

СИТИС: СимЛаб-Динамо

Обзорный отчет по валидации

3210-11-ОВ-1

Редакция 1

22.11.2016

Аннотация

В данном документе приведено описание валидации модели для расчета явлений при пожарах, используемой в программе СИТИС: СимЛаб-Динамо 1.00.

Авторское право

© ООО «СИТИС», 2016

Данный документ предназначен для использования пользователями программного обеспечения ООО «Ситис» в соответствии с положениями лицензионного договора в действующей редакции.

Исключительные авторские права на документ принадлежат ООО «Ситис»

Не допускается использование данного документа полностью или частично в составе других документов, документации к программному обеспечению, распространение и публикация в печатном или цифровом виде, без письменного разрешения ООО «СИТИС».

1. Введение	5
1.1. О программе	5
2. Изучение дымового слоя	5
2.1. Изучение распространения дыма в туннелях (ArupFire, Великобритания)	5
2.2. Изучение распространения дыма по коридорам (лаборатория ATF, США)	5
2.3. Измерения скорости в дверном проеме (институт NIST, США)	6
2.4. Дымовые испытания в грузовых отсеках самолетов (федерация FAA, США)	7
2.5. Огневые испытания в помещении (Научный центр Санди, FM, США)	7
2.6. Распространение дыма в системе из трех помещений (бюро NBS, США)	9
2.7. Серия испытаний в помещении (институт NIST/NRC, США)	11
2.8. Влияние вентиляции на пожар помещения (лаборатория LLNL, США)	12
2.9. Эксперименты с принудительной вентиляцией в помещении (институт NIST, США)	14
2.10. Измерение температуры и скорости в помещении (бюро NBS, США)	14
2.11. Изучение влияния вентиляции на температуру при пожаре (лаборатория UL/NIST, США)	16
2.12. Движение дыма в большом помещении с наклонным потолком (центр VTT, Финляндия)	16
2.13. Эксперименты в двухэтажном здании (УрИ ГПС / Ситис, Россия)	18
3. Изучение конвективной колонки	20
3.1. Пожар пролива (университет Кентербери, Новая Зеландия)	20
3.2. Исследование конвективной колонки (бюро NBS, США)	21
3.3. Исследование конвективной колонки (научный центр Sandia, США)	21
4. Изучение теплового потока	21
4.1. Ослабление теплового излучения распыляемой водой (университет Нью-Мексико, США)	22
4.2. Тепловое повреждение кабелей (научный центр Sandia, США)	22
4.3. Изучение тепловых свойств полимеров (агенство по авиации, США)	22
4.4. Измерение теплового потока (университет Кентербери, Новая Зеландия)	23
4.5. Измерение теплового потока (Вустерский политехнический институт, FM, США)	23
4.6. Ослабление теплового излучения распыляемой водой (университет Нанси, Франция)	23
4.7. Серия испытаний автоматического пожаротушения (институт NIST, США)	23
4.8. Измерение теплового потока на фасаде при пожаре (институт NRCC, Канада)	24
4.9. Измерения теплового потока (лаборатория NRL/HAI, США)	25
4.10. Измерения теплового потока (Ольстерский университет, Северная Ирландия)	25
4.11. Измерение температуры адиабатической поверхности (институт SP, Швеция)	25
5. Изучение работы спринклеров и извещателей	27
5.1. Тушение пожаров в туннелях (научные центры CSTB, CETU, CNRS, Франция)	27
5.2. Испытания дымовых извещателей в жилых зданиях (институт NIST, США)	28
5.3. Тушение тонкораспыленной водой (организация USCG/HAI, США)	30
5.4. Срабатывание пожарных извещателей и спринклеров в больших ангарах (BMC США)	30
5.5. Активация спринклеров в помещении с плоским потолком (институт NIST, США)	30
5.6. Активация спринклеров в помещении с наклонным потолком (институт NIST, США)	30
5.7. Исследование спринклеров (лаборатория UL/NFPRF, США)	31
6. Изучение продуктов горения	35
6.1. Измерение концентрации продуктов горения (институт NIST, США)	35
6.2. Эксперименты по осаждению аэрозоля (Калифорнийский университет, США)	35
6.3. Изучение диффузионного пламени в щелевой горелке (институт NIST, США)	36
7. Анализ неопределенности моделирования	36
7.1. Введение	36
7.2. Источники неопределенности модели	37
7.3. Количественная оценка экспериментальной неопределенности	39
7.4. Расчет неопределенности модели	40
7.5. Пример	43
7.6. Дополнительные соображения	44
8. Прогнозирующая способность – дымовой слой	44
8.1. Метод редукции дымового слоя	45
8.2. Опыты ATF в коридорах	45
8.3. Серии испытаний FM/SNL	49
8.4. Серии испытаний в помещениях LLNL	54
8.5. Серии испытаний НБС в нескольких помещениях	63
8.6. Серия испытаний NIST/NRC	66
8.7. Испытания SP с адиабатическими поверхностными температурами	70
8.8. Испытания Стеклера в помещениях	72
8.9. Испытания UL/NIST с вентиляционными отверстиями	79
8.10. Серия испытаний VTT	80
8.11. Серия испытаний WTC	81
8.12. Обзор температуры и высоты слоя горячего газа	83

9. Прогнозирующая способность – зона пламени	85
9.1. Серия испытаний FM/SNL.....	86
9.2. Корреляция высоты пламени Хескестада.....	88
9.3. Корреляция струи Маккефри.....	92
9.4. Испытания Технического исследовательского института Швеции	93
9.5. Испытания ВМС США в высоких ангарах.....	96
9.6. Испытания VTT в большом зале	99

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. О программе

- 1.1.1. Программа СИТИС: Динамо является адаптацией программы FDS (Fire Dynamics Simulator) версии 6.5.2, разработанной Институтом стандартов и технологий США (NIST) в 1995-2016 годах.
- 1.1.2. Адаптация выполнена в соответствии с лицензией на программу FDS, её исходный код и документацию.
- 1.1.3. При адаптации программы выполнены следующие модификации исходного кода, исполняемых файлов и документации к программе:
 - 1.1.3.1. Интерфейс программы переведен на русский язык
 - 1.1.3.2. Документация к программе написана на русском языке с использованием понятий и терминологии, принятой в отечественных нормах и научной литературе
 - 1.1.3.3. Инструкции программы дополнены командами, использующими принятые в отечественных нормах системы обозначений и понятий
 - 1.1.3.4. Внесены изменения, обеспечивающие уменьшение размера файлов результатов и уменьшение времени работы программы.
 - 1.1.3.5. Изменены настройки параметров программы по умолчанию, более соответствующие отечественной практике расчетов блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара при расчете пожарных рисков
 - 1.1.3.6. Выполнена оценка точности (прогнозирующей способности) программы и реализованных в ней моделей явлений при пожаре на основе отечественных экспериментальных данных
- 1.1.4. Адаптированная программа включена в состав программного обеспечения ООО «СИТИС», что позволяет пользователям программного обеспечения получать следующие услуги, не доступные от разработчика программы FDS:
 - 1.1.4.1. Получать техническую поддержку по вопросам использования программы
 - 1.1.4.2. Направлять письменные запросы и получать письменные ответы от разработчика адаптированной программы, для их использования в соответствии с отечественными требованиями делопроизводства.
- 1.1.5. Форматы входных и выходных данных СИТИС: Динамо адаптированы к формату данных комплекса программ для расчета пожарных рисков СИТИС, что упрощает совместное использование программ и повышает удобство и эффективность работы пользователя.
- 1.1.6. Форматы входных и выходных данных СИТИС: Динамо адаптированы к формату данных комплекса программ для выполнения мультифизических расчетов СИТИС:СимЛаб, что обеспечивает возможность выполнения моделирования сложных явлений, таких как огнестойкости и огнесохранности конструкций при реальных или модельных пожарах, расследовании пожаров, разработки устройств и оборудования для сигнализации и тушения, других подобных задач. (Комплекс СИТИС:СимЛаб находится в стадии опытного тестирования, документация к нему не опубликована)
- 1.1.7. При адаптации не изменены алгоритмы вычислений и моделирования, реализованные в программе FDS 6.5.2. Отсутствие изменений контролируется сопоставительными расчетами базовой (немодифицированной) и адаптированной версий программы по технологии, принятой NIST и сообществом разработчиков при разработке программы FDS.

2. ИЗУЧЕНИЕ ДЫМОВОГО СЛОЯ

2.1. Изучение распространения дыма в туннелях (AgurFire, Великобритания)

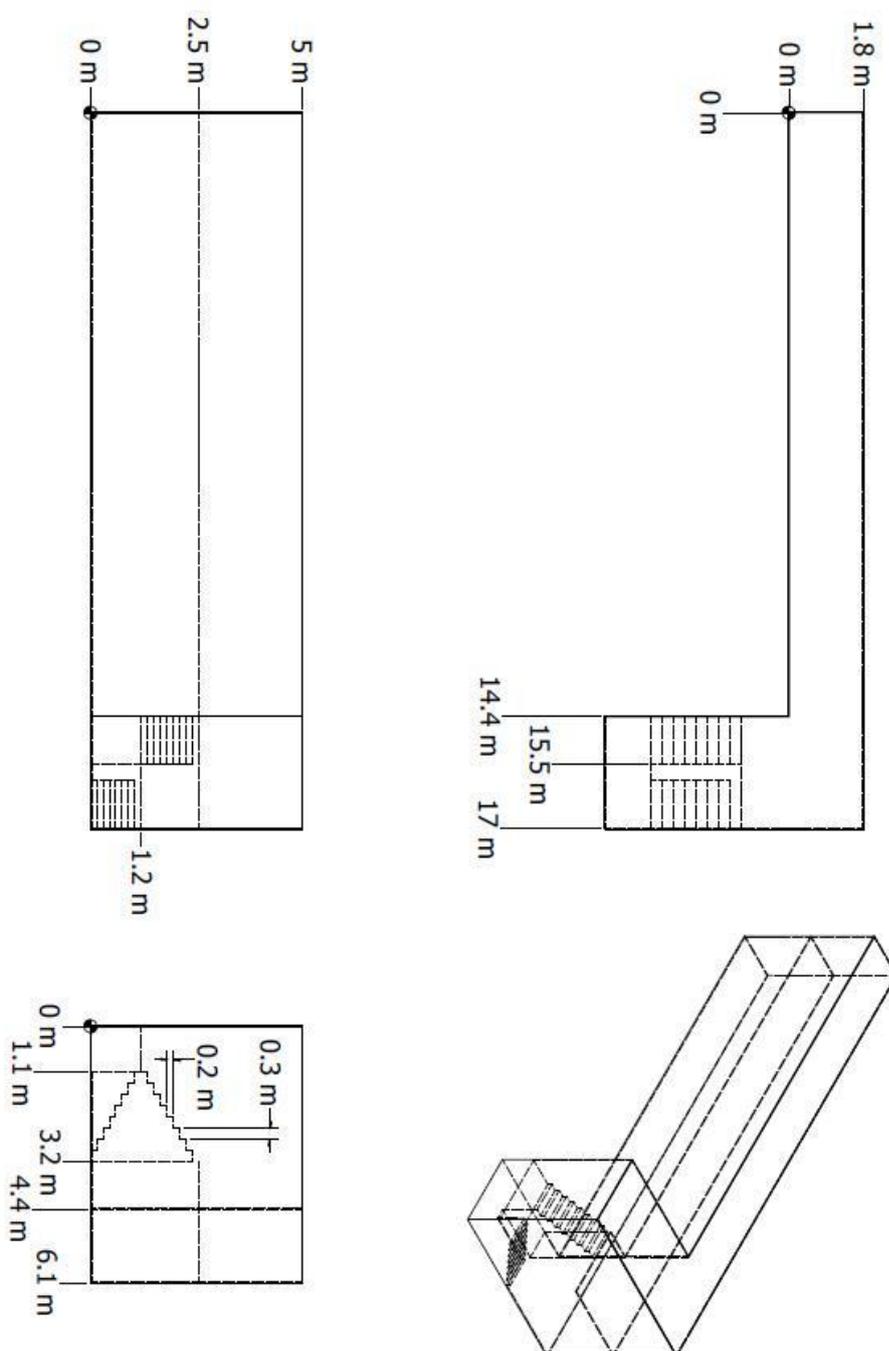
- 2.1.1. Габриэле Вигни и Джимми Йонссон из AgurFire провели серию пожарных экспериментов в туннеле с поперечным сечением 50 м² - примерно 6,5 м в высоту, 8 м в ширину и длиной 300 м. Пять повторных испытания проводились с использованием стального поддона 1*2 м, заполненного гептаном поверх воды. Припотолочная температура измерялись в 2 м, 4 м, 6 м и 8 м от центральной линии факела. Максимальная скорость тепловыделения составила примерно 5,3 МВт.

2.2. Изучение распространения дыма по коридорам (лаборатория ATF, США)

- 2.2.1. Для изучения распространения дыма была выполнена серия из восемнадцати экспериментов в двухэтажном здании с длинными коридорами и соединительной лестницей в пожарной исследовательской лаборатории АТФ в Аммендейле, штат Мэриленд, в 2008 году [121].

2.2.2. Стены и потолки в тестовой структуры были построены из 1,2 см гипсокартона. Полы по всей постройке, в том числе на межэтажной площадке, состоит из слоя цемента толщиной 1,3 см на слое толстой фанеры 1,9 см, поддерживаемой деревянными брусьями. Первый пролет лестницы (с первого этажа до площадки) состоял из 8 ступеней, второй – из 9. Лестница были построены из сосновых досок 2,5 см толщиной. Два пролета лестницы были разделены щелью шириной около 0,42 м в середине лестницы. Этот разрыв был отделен от лестницы барьером высотой 0,91 м, построенным из цельного куска гипсокартона. На первом этаже возле горелки располагалась металлическая наружная дверь, которая была закрыта в течение всех экспериментов.

2.2.3. Источник пожара была метановая диффузионная горелка. Поверхность горелки была горизонтальной, квадратной, 0,45 м с каждой стороны, на высоте 0,37 м от пола. Горелка была расположена в дальнем от лестнице конце коридора первого этажа. Схема тестовой структуры отображается на рисунке:



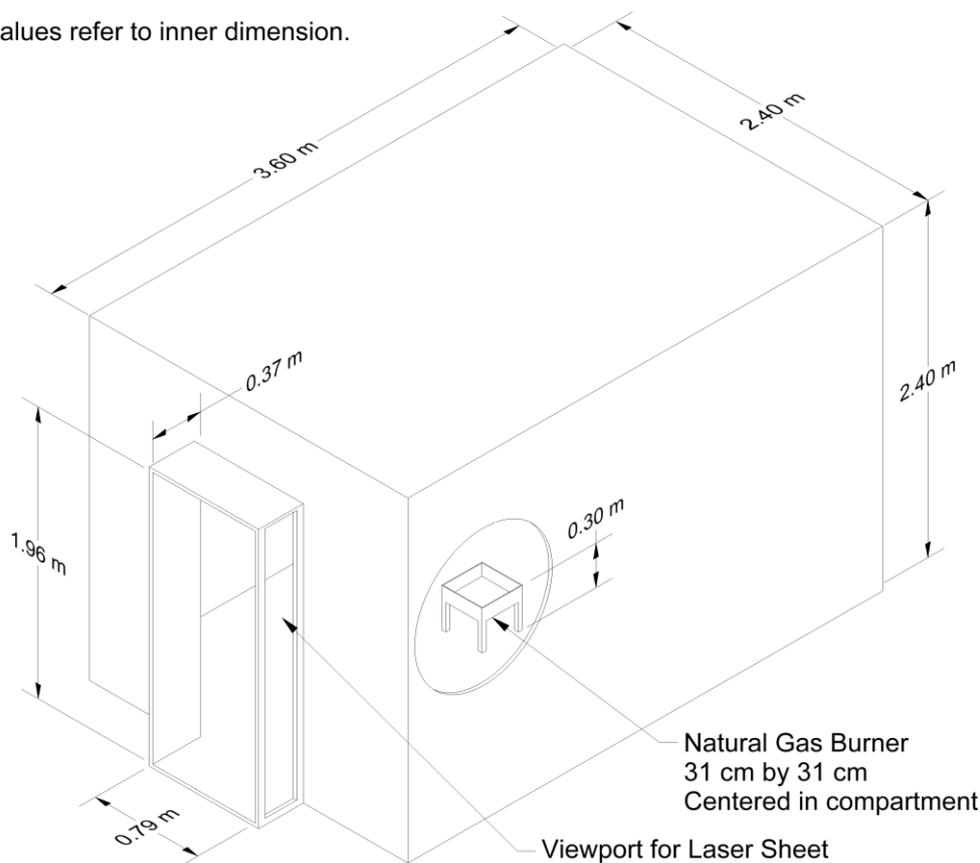
2.3. Измерения скорости в дверном проеме (институт NIST, США)

2.3.1. Родни Брайант из отдела исследования пожаров NIST провел серию измерений скорости газа в дверях стандартного помещения ISO 9705 отсеке для мощности пожаров от 34 кВт до 511 кВт [124, 125, 126]. Дверь служил только отверстие для корпуса. Она включала в себя косяк 30 см,

проходящих наружу, чтобы облегчить лазерные измерения. Весь отсек был возведен 0,3 м от пола лаборатории.

- 2.3.2. Измерения проводились с использованием двунаправленных зондов и метода PIV (цифровая трассерная визуализация потоков). Измерения PIV охватывает только нижние две трети двери из-за трудностей в выделении горячих потоков выходных газов. Двунаправленные зондовые измерения охватывают всю высоту дверного проема, но Брайант сообщает, что эти измерения были до 20% больше, чем измерения PIV в некоторых регионах потока. Следовательно, только данные PIV был использован для сравнения модели.

Note: All values refer to inner dimension.



2.3.3.

2.4. Дымовые испытания в грузовых отсеках самолетов (федерация FAA, США)

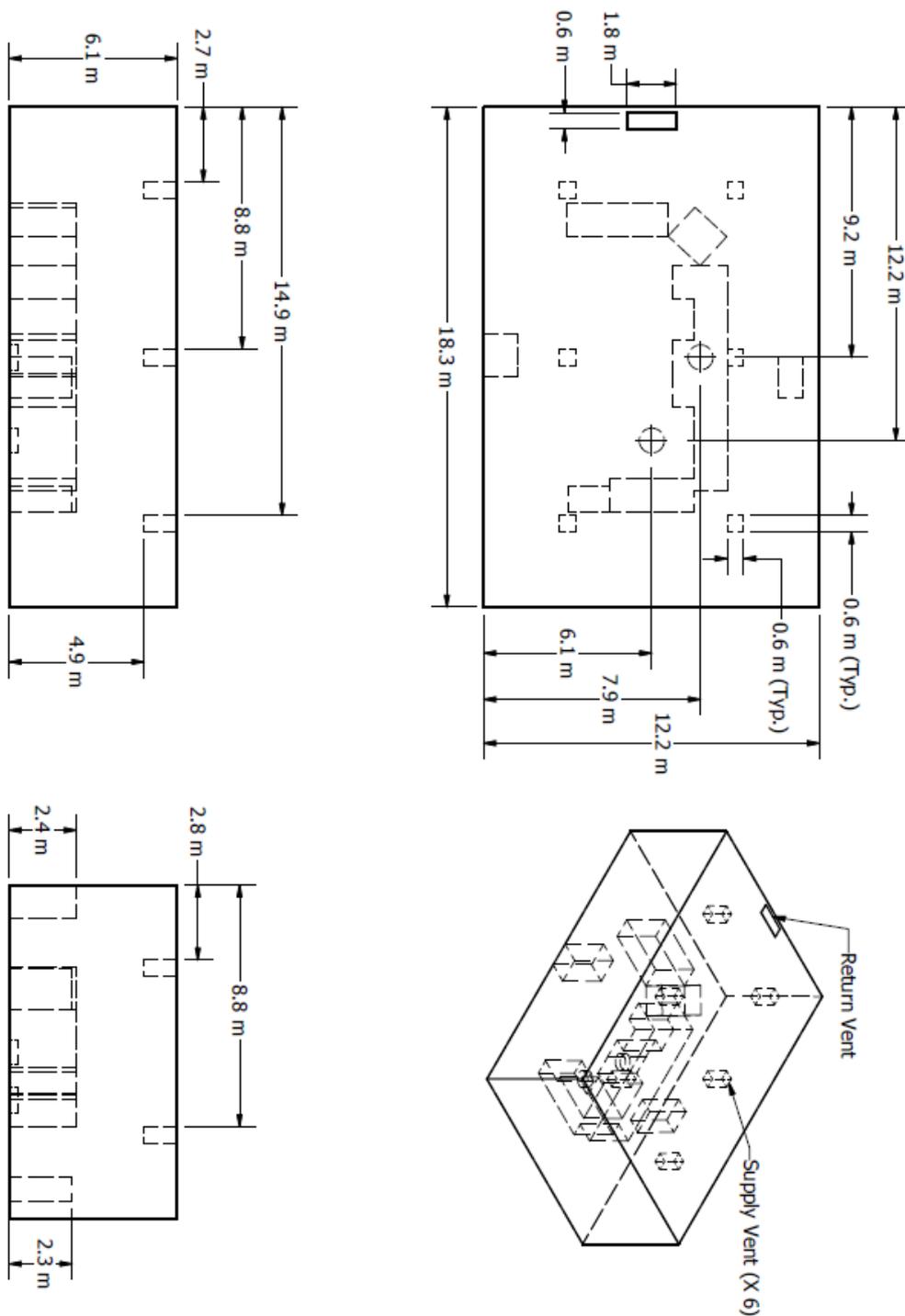
- 2.4.1. Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) спонсировало эксперименты и моделирование распространения дыма в грузовых отсеках самолетов [132, 133]. Были использованы два типа отсеков, один из Boeing 707 и один из McDonnell Douglas DC-10. В Боинге размеры отсека 6,7 м в длину, 3,2 м в ширину и 1,4 м в высоту. В DC-10 отсек имел 14 м в длину, 4,4 м в ширину и 1,7 м в высоту. Источником пожара для всех испытаний был поддон 0,1 м на 0,1 м из пластикового полимера с максимальным тепловыделением 5 кВт [134]. Длинные стенки отсеков были бочкообразные, чтобы соответствовать форме фюзеляжа летательного аппарата. Пожар размещался в разных местах; измерения температуры газа и потолка, теплового потока, концентрации газа и снижения видимости выполнялись сделаны в различных местах, в основном под потолком.

2.5. Огневые испытания в помещении (Научный центр Санди, FM, США)

- 2.5.1. Агентство взаимного фабричного страхования (FM) и Научный центр Санди провели серию испытаний, состоящую из 25 огневых экспериментов в помещении в 1985 году для Комиссии по ядерному регулированию США (NRC) [139, 140]. Основная цель этих экспериментов заключалась в предоставлении данных для проверки компьютерных моделей для различных типов помещений, характерных для атомных электростанций. Эксперименты проводились в отсеке размером примерно 18 м в длину и 12 м в ширину и 6 м в высоту, построенных на пожарной испытательной станции в Род-Айленде. Все эксперименты включали принудительную вентиляцию для имитации типичных условий электростанций. Шесть экспериментов были проведены с полномасштабным макетом диспетчерской. Параметры менялись в ходе экспериментов, в том числе интенсивность огня, интенсивности вентиляции, и местоположение пожара. В данном документе используются данные только из девятнадцати экспериментов (тесты 1-17, 21 и 22). В ходе этих испытаний источником пожара являлись пропиленовая газовая горелка, поддоны с гептаном и метанолом.

- 2.5.2. Следующая информация была предоставлена испытательного директора, Стив Новленом из Сандийских национальных лабораторий. В частности, тестам 4, 5, и 21 уделено особое внимание.
- 2.5.3. **Тепловыделение:** скорость выделения тепла была определена на основе калориметрии потребленного кислорода в выхлопной трубе с коррекцией для диоксида углерода в верхнем слое отсека. Неопределенность массового расхода топлива не была описана. В нескольких тестах, выбранных для этого исследования, наблюдалось одинаковое пиковое тепловыделение 516 кВт после четырехминутного нарастания по квадратичному закону. Протокол испытаний содержит временные диаграммы измеряемого тепловыделения, для которых среднее, устойчивое тепловыделение после нарастания в испытаниях 4, 5, и 21 было оценено как 510 кВт, 480 кВт, и 470 кВт соответственно. После достижения максимума тепловыделения поддерживалась постоянным в течение стационарного периода горения 6 мин в тестах 4 и 5, и 16 мин в тесте 21. Обратите внимание, что в тесте 21, Новлен сообщает о "значительной" потере газов из вытяжки, что может привести к заниженной оценке тепловыделения к концу эксперимента.
- 2.5.4. **Доля лучистой энергии:** Доля лучистой энергии не измерялась во время эксперимента, но в данном исследовании предполагается равной 0,35, что характерно для дымных углеводородов. Кроме того, было предположено, что лучистая доля была примерно такой же в тесте 21 как и в других тестах, как сжигание топлива должно было произойти за пределами электрического шкафа, в котором была помещена горелка.
- 2.5.5. **Измерения:** были проведены четыре типа измерений, использованных в данном исследовании, в том числе температуры и глубины дымового слоя, температуры припотолочной струи и конвективной колонки. Для измерений температуры использовались атмосферные термодатчики. Как правило, атмосферные термодатчики предпочтительнее термодатчик с незащищенной головкой, так как снижается систематическая ошибка измерения лучистого теплообмена.
- 2.5.6. **Глубина и температура дымового слоя:** Данные из всех вертикальных датчиков термодатчиков были использованы для определения высоты и температуры дымового слоя. Для большинства испытаний были использованы сектора 1, 2 и 3, все взвешенные равномерно. Для испытаний 21 и 22 были использованы сектора 1 и 3, равномерно взвешенные. Сектор 2 был частично внутри конвективной колонки.

№ Исп.	Тип горючего материала	Номинальный пик выделения тепла (кВт)	Место возгорания	Скорость вентиляции (ach)	Конфигурация помещения	Используется в руководстве?
1	Propylene Burner	516	Центр	10	Пустое	Да
2	Propylene Burner	516	Центр	10	Пустое	Да
3	Propylene Burner	2000	Центр	10	Пустое	Да
4	Propylene Burner	516	Центр	1	Пустое	Да
5	Propylene Burner	516	Центр	10	Пустое	Да
6	Heptane Pool	500	Стена	1	Пустое	Да
7	Propylene Burner	516	Центр	1	Пустое	Да
8	Propylene Burner	1000	Центр	1	Пустое	Да
9	Propylene Burner	1000	Центр	8	Пустое	Да
10	Heptane Pool	1000	Стена	4.4	Пустое	Да
11	Methanol Pool	500	Стена	4.4	Пустое	Да
12	Heptane Pool	2000	Стена	4.4	Пустое	Да
13	Heptane Pool	2000	Стена	8	Пустое	Да
14	Methanol Pool	500	Стена	1	Пустое	Да
15	Heptane Pool	1000	Стена	1	Пустое	Да
16	Heptane Pool	500	Угол	1	Пустое	Да
17	Heptane Pool	500	Угол	10	Пустое	Нет
18	PMMA Slab	1000	Стена	1	Пустое	Нет
19	Heptane Pool	1000	Центр	1	Обставленное	Нет
20	Heptane Pool	1000	Угол		Обставленное	Нет
21	Propylene Burner	500	Стеллаж	1	Обставленное	Да
22	Propylene Burner	1000	Стеллаж	1	Обставленное	Да
23	Qualified Cable	N/A	Стеллаж	1	Обставленное	Нет
24	Unqualified Cable	N/A	Стеллаж	1	Обставленное	Нет
25	Unqualified Cable	N/A	Стеллаж	8	Обставленное	Нет



2.6. Распространение дыма в системе из трех помещений (бюро NBS, США)

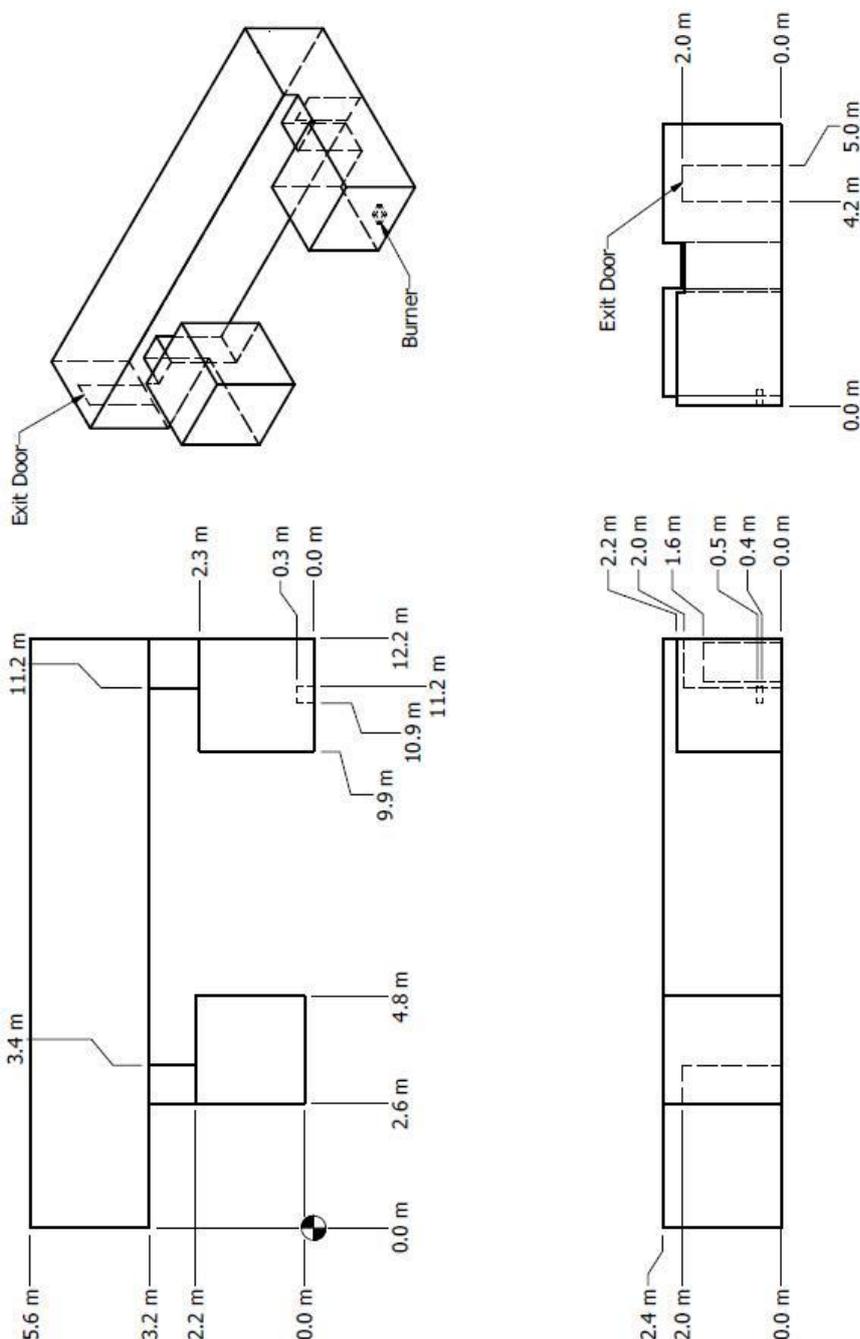
2.6.1. Национальное бюро стандартов (NBS), которое сейчас называется Национальный институт стандартов и технологий (NIST), провело серию испытаний, состоящую из 45 огневых испытаний, представляющих 9 различных наборов условий, в системе трех помещений. Эксперименты проводились в 1985 году и подробно описаны в работе [149]. Система помещений состоит из двух относительно небольших комнат, соединенных относительно длинным коридором. Источник огня, газовая горелка, был расположен возле задней стены одного из небольших помещений. Проводились испытания со скоростью тепловыделения 100 кВт, 300 кВт и 500 кВт. В текущем исследовании использовалось только три эксперимента с мощностью 100 кВт, в том числе испытание 100A из множества 1, 100o из множества 2 и 100Z от множества 4. Эти эксперименты были выбраны потому, что они были использованы в предыдущих валидационных исследованиях, и потому, что эти тесты показывали наиболее устойчивые значения измеряемой скорости тепловыделения в период установившегося горения.

2.6.2. Ниже приводится дополнительная информация, представленная директором по испытаниям, Ричардом Пикоком из NIST:

2.6.3. **Скорость выделения тепла:** В двух испытаниях, для которых дверь была открыта, скорость выделения тепла в период установившегося горения измеряется с помощью потребления кислорода калориметрии и составляет 110 кВт с погрешностью около 15%, в соответствии с повторными измерениями, сделанными в ходе серии экспериментов и неопределенности типичных потребления кислорода калориметрии. Предполагалось, что в тесте с закрытой дверью (Тест 100O) была такая же скорость выделения тепла, как и в тестах с открытой дверью.

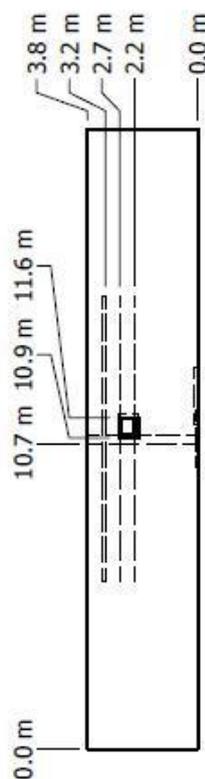
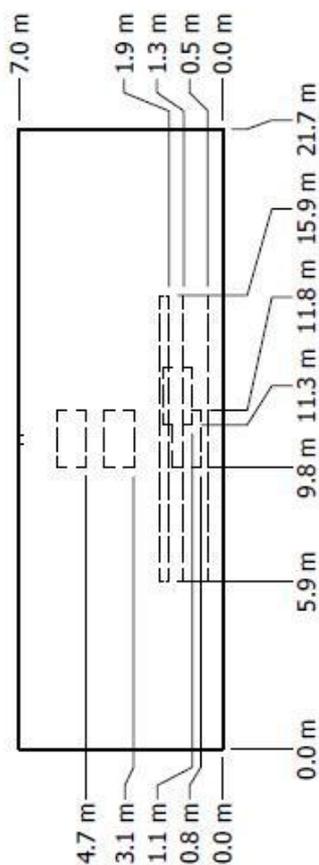
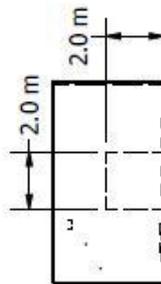
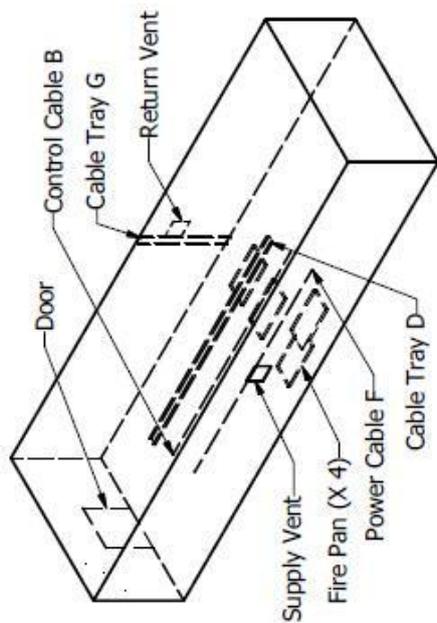
2.6.4. **Для лучистой энергии:** Природный газ был использован в качестве топлива в тесте 100A. В тестах 100o и 100Z, ацетилен был добавлен в природный газ для увеличения выхода дыма, и, как следствие, увеличилась лучистая составляющая. Лучистая доля природного газа изучалась ранее, а доля смеси ацетилена/природного газа не изучена. Доля лучистой энергии для природного газа была принята 0,20, а для смеси принята 0,30.

2.6.5. **Измерения:** Только два типа измерений, проведенных во время серии испытаний, были использованы в оценке рассматриваемого здесь, потому что было меньше уверенности в других измерениях. Рассматривается температура и глубина дымового слоя, в котором термпары с голый головкой были использованы для проведения этих измерений. Единственная точка измерения температуры в помещении пожара не была использована в оценке алгоритмов температуры припотолочной струи или конвективной колонки, поскольку геометрия не соответствовала допущениям, используемым в этих алгоритмах. В частности, горелки были установлены вплотную к стене, а соотношение ширины к высоте помещения было меньше, чем предполагается различными соотношениями для припотолочной струи.



2.7. Серия испытаний в помещении (институт NIST/NRC, США)

- 2.7.1. Данные испытания, спонсируемые NRC США и проведенные в NIST, состояли из 15 крупномасштабных экспериментов, выполненных в июне 2003 года. Все 15 тесты были включены в данное исследование. Эксперименты описаны в работе [106]. Размеры источников пожара колебались от 350 кВт до 2.2 МВт в помещении размерами 21,7 м на 7,1 м на 3,8 м, моделирующими помещения атомной электростанции, содержащей силовые и контрольные кабели. Стены и потолок были покрыты двумя слоями обработанной доски, каждый слой толщиной 0,0125 м. Пол был покрыт одним слоем гипсокартона на поверх слоя фанеры. Теплофизические и оптические свойства материалов, используемых в помещении, приведены в работе [106]. В комнате была одна дверь и механическая приточная и вытяжная вентиляция. Параметры вентиляции, размер и расположение источника пожара варьировались. Многочисленные измерения (примерно 350 на тест) были сделаны, в том числе температуры газа и поверхностей, тепловые потоки и скорости газа.
- 2.7.2. Ниже приведены некоторые замечания, предоставленные Энтони Хэминсом, проводившим эксперименты:
- 2.7.3. **Естественная вентиляция:** Помещение имело дверь 2*2 метра в середине западной стены. В некоторых испытаниях дверь была закрыта, и отсутствовала принудительная вентиляция (тесты 2, 7, 8, 13 и 17), и в тех тестах измеряется утечка воздуха из помещений. В протоколе испытаний перечислены области утечки на основе измерений, проведенных до испытаний 1, 2, 7, 8, и 13. Для испытаний с закрытой дверью, площадь утечки, использованной при моделировании, была основана на последнем доступном измерении. Хронологический порядок испытаний отличался от порядка. Для испытания 4, была использована утечка, измеренная перед Тест 2. Для испытаний 10 и 16, была использована утечка, измеренная до испытания 7.
- 2.7.4. **Механическая вентиляция:** в ходе испытаний 4, 5, 10, и 16 была использована механическая вытяжная вентиляция, обеспечивавшая кратность воздухообмена около 5 в час. Дверь была закрыта во время испытания 4 и открыта в течение испытаний 5, 10, и 16. Труба притока была расположена на южной стене, около 2 м от пола. Выходной части равной площади в канал подачи была расположена на противоположной стене при сопоставимом месте. Скорости потока через приточного и вытяжного воздуховодов были измерены в деталях во время перерывов в тестировании, в отсутствие пожара. В ходе испытаний, потоки контролировались с одиночными зондов двунаправленных во самих тестов.
- 2.7.5. **Выделение тепла:** одна форсунка была использована для распыления жидких углеводородных топлив в поддон 1*2 м и 0,1 м в глубину. Изначально предполагалось использование двух форсунок для распыления топлива. Экспериментальные наблюдения показали, что огонь был менее неустойчивый с использованием одной форсунки. Кроме того, было отмечено, что фактическое разлитие жидкого топлива хорошо аппроксимировалось кругом 1 м круг в центре поддона. Из соображений безопасности подача топлива была прекращена, когда концентрация кислорода нижнего слоя упала до примерно 15%об. В качестве топлива в 14 испытаниях использовался гептан, в одном - толуол. Скорость выделения тепла была определена с использованием потребления кислорода калориметрии. Рекомендуемые значения неопределенности составили 17% для всех тестов.
- 2.7.6. **Доля лучистой энергии:** Значения доли лучистой энергии и ее неопределенности были сообщены как $0,44 \pm 0,07$ и $0,40 \pm 0,09$ для гептана и толуола соответственно.
- 2.7.7. **Сажа:** Выделение сажи и ее неопределенность были зарегистрированы как $0,0149 \text{ кг/кг} \pm 0,0033 \text{ кг/кг}$ и $0,195 \text{ кг/кг} \pm 0,052 \text{ кг/кг}$ при использовании гептана и толуола, соответственно.



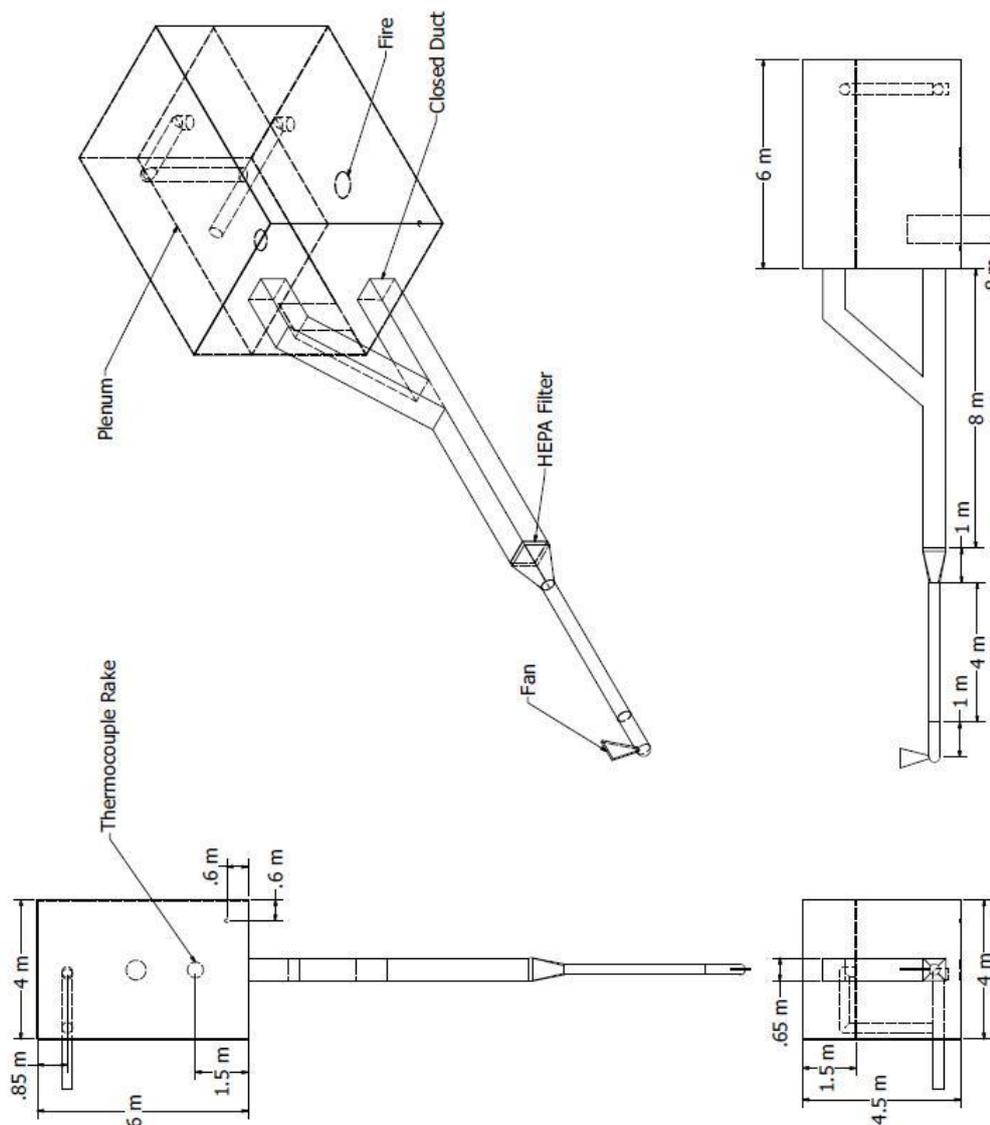
2.8. Влияние вентиляции на пожар помещении (лаборатория LLNL, США)

2.8.1. Шестьдесят четыре испытания проводились Ливерморской национальной лаборатории (LLNL) в 1986 году для изучения влияние вентиляции на пожары в помещении [147]. Помещение длиной 6 м, шириной 4 м, и высотой 4,5 м. Она содержала метановую горелку, размещенную в центре помещения. Для большинства испытаний горелка была помещена на полу. Тепловыделение варьировалось от 50 кВт до 400 кВт. Горелка была 0,57 м в диаметре и 0,23 м в высоту. Дверь была закрыта и опечатана в большинстве тестов, и воздух подавался с расходом в диапазоне от 100 г/с до 500 г/с. В некоторых тестах в помещении использовался подвесной потолок, и воздух мог подаваться сверху или снизу.

2.8.2.

Номер исп.	Конфиг. пом.	h0 м	\dot{Q} кВт	\dot{m} g/s	T_{∞} °C	Номер исп.	Конфиг. пом.	h0 м	\dot{Q} кВт	\dot{m} g/s	T_{∞} °C
1	TL	0	200	0	23	33	PH	0	100	200	23
2	TL	0	200	0	27	34	PH	0	100	300	34
3	TL	0	400	0	27	35	PH	0	100	400	22
4	TL	0	300	0	24	36	PH	0	100	500	29
5	TL	0	50	0	28	37	PH	0	200	100	20
6	TL	0	100	0	29	38	PH	0	200	300	29
7	TL	0	100	0	35	39	PH	0	250	100	18
8	TL	0	200	0	35	40	PH	0	200	400	28
9	TL	0	200	500	33	41	PH	0	150	100	20
10	TL	0	200	100	28	42	PHE	2	200	180	30
11	TL	0	200	200	18	43	PHE	2	200	0	32
12	TL	0	200	300	21	44	PHE	1	200	180	19
13	TL	0	200	400	28	45	PHE	1	200	0	30
14	TL	0	200	400	28	46	PHE	0.6	200	180	19
15	TL	0	100	300	24	47	PHE	0.6	200	0	19
16	TL	0	200	300	21	48	PHE	0.3	200	0	21
17	PL	0	200	500	26	49	PHE	0.3	200	180	26
18	PL	0	200	400	21	50	PHE	1	200	180	21
19	PL	0	200	300	18	51	PNE	1	200	NAT	33
20	PL	0	200	200	16	52	PN	0	200	NAT	23
21	PL	0	200	100	23	53	PHGS	0	200	185	33
22	PH	0	200	190	30	54	PHGS	0	200	215	21
23	PH	0	200	215	28	55	PN	0	100	NAT	31
24	PH	0	200	205	26	56	PHGW	0	200	190	20
25	PH	0	200	205	25	57	PHGW	0	200	215	29
26	PH	0	200	500	24	58	PHX	0	200	190	18
27	PH	0	200	100	23	59	PHXE	1	200	190	24
28	PH	0	150	150	31	60	PN	0	400	NAT	22
29	PH	0	250	250	28	61	TN	0	200	NAT	31
30	PH	0	250	300	34	62	TN	0	400	NAT	22
31	PH	0	250	500	36	63	TN	0	50	NAT	28
32	PH	0	100	100	33	64	TN	0	100	NAT	17

Т – полная высота помещения
Р – с подвесным потолком
L – нижнее входное отверстие
H – верхнее входное отверстие
X – входное отверстие, расширенное до 3 футов
N – естественная вентиляция (открытая дверь)
GS – решетка на входном отверстии, конфигурация в северном/южном направлении
GW – решетка на входном отверстии, конфигурация в восточном/западном направлении
E – приподнятый источник пожара, h ₀



2.9. Эксперименты с принудительной вентиляцией в помещении (институт NIST, США)

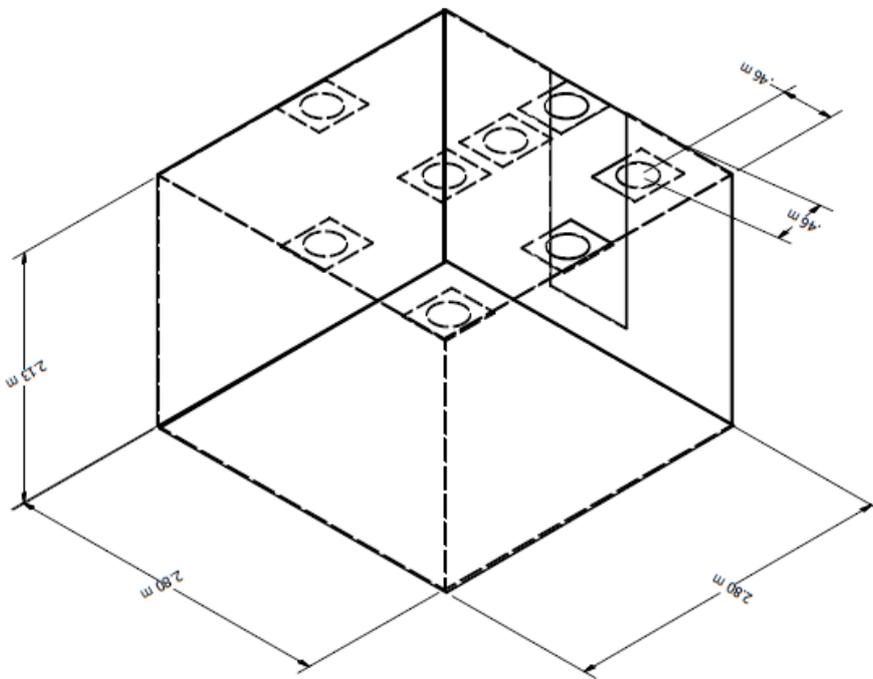
2.9.1. Рестиво выполнил измерения скорости при принудительной вентиляции в помещении 9*3 м, высотой 3 м [156]. Эти измерения широко использовались для валидации моделей расчетной гидродинамики, предназначенных для приложений, моделирующих качество воздуха в помещениях. Они также использовались для оценки ранних версий программы FDS [19, 20, 34]. В эксперименте воздух нагнетался в помещение через вертикальную щель 16,8 см под потолком по ширине помещения, со скоростью 0,455 м/с. Пассивная вытяжка была расположена около пола на противоположной стене, установленными таким образом, чтобы не было наращивание давления в помещении. Составляющая скорости в продольном направлении была измерена в четырех массивах: два вертикальных массива, расположенные в 3 м и 6 м от входа вдоль центральной части комнаты, и два горизонтальных массива, расположенных в 8,4 см над уровнем пола и под потолком, соответственно. Эти измерения выполнялись термоэлектрическим анемометром. В то время как данные по конкретной используемой аппаратуре не всегда доступны, термоэлектрические системы, как правило, имеют ограничения при малых скоростях, с типичными порогом около 0,1 м/с.

