

4188-ВЛ-1.50

## **Руководство по валидации модели «СИТИС: ВИМ»**

**17 апреля 2011 г.**

## **Аннотация**

Данный документ является первой версией руководства по валидации модели пожара, реализованной в программе «СИТИС: ВИМ».

В документе приведены описания экспериментов, выполненных различными институтами и организациями, и сравнения результатов этих экспериментов с расчётами, выполненными в «СИТИС: ВИМ».

Сравнение данных и корректировка модели производились на основании показателей среднеобъёмной температуры воздуха в помещениях. Работа по валидации программы относительно содержания кислорода, дальности видимости и других опасных факторов пожара запланирована на ближайшее время.

## **Версии программы**

Данное руководство по валидации программы применимо к версиям программы «СИТИС: ВИМ», начиная с «СИТИС: ВИМ 1.40».

## **Ключевые слова**

Интегральная модель, валидация, эксперимент, опасные факторы пожара, технический регламент, пожарная безопасность, сценарий пожара, СИТИС: ВИМ.

## **Сведения о разработчиках**

Карькин И.Н., к.ф.-м.н., директор ООО «СИТИС»

Карпова О.В., аналитик ООО «СИТИС»

Контарь Н.А., инженер ООО «СИТИС»

Субачев С.В., разработчик ООО «СИТИС»

## **Авторское право**

© ООО «СИТИС», 2011 г.

ООО «СИТИС» предоставляет право бесплатного распечатывания, копирования, тиражирования и распространения этого документа в сети Интернет и локальных и корпоративных сетях обмена электронной информацией. Не допускается взимание платы за предоставление доступа к этому документу, за его копирование и распечатывание. Не разрешается публикация этого документа любым другим способом без письменного согласия ООО «СИТИС».

## Содержание

<b>1. Термины, определения и сокращения.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Назначение программы.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Математические модели, используемые в программе.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Область применения.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Существенные параметры .....</b>	<b>6</b>
5.1. Геометрия.....	6
5.2. Мощность пожара .....	6
5.3. Прорѐмность и вентиляция .....	7
5.4. Теплообмен .....	7
5.5. Точность модели ВИМ.....	7
<b>6. Описание испытаний .....</b>	<b>8</b>
6.1. Общие сведения .....	8
6.2. Испытания «УТБ-ЗБМК» .....	8
6.3. Серия испытаний «NBS_Multi-Room» .....	11
6.4. Серия испытаний «WTC_Spray_Burner» .....	12
6.5. Серия испытаний «ATF_Corridors» .....	13
6.6. Эксперимент «The Dalmarnock Fire Tests» .....	14
<b>7. Сравнение результатов и краткие выводы.....</b>	<b>15</b>
7.1. Испытания «УТБ-ЗБМК» .....	15
7.2. Серия испытаний «NBS_Multi-Room» .....	16
7.3. Серия испытаний «WTC_Spray_Burner» .....	18
7.4. Серия испытаний «ATF_Corridors».....	19
7.5. Эксперимент «The Dalmarnock Fire Tests» .....	22
<b>8. Выводы и заключение.....</b>	<b>24</b>
<b>9. Список литературы .....</b>	<b>25</b>

## **1. Термины, определения и сокращения**

- 1.1. Валидация (*validation*) – процесс определения правильности допущений и основных уравнений метода, процесс определения того, насколько метод расчёта является точным отражением реального мира;
- 1.2. ВИМ – вероятностная интегральная модель пожара;
- 1.3. ОФП – опасные факторы пожара;
- 1.4. Фиктивные проёмы – проёмы, которыми согласно методике [8, прил. 6, II] помещение, имеющее один из линейных размеров, более чем в пять раз превышающий хотя бы один из двух других линейных размеров, разделяется на соизмеримые между собой участки.

## **2. Назначение программы**

- 2.1. Программа «СИТИС: ВИМ» предназначена для расчета динамики развития опасных факторов пожара по интегральной модели согласно Приложению 6 «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [8].
- 2.2. Кроме этого, программа может быть использована:
- 2.3. при выборе оптимальных объемно-планировочных решений зданий и вариантов их противопожарной защиты;
- 2.4. при подготовке документов предварительного планирования действий по тушению пожара и оценке действий руководителя тушения уже произошедших пожаров;
- 2.5. при проведении противопожарных инструктажей, агитационных бесед и учебных занятий на предприятиях, планировании эвакуации и совместных с пожарной охраной действий по тушению пожара и т.п.

## **3. Математические модели, используемые в программе**

- 3.1. «СИТИС: ВИМ» разработана на основе интегральной математической модели пожара, описывающей изменение среднеобъемных параметров состояния газовой среды в помещении в процессе развития пожара, которая впервые была сформулирована в 1976 году д.т.н., профессором Ю.А. Кошмаровым [6; 8, прил. 6; 9].
- 3.2. Основные уравнения модели получены из уравнений сохранения массы и энергии для открытой термодинамической системы.
- 3.3. Для определения газообмена между помещениями и моделирования на его основе распространения продуктов горения по зданию в целом здание заменяется гидравлической схемой – графом, узлы которого моделируют помещения здания, а ветви – связи между ними (проёмы), через которые осуществляется движение воздуха и продуктов горения [4; 5].
- 3.4. Дифференциальные балансовые уравнения и система уравнений, описывающая газообмен в соответствии с гидравлической схемой здания, решаются численно с применением метода секущих и метода итераций.
- 3.5. Расчет площади пожара в каждый момент времени производится с помощью вероятностной модели распространения пожара по площади, разработанной в 2008 году к.т.н. С.В. Субачевым [10; 11], позволяющей моделировать не только круговое и линейное распространение пожара, но и произвольное, определяемое расположением и формой площади, занятой горючей нагрузкой, её характеристиками, формой помещения, наличием противопожарных преград и др.

- 3.6. Локальные значения опасных факторов пожара на уровне рабочей зоны определяются исходя из распределения их величин по высоте помещения, полученного Т.Г. Меркушкиной, Ю.С. Зотовым и В.Н. Тимошенко, которое представлено в формуле (29) приложения 2 [3].

## **4. Область применения**

- 4.1. Результаты, получаемые с помощью интегральной модели пожара, могут быть практически значимыми в том случае, когда газовую среду с достаточной степенью достоверности можно считать однородной, т.е. когда при пожаре в помещении существует хорошее перемешивание продуктов горения и поступающего воздуха, а горение происходит во всем объеме помещения. Такое состояние характерно для объемных пожаров в развивающейся, развитой и затухающей стадиях в условиях горения распределенной пожарной нагрузки [2].
- 4.2. В соответствии с методикой [8] интегральный метод описания пожара в здании может быть применен:
- 4.3. для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;
- 4.4. для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой – линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз (для помещения, один из линейных размеров которого более чем в пять раз превышает хотя бы один из двух других линейных размеров, необходимо это помещение делить на участки, размеры которых соизмеримы между собой, и рассматривать участки как отдельные помещения, сообщающиеся проёмами, площадь которых равна площади сечения на границе участков);
- 4.5. для предварительных расчётов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара.

## **5. Существенные параметры**

### **5.1. Геометрия**

- 5.1.1. В рассчитываемой модели помещения должны быть простой геометрической конфигурации относительно небольшого объема, в которых газовую среду можно считать однородной. Помещения должны представляться прямоугольными призмами с соизмеримыми размерами или с достаточной достоверностью представляться такими помещениями.
- 5.1.2. В помещениях не должно быть крупных выступающих частей, препятствующих перемешиванию продуктов горения в объеме помещения.
- 5.1.3. Не рекомендуется выполнять расчеты с помощью интегральной модели, если требуется определить время блокирования для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в помещениях большой высоты (более 6 метров).

### **5.2. Мощность пожара**

- 5.2.1. «СИТИС: ВИМ» включает в себя модель распространения пожара по площади, учитывающую не только расположение горючей нагрузки и противопожарных преград на плане, но и позволяющую определить площадь пожара при наличии в помещении одновременно нескольких видов горючей нагрузки и источников зажигания. Эти характеристики оказывают существенное влияние на динамику развития пожара.
- 5.2.2. На скорость тепловыделения значительно влияет содержание кислорода в помещении.

- 5.2.3. При моделировании горения очень большой мощности (2 МВт и более) с большой долей тепла, рассеиваемого в виде излучения (например, горение газовой струи) модель теплообмена с ограждающими конструкциями становится неприменимой, что приводит к большим погрешностям.

### **5.3. Прѐмность и вентиляция**

- 5.3.1. Каждое помещение должно иметь связь с атмосферой — прямую или опосредованную, через смежные помещения. Обычно в качестве связи с атмосферой выступают наружные двери, окна.
- 5.3.2. В рамках интегрального подхода к описанию развития пожара совокупность помещений в здании представляет собой открытую термодинамическую систему. Поэтому для получения наиболее достоверных результатов пользователям настоятельно рекомендуется включать все имеющиеся проѐмы в расчѐт.
- 5.3.3. Кроме того, при малом коэффициенте проѐмности значительно увеличивается количество итераций в вычислениях, что приводит к увеличению длительности расчѐта.
- 5.3.4. Помимо естественной вентиляции модель учитывает работу принудительной приточной и (или) вытяжной вентиляции, что также оказывает существенное влияние на результаты вычислений.

### **5.4. Теплообмен**

- 5.4.1. На среднеобъѐмную температуру воздуха в помещениях (в первую очередь) и другие ОФП существенно влияют характеристики ограждающих конструкций, определяющие интенсивность теплообмена их с воздухом.

### **5.5. Точность модели ВИМ**

- 5.5.1. В общем случае точность модели зависит от её предполагаемого использования. Также она сильно зависит от точности и детальности задания входных данных.
- 5.5.2. В значительной степени на точность результатов моделирования влияет установленная в настройках программы допустимая погрешность вычислений материального и энергетического баланса.
- 5.5.3. Исследования показывают, что предсказания модели обычно находятся в пределах 10-25% от результатов экспериментов для ряда сценариев. В основном этого достаточно для расчѐтов в области пожарной безопасности и оценки пожарного риска.

