

ООО «СИТИС»

ТР – 5080

**FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)
ВЕРСИЯ 6**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К
ПРОГРАММЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ ПОЖАРА**

Валидация

Англо-русский перевод

Перевод технической документации
к программе Fire Dynamics Simulator 6

Fire Dynamics Simulator
Technical Reference Guide
Volume 3: Validation

NIST Special Publication 1018
Sixth Edition

Перевод документа «Fire Dynamics Simulator (FDS) Версия 6. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара. Валидация» выполнен ООО «СИТИС» программой автоматического перевода Google Translator, с частичным редактированием.

© ООО «СИТИС», 2013 (перевод на русский язык)

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

Fire Dynamics Simulator 6 Technical Reference Guide	Fire Dynamics Simulator (FDS) Версия 6. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара
Volume 3: Validation	Часть 3. Валидация
NIST Special Publication 1018 Sixth Edition	Специальное издание NIST 1018 Шестое издание
Chapter 1. What is Model Validation?	Глава 1. Что такое валидация модели?
Although there are various definitions of model validation, for example those contained in ASTM E 1355 [2], most define it as the process of determining how well the mathematical model predicts the actual physical phenomena of interest. Validation typically involves (1) comparing model predictions with experimental measurements, (2) quantifying the differences in light of uncertainties in both the measurements and the model inputs, and (3) deciding if the model is appropriate for the given application. This Guide only does (1) and (2). Number (3) is the responsibility of the model user.	Хотя существует множество определений валидации модели, например, представленные в ASTM E 1355 [2], в большинстве случаев ее определяют как процесс выявления точности математической модели при прогнозировании реальных физических явлений, которые представляют интерес. Валидация, как правило, включает (1) сравнение прогнозируемых данных модели с экспериментальными измеренными данными, (2) количественную оценку различий в свете неопределенностей в измерениях и входных данных модели и (3) принятие решения, пригодна ли модель для данного применения. Настоящее Руководство выполняет только пункты (1) и (2). Пункт (3) остается на усмотрение пользователя модели.
A common question asked of any mathematical model is whether it is validated. To say that FDS is "validated" means that the model has been shown to be of a given level of accuracy for a given range of parameters for a given type of fire scenario. Although the FDS developers continuously perform validation studies, it is ultimately the end user of the model who decides if the model is adequate for the job at hand. Thus, this Guide provides the raw material for a validation study, but it does not and cannot be considered comprehensive.	Стандартный вопрос, задаваемый в отношении любой математической модели: прошла ли она валидацию. Сказать, что FDS является "Подтверждено" означает, что модель была показано, что из данного уровня точности для заданного диапазона параметры для данного типа пожарной сценарии. Хотя разработчики FDS постоянно выполнять проверку исследования, это в конечном счете конечный пользователь модели, который решает, если модель адекватна для работы под рукой. Таким образом, данное руководство предоставляет сырье для анализа беспристрастности, но это не и не может считаться исчерпывающим.
The following sections discuss key issues that you must consider when deciding whether or not FDS has been validated. It depends on (a) the scenarios of interest, (b) the predicted quantities, and (c) the desired level of accuracy. Keep in mind that FDS can be used to model most any fire scenario and predict almost any quantity of interest, but the prediction may not be accurate because of limitations in the description of the fire physics, and also because of limited information about the fuels, geometry, and so on.	В следующих разделах рассматриваются ключевые вопросы, которые необходимо учитывать при принятии решения, имеет ли FDS была подтверждена. Это зависит от (а) сценариев, представляющих интерес, (б) предсказанных величин, и (в) желаемого уровня точности. Имейте в виду, что FDS может быть использован для моделирования большинство любой сценарий пожара и предсказать почти любое количество интересов, но предсказание не может быть точным из-за ограничений в описании физика огонь, а также из-за ограниченной информации о топливе, геометрии, и так далее.
1.1 How to Use this Guide	1.1 Как пользоваться настоящим руководством
This Guide is merely a repository of calculation results. As FDS develops, it will expand to include new experimental measurements of newly modeled physical phenomena. With each minor release of FDS (version 5.2	Настоящее Руководство представляет собой лишь хранилищем результатов расчетов. По мере развития СОБ, она будет расширяться, чтобы включать новые экспериментальные измерения недавно