2.10. Измерение температуры и скорости в помещении (бюро NBS, США)

2.10.1. Стеклер, Квинтир и Ринкинен выполнили серию из 55 пожарных испытаний в помещении для НБС в 1979 году. Помещение имело размеры 2,8 м на 2,8 м на 2,13 м высотой, с одной дверью различной ширины, или же с одним окном различной высоты. В качестве источника пожара использовалась метановая горелка диаметром 30 см, скорость тепловыделения составляла 31,6 кВт, 62,9 кВт, 105,3 кВт и 158 кВт. Вертикальные профили скорости и температуры были измерены в дверях, вместе с одной вертикального профиля температуры в отсеке. Полное описание и результаты приведены в работе [168]. Матрица тестов приведена в таблице ниже. Обратите

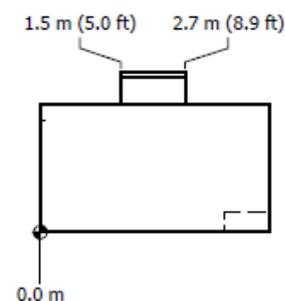
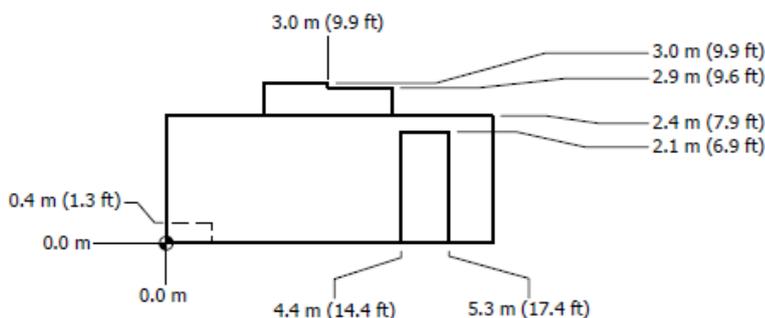
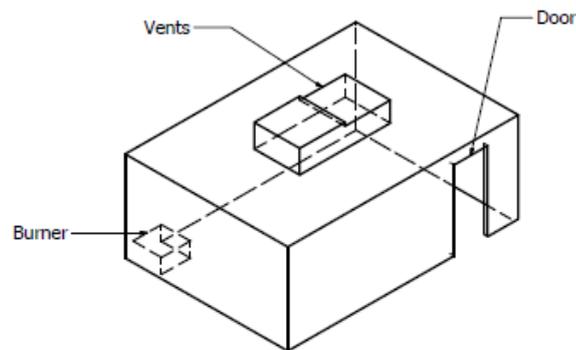
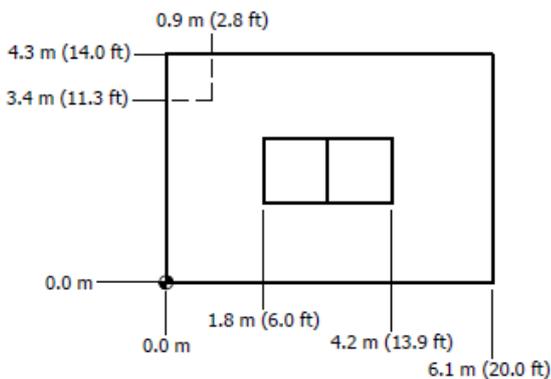
внимание, что протокол испытаний не включает в себя подробное описание помещения. Тем не менее, внутренний доклад спонсора испытаний, компании Армстронг Корк, сообщает, что пол помещения состоит из 19 мм силиката кальция с 12,7 мм фанеры на деревянных брусках сверху. Стены и потолок состояли из 12,7 мм керамической волокнистой изоляцией доски над 0,66 мм алюминиевого листа, прикрепленной к древесным шпилькам. Схема помещения отображается на рисунке (Исследовательский отчет Технический, своих индуцированных потоков через комнату Отверстия - Коэффициенты расхода, Проект 203005-003, Армстронг Корк Кампани, Ланкастер, Пенсильвания, май, 1981).

Test	Door Width (m)	Door Height (m)	HRR \dot{Q} (kW)	Burner Location	Test	Door Width (m)	Door Height (m)	HRR \dot{Q} (kW)	Burner Location
10	0.24	1.83	62.9	Center	224	0.74	0.92	62.9	Back Corner
11	0.36	1.83	62.9	Center	324	0.74	0.92	62.9	Back Corner
12	0.49	1.83	62.9	Center	220	0.74	1.83	31.6	Back Corner
612	0.49	1.83	62.9	Center	221	0.74	1.83	105.3	Back Corner
13	0.62	1.83	62.9	Center	514	0.24	1.83	62.9	Back Wall
14	0.74	1.83	62.9	Center	544	0.36	1.83	62.9	Back Wall
18	0.74	1.83	62.9	Center	512	0.49	1.83	62.9	Back Wall
710	0.74	1.83	62.9	Center	542	0.62	1.83	62.9	Back Wall
810	0.74	1.83	62.9	Center	610	0.74	1.83	62.9	Back Wall
16	0.86	1.83	62.9	Center	510	0.74	1.83	62.9	Back Wall
17	0.99	1.83	62.9	Center	540	0.86	1.83	62.9	Back Wall
22	0.74	1.38	62.9	Center	517	0.99	1.83	62.9	Back Wall
23	0.74	0.92	62.9	Center	622	0.74	1.38	62.9	Back Wall
30	0.74	0.92	62.9	Center	522	0.74	1.38	62.9	Back Wall
41	0.74	0.46	62.9	Center	524	0.74	0.92	62.9	Back Wall
19	0.74	1.83	31.6	Center	541	0.74	0.46	62.9	Back Wall
20	0.74	1.83	105.3	Center	520	0.74	1.83	31.6	Back Wall
21	0.74	1.83	158.0	Center	521	0.74	1.83	105.3	Back Wall
114	0.24	1.83	62.9	Back Corner	513	0.74	1.83	158.0	Back Wall
144	0.36	1.83	62.9	Back Corner	160	0.74	1.83	62.9	Center*
212	0.49	1.83	62.9	Back Corner	163	0.74	1.83	62.9	Back Corner*
242	0.62	1.83	62.9	Back Corner	164	0.74	1.83	62.9	Back Wall*
410	0.74	1.83	62.9	Back Corner	165	0.74	1.83	62.9	Left Wall*
210	0.74	1.83	62.9	Back Corner	162	0.74	1.83	62.9	Right Wall*
310	0.74	1.83	62.9	Back Corner	167	0.74	1.83	62.9	Front Center*
240	0.86	1.83	62.9	Back Corner	161	0.74	1.83	62.9	Doorway*
116	0.99	1.83	62.9	Back Corner	166	0.74	1.83	62.9	Front Corner*
122	0.74	1.38	62.9	Back Corner					* Raised burner



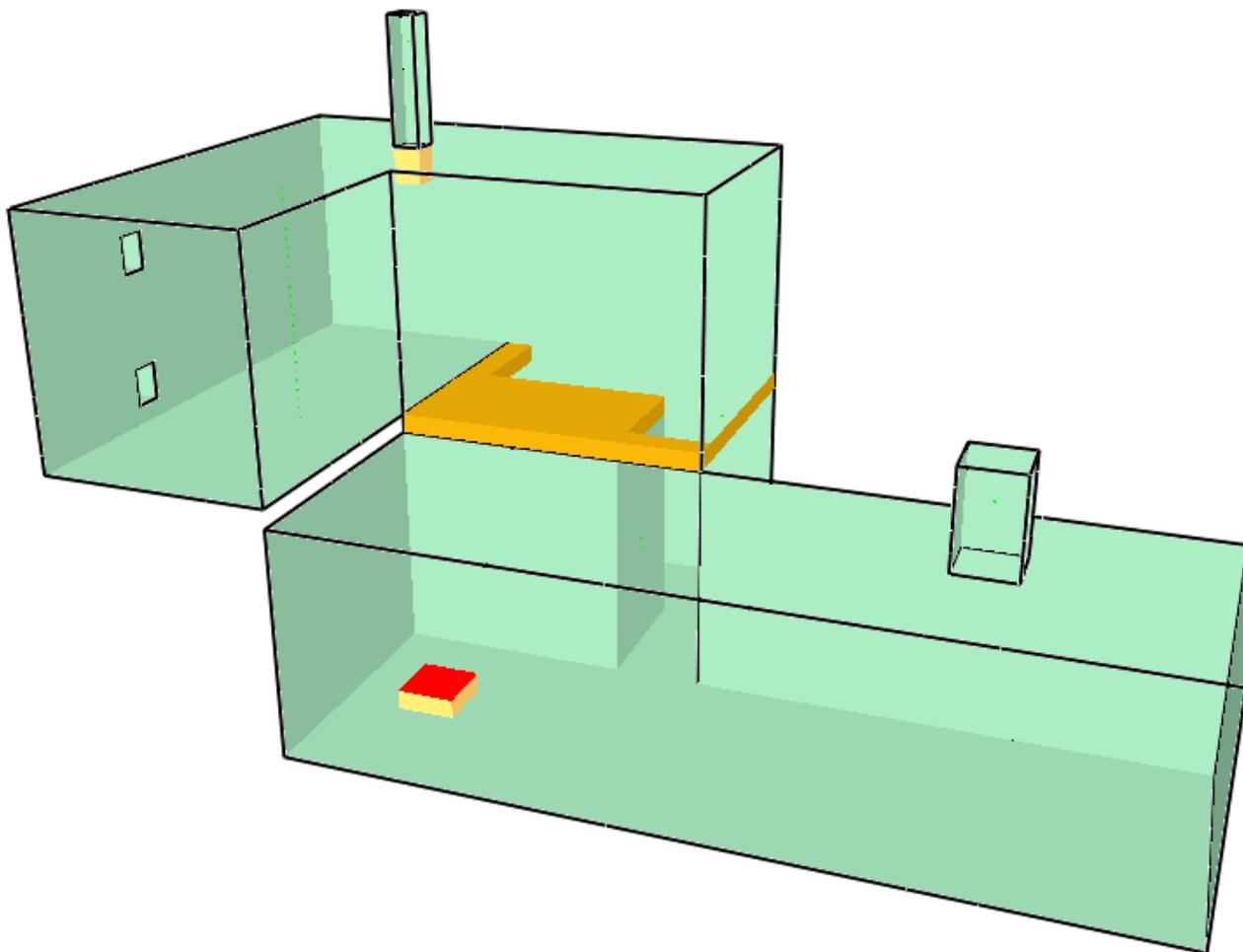
2.11. Изучение влияния вентиляции на температуру при пожаре (лаборатория UL/NIST, США)

2.11.1. В 2012 году отдел противопожарной техники NIST провел эксперименты в лаборатории UL по технике безопасности, чтобы оценить изменение температуры в помещении при открывании одного или двух 1,2 м квадратных отверстий в потолке. Четыре эксперимента с использованием природного газа в горелке были проведены в помещении 6,1 м на 4,3 м на 2,4 м с одним дверным проемом. Скорость тепловыделения варьировалась от 500 кВт до 2 МВт, форточки открывались и закрывались, так что в течение четырех экспериментов было 31 дискретный интервал времени, в котором предсказания модели могут сравниваться с квазистационарными условиями. В помещении расположены два вертикальных массива термодпар, дверь и вентиляционные отверстия были оборудованы термомпарами и двунаправленными зондами скорости.



2.12. Движение дыма в большом помещении с наклонным потолком (центр VTT, Финляндия)

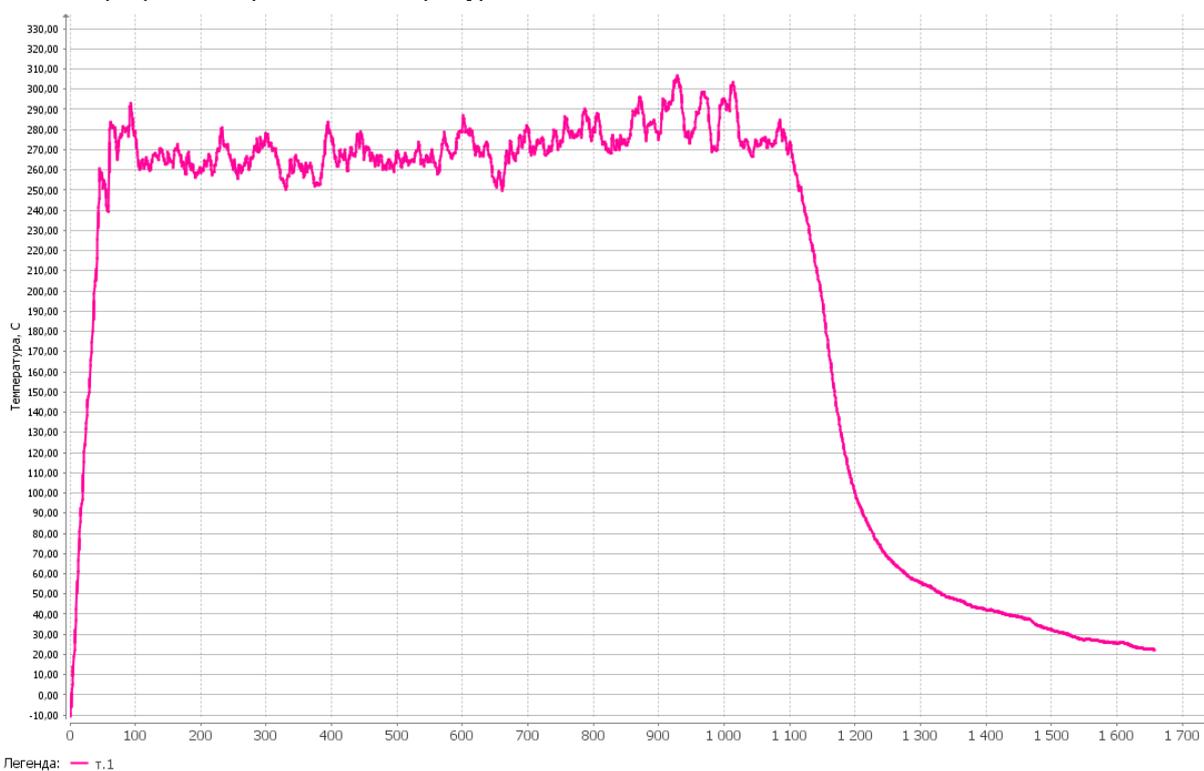
- 2.12.1. Испытания описаны в работе [172]. Серия состояла из 8 испытаний, но из-за повторов получилось только три уникальных сценариев пожара. Эксперименты проводились для изучения распространения дыма в большом зале с наклонным потолком. Испытания проводились внутри зала огневых испытаний VTT, размерами 19 м в высоту на 27 м в длину и 14 м в ширину. В каждом тесте пожарной нагрузкой был поддон с гептаном со скоростью от 2 МВт до 4 МВт. Четыре типа выходных данных были использованы в настоящем документе - температура и глубина дымового слоя, средняя высота пламени и температуры факела. Три вертикальных массива термопар, а также две термопары в факеле, сравнивались с прогнозами программы. Температура и высота дымового слоя были получены усреднением по трем массивам термопар с использованием стандартного алгоритма. Температура припотолочной струи не рассматривалась, потому что потолок в тестовом зале не является плоским, и стандартный алгоритм не подходит для этой геометрии.
- 2.12.2. Протокол испытаний VTT испытывает недостаток в некоторой информации, необходимой для моделирования экспериментов, вот почему некоторая информация была основана на личном общении с главным исследователем, Симо Хостикка.
- 2.12.3. **Материалы поверхности:** Стены и потолок испытательного зала состоят из толстого слоя 1 мм листового металла поверх слоя 5 см минеральной ваты. Пол был построен из бетона. В докладе не приводятся тепловые свойства этих материалов.
- 2.12.4. **Естественная Вентиляция:** В тестах 1 и 2 все двери были закрыты, и вентиляция была ограничена инфильтрации через ограждающие конструкции. Точная информация о инфильтрации воздуха во время этих испытаний не доступна. Ученые, проводившие эксперименты, порекомендовали принять область утечки около 2 м², распределенных равномерно по всей поверхности ограждающих конструкций. В противоположность этому, в случае 3 двери, расположенные в каждой торцевой стенке (двери 1 и 2 соответственно) были открыты для внешней окружающей среды. Эти двери 0,8 м в ширину и 4 м в высоту каждая, и расположены так, что их центры находятся в 9,3 м от южной стены.
- 2.12.5. **Механическая вентиляция:** Тестовый зал имеет единую механическую вытяжную трубу, расположенную в пространстве под крышей, идущую по оси здания. Этот канал имел круглое сечение диаметром 1 м, и отверстие по горизонтали в зал на расстоянии 12 м от пола и 10,5 м от западной стены. Механическая вытяжная вентиляция работала для теста 3, с постоянной объемной скорости потока 11 м³/с, проведенной через вытяжной канал.
- 2.12.6. **Скорость выделения тепла:** В каждом тесте использовался один поддон с жидким топливом, центр поддона располагался в 16 м от западной стены и 7,4 м от южной стены. Для всех испытаний топливом был гептан в круглом стальном поддоне, что частично заполненном водой. Поддон имел диаметр 1,17 м в тесте 1 и 1,6 м в тестах 2 и 3. В каждом случае поверхность топлива была в 1 метре от пола. Поддоны размещались на датчиках нагрузки и скорость выделения тепла рассчитывалась по скорости потери массы. В трех тестах скорость потери массы топлива усреднялась по повторяющимся тестам. Для оценки скорости выделения тепла была использована теплота сгорания (принятая 44600 кДж/кг) и эффективность сгорания для n-гептана. Hostikka предполагает значение 0,8 для эффективности сгорания. Tewarson сообщает значение 0,93 для 10 см бассейна пожара в [173]. Для расчетов, представленных в текущем исследовании, эффективность сгорания 0,85 предполагается. В общем, неопределенность 15% предполагалось за отчетный ПЧР большинства крупномасштабных экспериментов пожарных используемых.
- 2.12.7. **Доля излучения:** Предполагается, что доля излучения равна 0.35, аналогично многим дымным углеводородам.
- 2.12.8. Схема тестовой структуры показана на рис 3.16.



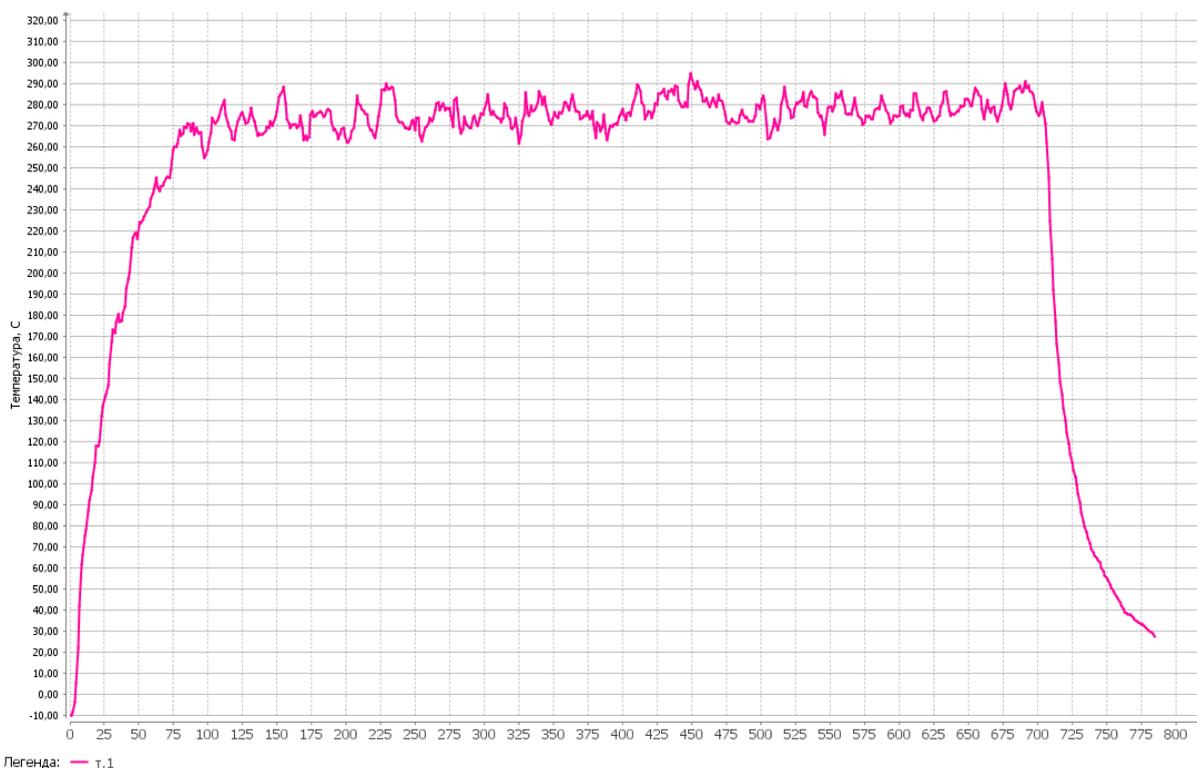
2.13.7.

2.13.8. Температура воздуха измерялась термопарой под потолком нижнего этажа (на высоте 1,83 м над уровнем пола). Скорость воздуха измерялась в верхнем и нижнем отверстиях двери.

2.13.9. График измеренной температуры:

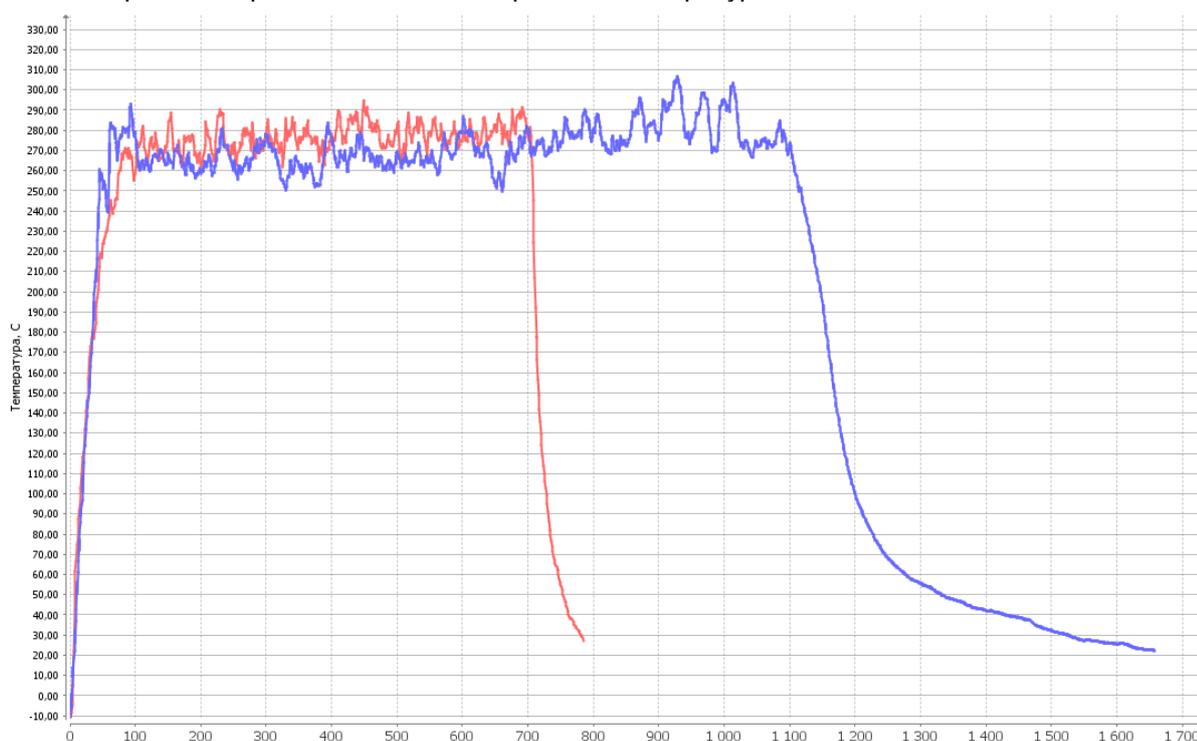


2.13.10. График рассчитанной температуры:



Легенда: — т.1

2.13.11. Сравнение рассчитанной и измеренной температур:



Легенда: — эксперимент т.1 — расчет т.1

2.13.12. Расхождение между средними значениями рассчитанной и измеренной температур составляет 3%.

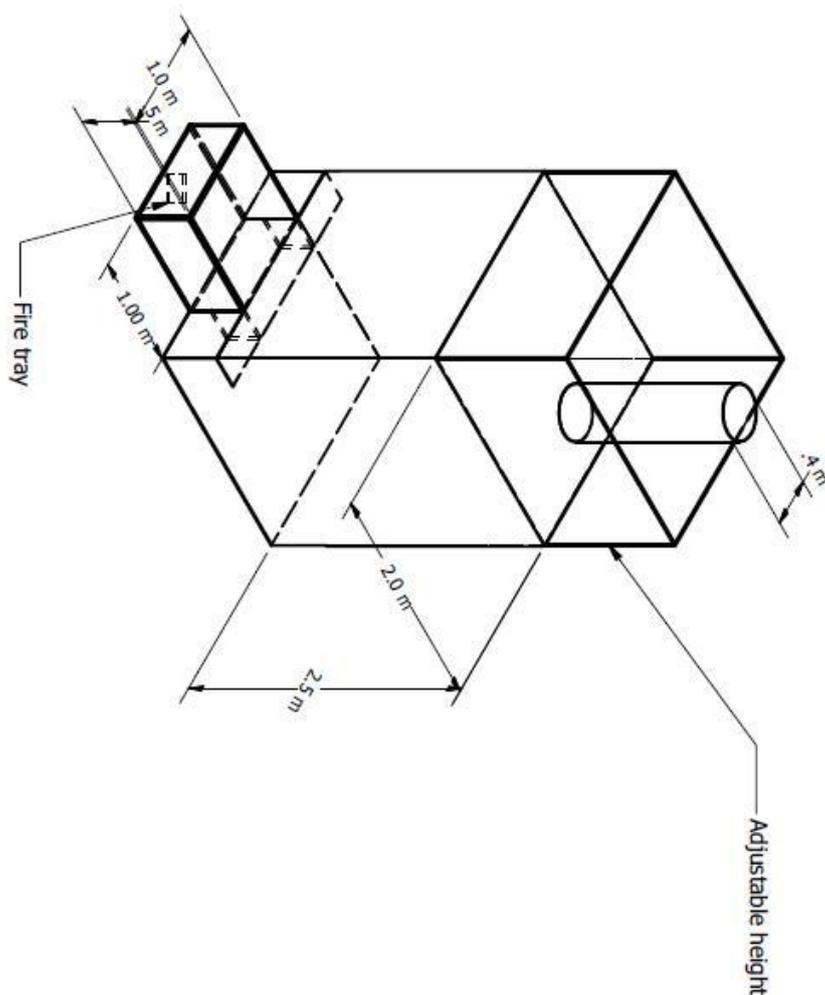
2.13.13. Рассчитанное время выгорания топлива на 36% меньше экспериментального, что, вероятно, связано с неопределенностью справочных данных, в том числе скоростью выгорания топлива.

3. ИЗУЧЕНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ КОЛОНКИ

3.1. Пожар пролива (университет Кентербери, Новая Зеландия)

3.1.1. Роджер Харрисон, студент в университете Кентербери, Новая Зеландия, провел серию экспериментов в масштабе один к десяти с целью дать характеристику вовлечению тепловой струи разлива [141, 142, 143, 144]. Размеры пожарного отсека были 1 м на 1 м на 0,5 м в высоту. Высота открытия отсека была равна высоте отсека. Ширина отверстия варьировалась от 0,2 м до 1 м. 0,3 м

балкон был прикреплен к верхней части отверстие отсека. Балкон продлен 0,5 м за каждой стороны пожарного отсека. Скорость высвобождения тепло огня варьировала от 5 кВт до 15 кВт. Скорость уноса шлейф измеряли на разных высотах, изменяя скорость выхлопных газов из капотом выше отсека. Две различные конфигурации испытаний были использованы для моделирования как обособленные и прилиплие перья разлива. План структуры испытания представлен на Рис. 3.3.



3.1.2. Рисунок 3.3: Геометрия экспериментов Харрисона со струями разлива.

3.2. Исследование конвективной колонки (бюро NBS, США)

3.2.1. В 1979 году в Национальном бюро стандартов (теперь NIST), Бернар Маккэффри измеряется осевой линии температуры и скорости профили выше пористой, огнеупорной горелки. Были пять различных валют тепловыделения, начиная от 14 кВт до 57 кВт. В качестве топлива природный газ. Горелка была квадратной, 0,3 м с каждой стороны. Результаты экспериментов приведены в работе [148].

3.2.2.

3.3. Исследование конвективной колонки (научный центр Sandia, США)

3.3.1. Огонь Лаборатория по аккредитации в области моделей экспериментальным путем (пламя) объект [157, 158] в Sandia National Laboratories в Альбукерке, Нью-Мексико, разработан специально для проверки моделей плавучих пожарных шлейфов. Источник струя 1 м в диаметре, окруженный 0,5 м стали « заземления ». Методы PIV / PLIF используются для получения мгновенных совместное скалярные и скорости поля. О'Нерн др.. [157] изучал турбулентный плавучий гелия шлейф в пламени объекта. Ранее работа моделировать этот эксперимент был проведен на Desjardin др.. [159]. Tieszen др.. [160, 161] изучали метана и бассейн водорода пожаров.

4. ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

4.1. Ослабление теплового излучения распыляемой водой (университет Нью-Мексико, США)

- 4.1.1. Murrel др. [123] измерили ослабление теплового излучения, проходя через струей воды с помощью манометра теплового потока. Излучение было произведено тепловой панели, один квадратный метр, при 900 ° С. Расстояние по горизонтали от излучения панели для распылительного сопла был 2 м и точки измерения 4 м. Форсунки были расположены на высоте 0,24 м над панели верхнего края. Манометр потоке тепла был помещен на линии, проходящей через центр панели. Ослабление излучения был определен как $(q_0 - QS) = q_0$, где q_0 является начальный поток радиационного тепла, измеряется без спрея и QS является тепловой поток измеряется во время операции распыления.
- 4.1.2. Экспериментальные результаты используются из трех сопел типа полный конус, обозначенные А, В и D. Угол открытия сопел были между 90 и 108 градусов. Целью моделирования является сравнение измеренных и смоделированных ослабления излучения при различных условиях потока. Форсунки были определены в терминах среднего размера капель и означает вертикальную скорость с помощью измерения НДПА в одном положении, 0,7 м ниже сопла. Краевые условия капель были установлены исходя из $d_m \mu P \approx 1 = 3$ и $V \mu P \approx 1 = 2$ тип зависимостей между размером капли, скорости и давления.

4.2. Тепловое повреждение кабелей (научный центр Sandia, США)

- 4.2.1. CAROLFIRE был проект спонсируется Комиссии по ядерному регулированию США, чтобы изучить пожара, вызванных тепловой отклик и функциональное поведение электрических кабелей [127]. Основная цель CAROLFIRE было охарактеризовать различные режимы отказа электрооборудования (например, горячие шорты, шорты на землю) в связках питания, контроля и инструментальных кабелей. Вторая цель проекта состояла в том, чтобы проверить простую модель для прогнозирования термически индуцированный электрический сбой (вор). Измерения, используемые для этих целей были проведены в Sandia National Laboratories и описаны во втором томе протоколе испытаний CAROLFIRE. Короче говоря, было две серии экспериментов. Первый проводились в нагретой цилиндрической оболочки, известной как пальчиковые аппарата. Одно-и в комплекте кабели подвергались различным тепловых потоков и электрических режимов отказа записанных. Вторая серия экспериментов участие кабели внутри лотков в semienclosed пространства, при которых газ топливе горелки созданной горячего слоя, чтобы заставить повреждений кабели.
- 4.2.2. Петра Андерссон и Патрик Ван Неес НИИ шведского национального тестирования и (SP) предположил, что термически индуцированных электрическая неисправность кабели можно предсказать с помощью одномерного расчета теплообмена, в предположении, что кабель можно рассматривать как однородное цилиндра [128]. Их результаты для кабелей из ПВХ были обнадеживающими, и предложил, что упрощение анализа является разумным и что она должна распространяться на другие типы кабелей. Предположения, лежащие в основе модели вор в следующем:
- 4.2.2.1. Проникновение тепла в кабель круглого сечения в основном в радиальном направлении. Это значительно упрощает анализ, и это также консервативным, поскольку предполагается, что кабель полностью окружен источника тепла.
- 4.2.2.2. Кабель однородной по составу. В действительности, кабель изготовлен из нескольких различных типов полимерных материалов, целлюлозных наполнителей, и проводящего металла, чаще всего меди.
- 4.2.2.3. Тепловая нед λ и проводимость, теплоемкость и плотность ρ из предполагаемой однородной кабели не зависят от температуры. В действительности, как теплопроводность и теплоемкость полимеров зависит от температуры, но эта информация очень трудно получить от производителей. Больше обсуждения этого предположения можно найти ниже.
- 4.2.2.4. Предполагается, что никакие реакции разложения не происходит внутри кабели при его нагреве, и воспламенение и горение не рассматриваются в модели. В самом деле, термопластичные кабели расплава, термореактивные образуют сьаг слой, и оба отходящих газов летучие до и после точки отказа электрооборудования.
- 4.2.2.5. Электрические сбой происходит, когда температура только внутри оболочки кабели достигает экспериментально определенное значение.
- 4.2.3. Поскольку эксперименты CAROLFIRE пальчиковые испытания одиночных кабелей, которые были нагреты равномерно со всех сторон, одномерная модель BOP точно предсказал времена для температуры внутри оболочки кабели для достижения "порогового" значения, которые обычно наблюдаются, когда кабель не удаётся электрически.

4.3. Изучение тепловых свойств полимеров (агенство по авиации, США)

4.3.1. В рамках своих усилий по характеризуют характеристик горения, обычно используемых пластмасс, Федеральная авиационная администрация США (FAA) провели измерения тепловых свойств обугливание и *postcharring* полимеры с конкретной целью предоставления исходных данных для численных моделей пиролиза [135, 136]. Целью исследования было определить, можно ли использовать одномерная модель проводимости / реакция в качестве практического инструмента для прогнозирования и / или экстраполяции результатов испытаний пожарных калориметрии. Не- обугливание полимеры включены поли (метилметакрилата) (ПММА), ударопрочного полистирола (HIPS) и полиэтилена высокой плотности (HDPE). Обугливание полимеры включали поликарбонат (ПК) и поливинилхлорид (ПВХ).

4.4. Измерение теплового потока (университет Кентербери, Новая Зеландия)

4.4.1. Роб Флери, степень магистра студент Университета Кентербери в Крайстчерче, Новая Зеландия, измеряется тепловой поток из различных пропана пожаров [137]. Целью работы было оценить разнообразие эмпирических методов расчета тепловой поток. Для измерений, теплового потока датчики были установлены на подвижных тележек, которые были размещены в передней части, а в сторону, горелки с размерами 0,3 м на 0,3 м (1:01 горелкой), 0,6 м на 0,3 м (2:01 горелки), и 0,9 м на 0,3 м (3:01 горелки). Скорости высвобождения тепла были установлены до 100 кВт, 150 кВт, 200 кВт, 250 кВт, и 300 кВт. Датчики были установлены на высоте 0 м, 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и относительно верхнего края горелки.

4.5. Измерение теплового потока (Вустерский политехнический институт, FM, США)

4.5.1. Патрисия Болье провели измерения теплового потока в наборе вертикальных параллельных панелей в рамках совместной исследовательской программы между Вустер политехнического института и FM Global (Factory Mutual) [138]. Экспериментальная установка состояла из двух вертикальных параллельных панелей, высотой 2,4 м и шириной 0,6 м, с песком горелки на базе. Целью проекта было измерить скорость распространения пламени над различными композитных стены облицовочных материалов, но были и эксперименты, проведенные с инертными стен с целью измерения теплового потока от двух видов топлива, пропана и пропилена, по ставкам тепловыделение от 30 кВт, 60 кВт и 100 кВт.

4.6. Ослабление теплового излучения распыляемой водой (университет Нанси, Франция)

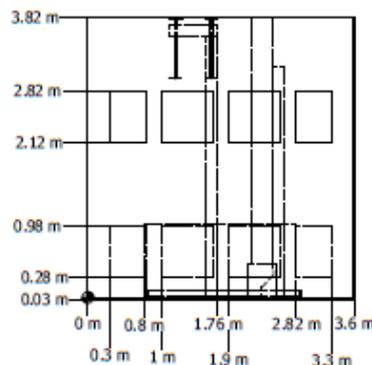
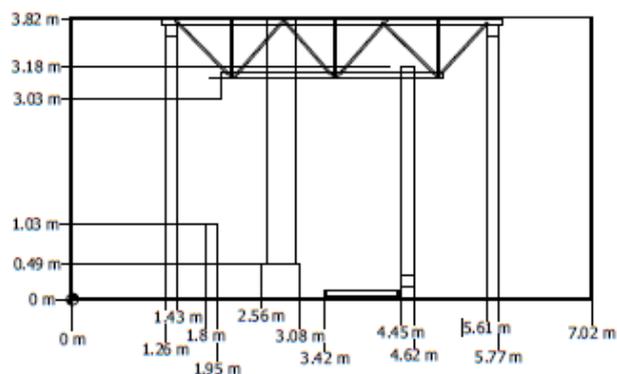
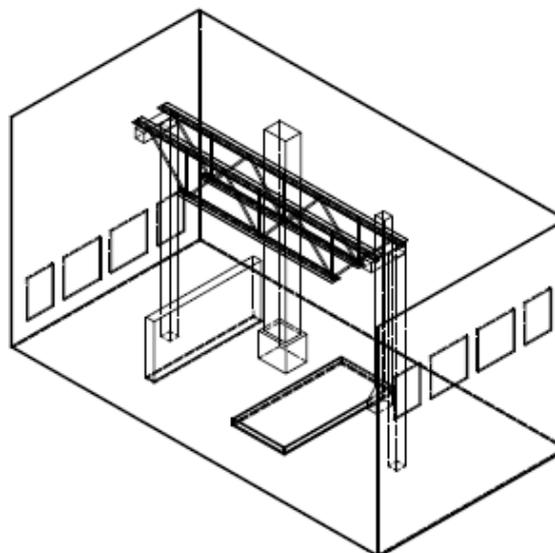
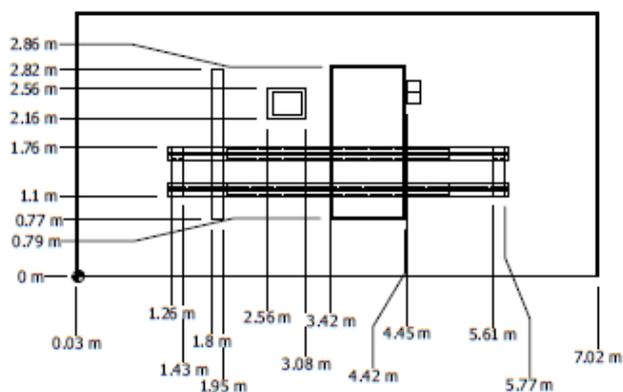
4.6.1. Lechêne др. [146] измеряется затухание тепловое излучение, проходя через струей воды с помощью манометра теплового потока. Излучение было произведено 30 см на 35 см тепловой панели которого излучения близок к черного тела при 500 ° C. Расстояние по горизонтали от излучения панели для распылительного сопла составляла 1,5 м, а в точке измерения 3 м. Манометр потоктепла был помещен на линии, проходящей через центр панели. Водяной туман производится семи сопел, расположенных в ряд, 10 см друг от друга. Они расположены 1,5 м в высоту. Тепло панель переводится в вертикальном ходе эксперимента, расстояние между верхним краем панели и ряда сопел колеблется от 20 см до 100 см.

4.6.2. Ослабление излучения определяется как описано ранее для распылительной экспериментов BRE. Цель моделирования является сравнение измеренных и смоделированных ослабление излучения на различных высотах. Форсунка водяной туман характеризуется Lechêne путем измерения углы распыления и расхода воды. Размер капель устанавливается с помощью измерения НДПА в одном положении, 20 см ниже точки впрыска.

4.7. Серия испытаний автоматического пожаротушения (институт NIST, США)

4.7.1. В рамках своего расследования катастрофы Всемирного торгового центра, Научно-исследовательская лаборатория Строительство и Пожар на NIST провели несколько серий пожарных испытаний как для усиления проникновения в наблюдаемого поведения пожара, а также для проверки программы для использования в восстановлении пожаров. В первой серии испытаний участвовали относительно простой отсек с жидким распылением горелки и различных структурных элементов с различными количествами распыляемого несгораемых материалов (SFRM). Схема отсека показана на рис. 3.17. Полное описание испытаний можно найти в докладе NIST WTC NCSTAR 1-5B [62]. Общий корпус был прямоугольным, как были отверстия, и большинство препятствий. Отсек стены и потолок были сделаны из 2,54 см. толщиной *gypsum*. Производитель условия, тепловые свойства материала, используемого в расчете. Плотность была 737 кг/м³, теплопроводность 0,12 Вт / м / К. Удельная теплоемкость в диапазоне от 1,17 кДж / кг / К при 93 °C до 1,42 кДж / кг / К при 425 °C. Предполагалось Это значение для более высоких температурах. Сталь, используемая для построения столбцов и ферм фланцы был толстым 0,64 см. Плотность стали предполагалась 7860 кг/м³; его теплоемкость 0,45 кДж / кг / К.

4.7.2. Два топлива были использованы в тестах. Свойства топлив были получены из измерений, выполненных на серии неограниченных ожогов, на которые ссылается в протоколе испытаний. Первое топливо является смесью гептана изомеров, C₇H₁₆. Его выход сажи был установлен на постоянном 1,5%. Второе топливо представляет собой смесь (40 % - 60% по объему) толуола, C₇H₈ и гептан. Потому что только программа считает сжигание одного углеводородного топлива, смесь принято быть C₇H₁₂ с сажой выходом 11,2%. Радиационное фракция для гептана смеси было 0,44; для гептан / толуол это было 0,39. Скорость тепловыделения моделируемой горелки был установлен на то, что было измерено в экспериментах. Распылительная форсунка была смоделирована с использованием сообщалось свойства соплом и капель жидкого топлива.



4.7.3. Рисунок 3.17: Геометрия экспериментов в Центре мировой торговли.

4.8. Измерение теплового потока на фасаде при пожаре (институт NRCC, Канада)

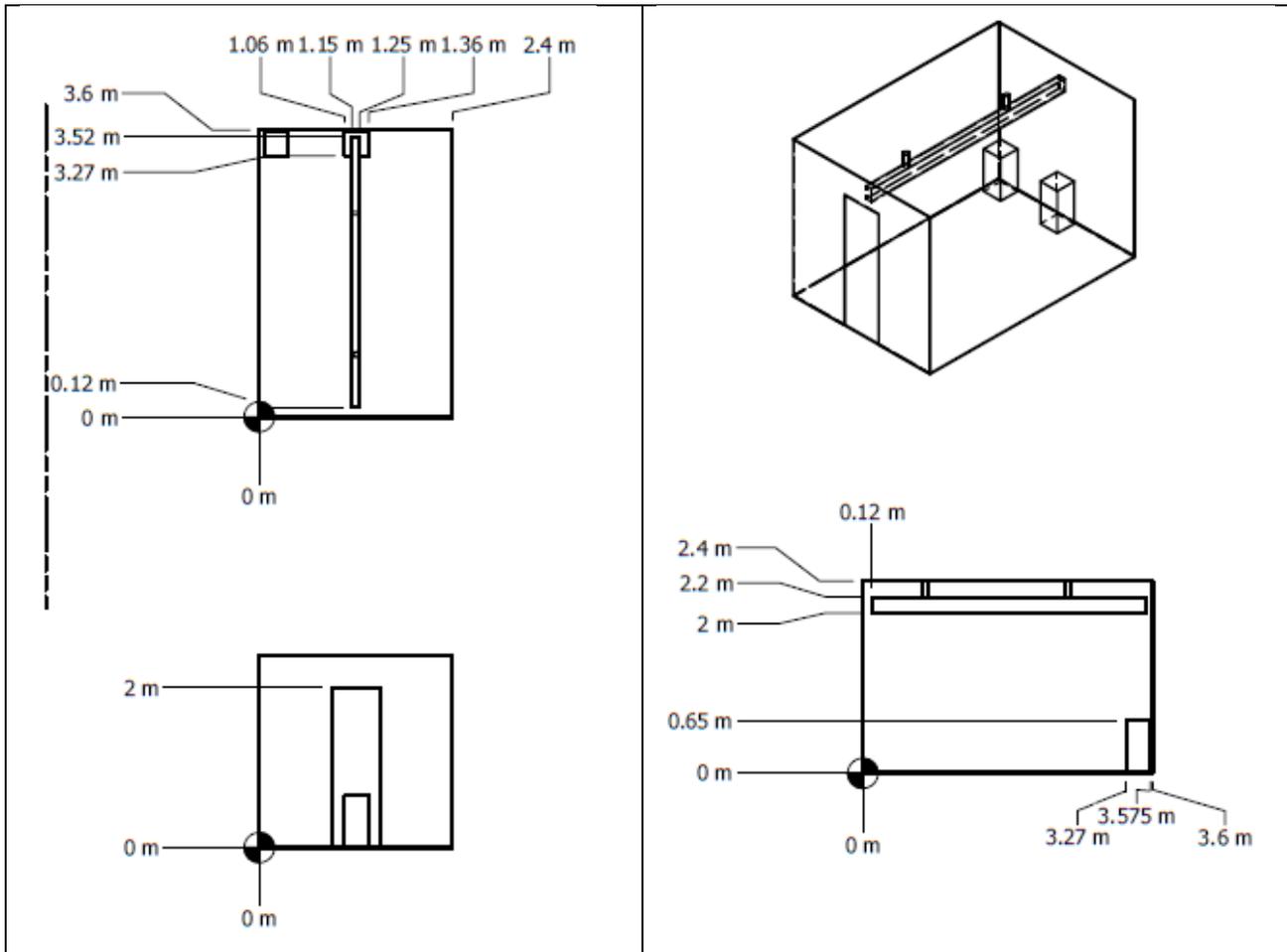
4.8.1. В серии экспериментов было проведено Исследовательским разделе пожарной Института по исследованиям в области строительства, Национальный исследовательский совет Канады (NRCC), для измерения теплового потока на макет наружной фасада здания из-за пожара в отсеке [152, 153]. Эксперименты, отобранные для проверки моделей проводились с использованием серию пропан линии горелок в купе, внутри которого размеры были 5,95 м в ширину, 4,4 м в глубину, и 2,75 м (см. рис. 3.8). Были пять различных размеров двери / окна:

1. 0,94 м на 2,00 м в высоту
2. 0,94 м на 2,70 м в высоту (дверной проем)
3. 2,60 м на 1,37 м в высоту (показано на Рис. 3.8)
4. 2,60 м на 2,00 м в высоту
5. 2,60 м на 2,70 м (дверной проем)

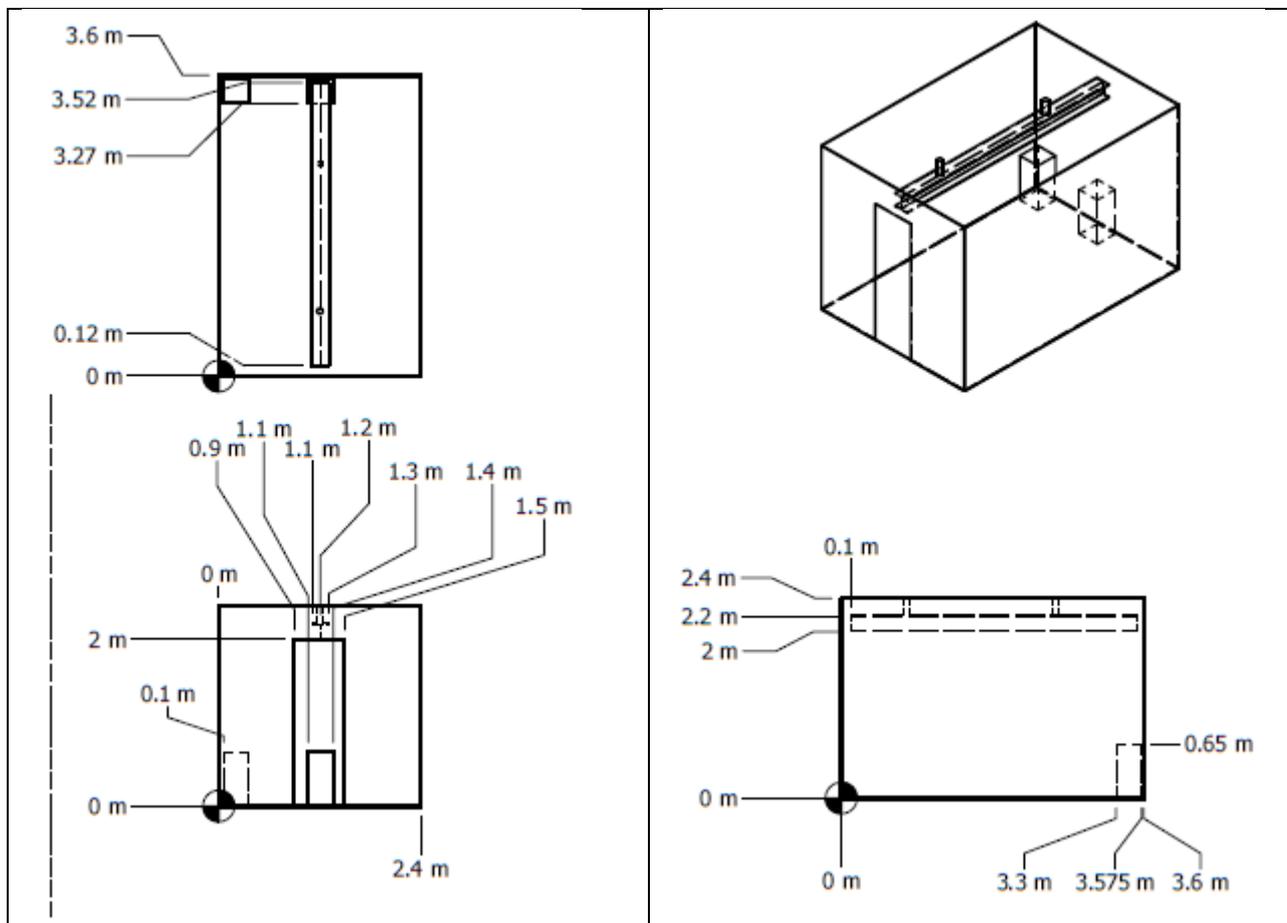
4.8.2. Было представлено четыре размера пожара: 5.5MW, 6.9MW, 8.6MW и 10.3MW. Всего было проведено 19 испытаний, за исключением пожара размером 10,3 МВт с окном 1. В каждом испытании были сделаны измерения теплового потока на высоте 0,5 м, 1,5 м, 2,5 м и 3,5 м над верхней частью дверного/окноного проема.

многомерного расчета теплопроводности для пучка. Адиабатическая температура поверхности была получена из температур пластин и используется TASEF, конечно-элементной тепловой структурно- программы.