## 6. Описание испытаний

### 6.1. Общие сведения

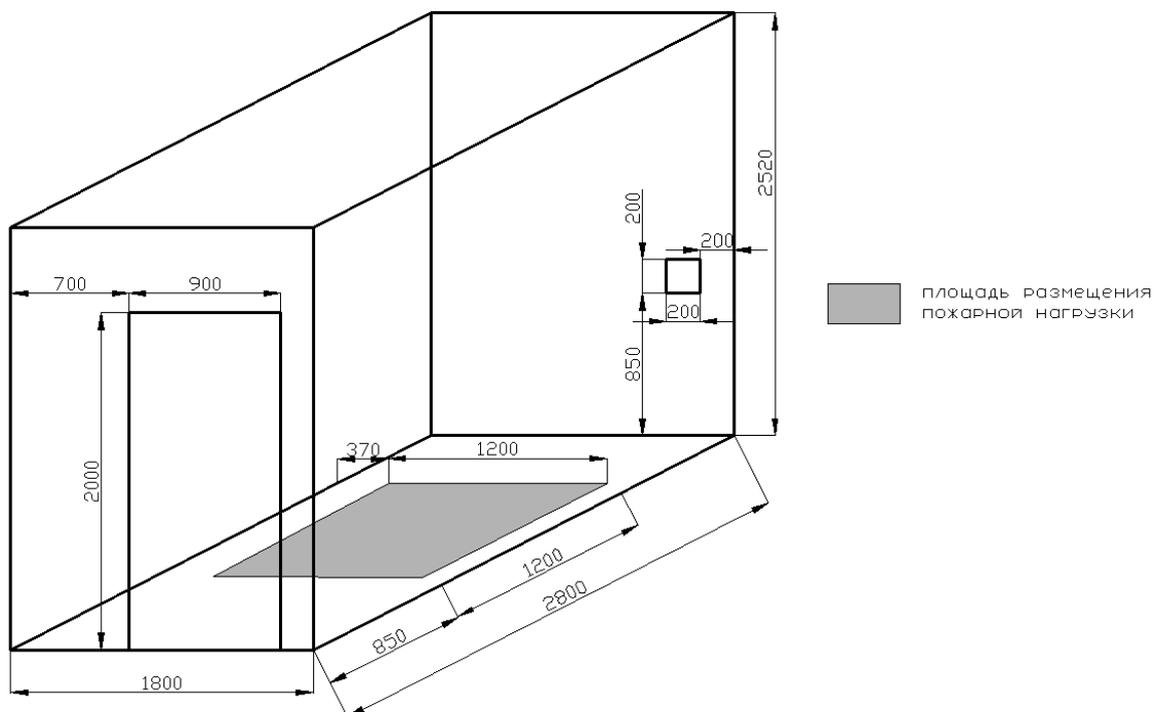
- 6.1.1. В данной главе описаны эксперименты, применявшиеся для оценки модели ВИМ.
- 6.1.2. Для сравнения отобраны результаты различных натуральных экспериментов, проводимых научно-исследовательскими институтами и лабораториями США, которые приведены в документации по валидации полевой модели FDS (*Fire Dynamics Simulator*) [12], экспериментов, проводимых группой учёных Эдинбургского университета [13], а также собственных экспериментов.
- 6.1.3. Были отобраны те эксперименты, которые входят в область определения интегральной модели пожара.

### 6.2. Испытания «УТБ-ЗБМК»

- 6.2.1. Данные испытания проводились ООО «СИТИС» совместно с Уральским институтом ГПС МЧС России с целью проверки соответствия устройств транспортабельных блочных УТБ-ЗБМК требованиям ТУ 5363-001-76506475-2005 (предел огнестойкости наружных элементов R90).
- 6.2.2. Испытанию подвергался объект, представляющий собой мобильное сооружение контейнерного типа. Сооружения данного типа применяются при строительстве и реконструкции энергетических объектов, строительстве и ремонте дорог, в лесозаготовительном производстве, нефтегазодобывающей и горнодобывающей промышленности, а также на других объектах, связанных с вахтовым режимом работы. В них могут размещаться производственные, складские, вспомогательные и жилые помещения. Конструкция «объекта» представляет собой жесткий металлический каркас, основание и кровля которого заполнены утеплителем (плитами из минеральной ваты). В качестве ограждающих конструкций стен применяют трехслойные панели с теплоизоляционным слоем. УТБ-ЗБМК имеет внутренние размеры 1,8х2,8х2,5 м. В объекте испытаний предусмотрена вентиляция:



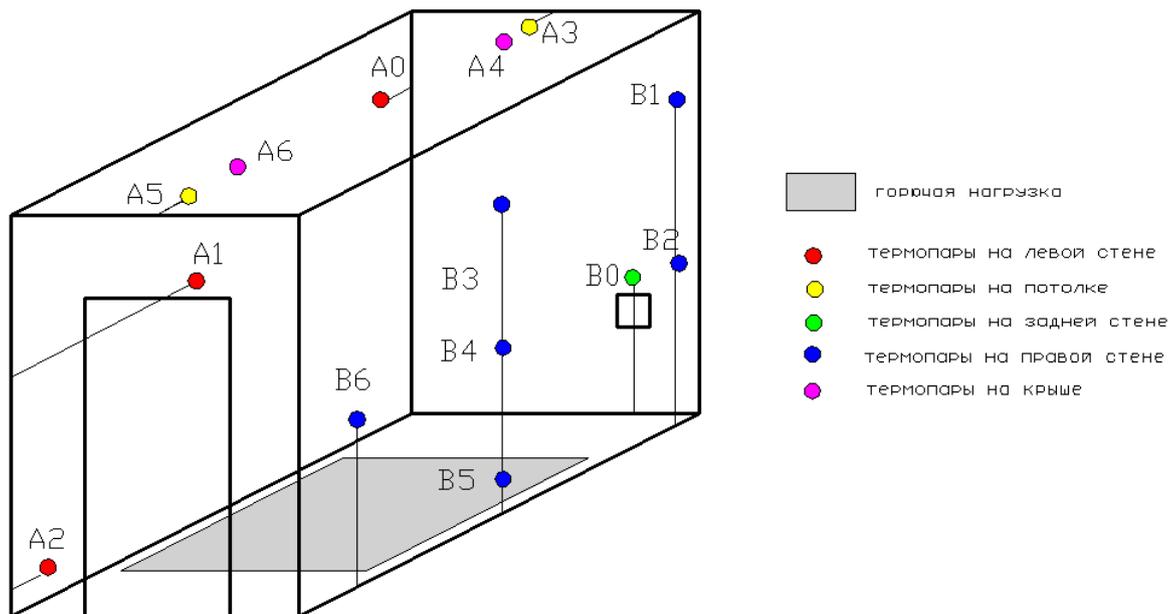
- 6.2.3. Ограждающие и кровельные конструкции состоят из «сэндвич-панелей» толщиной 120 мм, прикрепленных к каркасу самонарезающими винтами. Внешняя и внутренняя поверхности «сэндвич-панелей» – профилированная тонколистовая оцинкованная сталь толщиной 0,7 мм с защитным полимерным покрытием.
- 6.2.4. Дверной проём размерами 0,9х2 м и отверстие вентиляции размерами 0,1х0,1 м (общая площадь отверстий 1,81 кв.м.), открываются через 240 секунд после начала испытания:



- 6.2.5. Горючая нагрузка представляет собой «поленницу» из сосновых брусков размерами 110х4х7см, влажностью 6-12% и бензин (6 л). Средняя масса бруска 1,5 кг. Бруски расположены штабелем из 24 рядов по 10 брусков в каждом, итого 240 брусков, 360 кг. Высота штабеля 90 см. Штабель поднят на кирпичах на 44 см над полом:



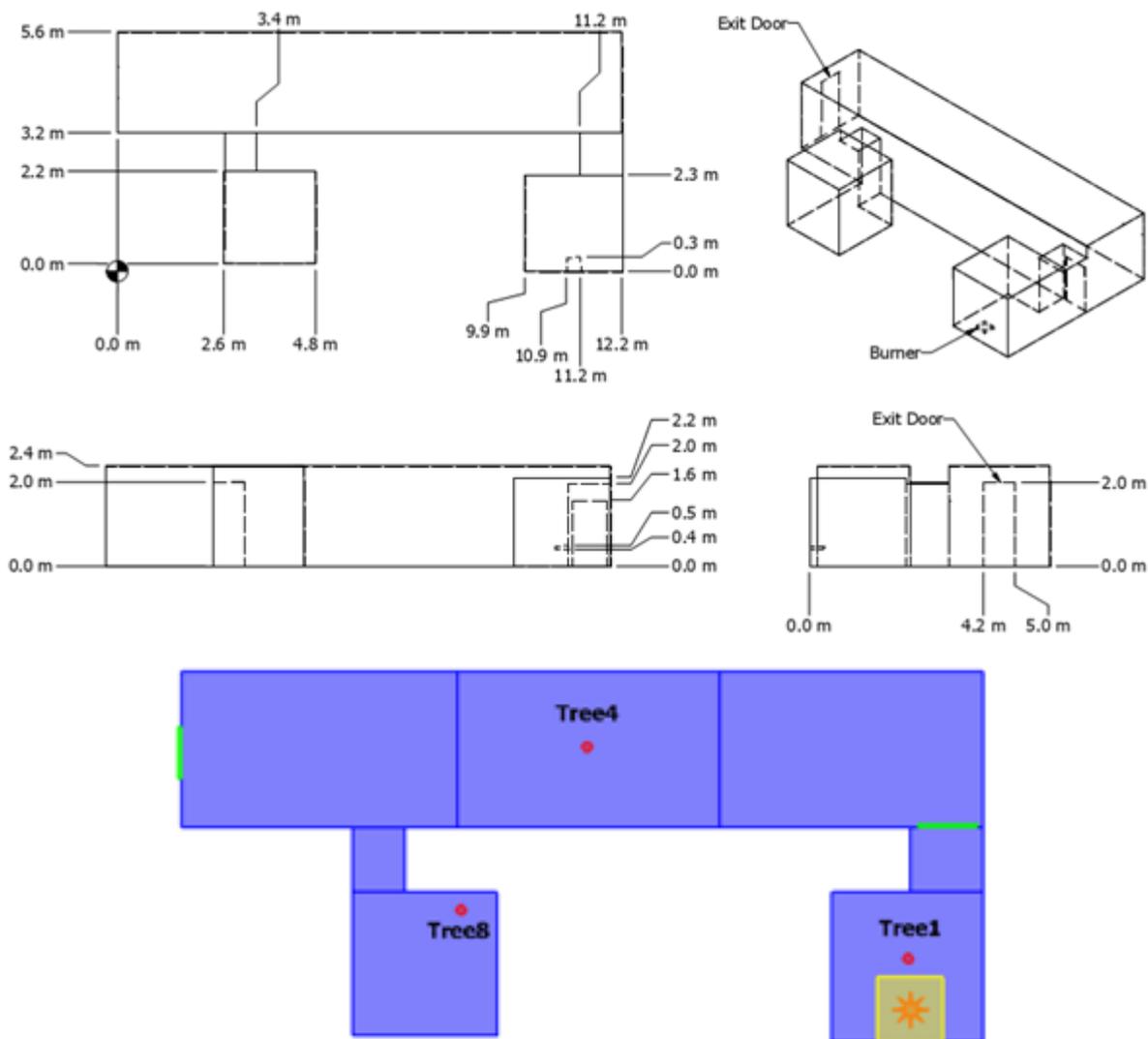
6.2.6. Термопары, расположенные внутри объекта автоматически фиксировали температуру каждые 1,8 секунды. Расположение термопар представлено на рисунке:



6.2.7. Среднеобъёмное значение температуры определялось путём интегрирования показаний термопар по высоте.