to 5.3, for example), the plots and graphs will all be redone to ensure that changes to the model have not decreased the accuracy of a previous version. If you are embarking on a validation study, you might want to consider the following steps:	моделируемых физических явлений. С каждым выпуск обновлений FDS (версия 5.2 до 5.3, например), участки и графики будут все заново, чтобы убедиться, что изменения в модели не уменьшились достоверность предыдущей версии. Если вы приступать к изучению проверки, вы можете рассмотреть следующие шаги:
1. Survey Chapter 2 to learn about past efforts by others to validate the model for applications similar to yours. Keep in mind that most of the referenced validation exercises have been performed with older versions of FDS, and you may want to obtain the experimental data and the old FDS input files and redo the simulations with the version of FDS that you plan to use.	1. Обзор Глава 2, чтобы узнать о последних усилий других, чтобы проверить модель для приложений, подобных вашему. Имейте в виду, что большинство ссылается упражнений проверки были проведены с более старыми версиями FDS, и вы можете получить экспериментальные данные и старые входные файлы FDS и повтор симуляции с версией FDS, что вы планируете использовать.
2. Identify in Chapter 3 experimental data sets appropriate for your application. In particular, the summary of the experiments found in Section 3.42 contains a table listing various non-dimensional quantities that characterize the parameters of the experiments. For example, the equivalence ratio of a compartment fire experiment indicates the degree to which the fire was over or under-ventilated. To say that the results of a given experiment are relevant to your scenario, you need to demonstrate that its parameters "fit" within the parameter space outlined in Table 3.7.	2. Определить в главе 3 экспериментальных наборов данных, подходящих для вашего приложения. В частности, краткое изложение экспериментов найденных в разделе 3.42 представлена таблица различные безразмерные величины, характеризующие параметры экспериментов. Например, отношение эквивалентности отсек пожарной эксперимента показывает, в какой степени огонь был над или под - вентилироваться. Чтобы удостовериться, что результаты данного эксперимента имеют отношение к вашему сценарию, необходимо продемонстрировать, что его параметры "подходят" для пространства параметров, изложенных в таблице 3.7.
3. Search the Table of Contents to find comparisons of FDS simulations with the relevant experiments.	3. Поиск Оглавление, чтобы найти сравнение FDS моделирования с соответствующими экспериментами.
For a given experiment, there may be numerous measurements of quantities like the gas temperature, heat flux, and so on. It is a challenge to sort out all the plots and graphs of all the different quantities and come to some general conclusion. For this reason, this Guide is organized by output quantity, not by individual experiment or fire scenario. In this way, it is possible to assess, over a range of different experiments and scenarios, the performance of the model in predicting a given quantity. Overall trends and biases become much more clear when the data is organized this way.	Для данного эксперимента, могут быть многочисленные измерения величин, таких как температуры газа, теплового потока, и так далее. Это вызов, чтобы разобраться во всех участках и графики всех различных количествах и прийти к какому-то общему выводу. По этой причине, этот путеводитель организован выходной величины, а не отдельного эксперимента или пожарной сценария. Таким образом, можно оценить, в диапазоне различных экспериментов и сценариев, производительность модели в прогнозировании данного количества. Общие тенденции и предубеждения стали гораздо более ясно, когда данные организованы таким образом.
The experimental data sets and FDS input/output files described in this Guide are all managed via the online project archiving system. You might want to re-run examples of interest to better understand how the calculations were designed, and how changes in the various parameters might affect the results. This is known as a sensitivity study, and it is difficult to document all the parameter variations of the calculations described in this report. Thus, it is a good idea to determine which of the input parameters are particularly important.	Наборы экспериментальных данных и входных/выходных файлов FDS, описанные в настоящем руководстве все управляются с помощью системы архивирования проекта в режиме онлайн. Возможно, вы захотите повторно запустить примеры интерес, чтобы лучше понять, как расчеты были разработаны, и, как изменения в различных параметров может повлиять на результаты. Это известно как исследование чувствительности, и трудно документировать все изменения параметров расчетов, описанных в данном докладе. Таким образом, это хорошая идея, чтобы определить, какие из входных параметров являются особенно важными.
1.2 Blind, Specified, and Open Validation Experiments	1.2 Эксперименты валидации вслепую, заданные, и открытые
ASTM E 1355 [2] describes three basic types of validation calculations – Blind, Specified, and Open.	ASTM E 1355 [2] описывает три основных типа расчетов публикации объявлений - Вслепую, указанных, и открытия.
Blind Calculation: The model user is provided with a basic description of the scenario to be modeled. For this application, the problem description is not exact; the	Расчет вслепую: Модель пользователя снабжен основным описанием сценария, чтобы быть смоделированы. Для этого приложения, описание