4.11.2. Эксперименты проводились в стандартном отсеке предназначена для угловой огневых испытаний (ISO 9705). Отсек 3,6 м в глубину, ширину 2,4 м и высотой 2,4 м и включает в себя открытие 0,8 м двери на 2,0 м. В комнате было построено 20 см толщиной легкий вес бетонных блоков с плотностью 600 кг/м^3 _ 100 кг/м^3 . Источник тепла был бежать газовая горелка при постоянной мощности 450 кВт. В верхней части горелки, с квадратным отверстием 30 см × 30 см, помещали 65 см над уровнем пола, 2,5 см от стенок. Один луч стали было приостановлено на 20 см ниже потолка вдоль центральной части отсека. Существовали три станции измерения вдоль луча при длине 0,9 м (позиция А), 1,8 м (позиция В) и 2,7 м (Положение С) от дальней стены, где огонь был либо расположенной в углу (тесты 1 и 2), или центр (Тест 3). Луч в испытании 1 прямоугольная стальная труба заполнена изоляционным материалом. Схема комнате использованы в испытании 1 отображается на рисунке 3.9. Луч в испытаниях 2 и 3 было двутавровых балок. Схема комнате используемые при проведении испытаний 2 и 3 отображается на рисунке 3.10.



4.11.3. Рисунок 3.9: Геометрия комнаты Hollowbar



4.11.4. Рисунок 3.10: Геометрия комнате I-Beam

4.11.5. Вторая серия экспериментов с участием пластины термометры проводилась в 2011 году [167]. 6 м в длину, 20 см в диаметре колонки вертикальной стали, размещенной в центре 1.1 м и 1.9 м дизельного топлива и 1,1 м гептан бассейн пожаров. Газ, плата термометр, и температура его поверхности были измерены на высоте 1 м, 2 м, 3 м, 4 м и 5 м над поверхностью бассейна. Эти эксперименты отличаются, так как столбец частично охвачен огнем.

5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ СПРИНКЛЕРОВ И ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

5.1. Тушение пожаров в туннелях (научные центры CSTB, CETU, CNRS, Франция)

5.1.1. Между 2005 и 2008 году французский здание научно-исследовательская лаборатория, Научно-технический центр строительства (CSTB) сотрудничал с Tunnel Центра изучения французского (CETU), Национальный центр научных исследований Франции (CNRS, Институт PPRIME) и французский директорат по гражданским Безопасность (ДСК) вести огонь эксперименты в туннеле, некоторые из которых участвуют систему водяного тумана [129]. Первая цель в том, чтобы улучшить понимание взаимодействия водяного тумана и туннельного огня. Вторая заключалась в разработке базы данных для проверки моделей. Одна треть шкалы была выбрана с целью изучения реальных явлений пожара в доступный способ. Проводились Двадцать восемь эксперименты (20 с и 8 без водяного тумана) с разной топлива (гептан бассейн, дерево кровати и дерева для поддонов), продольные скорости (с и без задней слоев) и препятствия у костра.

5.1.2. Туннель был длинный 43 м, с полукруглым сечением, площадь была примерно 4 м². Стены были покрыты огнеупорным минометных цемента с известными тепловыми свойствами. Пол был сделан из бетона. Вентилятор, установленный на нижней по потоку стороне туннеля. Измерения были сделаны следующие: масса топлива, температура газа, скорость движения воздуха, поток радиационного тепла и концентрация газа (CO, CO₂ и O₂). Датчики были расположены в 11 продольных позиций.

5.1.3. Тесты 2 и 27 были выбраны потому, что ни один не выставлены назад наслоение. Продольная скорость в тесте 2 было около 2,2 м / с и в тесте 27 было 3,1 м / с. Оба эксперимента участвуют гептан бассейн на площади 0,5 м². В Испытании 2, тепловыделение было получено только из скорости потери массы топлива. В Испытании 27, тепловыделение было получено как из скорости потери массы, так и на основе калориметрии потребления кислорода.

5.1.4. В тесте 27, система водяного тумана была активирована вручную 300 с после включения зажигания. Система водяного тумана состоял из шести сопел вдоль осевой линии туннеля, от 4 м вверх по течению до 3,5 м ниже по течению от пожара, 1,5 м друг от друга. Рабочее давление было примерно 90 бар. Расход воды в каждое сопло был близок к 5,5 л / мин, что соответствует полной скорости туман разряда примерно 33 л / мин. Тест 27 интересен тем, что участвует очень низкий уровень впрыска воды. Основным следствием является то, что тепловыделение деле немного возросла после активации форсунок, и пожар не потушить. Испытания были прекращены, когда топливо был закончилось. Это позволило провести оценку способности модели для прогнозирования охлаждающего газа.

5.2. Испытания дымовых извещателей в жилых зданиях (институт NIST, США)

5.2.1. В серии экспериментов было проведено NIST для измерения времени активации ионизации и фотоэлектрических дыма в жилом обстановке [150]. Испытания проводились в реальных домах с представительными размеров и поэтажных планов, используемых фактических мебелью и домашней утвари для источников огня и испытаны фактические тревоги дыма продаются в розничных магазинах в то время. Тридцать шесть испытания проводились в двух домах; 27 в одноэтажном передвижной дом, и 8 в двухэтажном доме.

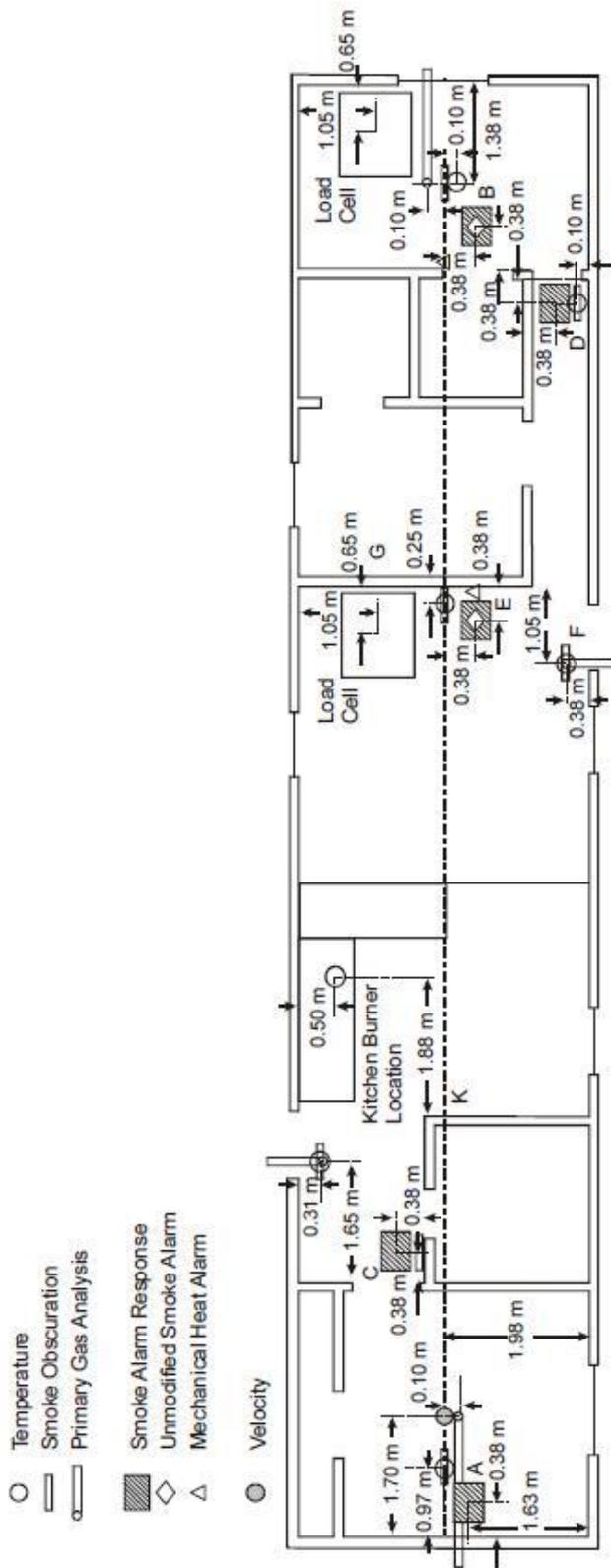
5.2.2. Рисунок 3.7 показывает схему расположения и приборов в одноэтажном производства home.The первичного разделения плана м2 пола на 84,7 состоял из трех спален, одна ванная комната, одна кухня / столовая, одна гостиная, и две прихожих. Для тестирования, двери в спальню 3 и ванной были всегда закрыты. Потолок был достиг максимума на длинной оси, достигая высоты 2,4 м. Наружные стены были примерно 2,1 м в высоту. Наклон потолка составляла примерно 8.4. Группы дыма были расположены в комнате пожарной происхождения, по крайней мере, одна спальня, и в центре города. Пять станций (станция А через станции Е), содержащие массивы пожарная сигнализация были установлены параллельно потолку. Обратите внимание, что, в руководстве программы, детекторы дыма и дыма в совокупности называют детекторами дыма, потому что тот же самый алгоритм обнаружения дыма используется для прогнозирования активацию любого типа устройства.

5.2.3. Восемь эксперименты, которые проводились в одноэтажном передвижной дом были отобраны для проверки моделей. Были рассмотрены только тесты, которые использовали этот пылающий источника воспламенения с кушеткой или матрас топлива пакета; масла для жарки пожары и тесты, которые использовали этот тлеющий источника воспламенения не рассматривались. Пылающие Тесты зажигания используется умеренный источник пламени быстро зажечь пакет топлива. Обратите внимание, что тест SDC15 был исключен в связи с неудачной случае зажигания.

5.2.4. Хотя в испытаниях использовался датчик нагрузки для измерения скорости потери массы пакета топлива, данные потери массы не были достаточно надежными, чтобы реконструировать кривые тепловыделения для каждого испытания. Вместо этого, кривые тепловыделения были определены путем аппроксимации роста пожара с помощью t^2 рампы, как в уравнении. (3.3). Параметры для t^2 рампы были откалиброваны в программе с помощью температуры, измеренной на самом высоком термомпары в дереве (2 см ниже потолка) в каминном зале.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 \quad (3.3)$$

5.2.5. Смещение времени использовался для выравнивания предсказанные температуры потолок термомпар с измеренных температур. Это смещение, как сообщается, как время, с которого начинается t^2 рампы. Т-квадрат параметры калибровки и временные смещения для тепловыделения пандусов приведены в таблице 3.3. Кроме того, источник зажигания был небольшой эффект на измеренных температур потолок термомпар. Таким образом, размер источника воспламенения аппроксимируется либо как 3 кВт или 7 кВт, а время смещение источника воспламенения также откалиброван с использованием измеренных температур потолок термомпар. Полученная в результате кривая тепловыделения была вход в программе как огня рампы. Резюме из восьми тестов, выбранных для проверки моделей приведен в таблице 3.3.



Temperature	Температура
Smoke Obscuration	Задымление
Primary Gas Analysis	Первичный анализ газа
Smoke Alarm Response	Отклик дымовой пожарной сигнализации
Unmodified Smoke Alarm	Неизменная пожарная сигнализация
Mechanical Heat Alarm	Механическая тепловая пожарная сигнализация
Velocity	Скорость

5.2.6. Рис. 3.7: Геометрия испытаний NIST Dunes 2000.

5.2.7. Таблица 3.3: Обзор испытаний NIST Dunes 2000, отобранных для валидации моделей.

Исп. №	Источник возгорания	Местоположение пожара	\dot{Q}_0 (кВт)	τ (с)	Смещение времени (с)
--------	---------------------	-----------------------	-------------------	------------	----------------------

SDC02	Стул	Гостиная	150	180	20
SDC05	Матрац	Спальня	200	180	20
SDC07	Матрац	Спальня	350	180	50
SDC10	Стул	Гостиная	150	180	40
SDC33	Стул	Гостиная	100	180	10
SDC35	Стул	Гостиная	100	180	10
SDC38	Матрац	Спальня	120	180	25
SDC39	Матрац	Спальня	200	180	25

5.3. Тушение тонкораспыленной водой (организация USCG/NAI, США)

5.3.1. Береговая охрана США организовала серию экспериментов, чтобы оценить возможности пожаротушения из различных водяного тумана систем в различных конфигурациях корабль борту. Эксперименты проводились в 1999 году Хьюз Associates, Inc, в моделируемой машинного помещения на борту тестового государства сосуда Мэн на Береговой охраны США Огонь и безопасности испытаний отряда, Мобил, штат Алабама [171]. Пространство имели номинальные размеры 7 м на 5 м от 3 м, содержащий два стальных двигателя макеты каждый размером 3 м на 1 м на 1,5 м. Пространство был оснащен двери для естественной вентиляции и системой принудительной вентиляции, обеспечивающей около 15 воздухообмен в час. Пять коммерчески доступные системы тонкораспыленной водой были оценены. Закупоренной гептан спрей пожары колебалась в размере от примерно 250 кВт до 1 МВт.

5.4. Срабатывание пожарных извещателей и спринклеров в больших ангарах (ВМС США)

5.4.1. ВМС США организовала серию 33 тестов в течение двух ангаров, исследующих обнаружения пожара и активации спринклерной в ответ проливать пожаров в больших корпусах. Эксперименты проводились с использованием JP- 5 и JP- 8 топлива в двух военно-морского флота высокого залив ангаров самолетов, расположенных в морских аэродромов в Пойнт Барбера, Гавайи и Кефлавик, Исландия.

5.4.2. Испытания Гавайи были проведены в 15 м в высоту ангара измерения 97,8 м в длину и 73,8 м в ширину. Из 13 испытаний, проведенных на объекте 11 были проведены в кастрюли, начиная от 0,09 м² до 4,9 м² в районе с скорости высвобождения тепла колеблется от 100 кВт до 7,7 МВт. Горелка был помещен в центре комнаты в масштабе, который непрерывно записывается вес кастрюли. Объект был оснащен рядом устройств обнаружения, включая термпары, электронной дыма и место тепловых извещателей, по прогнозам луч детекторы дыма, сочетание УФ / ИК- детекторы оптического пламени, тепловые детекторы линия типа, а также разбрызгиватели. Измерения были записаны в большом количестве мест, позволяющих за счет профилем поведения отсека.

5.4.3. Было подозрение, что поведение огонь факела и реакции устройств обнаружения в холодном здании, возможно, не были хорошо воспроизведены в экспериментах, проводимых в теплой ангаре на Гавайях. В Исландии испытания проводились под 22 м баррель сводчатый потолок в ангаре измерения 45,7 м на 73,8 м. Были проведены 22 Тесты в общей сложности. Большинство из этих тестов пожаров сжигали JP- 5 топлива, а остальное горения JP-8. Реактивного топлива пожары колебалась в размерах от 0,06 м² до 20,9 м² и в скорости тепловыделения от 100 кВт до приблизительно 33 МВт. Этот объект был оснащен аналогично к ангару Гавайи.

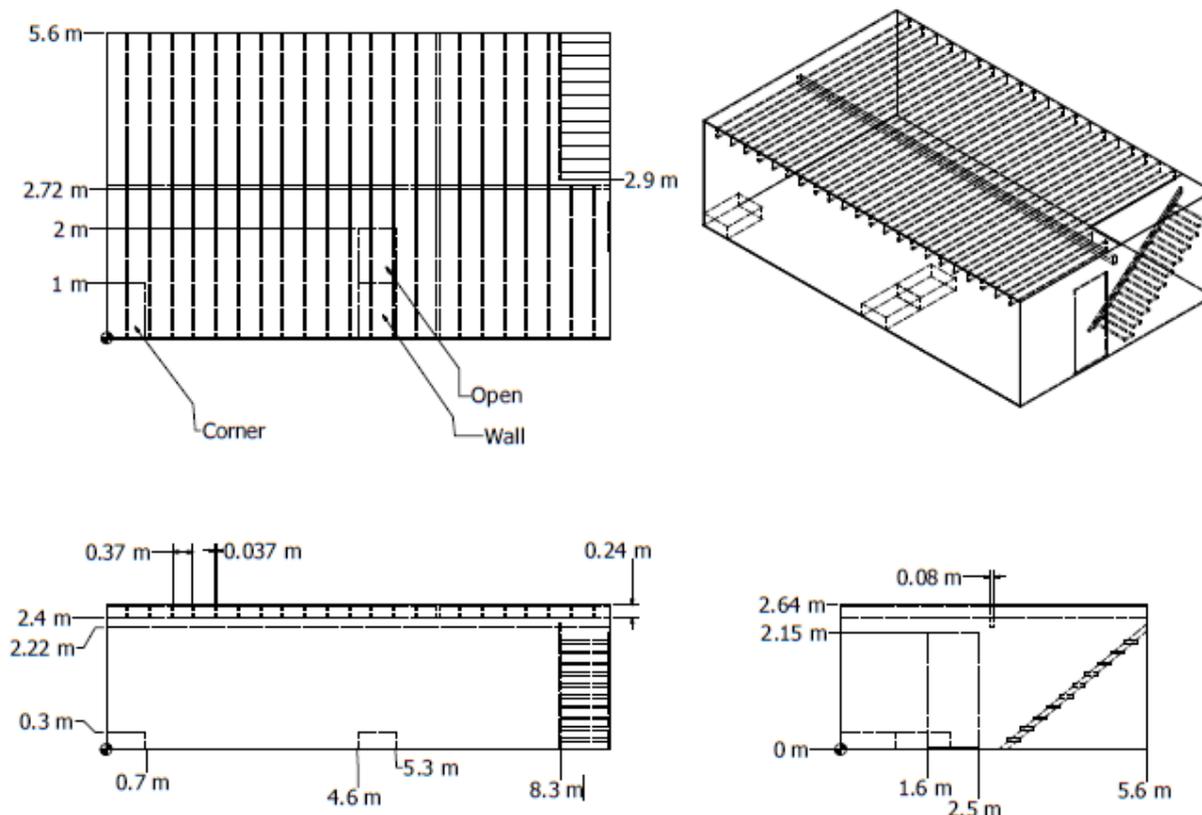
5.5. Активация спринклеров в помещении с плоским потолком (институт NIST, США)

5.5.1. Веттори [47] проанализированы серию из 45 экспериментов, проведенных в NIST, которые были предназначены для сравнения эффектов различных конфигураций потолка на времен активации быстрого реагирования жилых висячих разбрызгивателей. Два конфигурации потолка, используемые состояла из затрудненных потолка, с параллельных пучков 0,038 м в ширину и 0,24 м в глубину, размещенных на 0,41 м по центру и гладкой конфигурации потолка, в которых балки были покрыты листом гипсокартона. В дополнение к двух конфигурациях потолка, были и три ставки пожарные роста и три места горелки используются - в общей сложности 18 тестовых конфигураций. Темпы роста огонь обеспечивается компьютерным управлением газа метана горелки, чтобы имитировать стандартный темп роста пожара т -квадрат с любой медленной, средний или быстрый нарастить. Горелка был помещен в углу комнаты, то против соседней стене, а затем в месте удаленного из любой стене. Измерения проводились для записи время спринклерной активации, температуры на разной высоте и местах в комнате, и скорости потолочные реактивные в нескольких других местах. Схема тестовой структуры показан на рис 3.15.

5.6. Активация спринклеров в помещении с наклонным потолком (институт NIST, США)

5.6.1. Веттори [48] провели серию 72 купейных экспериментов для оценки влияния потолочных балок и склонов на времен активации быстрого реагирования жилой висячих разбрызгивателей. Были 36 экспериментов (2 серии из), сочетающие следующие параметры:

• Плоский, 13°, 24° или наклонным потолком
• Гладкая или Затрудненные потолка
• Быстро или медленно своих Рост
• Угол, Боковая стенка или коттеджа горелки расположение



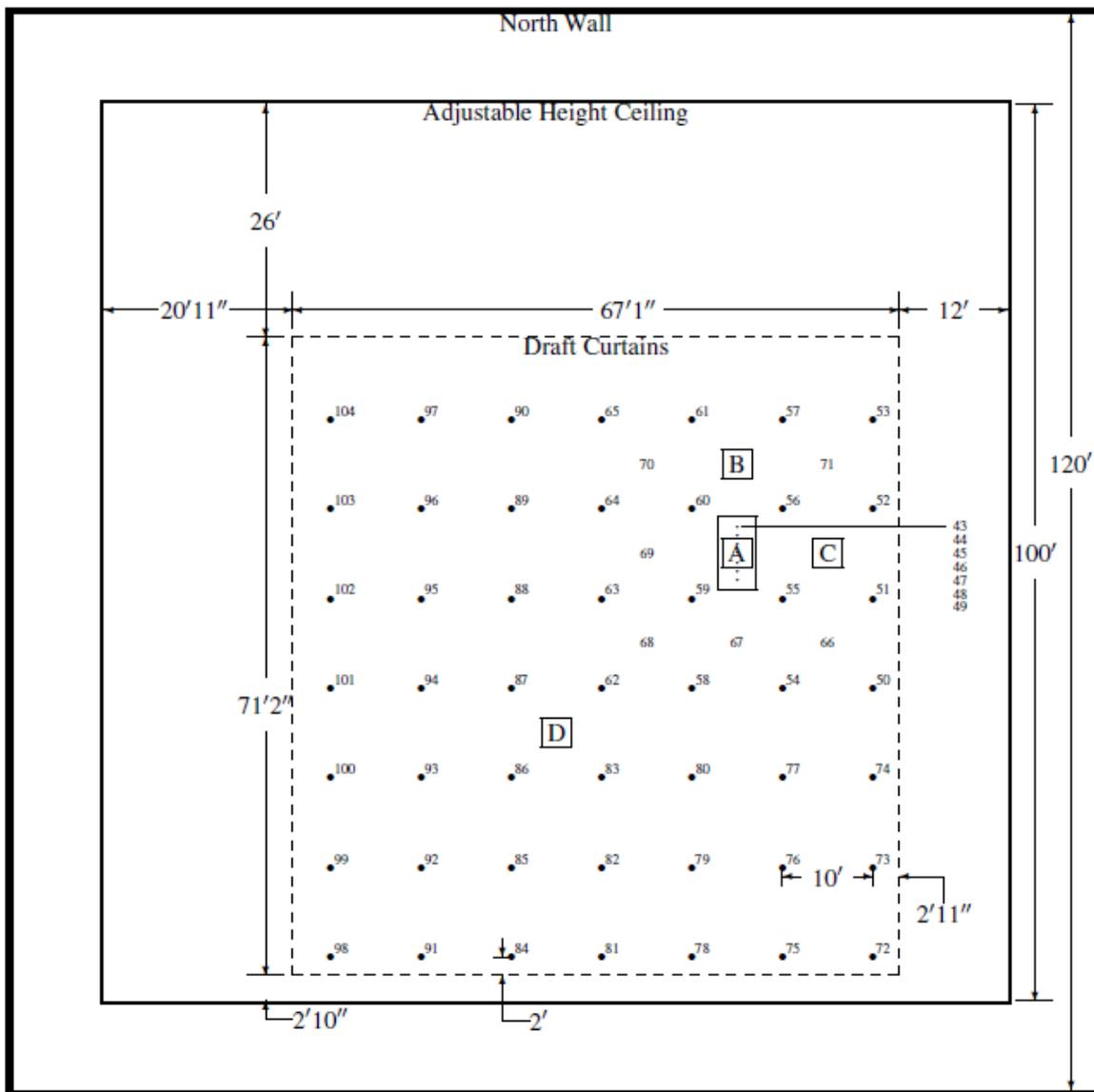
5.6.2. Рисунок 3.15: Геометрия плоского потолка помещения по Веттори.

5.7. Исследование спринклеров (лаборатория UL/NFPRF, США)

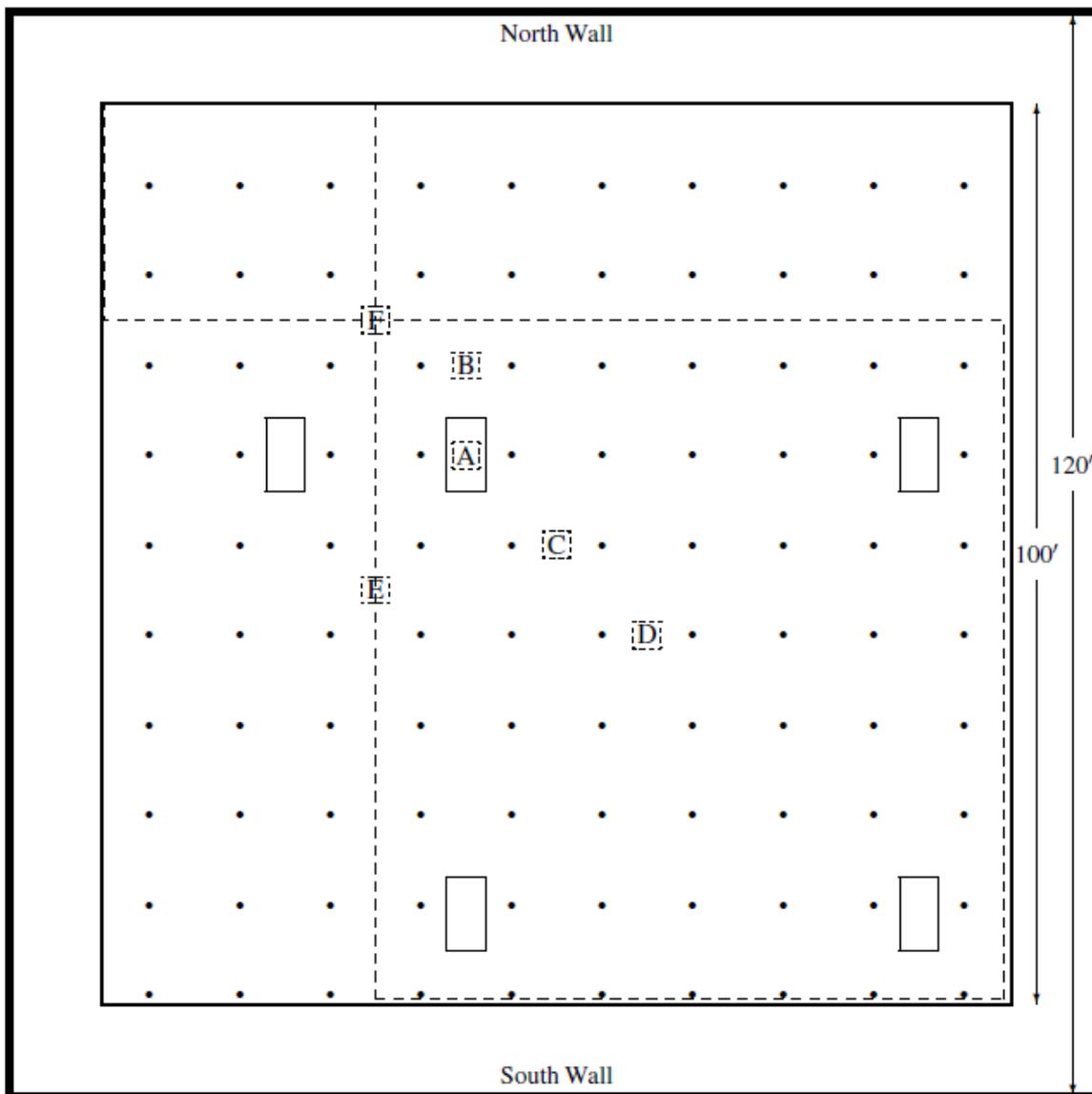
5.7.1. В 1997 году серия из 34 гептановых распыления экспериментов горелки было проведено в крупномасштабных своих Test Facility в Underwriters Laboratories (UL) в Northbrook, Иллинойс [169]. Эксперименты были разделены на две серии испытаний. Серия I состоял из 22 экспериментов 4.4 МВт. Series II состоял из 12 10 экспериментов МВт. Целью экспериментов было охарактеризовать температуру и поля течения для сценариев пожарных с контролируемого тепловыделения в присутствии разбрызгиватели, проектов шторы, и дымовые и вентиляционные отверстия. Крупномасштабная своих Test Facility в UL содержит 37 м по 37 м (120 футов на 120 футов) главный тест огонь клеток, оснащенные 30,5 м на 30,5 м (100 футов по 100 футов) регулируемая высота потолка. Результаты испытаний UL / NFPRF (серии I) приведены в таблице 3.5. Результаты испытаний UL / NFPRF (Серия II) приведены в таблице 3.6. Компоновка экспериментов приведена на рис. 3.13 и 3.14.

Heptane Spray Burner Test Series I						
Test No.	Burner Pos.	Vent Operation	First Actuation (s)	Total Actuations	Draft Curtains	Heat Release Rate MW @ s
I-1	B	Closed	65	11	Yes	4.4 @ 50
I-2	B	Manual (0:40)	66	12	Yes	4.4 @ 50
I-3	B	Manual (1:30)	64	12	Yes	4.4 @ 50
I-4	C	Closed	60	10	Yes	4.4 @ 50
I-5	C	Manual (0:40)	72	9	Yes	4.4 @ 50
I-6	C	Manual (1:30)	62	8	Yes	4.4 @ 50
I-7	C	74°C link (DNO)	70	10	Yes	4.4 @ 50
I-8	B	74°C link (9:26)	60	11	Yes	4.4 @ 50
I-9	D	74°C link (DNO)	70	12	Yes	4.4 @ 50
I-10	D	Manual (0:40)	72	13	Yes	4.4 @ 50
I-11	D	74°C link (4:48)	N/A	N/A	Yes	4.4 @ 50
I-12	A	Closed	68	14	Yes	4.4 @ 50
I-13	A	74°C link (1:04)	69	5	Yes	6.0 @ 60
I-14	A	Manual (0:40)	74	7	Yes	5.8 @ 60
I-15	A	Manual (1:30)	64	5	Yes	5.8 @ 60
I-16	A	74°C link (1:46)	106	4	Yes	5.0 @ 110
I-17	B	100°C link (DNO)	58	4	No	4.6 @ 50
I-18	C	100°C link (DNO)	58	4	No	3.7 @ 50
I-19	A	100°C link (10:00)	56	10	No	4.6 @ 50
I-20	A	74°C link (1:20)	54	4	No	4.2 @ 50
I-21	C	74°C link (7:00)	58	10	No	4.6 @ 50
I-22	D	100°C link (DNO)	60	6	No	4.6 @ 50

5.7.2. Таблица 3.5: Результаты экспериментов UL/NFPRF серии I. Обратите внимание, что ДНО означает "не открывал". Кроме того, обратите внимание, пожары росли со скоростью, пропорциональной квадрату времени до определенного расхода топлива не было достигнуто, после чего скорость потока осталась неизменной. Таким образом, "выделения тепла курс" был размером огонь в то время, когда подача топлива была выравнилась.



5.7.3. Рисунок 3.13: План вид на эксперименты UL / NFPRF, серия I. Спринклеры указанных твердых кругов и расположенных 3 м друг от друга. Рядом с каждым местоположения спринклера число указывает номер канала ближайшей термопары. Размеры вентиляционных 4 фута на 8 футов в коробке буквы А, В, С и D указывают позиции горелки. Соответствующей каждому местоположению горелки представляет собой вертикальный массив термопар. Термопары 1-9 повесить 7, 22, 36, 50, 64, 78, 92, 106 и 120 в с потолка, соответственно, выше Позиция А. термопар 10 и 11 расположены выше и ниже потолочной плитки непосредственно над Позиция В, затем 12-20, что повесить на том же уровне ниже потолка, как 1-9. Такая же картина следуют в положениях С и D, с помощью термопар 21-31 на С и 32-42 на D.



5.7.4. Рисунок 3.14: План вид на эксперименты UL / NFPRF, Series II. В коробке буквы A, B, C, D, E и F указывают положения горелки. Спринклеры показано сплошными кругами и отстоят 10 футов друг от друга. Отраслевые линии проходят с севера на юг. Вентиляционные отверстия расположены 4 фута на 8 футов.

Heptane Spray Burner Test Series II (10 MW Fires)							
Test No.	Burner Position	Vent Operation	Sprinklers Opened	First Activation	Last Activation	Avg. Peak Temp.	
						°C	°F
II-1	D	74°C link (DNO)	27	1:15	6:13	129.4	264.9
II-2	D	All Open at Start	28	1:05	5:53	128.8	263.8
II-3	A	74°C link (1:15)	12	1:08	4:00	101.8	215.2
II-4	B	74°C link (1:48)	16	1:03	5:54	108.8	227.8
II-5	D	74°C link (DNO)	28	1:10	7:07	130.0	266.0
II-6	D	All Open at Start	27	1:10	5:21	127.5	261.5
II-7	A	Closed	18	1:09	4:11	117.2	243.0
II-8	B	74°C link (1:12)	13	1:10	3:34	107.7	225.9
II-9	E	74°C link (DNO)	23	1:07	3:28	115.8	240.4
II-10	F	74°C link (3:20)	19+	1:14	3:01	108.4	227.1
II-11	C	74°C link (DNO)	23	1:02	3:56	123.4	254.1
II-12	C	All Open at Start	23	0:58	4:55	119.0	246.2

5.7.5. Таблица 3.6: Результаты гептан распыления горелки серии II. Обратите внимание, что все пожары были увеличены до 10 MW в 75 сек после t-квадрат кривой. Кроме того, знак плюс добавляется к стоимости в "спринклеров открыл" колонка указывает, что площадь активации спринклерной распространился на краю регулируемой высоты потолка, таким образом, больше активаций могло произойти имел потолок расширена.

- 5.7.6. **Потолок:** Потолок был поднят на высоту 7,6 м и оборудован системой термопар и других измерительных приборов. Потолок был построен из 0,6 м на 1,2 м на 1,6 см UL противопожарных Армстронг Ceramaguard (Пункт 602В) потолочных плит. Производитель сообщил тепловых свойств материала, подлежащего : теплоемкость 753 Дж / (kg_K), теплопроводность 0,0611 Вт / (M_K), и плотность 313 кг/м3.
- 5.7.7. **Проект Шторы :** листового металла, толщиной и 1,8 м в глубину 1,2 мм, был подвешен к потолку за 16 из 22 серии тестов я, приложив площадь около 450 м2 и 49 разбрызгивателей. Занавески были на месте в течение всех тестов серии II.
- 5.7.8. **Спринклеры:** Центральный ELO -231 (Extra Large диафрагмы) стойки были использованы для проведения всех испытаний. Диаметр отверстия этого спринклера сообщается производителем быть номинально 1,6 см (0,64 дюйма), контрольная температура срабатывания сообщается производителем быть 74_C (165_F). РТИ (Ответ Индекс время) и С-фактор (коэффициент теплопроводности) сообщили UL быть 148 (m_s) 1 2 и 0,7 (м / с) 12, соответственно [169]. При установке, разбрызгиватель дефлектор был расположен в 8 см ниже потолка. Тепловая элементу спринклера был расположен в 11 см ниже потолка. Спринклеры были установлены с номинальной 3 м на 3 м. (точное 10 футов на 10 футов) Символы в системе, предназначенной для доставки постоянный 0,34 л / (s_m2) (0.50 grm/ft2) плотность разряда, когда питание от 131 кПа (19 пси) давление на выходе
- 5.7.9. **Вентиляция:** UL- перечисленных двойных листьев пожарные отверстия со стальными крышками и стали обочины были установлены в регулируемой высоты потолка в положении, показанном на рис. 3.13 и 3.14. Вентиль предназначен для открытия вручную или автоматически. Вентиляционные двери были утеплены в потолок около 0,3 м (1 фут).
- 5.7.10. **Скорость выделения тепла:** гептан спрей горелка состоит из 1 м на 1 м площади 1,3 см трубы поддерживается четырьмя цементных блоков 0,6 м от пола. Четыре распылителей спрей были использованы, чтобы обеспечить свободный спрей гептана, который затем воспламеняется. Для всех, кроме одного из испытаний серии I, общая скорость тепловыделения от огня было вручную увеличили после " т -квадрат " кривой на стационарном в 75 с (150 с был использован в Тест -16). Пожар был увеличили до 10 МВт в 75 с для испытаний серии II. Кривая роста огонь последовало доуказанного размера пожара не было достигнуто или первый спринклерной активирован. После любой из этих событий, размер огонь поддерживался на этом уровне пока условия не достиг примерно устойчивого состояния, т. е. температура, записанные около потолка остается стабильным и не возникло больше спринклерных активаций. Скорость высвобождения тепла от горелки было подтверждено, поместив его под большим калориметра продукта в UL, наращивает поток гептана таким же образом, как в тестах, и измерения всего и конвективных ставки тепла. Было установлено, что конвективный скорость тепловыделения составил 0,65 _ 0,02 от общей суммы.
- 5.7.11. **Оборудование:** Приборы для испытаний состоял из термопар, газового анализа оборудования и датчиков давления. Места расположения приборов ссылаются на виде сверху объекта (рис. 3.13). Измерения температуры были зафиксированы в 104 местах. Конструктивная форма К 0,0625 в термопар диаметром инконеля оболочке позиционировались для измерения (I) температурах, близких к потолку, (II) температуры струи потолка и (III) температурах, близких к вентиляции.

6. ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ

6.1. Измерение концентрации продуктов горения (институт NIST, США)

6.1.1. Испытания NIST в помещениях уменьшенного масштаба (RSE): 40 % шкала версия ISO 9705 отсека [151]. Он измеряет 0,98 м в ширину и 1,46 м в глубину на 0,98 м высотой. Отсек содержит дверь с центром на меньшей стене, который измеряет 0,48 м в ширину и 0,81 м высотой. 15 см диаметр природный газ горелки был расположен в центре отсека. Горелка был на подставке так, чтобы его вершина была 15 см от пола. Пожары в диапазоне от 50 кВт до 600 кВт. Измерения видов, включая концентрации CO, были сделаны под потолком в передней и задней части салона.

6.2. Эксперименты по осаждению аэрозоля (Калифорнийский университет, США)

6.2.1. Марк Sippola, докторант Университета Калифорнии, Беркли, измеряется аэрозольные скорости осаждения для различных размеров монодисперсных люминесцентных частиц и различных скоростях воздуха в воздуховоде [162, 163]. Для экспериментов рассматриваемых здесь, прямо сталь канал с гладкими стенками был квадрат с размерами 15 см на 15 см. Диаметры частиц были 1 мм, 3 мм, 5 мм, 9 мм, и 16 мм. Скорости воздуха в канале в 2,2 м / с, 5.3 м / с, и 9.0 м / с. В общей сложности двенадцать панелей (20 см x 10 см) были вырезаны из секции воздуховода для измерения количества частиц, осажденных на поверхности воздуховода, четыре панели каждый из канала потолок, стены и поверхности пола. Флуоресцентные методы измерения и измерения концентрации аэрозоля были использованы для расчета скорости осаждения частиц в трубу

поверхности (потолок, стены и пол) на двух прямых участках воздуховодов, где профиль турбулентный поток был полностью развитыми.

6.3. Изучение диффузионного пламени в щелевой горелке (институт NIST, США)

6.3.1. Кермит Смит и др.. Проведенные эксперименты диффузионного пламени в NIST, используя метан / воздух Wolfhard - Parker слот горелку. Эксперименты подробно описаны в работах. [164, 165]. Wolfhard - Паркер слот горелки состоит из 8 мм широкий центральный слот течет топливо, окруженный двумя 16 мм в ширину щели, впадающих сухой воздух с 1 мм расстояниях между слотами. Щели 41 мм в длину. Измерения были сделаны из всех основных видов и ряда второстепенных видов наряду с температуры и скорости. Экспериментальные неопределенности были представлены как 5% для температуры и от 10% до 20% для основных видов.

7. АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

7.1. Введение

7.1.1. В этой главе описывается метод оценки модели неопределенности с помощью сравнения предсказаний модели с экспериментальными измерениями, чьи неопределенность была количественно. Метод идеально подходит для сложных численных моделей, как программы для которых систематический анализ субкомпонентов нецелесообразно, но для которых существует относительно большое количество экспериментальных данных, с которыми оценить точность предсказаний модели. Если неопределенность в опытах может быть определена количественно, неопределенность в модели могут быть выражены в виде нормального распределения которого среднее и стандартное отклонение оцениваются от относительной разности между предсказанным и измеренными значениями.

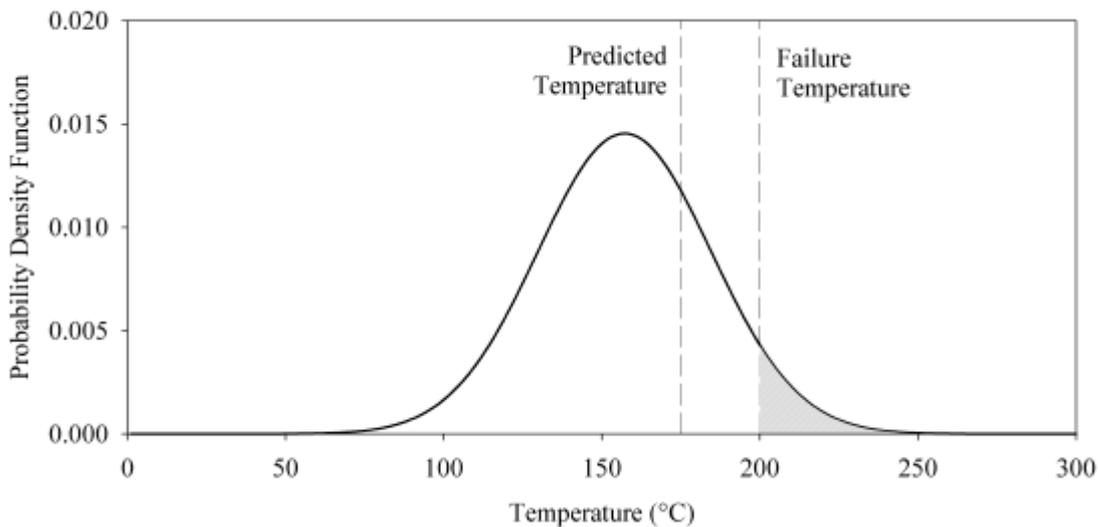
7.1.2. Этот метод рассматривает только модель неопределенности. Это не учитывает неопределенности, связанной с модельными входных параметров. Как неопределенность параметр рассматривается в значительной степени зависит от типа применения. Независимо от того, как вычисляется неопределенность параметр, модель неопределенность необходимо решать независимо. На самом деле, это возложено на разработчиков модели, чтобы выразить неопределенность модели в качестве простого форме, насколько это возможно, чтобы позволить конечному пользователю оценить влияние неопределенности параметров, а затем объединить две формы неопределенности в конечном результате.

7.1.3. Самый эффективный способ введения предмета неопределенности в огне моделирования является путем примера. Предположим, что пожар модель используется для оценки вероятности того, что электрический кабель управления могут быть повреждены в результате пожара. Предполагается, что кабель теряет функциональность, когда температура его поверхности достигает 200 ° C, и модель предсказывает, что температура кабеля может достигать 175 _C. Означает ли это, что нет никаких шансов повреждения ? Не Ответ: нет, потому что входные параметры, такие как скорость тепловыделения огонь, и допущения модели, как пути кабеля образцу, являются неопределенными. Сочетание этих двух -неопределенности параметров и модель неопределенности - оставить открытой возможность, что температура кабеля может превысить 200 _C.

7.1.4. В настоящей главе рассматриваются модели неопределенность только и предлагает простой метод количественной его. В то время как неопределенность параметр, безусловно, является важным фактором в пожарной моделирования, его лечение значительно варьируется в зависимости от конкретного применения. Например, в то, что часто называют " ограничивающей анализа " Модель входные параметры выбраны таким образом, чтобы имитировать "максимальную надежной " или " худший случай " огонь. В других случаях, средние значения входных параметров представляют собой « 50-го перцентиля " дизайн сценарий. Иногда целые статистические распределения, а не отдельных значений, входных параметров " распространяется " по модели в различных формах, что приводит к статистическому распределению на выходе модели. Notarianni и Парри обследовать эти методы в Руководстве SFPE [174]. Независимо от способа, выбранного для оценки влияния входных параметров на предсказания модели, там должно быть способом количественной оценки неопределенности самой модели. Другими словами, насколько хорошо это предсказание для данного набора входных параметров ?

7.1.5. Вопрос о неопределенности модели была вокруг тех пор, как самих моделей. Сценарий выше, например, был рассмотрен Сиу и Apostolakis в начале 1980-х [175] в качестве части их разработки моделей риска для атомных электростанций. Модели пожарных в то время были относительно просты. В самом деле, многие инженерные корреляции в виде простых формул. Это сделало методы для количественной оценки их неопределенности достаточно сговорчивым потому каждая формула состояла из немногих физических параметров. За последние тридцать лет, однако, как огонь моделирование и соответствующие методы анализа неопределенности стали гораздо

сложнее. Нынешнее поколение вычислительных моделей динамика пожарных требуют такого большого количества физических и численных параметров, что она считается слишком громоздкой для оценки неопределенности модели, систематически оценки их совокупный эффект на конечный прогнозирования. Более практичный подход заключается в сравнении модельных прогнозов с фактическими экспериментов пожара в исследовании проверки, выводы, которые обычно приходят в виде заявлений, как : " модели в целом по - предсказывает измеренные температуры примерно на 10% ", или " предсказания модели находятся в пределах примерно 20% измеренных тепловых потоков ". Эта информация полезна, по крайней мере, чтобы продемонстрировать, что модель подходит для данного применения. Тем не менее, даже утверждение, что модель над - предсказывает измеряемых температур на 10% полезен не только добиться признания модели, но и обеспечить лучшее чувство точности модели, и более высокий уровень обеспечения, отвечая на поставленный выше вопрос. Зная, что модель не только предсказал температуру 175 ° С, но и о том, что модель, как правило, более - предсказать температурах на определенную величину, увеличивает уверенность, что постулируется огонь не вызвало бы кабель на провал. Вероятность отказа кабеля может быть количественно далее через статистического распределения, как показано на рис. 4.1. Площадь обозначено заштрихованной области есть вероятность, что температура будет превышать 200 ° С, даже при том, что модель предсказала пиковую температуру только 175 _С.



7.1.6. Рисунок 4.1: Диаграмма, показывающая возможный способ выражения неопределенности прогноза модели.

7.1.7. В этой главе описан способ выражения неопределенности модели путем распределения, как показано на рис. 4.1. Процедура не драматический отход от нынешней практики проверки пожарной модели тем, что она полностью полагается на сравнения модельных предсказаний и экспериментальных измерений. Преимущество этого подхода заключается в том, что он не требует глубоких знаний в области статистики или детали численной модели. Параметры распределения показано на рис. 4.1, а именно среднее значение и стандартное отклонение, не порождаются модели пользователя. Скорее, они представлены в виде результатов анализа беспристрастности. Расчет вероятности превышения некоторого критического порога (то есть, площадь под кривой) является простым таблицу преобразования или вызов функции в программное обеспечение для анализа данных, как Microsoft Excel ®.

7.2. Источники неопределенности модели

7.2.1. Детерминированная модель пожарной основана на фундаментальных законов сохранения массы, импульса и энергии, которым обрабатываются либо целых отсеков или небольших контрольных объемов, которые составляют отсеков. Модель расчетной гидродинамики может использовать миллионы контрольных объемов для расчета решение уравнений Навье-Стокса. Тем не менее, на самом деле не решать уравнения Навье-Стокса, а скорее примерный вид этих уравнений. Приближение включает упрощение физические предположения, как различных методов лечения подсеточного масштаба турбулентности. Одним из важнейших приближение дискретизация основных уравнений. Например, частные производные от плотности, ρ , по отношению к пространственной координаты x , можно записать в приближенной форме как:

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho_{i+1} - \rho_{i-1}}{2\delta x} + \mathcal{O}(\delta x^2) \quad (4.1)$$

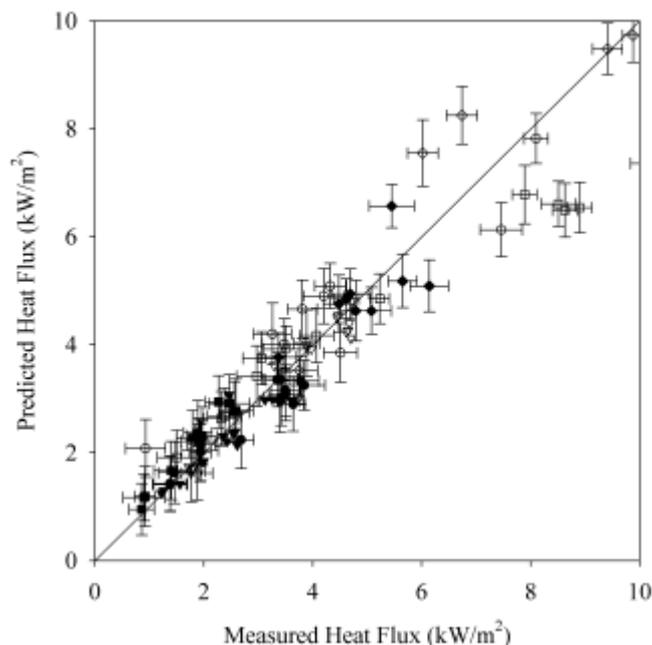
7.2.2. где ρ_i представляет собой среднее значение плотности в i ячейки сетки и δx является расстояние между ячейками. Второй член справа представляет все точки зрения порядка δx^2 и выше в

разложении в ряд Тейлора и известны как ошибки дискретизации. Эти дополнительные термины просто исключен из набора уравнений, аргумент в том, что они становятся все меньше и меньше с уменьшением размера ячейки сетки, ΔX . Эффект этих отброшенных членов захвачен, в некоторой степени, с помощью модели подсеточного масштаба турбулентности, но это еще один приближение истинной физики. Какой эффект эти приближения есть на прогнозируемых результатов ? Это очень трудно определить на основе анализа дискретных уравнений. Одной из возможностей для оценки величины ошибки дискретизации является выполнить подробный анализ сходимости, но это по-прежнему не отвечает на вопрос, как, " Что является неопределенность прогноза модели температуры газа в конкретном месте в комнате за определенный момент времени ? "

7.2.3. Что еще хуже, есть буквально десятки подпрограмм, входящих в состав пожарной модели расчетной гидродинамики, от своих уравнений переноса, радиационная решателя, твердофазных процедур теплопередачи, модели пиролиза, эмпирической массы, импульса и процедур передачи энергии на стенке и так на. Было высказано предположение, что некоторые средства для количественной оценки неопределенности модели состоит в объединении неопределенности всех компонентов модели. Тем не менее, такая работа очень трудно, особенно для расчетов в области модели гидродинамики, по ряду причин. Во-первых, пожар приводит к сложной взаимодействие газа и явлений твердой фазы, которые тесно связаны между собой. Во-вторых, чувствительность сетки в модели расчетной гидродинамики или ошибки, связанные с двухслойной предположении в модели зоны зависят от конкретного сценария пожара. В-третьих, огонь является по своей сути преходящее явление, в которых относительно небольшие изменения в событиях, как открытие двери или спринклерной срабатывания, может привести к значительным изменениям в результатах.