### 6.3. Серия испытаний «NBS\_Multi-Room»

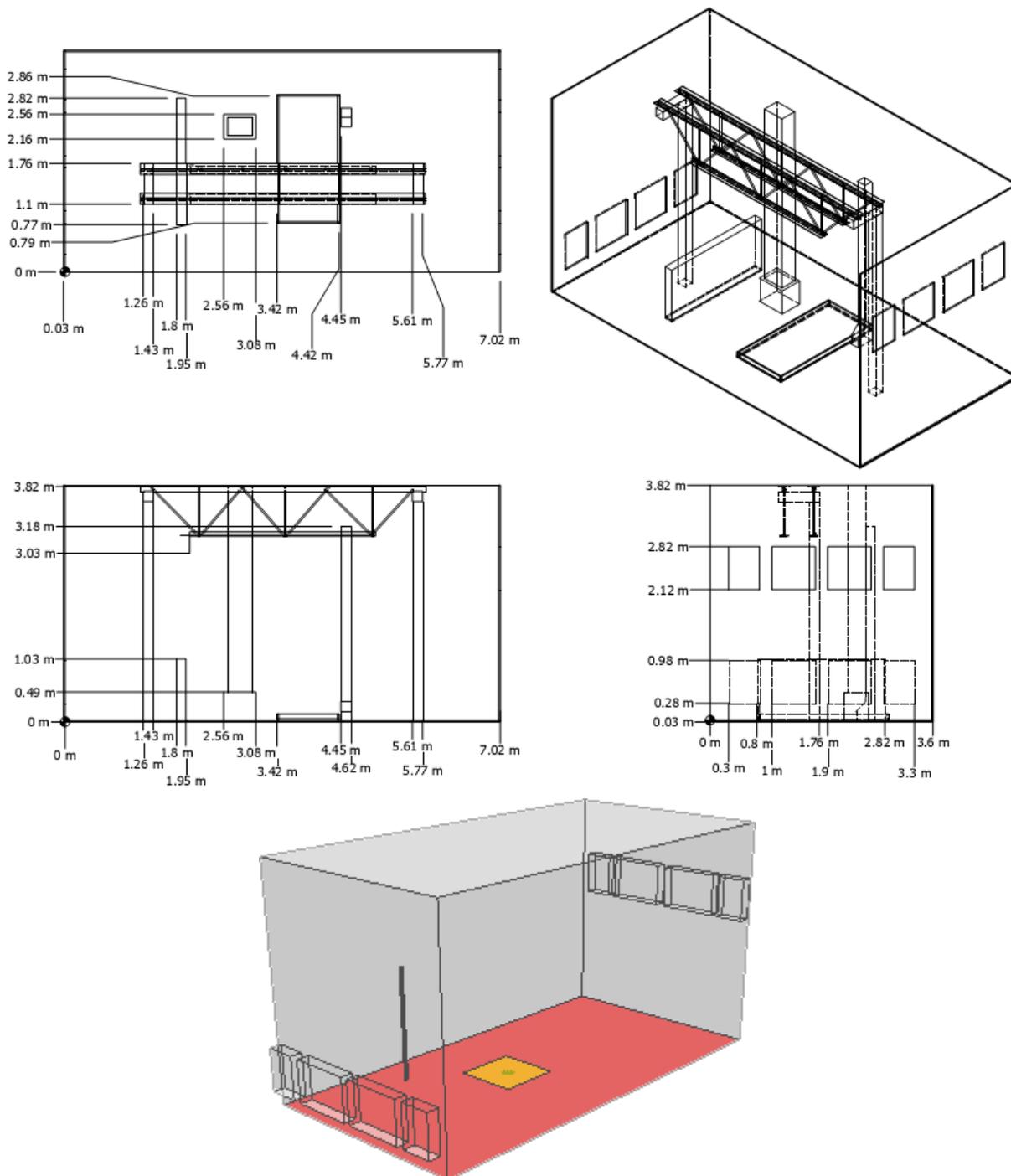
- 6.3.1. Эксперименты «NBS\_Multi-Room» были проведены Национальным бюро стандартов (ныне Национальный институт стандартов и технологий) США.
- 6.3.2. Испытательный стенд состоял из двух помещений, соединенных между собой коридором, имеющим один выход наружу. Источник тепловыделения (газовая горелка) мощностью 100 кВт, располагался в дальнем от выхода помещении.
- 6.3.3. Схема стенда «NBS\_Multi-Room» и вид его модели в BIM:



- 6.3.4. Замер температуры производился с помощью нескольких шлейфов термомпар (по 10 шт. равномерно распределенных по высоте в каждом).
- 6.3.5. Среднеобъемное значение температуры определялось путём интегрирования показаний термомпар в шлейфе по высоте. Для сравнения были выбраны те шлейфы, в местах расположения которых температура распределяется по высоте наиболее равномерно (исключены шлейфы, расположенные в дверных проёмах и т.п.): Tree1, Tree4, Tree8.

#### 6.4. Серия испытаний «WTC\_Spray\_Burner»

- 6.4.1. Эксперименты «WTC\_Spray\_Burner» были проведены в Национальном институте стандартов и технологий США (лаборатория «Building and Fire Research Laboratory»).
- 6.4.2. Испытательный стенд представлял собой помещение с вентиляционными проёмами, газовой горелкой и различным кабельным оборудованием, которое тестировалось на предел огнестойкости.
- 6.4.3. Схема стенда и вид его модели в BIM:

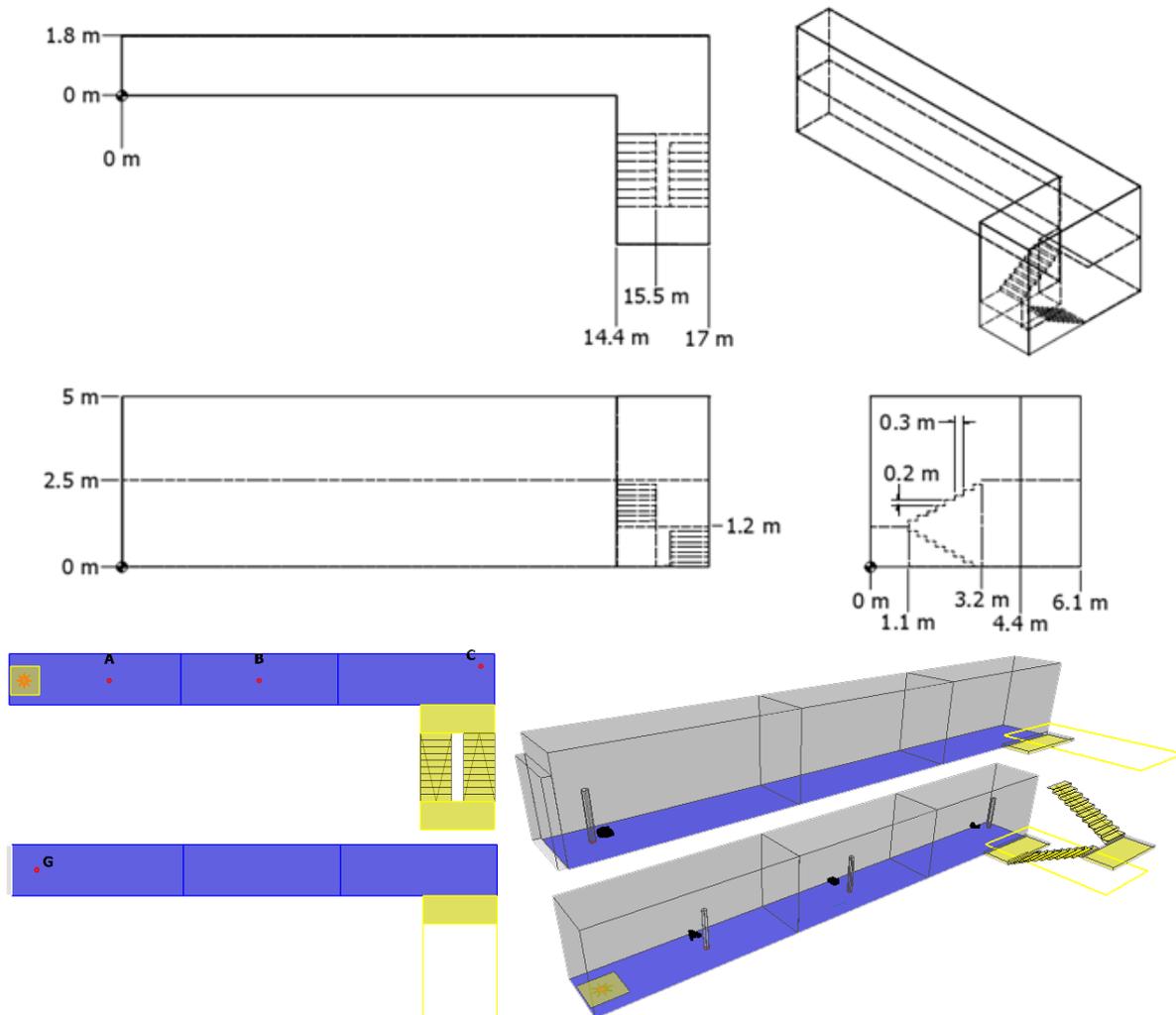


- 6.4.4. Замер температуры производился с помощью двух шлейфов термопар, расположенных с двух сторон от газовой горелки.
- 6.4.5. Среднеобъёмное значение температуры определялось путём интегрирования показаний термопар в шлейфе по высоте.