<p>model user is responsible for developing appropriate model inputs from the problem description, including additional details of the geometry, material properties, and fire description, as appropriate. Additional details necessary to simulate the scenario with a specific model are left to the judgement of the model user. In addition to illustrating the comparability of models in actual end-use conditions, this will test the ability of those who use the model to develop appropriate input data for the models.</p>	<p>проблемы не является точным, модель Пользователь несет ответственность за разработку соответствующих моделей входы от описания проблемы, в том числе дополнительных деталей геометрии, свойств материала и описания пожара, по мере необходимости. Дополнительная информация, необходимые для моделирования сценария с конкретной моделью остается на усмотрение модели пользователя. Помимо иллюстрации сопоставимости моделей в реальных условиях конечного использования, это будет проверить способность тех, кто использует модель для разработки соответствующих входных данных для моделей.</p>
<p>Specified Calculation: The model user is provided with a complete detailed description of model inputs, including geometry, material properties, and fire description. As a follow-on to the blind calculation, this test provides a more careful comparison of the underlying physics in the models with a more completely specified scenario.</p>	<p>Заданный Расчет: Модель пользователю предоставляется полный подробным описанием входных параметров моделей, в том числе геометрии, свойств материала и описания пожара. Качество одной из последующих на слепого расчета, этот тест дает более тщательное сопоставление основных физике в моделях с более полного определения сценария.</p>
<p>Open Calculation: The model user is provided with the most complete information about the scenario, including geometry, material properties, fire description, and the results of experimental tests or benchmark model runs which were used in the evaluation of the blind or specified calculations of the scenario. Deficiencies in available input (used for the blind calculation) should become most apparent with comparison of the open and blind calculation.</p>	<p>Открытый расчет: Модель пользователю предоставляется наиболее полной информации о сценарии, в том числе геометрии, свойств материалов, описание пожара, а также результаты экспериментальных испытаний или тестов прогона моделей, которые были использованы в оценке слепых или указанных расчетов сценарий. Недостатки в доступный вход (используемые для слепых расчета) должны стать наиболее очевидным при сравнении открытого и слепой расчета.</p>
<p>The calculations presented in this Guide all fall into the Open category. There are several reasons for this, the first being the most practical:</p>	<p>Расчеты, представленные в этом руководстве все попадают в абсолютной весовой категории. Есть несколько причин для этого, первый из которых наиболее практичным:</p>
<ul style="list-style-type: none"> • All of the calculations presented in this Guide are re-run with each minor release of FDS (i.e., 5.3 to 5.4). The fact that the experiments have already been performed and the results are known automatically qualify these calculations as Open. 	<ul style="list-style-type: none"> • Все расчеты, представленные в этом руководстве повторно запустить с каждым выпуск обновлений FDS (т.е. от 5,3 до 5,4). Тот факт, что эксперименты уже проводились, и результаты известны автоматически квалифицируются эти расчеты, как Open.
<ul style="list-style-type: none"> • Some of the calculations described in this Guide did originally fall into the Specified category because they were first performed before the experiments were conducted. However, in almost every case, the experiment was not conducted exactly as specified, and the calculation results were not particularly useful in determining the accuracy of the model. 	<ul style="list-style-type: none"> • Некоторые из расчетов, описанных в этом руководстве ничего изначально попадают в указанную категорию, потому что они прозвучали впервые перед проводились эксперименты. Тем не менее, почти в каждом случае, эксперимент был не проводится точно так, как указано, и результаты расчетов не был особенно полезно для определения точности модели.
<ul style="list-style-type: none"> • None of the calculations were truly Blind, even those performed prior to the experiments. The purpose of a Blind calculation is to assess the degree to which the choice of input parameters affects the outcome. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ни один из расчетов не были по-настоящему Слепой, даже те, которые выполняются до экспериментов. Цель слепых расчета является оценка степени, в которой выбор входных параметров влияет на результат.
<p>However, in such cases it is impossible to discern the uncertainty associated from the choice of input parameters from that associated with the model itself. The primary purpose of this Guide is to quantify the uncertainty of the model itself, in which case Blind calculations are of little value.</p>	<p>Однако в таких случаях невозможно различить неопределенности, связанной с выбором входных параметров из что связано с самой модели. Основная цель настоящего Руководства заключается в количественном неопределенность самой модели, в этом случае Слепые расчеты имеют мало значения.</p>
<p>Chapter 2. Survey of Past Validation Work</p>	<p>Глава 2. Обзор прошлых работ по валидации</p>
<p>In this chapter, a survey of FDS validation work is presented. Some of the work has been performed at NIST, some by its grantees and some by engineering firms using the model. Because each organization has its own reasons for validating the model, the referenced papers and reports do not follow any particular</p>	<p>В данной главе представлено исследование работ FDS по валидации. Часть работ была выполнена в NIST, некоторые его грантополучателей и некоторые инженерными фирмами с использованием модели. Потому что каждая организация имеет свои собственные причины для проверки модели, которые</p>

