

УДК 614.841.125:69.036.1:692.49

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЕМОВ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Иваницкий А.Г., Барсукова А.В.

Проведен анализ литературных источников по вопросу влияния горизонтальных проемов в горящем помещении на параметры пожара. Показаны ограничения по использованию ранее полученных результатов исследований при моделировании пожаров. Для предварительной оценки влияния горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении проведено моделирование горения древесины в административном помещении для случая наличия только вертикального дверного проема и для присутствия дополнительных горизонтальных световых проемов. По результатам моделирования установлено существенное влияние горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении и отсутствие методик, позволяющих в достаточной мере оценить влияние проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на интегральные теплотехнические параметры объемного свободно развивающегося пожара в помещении. Предложена доработка алгоритма расчета, использованного при разработке методики СТБ 11.05.03.

Ключевые слова: расчет, температурный режим пожара, интегральная модель, горизонтальный проем, алгоритм.

(Поступила в редакцию 6 сентября 2017 г.)

Все здания и помещения должны отвечать существенным (базовым) требованиям безопасности, которые являются обязательными для применения при проектировании и строительстве зданий и сооружений: обеспечение устойчивости зданий и сооружений; пожарной безопасности; безопасности при эксплуатации [1]. В современном мире в условиях совершенствования технологий строительства зданий и сооружений, повышения требований к организации их внутреннего пространства все большее внимание уделяется обеспечению пожарной безопасности.

В помещениях (торговые, логистические комплексы, здания с атриумами, производственные, складские и другие помещения) в случаях, предусмотренных нормативными документами, в горизонтальных или наклонных ограждающих конструкциях часто устраивается верхнее естественное освещение, а также проемы, используемые для целей дымоудаления в начальной стадии развития пожара (рисунок 1).

При принудительном открывании, или разрушении заполнения указанных проемов вследствие воздействия высокой температуры для определения параметров газовой среды внутри помещения необходимо учитывать теплообмен с окружающей средой и через эти проемы. Особенно заметно влияние проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на параметры пожара будет проявляться в помещениях при отсутствии вертикальных оконных проемов.

Переход к гибкому противопожарному нормированию, когда проектные решения обосновываются и применяются во взаимосвязи друг с другом, в том числе с использованием расчетных методов, обусловил необходимость разработки инструментов оценки технической эффективности принятых решений в области пожарной безопасности. Для этого используют критерии выполнения системами пожарной безопасности задач по обеспечению безопасности людей и материальных ценностей. При этом чаще всего решаются вопросы обеспечения огнестойкости строительных конструкций при пожаре и обеспечения безопасной эвакуации людей, в которых основными опасными факторами пожара являются параметры газовой среды в помещении (температура, концентрация продуктов горения и т. п.).



а) футбольный манеж



б) производственное помещение деревообрабатывающего предприятия [2]



в) жилой дом с мансардными окнами

Рисунок 1. – Примеры зданий с проемами в горизонтальных (наклонных) ограждающих конструкциях

Необходимое время эвакуации людей и фактическая огнестойкость строительных конструкций определяются динамикой нарастания во времени и пространстве упомянутых опасных факторов пожара. В инженерных расчетах чаще всего используется подход с использованием интегральной модели пожара, когда условно принимается равномерное распределение усредненных по объему параметров газовой среды в помещении. При определении интегральных характеристик состояния газовой среды в помещении основными параметрами, определяющими динамику изменения одного из основных опасных факторов пожара - температуры, являются характеристики пожарной нагрузки и ее размещения в помещении, геометрия (площадь и высота) помещения, размеры проемов в вертикальных ограждающих конструкциях, характеристик ограждающих конструкций. В основу методики расчета [3] вошли положения [4–6], разработанные в результате решения системы уравнений, описывающих закон сохранения энергии и массы газов.

В [7] приведена методика расчета параметрического температурного режима для помещений без проемов в покрытии с площадью пола до 500 м² и максимальной высотой до 4 м, при этом основными параметрами, влияющими на температуру обозначены: расчетная удельная пожарная нагрузка, теплотехнические характеристики и размеры ограждающих конструкций, площадь и геометрия проемов.

Анализ методик расчета показал, что в рекомендациях и нормативных документах отсутствуют сведения о том, как учитываются при расчете имеющиеся проемы в горизон-

тальных ограждающих конструкциях, кроме этого в поясняющих методики примерах и научных публикациях приводятся результаты расчета для моделей помещений без горизонтальных проемов [8–10].

Отсутствие информации в нормативных документах и разное толкование их требований привели к тому, что в настоящее время при расчете температурного режима пожара в помещениях зданий на территории Республики Беларусь не требуется учитывать наличие проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях, что не отражает реальных условий теплообмена на внутреннем пожаре [9].

С учетом изложенного, оценка влияния проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на интегральные теплотехнические параметры объемного свободно развивающегося пожара в помещении с последующей разработкой соответствующей инженерной методики расчета является актуальной научной и технической задачей.

Анализ литературных источников показал, что исследование влияния проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на температуру пожара проводилось для сочетания «прямоугольный дверной проем – проем в покрытии круглой формы» для разных размеров проемов, но при их стационарном относительном расположении и варианта локального пожара реализованного в виде поддона с жидким топливом, что не соответствует используемым подходам, при которых пожарная нагрузка приводится к наиболее распространенной – древесине.

