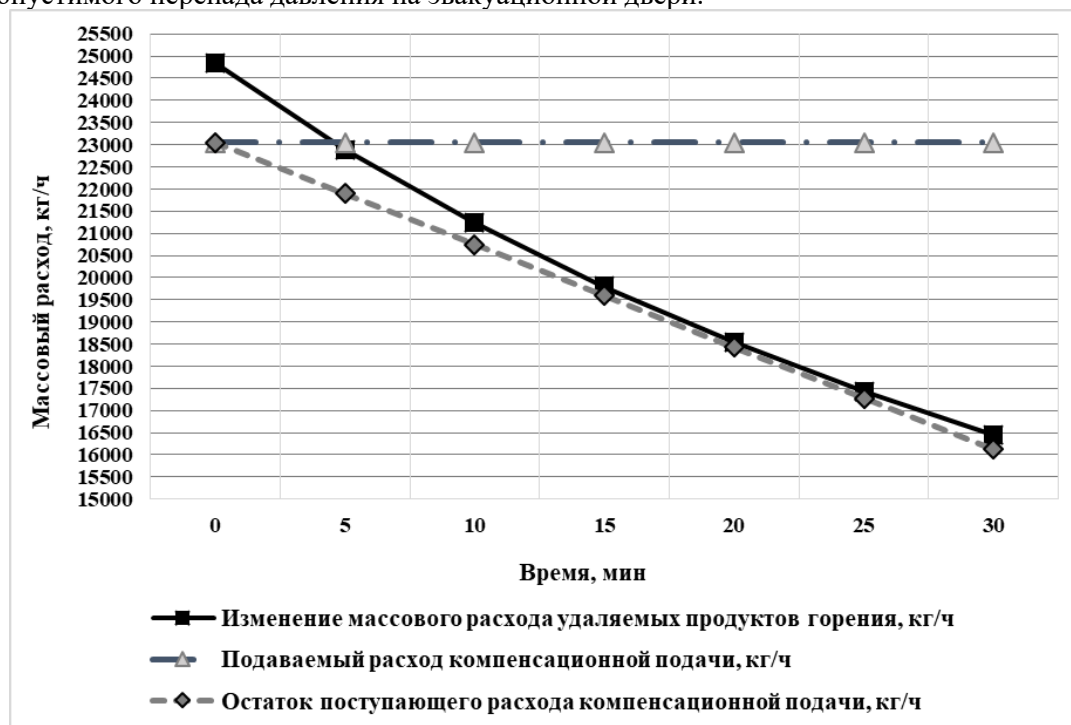


Рис. 4. График распределения массового расхода при работе систем противодымной вентиляции в коридоре (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Graph of mass flow distribution during smoke control system operation in a corridor (illustration by the authors)

Это следует из характерного изменения расчетных значений, представленных на кривых графика. Падение значения массового расхода удаляемой дымогазовоздушной смеси связано со значительным увеличением массы продуктов горения, как следствие, температуры. Увеличение температуры удаляемой среды значительно снижает составляющую массового расхода и облегчает работу вентилятора. Подача компенсационного расхода через противопожарный клапан на этаже пожара постоянна, что видно из параллельной линии на графике. При этом изменяющаяся пожарная нагрузка для поддержания процесса горения требует больше воздуха, который распределяется часть на горение, часть на компенсацию при работе системы дымоудаления. Таким образом формируются две кривые, которые меняются в зависимости от стадии развития очага пожара.

Полученные результаты позволяют с учетом приведенного обоснования выполнить поставленную цель исследования и продолжить развитие комплексной методологии расчета систем противодымной вентиляции коридоров в многоэтажных и высотных зданиях. Также, это позволяет обосновать возможность разработки комплекса систем противодымной вентиляции в межквартирном коридоре на значительно меньший период работы в условиях, являющихся нерасчетными для существующих требований по времени эвакуации людей из горящего здания.

Стоит отметить, что главным фактором при анализе данного режима является отсутствие превышения поступающего воздуха над удаляемым, что позволяет поддерживать безопасные условия для эвакуации людей. Определение фактического значения образованного перепада при данных условиях не требуется. В дальнейшем развитии темы, в частности для массового баланса, проверка данного условия является необходимым критерием определения надежности работы системы.