<p>guidelines. Some of the works only provide a qualitative assessment of the model, concluding that the model agreement with a particular experiment is "good" or "reasonable." Sometimes, the conclusion is that the model works well in certain cases, not as well in others. These studies are included in the survey because the references are useful to other model users who may have a similar application and are interested in even qualitative assessment. It is important to note that some of the papers point out flaws in early releases of FDS that have been corrected or improved in more recent releases. Some of the issues raised, however, are still subjects of active research. The research agenda for FDS is greatly influenced by the feedback provided by users, often through publication of validation efforts.</p>	<p>ссылаются документы и доклады не следуют особым принципам. Некоторые из работ только обеспечить качественную оценку модели, заключив, что типовое соглашение с конкретного эксперимента является «хорошим» или «разумные». Иногда, можно сделать вывод, что модель хорошо работает в определенных случаях, не так хорошо, как в других. Эти исследования, включенных в исследование, так как ссылки полезны другим пользователям модели, которые могут иметь аналогичное приложение и заинтересованы в даже качественной оценки. Важно отметить, что некоторые из работ указывают на недостатки в начале выпусков FDS, которые были исправлены или улучшенные в последние релизы. Некоторые из вопросов, поднятых, однако, по-прежнему субъекты активных исследований. Программа исследований для FDS значительной степени зависит от информации, поступающей от пользователей, часто через публикации усилий проверки.</p>
<p>It is useful to divide the various validation exercises described in this chapter into two classes – those for which the heat release rate (HRR) of the fire is specified as an input to the model and those for which the HRR is predicted by the model. The former is often the case for a design application, the latter for a forensic reconstruction. Consider each in turn.</p>	<p>Полезно разделить различные упражнения проверки, описанные в этой главе на два класса - тех, для которых скорость выделения тепла (HRR) из огня указан в качестве вклада в модели и тех, для которых HRR предсказывается модели. Бывший это часто бывает для дизайнерского приложения, последнего для судебно реконструкции. Рассмотрим каждую из них.</p>
<p>Design applications typically involve an existing building or a building under design. A so-called "design fire" is specified either by a regulatory authority or by the engineers performing the analysis. Because the fire's heat release rate is specified, the role of the model is to predict the transport of heat and combustion products throughout the room or rooms of interest. Ventilation equipment is often included in the simulation, like fans, blowers, exhaust hoods, HVAC ducts, smoke management systems, etc. Sprinkler and heat and smoke detector activation are also of interest. The effect of the sprinkler spray on the fire is usually less of interest since the heat release rate of the fire is specified rather than predicted. Detailed descriptions of the contents of the building are usually not necessary because these items are assumed to not contribute to the fire, and even if they are, the burning rate will be specified, not predicted. Sometimes, it is necessary to predict the heat flux from the fire to a nearby "target," and even though the target may heat up to some specified ignition temperature, the subsequent spread of the fire usually goes beyond the scope of the analysis because of the uncertainty inherent in object to object fire spread.</p>	<p>Использование в целях проектирования обычно включает существующее здание или проектируемое здание. Так называемый «проектируемый пожар» задается либо регулирующим органом или инженерами, выполняющими расчет. Потому что скорость тепловыделения пожара в задан, роль модели для прогнозирования переноса тепла и продуктов сгорания по всей комнате или комнаты интересов. Вентиляционное оборудование часто включается в симуляции, как вентиляторы, воздуходувки, вытяжные шкафы, воздуховодов, систем управления дым и т.д. ороситель и тепла и активации детектор дыма также представляют интерес. Эффект от спринклерной брызг на огонь, как правило, меньше интереса, так как скорость тепловыделения огня задается скорее, чем прогнозировалось. Подробные описания содержимого здания, как правило, не требуется, поскольку эти предметы считаются не способствуют возгоранию, и даже если они, скорость горения будет указано, не прогнозируется. Иногда необходимо, чтобы предсказать поток тепла от пожара в соседнем "мишени", и даже при том, что цель может нагреваться до некоторой заданной температуры зажигания, последующее распространение огня обычно выходит за рамки анализа из-за неопределенность присуща объекта к объекту распространение пожара.</p>
<p>Forensic reconstructions require the model to simulate an actual fire based on information that is collected after the event, such as eye witness accounts, unburned materials, burn signatures, etc. The purpose of the simulation is to connect a sequence of discrete observations with a continuous description of the fire dynamics. Usually, reconstructions involve more gas/solid phase interaction because virtually all objects in a given room are potentially ignitable, especially when flashover occurs. Thus, there is much more emphasis on</p>	<p>Судебные реконструкции требуют модель для имитация фактического огонь на основе информации, которая собирается после этого события, такие как счета очевидцев, негоревших материалов, горят подписей и т.д. Цель моделирования заключается в подключении последовательность дискретных наблюдений с непрерывным описание динамики пожара. Как правило, реконструкции привлечь больше газ / твердое взаимодействие фаз, потому что практически все объекты в данной комнате</p>