В случае, когда в помещении присутствуют вертикальный и горизонтальный проемы, математическая модель движения потока через вертикальный проем расширена для учета дополнительного горизонтального проема. Предложено уравнение для определения расхода истекающих газов через горизонтальный проем [11]:

$$\dot{m}_{out,roof} = C_{d,roof} \cdot \rho_g \cdot A_{v,roof} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\rho_0}{\rho_g} - 1 \right)} \cdot (H_c - Z_n)^{0,5}, \quad (1)$$

где $\dot{m}_{out,roof}$ – массовый расход газа через горизонтальный проем;

$C_{d,roof}$ – коэффициент расхода газа через горизонтальный проем;

ρ_g – плотность продуктов горения;

$A_{v,roof}$ – площадь горизонтального проема;

ρ_0 – плотность воздуха окружающей среды

H_c – высота помещения;

Z_n – высота нейтральной зоны;

По результатам экспериментов [11] установлено, что увеличение площади горизонтального проема увеличивает расход исходящего потока через него; и как следствие увеличивается расход потока, поступающего в помещение воздуха. Это приводит к увеличению высоты ПРД и снижает количество нагретых газов выбрасываемых через вертикальный проем. Такие явления хорошо описываются моделью движения потоков через горизонтальный и вертикальный проем, хорошо согласующейся с результатами эксперимента. Получены упрощенные уравнения расчета расхода через горизонтальный и вертикальный проем. Экспериментально исследован механизм возникновения периодических пульсаций пламени, через горизонтальный и вертикальный проем. Разработана компьютерная программа расчета CFIRE. Однако в программе не учитывается возможность двунаправленного движения потока через горизонтальный проем [11].

Также проводились исследования по влиянию размеров очага пожара и проема квадратной формы в горизонтальной ограждающей конструкции на температуру пожара в помещении [12]. Однако в этих исследованиях отсутствовали проемы в вертикальных ограждающих конструкциях и положение проема не изменялось.

Результаты проведенных ранее экспериментов [13] показали, что для случая размещения локального очага пожара в дальней части помещения торгового центра, когда продукты горения распространялись через зону расположения торговых точек в объем пассажа и далее наружу через открытый проем в вертикальной ограждающей конструкции или через вертикальную шахту дымоудаления, в начальной стадии пожара наблюдалось снижение температуры газовой среды на 15-80 °С при горении 31 л керосина и на 25-30 °С при горении 22 кг древесины.

В [14] указано, что, в отличие от истечения жидкостей через отверстия или проемы в вертикальных конструкциях, проведено очень мало исследований течения через проемы в горизонтальных или наклонных поверхностях. Предложено уравнение для определения скорости восходящего потока газа:

$$v_H = \left[\frac{2}{\rho_H} (g \cdot h \cdot \Delta\rho + \Delta p) \right]^{0.5}, \quad (2)$$

где $\Delta\rho = \rho_C - \rho_H$ – разность плотности газовой среды на верхней и нижней сторонах проема;

$\Delta p_C = p_H - p_C$ – разность давления газовой среды на нижней и верхней сторонах проема;

h – расстояние по вертикали от нижней плоскости проема до места наибольшего сжатия истекающей струи (примерно равно диаметру отверстия D).

При однонаправленном течении вниз скорость равна [14]:

$$v_H = - \left[\frac{2}{\rho_C} (g \cdot h \cdot \Delta\rho - \Delta p) \right]^{0.5}. \quad (3)$$

Для отношения плотности пожарной нагрузки 4 к 1 и горизонтального отверстия диаметром $D = 1$ м величина подъемной силы составляет 8,6 Па, скорость истечения 4 м/с, около 16 % скорости индуцируется разностью плотностей газов в горящем помещении, остальная часть – вытеснением.

При скорости потока близкой к нулю поверхность равных давлений раздела между горячим (снизу) и холодным (сверху) газом становится плоской и неустойчивой. Однонаправленное движение потока превращается в одновременное движение в двух направлениях, изменяющееся во времени и пространстве. В настоящее время отсутствуют методики достоверного определения величины h [14].

Известно только несколько количественных исследований истечения продуктов горения через горизонтальные проемы, в которых адекватно измерены давление и характеристики потока [15, 16]. Указанные исследования проведены для небольших (диаметр не более 5 см) отверстий, к которым присоединялись короткие трубопроводы. Отверстия в горизонтальных конструкциях обычно неправильной формы с отношением длина/диаметр приведенного отверстия не более 0,13.

Также проведены исследования [17-19] для помещений с отверстием в покрытии и расположением очага пожара под отверстием и у стены. В результате были получены данные о пожаре, которые неприменимы для использования в других случаях по причине отсутствия измерений давления и скорости потока.