## 6.5. Серия испытаний «ATF\_Corridors»

6.5.1. Испытательный стенд состоял из двух коридоров, соединённых между собой лестничной клеткой. Выход наружу располагался в верхнем коридоре, в дальней от лестницы стороне. Источник тепловыделения мощностью 50, 250 или 500 кВт располагался в той же части нижнего коридора.

6.5.2. Схема стенда и вид его модели в ВИМ:

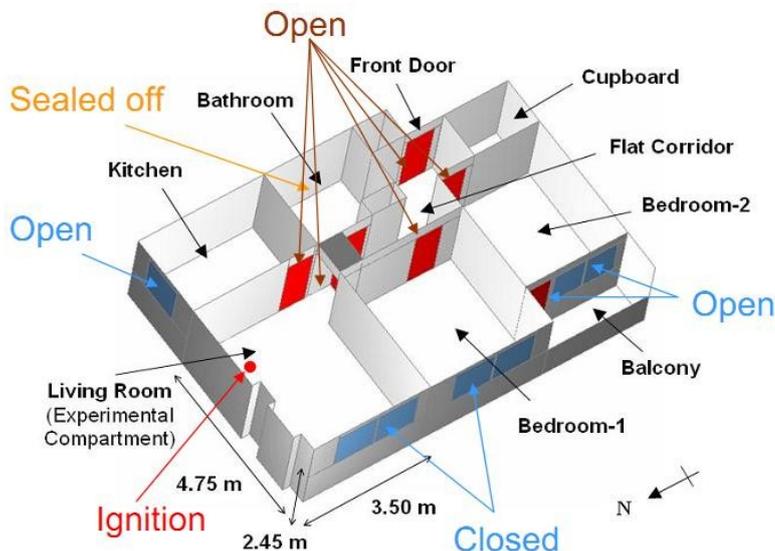


6.5.3. Среднеобъёмное значение температуры определялось также путём интегрирования показаний термопар в шлейфах по высоте.

6.5.4. Для сравнения были выбраны те шлейфы, в местах расположения которых температура распределяется по высоте наиболее равномерно: А, В, С, G (исключены шлейфы, расположенные в дверных проёмах, на маршах лестницы и т.п.).

## 6.6. Эксперимент «The Dalmarnock Fire Tests»

- 6.6.1. Серия экспериментов и лабораторных испытаний «The Dalmarnock Fire Tests» была проведена в 2006 году группой учёных Эдинбургского университета [13].
- 6.6.2. Эксперименты проводились для целей валидации дифференциальных моделей пожаров в трёхкомнатной квартире жилого дома, обставленной типично офисному помещению (компьютерная и оргтехника, шкафы с бумагами и т.п.):



- 6.6.3. При горении производились замеры температур в объёме помещения, толщина дымового слоя, скорости движения воздуха в проёмах, тепловой поток на некоторые конструкции, велась фото- и видеофиксация:



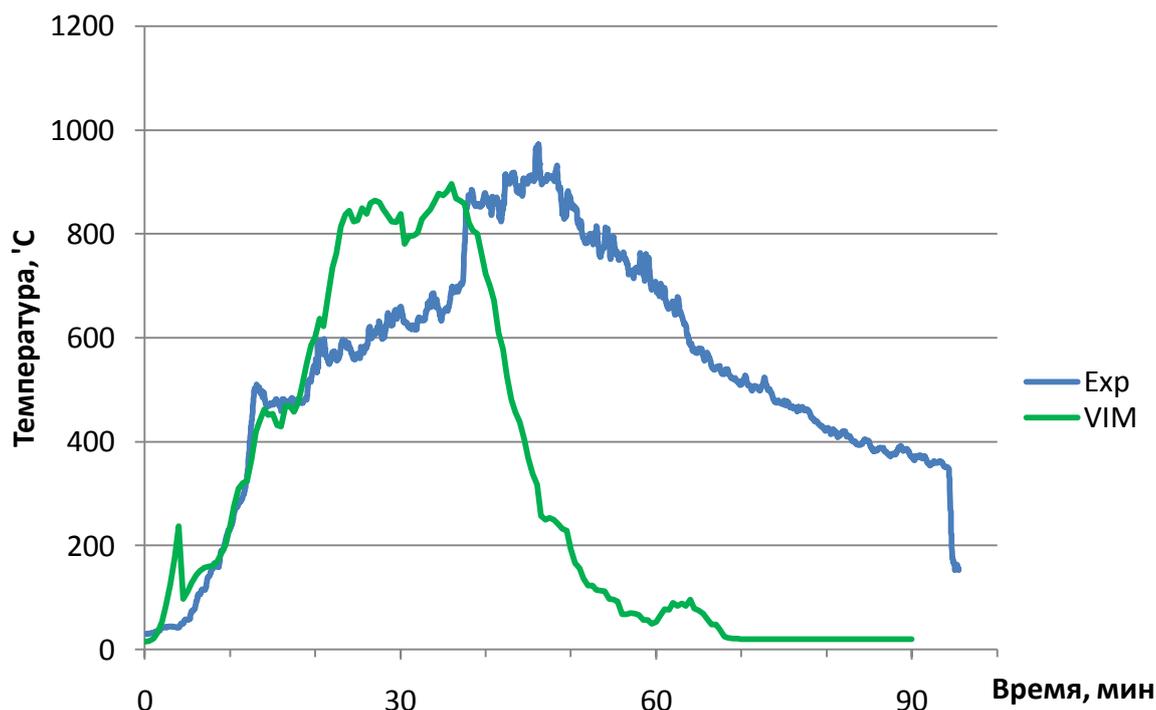
- 6.6.4. Местом начала горения выбрана корзина с бумагами, расположенная вблизи дивана:



## 7. Сравнение результатов и краткие выводы

### 7.1. Испытания «УТБ-ЗБМК»

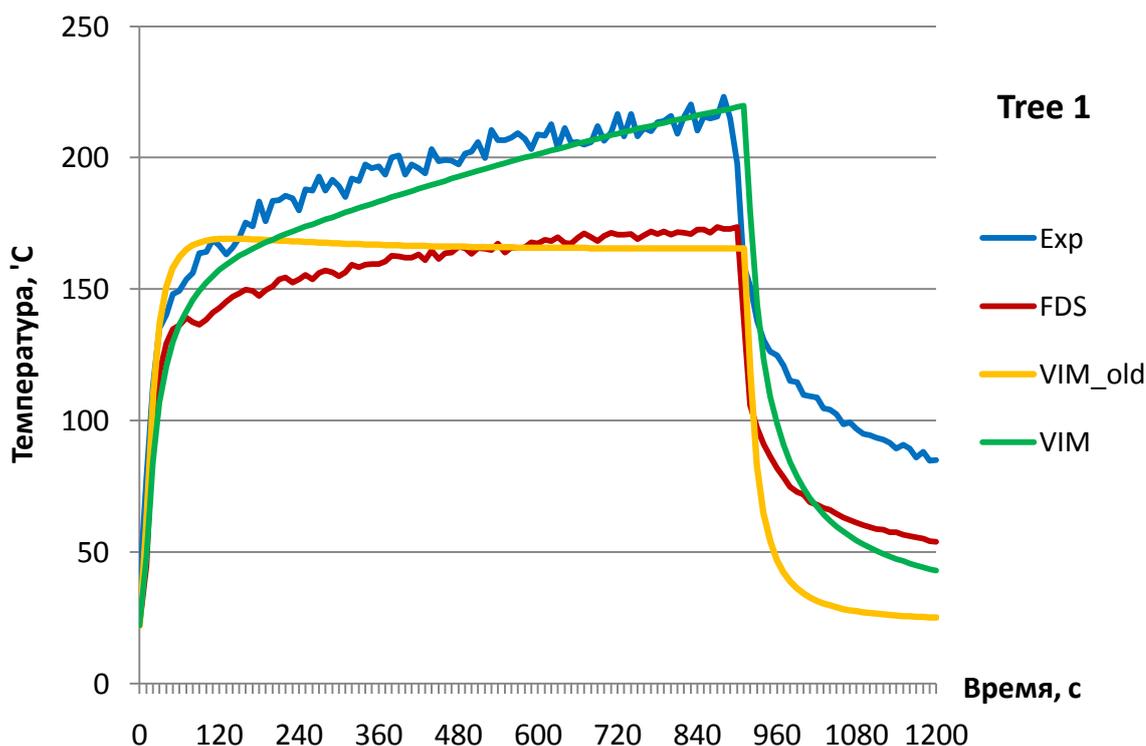
- 7.1.1. Свойства горючей нагрузки (древесина) для моделирования данного испытания в ВИМ были взяты из учебного пособия [6] и энциклопедии [7]: теплота сгорания 20 МДж/кг; удельное потребление кислорода 1,15 кг/кг; удельное выделение  $\text{CO}_2$  1,57 кг/кг; удельное выделение  $\text{CO}$  0,024 кг/кг.
- 7.1.2. В данном эксперименте максимальная температура, рассчитанная с помощью ВИМ, отличается от максимальной температуры, наблюдаемой при испытании, не более чем на 10%, характер и интенсивность развития горения в начальной стадии соответствует экспериментальной:



- 7.1.3. Отличие графика температуры после 20 минут пожара можно объяснить отличием процесса нарастания мощности горения в данном испытании от типового развития площади пожара (в форме круга).
- 7.1.4. Во время испытания два бруска загораются в начальный момент времени и за 600 секунд разгораются до полной мощности. Остальные бруски загораются при достижении температуры самовоспламенения и за 1200 секунд разгораются до полной мощности. Причём процесс нарастания характеризуется не параболической зависимостью как при круговом распространении, реализуемой в ВИМ, а имеет непостоянную динамику, обусловленную распространением горения в штабеле по вертикали. Кроме этого, на 39 минуте произошло обрушение штабеля древесины, что также оказало влияние на процесс нарастания мощности горения и среднеобъёмную температуру. Это, по нашему мнению, и является причиной данных отклонений.