<p>such phenomena as heat transfer to surfaces, pyrolysis, flame spread, and suppression. In general, forensic reconstructions are more challenging simulations to perform because they require more detailed information about the room contents, and there is much greater uncertainty in the total heat release rate as the fire spreads from object to object.</p>	<p>потенциально воспламеняющиеся, особенно когда происходит перекрытие. Таким образом, существует гораздо больше внимания уделять таким явлениям, как теплопередачи к поверхности, пиролиза, распространения пламени, а также давления. В общем, судебно реконструкций более сложные расчеты для выполнения, поскольку они требуют более подробную информацию о содержимом номеров, и есть гораздо больше неопределенности в общем уровне тепловыделения, как огонь распространяется от объекта к объекту.</p>
<p>Validation studies of FDS to date have focused more on design applications than reconstructions. The reason is that design applications usually involve specified fires and demand a minimum of thermophysical properties of real materials. Transport of smoke and heat is the primary focus, and measurements can be limited to well-placed thermocouples, a few heat flux gauges, gas samplers, etc. Phenomena of importance in forensic reconstructions, like second item ignition, flame spread, vitiation effects and extinction, are more difficult to model and more difficult to study with well-controlled experiments. Uncertainties in material properties and measurements, as well as simplifying assumptions in the model, often force the comparison between model and measurement to be qualitative at best. Nevertheless, current validation efforts are moving in the direction of these more difficult issues.</p>	<p>Исследования по валидации FDS на сегодняшний день сосредоточены больше на применении в целях проектирования, чем на реконструкции. Причина в том, что дизайн приложения обычно включают указанные пожаров и требуют, как минимум, теплофизических свойств реальных материалов. Транспорт из дыма и тепла является основной акцент, и измерения могут быть ограничены хорошо размещены термодар, несколько датчиков теплового потока, газовых пробников и т.д. Явления значение в судебно- реконструкций, как второй зажигания пункт, распространения пламени, воздействия порча и вымирание, труднее моделировать и труднее учиться с хорошо контролируемых экспериментов. Неопределенности в свойствах материалов и измерений, а также упрощающие предположения в модели, часто заставляют сравнение между моделью и измерения, чтобы быть качественным, в лучшем случае. Тем не менее, в настоящее время усилия проверки движутся в направлении этих более сложных вопросов.</p>
<p>2.1 Validation Work with Pre-Release Versions of FDS</p>	<p>2.1 Работа по валидации с предварительных версий от FDS</p>