7.2.4. Вместо того, чтобы попытке разложить модель на составные части и оценить неопределенность друг, стратегия, принятая здесь, чтобы сравнить предсказания модели, как многие экспериментов, как это возможно. Это был традиционный подход для количественного модели неопределенности в противопожарной защиты техники из-за относительной численности тестовых данных. Рассмотрим, например, участок показано на рис. 4.2. Это типичный результат исследования, проверки, где в данном случае серии измерений теплового потока сравниваются с прогнозами модели. Диагональная линия указывает, где предсказание и измерение согласен. Но потому что есть неопределенность, связанная с каждый, это не может быть сказано, что модель идеально подходит, если ее предсказания точности совпадают с результатами измерений. Там должно быть способом количественной оценки неопределенности каждый, прежде чем какие-либо выводы можно сделать. Такая работа может привести к неопределенности полос¹, показанном на рисунке. Горизонтальная полоса, связанная с каждой точки представляет неопределенность в самой измерения. Например, датчик потока тепла подлжит неопределенности из-за его проектирования и изготовления. Поскольку горизонтальная полоса представляет собой экспериментальную неопределенность, предполагается, что вертикальная линия обозначает неопределенности модели. Это верно лишь отчасти. На самом деле, что вертикальная полоса представляет собой общую неопределенность прогноза, который представляет собой комбинацию из модельных и параметров неопределенности. Физические входные параметры, такие как скорость высвобождения тепла и свойств материала, основаны на измерениях, о которых сообщается в документации эксперимента. Общая экспериментальная неопределенность представлена всех горизонтальной полосы и часть вертикали. Если экспериментальная неопределенность может быть определена количественно, то модель неопределенность можно получить в результате.

7.2.5. 1 Данные на рис. 4,2 экстрагировали из работы. [176]. Неопределенность бары только для демонстрации.



7.2.6. Рисунок 4.2: Пример типичной точечной диаграммы модельных предсказаний и экспериментальных измерений.

7.3. Количественная оценка экспериментальной неопределенности

7.3.1. Как уже говорилось в предыдущем разделе, экспериментальная неопределенность представляет собой сочетание неопределенности в измерении количества интерес, как температуры газа или потока тепла, наряду с распространяющейся неопределенности измеряемых параметров испытаний, таких как скорость тепловыделения или свойства материала. " Размножается неопределенность ", в этом случае то, что было передано выше, в качестве неопределенности параметра. Это не неопределенность самого параметра, а неопределенность в предсказанной величины в результате неопределенности параметра.

7.3.2. В огонь модели анализа беспристрастности, проведенного Комиссией по ядерному регулированию США [176], Namins оценкам экспериментальную неопределенность для нескольких натуральных огневых экспериментов. Существовали две оценки неопределенности, необходимые для каждого количества интерес. Первым был оценка, выраженная в виде 95% доверительный интервал, от неопределенности в измерении самой величины. Например, сообщалось газа и температура его поверхности были сделаны с помощью термодатчиков различных конструкций (с непокрытой шарик, экранированный, с придыханием) с различными Размер шариков, металлов и так далее. Для каждого, можно оценить неопределенность в отчетном измерения.

7.3.3. Далее, неопределенность измерений сообщенных параметров тестирования оценивалась, в том числе скорости тепловыделения, утечки области, скорость вентиляции, свойств материала, и так далее. Именно тогда необходимо рассчитать, как неопределенность в этих параметрах способствовали неопределенности отчетного измерения. Чтобы сделать это, Namins рассмотрели ряд эмпирических формул, которые широко используются в противопожарной защиты техники, чтобы определить наиболее важные параметры тестирования и их влияние на результаты измерений. Эти формулы при условии, что средства распространения неопределенности параметров через эксперимент. Например, было показано [177], что рост горячий газ слой температура, $T - T_0$, вследствие пожара отсека пропорциональна скорости тепловыделения, \dot{Q} , возведенное в степень две трети:

$$T - T_0 = C \dot{Q}^{\frac{2}{3}} \quad (4.2)$$

7.3.4. Постоянная, C , включает в себя ряд геометрических и теплофизических параметров, которые являются уникальными для данного пожара сценария. В качестве дифференциалов, это эмпирическое соотношение может быть выражено в виде:

$$\frac{\Delta T}{T - T_0} \approx \frac{2}{3} \frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} \quad (4.3)$$

7.3.5. В словами, относительное изменение повышение температуры примерно две трети относительное изменение скорости тепловыделения. Если предположить, что численная модель демонстрирует ту же функциональную зависимость между температурой отсека и скорости тепловыделения, в настоящее время существует способ выразить неопределенность прогноза модели в зависимости

от неопределенности этой важнейшей входного параметра. Часто, неопределенность измерения выражается в виде 95% доверительным интервалом, (два стандартных отклонения или 2 с).

7.3.6. Таким образом, если скорость тепловыделения пожара предполагается, с 95% доверительными быть в пределах 15% отчетного измерения, то температура предсказывает модель имеет неопределенность² по меньшей мере 10%.

7.3.7. (2 Неопределенность, которая выражается в виде процента, как правило, означает один или два относительных стандартных отклонений, часто обозначаемые с тильды, $ES = S = m.$)

7.3.8. Таблица 4.1: Чувствительность модели мощностью от Тома 2 NUREG-1824 [176].

Output Quantity	Input Parameter(s)	Power Dependence
HGL Temperature	HRR	2/3
HGL Depth	Door Height	1
Gas Concentration	HRR	1/2
Smoke Concentration	HRR	1
	Soot Yield	1
Compartment Pressure	HRR	2
	Leakage Rate	2
	Ventilation Rate	2
Heat Flux	Heat Flux	4/3
Surface Temperature	HRR	2/3

7.3.9. Неопределенность каждого измерения выражается как относительное стандартное отклонение. Неопределенность измеряемой величины выходного обозначается e_{out} , и неопределенность каждого значительного входного параметра является $zenoted$ E_{in} . Если предположить, что все неопределенности являются некоррелированными, они объединяются с помощью выражения:

$$\tilde{\sigma}_E^2 = \tilde{\sigma}_{out}^2 + \sum p_{in}^2 \tilde{\sigma}_{in}^2 \quad (4.4)$$

7.3.10. Факторы, контактный, представляют силовые зависимости отдельных входных параметров. Таблица 4.1 приведены наиболее важны физические параметры, связанные с различными измеряемых величин в экспериментах и их зависимость мощности.

7.3.11. Namins оценкам объединенные экспериментальные неопределенности в течение десяти количества интереса к изучению проверки США СРН. Результаты приведены в таблице 4.2, где каждый комбинированной неопределенности сообщалось в виде 95 % доверительный интервал (т.е. 2 -СВ). Предполагается, что и на протяжении эксперимента и модели неопределенности может быть выражена в относительном выражении. Предположение основано на качественной оценке десятков разброс участков, аналогичных показанному на фиг. 4,2 показывают, что рассеянные точки, чтобы сформировать расширяющуюся " клин" о диагональной линии, или какой-либо другой недиагональной линии связи с предполагаемой уклоном в модельных предсказаний. Эта оценка является важным компонентом анализа, описанного в следующем разделе.

7.3.12. Таблица 4.2: Резюме оценок неопределенности Namins ' [176].

Measured Quantity	Combined Relative Uncertainty, $2 \tilde{\sigma}_E$
HGL Temperature	0.14
HGL Depth	0.13
Ceiling Jet Temperature	0.16
Plume Temperature	0.14
Gas Concentrations	0.09
Smoke Concentration	0.33
Pressure with Ventilation	0.80
Pressure without Ventilation	0.40
Heat Flux	0.20
Surface Temperature	0.14

7.4. Расчет неопределенности модели

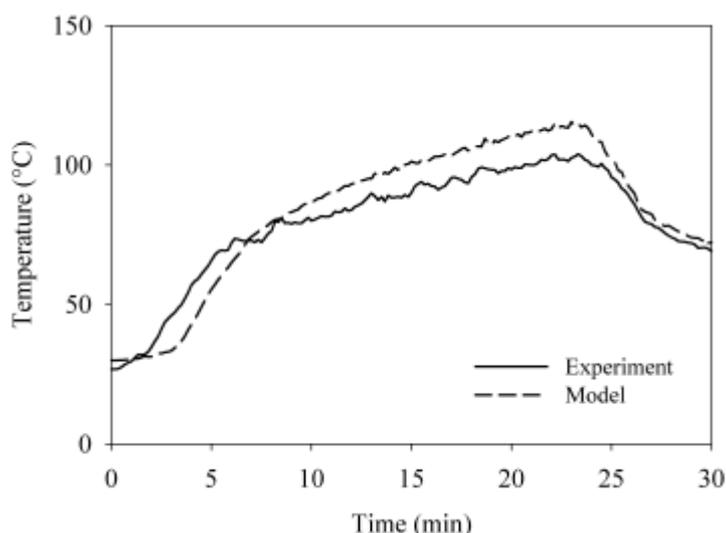
7.4.1. В этом разделе описан способ расчета неопределенности модели [178]. В частности, это влечет за собой разработку формул для среднего и стандартного отклонения статистического распределения, как показано на рис. 4.1.

7.4.2. Эти формулы функции исключительно модельных предсказаний и экспериментальных измерений, по которым сравнивается модель. Цель состоит в том, чтобы охарактеризовать производительность модели в прогнозировании данного количества интерес (например, температуры горячего газа слой) с двумя параметрами ; тот, который выражает тенденцию к модели к под или над - предсказать истинную ценность количества и тот, который выражает степень разброса об истинной стоимости.

7.4.3. Прогнозируемые и измеренные значения количества интерес получаются из одного или нескольких проверочных исследований. Рисунок 4.3 представляет собой типичный пример сравнения модели и измерения. Учитывая, что обычно множество таких измерений, сделанных в ходе каждого эксперимента, и, возможно, десятки экспериментов проводились в рамках серии испытаний, сотни таких участков могут быть получены при любом заданном количестве интерес.

7.4.4. Как правило, данные конденсируется в более сговорчивым форме путем одной метрики, с которым можно сравнить две кривые, как тех, что показаны на рис. 4.3. Павлин и др.. [179] обсуждаются различные возможные метрики. Обычно используется метрика просто сравнить измеренные и прогнозируемые пиковые значения. Если данные колючие, некоторые формы времени усреднения могут быть использованы. Независимо от точного вида метрики, какие результаты от этого упражнения является пара чисел для каждого истории времени, (E_i ; M_i), где колеблется от 1 до p и оба M_i и E_i положительные числа, выражающие увеличение значение величины выше его температуры окружающей среды. Как упоминалось выше, измерения от полномасштабных огневых экспериментов часто не хватает оценки неопределенности. В случаях, когда неопределенность сообщалось, это обычно выражается в любом стандартном отклонении или доверительным интервалом около измеренного значения. Другими словами, то очень редко сообщалось систематическая ошибка в измерении, потому что если уклон может быть определена количественно, сообщенные значения соответствующим образом скорректированы. По этой причине, предположим, что данный экспериментальное измерение, E_i , как правило, распределены по «истинной» стоимости, θ , и нет систематическая ошибка :

$$E | \theta \sim N(\theta, \sigma_E^2) \quad (4.5)$$



7.4.5. Рисунок 4.3 : Пример типичного сравнению истории время предсказания модели и экспериментального измерения.

7.4.6. Notation3 $E | \theta$ означает, что E является зависимость от конкретного значения θ . Это обычный способ определения функции правдоподобия. Это удобно использовать так называемый дельта method4 получить приближительное распределение

$$\ln E | \theta \sim N\left(\ln \theta - \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2}, \tilde{\sigma}_E^2\right) \quad (4.6)$$

7.4.7. Цель применения натуральный логарифм к случайной переменной так, чтобы его отклонение может быть выражено в терминах относительной неопределенности, $\sigma_E = SE = \sigma$. Это путь, что экспериментальные неопределенности сообщается. Кроме того, результаты последних упражнений проверки, когда нанесены как показано на рис. 4,2, образуют клиновидный образец,

который показывает, что разница между прогнозируемым и измеренных значений примерно пропорционально величине измеренного значения.

7.4.8. Он не может предположить, как и в случае экспериментальных измерений, что предсказания модели не имеют систематическую ошибку. Вместо этого предполагается, что предсказания модели, как правило, распространяется об истинных значений, умноженных на коэффициент смещения, D:

$$M | \theta \sim N(\delta \theta, \sigma_M^2) \quad (4.7)$$

7.4.9. Стандартное отклонение, SM, а коэффициент смещения, д, представляют модели неопределенности. Опять же, метод дельта оказывает распределение для LnM, параметры которого могут быть выражены в терминах относительного стандартного отклонения :

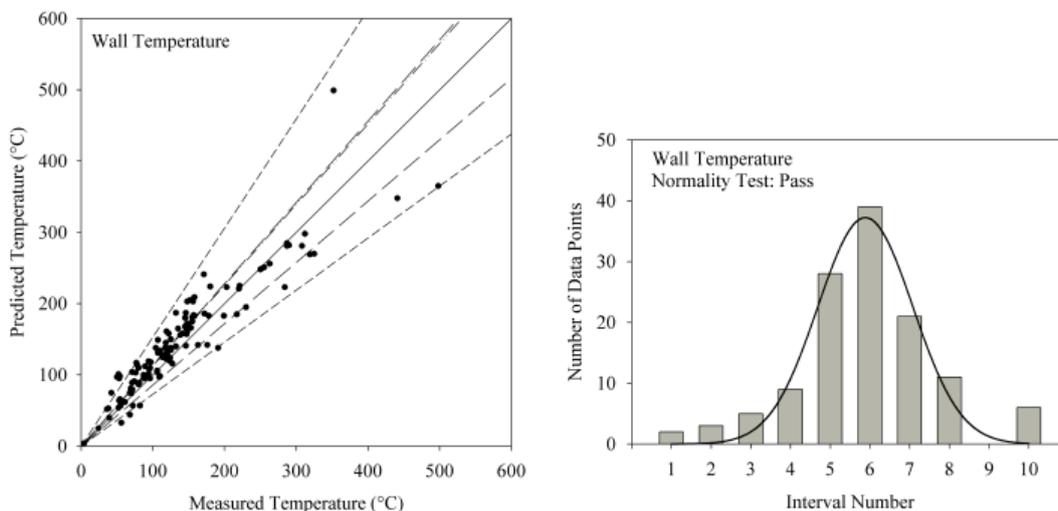
$$\ln M | \theta \sim N\left(\ln \delta + \ln \theta - \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2}, \tilde{\sigma}_M^2\right) ; \tilde{\sigma}_M = \frac{\sigma_M}{\delta \theta} \quad (4.8)$$

7.4.10. Объединяя уравнения. (4.6) с формулой. (4.8) следует :

$$\ln M - \ln E = \ln(M/E) \sim N\left(\ln \delta - \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2} + \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2}, \tilde{\sigma}_M^2 + \tilde{\sigma}_E^2\right) \quad (4.9)$$

7.4.11. Уравнение (4.9) является важным, поскольку оно не связано с неизвестной Q, а, скорее, известный предсказано и измеренные значения количества интерес, а также расчетное экспериментальной неопределенности. До сих пор предполагалось, что все соответствующие неопределенности можно охарактеризовать нормальных распределений.

7.4.12. Уравнение (4.9) может быть использован для проверки этого предположения, в то время как уравнений. (4.7) и (4.5) не может. Рассмотрение результатов исследования проверки говорилось выше [176] показывает, что в тех случаях, когда количество пар M и E больше, чем примерно 20, значения LN (M = E) пройти тест для normality5, в то время, когда есть меньше значения, нормальность нельзя предположить. Рисунок 4.4 содержит набор данных по изучению проверки. Были 124 сравнения точка из измерены и предсказал Стена температурах, для которых n (M = E) соответствует достаточно хорошо к нормальному распределению. Если нормальность нельзя предположить, альтернативные методы для оценки неопределенности модели с ограниченными экспериментальных данных были предложены, например, см.. [181].



7.4.13. Рисунок 4.4 : Результаты нормальности тестирования для набора данных, взятых из [176]. Слева находится сравнение измеряется против прогнозируемых температурах стены, и по праву является распределение LN (M = E). Обратите внимание, что вне диагональные линии в точечной диаграммы показывают 2ES оценки для экспериментов (тире) и модель (короткое тире).

7.4.14. Возвращаясь к уравнению. (4.9), то, что сейчас необходимо, так это способ оценить среднее значение и стандартное отклонение распределения. Прежде всего, определите :

$$\overline{\ln(M/E)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(M_i/E_i) \quad (4.10)$$

7.4.15. Наименее оценка квадратов стандартного отклонения комбинированного распределения определяется как :

$$\tilde{\sigma}_M^2 + \tilde{\sigma}_E^2 \approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\ln(M_i/E_i) - \overline{\ln(M/E)} \right]^2 \quad (4.11)$$

7.4.16. Напомним, что ESE известно и выражение справа могут быть оценены с использованием пар измеренных и прогнозируемых значений. Уравнение (4.11) накладывает ограничение на величину экспериментальной неопределенности, ESE. Еще одним препятствием является то, что ESM не может быть меньше, чем Ю- потому что это не возможно, чтобы продемонстрировать, что модель является более точным, чем измерения, против которой оно сравнению. Объединение двух ограничений приводит к :

$$\tilde{\sigma}_E^2 < \frac{1}{2} \text{Var} \left(\ln(M/E) \right) \quad (4.12)$$

7.4.17. Оценка δ можно найти с помощью среднее распределения :

$$\delta \approx \exp \left(\overline{\ln(M/E)} + \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2} - \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2} \right) \quad (4.13)$$

7.4.18. Принимая предполагаемую нормальное распределение прогноза модели, M , в уравнении. (4.7) и используя байесовский Argument6 с неинформативно до при δ , распределение задней может быть выражена :

$$\delta \theta | M \sim N \left(M, \sigma_M^2 \right) \quad (4.14)$$

7.4.19. Предположение о неинформативно до означает, что нет достаточной информации о предварительного распределения (т.е. истинная стоимость) δ взять на себя ничего, кроме uniform7 распределения. Это равносильно тому, что модельер не предвзятым типовые входные параметры для компенсации известной предвзятости в выходных данных модели. Например, если конкретная модель, как было показано по - предсказать температуры отсека, и разработчик модели снизил указанный скорость тепловыделения, чтобы лучше оценить реальную температуру, то она больше не может предположить, что априорное распределение истинной температуры равномерным. Еще один способ взглянуть на это по аналогии с целевой стрельбы. Предположим частности винтовка имеет дефект производителей такой, что, в среднем, стреляет 10 см, слева от цели. Надо полагать, что любой застрелен стрелка без этого знания будет бить 10 см слева от намеченной цели. Однако, если стрелок знает дефекта, то он или она, вероятно, направлены 10 см справа от намеченной цели, чтобы компенсировать дефекта. Если это так, то он больше не может предположить, что цель была предназначена от 10 см до справа от пулевого отверстия.

7.4.20. Последним шагом в выводе является переписать. (4.14), как :

$$\theta | M \sim N \left(\frac{M}{\delta}, \tilde{\sigma}_M^2 \left(\frac{M}{\delta} \right)^2 \right) \quad (4.15)$$

7.4.21. Эта формула была obtained8 путем деления на коэффициент смещения, D , в уравнении. (4.14) Подводя итог, учитывая модель прогнозирования, M , определенного количества интерес (например, температуре кабеля), истинный (но неизвестно) значение этой величины имеет нормальное распределение. Среднее значение и дисперсия этого нормального распределения основаны исключительно на сравнении предсказаний модели с прошлыми экспериментами, которые похожи на конкретный сценарий пожара анализируются. Производительность модели количественно по оценок параметров, Γ и ESM, которые были исправлены для учета неопределенностей, связанных с экспериментальных измерений.

7.5. Пример

7.5.1. В этом разделе описывается, как использовать уравнения. (4.15). Ссылаясь на проблемы образца, приведенного выше, предположим, пожар модель используется для оценки вероятности того, что электрические кабели управления могут быть повреждены из-за пожара в отсеке. Предполагается Повреждение происходит, когда температура поверхности любого кабеля достигает 200 _C. Какова вероятность того, что кабели будут повреждены, если модель предсказывает, что максимальная температура поверхности кабелей составляет 175 _C. Если предположить, что входные параметры не идет речь, следующая процедура предложил :

7.5.1.1. Соберите коллекцию модельных предсказаний M_i , экспериментальных измерений, E_i , из прошлых экспериментов с участием объектов с аналогичными тепловыми характеристиками, что и кабелей в вопросе. Как "аналогичные" эксперимент путем гипотетическом сценарии изучаемого может быть определена количественно путем

различных параметров, как тепловой инерции объекта, размер пожара, размер отсека, и так далее. Получить оценки экспериментальной неопределенности от тех, кто проводил эксперименты или выполните процедуру, описанную на Hamins [176]. Экспресс экспериментальную неопределенность в относительном выражении, ESE.

7.5.1.2. Рассчитайте коэффициент смещения, D , и относительное стандартное отклонение, $S \sim M$, от уравнений. (4.13) и (4.11) соответственно. Для данных, приведенных на рис. 4.4, $d = 1:13$ и что $ESM = 0:20$.

7.5.2. Рассмотрим распределение, уравнение. (4.15), из «истинной» температуры, Q , показанном графически на рис. 4.1. Вертикальные линии указывают на «критическую» температуру, при которой ущерб считается осуществленной ($T_c = 200^\circ \text{C}$) и температуру предсказанной модели (175°C). Учитывая температуру окружающей среды 20°C , предсказанного повышения температуры, M , составляет 155°C . Среднее значение и стандартное отклонение в формуле. (4.15) рассчитываются :

$$\mu = 20 + \frac{M}{\delta} = 20 + \frac{155}{1.13} = 157^\circ \text{C} \quad ; \quad \sigma = \tilde{\sigma}_M \frac{M}{\delta} = 0.20 \times \frac{155}{1.13} = 27^\circ \text{C} \quad (4.16)$$

7.5.3. соответственно. Затененной области под кривой нормального распределения является вероятность того, что "истинный" температура может превышать критическое значение, $T_c = 200^\circ \text{C}$, которая может быть выражена через бесплатной функции ошибок :

$$P(T > T_c) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{T_c - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{200 - 157}{27 \sqrt{2}} \right) \approx 0.06 \quad (4.17)$$

7.5.4. Это означает, что есть 6% шанс, что кабели могут быть повреждены, если предположить, что входные параметры модели не являются предметом неопределенности.

7.6. Дополнительные соображения

7.6.1. Имейте в виду, что для любого пожарного испытания программа может прогнозировать конкретное количество точно (в пределах экспериментальных границ неопределенности, например), но другое количество менее точно. Например, в серии из 15 полномасштабных пожарных испытаний, проведенных в NIST в 2003 году, авторами которого Комиссии по ядерному регулированию США, средняя слой горячего газа (дымового слоя) прогнозы температуры были почти в точности измерений сами, но прогнозы концентрации дыма отличались от измерений на целых 3 раза. Почему? Рассмотрим следующие вопросы, связанные с различными видами измерений:

7.6.1.1. измерения, принятые ли в одной точке, или в среднем на протяжении многих точек ? В приведенном выше примере, температура дымового слоя является средним из множества термодатчиков измерений, в то время как концентрация дыма основан на исчезновении лазерного света в течение короткого промежутка длины. Ошибка Модель имеет тенденцию к уменьшению в процессе усреднения, а также большинство моделей пожарных, в том числе программа, основаны на законах глобальной массы и сохранения энергии, которые выражаются как пространственные средних.

7.6.1.2. Является ли измеряемая величина усредненная по времени или мгновенной? Например, прогнозирование температуры поверхности меньше подвержены ошибкам по сравнению с предсказанием теплового потока, поскольку первый является, в некотором смысле, интеграл по времени от последнего.

7.6.1.3. В случае измерения точки, как близко к огню это такое? Термины "ближнего поля" и "дальнего поля" используются в данном руководстве для описания относительного расстояния от огня. В общем, прогнозы явлений вблизи полевых более склонны к ошибке, чем дальнем поле. Есть исключения, однако. Например, прогнозирование температуры непосредственно в пламенной области может быть более точной, чем сделано только диаметр огонь в сторону из-за того, что температура, как правило, стабилизируют при температуре около 1000°C внутри самого пожара, но затем быстро уменьшаются от пламя. Менее точные прогнозы, как правило, происходят в регионах крутых градиентов (быстрые изменения, как в пространстве и времени).

8. ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ – ДЫМОВОЙ СЛОЙ

8.1.1. Программа, как и любой модель вычислительной гидродинамики, не выполняет прямое вычисление температуры дымового слоя или его высоты. Данные конструкции уникальны для двухзонных моделей. Тем не менее программа делает предсказания температуры газа в тех же местах, что и термодатчиков в экспериментах, и эти значения могут быть уменьшены таким же образом, как экспериментальные измерения для получения "среднюю" температуру и высоту дымового слоя. Несмотря на обоснованности метода редукации, то прогнозирование программой

температуры дымового слоя и высота должна быть представитель точности его прогнозы отдельных измерений с помощью термопары, которые используются в сокращении дымового слоя. Измерения температуры от всех шести серий испытаний используются для вычисления температуры дымового слоя и высоту с которой можно сравнивать с программой. Тот же метод сокращения слой используется для всех данных, представленных в данной главе.

8.1. Метод редукции дымового слоя

8.1.1. Инженерам по противопожарной защите часто необходимо оценить местоположение поверхности раздела между горячим, задымленным верхним слоем и нижним прохладным слоем в помещении возгорания. Относительно простые модели пожара, часто упоминается в качестве двухзонных моделей, вычислить эту величину непосредственно, наряду с средней температуры верхних и нижних слоев. В модели вычислительной гидродинамики, как программа, существуют не две различные зоны, а скорее непрерывная кривая температуры. Тем не менее, существуют методы, которые были разработаны для оценки высоты слоя и средние температуры от непрерывного вертикального профиля температуры. Один такой способ [183] выглядит следующим образом: Рассмотрим непрерывную функцию $T(z)$ определение температуры T как функции высоты над уровнем пола z , где $z=0$ является поверхностью пола и $z=H$ является поверхностью потолка.

Определить T_u в качестве температуры верхнего слоя, T_ℓ как более низкой температуре слой, и z_{int} как высота интерфейса. Вычислить величины:

$$(H - z_{\text{int}})T_u + z_{\text{int}}T_\ell = \int_0^H T(z)dz = I_1$$

$$(H - z_{\text{int}})\frac{1}{T_u} + z_{\text{int}}\frac{1}{T_\ell} = \int_0^H \frac{1}{T(z)} dz = I_2$$

8.1.2. Решение z_{int} :

$$z_{\text{int}} = \frac{T_\ell (I_1 I_2 - H^2)}{I_1 + I_2 T_\ell^2 - 2T_\ell H} \quad (5.1)$$

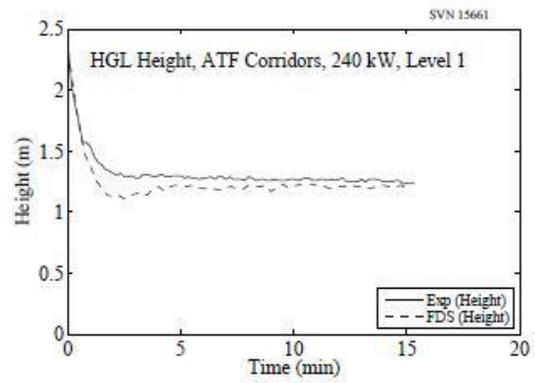
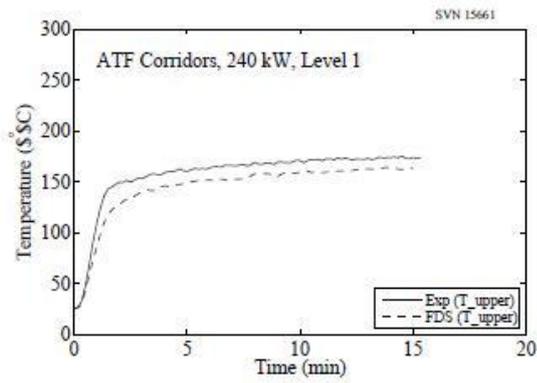
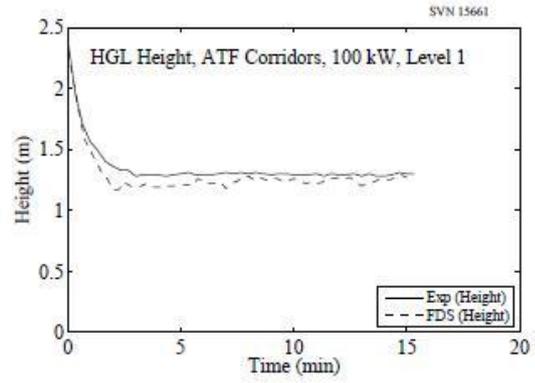
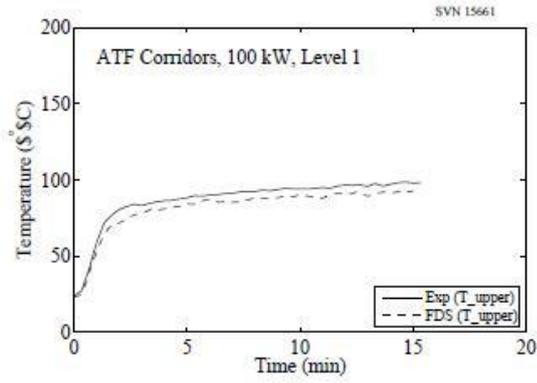
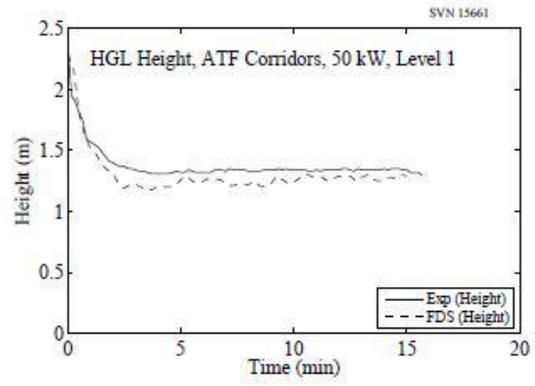
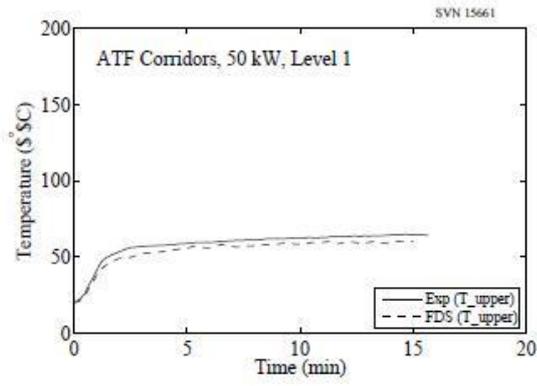
8.1.3. Пусть T_ℓ – температура в самой низкой ячейке сетки и, по правилу Симпсона, выполняется численное интегрирование I_1 и I_2 . T_u определяется как средняя температура верхнего слоя с помощью уравнения:

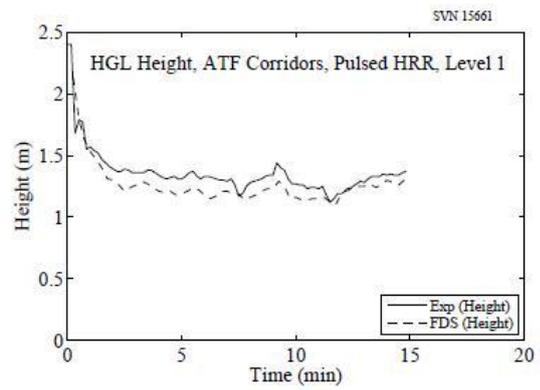
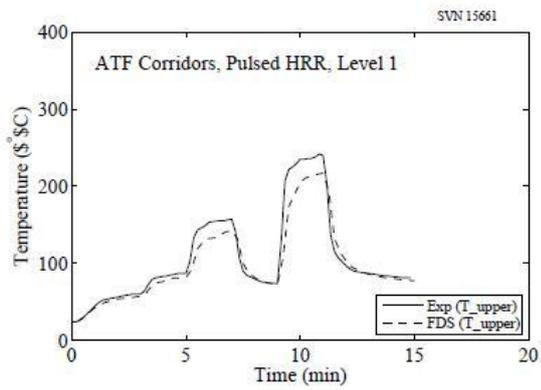
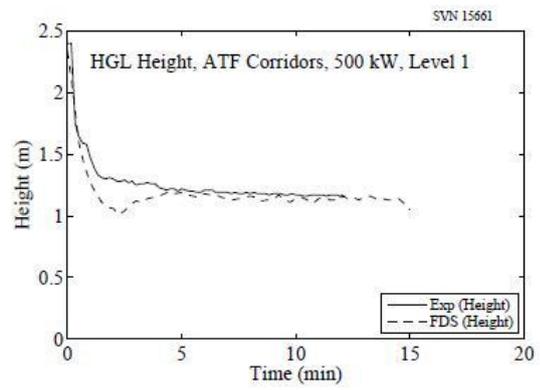
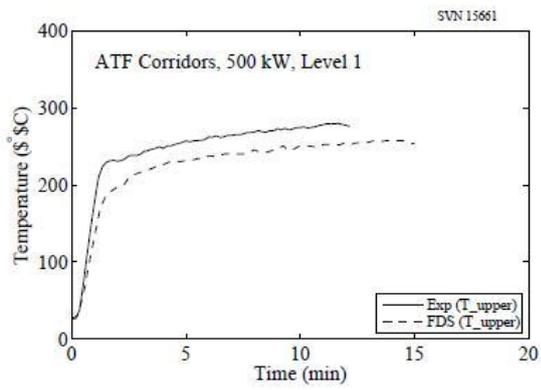
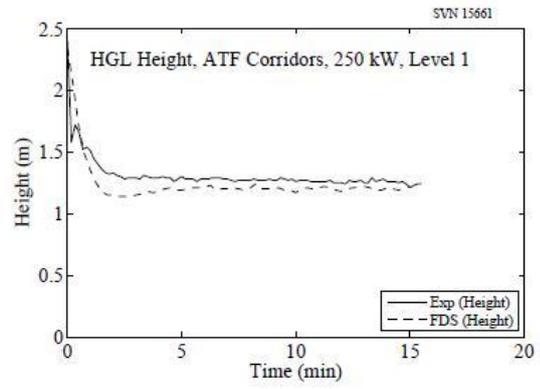
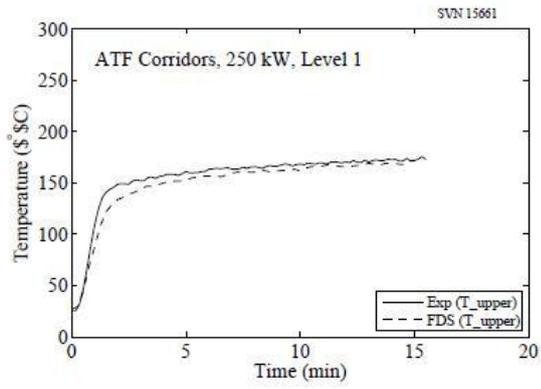
$$(H - z_{\text{int}})T_u = \int_{z_{\text{int}}}^H T(z)dz \quad (5.2)$$

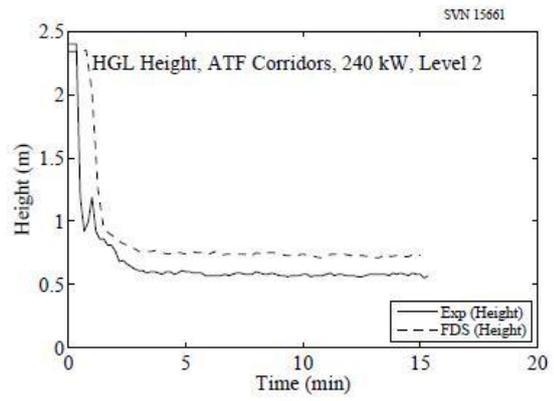
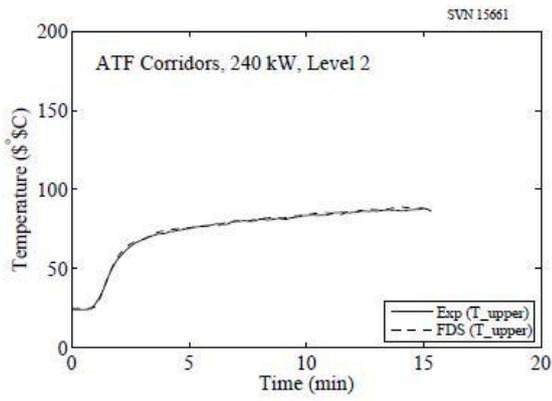
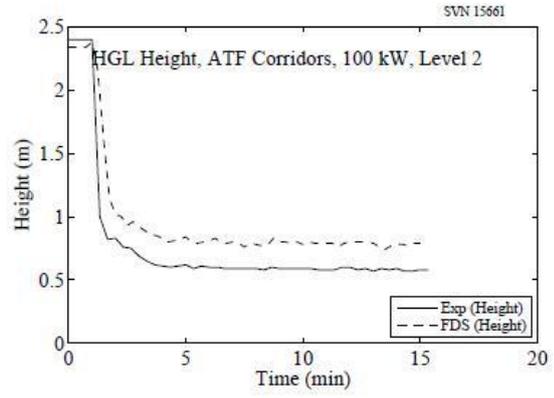
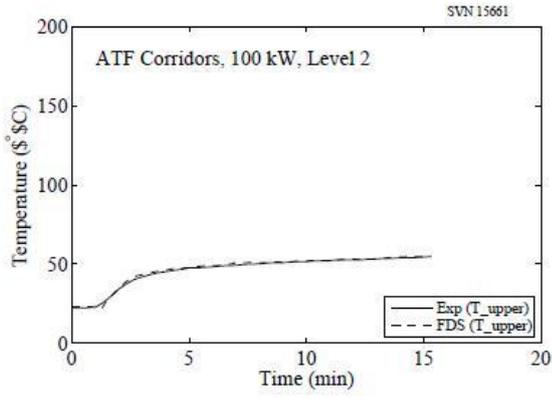
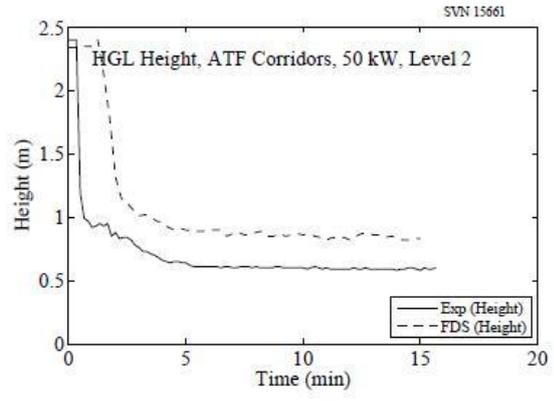
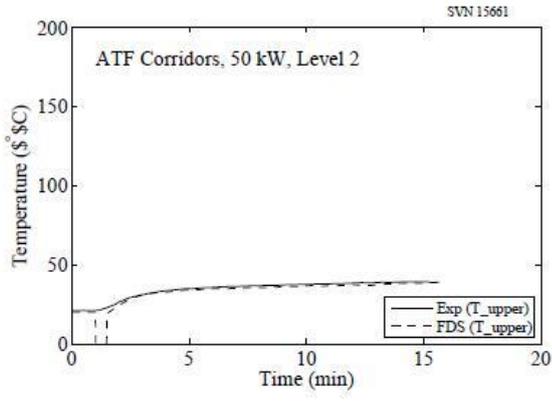
8.1.4. Дальнейшее рассмотрение аналогичных процедур приведено в работе [184].

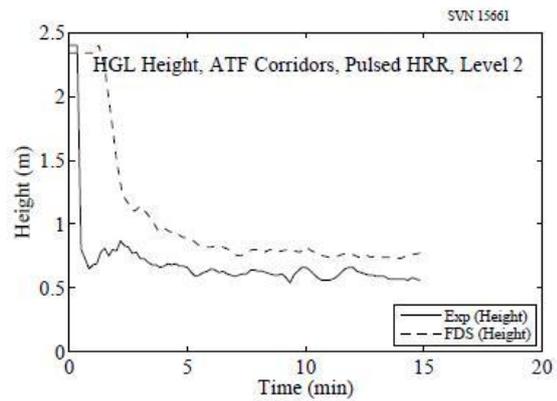
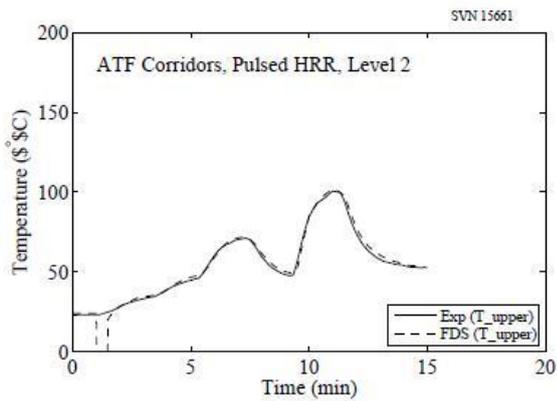
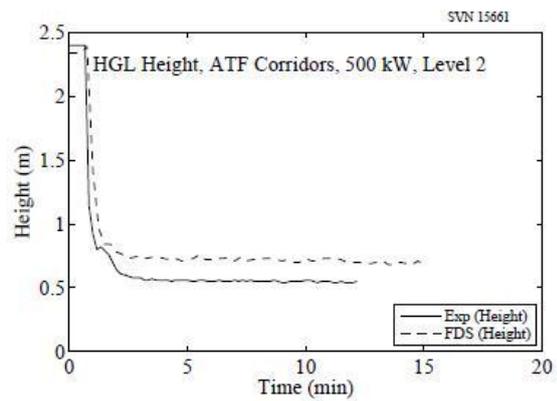
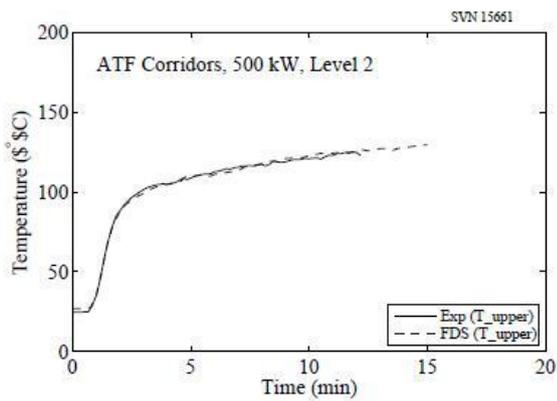
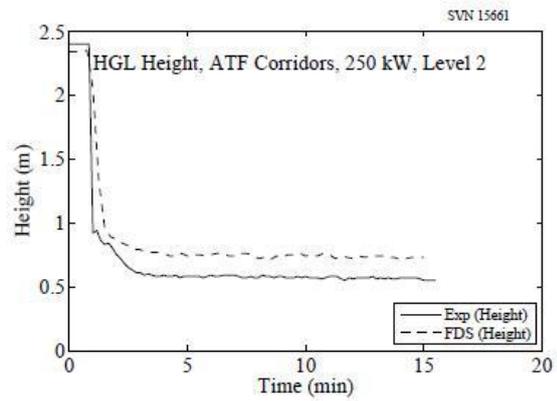
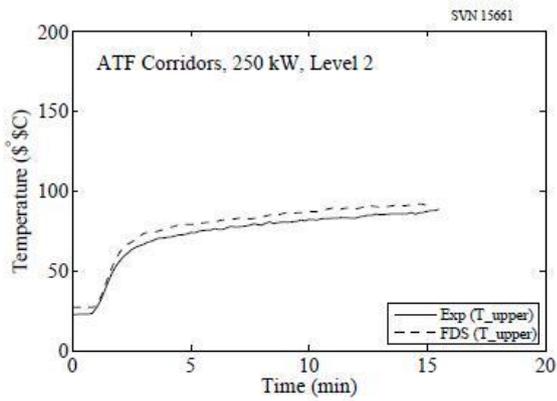
8.2. Опыты ATF в коридорах

8.2.1. Опыты ATF в коридорах включали два коридора, один из которых располагался над другим и был соединен с ним лестничной клеткой. Температура дымового слоя и сокращения глубины проводились с использованием трех наборов термопар в нижней коридора (деревья А, В, и С) и двух массивов в верхнем коридоре (деревья G и H).