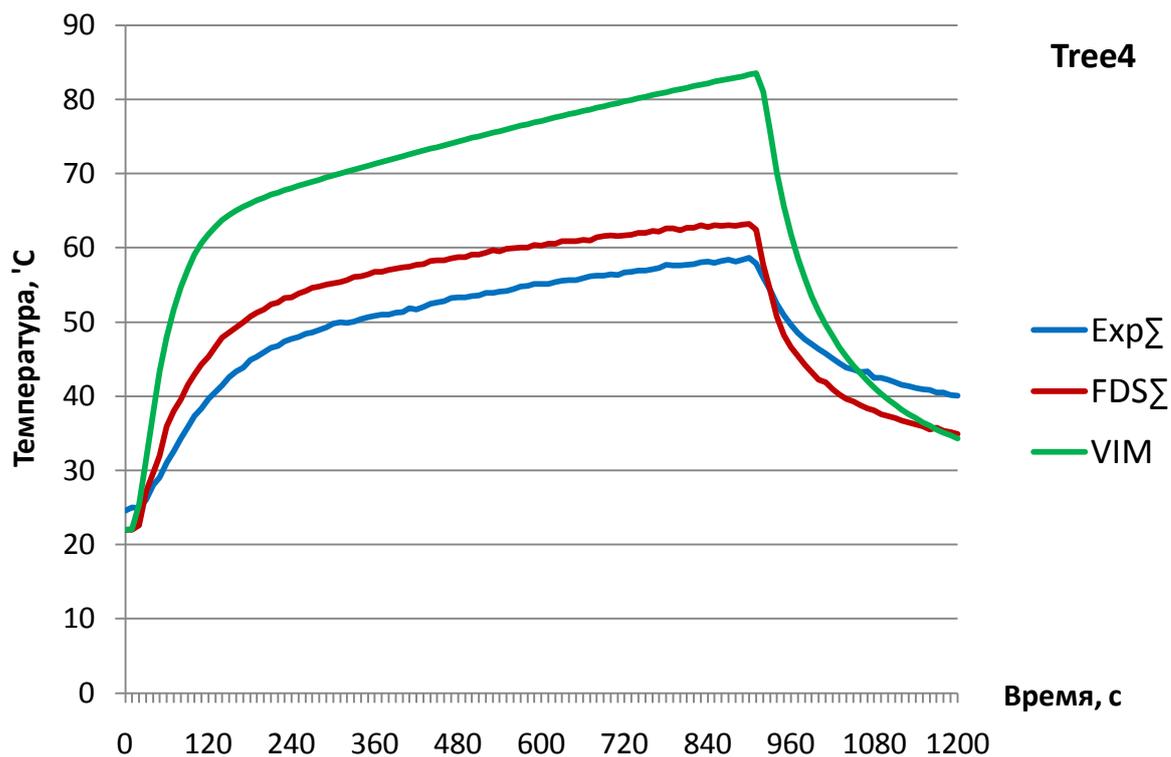
## 7.2. Серия испытаний «NBS\_Multi-Room»

- 7.2.1. Первые результаты моделирования испытаний «NBS\_Multi-Room» показали, что методика расчёта теплообмена в ВИМ требует уточнения. По упрощенной методике, предложенной М.П. Башкирцевым [6, с.42] и ранее используемой в интегральной модели, температура стен определялась только исходя из температуры газовой среды (каждой температуре газовой среды соответствует определённая температура стен). Это приводило к быстрой стабилизации параметров пожара и стационарному режиму горения (см. график «VIM\_old»).
- 7.2.2. Среднеобъёмная температура воздуха в помещении очага пожара при упрощённой (VIM\_old) и уточнённой (VIM) методике расчёта теплообмена:

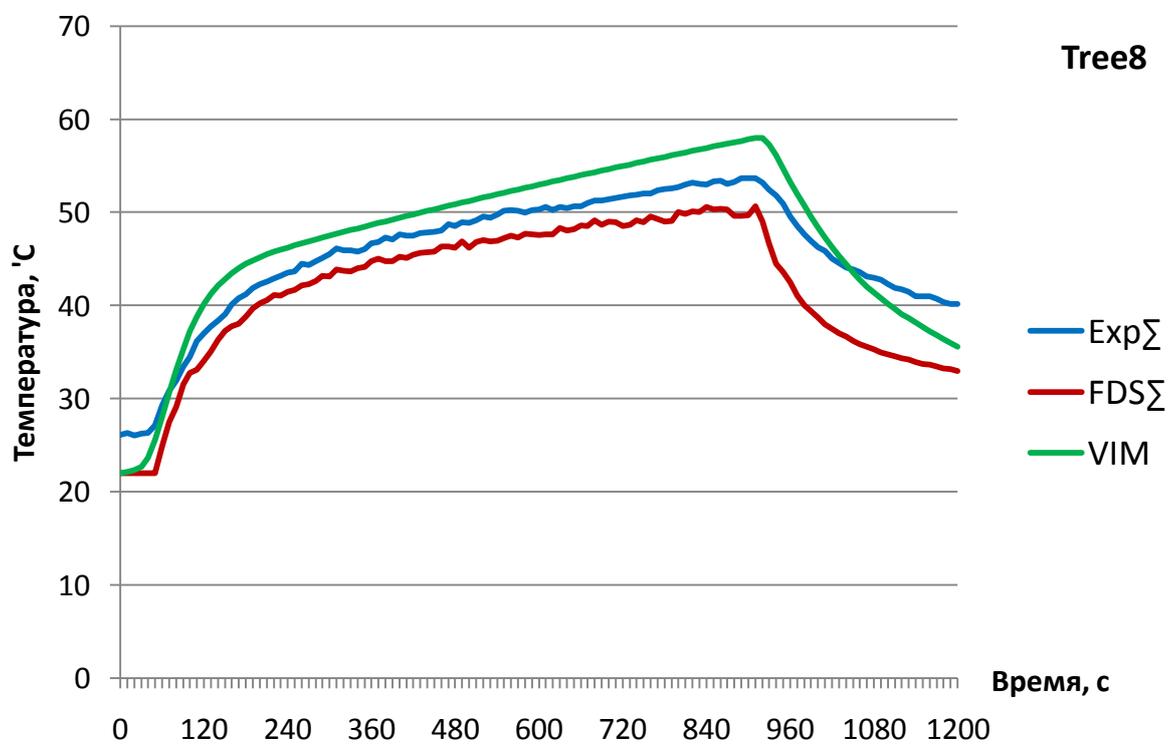


- 7.2.3. Поэтому в ВИМ была реализована новая методика расчёта температуры ограждающих конструкций и теплоотвода в них [1, п.4.1.19]. С увеличением температуры стен теплоотдача в них постепенно уменьшается, доля энергии, расходуемой на нагрев воздуха, увеличивается, и его температура возрастает (постепенно, в течение всего времени нагрева конструкций).
- 7.2.4. За основу расчёта конвективного теплообмена была взята методика, описанная в главе 3.4.5 технического руководства двухзонной модели пожара CFAST [14] с учётом отвода тепла в пол, стены и потолок.
- 7.2.5. При этом результаты моделирования качественно стали намного более схожими с экспериментальными данными (VIM).
- 7.2.6. При дальнейшем рассмотрении результатов моделирования была выявлена необходимость увеличения коэффициента пропускания фиктивных проёмов. Эти проёмы должны пропускать воздушные потоки с меньшим сопротивлением, чем дверные или оконные проёмы, так как в них не наблюдается завихрение воздуха. Воздух по длине коридора распространяется равномерным, ламинарным потоком, и большое сопротивление, сравнимое с сопротивлением в дверных и оконных проёмах излишне.
- 7.2.7. В количественном отношении наилучшая сходимость результатов наблюдалась при увеличении этого коэффициента пропускания в 2 раза.

7.2.8. Среднеобъёмная температура воздуха в центре коридора:

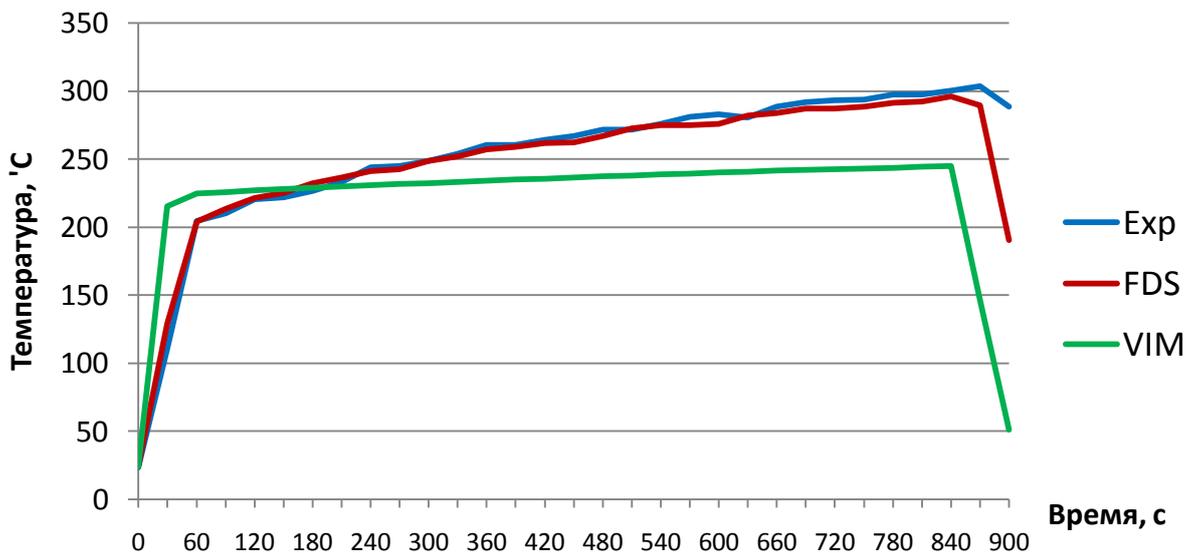


7.2.9. Среднеобъёмная температура воздуха в дальнем от очага пожара помещении:



### 7.3. Серия испытаний «WTC\_Spray\_Burner»

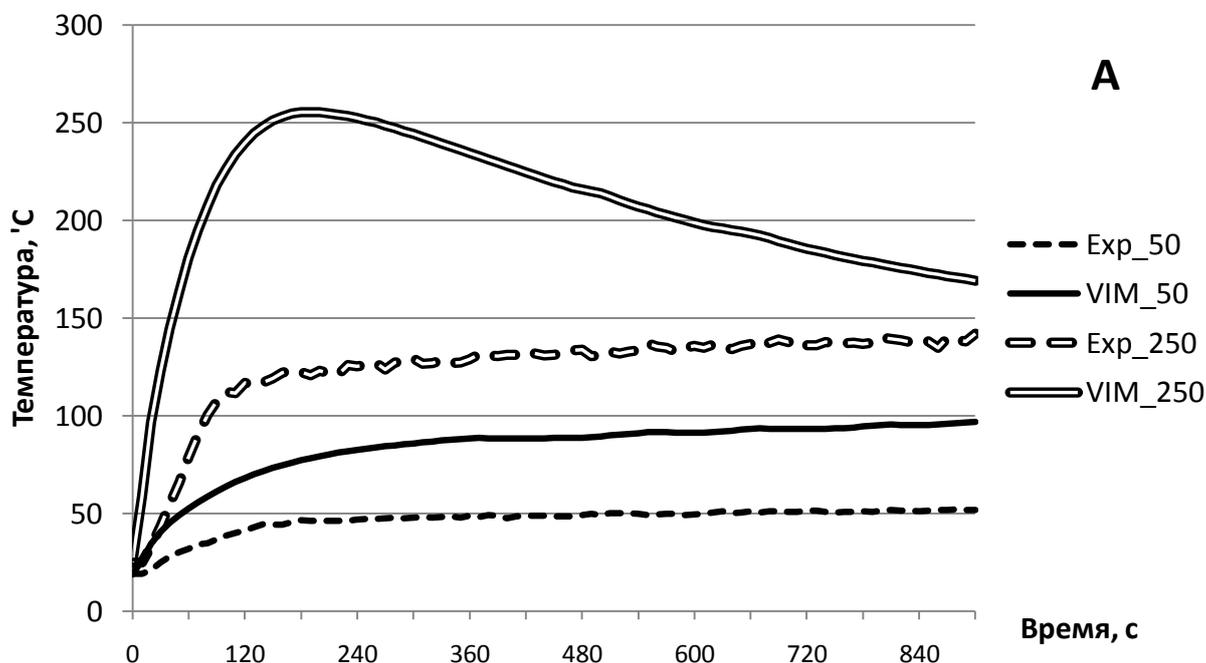
- 7.3.1. В данном эксперименте максимальная температура, рассчитанная с помощью ВИМ, отличается от максимальной температуры, наблюдаемой при испытании и рассчитанной с помощью FDS, не более чем на 25%.
- 7.3.2. По графику можно понять, что теплоотдача в ограждения в начальной и развитой стадиях горения (при холодных и нагретых стенах) изменяется недостаточно сильно. Это приводит к тому, что и температура воздуха изменяется незначительно (наклон графика рассчитанной температуры меньше, чем графика температуры, измеренной при испытании):



- 7.3.3. Дело в том, что в интегральной модели теплообмен излучением реализован в виде полуэмпирической зависимости, характерной для типовой горючей нагрузки в жилых и общественных зданиях (доля энергии, рассеиваемой излучением, составляет 30% от мощности пожара). А в данном эксперименте происходит пламенное горение двух интенсивных газовых струй (мощность тепловыделения более 2 МВт), и так как доля теплоты, переносимой излучением, превышает 30%, данная методика даёт большую погрешность.

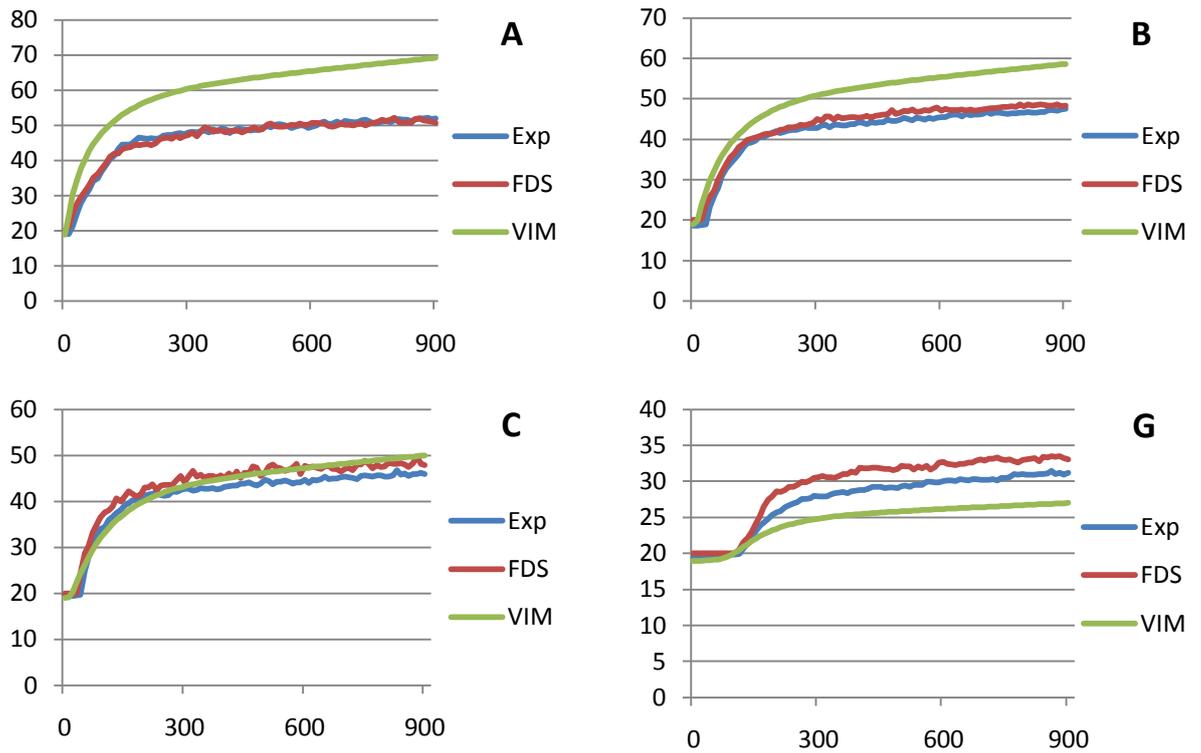
#### 7.4. Серия испытаний «ATF\_Corridors»

- 7.4.1. Сравнение с результатами испытаний «ATF\_Corridors» выявили необходимость уточнения методики расчёта газообмена в горизонтальных проёмах.
- 7.4.2. Согласно формуле (Пб.5) методики [8] газообмен в горизонтальных проёмах определяется только в зависимости от разности давлений в узлах гидравлической схемы здания, свободное перемещение воздуха вследствие разности плотностей не учитывается. Однако такой подход приводит к неадекватным результатам, если часть здания отделена от окружающей среды (атмосферы или другой части здания) только горизонтальным проёмом.
- 7.4.3. Из-за невозможности моделирования работы данного проёма в смешанном режиме (на приток и отток воздуха одновременно) материальный и энергетический баланс [8, (Пб.6), (Пб.7)] для этого помещения или части здания может сходиться только при давлении, равном давлению с противоположной стороны проёма, т.е. при отсутствии газообмена в проёме. Таким образом, в течение практически всего времени моделирования данная часть здания находится в изолированном от окружающей среды состоянии.
- 7.4.4. Такая ошибка наблюдалась при моделировании испытаний «ATF\_Corridors». Так как нижний этаж экспериментального стенда отделён от верхнего только горизонтальным проёмом (в лестничной клетке), то он большую часть времени моделирования представлял собой изолированный замкнутый объём. Это можно увидеть по графику температуры в зоне тепловыделения. Во-первых, температура в целом сильно завышена относительно экспериментальной, что обусловлено отсутствием притока холодного воздуха со второго этажа. Во-вторых, (это видно в экспериментах только с более интенсивным горением: 250 и 500 кВт) из-за того, что нет поступления свежего воздуха, наблюдается выгорание кислорода и вследствие этого падение мощности горения и температуры.
- 7.4.5. Температура в зоне тепловыделения при мощности горения 50 и 250 кВт:

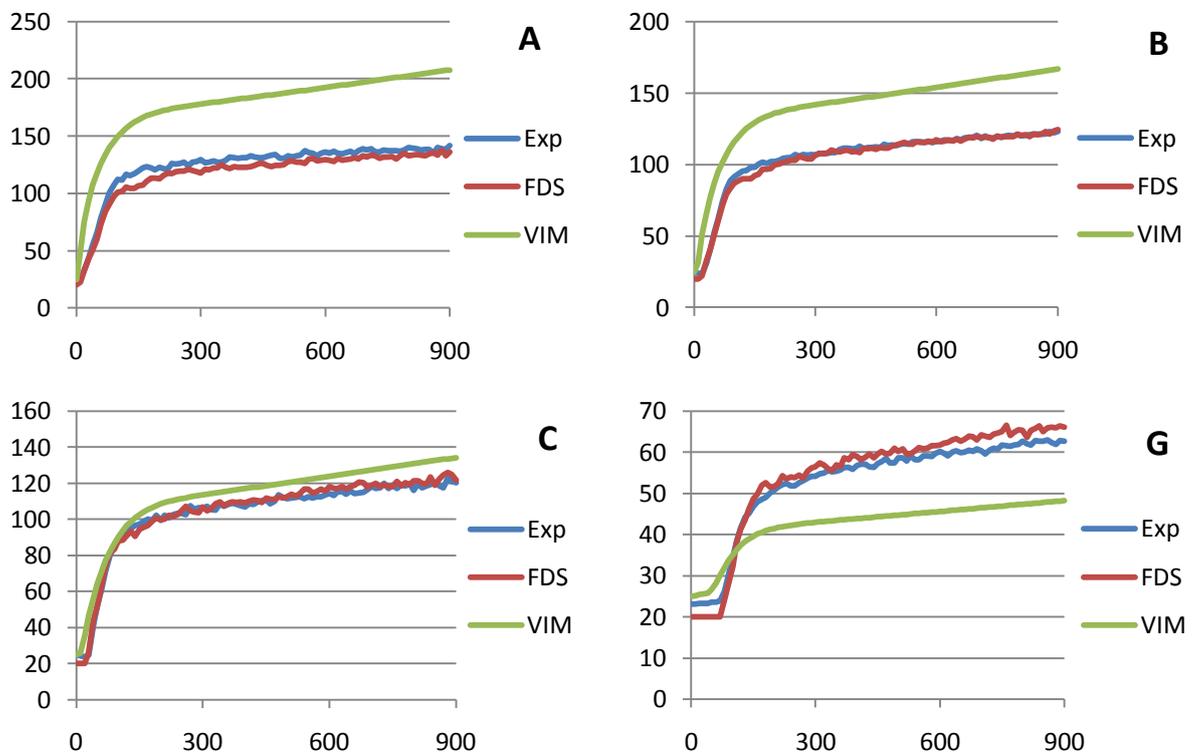


- 7.4.6. Поэтому к существующему алгоритму был добавлен расчёт движения газов в проёме за счёт разности плотностей [1, п.4.1.33]. При этом результаты моделирования всех трёх испытаний в качественном отношении стали схожими с экспериментальными данными.