<p>FDS was officially released in 2000. However, for two decades various CFD codes using the basic FDS hydrodynamic framework were developed at NIST for different applications and for research. In the mid 1990s, many of these different codes were consolidated into what eventually became FDS. Before FDS, the various models were referred to as LES, NIST-LES, LES3D, IFS (Industrial Fire Simulator), and ALOFT (A Large Outdoor Fire Plume Trajectory).</p>	<p>FDS была официально выпущена в 2000 году. Тем не менее, в течение двух десятилетий различные коды CFD с использованием основной FDS гидродинамической рамки были разработаны в NIST для различных приложений и для научных исследований. В середине 1990-х годов, многие из этих различных кодов были объединены в то, что в конечном итоге стал FDS. Перед FDS, различные модели были причислены к LES, NIST -ЛЕС, LES3D, IFS (Промышленное своих Simulator), и в воздухе (большой открытый огонь Плюм траектории).</p>
<p>The NIST LES model describes the transport of smoke and hot gases during a fire in an enclosure using the Boussinesq approximation, where it is assumed that the density and temperature variations in the flow are relatively small [3, 4, 5, 6]. Such an approximation can be applied to a fire plume away from the fire itself. Much of the early work with this form of the model was devoted to the formulation of the low Mach number form of the Navier-Stokes equations and the development of the basic numerical algorithm. Early validation efforts compared the model with salt water experiments [7, 8, 9], and fire plumes [10, 11, 12, 13].</p>	<p>Модель NIST ЛЕС описывает перенос дыма и горячих газов во время пожара в корпусе с помощью приближении Буссинеска, где предполагается, что плотность и колебания температуры в потоке относительно невелики [3, 4, 5, 6]. Такое приближение может быть применен к пожарному факела от самого пожара. Большая часть ранних работ с этой формой модели был посвящен формулировке дозвукового форме уравнений Навье-Стокса и развития основного вычислительного алгоритма. Ранние попытки проверки сравнению модель с соленой водой экспериментах [7, 8, 9], и пожарных шлейфов [10, 11, 12, 13].</p>
<p>Clement validated the hydrodynamic model in FDS by measuring salt water flows using Laser Induced dye Fluorescence (LIF) [14]. An interesting finding of this work was that the transition from a laminar to a turbulent plume is very difficult to predict with any technique other than DNS.</p>	<p>Климент подтверждено гидродинамической модели в FDS путем измерения соленую воду потоков с использованием лазерной индуцированной флуоресценции красителя (LIF) [14]. Интересной находкой этой работы было то, что переход от ламинарного к турбулентному шлейфа очень трудно предсказать с любой техникой, кроме DNS.</p>
<p>Eventually, the Boussinesq approximation was dropped</p>	<p>В конце концов, приближение Буссинеска было</p>