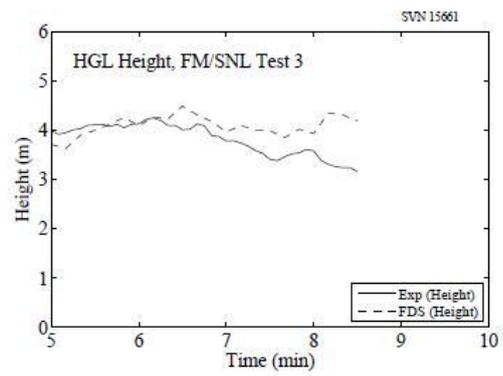
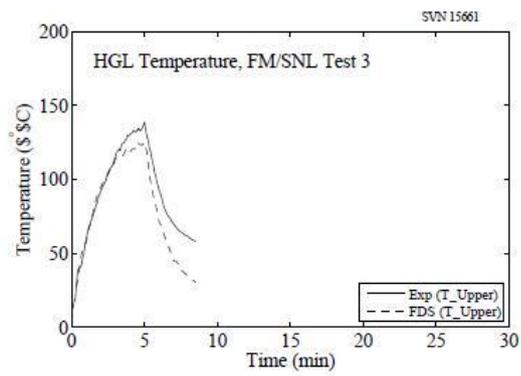
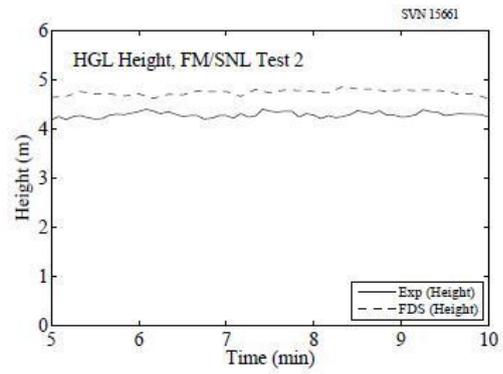
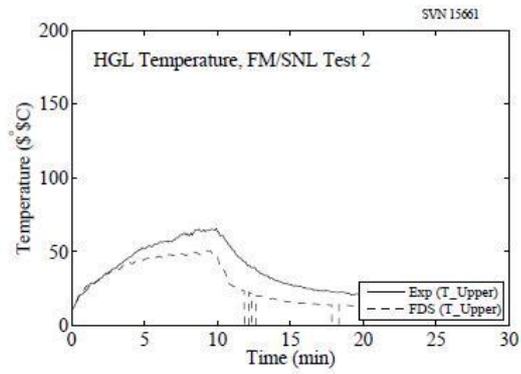
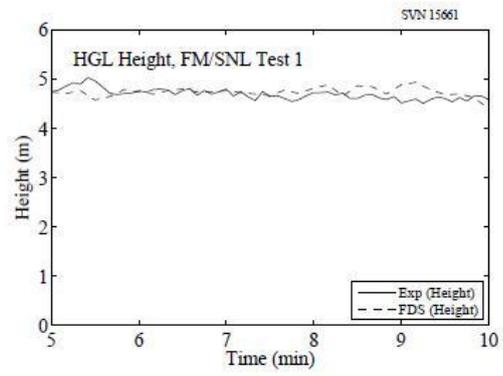
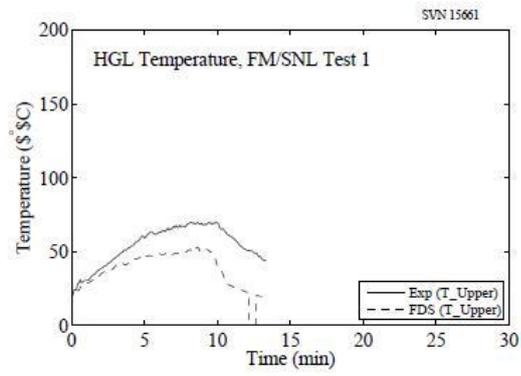


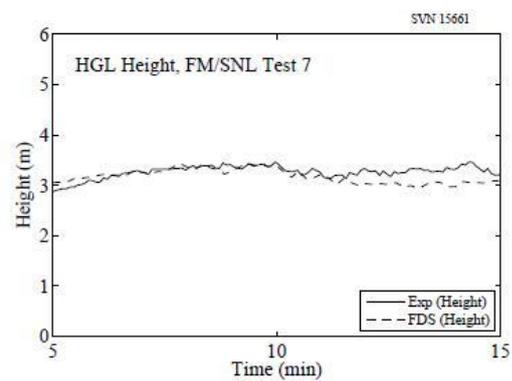
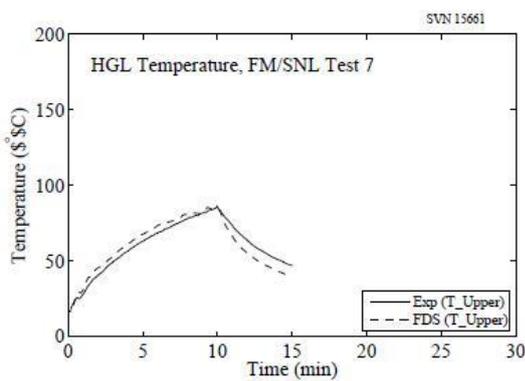
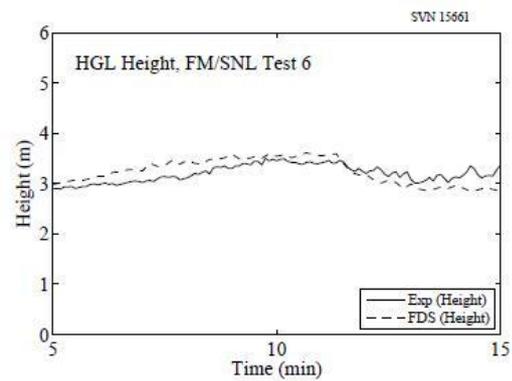
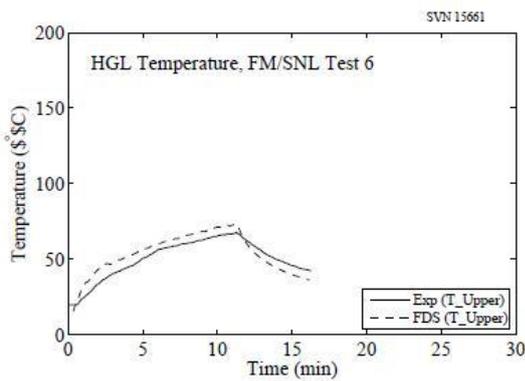
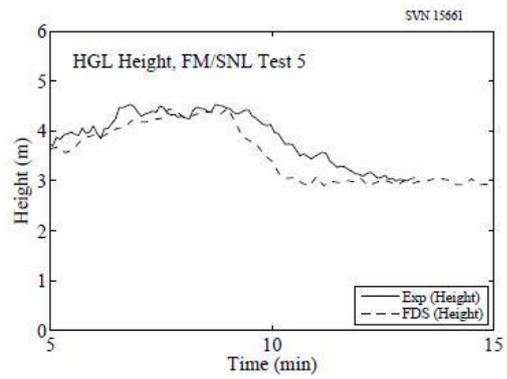
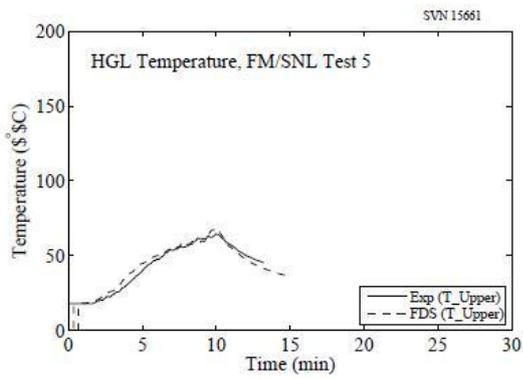
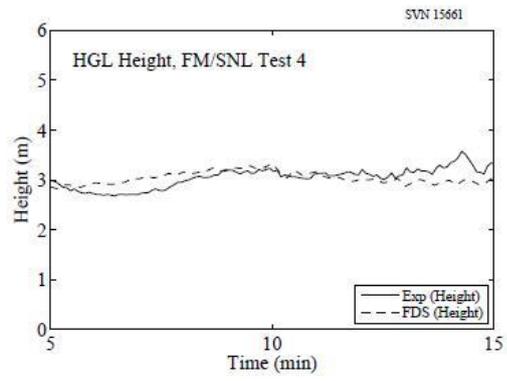
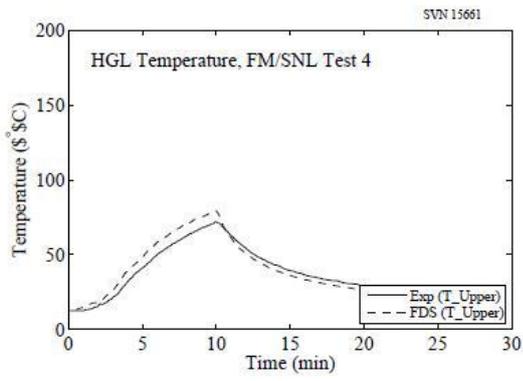


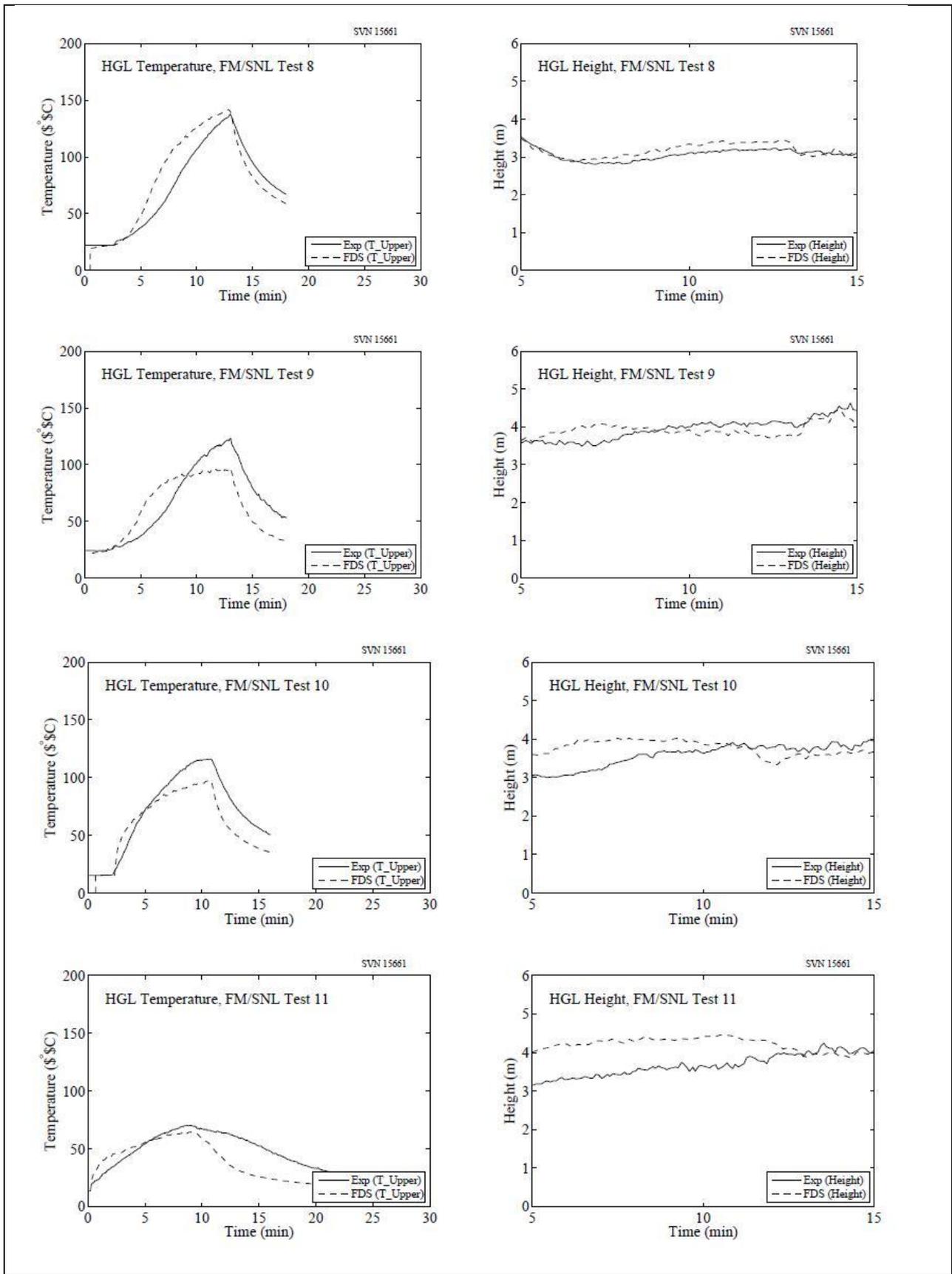


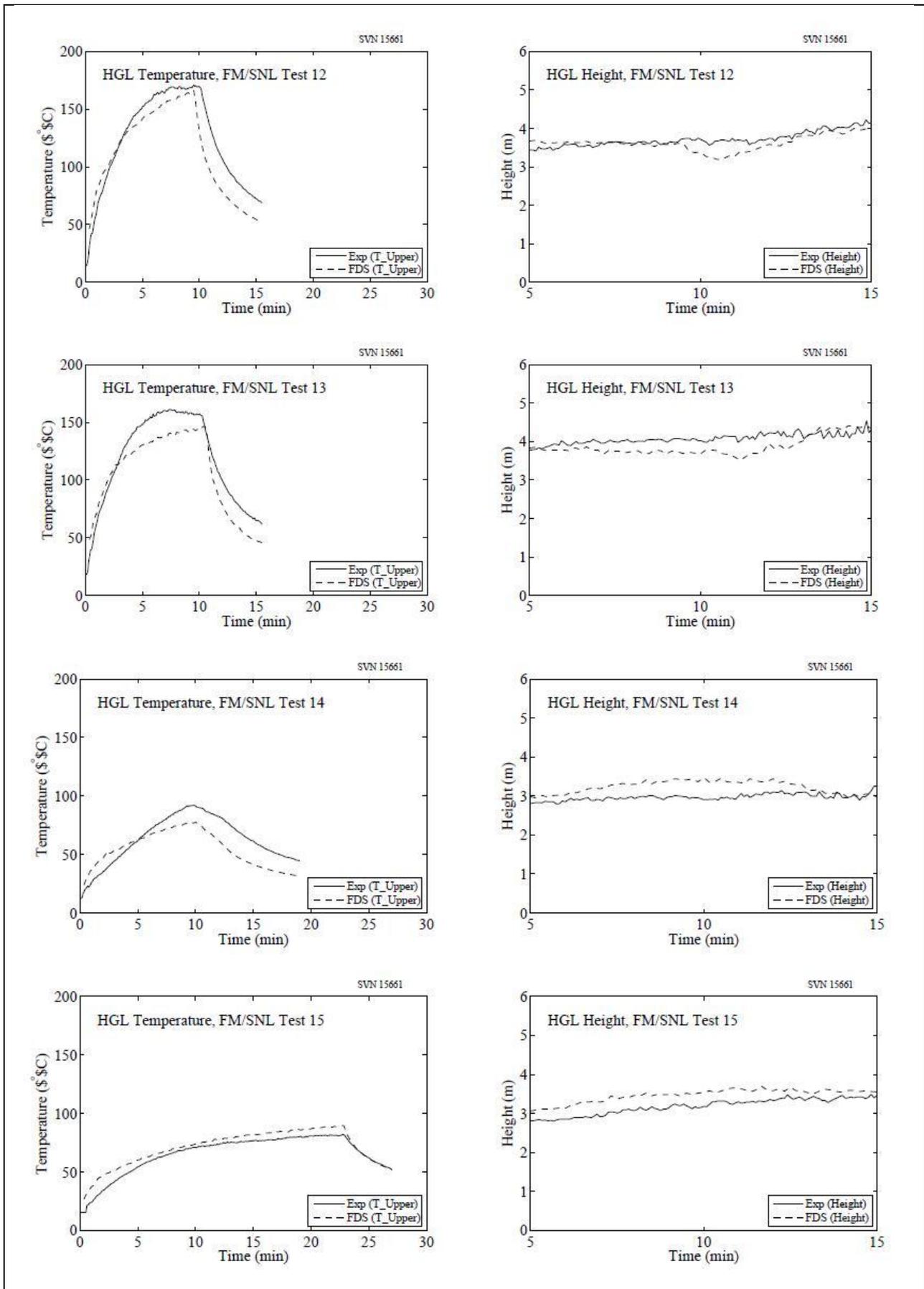
8.3. Серии испытаний FM/SNL

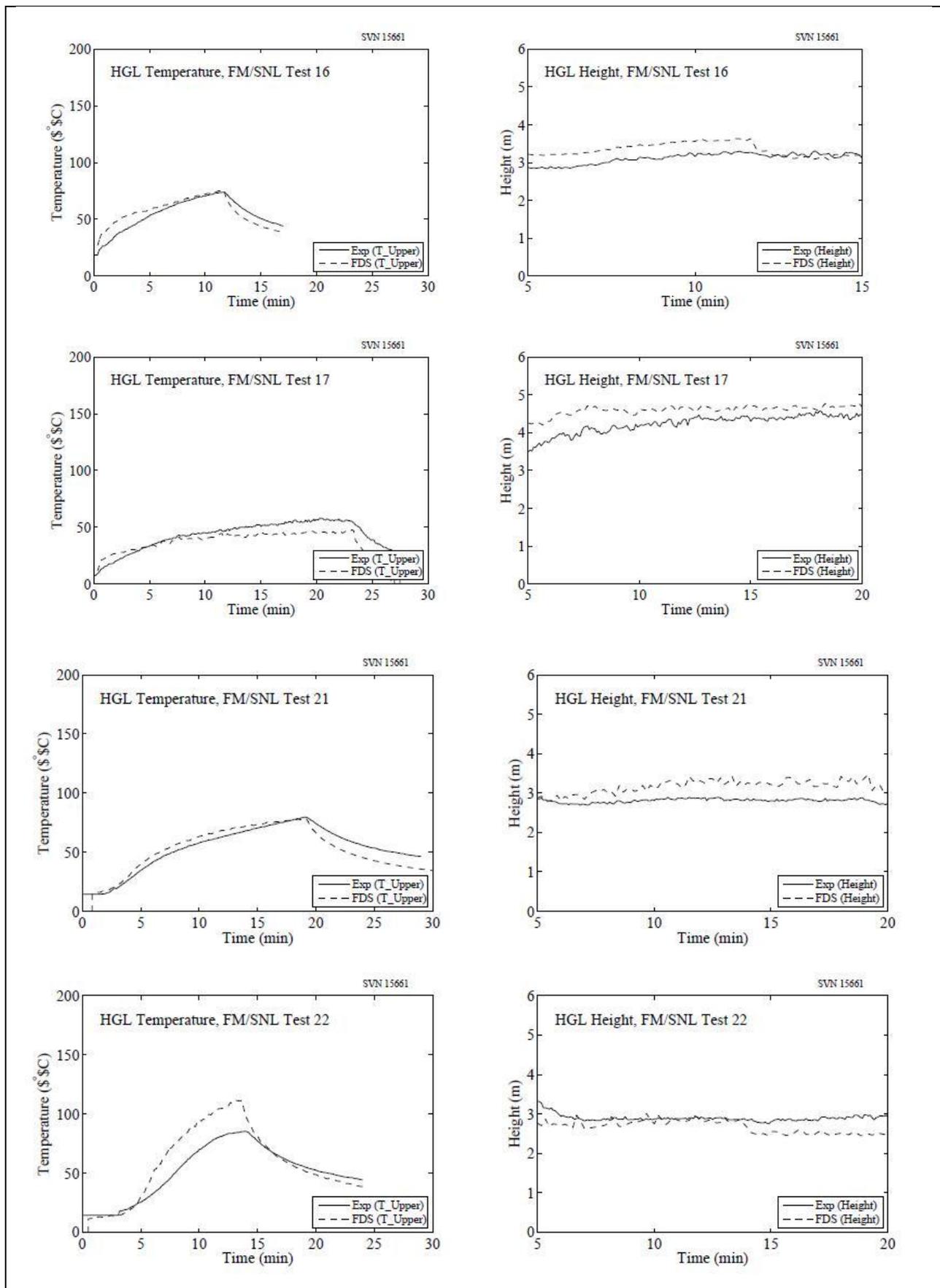
8.3.1. Для сравнения были выбраны девятнадцать примеров испытаний из серии FM/SNL. Температура и высота дымового слоя вычисляются с использованием стандартного метода. Группы термодатчиков, размещенные в секторах 1, 2 и 3 были усреднены (с равным взвешиванием для каждой) для всех испытаний, за исключением испытаний 21 и 22. В этих испытаниях используются только сектора 1 и 3, так как сектор 2 находится в пределах струи дыма. Также во всех испытаниях, кроме экспериментов с газовой горелкой, оценивается временной график тепловыделения. Сообщается только о максимальное значение тепловыделения.









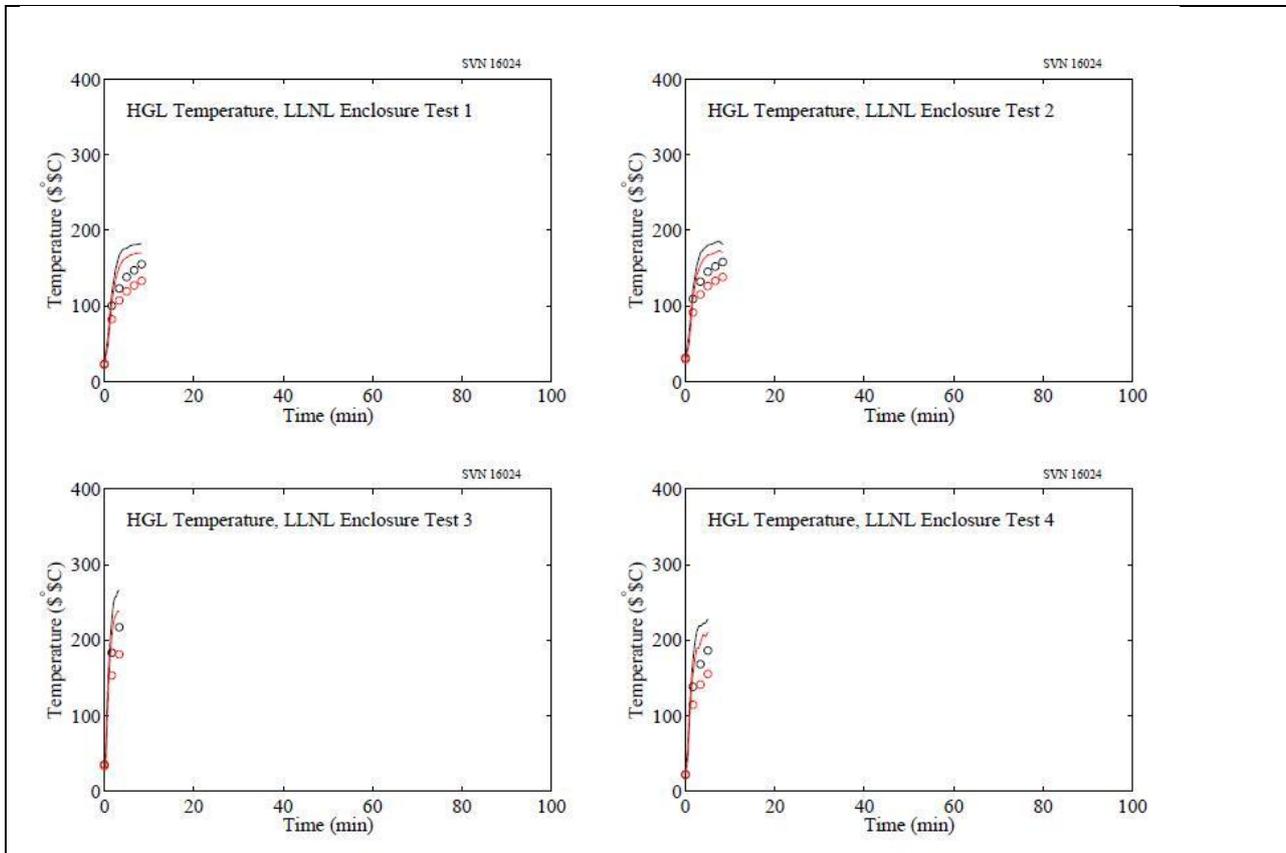


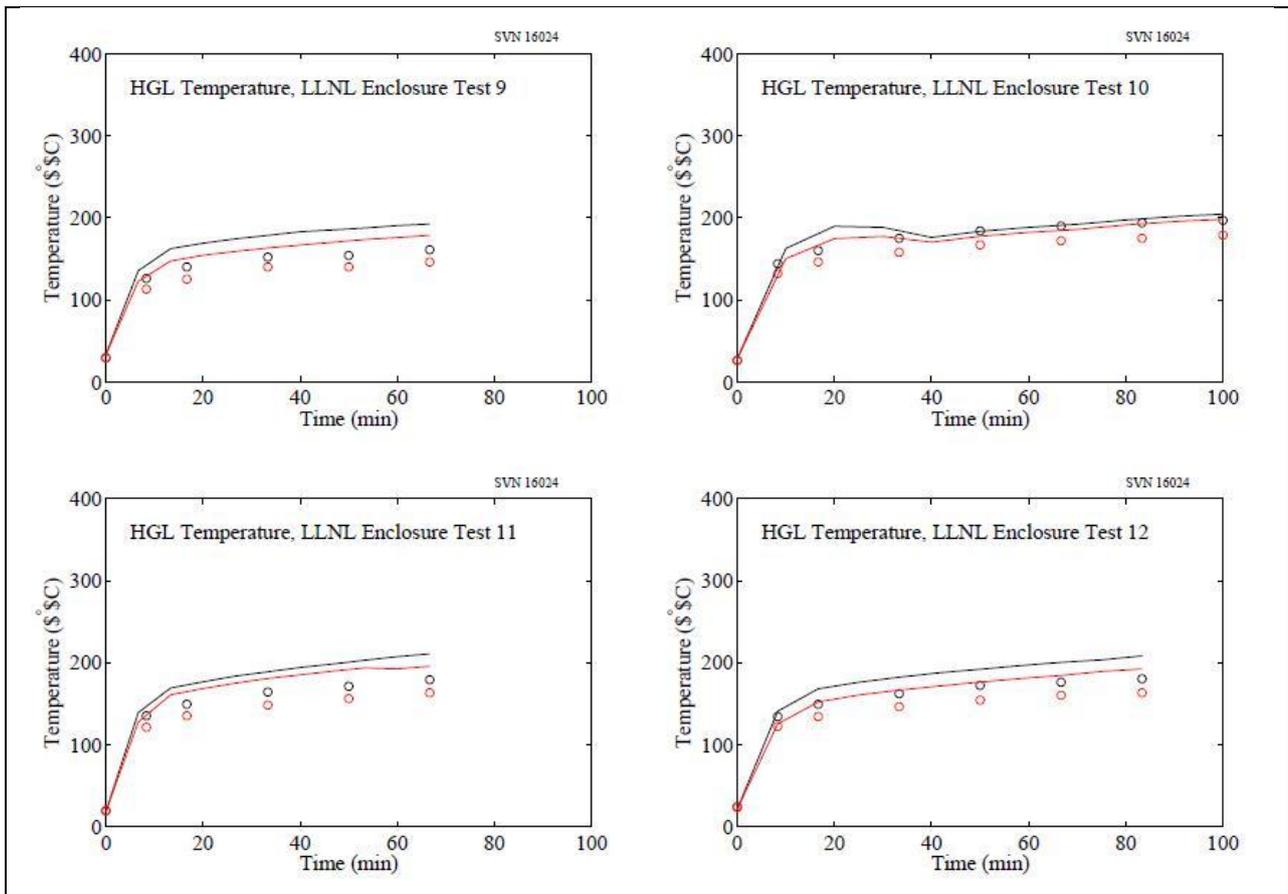
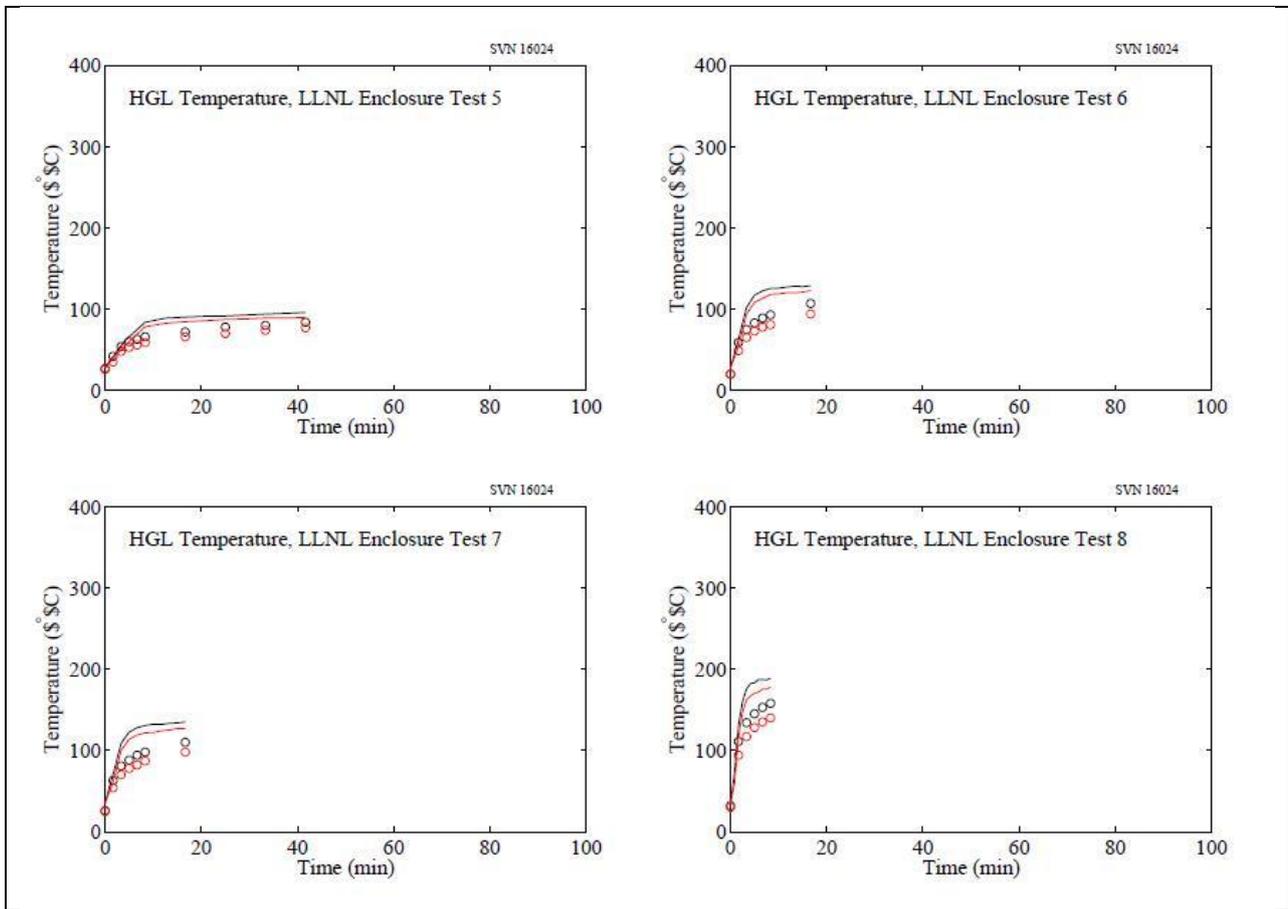
8.4. Серии испытаний в помещениях LLNL

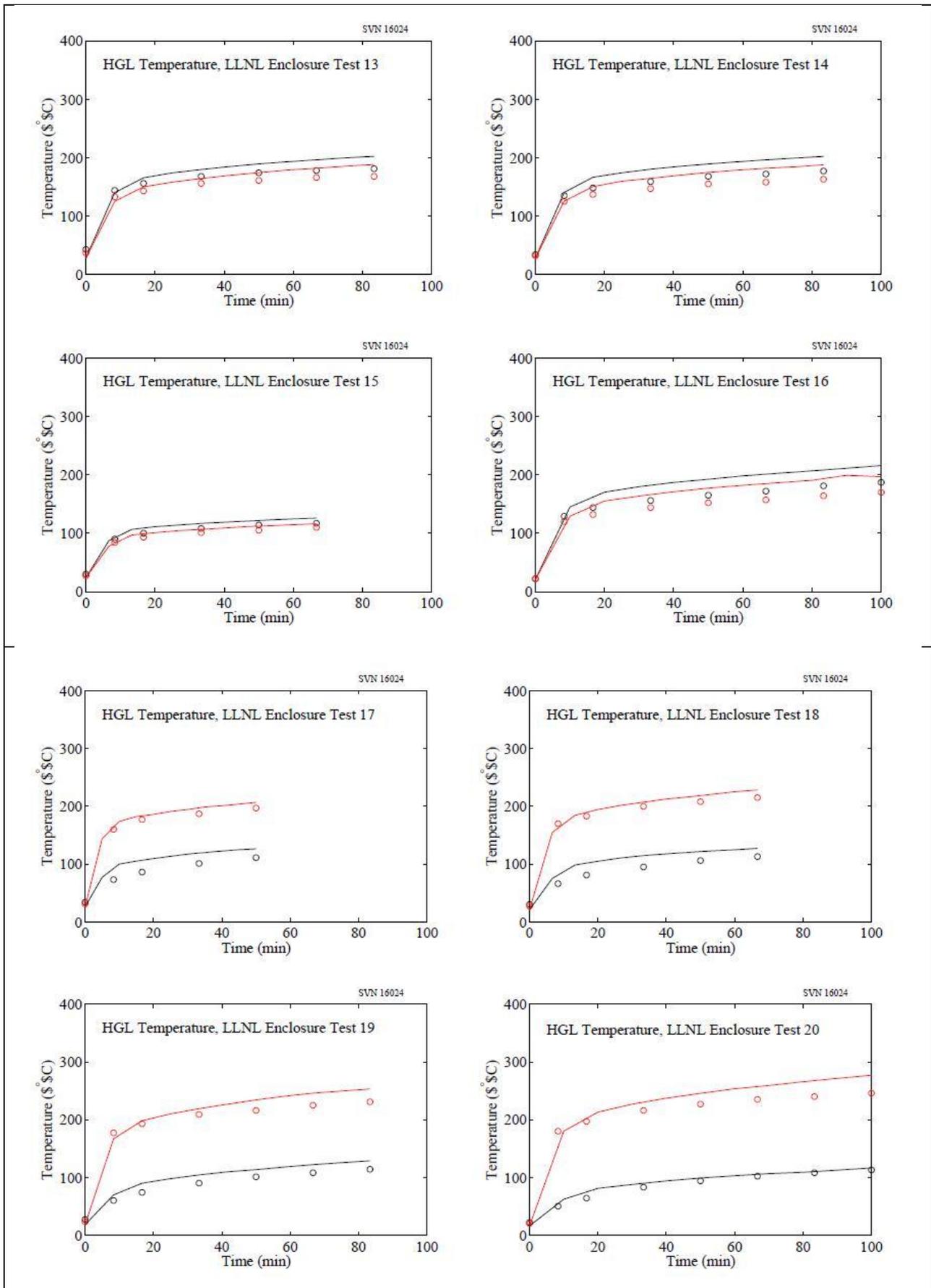
8.4.1. В графиках на последующих страницах сравниваются прогнозируемые и измеренные температуры слоев из серии испытаний помещений LLNL. В испытаниях пятнадцать термпар были равномерно распределены от пола до потолка по обе стороны от горелки. Измеренные температуры были зарегистрированы в виде средних значений в нижней, средней и верхней пяти термпарах. Некоторые испытания были проведены с отдельной камерой статического давления пространства

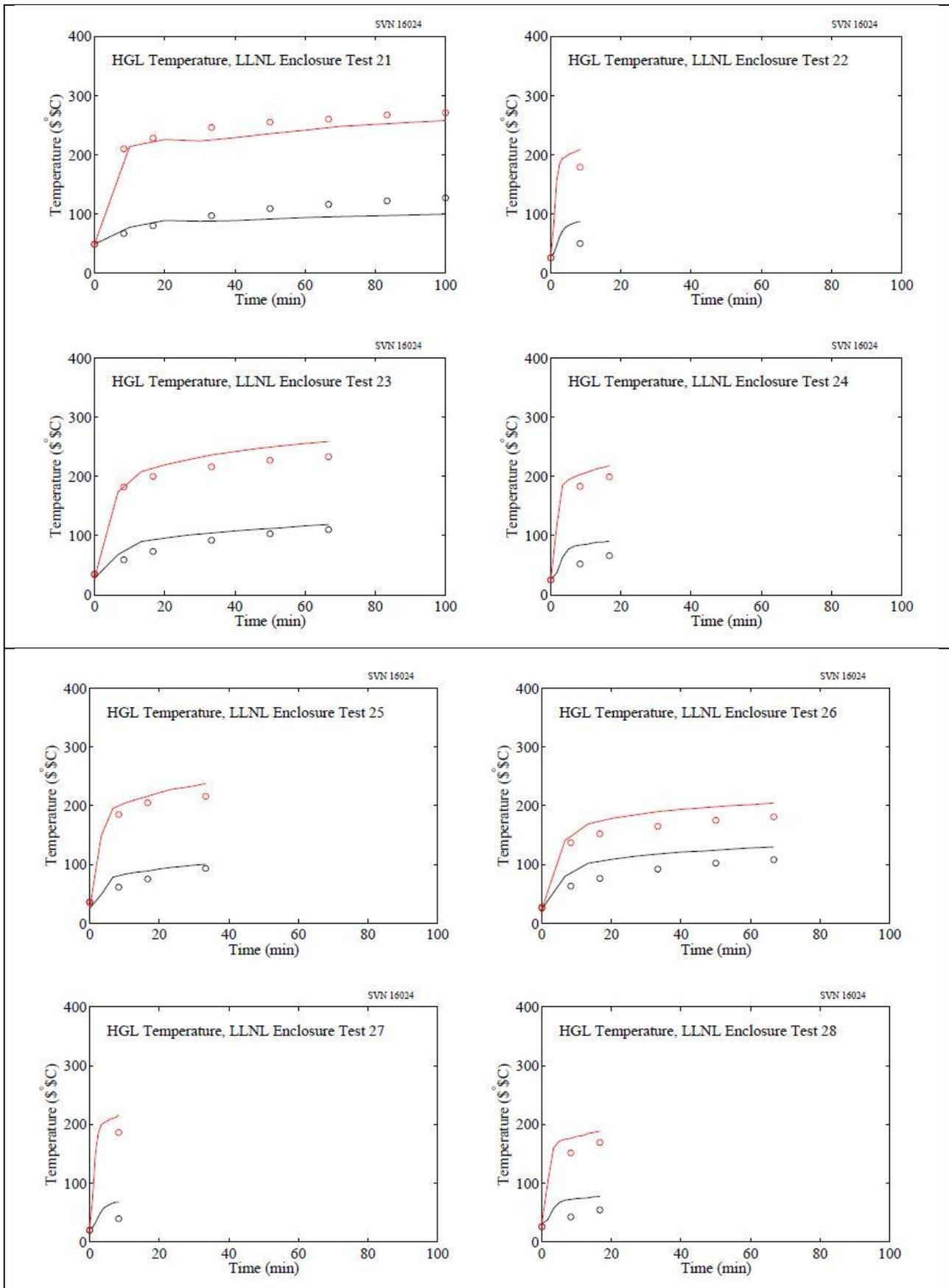
в верхней одной третьей части общего помещения (тесты 17-60). В этих случаях верхние пять термопар являются мерой средней температуры в полости.

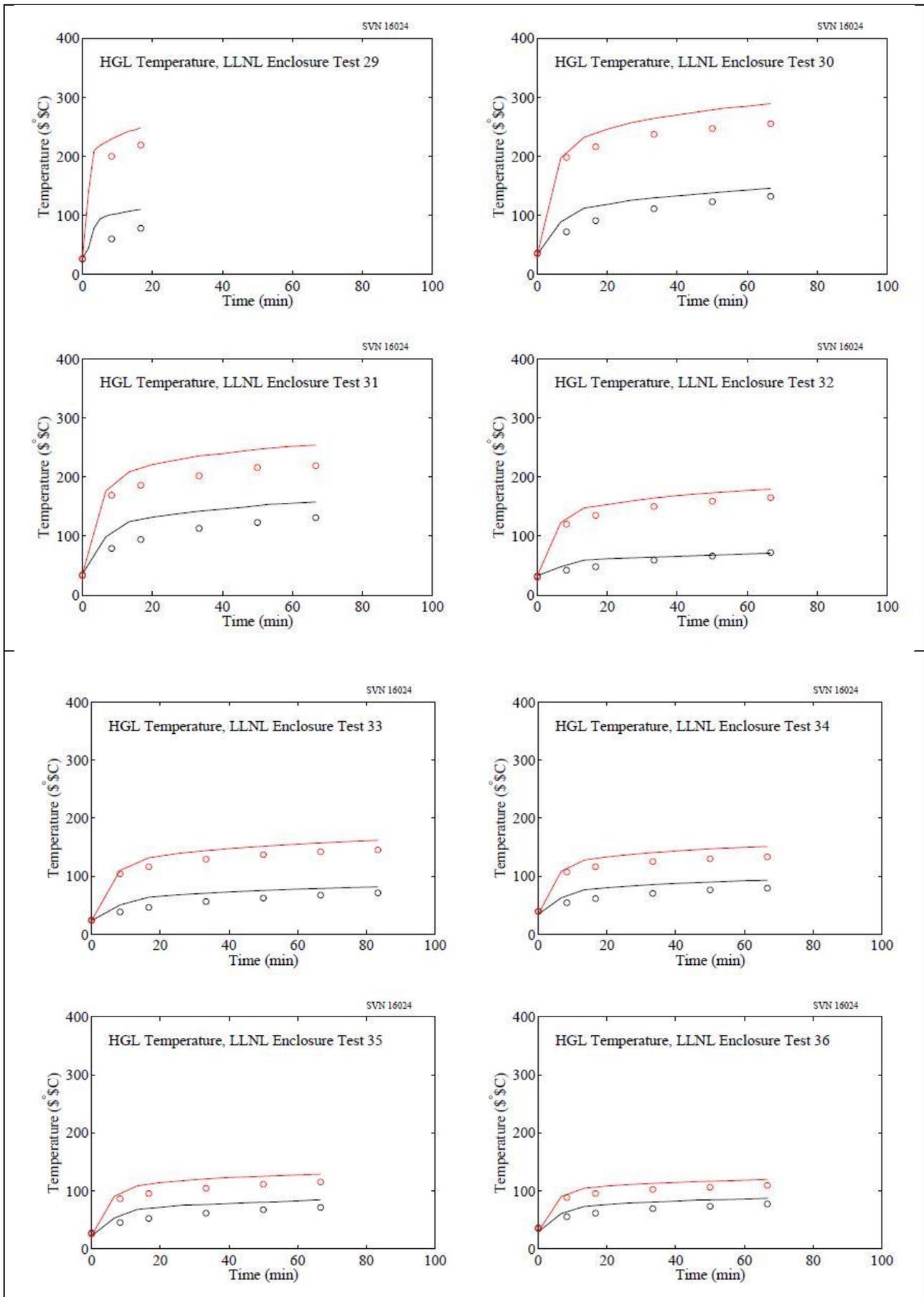
8.4.2. На рисунках на следующих страницах черные круги представляют собой среднее из пяти наиболее высоких измеренных значений термопар. Линии представляют моделирование. Красные круги представляют собой среднее из средних пяти измерений термопар. Для испытаний в камерах, эти термопары расположены непосредственно под камерой и их средняя температура, как правило, больше, чем температура камеры. Следует отметить, что в ряде испытаний, поток горячего был остановлен или огонь самостоятельно погас. Моделирование продолжается только до тех пор пока регистрируются измерения.