Epstein (Эпштейн) и Kenton (Кентон) измеряли переход среды из нижней в верхнюю камеру с использованием жидкости в нижней камере и рассола (отношение плотностей не более 1,1) – в верхней. Было установлено, что в диапазоне $-0,045 \leq \Delta p / (\Delta\rho \cdot g \cdot D) \leq 0,045$ происходит движение потока в двух направлениях. В указанном диапазоне принята линейная зависимость. Результирующее значение расход q_m составит [15]:

при $\Delta p > 0,045 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot D$:

$$q_m = c \cdot D \cdot [2 \cdot \rho_H \cdot (\Delta\rho \cdot g \cdot D + \Delta p)]^{0.5}; \quad (4)$$

при $-0,045 \leq \Delta p / (\Delta\rho \cdot g \cdot D) \leq 0,045$ (двунаправленное движение потока):

$$q_{mU} = c \cdot D \cdot \sqrt{23,22 \cdot \rho_H \cdot (0,045 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot D + \Delta p)}; \quad (5)$$

$$q_{mD} = -c \cdot D \cdot \sqrt{23,22 \cdot \rho_C \cdot (0,045 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot D - \Delta p)}; \quad (6)$$

при $\Delta p < -0,045 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot D$:

$$q_m = -c \cdot D \cdot [2 \cdot \rho_C \cdot (\Delta\rho \cdot g \cdot D - \Delta p)]^{0,5}. \quad (7)$$

Уравнения описывают положительный восходящий поток через горизонтальный проем для всего диапазона давлений истечения.

В [20] указано, что в условиях наличия одного проема возрастает нестабильность направления движения потоков через проем, зависящее от отношения h/D высоты (толщины) проема и его диаметра.

При очень малой толщине проема давление на обеих сторонах проема практически одинаковое и устанавливается колебательный режим разнонаправленного движения потоков. На основе результатов исследований Эпштейн установил следующую эмпирическую зависимость для определения расхода воздуха через проем во всем диапазоне h/D для температуры внутри помещения T_i и снаружи T_u :

$$q = 0,055 \cdot \sqrt{D^5 \cdot g \left(\frac{T_i - T_u}{T_i} \right)} \frac{\left(1 + 400 \cdot \left(\frac{h}{D} \right)^3 \right)^{1/6}}{\left(1 + 0,00527 \cdot \left(1 + 400 \cdot \left(\frac{h}{D} \right)^3 \right)^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{h}{D} \right)^6 + 117 \cdot \left(\frac{h}{D} \right)^2 \right]^{3/4} \right)^{1/3}}. \quad (8)$$

Указанная зависимость была подтверждена на масштабных моделях Conover (Коновером) в 1995 году, а также Sandberg (Сандбергом) и Blomqvist (Блумквистом) в 2002 году, которые установили значения коэффициента от 0,035 до 0,047. Однако, в ряде полномасштабных экспериментов с воздухом, проведенных Влай (Блэй) и др. в 1998 году и Kohal (Кохалом) в 1994 году измеренные значения расхода воздуха для значений $h/A^{0,5}$ в диапазоне 0,4 и 1,4 были в 2-3 раза больше, чем рассчитанные по уравнению.

Ли (Ли) и другие исследователи в 2004, 2005 годах изучали параметры естественной вентиляции через горизонтальные проемы, расположенные с одной стороны, в полноразмерной лабораторной модели. Измерения проводились для отношения h/D от 0,115 до 4,455. Измеренные безразмерные расходы воздуха сравнивались с расчетными по уравнениям. В результате были получены уточненные зависимости, отличие которых от полученной Эпштейном представлено на рисунке 2.



Рисунок 2. – Измеренный безразмерный расход воздуха как функция h/D [20]

Также была предложена формула для определения разности давлений у горизонтального проема [20]:

$$\Delta P_T = \rho_u g \frac{T_i - T_u}{T_i} (H_T - H_0), \quad (9)$$

где ρ_u – плотность газа выше горизонтального проема;
 H_T – высота расположения горизонтального проема;
 H_0 – высота нейтральной зоны;

Однако результаты расчета по полученным экспериментальным низкотемпературным данным дали значения разности давлений порядка тысячных паскаля, что создает трудности по измерению указанных величин и вызывает сомнение в применимости указанной формулы для описания разности давлений при пожаре [20].

Теория Соорер (Купера) [21] не рассматривает влияние эффекта подъемной силы на вертикальный поток и была разработана до того, как Эпштейн получил данные исследования.

Для отверстий в горизонтальных конструкциях точность расчета неизвестна. Приведенные уравнения воспроизводят водно-рассольные эксперименты для малых отверстий, при этом погрешность эксперимента составляла около 10 %. Однако для реальных пожаров, ошибки, возможно, будут гораздо больше, вследствие неправильной и полностью неизвестной геометрии отверстия при, например, прогаре. Кроме этого, при расположении очага непосредственно под отверстием вертикальная скорость продуктов горения будет значительна.

Для более точного описания необходимы результаты полномасштабных экспериментов, определяющие влияние кругового перемещения газов при пожаре, большой разброс плотностей и большие значения чисел Рейнольдса [14].

В работе [22] представлены результаты экспериментального и численного исследования газообмена при наличии одного горизонтального и одного вертикального проема.

Визуализация процесса движения дыма при экспериментальных исследованиях [22] показала, что поток поступающего в помещение воздуха случаен, нестабилен и сложен. Скорость воздуха изменяется со временем по разным частям горизонтального проема. В этом случае, нестабильность и случайность двунаправленного движения происходит при большой площади горизонтального проема, и наблюдается относительно стабильно однонаправленное движение в небольшом вертикальном проеме.