Вопросы проектирования и внедрения систем противодымной вентиляции в коридорах сохраняют свою актуальность для объектов строительства различного назначения. Существующие подходы к решению данной задачи различаются методически. Так, Р.К. Эсманский в своем исследовании, основанном на анализе отечественного и зарубежного опыта, акцентирует внимание на комплексном анализе схем ПДВ [16]. Б.Б. Колчев, в свою очередь, детально разбирает вопросы обеспечения требований нормативной документации [17]. Несмотря на различия в подходах, общей целью указанных исследований, как и настоящей работы, является недопущение образования недопустимого перепада давления на эвакуационных путях.

4. Заключение

1. На основе проведенного моделирования развития очага пожара были получены результаты, характеризующие изменение массового расхода удаления дымогазовоздушной смеси и компенсационной подачи воздуха с учетом распределения части расхода на поддержание процесса горения.

2. Анализ взаимодействия систем дымоудаления и компенсации в различных стадиях развития очага пожара показал, что при развитии площади и мощности пожара, часть поступающего воздуха от системы компенсации участвует в реакции горения, а оставшаяся часть позволяет обеспечить корректный совместный режим работы систем в межквартирном коридоре.

3. Результаты выполненного исследования при обеспечении объемного баланса позволяют верифицировать соблюдение требований ФЗ-№123 статьи 81 пункт 3 с учетом выполнения мероприятий по обеспечению безопасной эвакуации людей.

4. Установленные расчетные зависимости необходимы для применения соответствующих подходов на объектах, которые требуют разработки комплекса систем противодымной вентиляции, в частности, наибольшей значимостью в этом вопросе обладают объекты высотного строительства, из-за значительного влияния распределения давления по высоте здания на напорные характеристики вентиляторов.

Список литературы/ References

1. Пожары и пожарная безопасность. Статистика пожаров и их последствий: сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко. Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021. 116 с.
Goncharenko V.S., Chechetina T.A., Sibirko V.I. Fires and fire safety. Statistics of fires and their consequences: collection. Balashikha : FSBI VNIPO EMERCOM of Russia, 2021. 116 p.
2. Системы противодымной вентиляции жилых и общественных зданий: методические рекомендации / А.Н. Колубков, Ю.А. Табунщиков, В.М. Есин [и др.]. Москва : НП АВОК, 2023. 172 с.
Kolubkov A.N., Tabunshchikov Yu.A., Yesin V.M. [et al.] Smoke ventilation systems for residential and public buildings: methodological recommendations. Moscow : NP AVOK, 2023. 172 p.
3. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий: методические рекомендации / И.И. Ильминский, Д.В. Беляев, П.А. Вислогузов, Б.Б. Колчев. Москва : ФГУ ВНИИПО, 2013. 58 с.
Ilminsky I.I., Belyaev D.V., Visloguzov P.A., Kolchev B.B. Calculated determination of the main parameters of smoke ventilation of buildings: methodological recommendations. Moscow : FGU VNIPO, 2013. 58 p.