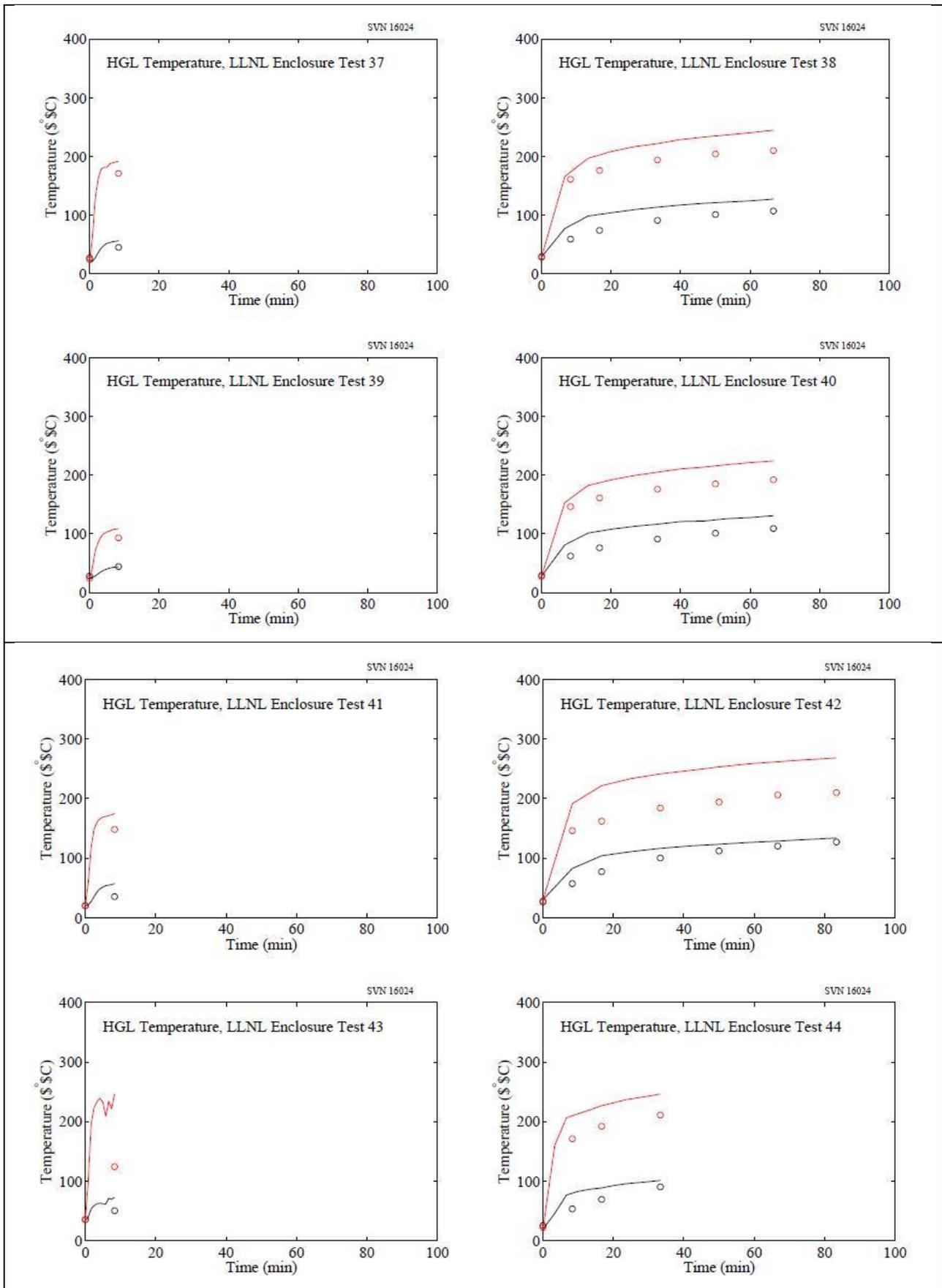


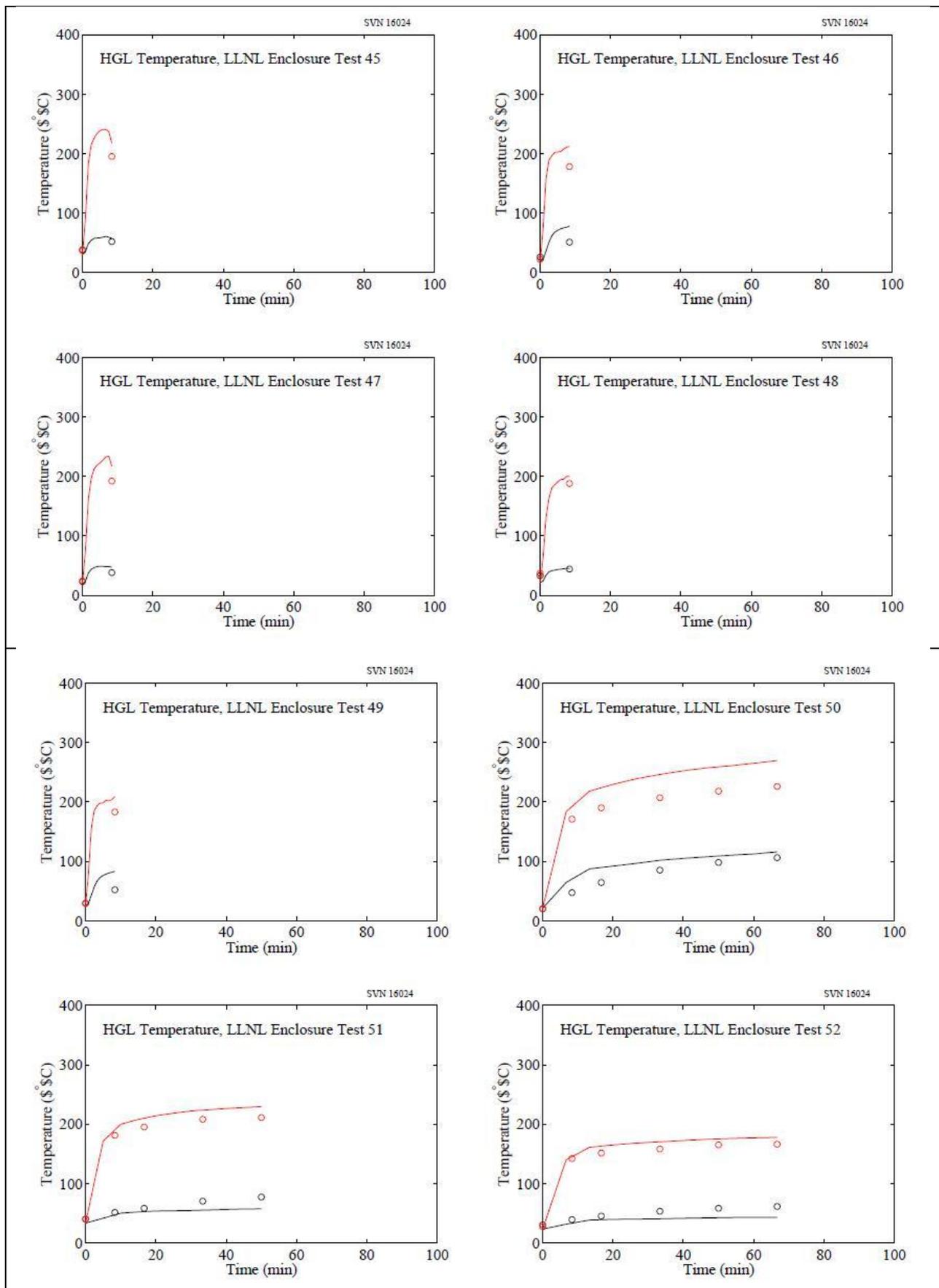


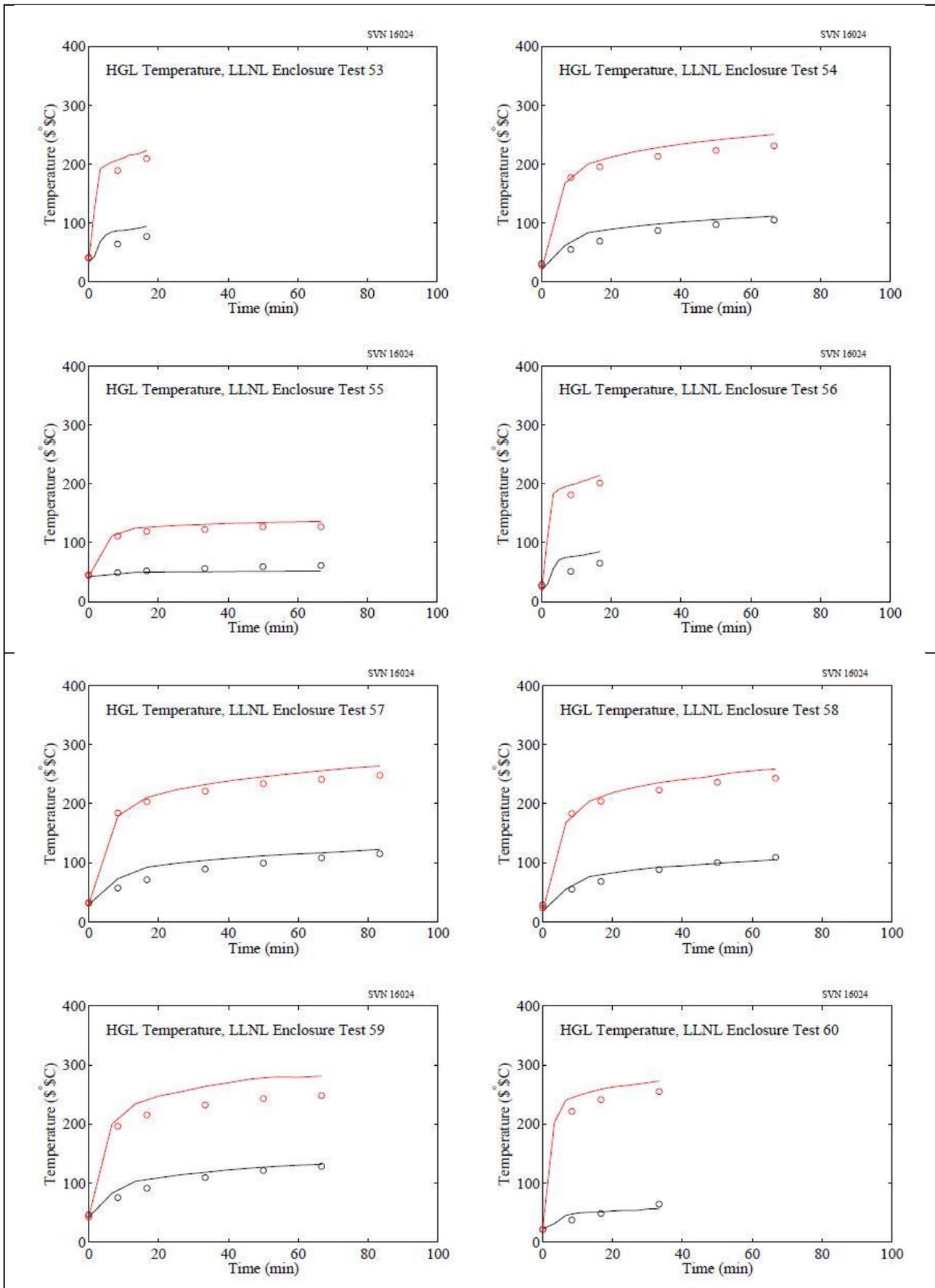


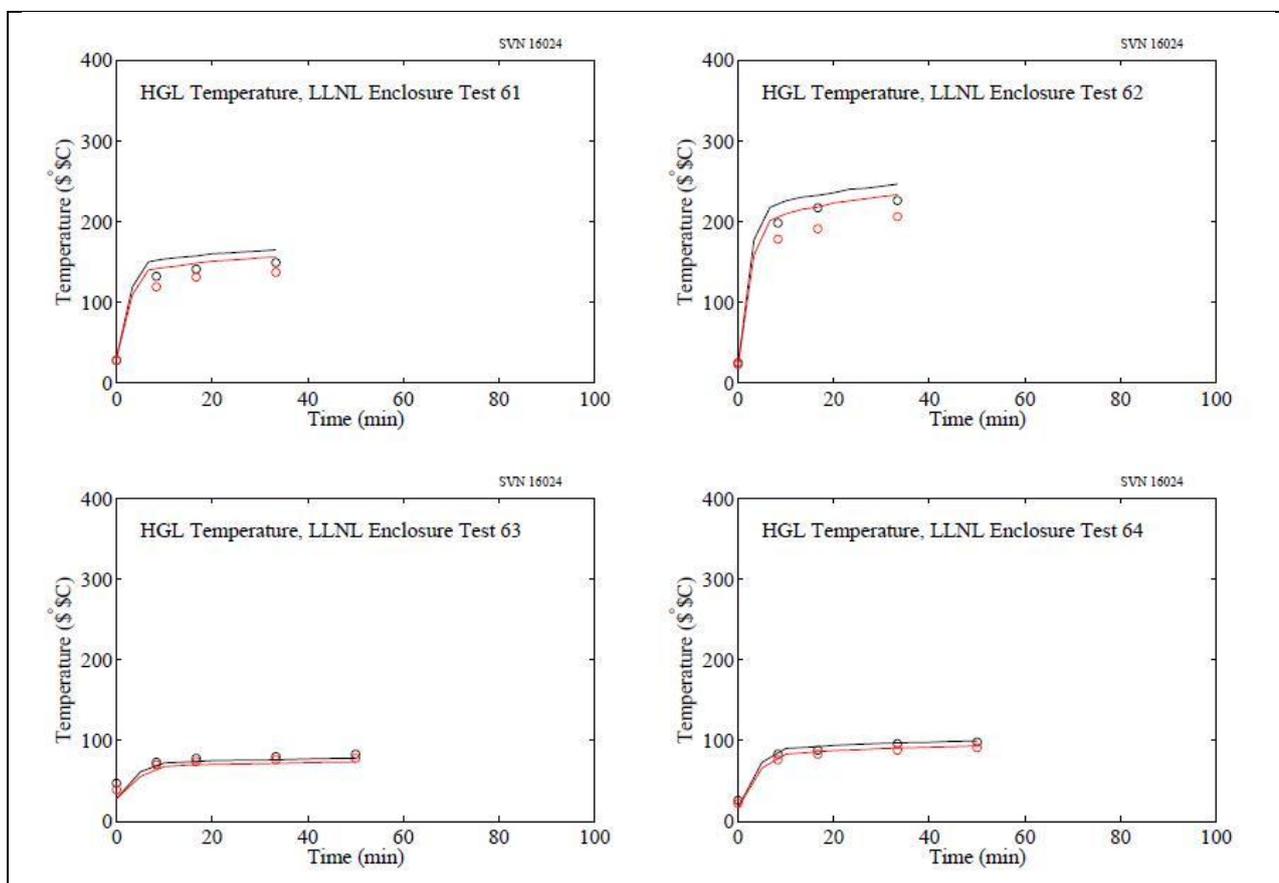






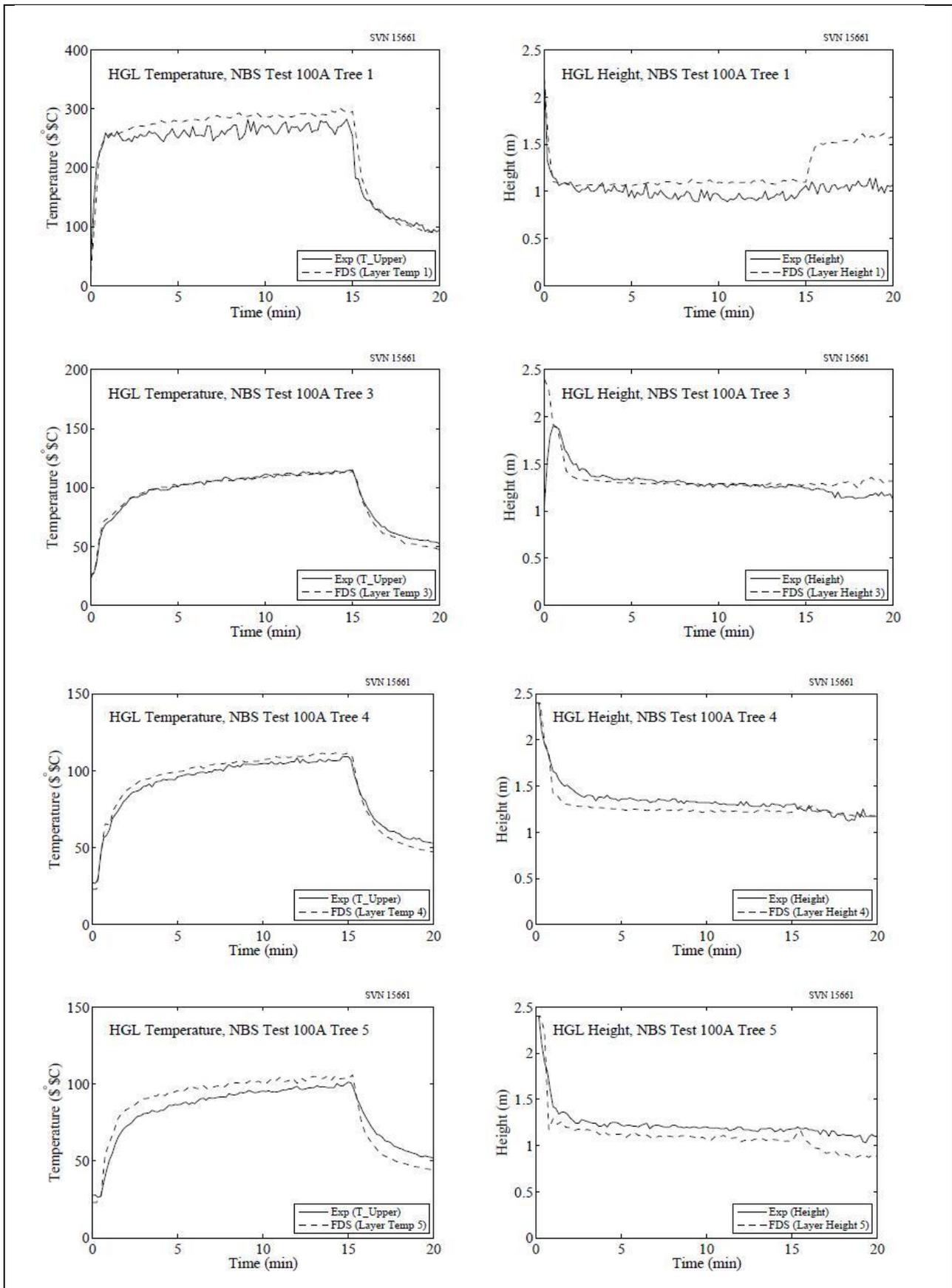


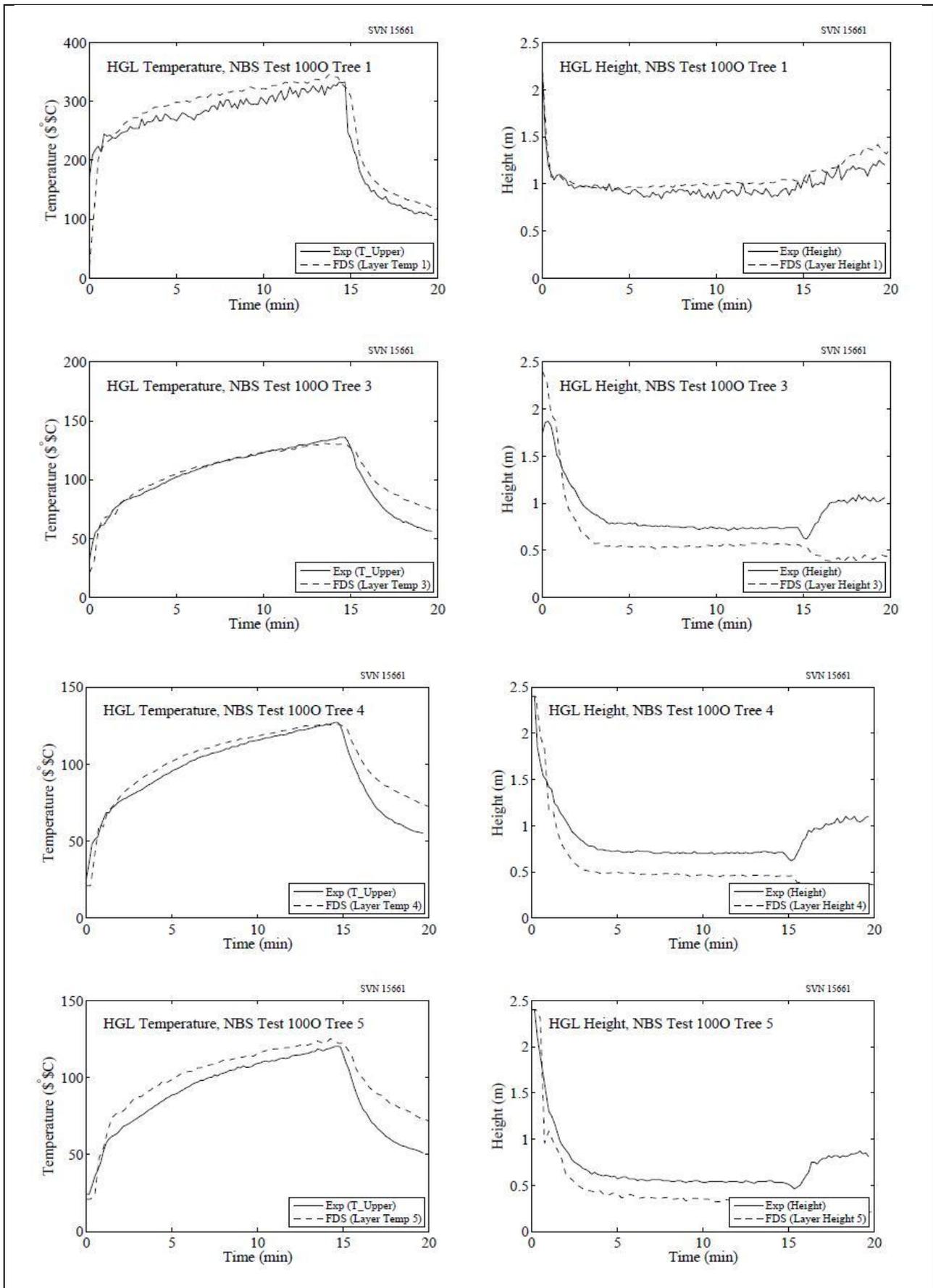


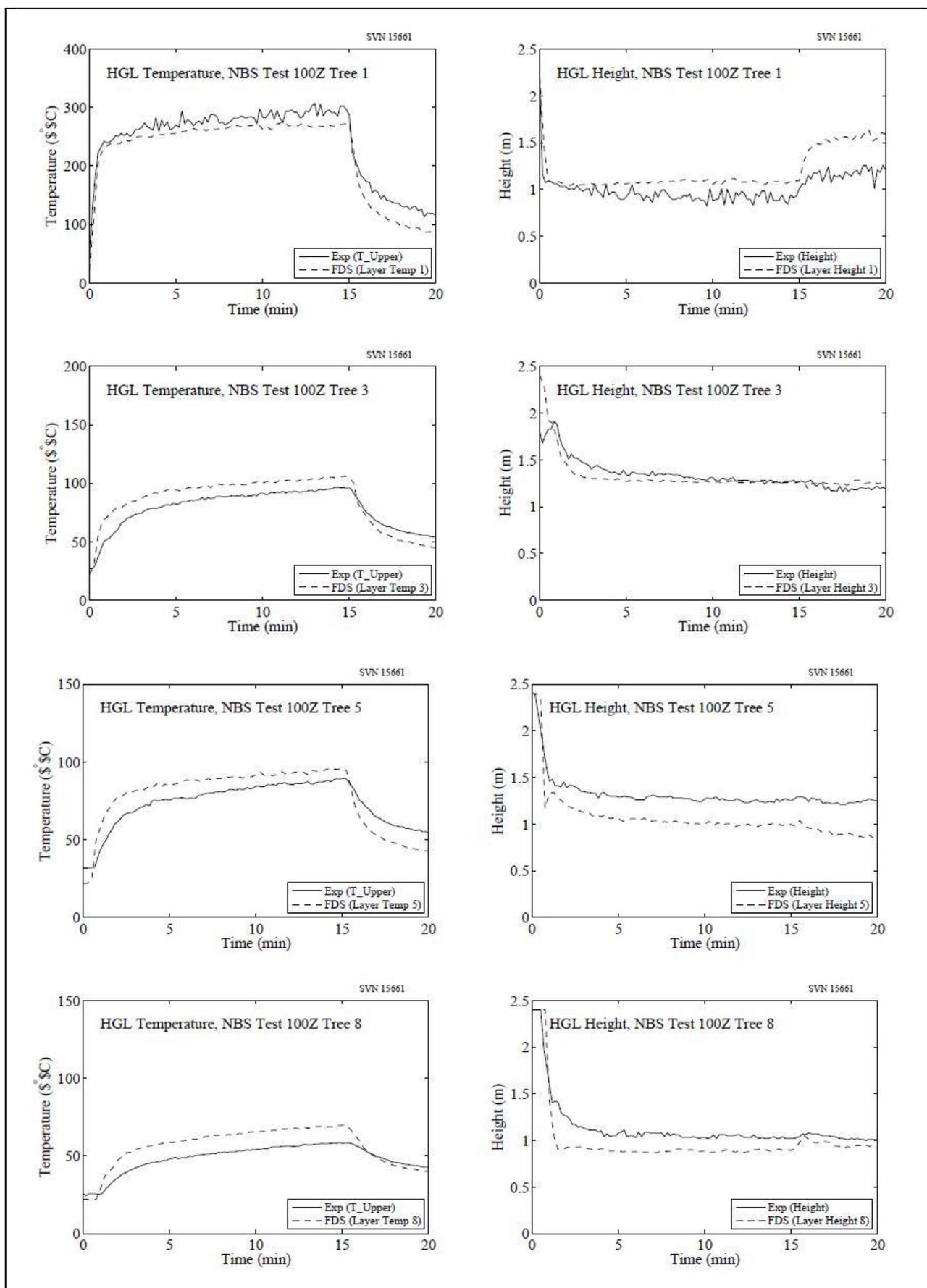


8.5. Серии испытаний НБС в нескольких помещениях

8.5.1. Эта серия экспериментов была проведена в двух относительно небольших комнатах, соединенных длинным коридором. Пожар был расположен в одной из комнат. Восемь вертикальных рядов термодатчиков были расположены в ходе испытательного пространства: Tree 1 в ожоговой комнате, Дерево 2 в дверях ожоговой комнаты, деревья 3, 4, и 5 в коридоре, Дерево 6 в выходном дверях снаружи на дальний конец коридора, Дерево 7 в дверях «целевой» комнате, и Древа 8 внутри Вашей комнаты. Четыре дерева были отобраны для сравнения с предсказанием модели: дерево 1 в ожоговой комнате, деревья в коридоре, и Дерево 8 в Вашей комнате в Test 100Z. В тестах 100A и 100o, целевая зал был закрыт. Тест директор снижает информацию слоя индивидуально для восьми термодатчиков массивах, используя альтернативный метод. Эти результаты были включены в оригинальных наборов данных. Тем не менее, в этом отчете выбранные деревья ТС были уменьшены использованием метода, описанного в разделе 5.1.





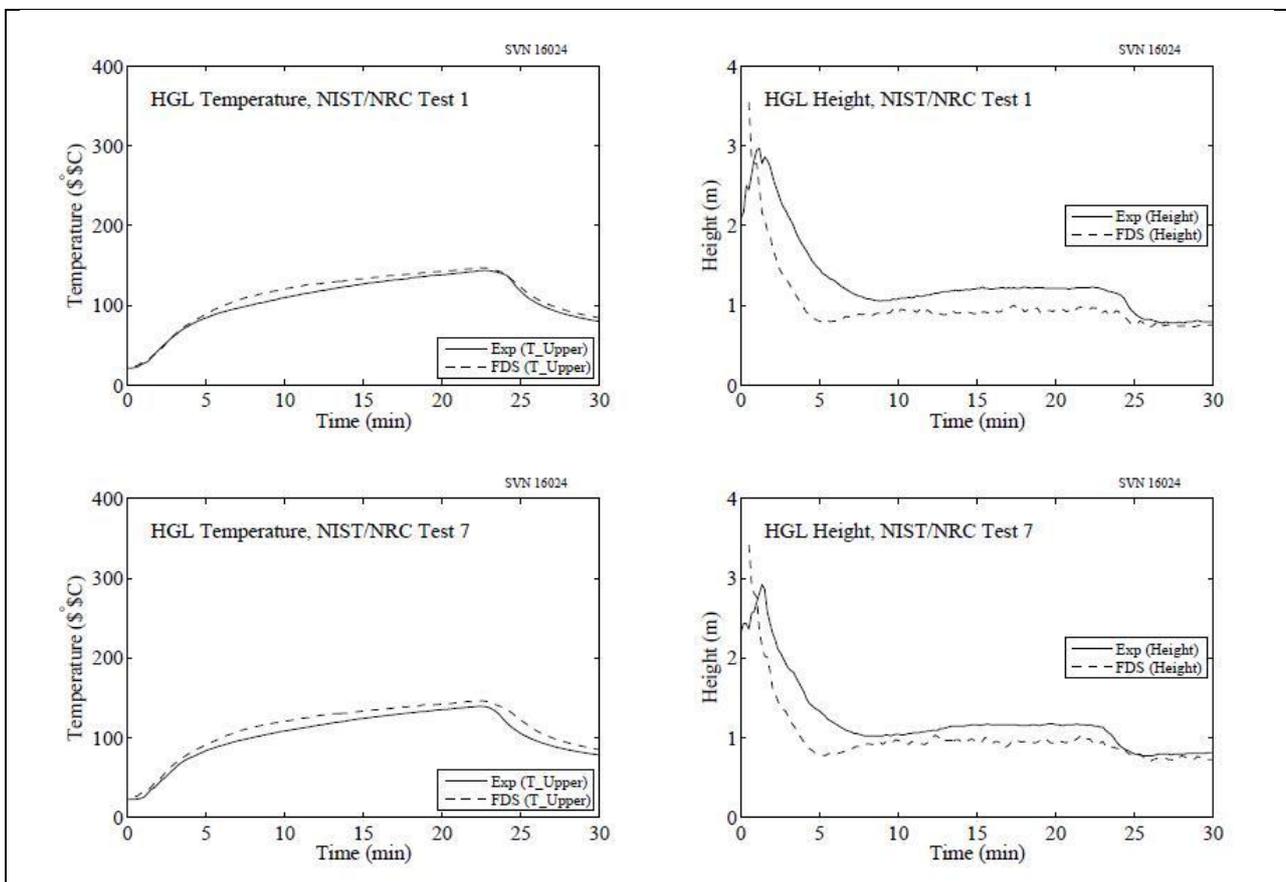


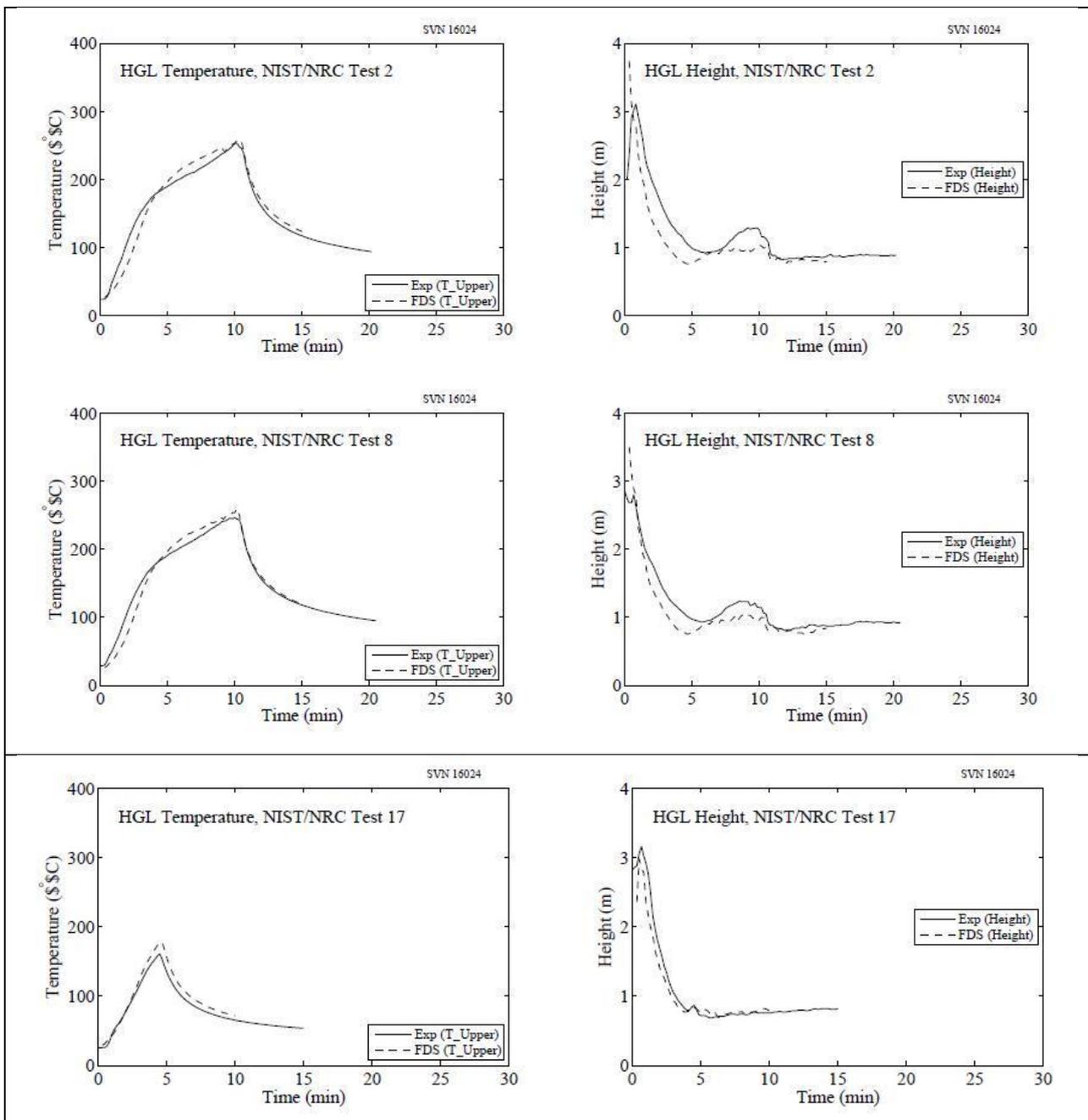
8.6. Серия испытаний NIST/NRC

8.6.1. Серия испытаний NIST/CPH состояла из 15 пожарных испытаний с гептановым распылением с разным тепловыделением, панорамными местоположениями и условиями вентиляции. Значения температуры газа были измерены с помощью семи групп термопар (или "деревьев"), расположенных от пола до потолка и распределенных в помещении. Средняя температура в слое горячего газа и высота вычисляются с помощью деревьев термопар 1, 2, 3, 5, 6 и 7. Дерево 4 не

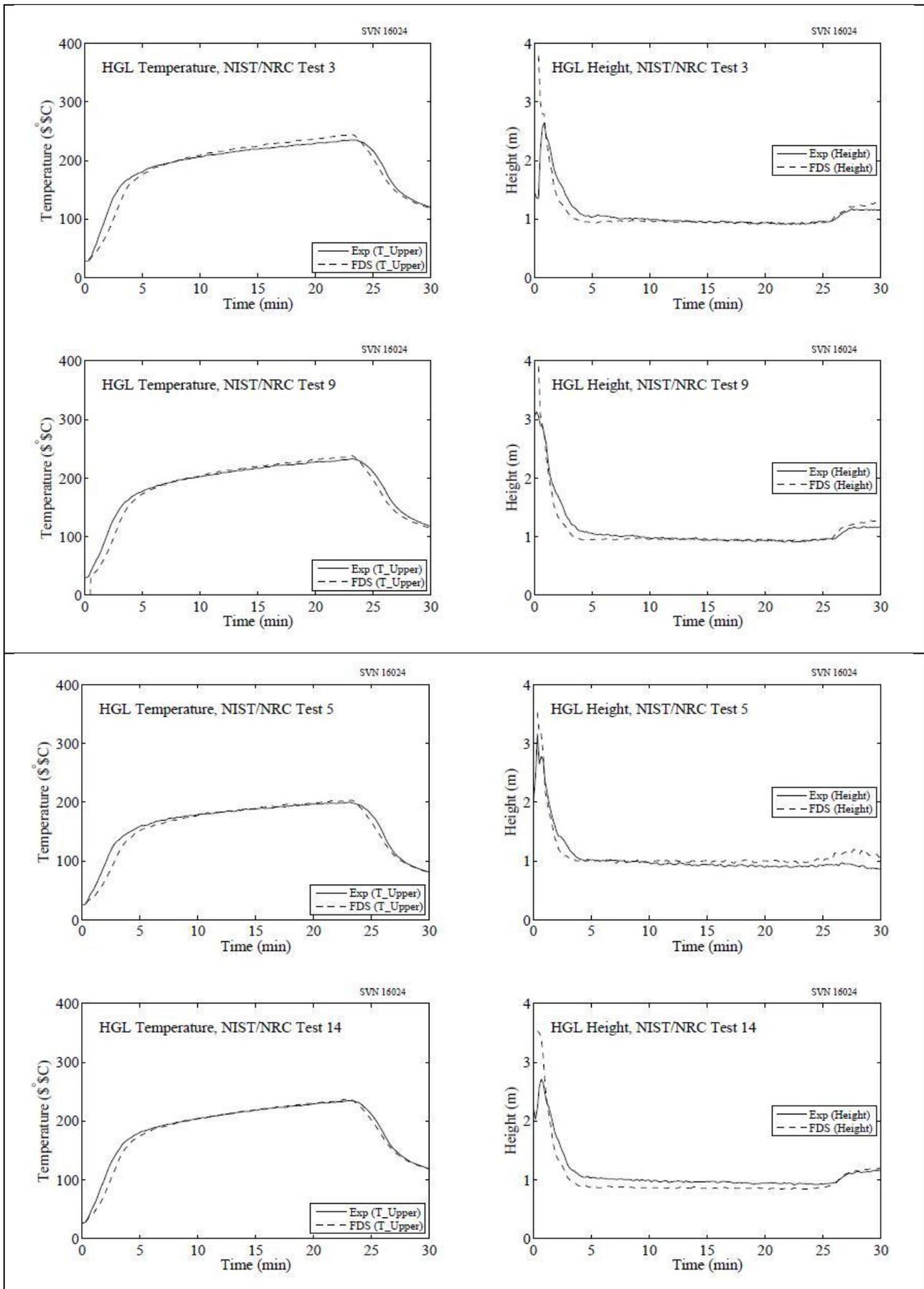
использовалось, поскольку одна из его термопар (ТС 4-9) работала со сбоями в большей части испытаний. Несколько наблюдений относительно моделирования:

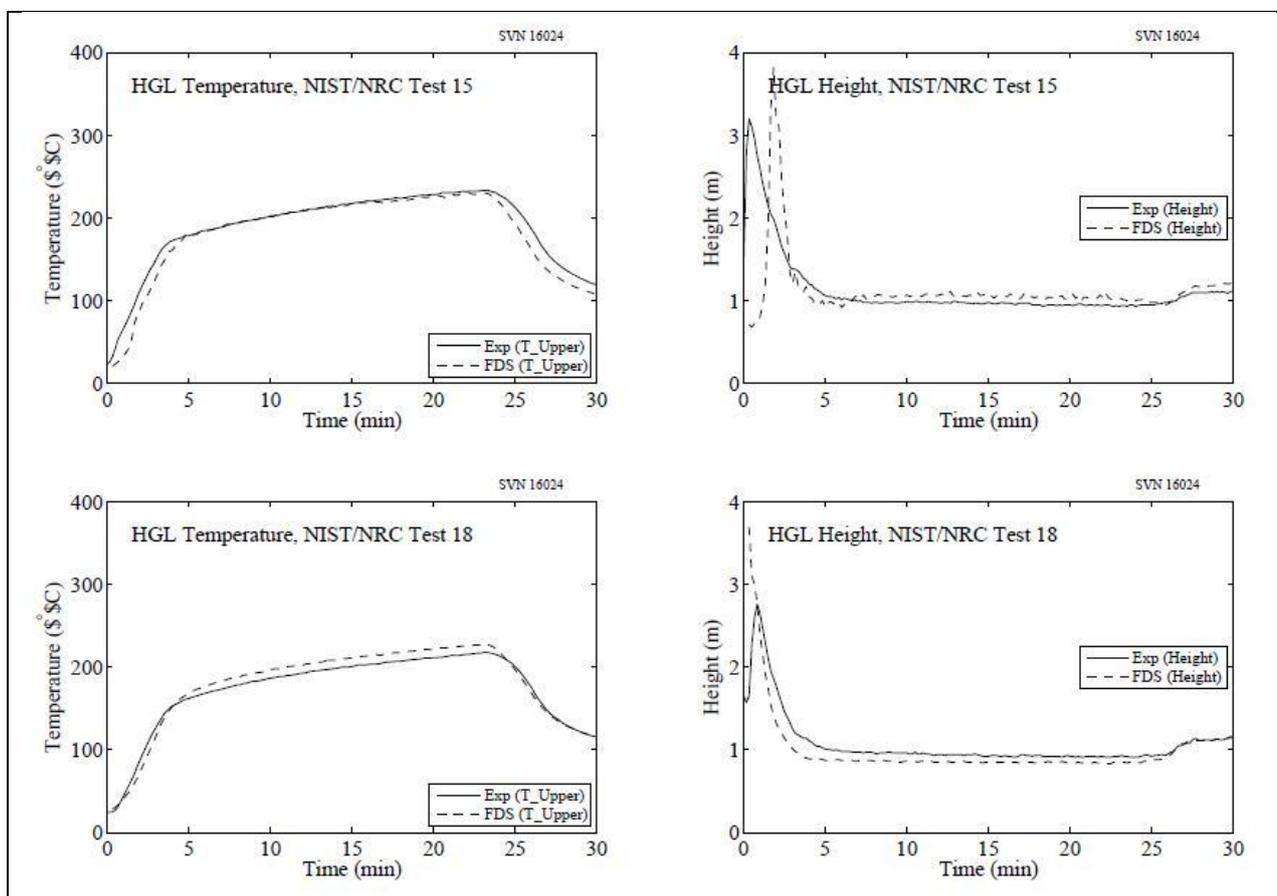
- 8.6.1.1. Во время испытаний 4, 5, 10 и 16 вентилятор нагонял воздух в помещение через отверстие в стене с южной стороны. Измеренные данные скорости вентилятора были неоднородными, основная часть воздушного потока из нижнего отверстия была направлена на потолок под углом приблизительно 45 градусов. Точное направление потока трудно воспроизвести в модели, следовательно, результаты испытаний 4, 5, 10 и 16 должны оцениваться с учетом этого факта. Воздействие вентилятора на слой горячего газа незначительно, однако он воздействует в некоторой степени на целевые температуры рядом с вентиляционным отверстием.
- 8.6.1.2. Во всех испытаниях с вентилятором прогнозируемая высота дымового слоя увеличивалась после тушения пожара, а измеренное значение дымового слоя снижалось. Это представляет собой любопытный артефакт алгоритма сокращения слоя. Он не входит в расчет относительной разности.
- 8.6.1.3. В испытаниях с закрытой дверью слой горячего газа опустился до самого пола. Однако метод сокращения, используемый как с измеренными, так и с прогнозируемыми температурами, не учитывает формирования единого слоя, и, следовательно, не указывает на то, что слой опускается до самого пола. Это не является недостатком измерений или программы, а скорее ошибкой в методе сокращения слоя.
- 8.6.1.4. Метод сокращений дымового слоя дает ложные результаты в течение первых нескольких минут каждого испытания, поскольку четкий слой еще не был сформирован. Эти ранние примеры не включены в относительный расчет разностей.





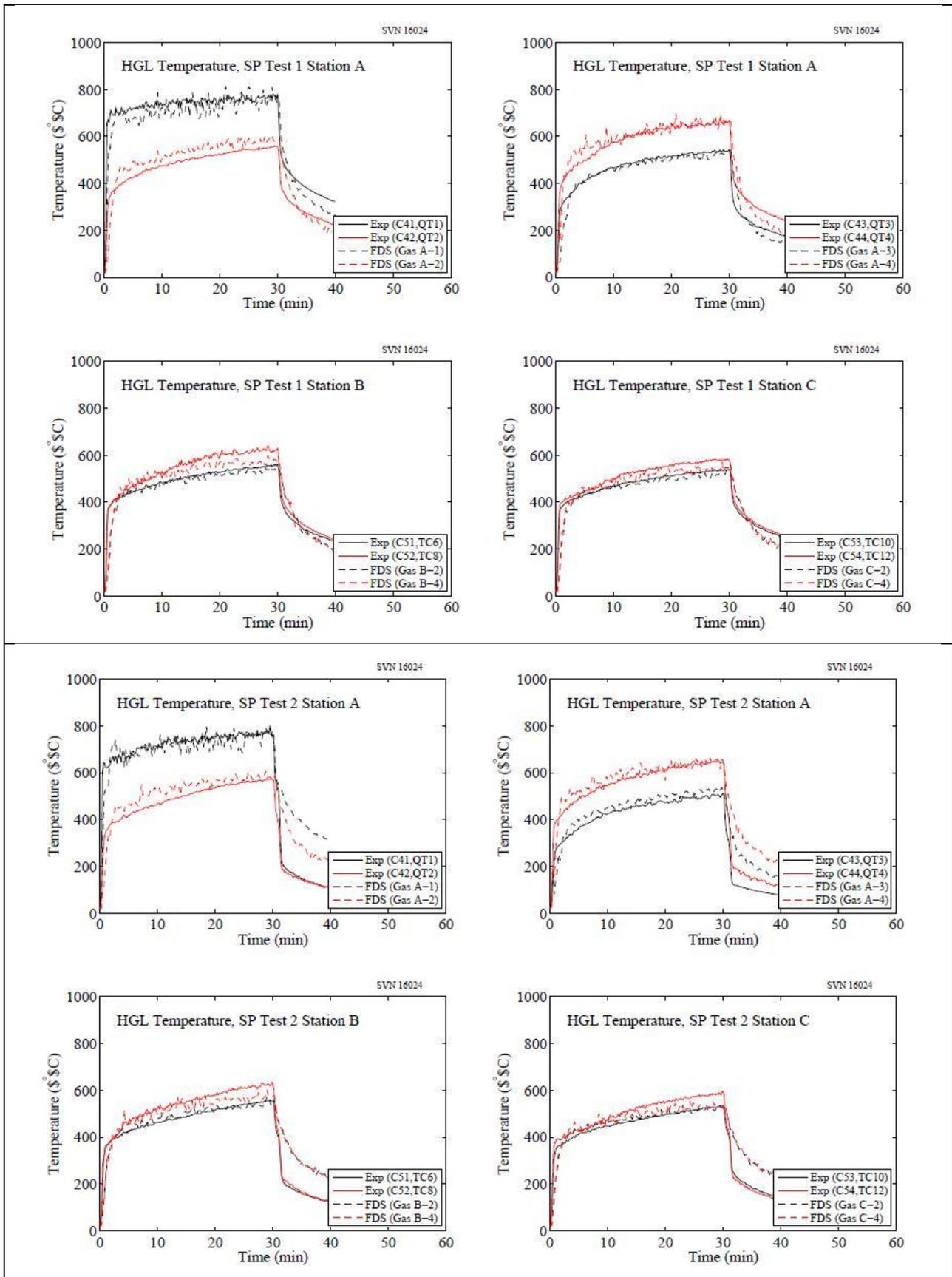
8.6.2. Ниже приведены испытания с открытой дверью

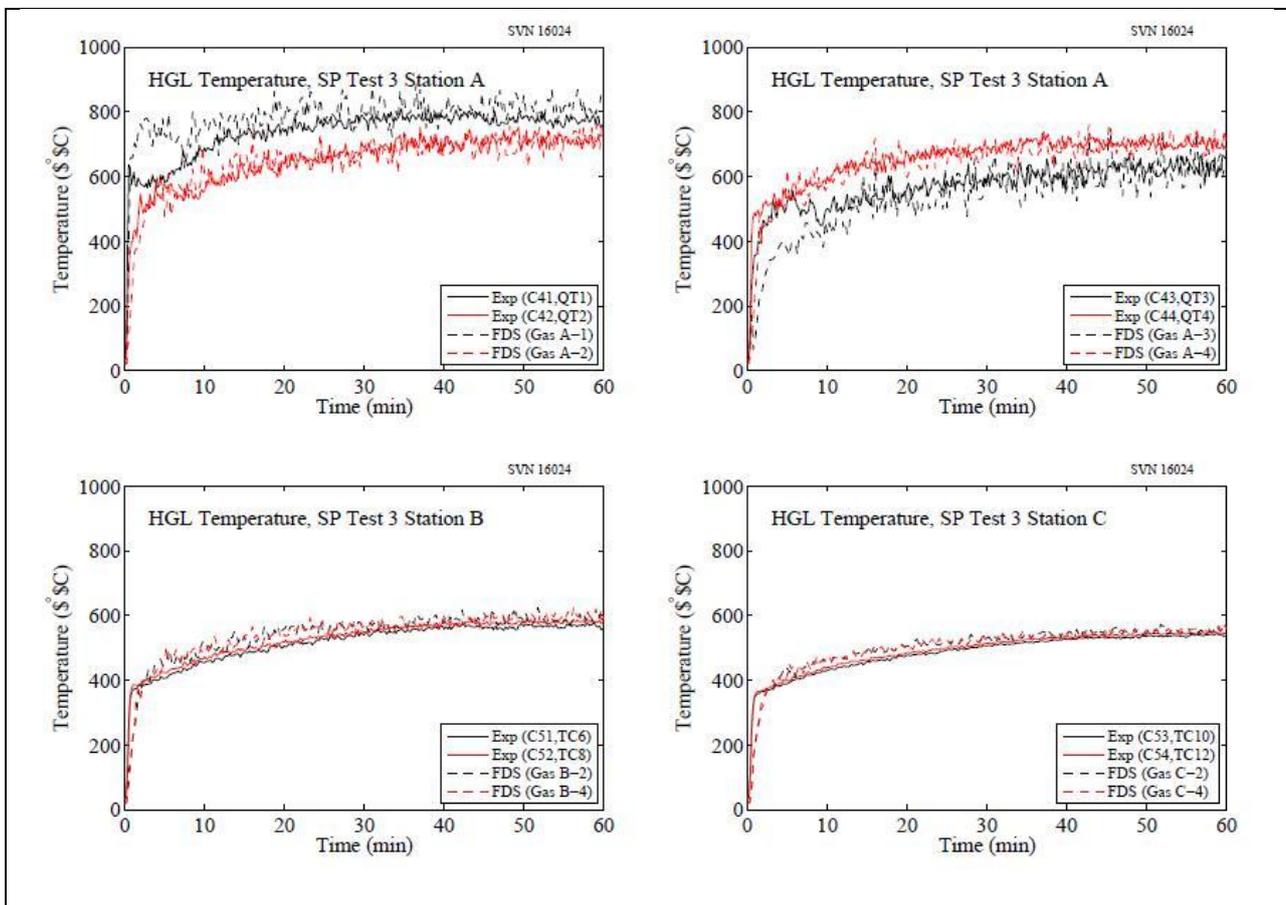




8.7. Испытания SP с адиабатическими поверхностными температурами

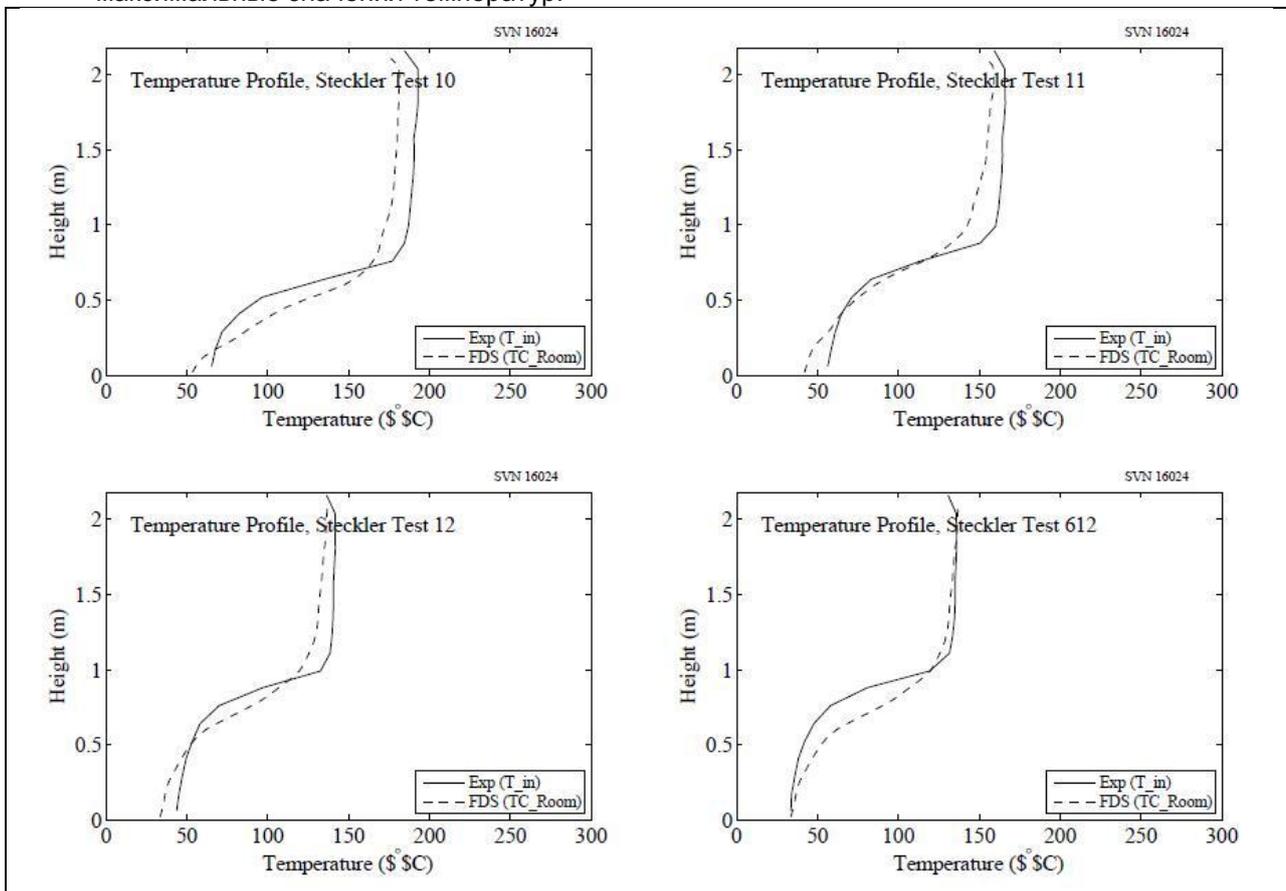
8.7.1. Три испытания были проведены в стандартном помещении, 3,6 м в длину и 2,4 м в ширину и высотой 2,4 м, с дверью 0,8 м в ширину и 2,0 м в высоту, расположенной по центру узкой стены. В каждом испытании использовалась горелка с пропаном с постоянной мощностью 450 кВт и одна балка подвешенная на расстоянии 20 см от потолка вдоль центральной части помещения. Было установлено три измерительных станции вдоль балки на отметках 0,9 м (Положение А), 1,8 м (Положение В) и 2,7 м (Положение С) от дальней стены, где пожар либо находился в углу (испытания 1 и 2), либо в центре (испытание 3). Подробности могут быть найдены в отчете по испытаниям [166]. Температуры газов, указанные здесь, были измерены в 4 позициях вокруг балки в Положении А, и в 2 позициях в Положениях В и С.

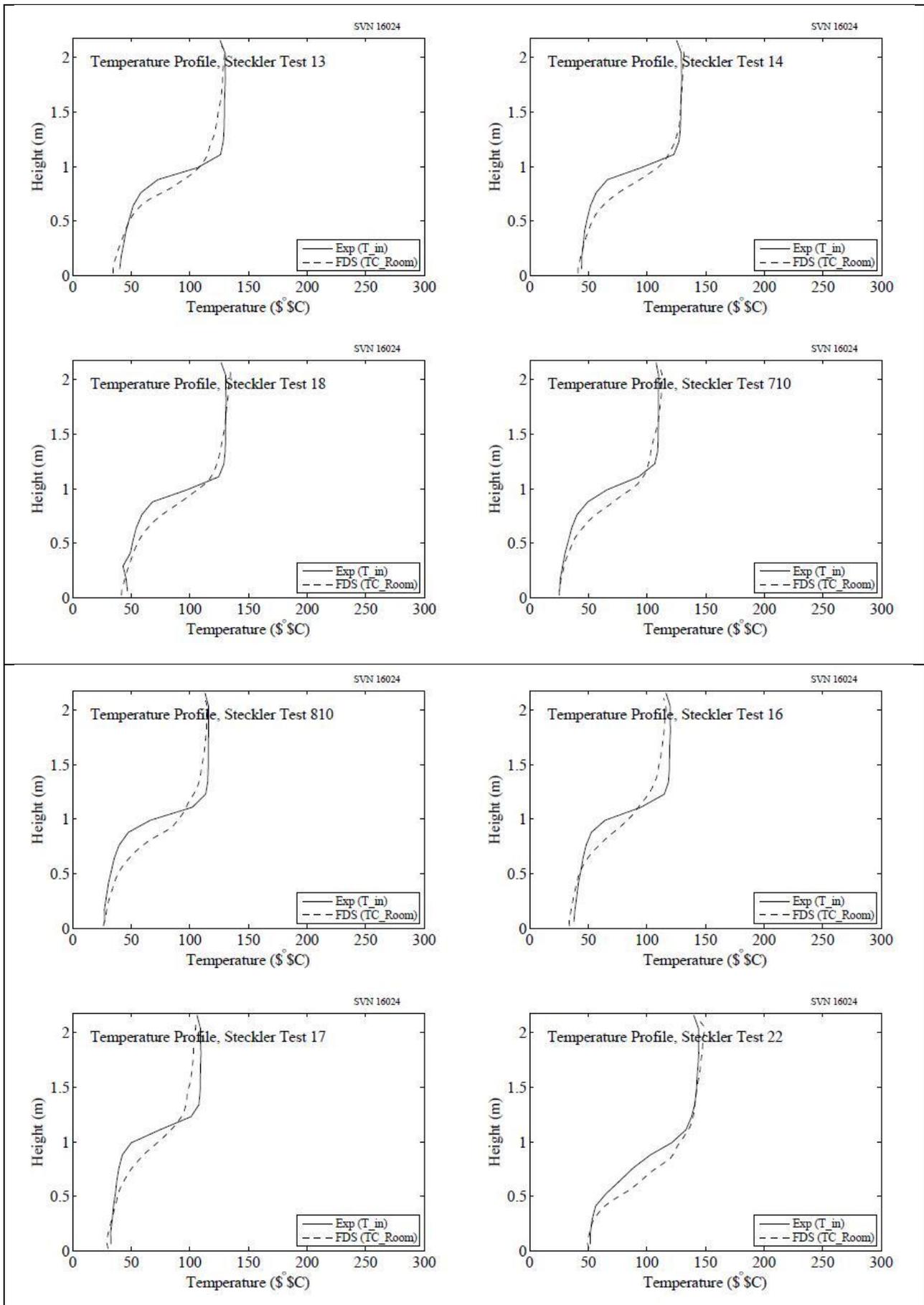


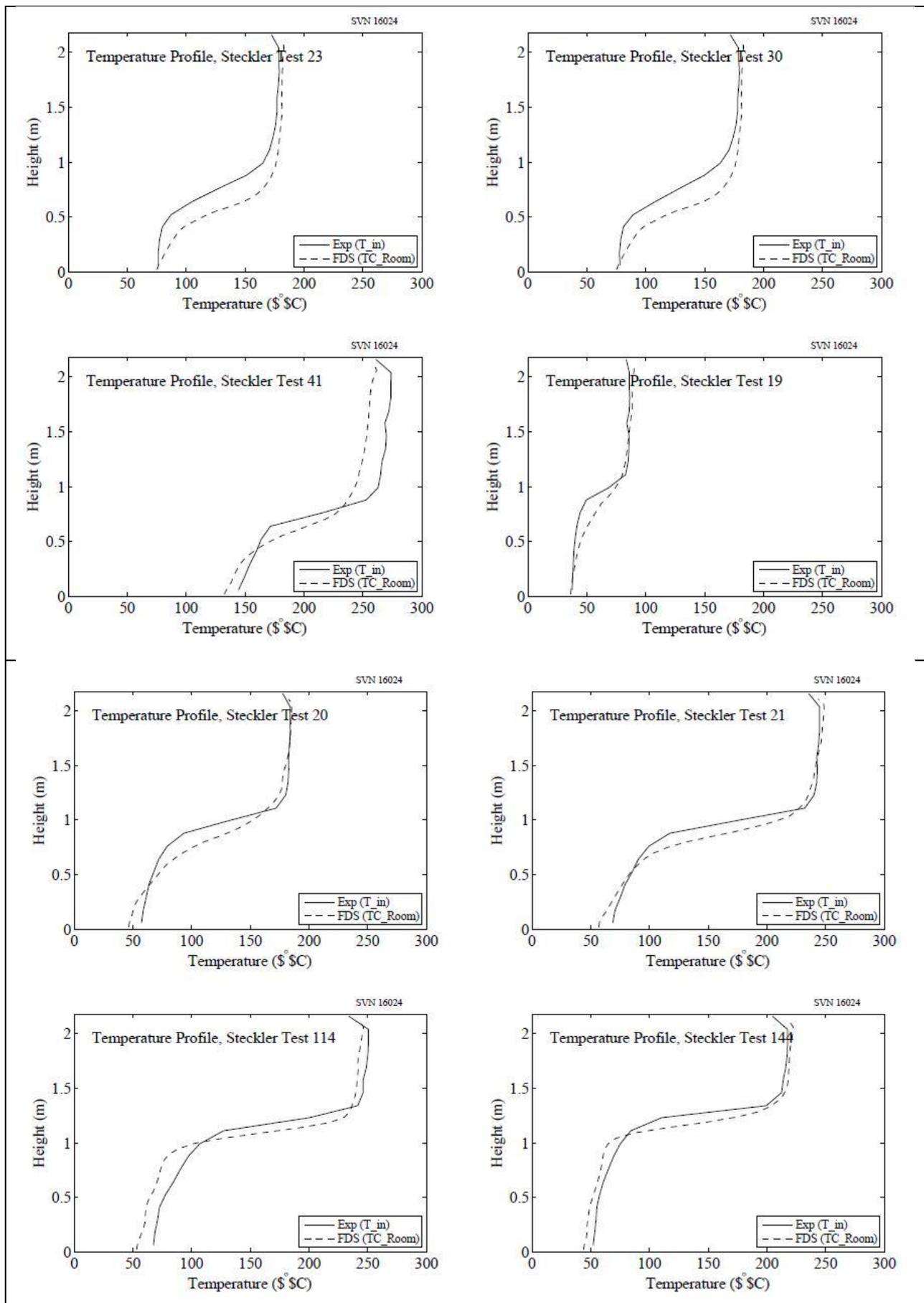


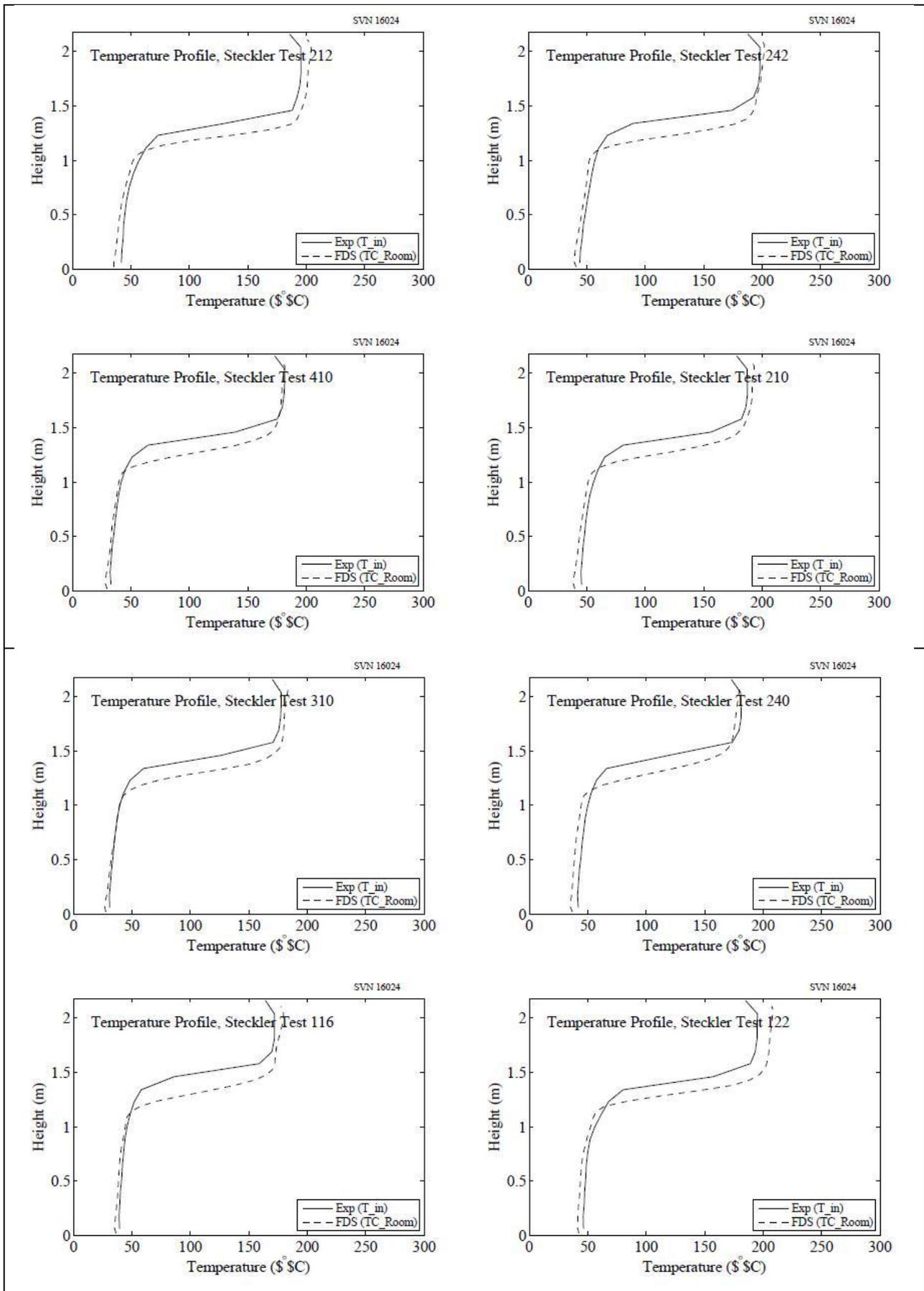
8.8. Испытания Стеклера в помещениях

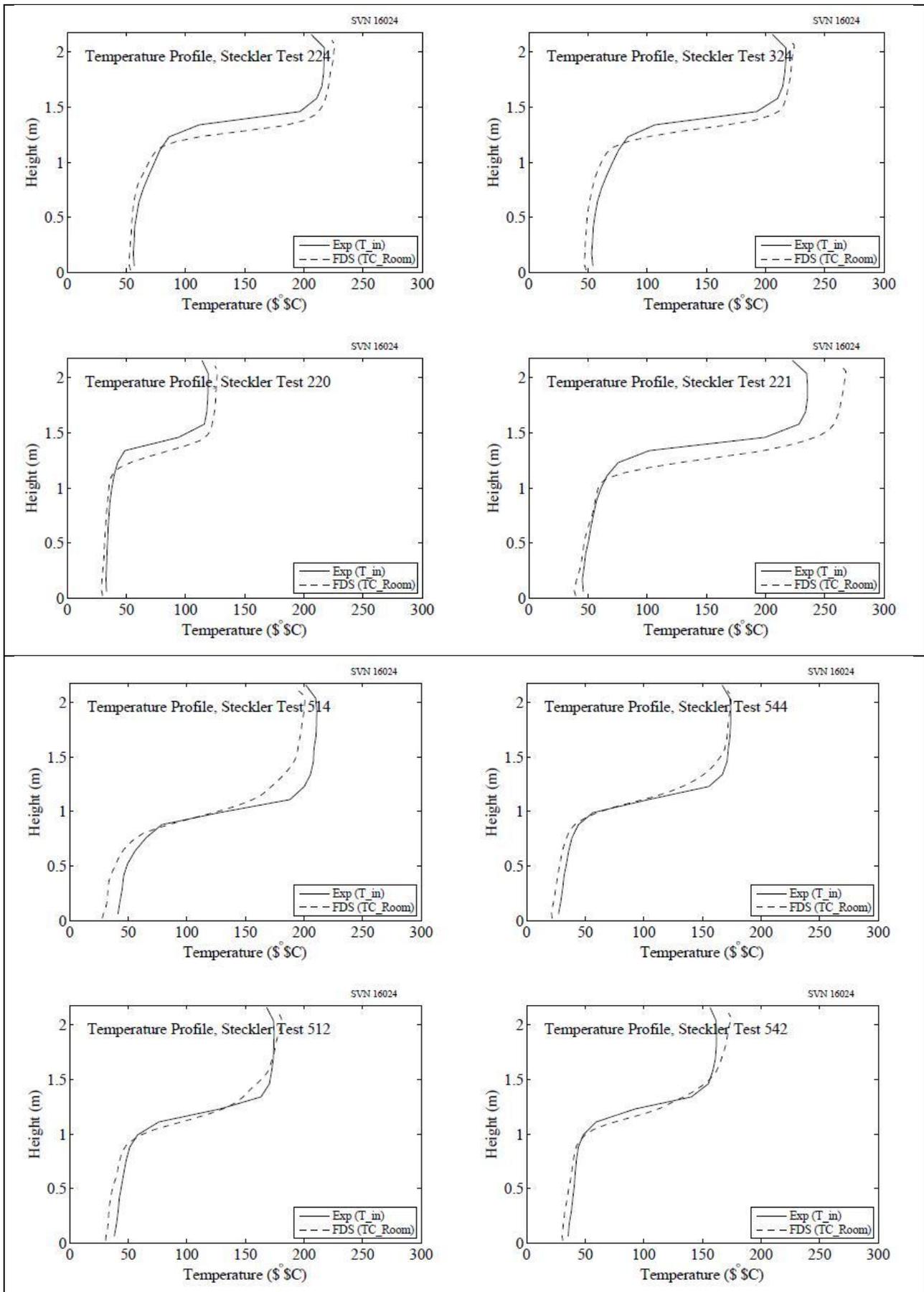
8.8.1. Стеклер и др. [168] изобразили потоки в дверном / оконном проемах в 55 пожарных испытаниях в помещениях. Матрица испытаний представлена в Таблице 3.4. На следующих страницах показаны графики температур внутри помещения в сравнении с прогнозами модели. Для количественной оценки различий между прогнозируемыми и измеренными данными были сопоставлены максимальные значения температур.