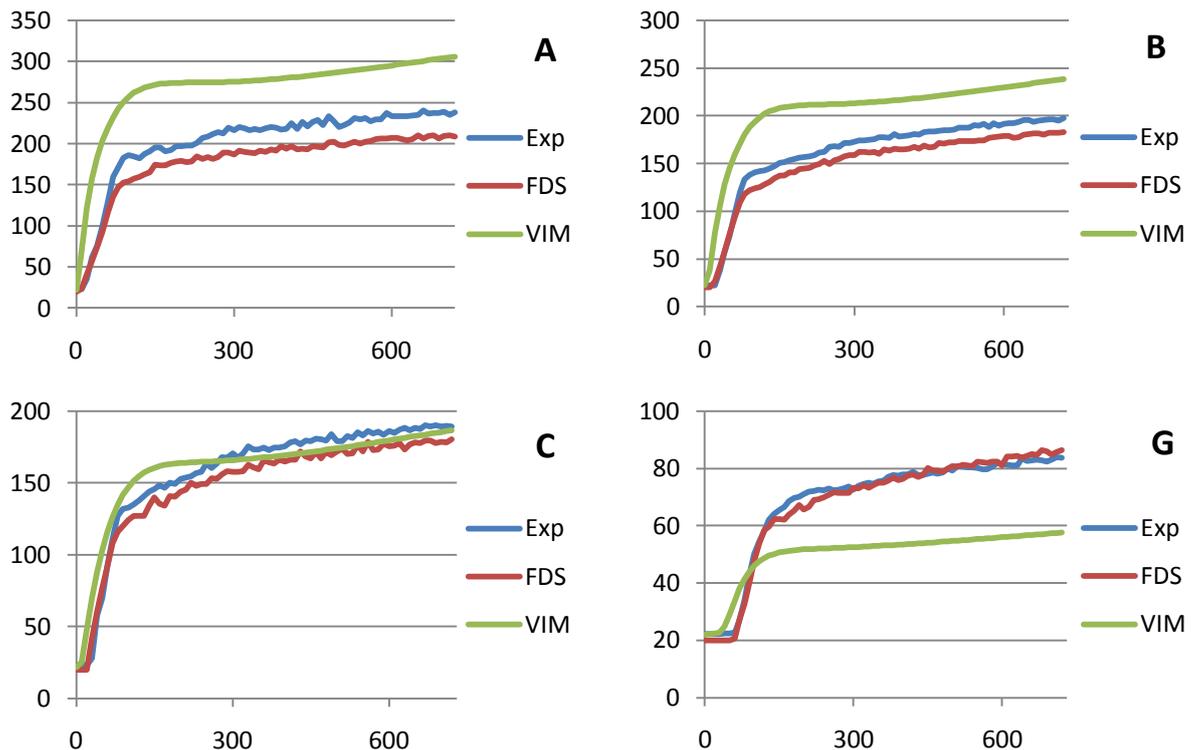
7.4.7. Температура воздуха в расчётных точках при мощности горения 50 кВт:



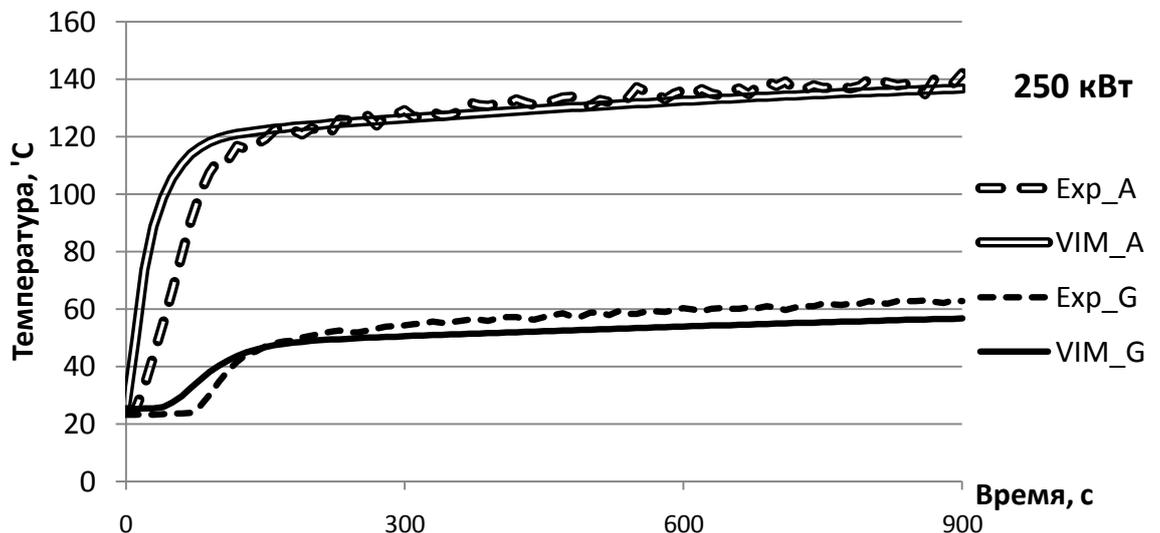
7.4.8. Температура воздуха в расчётных точках при мощности горения 250 кВт:



#### 7.4.9. Температура воздуха в расчётных точках при мощности горения 500 кВт:



7.4.10. В количественном отношении по поводу данного эксперимента можно сказать, что температура вблизи источника тепла в целом завышается, а в дальнем от него помещении занижается. Это говорит о том, что либо расчёт газообмена в горизонтальном проёме в данном случае всё же даёт некоторую погрешность (расходы газов занижены), либо это обусловлено негерметичностью испытательного стенда. При моделировании одного из экспериментов с добавлением на первом этаже проёма шириной 15 см результаты практически совпали:

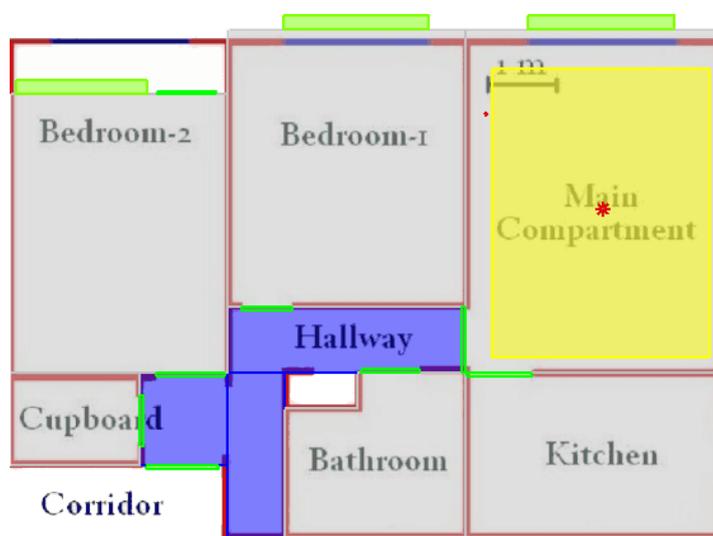


7.4.11. К сожалению, проверить газообмен и распределение температур в здании при наличии проёмов на всех этажах в настоящее время невозможно, так как какой-либо информации о таких экспериментах найти не удалось.

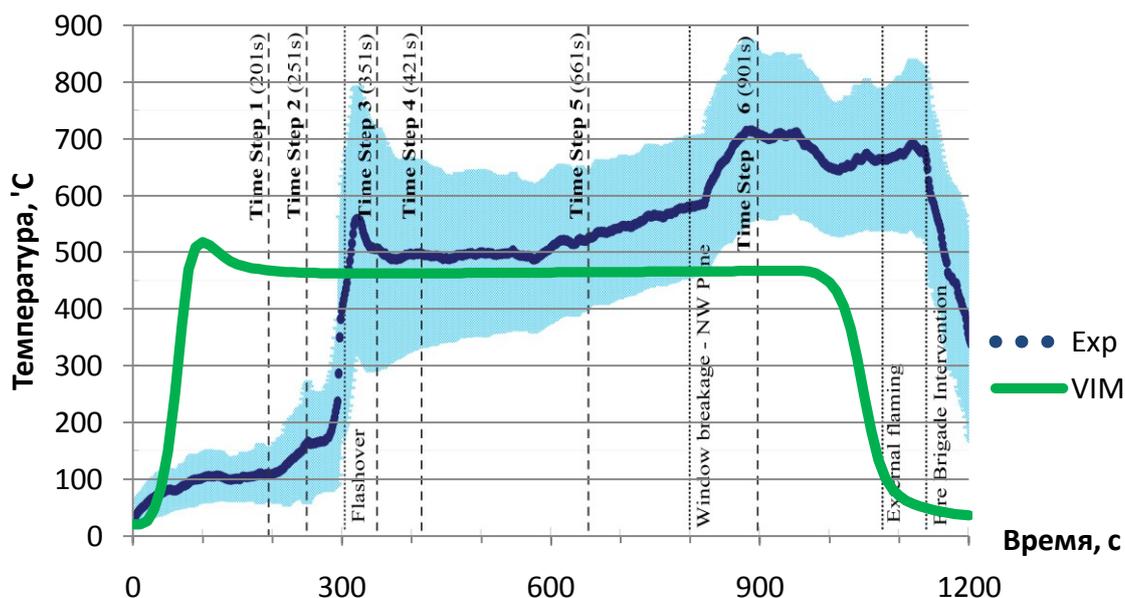
7.4.12. Следует также отметить, что в большинстве случаев использования программы ВИМ здание содержит достаточное количество оконных и дверных проёмов. Поэтому для получения наиболее достоверных результатов пользователям настоятельно рекомендуется включать все имеющиеся проёмы в расчёт, чтобы исключить образование подобных изолированных частей здания.