При близкой площади горизонтального и вертикального проема происходит однонаправленное движение, как в вертикальном, так и в горизонтальном проеме. Было предложено три варианта сочетания движения потоков через горизонтальный и вертикальный проем, однако среди предложенных моделей не рассмотрен вариант двунаправленного движения потоков, как в горизонтальном, так и в вертикальном проеме.

Для исследованной модели установлено, что критические точки перехода между режимами движения расположены в областях отношения площади горизонтального проема к площади вертикального $0,25 < A_T/A_B < 0,33$ и $4,94 < A_T/A_B < 5,76$. Указано что в проведенных исследованиях преобладающим механизмом вентиляции является вытеснение. Однако в условиях пожара возникает интенсивное перемешивание слоев газа вследствие наличия турбулентности из-за присутствия нестабильного источника тепла – пламени, что также налагает ограничения по использованию полученных результатов при моделировании пожаров.

В [20] предложена формула для определения высоты нейтральной зоны:

$$H_0 = \frac{A_T^2 \cdot H_T + A_B^2 \cdot H_B}{A_T^2 + A_B^2}, \quad (10)$$

где H_0 – высота нейтральной зоны;
 H_T – высота расположения горизонтального проема;
 H_B – высота вертикального проема.

По результатам измерения расхода воздуха при температурно инициированном газообмене через два проема в диапазоне A_T/A_B от 0,11 до 25 получена уточненная эмпирическая формула для расчета расхода, установлена хорошая сходимость по результатам моделирования.

Следует отметить, что экспериментальные исследования [22] проводились при разнице температур 6,7; 8,9; 11,7 °С, а при пожарах разность температур между газовой средой внутри помещения и окружающей средой будет составлять сотни градусов, следовательно, прямое использование полученных результатов [22] для описания температурного режима пожара без проведения дополнительных исследований невозможно.

Для предварительной оценки влияния наличия горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении рассмотрим результаты моделирования с использованием FDS для административного помещения размером 8,5×9,3 м высотой 4,3 м. В помещении имеется один вертикальный дверной проем размером 1,0×2,1 м и два горизонтальных световых проема размером 1,5×1,5 м каждый. Помещение не оборудовано техническими средствами противопожарной защиты. Моделирование производилось для равномерно распределенной пожарной нагрузки, представленной сосновой древесиной (828 МДж/м²). Скорость распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки принята равной 0,02 м/с, удельная массовая скорость выгорания – 0,0185 кг·м⁻²·с⁻¹ [23]. Возгорание моделировалось в геометрическом центре пола помещения.

Анализ результатов (рисунок 3, 4) показывает практически идентичный начальный участок роста интенсивности тепловыделения, а соответственно и среднеобъемной температуры.