<p>and simulations began to include more firespecific phenomena. Simulations of enclosure fires were compared to experiments performed by Steckler [15]. Mell et al. [16] studied small helium plumes, with particular attention to the relative roles of baroclinic torque and buoyancy as sources of vorticity. Cleary et al. [17] used the LES model to simulate the environment seen by multi-sensor fire detectors and performed some simple validation work to check the model before using it. Large fire experiments were performed by NIST at the FRI test facility in Japan, and at US Naval aircraft hangars in Hawaii and Iceland [18]. Room airflow applications were considered by Emmerich and McGrattan [19, 20].</p>	<p>прекращено и моделирование стали включать больше firespecific явления. Моделирование пожаров корпуса сравнивали с экспериментов, выполненных на Steckler [15]. Мелл и др. [16] изучали небольшие роли перья гелия, с особым вниманием к относительной роли бароклинного крутящего момента и плавучести в качестве источников вихря. Клири и др. [17] использовали модель LES моделировать на окружение, видимое с несколькими датчиками пожарных извещателей и исполнил несколько простых работу проверки для модели перед ее использованием. Крупный пожар Эксперименты проводились на NIST на стенде ПТ в Японии, и в США ангаров самолетов морской авиации на Гавайях и Исландии [18]. Номер воздушного потока приложения были рассмотрены Эммерих и McGrattan [19, 20].</p>
<p>These early validation efforts were encouraging, but still pointed out the need to improve the hydrodynamic model by introducing the Smagorinsky form of large eddy simulation. This addition improved the stability of the model because of the relatively simple relation between the local strain rate and the turbulent viscosity. There is both a physical and numerical benefit to the Smagorinsky model. Physically, the viscous term used in the model has the right functional form to describe sub-grid mixing processes. Numerically, local oscillations in the computed flow quantities are damped if they become large enough to threaten the stability of the entire calculation.</p>	<p>Эти ранние попытки проверки были обнадеживающими, но все же указал на необходимость улучшения гидродинамической модели, вводя Смагоринского форму крупных вихрей. Это добавление улучшена стабильность модели из-за относительно простое соотношение между локальной скорости деформации и турбулентной вязкости. Существует как физическое и численное преимущество модели Смагоринского. Физически вязкий термин, используемый в модели имеет на правую функциональную форму, чтобы выразить подсеточного процессов смешивания. Численно локальные колебания в расчетных количествах потока затухают, если они становятся достаточно большими, чтобы угрожать стабильности всей расчета.</p>
<p>2.2 Validation of FDS since 2000</p>	<p>2.2 Валидация FDS с 2000 года</p>
<p>There is an on-going effort at NIST and elsewhere to validate FDS as new capabilities are added. To date, most of the validation work has evaluated the model's ability to predict the transport of heat and exhaust products from a fire through an enclosure. In these studies, the heat release rate is usually prescribed, along with the production rates of various products of combustion. More recently, validation efforts have moved beyond just transport issues to consider fire growth, flame spread, suppression, sprinkler/detector activation, and other fire-specific phenomena.</p>	<p>Существует продолжающийся усилия в NIST и в других местах для проверки FDS как новые возможности добавляются. На сегодняшний день большая часть работы проверки оценил способность модели, чтобы предсказать транспортировку тепла и продуктов выхлопа от пожара через корпус. В этих исследованиях, скорость тепловыделения обычно назначают вместе с темпов производства различных продуктов сгорания. В последнее время усилия по валидации, которые вышли за рамки только вопросам транспорта рассмотреть рост огонь, распространение пламени, подавление, активации спринклерной / детектор, и другие явления пожарные конкретных.</p>
<p>The validation work discussed below can be organized into several categories: Comparisons with fullscale tests conducted especially for the chosen evaluation, comparisons with previously published full-scale test data, comparisons with standard tests, comparisons with documented fire experience, and comparisons with engineering correlations. There is no single method by which the predictions and measurements are compared. Formal, rigorous validation exercises are time-consuming and expensive. Most validation exercises are done simply to assess if the model can be used for a very specific purpose. While not comprehensive on their own, these studies collectively constitute a valuable assessment of the model.</p>	<p>Работа проверки обсуждаются ниже могут быть организованы в несколько категорий сравнения с полномасштабные испытания, проведенные специально для выбранной оценки, сравнения с ранее опубликованными данными натурных испытаний, сравнения с стандартных тестов, сравнений с документированной опыта пожарной и сравнения с инженерными корреляций. Там нет единого метода, с помощью которого прогнозы и измерения сравниваются. Формальные, строгие упражнения проверки отнимают много времени и дорого. Большинство упражнений проверки делается просто оценить, если модель можно использовать для очень конкретной целью. В то время как не является исчерпывающим самостоятельно, эти исследования вместе составляют ценный оценку модели.</p>
<p>2.2.1 Fire Plumes</p>	<p>2.2.1 Струи пожара</p>
<p>There are several examples of fire flows that have been extensively studied, so much so that a set of engineering correlations combining the results of many experiments</p>	<p>Есть несколько примеров пожарных потоков, которые были тщательно изучены, да так, что были разработаны множество инженерных корреляций,</p>