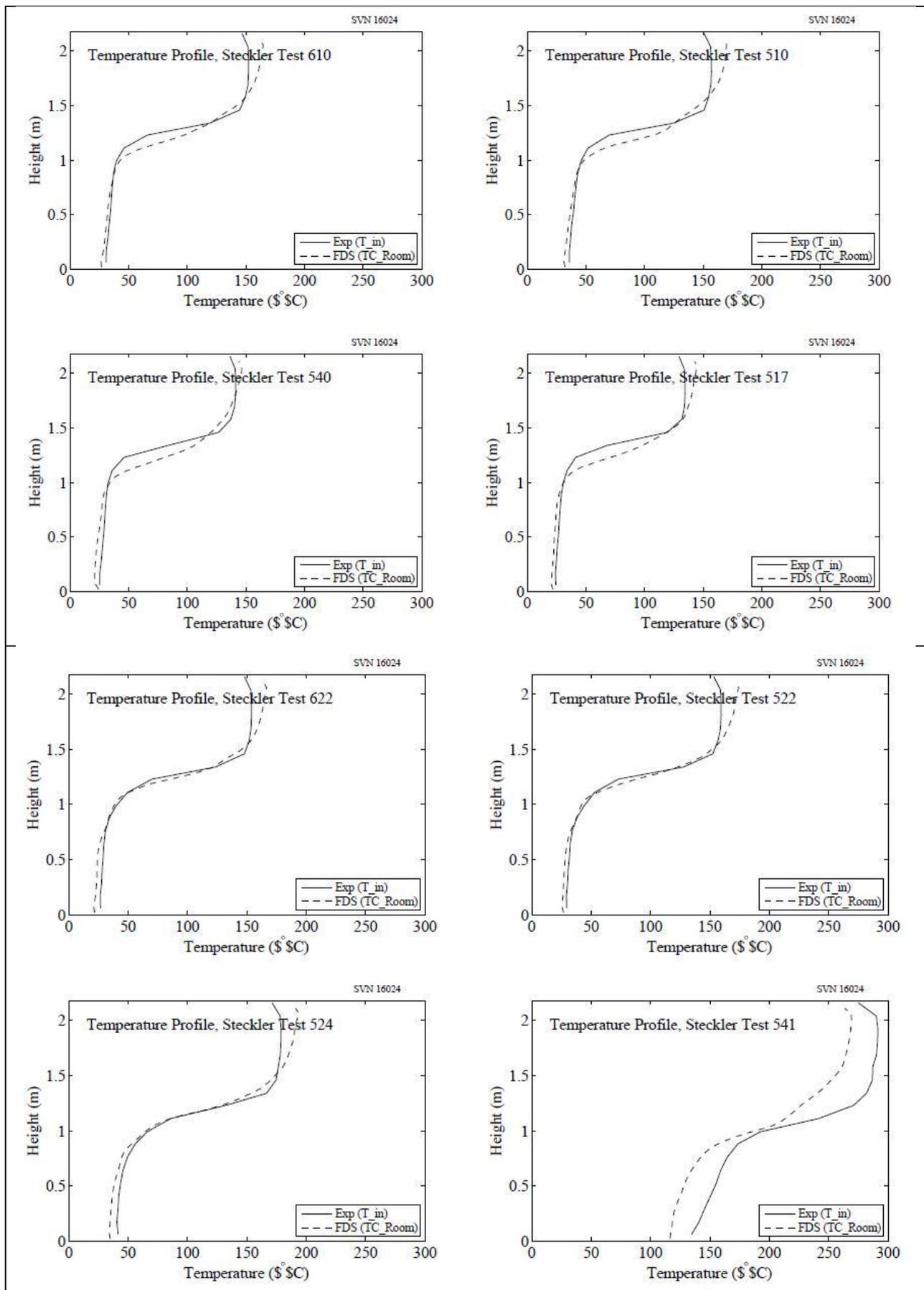


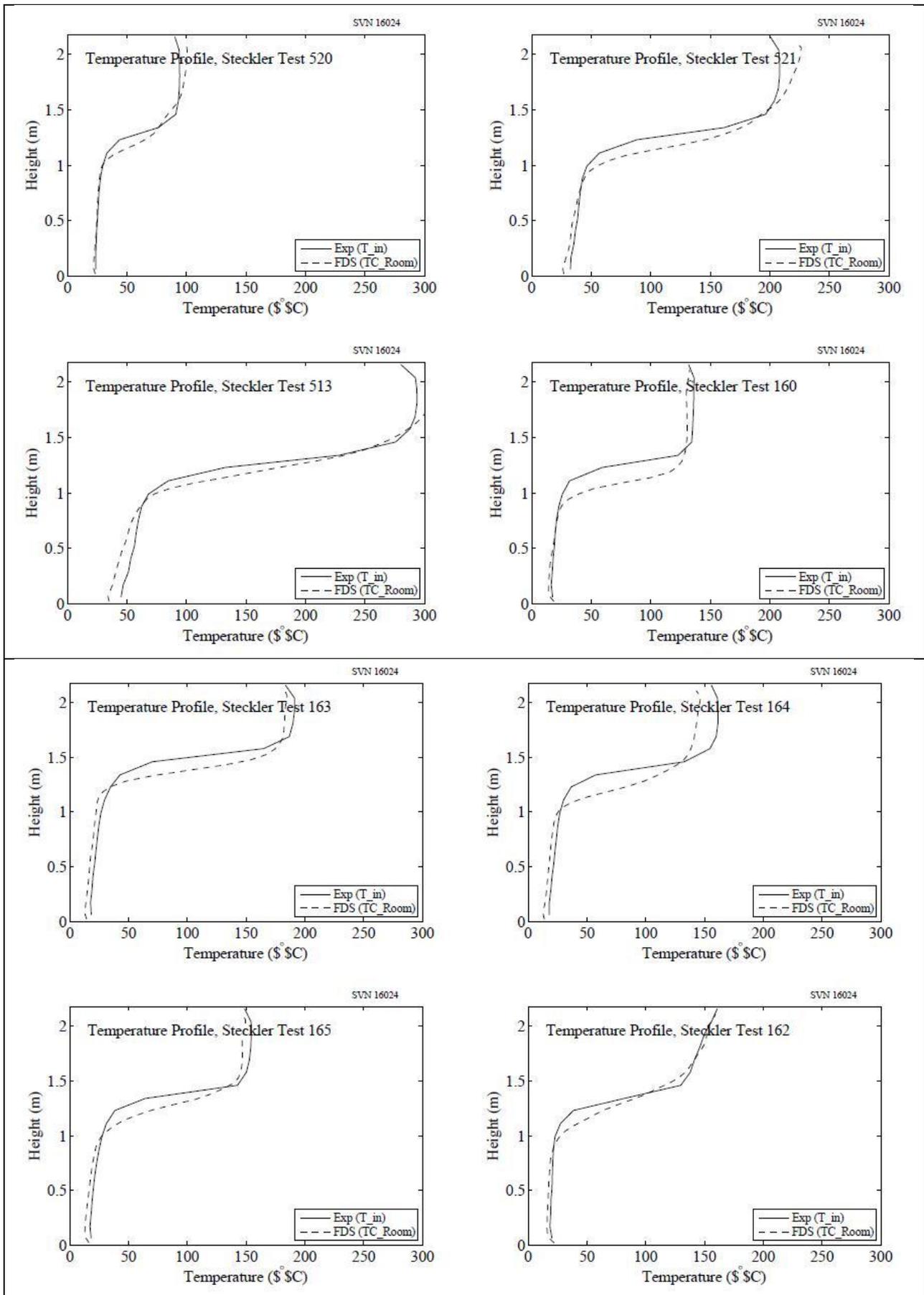


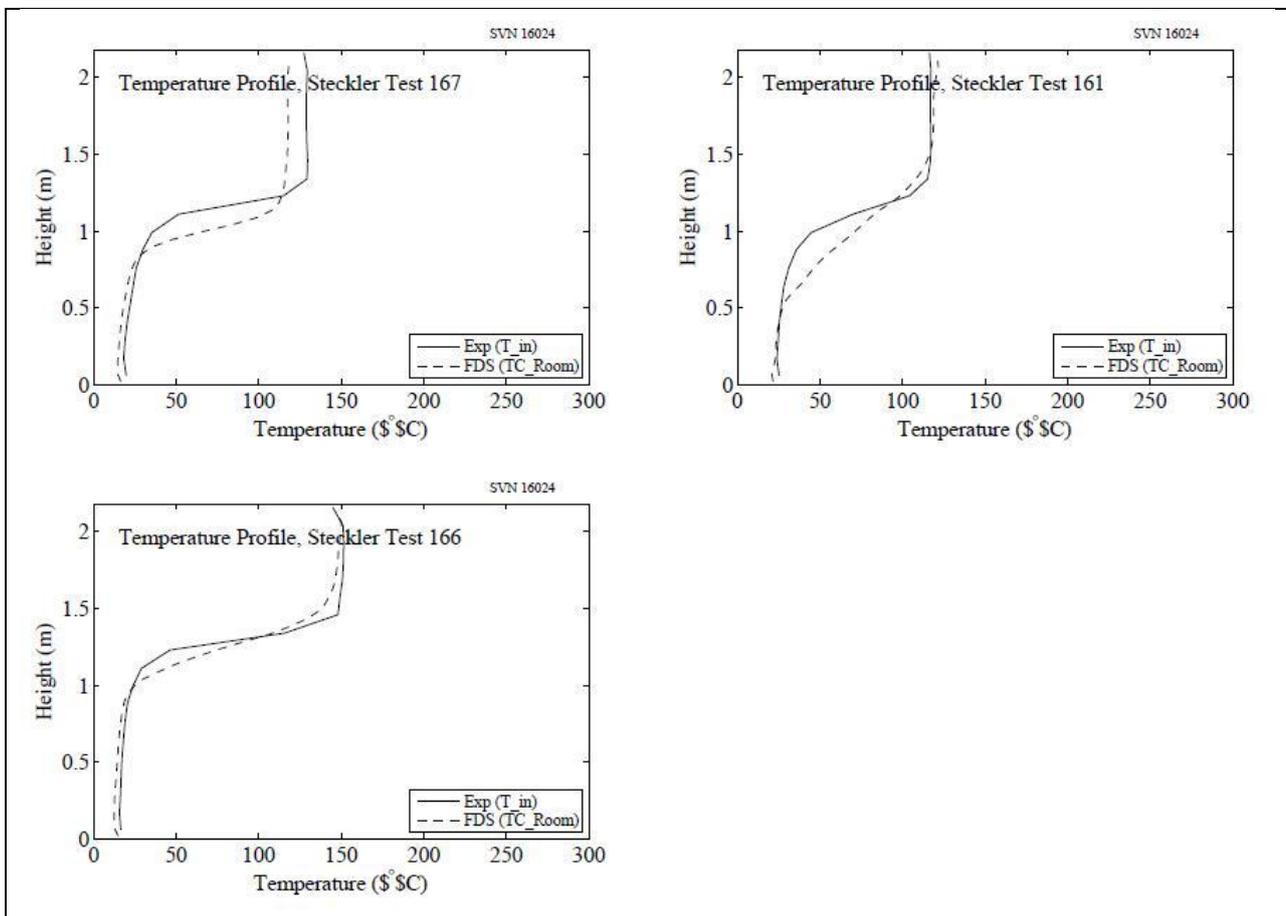






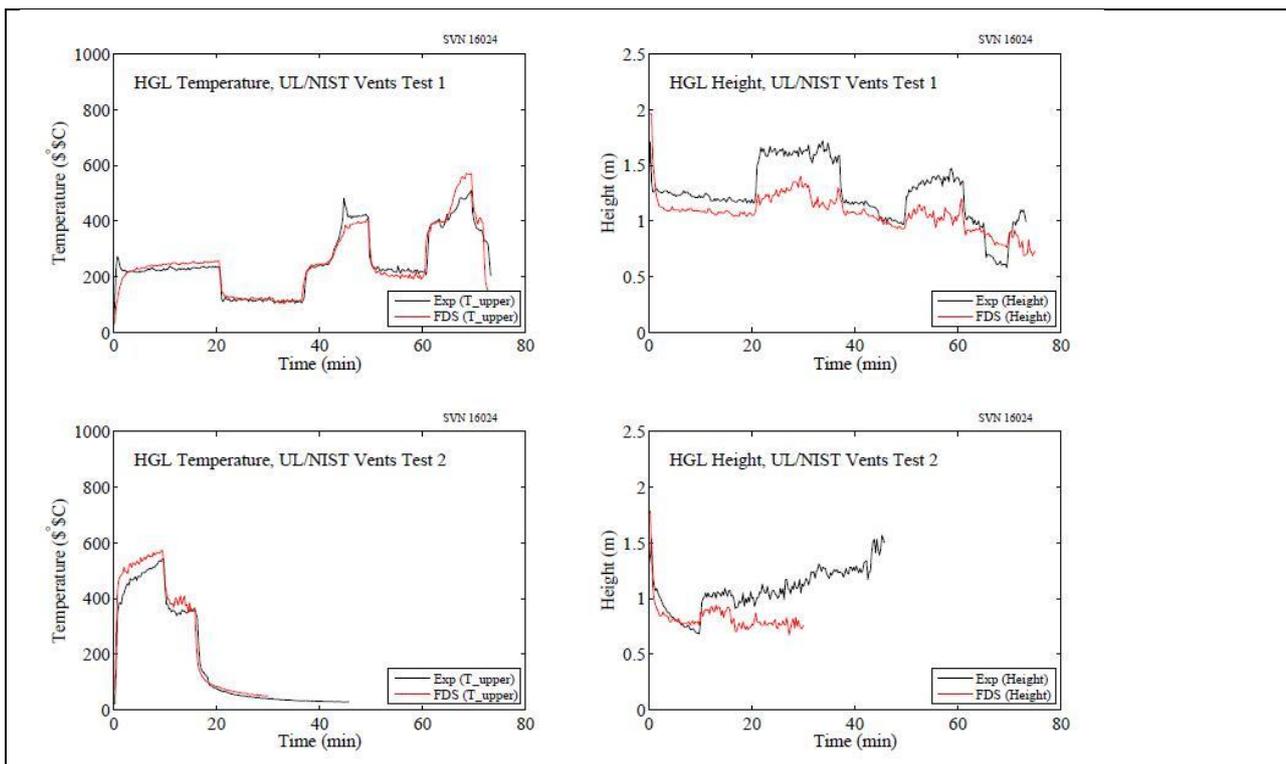


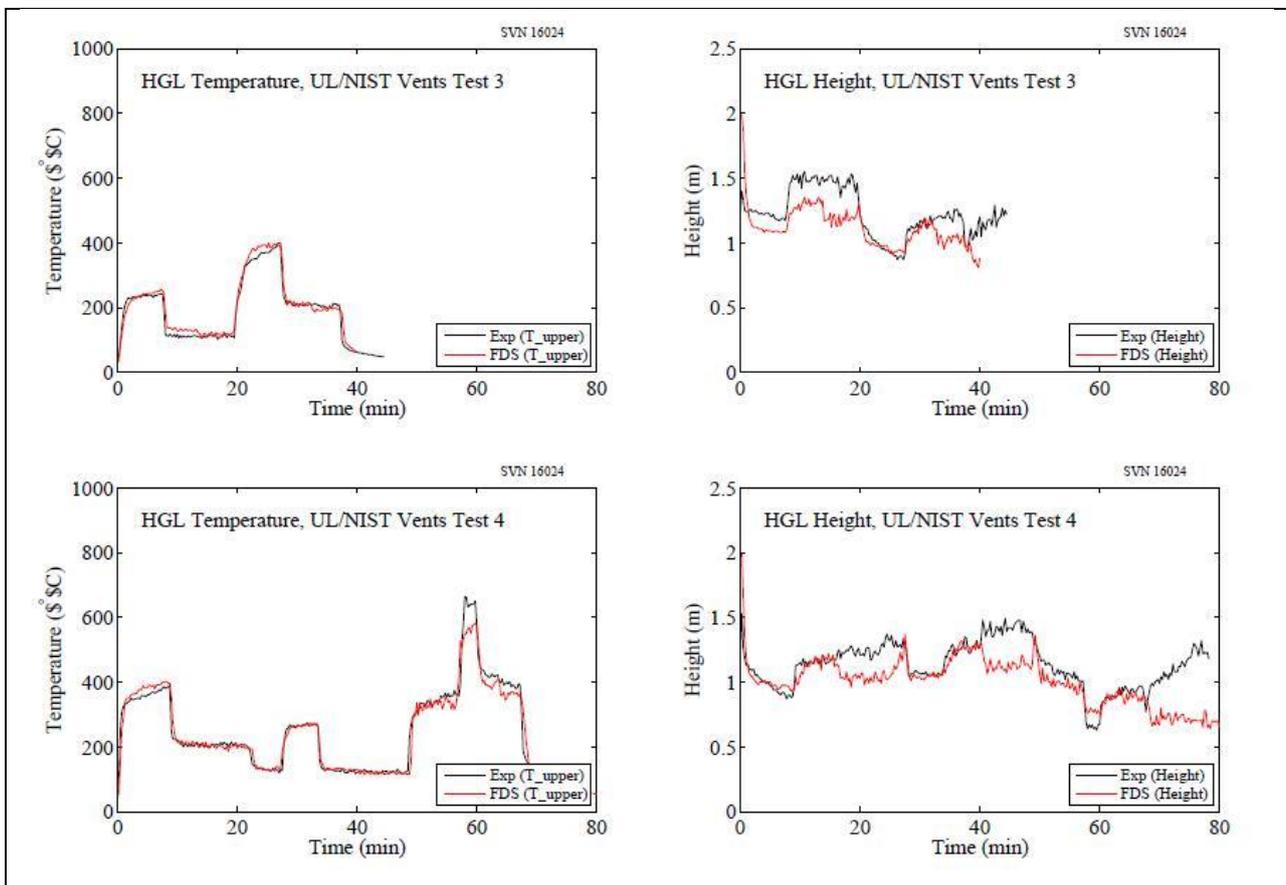




8.9. Испытания UL/NIST с вентиляционными отверстиями

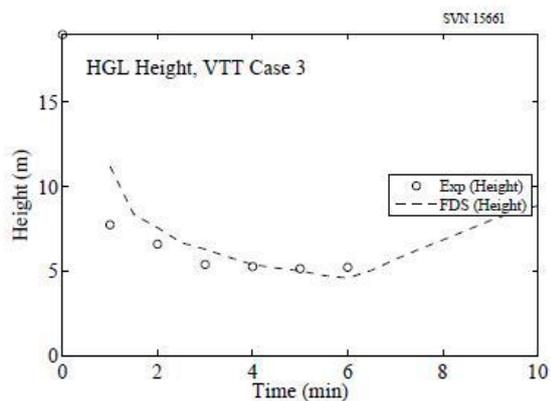
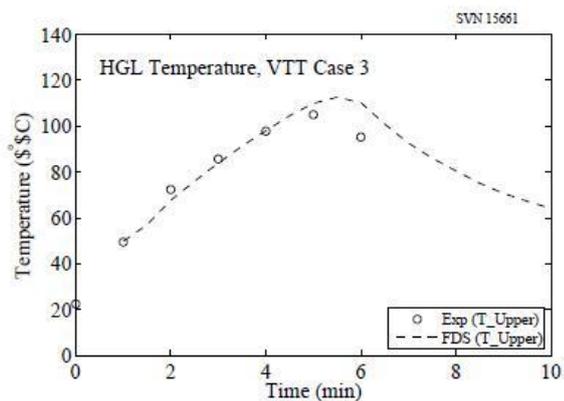
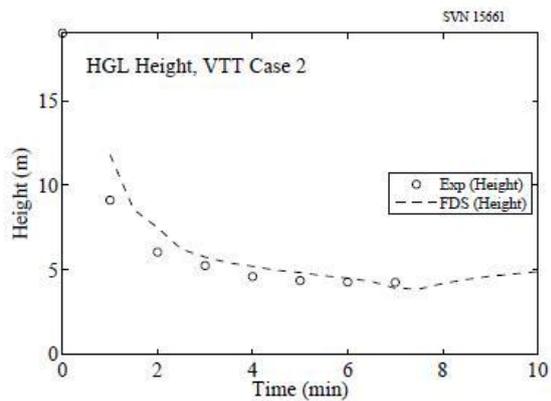
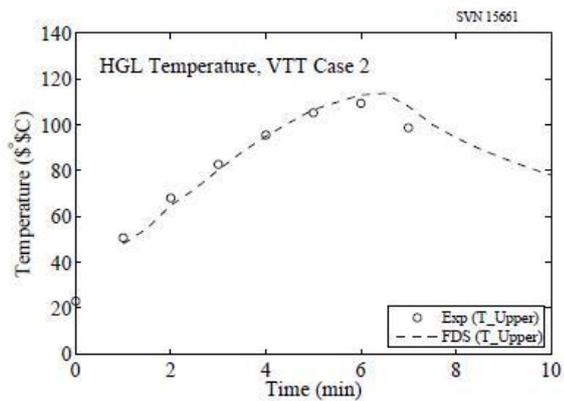
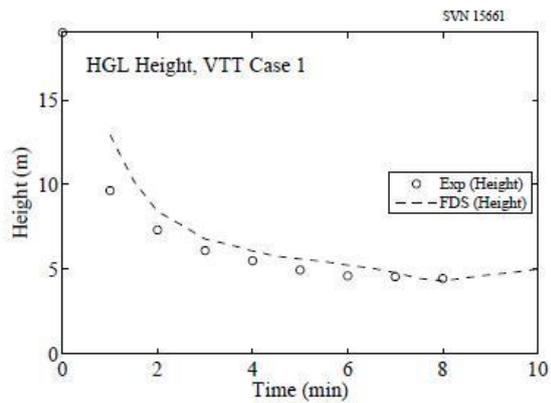
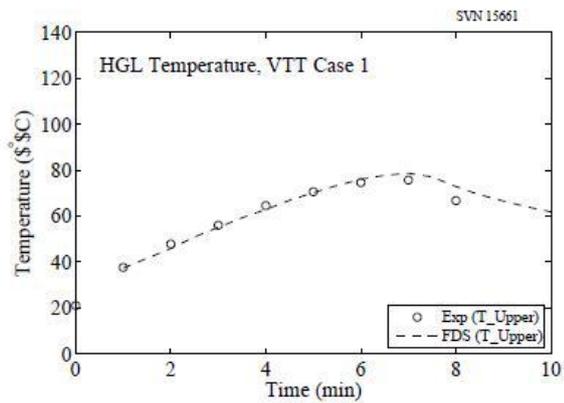
8.9.1. Температура и высота дымового слоя для четырех испытаний была рассчитана на основе двух вертикально расположенных групп термомпар по восемь термомпар в каждой. Группы были расположены по центру длинной центральной оси помещения и на расстоянии 90 см от каждой короткой стены. Двойное вентиляционное отверстие размером 2,4 м на 1,2 м находилось на расстоянии 90 см от каждой группы термомпар. Самая верхняя термомпара находилась на расстоянии 2,5 см от потолка. Следующая термомпара находилась на 30 см (1 фут) ниже потолка, а остальные равномерно распределялись с интервалом в 1 фут.





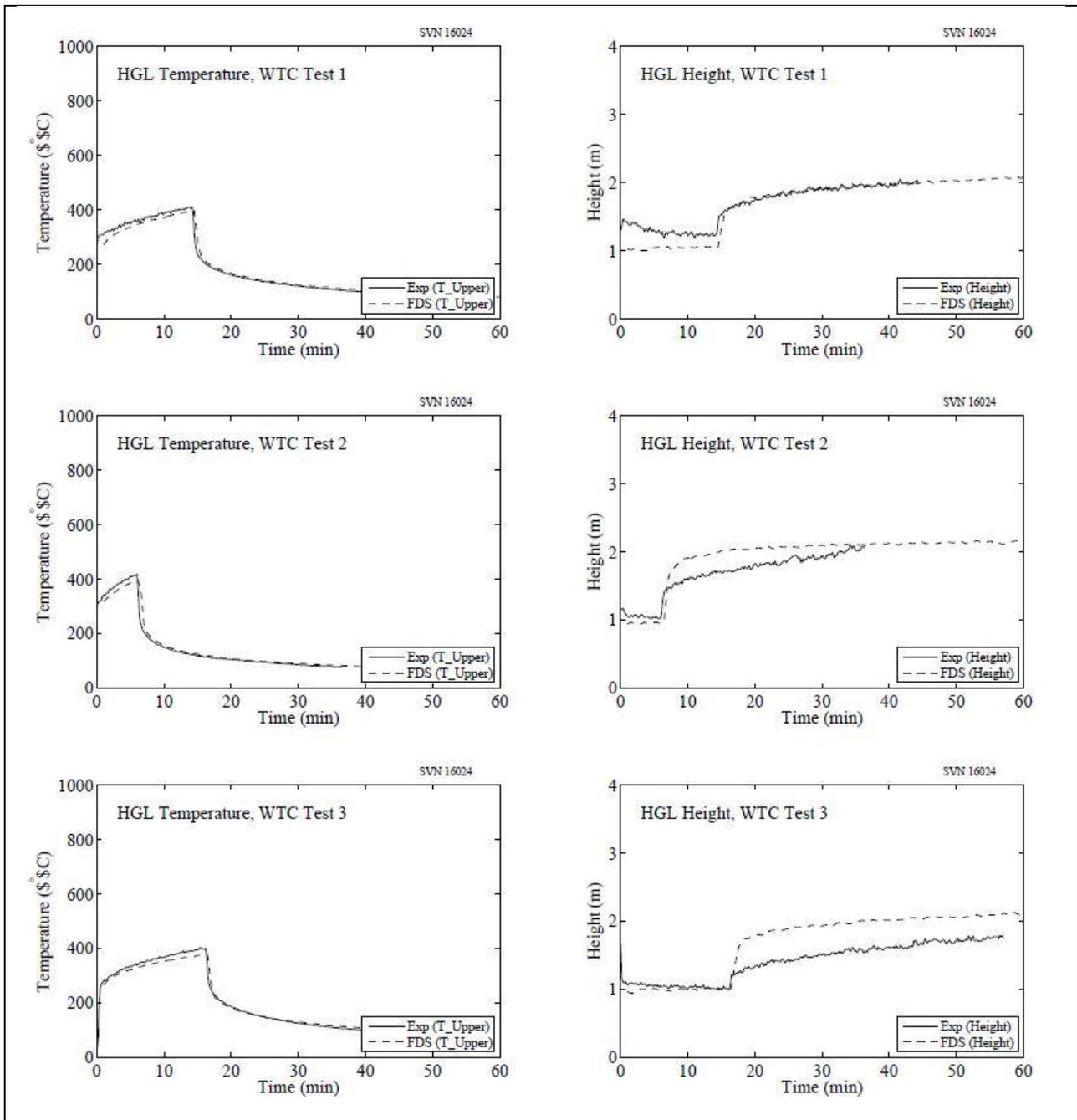
8.10. Серия испытаний VTT

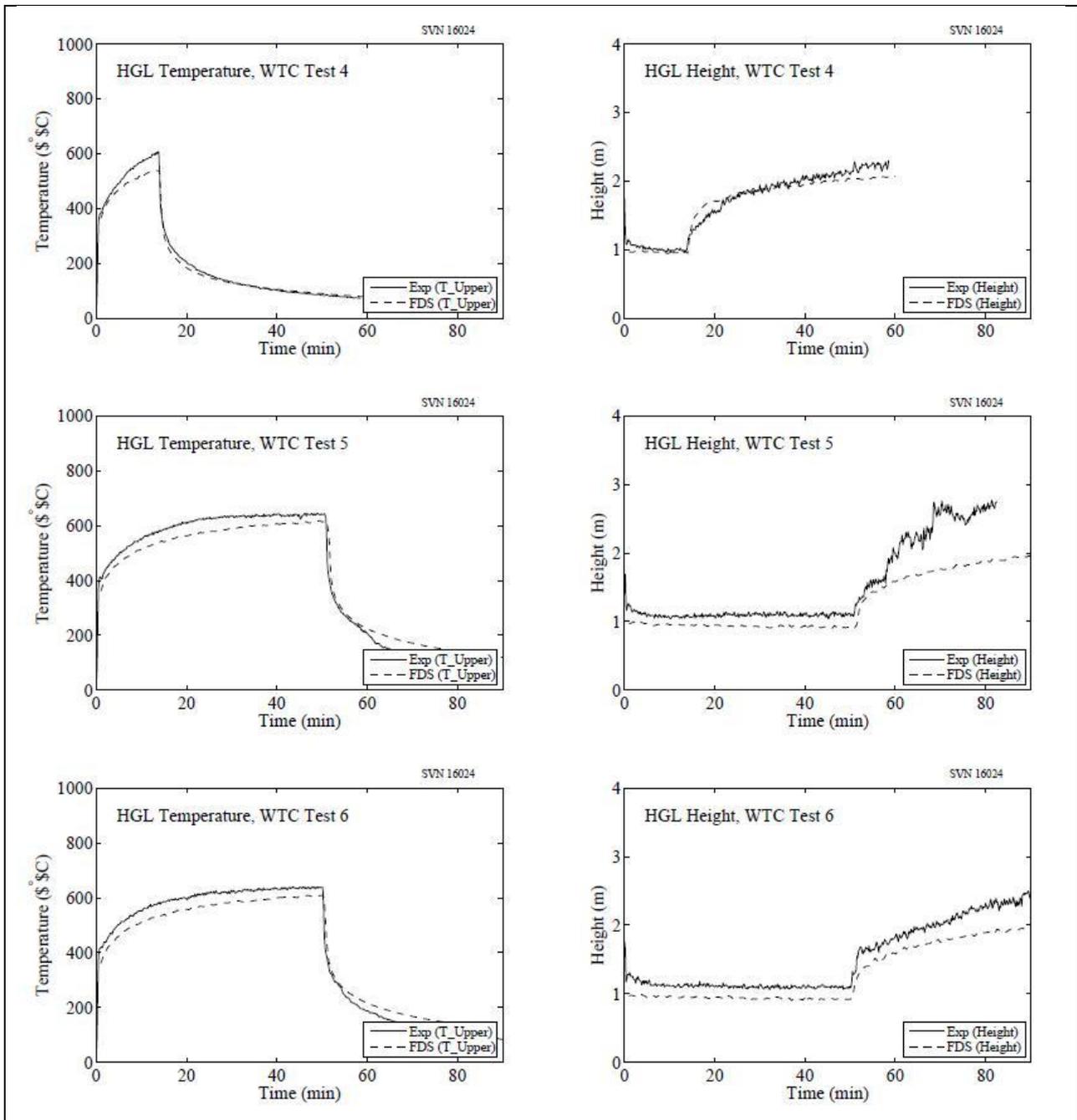
8.10.1. Температура и высота дымового слоя вычисляются исходя из (1 мин) средних температур газа из трех вертикальных групп термомпар с помощью стандартного метода сокращения. Используются 10 термомпар в каждой вертикальной группе, расположенные на расстоянии 2 м друг от друга в нижних двух третях зала и на расстоянии 1 м ближе к потолку.



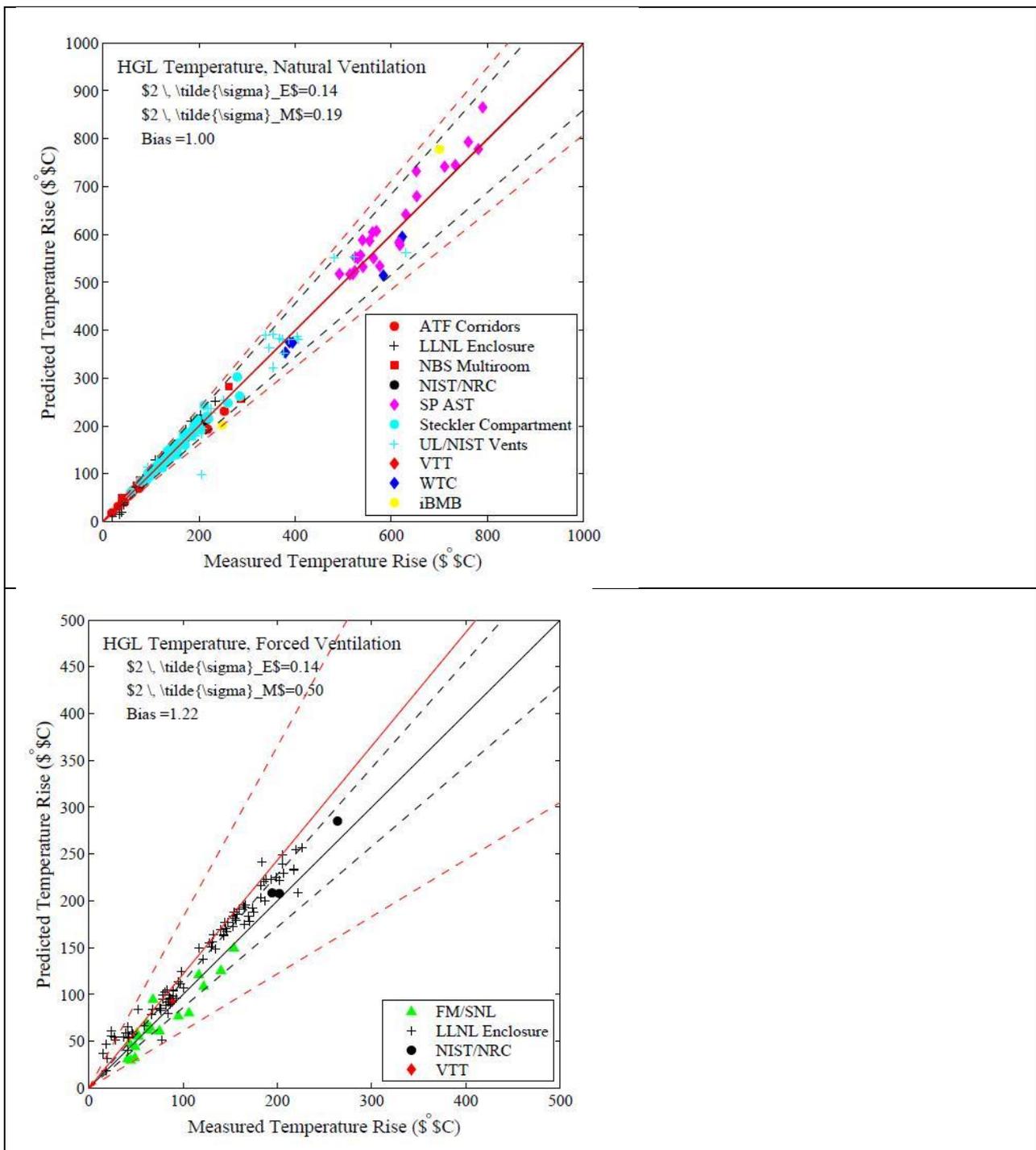
8.11. Серия испытаний WTC

8.11.1. Температура и высота дымового слоя для испытаний WTC были рассчитаны исходя из данных двух деревьев термопар, одного, расположенного на расстоянии около 3 м на запад и другого на расстоянии 2 м к востоку от источника пожара (см. рис. 3.17). Каждое дерево состояло из 15 термопар, самая высокая точка находилась на расстоянии 5 см от потолка.

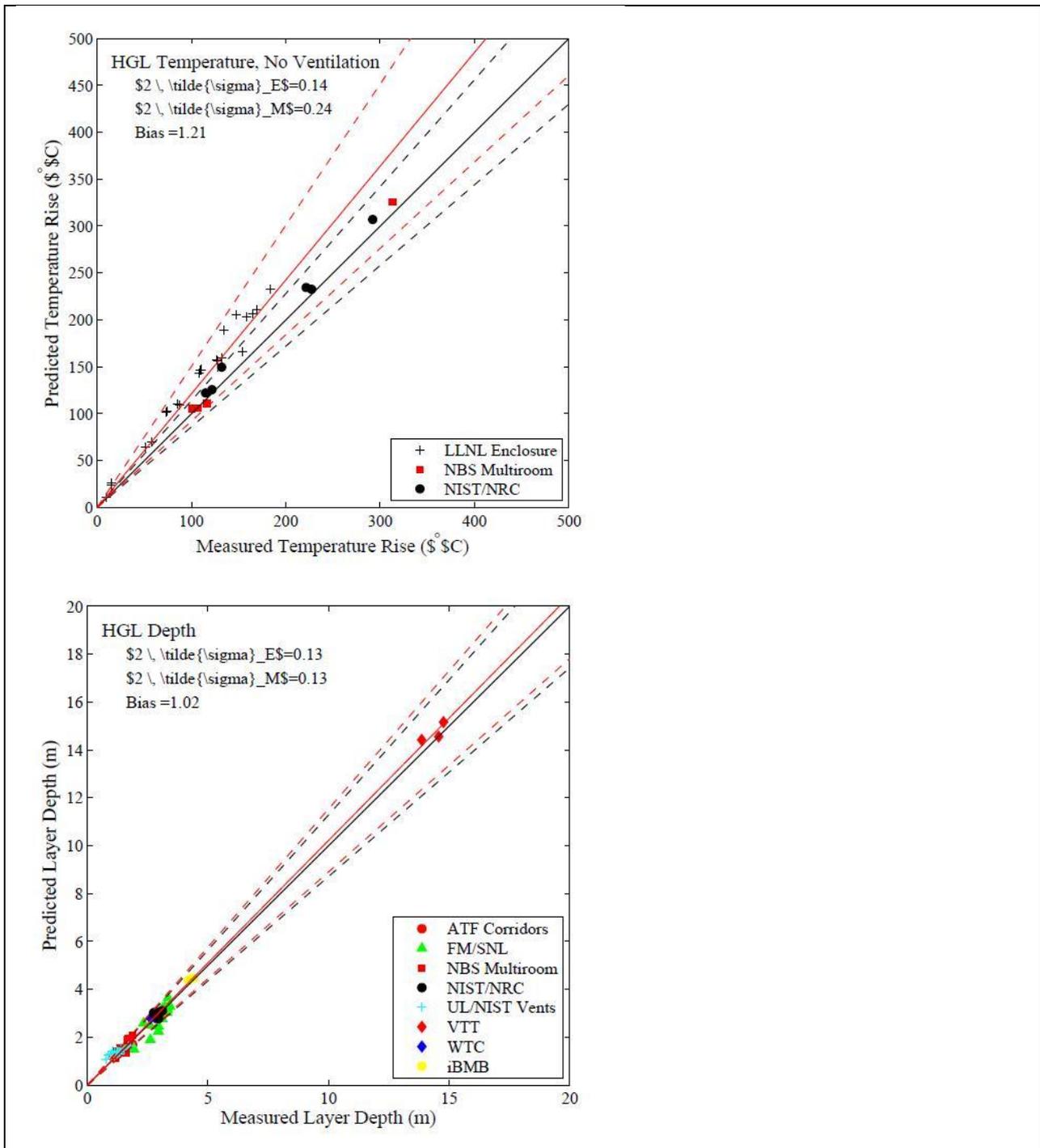




8.12. Обзор температуры и высоты слоя горячего газа



8.12.1. Рис. 5.1: Обзор температурных прогнозов дымового слоя для естественной и принудительной вентиляции.



8.12.2. Рис. 5.2: Обзор температуры дымового слоя (без случаев вентиляции) и прогнозируемые значения глубины.

9. ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ – ЗОНА ПЛАМЕНИ

9.1.1. В струях пламени мера того, насколько разрешается поле потока определяется с помощью безразмерного уравнения $D^* = \delta x$, где D^* – характеристический диаметр пожара (6.1)

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{p_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (6.1)$$

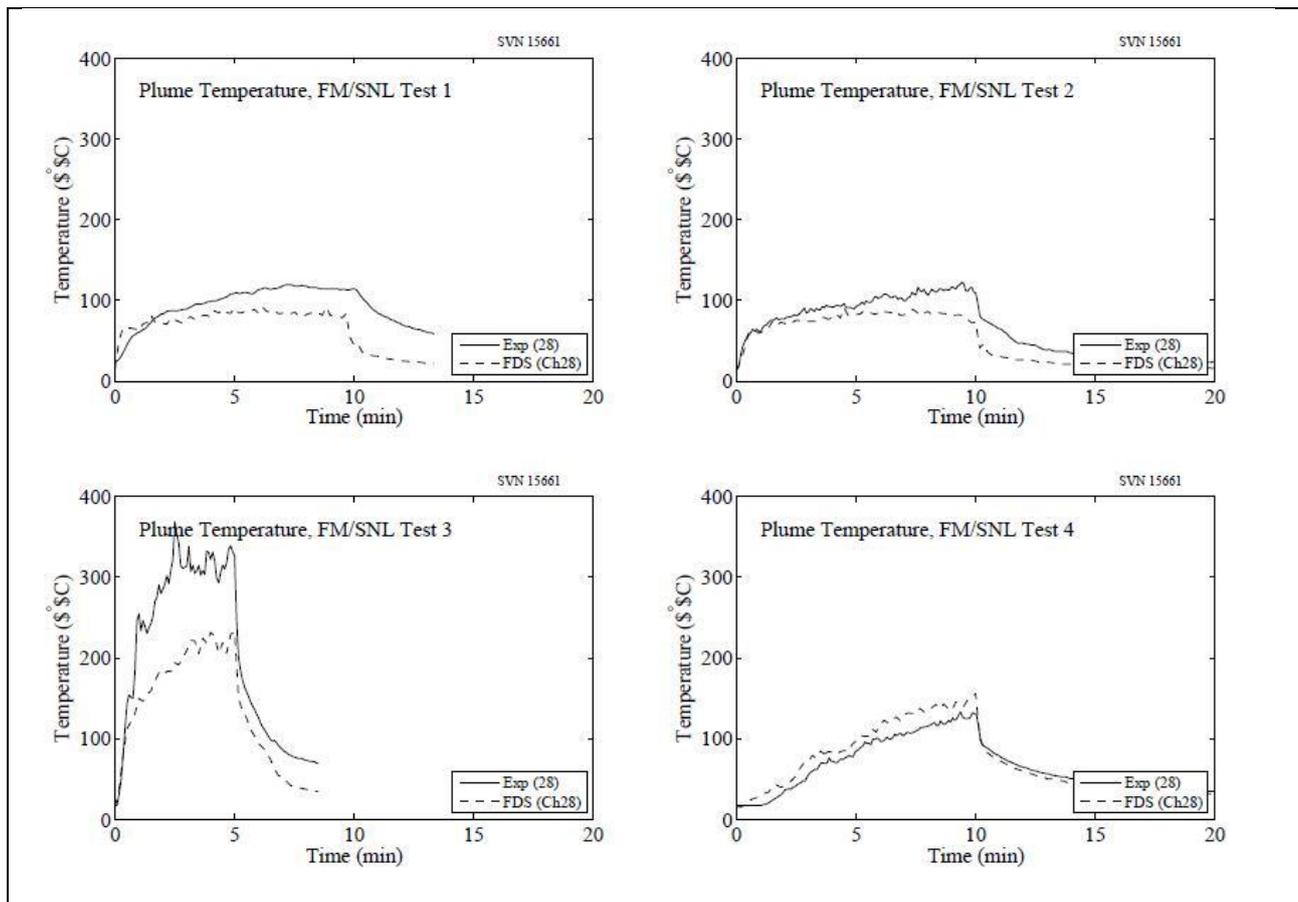
9.1.2. а δx – номинальный размер сетки ячеек¹. Величина может рассматриваться как число вычислительных ячеек, охватывающих характеристический (не обязательно физический) диаметр пожара. Чем больше ячеек охватывает пожар, тем лучше разрешение расчета. Лучше оценивать качество сетки с точки зрения этого безразмерного параметра, чем с точки зрения абсолютного размера сетки ячеек. Например, размер ячейки 10 см может быть "адекватным", в некотором

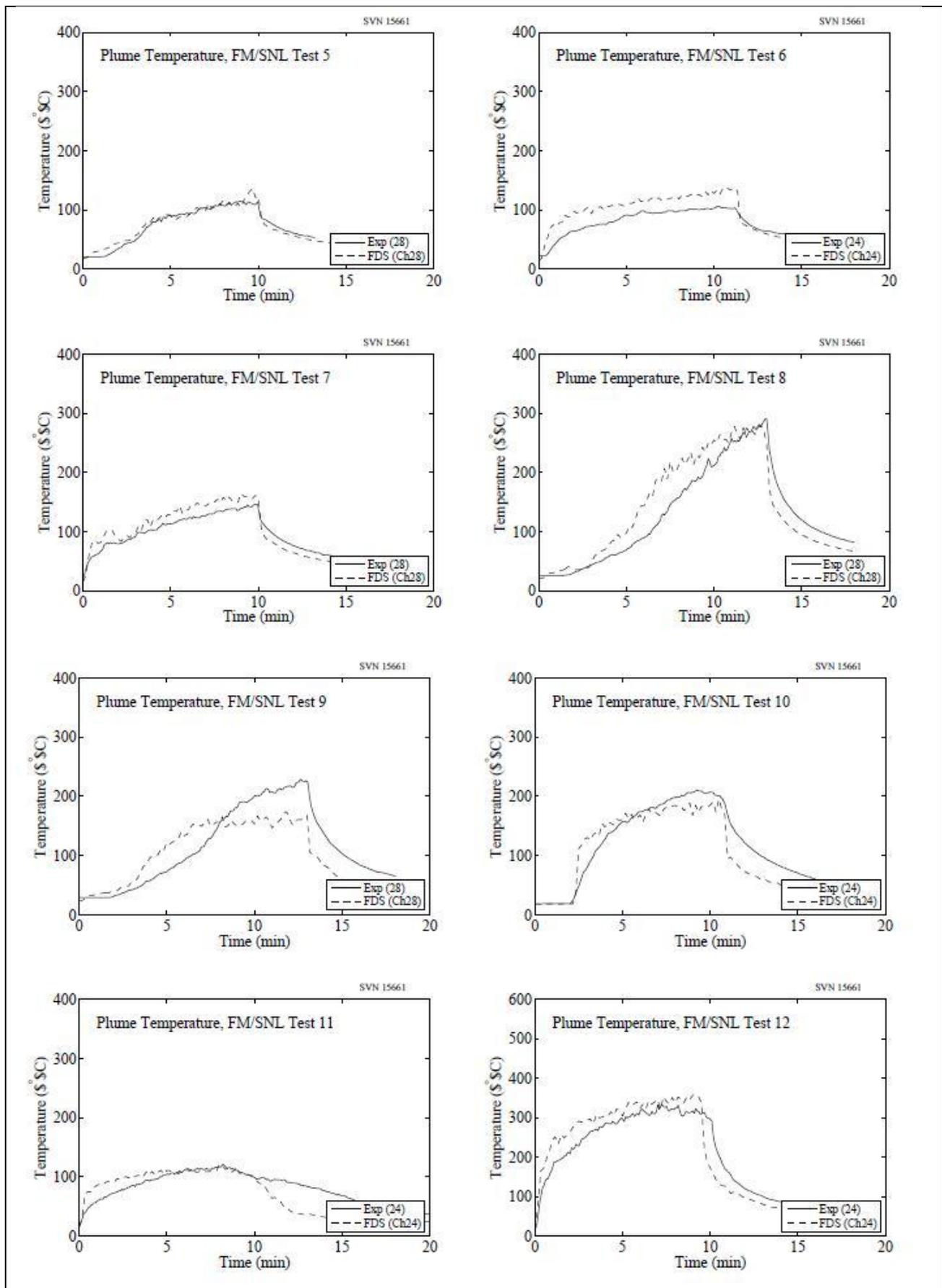
смысле, для оценки распространение дыма и тепла через здание от значительного пожара, но может не подходить для изучения очень мало, тлеющий источник.