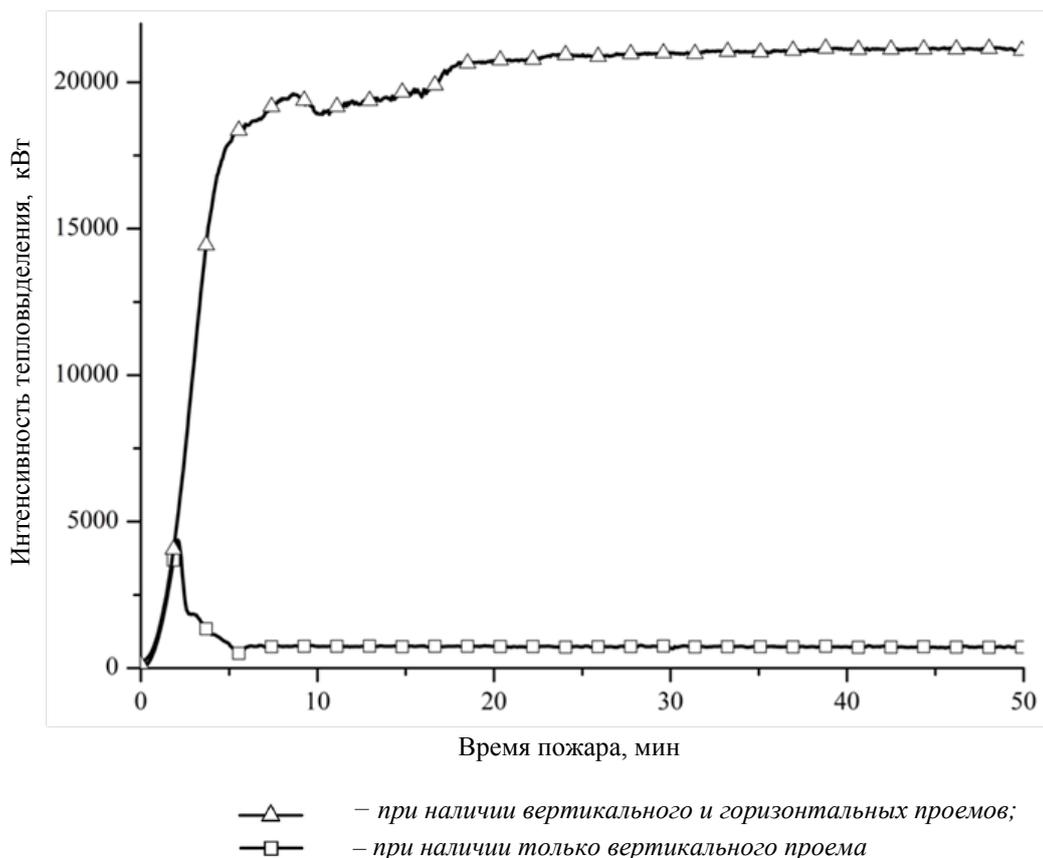
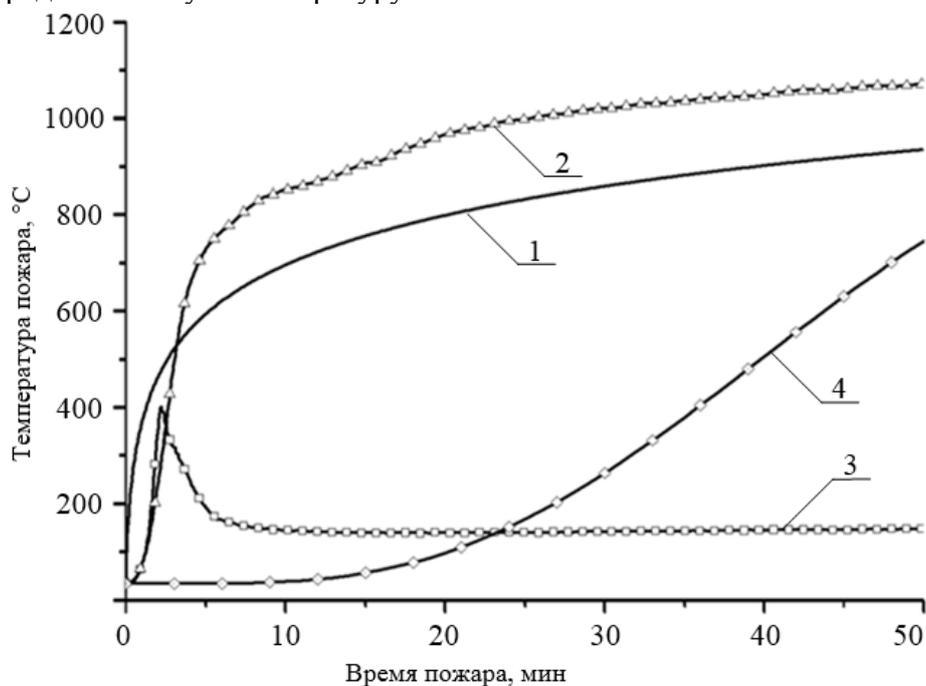


Рисунок 3. – Изменение интенсивности тепловыделения моделируемого с использованием FDS пожара в административном помещении для разного сочетания проемов

Этот начальный участок соответствует распространению горения по площади пожарной нагрузки, которое происходит при избытке кислорода воздуха без существенного газообмена со средой за пределами помещения. Далее начинает устанавливаться газообмен

с окружающей средой за пределами горящего помещения. При этом при наличии только вертикального проема горение переходит в стадию, характеризующуюся недостатком кислорода воздуха по причине двунаправленного движения в проеме и интенсивность тепловыделения (среднеобъемная температура) начинает снижаться. В случае наличия горизонтальных проемов вертикальный проем работает преимущественно на приток, а горизонтальные – на удаление продуктов горения, обеспечивая достаточный приток воздуха в зону горения и, как следствие, практически максимальную интенсивность выгорания пожарной нагрузки и среднеобъемную температуру.



1 – «стандартный» пожар; 2 – результаты моделирования с использованием FDS при наличии вертикального и горизонтальных проемов; 3 – результаты моделирования с использованием FDS при наличии только вертикального проема; 4 – результаты расчета по [3] при наличии только вертикального проема

Рисунок 4. – Изменение температуры моделируемого пожара в административном помещении для разного сочетания проемов

При этом, сравнивая результаты расчета по средним значениям с использованием формулы (2), установлено, что средняя скорость по результатам моделирования в горизонтальном проеме равна 10,99 м/с, что составило 125 % от расчетной по формуле (2). Расчетная высота нейтральной зоны по формуле (10) составила 3,9 м, по результатам моделирования (рисунок 5) – около 2-2,5 м (на уровне верхнего края вертикального проема), что свидетельствует о необходимости дополнительного изучения условий применения формулы (10) при инженерной оценке параметров пожара.

Анализ результатов моделирования с использованием FDS (рисунок 4), показывает существенное влияние горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении, что связано с условиями воздухообмена в помещении. При этом использование результатов ранее проведенных исследований (формулы (1)-(9)) напрямую для определения среднеобъемной температуры при пожаре проблематично по причине того, что в них входят величины, зависящие от температуры. Ручной пошаговый расчет нестационарных процессов тепло- и массообмена с учетом наличия горизонтальных проемов при проектировании и оценке огнестойкости строительных конструкций при пожаре характеризуется огромной трудоемкостью. Результат использования программных средств полевого моделирования пожаров также сильно зависит от квалификации пользователя, вычислительных мощностей, принятой точности сетки, допущений и упрощений модели.