## 7.5. Эксперимент «The Dalmarnock Fire Tests»

- 7.5.1. В данном эксперименте, в отличие от других, применялись не специальные источники тепла, а типовая горючая нагрузка административного помещения, свойства которой имеются в свободном доступе [6].
- 7.5.2. Поэтому в ВИМ было разработано два сценария моделирования:
- 7.5.3. – априорный, т.е. такой сценарий, который был бы разработан пользователем, не знакомым с результатами натурных экспериментов;
- 7.5.4. – апостериорный, т.е. сценарий, который можно смоделировать в ВИМ с учётом важных особенностей развития конкретного произошедшего пожара (сначала горение корзины с бумагами, потом воспламенение дивана, шкафа с документами и т.д.).
- 7.5.5. В качестве горючей нагрузки для априорного сценария принята горючая нагрузка «Административное помещение; мебель + бумага (0,75+0,25)» из базы данных [6], занимающая всю площадь помещения, с источником зажигания, расположенным в её центре:

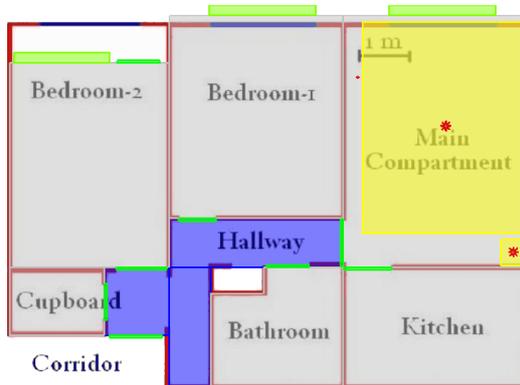


- 7.5.6. Результаты моделирования представлены на графике:

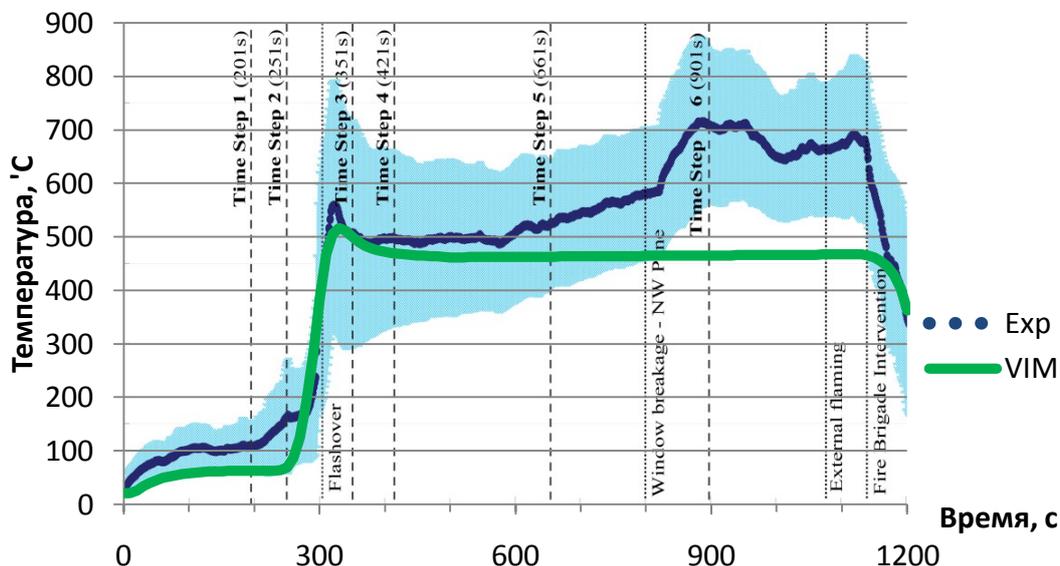


- 7.5.7. Скорость нарастания температуры воздуха и максимальная его температура в развитой, квазистационарной стадии пожара (300-600 с) по результатам моделирования соответствуют экспериментальным, что подтверждает адекватность справочных данных о свойствах горючей нагрузки административного помещения.

- 7.5.8. Кроме того, имеется важное сходство в том, что при достижении максимальной площади горения в момент около 100 (ВИМ) и 300 (эксперимент) секунд из-за недостатка кислорода наблюдается снижение скорости тепловыделения и небольшое, примерно одинаковое падение температуры воздуха. Это говорит об адекватном моделировании скорости поступления воздуха в помещение и её влияния на коэффициент полноты сгорания горючего материала.
- 7.5.9. Отличия в графиках обусловлены характером распространения пожара. При проведении эксперимента в начальной стадии пожара горела только корзина с бумагами, а воспламенение дивана, шкафа и других предметов началось спустя 250-300 секунд.
- 7.5.10. Чтобы проверить эту гипотезу был смоделирован апостериорный сценарий, в котором предусмотрено 2 поверхности горения. Одна из них (имитирующая горение корзины) имеет площадь  $0,25 \text{ м}^2$  и воспламеняется в начальный момент времени, а другая занимает остальную площадь помещения и воспламеняется через 250 секунд. Свойства обеих поверхностей горения приняты такими же, как в первом сценарии.



- 7.5.11. В этом случае результаты моделирования с качественной точки зрения стали очень схожими с экспериментальными данными:



- 7.5.12. Количественное расхождение графиков в первые 300 секунд горения, вероятно, вызвано тем, что горение одной корзины с бумагами не входит в область применения интегральной модели пожара: размер очага пожара должен быть соизмерим с размером помещения.
- 7.5.13. Расхождения графиков после 600 секунд горения, по нашему мнению, обусловлены также особенностями развития пожара в данном конкретном случае, например, обрушением сгоревших шкафов с документами, что могло привести к нагреванию измерительных термодатчиков непосредственно пламенем, а не воздухом.

## 8. Выводы и заключение

- 8.1. Валидация расчетной модели ВИМ версии 1.30 выявила очень важные неточности и подходы в расчётах, исправление которых позволило улучшить прогнозирующую способность модели как в качественном, так и в количественном отношении.
- 8.2. Выявлена необходимость увеличения коэффициента пропускания фиктивных проёмов в 2 раза [1, п.п.4.1.35, 4.1.43]. Мы полагаем, что эти проёмы должны пропускать воздушные потоки с меньшим сопротивлением, чем дверные или оконные проёмы, так как в них не наблюдается завихрение воздуха. Это подтверждается сравнением расчётных и экспериментальных данных.
- 8.3. Внесены изменения в методику расчёта теплообмена газовой среды с ограждающими конструкциями конвекцией, и добавлен теплоперенос излучением, что значительно увеличило точность модели [1, п.4.1.19].
- 8.4. Вышеуказанные изменения реализованы в ВИМ версии 1.40.
- 8.5. В версии 1.50 реализован алгоритм расчёта газообмена в горизонтальных проёмах не только за счёт разности давлений, но и за счёт разности температур воздуха [1, п.4.1.38].
- 8.6. Острый недостаток экспериментальных данных, входящих в область определения интегральной модели пожара, не позволяет полностью изучить прогнозирующую способность модели ВИМ. Основываясь же на представленных выше экспериментах, можно сказать, что прогнозы модели ВИМ в отношении среднеобъёмной температуры в ряде испытаний согласуются с экспериментальными данными с погрешностью 10-25%. В целом, температура чаще завышается, чем занижается.
- 8.7. В основном такой точности достаточно для расчётов пожарного риска и решения других задач пожарной безопасности.
- 8.8. Следует также отметить, что результаты априорного моделирования (которое представляют собой все расчёты, выполняемые в целях оценки пожарного риска) могут существенно отличаться от результатов апостериорного моделирования уже произошедших, известных пожаров. Однако это является методологической проблемой самой методики анализа риска и не является недостатком моделей пожаров.

## 9. Список литературы

1. 4188-ТР-1.50. Техническое руководство «СИТИС: ВИМ 1.50». – Екатеринбург, 2011.
2. Астапенко В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
3. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Гутов В.Н. Математическая модель развития пламенного горения в здании / В.Н. Гутов, В.В. Лицкевич // Пожаровзрывобезопасность. – 1994. – Т.3. – №4. – С.58–65.
5. Есин В.М. Математическая модель движения продуктов горения по зданию при пожаре / В.М. Есин, И.И. Ильминский, П.Н. Попов, М.П. Стецовский // Пожарная техника и тушение пожаров: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С.147–149.
6. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. – 118 с.
7. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2 / Гл. ред. Воробьев Г.И.; Ред. кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – 631 с., ил.
8. Методика определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утв. приказом МЧС России от 30.06.2009 №382).
9. Пузач С.В. Методы расчёта тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности зданий: монография / С.В.Пузач.– М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.– 336 с.
10. Субачев С.В. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специалистов противопожарной службы / С.В. Субачев, А.А. Субачева // Прикладная информатика. – 2008. – №4. – С.27–37.
11. Субачев С.В. Совершенствование подготовки персонала противопожарной службы на основе технологий имитационного моделирования пожаров в зданиях: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 113 с.
12. <http://fds-smv.googlecode.com/svn/trunk/FDS/trunk/Validation>.
13. <http://www.see.ed.ac.uk/FIRESEAT/2007.html>.
14. Walter W. Jones, Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul A. Reneke. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6): Technical Reference Guide / NIST Special Publication 1026, 2009.