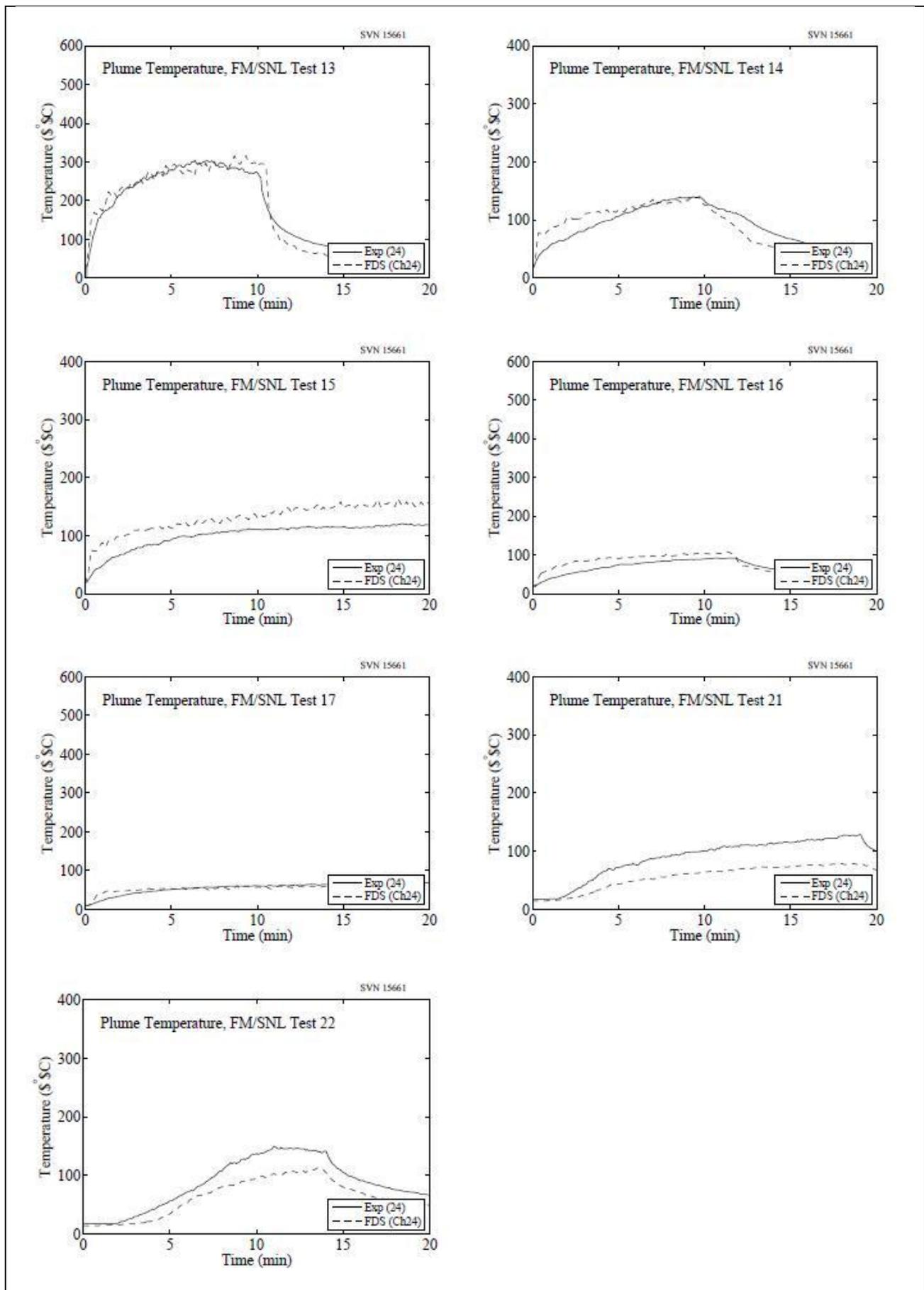
9.1.3. Характеристический диаметр пожара связан с характеристическим размером пожара посредством соотношения $Q^* = (D^* / D)^{5/2}$, где D – физический диаметр огня.

9.1. Серия испытаний FM/SNL

9.1.1. Испытания FM/SNL состояли из газовых горелок пропилена, разливов гептана, разливов метанола, образцов твердого полиметилметакрилата, а также специфицированных и неспецифицированных кабелей, поджигаемых в большом помещении, которое, в течение первых 18 испытаний не содержало перегородок. Температуры струи пожара измерялись приблизительно с расстояния 6 м от поверхности пола, что составляло 0,98 от общей высоты потолка. Для испытаний 1-5 и 7-9, установка термпар (установка 13) была расположена по центру над пожарным лотком. В испытаниях 6 и 10-15 использовались другое местоположение пожара, по центру южной стены. Установка 9 располагалась не по центру над этими пожарами, но попадала в область струи. Испытания 16 и 17 проводились с пожарами, расположенными в юго-западном углу помещения, на достаточно далеком расстоянии от всех станций для измерения струй пожаров.







9.2. Корреляция высоты пламени Хескестада

9.2.1. В Таблице 6.1 приведены параметры моделирования пожаров с помощью программы в квадратном лотке размером 1 м на 1 м². На Рис 6.1 показана верификация тепловыделения для каждого испытания, на Рис. 6.2 сопоставлены прогнозы программы с эмпирической корреляцией Хескестада. Обратите внимание, что высота пламени для моделирования с помощью программы

определяется как расстояние над лотком, в среднем, на котором 99 % топлива было потреблено. Отметим также, что моделирование проводилось при трех различных разрешениях сетки. Удобный масштаб длины может быть задан следующим уравнением:

$$D^* = (Q^*)^{2/5} D \quad (6.2)$$

9.2.2. Учитывая размер ячейки сетки, δx , три вида разрешения могут быть охарактеризованы безразмерной величиной, $D^* / \delta x$, значения которой в данных случаях составляют 5, 10 и 20.

9.2.3. Определение высоты пламени, используемое на Рис. 6.2 (при горении 99 % топлива), признано произвольным и часто ставится под сомнение, когда прогнозы программы относительно высоты пламени сравниваются с экспериментальными значениями, которые, как правило, основаны на яркости (эффективном измерении уровня излучения от сажи). Кроме того, корреляция высоты пламени Хескестада является одной из многих подобных корреляций [25, 185, 186, 187, 188, 189, 190], а также существенными являются зарегистрированные изменения, особенно при низких значениях Q^* , при которых детали конфигурации горелки (форма горелки и т.п.) становятся особенно важными. Чтобы проиллюстрировать неопределенность, которую можно ожидать от расчетов программы и проверить чувствительность зарегистрированных результатов программы к определению высоты пламени, на Рис. 6.3 показаны два разных прогнозируемых значения высоты пламени программы, одна при горении 99 % топлива (как на Рис. 6.2) — красная кривая — и одна при горении 95 % топлива — синяя кривая. Три различных вида разрешения сетки использовались при каждом определении высоты пламени. При расходе 99 % топлива, красная пунктирная линия демонстрирует максимальную высоту пламени из трех видов разрешения. При расходе 95 % топлива, синяя пунктирная линия демонстрирует минимальную высоту пламени из трех видов разрешения. Кроме того, используется наложение нескольких других корреляций высоты пламени (цветные сплошные линии).

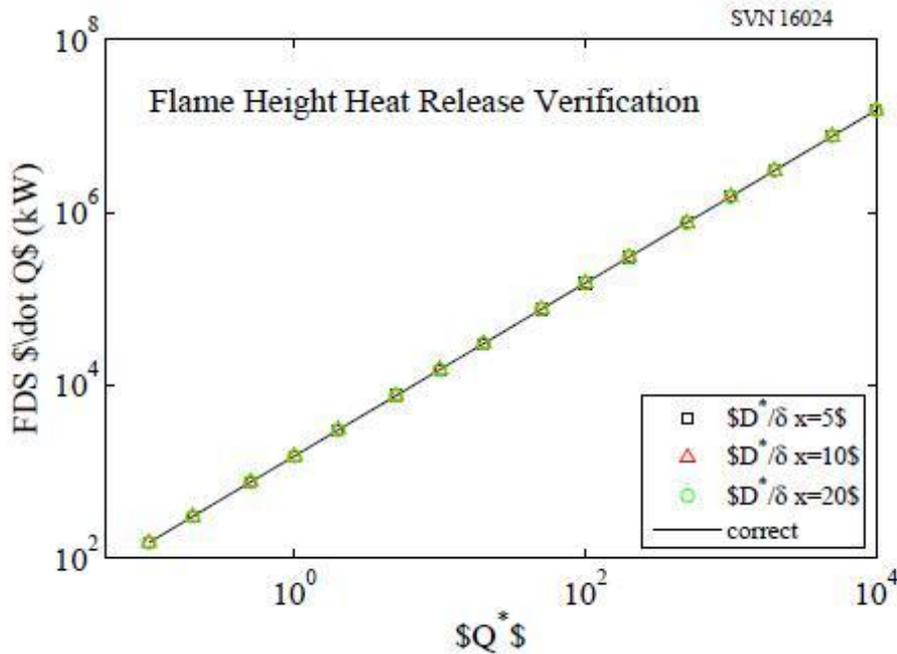
9.2.4. На Рис. 6.4 включает в себя сравнение прогнозируемого тепловыделения как функции высоты горелки для трех разных значений Q^* . Экспериментальные измерения проводились Таманини, Factory Mutual [191]. Как тепловыделение и высота над горелкой были обезразмерены общей тепловыделением и высотой пламени, соответственно. Эти результаты показывают, что прогнозируемое пространственное распределение выделения энергии повышается при улучшении числовой расчетной сетки.

9.2.5. 2 Эффективный диаметр, D , квадратного лотка со стороной 1 м, составляет 1,13 м, получен путем приравнивания площади квадрата и круга.

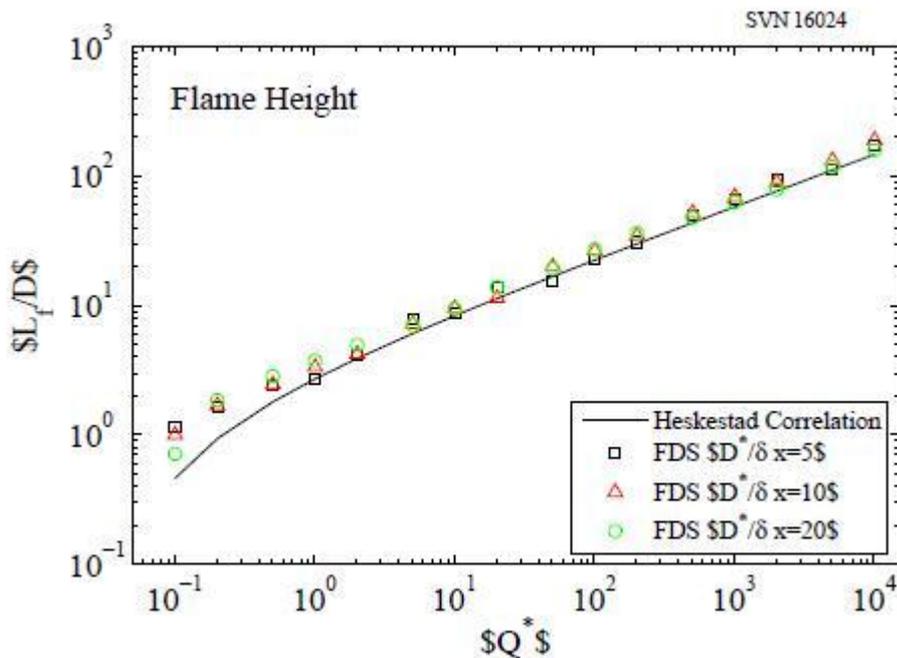
9.2.6. Таблица 6.1: Обзор параметров для прогнозирования высоты пламени. Размер ячейки сетки, δx_{10} , относится к случаю, при котором $D^* / \delta x = 10$.

	Q^*	Q(kW)	D^* (m)	8 X5 (m)	8 X10	8 X20
	0.1	151	0.45	0.090	0.045	0.022
	0.2	303	0.59	0.119	0.059	0.030
	0.5	756	0.86	0.171	0.086	0.043
	1	1513	1.13	0.226	0.113	0.057
	2	3025	1.49	0.298	0.149	0.075
	5	7564	2.15	0.430	0.215	0.108
	10	15127	2.84	0.568	0.284	0.142
	20	30255	3.75	0.749	0.375	0.187
	50	75636	5.40	1.081	0.540	0.270
	100	151273	7.13	1.426	0.713	0.356
	200	302545	9.41	1.882	0.941	0.470
	500	756363	13.6	2.715	1.357	0.679
	1000	1512725	17.9	3.582	1.791	0.895
	2000	3025450	23.6	4.726	2.363	1.182
	5000	7563625	34.1	6.819	3.409	1.705
	10000	15127250	45.0	8.997	4.499	2.249
	Q^*	Q (кВт)	D^* (м)	δx_5 (м)	δx_{10}	δx_{20}
	0,1	151	0,45	0,090	0,045	0,022
	0,2	303	0,59	0,119	0,059	0,030
	0,5	756	0,86	0,171	0,086	0,043
	1	1513	1,13	0,226	0,113	0,057
	2	3025	1,49	0,298	0,149	0,075

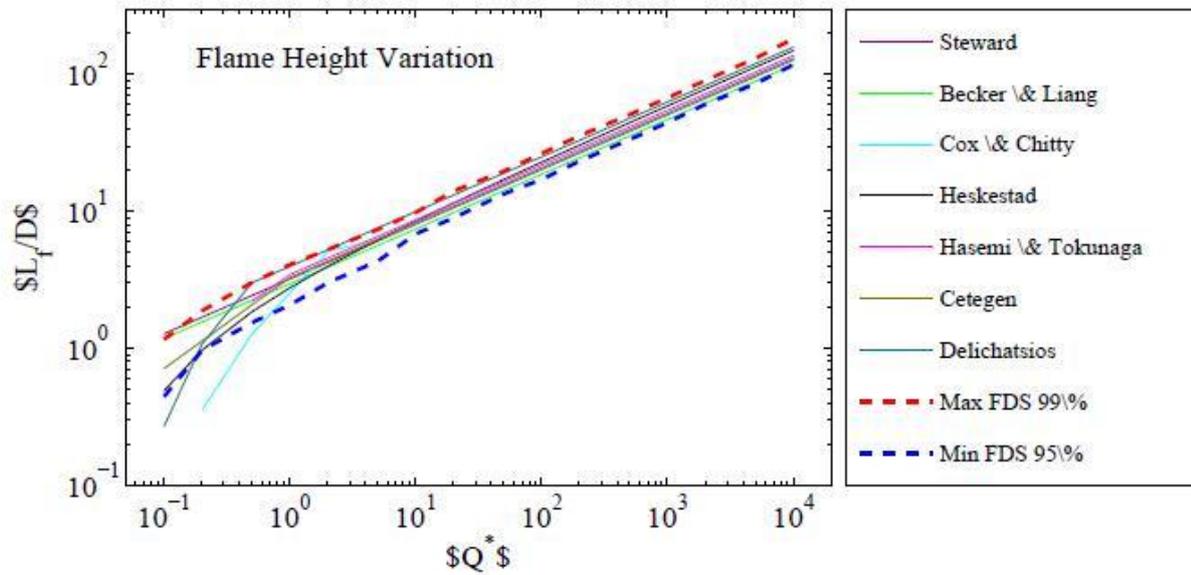
5	7564	2,15	0,430	0,215	0,108
10	15127	2,84	0,568	0,284	0,142
20	30255	3,75	0,749	0,375	0,187
50	75636	5,40	1,081	0,540	0,270
100	151273	7,13	1,426	0,713	0,356
200	302545	9,41	1,882	0,941	0,470
500	756363	13,6	2,715	1,357	0,679
1000	1512725	17,9	3,582	1,791	0,895
2000	3025450	23,6	4,726	2,363	1,182
5000	7563625	34,1	6,819	3,409	1,705
10000	15127250	45,0	8,997	4,499	2,249



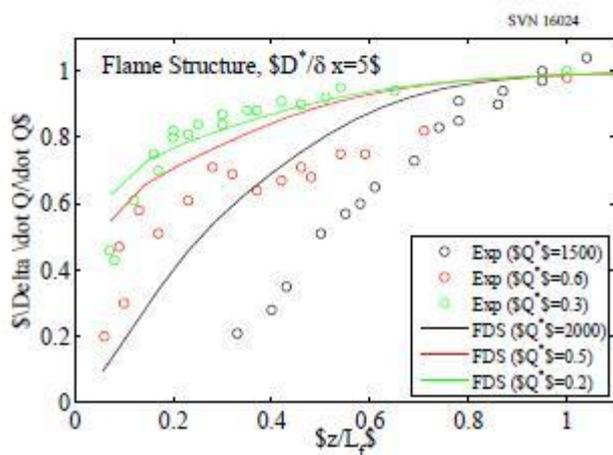
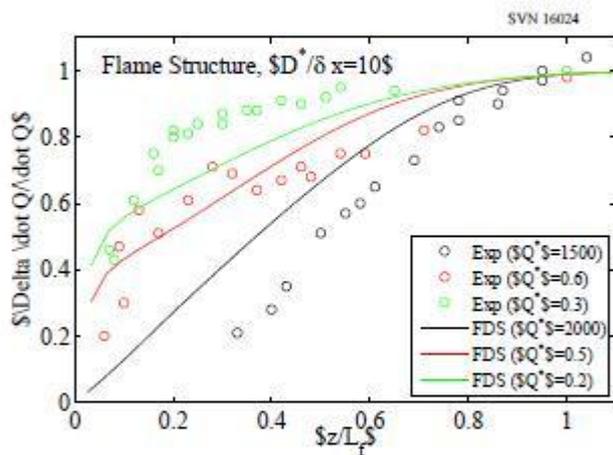
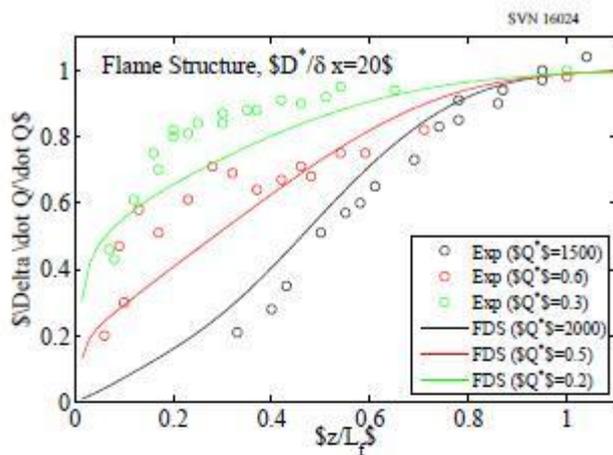
9.2.7. рис. 6.1: Верификация тепловыделения для примеров Хескестада относительно высоты пламени.



9.2.8. Рис. 6.2: Сравнение прогнозов программы высоты пламени в квадратном пожарном лотке со стороной 1 м для значений Q^* от 0,1 до 10000.



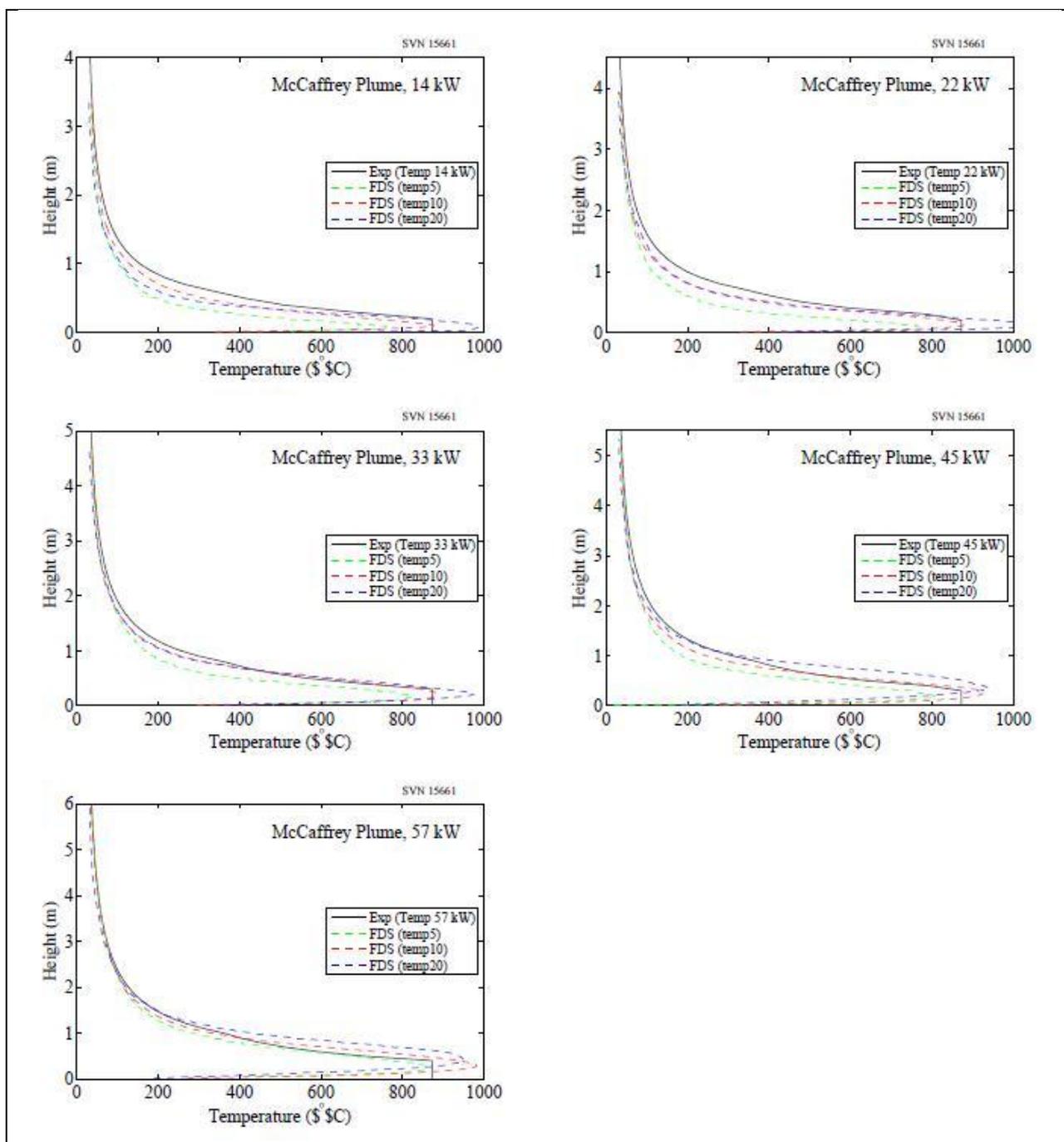
9.2.9. Рис. 6.3: Прогнозы высоты пламени из различных корреляций по сравнению с прогнозами программы с использованием двух различных определений высоты пламени. Неопределенность (максимальное отклонение) при $Q^* > 1$ составляет $\pm 15\%$. При $Q^* = 0,1$, неопределенность составляет приблизительно $\pm 65\%$. Справочная информация по корреляции: Стюард [185], Беккер и Лиан [186], Кокс и Читти [187], Хескестад [25], Хасеми и Токунага [188], Сетеген [189], Деличатсиос [190].



9.2.10. Рис. 6.4: Прогнозируемой тепловыделением как функция высоты над горелкой в сравнении с данными измерений.

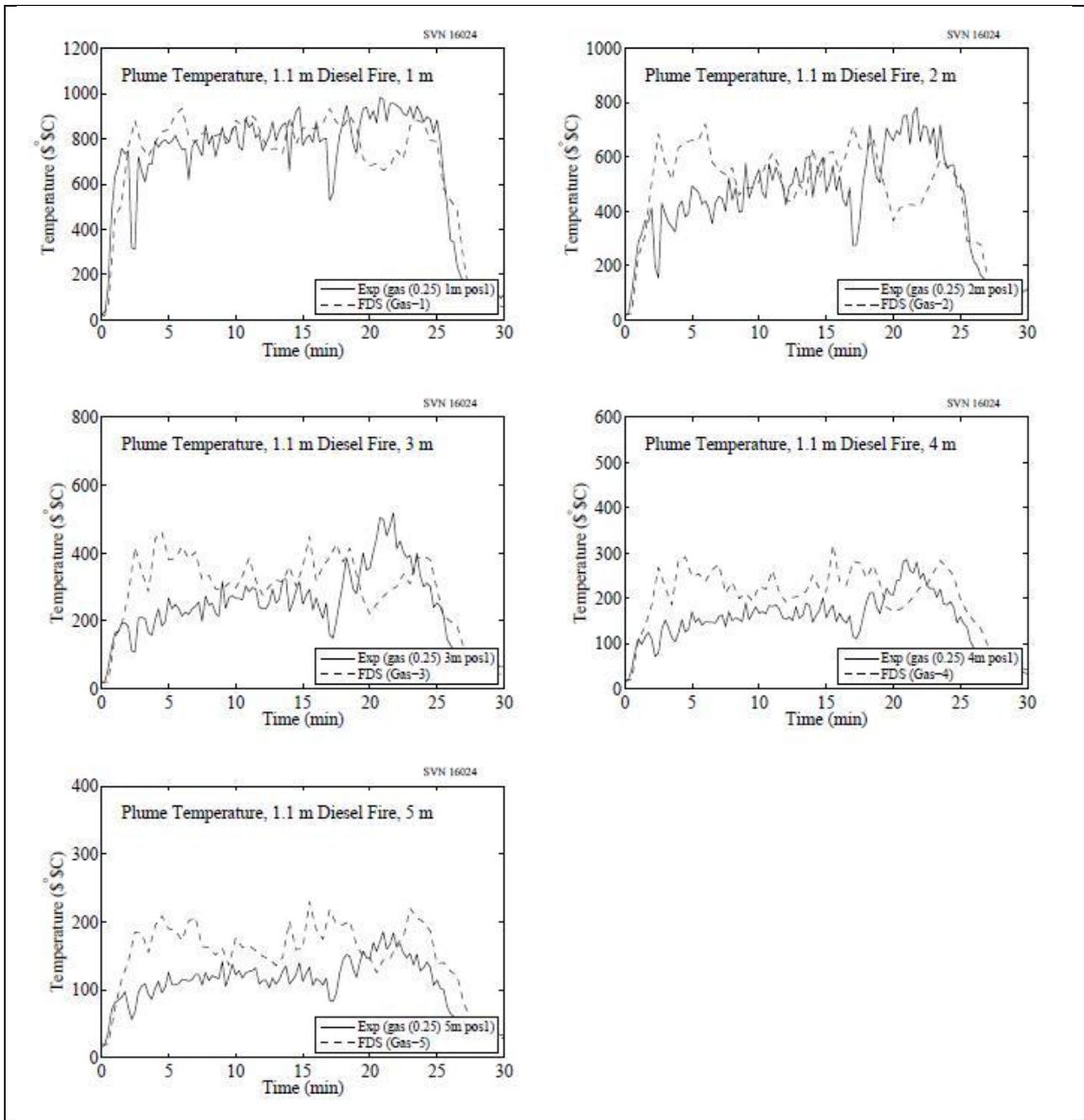
9.3. Корреляция струи Маккеффри

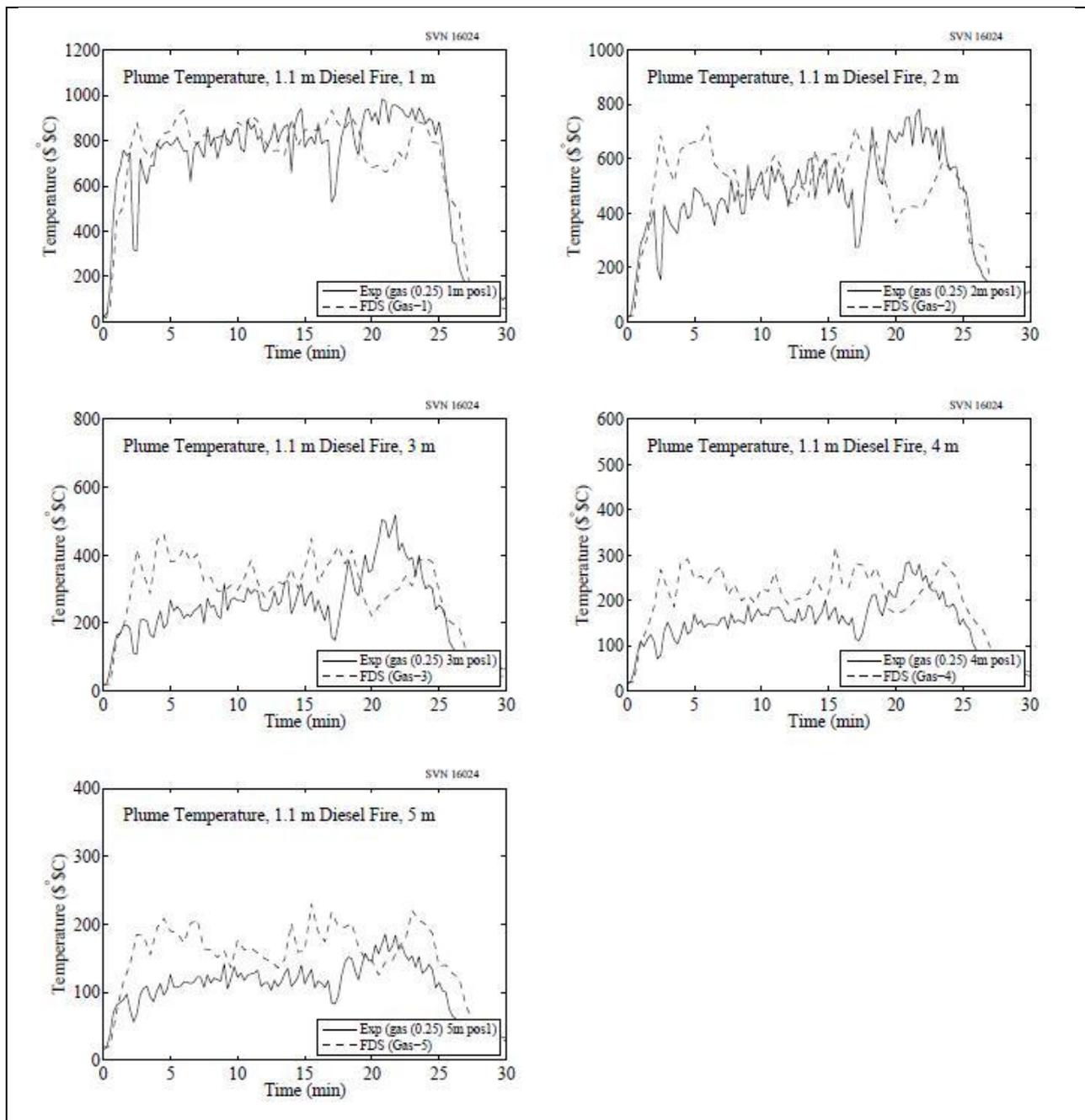
9.3.1. На следующих графиках изображены результаты, полученные Маккеффри, при моделировании пяти пожаров при трех видах разрешениях сетки, $D^* \delta x_5 = [5, 10, 20]$ (следует отметить, что этот показатель разрешения используется для обозначения записей условных обозначений). Ячейки сетки имеют кубическую форму и равномерный интервал (без растяжения).

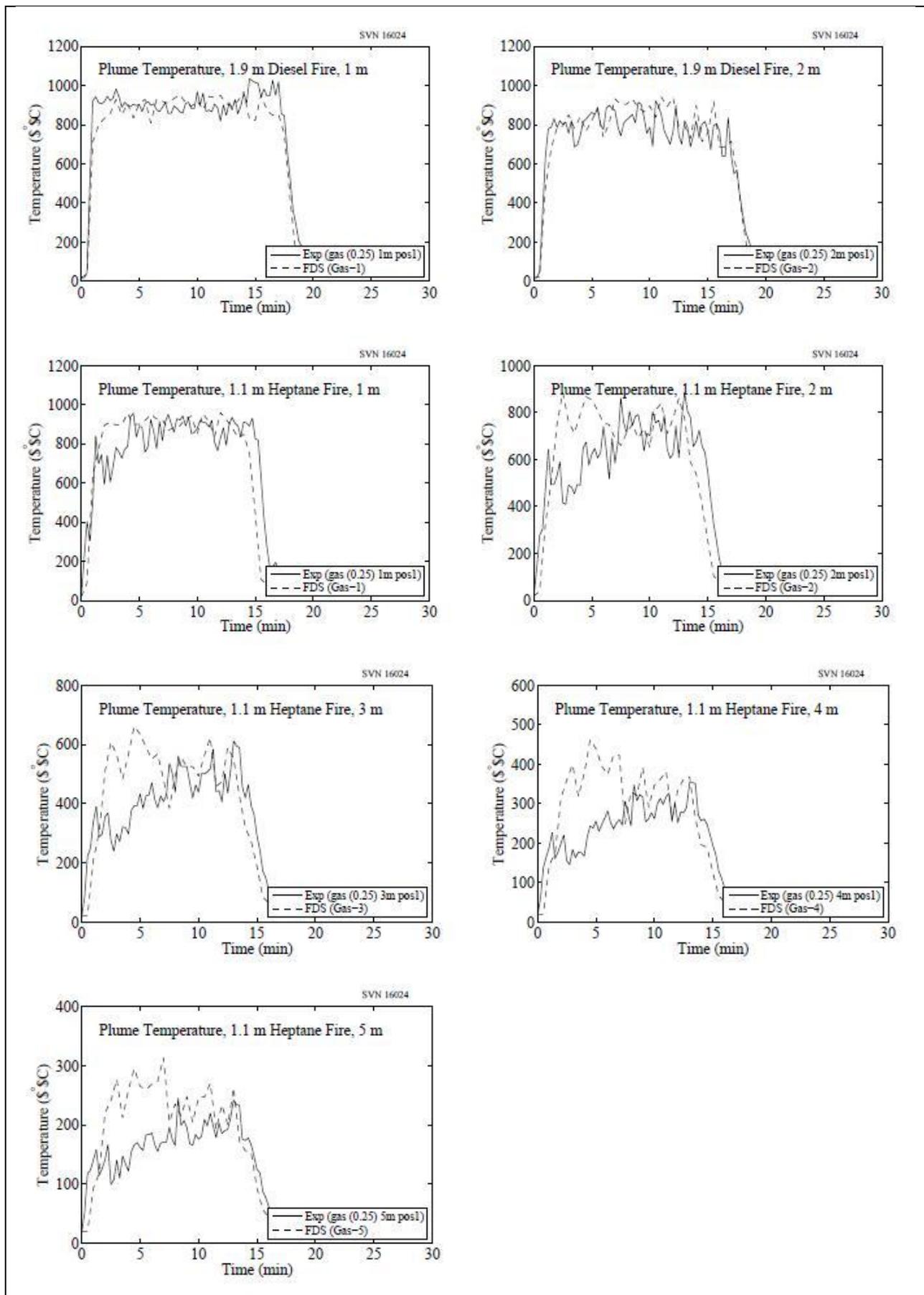


9.4. Испытания Технического исследовательского института Швеции

9.4.1. Три испытания были проведены в Техническом исследовательском институте Швеции в 2011 году, в которых вертикальная колонна 6 м в длину, 20 см в диаметре была расположена между пожарами разливов дизельного топлива 1,1 м и 1,9 м и гептана 1,1 м [167]. Измерения температуры газа, плит, и поверхности стали были сделаны на высоте 1 м, 2 м, 3 м, 4 м и 5 м над поверхностью разлива. Температуры газа измерялись с помощью термпар 0,25 мм и 0,50 мм. Результаты очень похожи и используются только значения 0,25 мм. В испытаниях пожару сообщался уклон. Уклон был значительным для пожара дизельного топлива размером 1,9 м. В этом случае используются данные пожаром только высотой 1 м и 2 м над разливом. Средняя температура между 10 и 15 минутами является основной для сравнения.

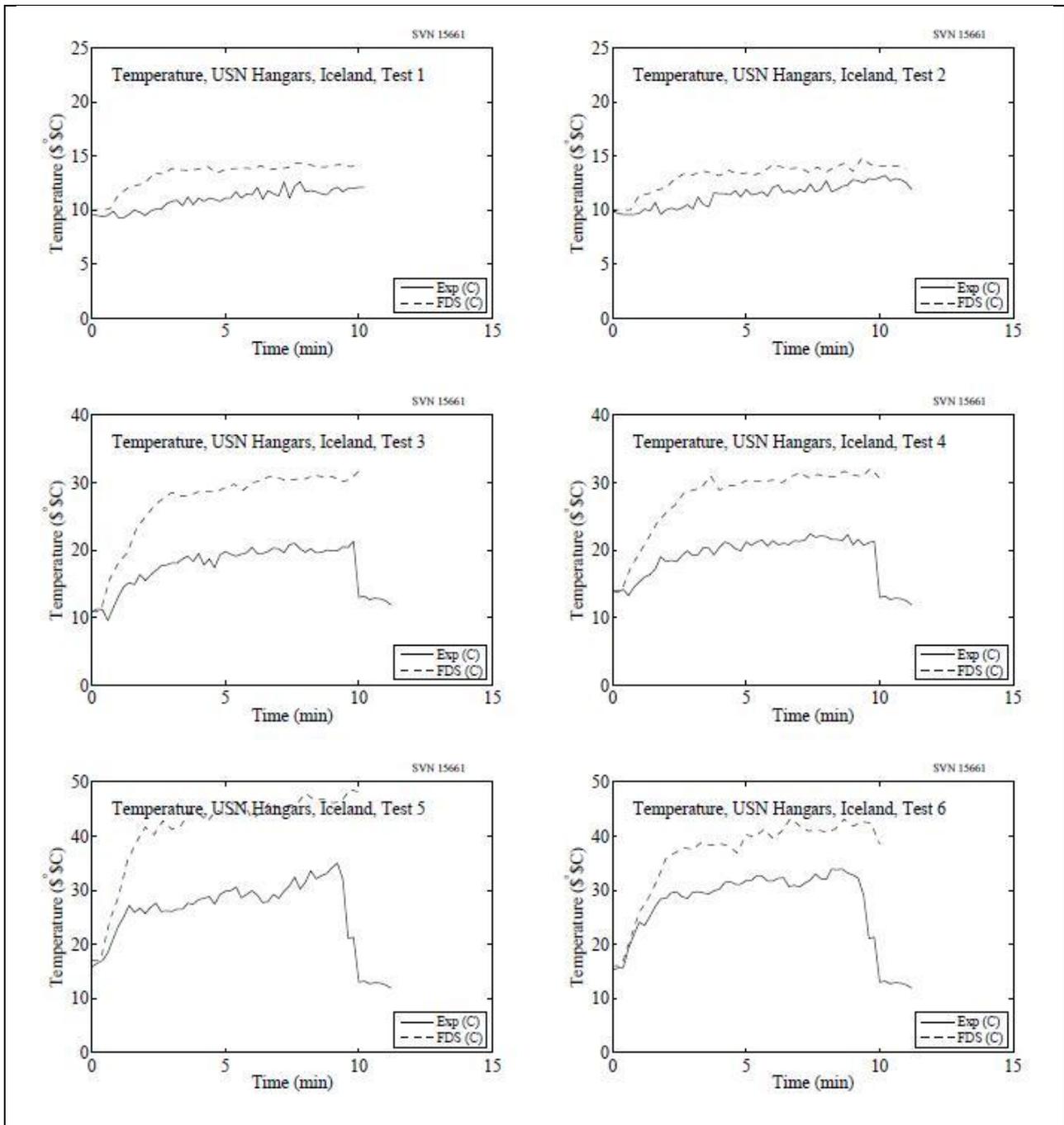


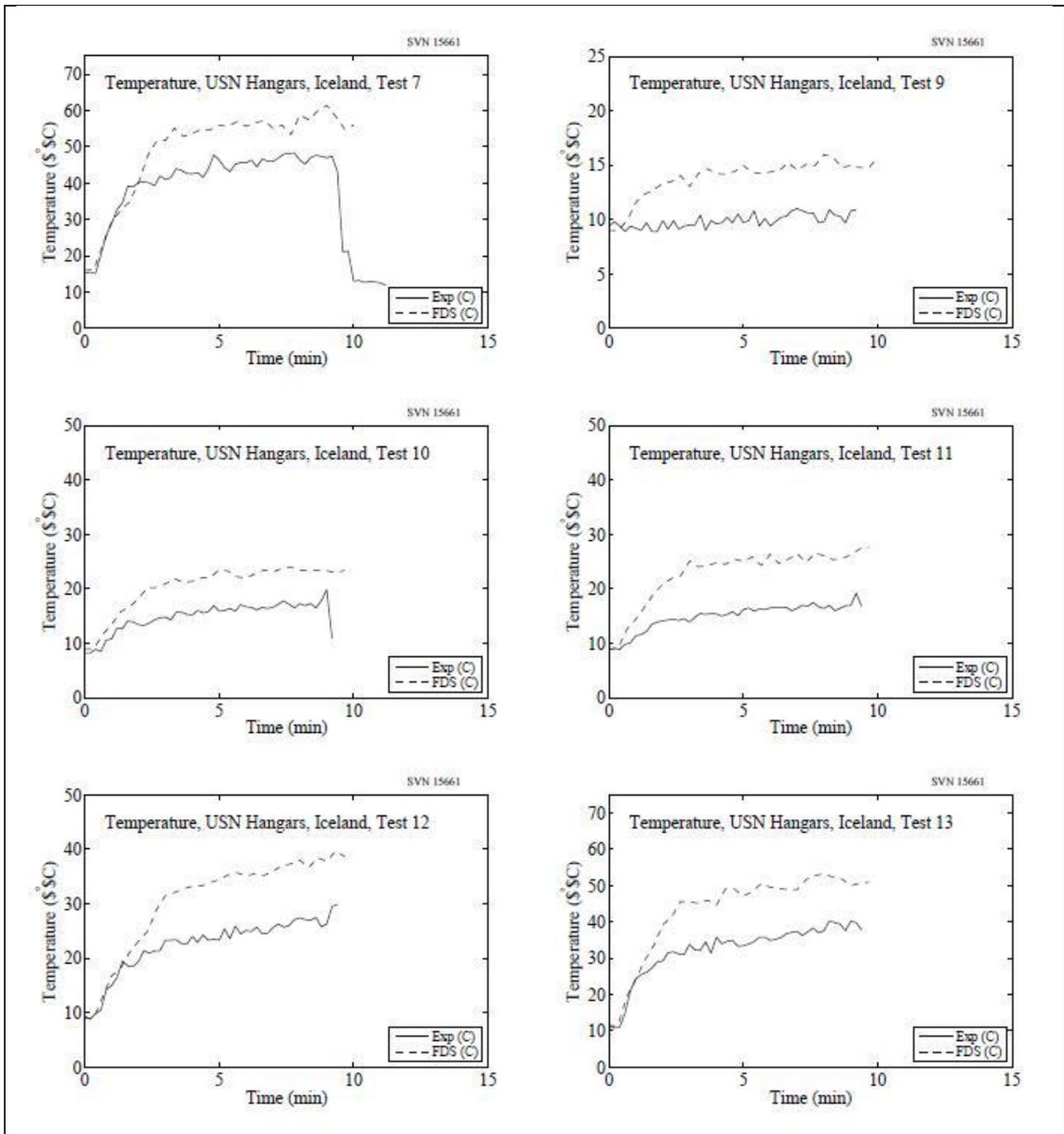


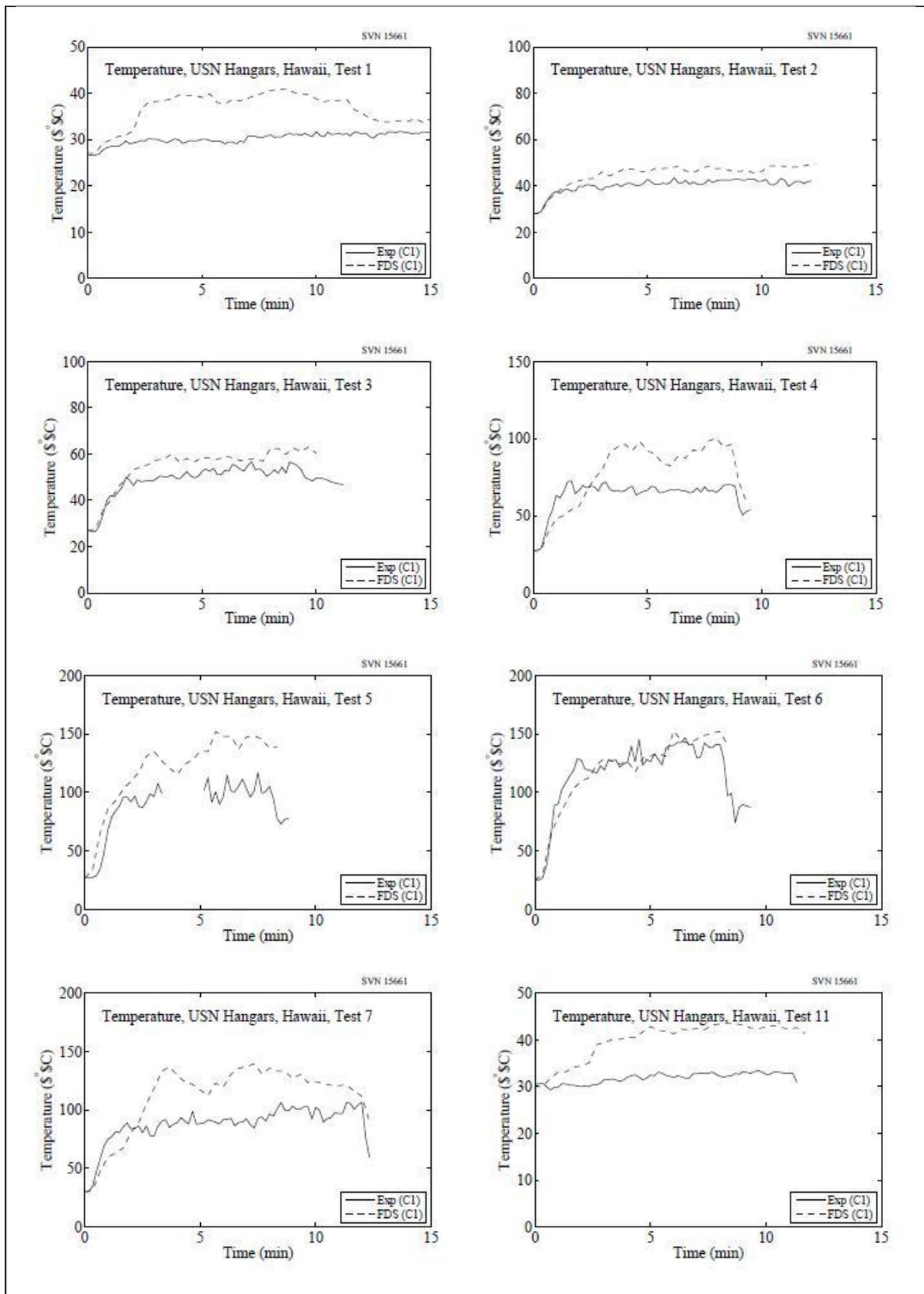


9.5. Испытания ВМС США в высоких ангарах

9.5.1. Большое количество измерений температуры струи пламени доступны из испытаний ВМС США, проведенных в Кефлавике, Исландия и Барберс Пойнт, Гавайи. Ангараы были очень большого размера (22 м в высоту в Исландии и 15 м в высоту на Гавайях) и тепловыделение варьировалась от 100 кВт до 33 МВт. Во всех испытаниях использовался топливный лоток, наполненный топливом JP-5 или JP-8 для реактивных двигателей и размещенный в центре ангара.







9.6. Испытания VTT в большом зале

9.6.1. Испытания VTT проводились с пожарами жидкого топлива в лотке, расположенном в центре большого зала для пожарных испытаний. Температуры струи были измерены на двух отметках над пожаром, 6 м (Т G.1) и 12 м (Т G.2). Наблюдалось, что пламя распространялось приблизительно до 4 м над пожарным лотком.