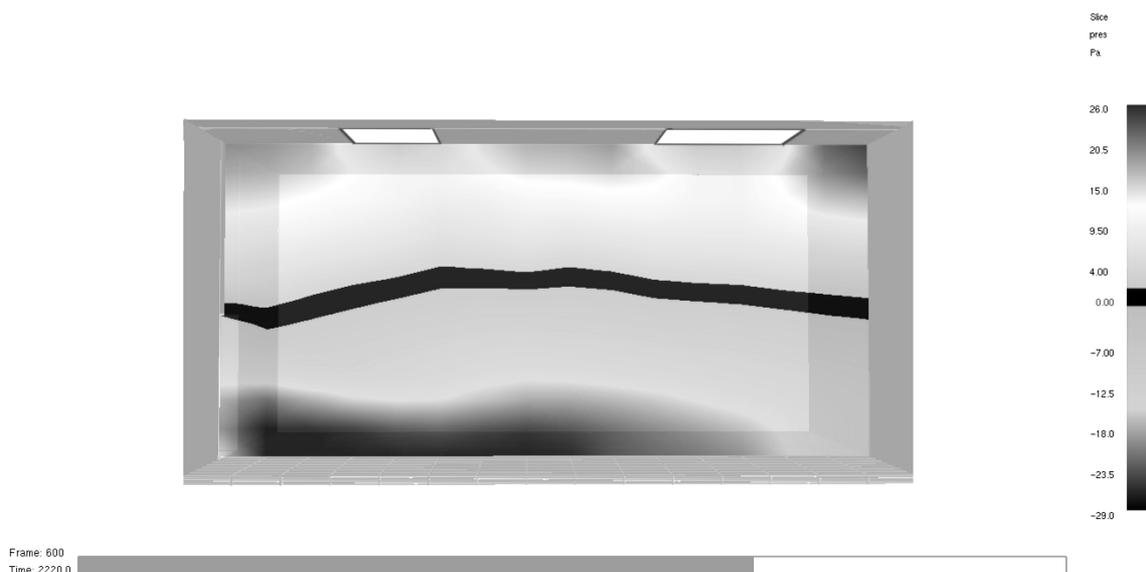


Рисунок 5. – Положение плоскости равных давлений моделируемого пожара в административном помещении с наличием горизонтальных проемов на 37 минуте горения

С учетом изложенного, можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствуют инженерные методики, базирующиеся на результатах исследований и позволяющие в достаточной мере оценить влияние проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на интегральные теплотехнические параметры объемного свободно развивающегося пожара в помещении.

С целью учета горизонтальных проемов предлагается при решении классических уравнений тепло- и массообмена дополнительно учитывать уменьшение площади тепло-воспринимающих поверхностей, конвективные теплопотери и потери излучением через горизонтальные проемы, а также возможное влияние горизонтальных проемов на величину критической пожарной нагрузки, критическую продолжительность пожара и скорость выгорания. Для этого планируется доработка алгоритма, приведенного в [6], его программная реализация и проверка работоспособности путем сопоставления результатов расчета с использованием усовершенствованного алгоритма с результатами экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ* // Полнотекстовая информационно-поисковая система «Строй-ДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Светопрозрачные конструкции. Организация мебельного и лесопильного производства // ООО «М8 Сити» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://m8city.by/projects/188/>. – Дата доступа: 01.07.2017.
3. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ. 28.04.10. // Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tnpa.by/ViewFileText.php?UrlRid=106043&UrlOnd=%D1%D2%C1%2011.05.03-2010>. Дата доступа: 01.07.2017.
4. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ Р 12.3.047. – Введ. 01.01.14. – М.: ФГБУ «ВНИИПО» МЧС России, 2014. – 66 с.
5. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения. Рекомендации – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988 – 56 с.