4. Aggarwal S., Gagnon B.D., Reed M.D. Smoke Control Analysis of a High Rise Building Using a Network Air Flow Model // *Fire Protection Engineering*. 2002. Iss. 15. P. 45–50.
5. Wang F., Zhang Y., Ding S., Huang X. Optimizing phased-evacuation strategy for high-rise buildings in fire // *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 95. P. 110084. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110084.
6. Rezadoost Dezfuli R., Bazazzadeh H., Taban M., Mahdavinejad M. Optimizing stack ventilation in low and medium-rise residential buildings in hot and semi-humid climate // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. Vol. 52. P. 103555. DOI: 10.1016/j.csite.2023.103555.
7. Yang Y., Hou R., Xie C. Full-scale experimental simulation of the stack effect pressure acting on an elevator door system in a high-rise building // *Building and Environment*. 2024. Vol. 256. P. 111443. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111443.
8. Chen X., Yang Y., Liu Q. [et al.] Accessing the Stack Effect in High-Rise Buildings by the Probability Method Based on Climate Demarcation: A Case Study in China // *Energy and Built Environment*. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2025.01.002>.
9. Есин В.М., Калмыков С.П. Время обнаружения очага пожара // *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 11. С. 52–63.
Esin V.M., Kalmykov S.P. Time of fire detection // *Fire and explosion safety*. 2017. Vol. 26. Iss. 11. P. 52–63.
10. Бусахин А.В., Савенко Г.А. Обеспечение надежности работы систем противодымной вентиляции в период эвакуации // *Инженерные системы*. 2025. № 1. С. 10–14.
Busakhin A.V., Savenko G.A. Ensuring the reliability of smoke ventilation systems during evacuation // *Engineering Systems*. 2025. No. 1. P. 10–14.
11. Эсманский Р.К. Типовые схемы противодымной вентиляции жилых зданий. Какими им следует быть? // *Строительно-технологический портал*. 2020. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/22707> (дата обращения: 20.10.2025).
Esmansky R.K. Typical schemes of smoke ventilation of residential buildings. What should they be? // *Construction and technological portal*. 2020. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/22707> (reference date: 20.10.2025).
12. Eichelberger A. Pressure differential system. Alfred Eichelberger GmbH&Co., 2022. 83 p.
13. Калмыков С.П., Панов М.В., Токарев В.Н. Влияние площади помещения на расчётное время обнаружения пожара // *Сборник материалов 10-ой научно-практической конференции / под ред. Д.А. Самошина*. Москва : Изд-во Академия ГПС МЧС России, 2022. С. 20–23.
Kalmykov S.P., Panov M.V., Tokarev V.N. The influence of room area on the estimated fire detection time // *Proceedings of the 10th Scientific and Practical Conference / ed. by D.A. Samoshin*. Moscow: Publishing House of the Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2022. P. 20–23.
14. Кареева Ю.Р., Гороховская Р.Р., Зиганшин А.М., Чухлова М.Б. Исследование эффективности индивидуальной вентиляции // *Строительства и техногенная безопасность*. 2023. № S1. С. 259–266.
Kareeva Yu.R., Gorokhovskaya R.R., Ziganshin A.M., Chukhlova M.B. Study of the effectiveness of individual ventilation // *Construction and technogenic safety*. 2023. No. 1. P. 259–266.
15. Зарипов Р.И. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха: Инновации // *Сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции*, Пенза, 28–29 марта 2024 г. Пенза : Изд-во ПГАУ, 2024. С. 153–156.
Zaripov R.I. Ventilation and air conditioning systems: Innovations // *Collection of articles of the XXVI International Scientific and Practical Conference*, Penza, March 28–29, 2024. Penza: Publishing House of Penza State Agrarian University, 2024. P. 153–156.
16. Эсманский Р.К. Анализ комплексных систем противодымной вентиляции многоэтажных зданий исходя из отечественной и зарубежной практики // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2024. № 2. С. 36–41.

Esmansky R.K. Analysis of integrated smoke ventilation systems for multi-storey buildings based on domestic and foreign practice // Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics. 2024. No. 2. P. 36–41.

17. Колчев Б.Б. Анализ энергоэффективности систем очистки воздуха в вентиляции жилых зданий // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2022. № 3. С. 16–21.
Kolchev B.B. Analysis of energy efficiency of air purification systems in ventilation of residential buildings // Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics. 2022. No. 3. P. 16–21.

Информация об авторах

Бусахин Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Российская Федерация

Email: BusahinAV@mgsu.ru, ORCID: 0000-0001-7373-5612

Савенко Георгий Андреевич, преподаватель, Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Российская Федерация

Email: SavenkoGA@mgsu.ru, ORCID: 0009-0004-1982-4824

Information about the authors

Alexey V. Busakhin, candidate of technical sciences, associate professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

Email: BusahinAV@mgsu.ru, ORCID: 0000-0001-7373-5612

Georgii A. Savenko, lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

Email: SavenkoGA@mgsu.ru, ORCID: 0009-0004-1982-4824

Дата поступления: 03.04.2025

Дата принятия: 18.10.2025