6. Руководство по расчету температурного режима пожара в помещениях жилых зданий / И.С. Молчадский [и др.]. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983. – 49 с.
7. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: ТКП EN 1991-1-2-2009 // Полнотекстовая информационно-поисковая система «Строй-ДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Шебеко, Ю.Н. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении / Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 31-39.
9. Кураченко, И.Ю. Анализ подходов к определению приведенной высоты проемов при расчете температурного режима пожара / И.Ю. Кураченко, С.М. Жамойдик, А.Г. Немурова // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 1 (37). – С. 79-86.
10. Supplementary reports of work for the C.I.B. international co-operative research program on fully-developed fires: Fire Research Note № 923 / A.J.M. Heselden [et al.] // Fire research station [Electronic resource]. – BRE Trust: Borehamwood, Hertfordshire, 1972. – 254 p., available at: http://www.iafss.org/publications/frn/923/-1/view/frn_923.pdf. (accessed: July 01, 2017).
11. Yii, E.H. Modelling the effects of fuel types and ventilation openings on post-flashover compartment fires: PhD in fire eng. thesis / E.H. Yii. – New Zealand: Univ. of Canterbury Christchurch, 2002. – 328 p.
12. Lia, Q. Influence of roof opening on gas temperature rise in an enclosure / Q. Lia, J. Zhanga, S. Lua // ScienceDirect [electronic resource] : The 9th Asia-Oceania Symp. on Fire Science and Technology, China, Hefei, 17–20 oct. 2012; ed.: Naian Liu. – Hefei, 2013. – Vol. 62. – P. 194–201., available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581301237X>. (accessed: July 01, 2017)
13. Heselden, A.J.M. Fire problems of pedestrian precincts. Part 2. Large-scale experiments with a shaft vent: Fire Research Note № 954 / A.J.M. Heselden, H.G.H. Wraight, P.R. Watts // Department of the environment and fire offices' committee Joint fire research organization [Electronic resource]. – BRE Trust, 1972. – 54 p., available at: http://www.iafss.org/publications/frn/954/-1/view/frn_954.pdf. (accessed: July 01, 2017)
14. Handbook of fire protection engineering / Philip J. DiNenno [et al.]. – 3rd ed. – Quincy, MA: NFPA, SFPE, 2002. – 1604 p.
15. Epstein, M. Combined natural convection and forced flow through small openings in a horizontal partition, with special reference to flows in multicompartment enclosures / M. Epstein, M.A. Kenton // Journal of Heat Transfer – 1989. – Vol. 111. No. 4. – Pp. 980-987.
16. Flow through horizontal vents as related to compartment fire environments: Report / National inst. of standards and technology; Q. Tan, Y. Jaluria. – Gaithersburg, MD, 1992. – 104 p. – № NIST-GCR-92-607.
17. Than, C.F. Modeling fire behavior in an enclosure with a ceiling vent / C.F. Than, B.J. Savelonis // Fire safety journal – 1993. – № 20(2). – Pp. 151-174.
18. Use of a zone model for validation of a horizontal ceiling/floor vent algorithm: Report / Naval research lab; J.L. Bailey, F.W. Williams, P.A. Tatem. – Washington, DC, 1991. – 42 p. – № 6811.
19. Fire in a roof-ventilated room: Report / Nat. Defense Research Inst.; R. Jansson, B. Onnermark, K. Halvarsson. – Stockholm, 1986. – 145 p. – № C 20606-D6.
20. Heiselberg, P. Modelling of natural and hybrid ventilation: DCE Lecture Notes №4 / P. Heiselberg // Aalborg Univ.: Department of civil eng. [Electronic resource]. – Aalborg, 2006, available at: [http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation\(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541).html). (accessed: July 01, 2017)
21. Cooper, L.Y. Calculation of the flow through a horizontal ceiling floor vent / L.Y. Cooper. – Gaithersburg, MD: National inst. of standards and technology, 1989. – 25 p.
22. Li, Z. Characteristics of buoyancy driven natural ventilation through horizontal openings: PhD in fire eng. thesis / Z. Li. – Aalborg, 2007. – 118 p.
23. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF EVALUATING THE INFLUENCE OF THE HORIZONTAL OPENINGS IN THE SEPARATING STRUCTURES ON THE FIRE TEMPERATURE IN THE COMPARTMENT

Aliaksandr Ivanitski, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Aliona Barsukova

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to analysis of experimental study and evaluation of the influence of the horizontal opening on the temperature of the fire in the compartment. The limitations of the previous scientific results in modeling fires are shown.

Methods. Compartment having both vertical and horizontal openings. To analyze the difference in fire temperature in the compartment Fire Dynamic Simulator has been used.

Findings. An analysis of literature sources and modeling of wood burning in an administrative compartment for evaluating the influence of the horizontal opening on the temperature of the fire in the compartment. A significant effect of ventilation through horizontal openings on the fire temperature is detected. Modification of the algorithm used in the development of the calculation methodology is suggested.

Application field of research. The results can be applied in calculating the compartment fire temperature taking into account the horizontal openings.

Conclusions. Horizontal openings have a significant influence on the fire temperature and should not be ignored during the calculation. It is necessary to revise the calculation algorithm used in the STB 11.05.03 methodology.

Keywords: calculation, fire temperature, integral model, horizontal opening, algorithm.

(The date of submitting: September 6, 2017)

REFERENCES

1. Technical Regulation TR 2009/013/BY* *Zdaniya i sooruzheniya, stroitel'nye materialy i izdeliya. Bezopasnost'* [Buildings and structures, constructional materials and units. Safety]. The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT» [Electronic resource]. Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
2. *Svetoprozrachnyye konstruksii. Organizatsiya mebel'nogo i lesopil'nogo proizvodstva* [Translucent constructions. Organizing of sawmill and cabinet making]. LLC «M8 City». 2017, available at: <http://m8city.by/projects/188/>. (accessed: July 01, 2017) (rus)
3. Standard STB 11.05.03-2010 *Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Metody otsenki i analiza pozharnoy opasnosti. Obshchie trebovaniya* [System of fire safety standards. Fire safety in industrial processes. Methods of evaluation and analysis of fire hazard. General requirements]. Affirmed 28.04.2010. State Council for standardization of the Republic of Belarus, available at: <http://tnpa.by/ViewFileText.php?UrlRid=106043&UrlOnd=%D1%D2%C1%2011.05.03-2010> (accessed: July 01, 2017) (rus)
4. Standard GOST R 12.3.047 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya* [System of labor safety standards. Fire safety in industrial processes. Methods of evaluation and analysis of fire hazard. General requirements. Control methods]. Affirmed 01.01.2014. Moscow: FSBA «VNIPO» MES of Russia, 2014. 66 p. (rus)
5. *Metody rascheta temperaturnogo rezhima pozhara v pomeshcheniyakh zdaniy razlichnogo naznacheniya. Rekomendatsii* [Calculation methods of fire temperature in enclosures of functional buildings. Recommendations]. Moscow: VNIPO MIA USSR, 1988. 56 p. (rus)
6. Molchadskiy I. *Rukovodstvo po raschetu temperaturnogo rezhima pozhara v pomeshcheniyakh zhilykh zdaniy* [Guide for calculation of fire temperature in rooms of residential buildings]. Moscow: VNIPO MIA USSR, 1983. 49 p. (rus)
7. Evrokod 1. *Vozdeystviya na konstruksii. Chast' 1-2. Obshchie vozdeystviya. Vozdeystviya dlya opredeleniya ognestoykosti* [TKP EN 1991-1-2-2009. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire]. The full-text information retrieval system «Stroy-

- DOKUMENT» [Electronic resource]. Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
8. Shebeko Yu., Shebeko A., Gordienko D. Raschetnaya otsenka ekvivalentnoy prodolzhitel'nosti pozhara dlya stroitel'nykh konstruktsey na osnove modelirovaniya pozhara v pomeshchenii [Effective estimation of equivalent fire duration for building structure on the basis of fire modeling in enclosure]. *Fire safety*. 2015. No. 1. Pp. 31-39. (rus)
 9. Kurachenko I., Zhamoydik S., Nemurova A. Analiz podkhodov k opredeleniyu privedennoy vysoty proemov pri raschete temperaturnogo rezhima pozhara [Analysis of approaches to determining the weighted average of openings heights in calculating of the fire temperature]. *Chrezvychaynst situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and elimination]. 2015. No. 1 (37). Pp. 79-86. (rus)
 10. Heselden A.J.M. et al. *Supplementary reports of work for the C.I.B. international co-operative research program on fully-developed fires*: Fire Research Note No. 923 Fire research station. – BRE Trust: Borehamwood, Hertfordshire, 1972. 254 p., available at: http://www.iafss.org/publications/frn/923/-1/view/frn_923.pdf, (accessed: July 01, 2017) (rus)
 11. Yii, E.H. *Modelling the effects of fuel types and ventilation openings on post-flashover compartment fires*: PhD in fire eng. thesis E.H. Yii. – New Zealand: Univ. of Canterbury Christchurch, 2002. 328 p.
 12. Lia Q., Zhanga J., Lua S. Influence of roof opening on gas temperature rise in an enclosure ScienceDirect. *The 9th Asia-Oceania Symp. on Fire Science and Technology*, China, Hefei, 17–20 oct. 2012; ed.: Naian Liu. Hefei, 2013. Vol. 62. Pp. 194–201, available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581301237X>. (accessed: July 01, 2017)
 13. Heselden A.J.M., Wraight H.G.H., Watts P.R. Fire problems of pedestrian precincts. Part 2. Large-scale experiments with a shaft vent: Fire Research Note №954. *Department of the environment and fire offices' committee Joint fire research organization*. BRE Trust, 1972. 54 p. available at: http://www.iafss.org/publications/frn/954/-1/view/frn_954.pdf, (accessed: July 01, 2017)
 14. Philip J., DiNenno et al. *Handbook of fire protection engineering*. 3rd ed. – Quincy, MA: NFPA, SFPE, 2002. 1604 p.
 15. Epstein M., Kenton M.A. Combined natural convection and forced flow through small openings in a horizontal partition, with special reference to flows in multicompartment enclosures. *Journal of Heat Transfer*, 1989. Vol. 111. No.4. Pp. 980-987.
 16. Tan Q., Jaluria Y. *Flow through horizontal vents as related to compartment fire environments*: Report National inst. of standards and technology. Gaithersburg, MD, 1992. 104 p. No. NIST-GCR-92-607.
 17. Than C.F., Savelonis B.J. Modeling fire behavior in an enclosure with a ceiling vent. *Fire safety journal*, 1993. Vol. 20. No. 2. Pp. 151-174.
 18. Bailey J.L., Williams F.W., Tatem P.A. *Use of a zone model for validation of a horizontal ceiling/floor vent algorithm*: Report Naval research lab. Washington, DC, 1991. 42 p. No. 6811.
 19. Jansson R., Onnermark B., Halvarsson K. *Fire in a roof-ventilated room*: Report at. Defense Research Inst. Stockholm, 1986. 145 p. No. C 20606-D6.
 20. Heiselberg P. Modelling of natural and hybrid ventilation: DCE Lecture Notes No 4. *Aalborg Univ.: Department of civil eng.* Aalborg, 2006, available at: [http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation\(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541).html). (accessed: July 01, 2017)
 21. Cooper L.Y. *Calculation of the flow through a horizontal ceiling floor vent*. Gaithersburg, MD: National inst. of standards and technology, 1989. 25 p.
 22. Li Z. *Characteristics of buoyancy driven natural ventilation through horizontal openings*: PhD in fire eng. thesis. Aalborg, 2007. – 118 p.
 23. Ivannikov V., Klyus P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara*. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 p. (rus)