<p>have been developed. These correlations are useful to modelers because of their simplicity. The most studied phenomena include fire plumes, ceiling jets, and flame heights.</p>	<p>сочетающих результаты многих экспериментов. Эти корреляции полезны для моделистов из-за их простоты. Наиболее изученными явлениями являются пожарные шлейфы, потолочные струи, и высоты пламени.</p>
<p>Although much of the early validation work before FDS was released involved fire plumes, it remains an active area of interest. One study by Chow and Yin [21] surveys the performance of various models in predicting plume temperatures and entrainment for a 470 kW fire with a diameter of 1 m and an unbounded ceiling. They compare the FDS results with various correlations and a RANS (Reynolds-Averaged Navier- Stokes) model.</p>	<p>Хотя большая часть ранних работ валидации до FDS был выпущен вовлеченные пожарных шлейфов, она остается активной областью интересов. В одном из исследований Чоу и Инь [21] обследует производительность различных моделей в прогнозировании факела температуры и увлечения для 470 кВт огня с диаметром 1 м и неограниченной потолка. Они сравнивают результаты FDS с различными корреляций и РАЕН (Рейнольдсу Среднемесячная Навье-Стокса) модели.</p>
<p>Battaglia et al. [22] used FDS to simulate fire whirls. First, the model was shown to reproduce the McCaffrey correlation of a fire plume, then it was shown to reproduce qualitatively certain features of fire whirls. At the time, FDS used Lagrangian elements to introduce heat from the fire (no longer used), and this combustion model could not replicate the extreme stretching of the core of the flame zone.</p>	<p>Батталья и др. [22] используется FDS для имитации огня кружится. Во-первых, модель была показана воспроизвести корреляцию McCaffrey пожарного шлейфа, то, как показано воспроизвести качественно определенные функции пожарных вихрей. В то время, FDS используется Лагранжа элементы ввести тепло от огня (больше не используется), и эта модель горения не мог повторить крайность растяжение ядре зоны пламени.</p>
<p>Quintiere and Ma [23, 24] compared predicted flame heights and plume centerline temperatures to empirical correlations. For plume temperature, the Heskestad correlation [25] was chosen. Favorable agreement was found in the plume region, but the results near the flame region were found to be grid-dependent, especially for low $Q \square$ fires. At this same time, researchers at NIST were reaching similar conclusions, and it was noticed by both teams that a critical parameter for the model is $D \square = dx$, where $D \square$ is the characteristic fire diameter and dx is the grid cell size. If this parameter is sufficiently large, the fire can be considered well-resolved and agreement with various flame height correlations was found. If the parameter is not large enough, the fire is not well-resolved and adjustments must be made to the combustion routine to account for it.</p>	<p>Quintiere и Ма [23, 24] по сравнению предсказал высот пламени и шлейф осевой линии температур для эмпирических корреляций. Для факела температуры, соотношение Heskestad [25] был выбран. Выгодные соглашение было найдено в области факела, но результаты вблизи области пламени Было обнаружено, что сетка -зависимой, особенно для низкой $Q \square$ пожары. В это же время, исследователи из NIST достигали подобные выводы, и это было замечено обеих команд, что является критическим параметром для модели является $D \square = D \square$, где $D \square$? характерный диаметр огонь и dx является размер ячейки сетки. Если этот параметр достаточно велико, огонь можно считать хорошим разрешением и согласие с различными пламени корреляций высоты был найден. Если параметр не является достаточно большим, огонь не хорошо решены, и корректировки должны быть сделаны к рутине сгорания к ответственности за это.</p>
<p>Gutiérrez-Montes et al. [26] simulated 1.3MW and 2.3MW fires in a 20 m cubic atrium using FDS version 4. The authors conclude that FDS "significantly over-predicts by 40 % to 80 % the plume temperature near the flame (below 9 m) but only slightly over-predicts by 10 % to 25 % the plume temperature above 9 m." Similar results were found for experiments conducted at VTT, Finland, in a 19 m tall test hall with similar sized fires. These results are included in Section 6.6. Both of these studies point out the sensitivity of the centerline plume temperature close to the flame tip to the prediction of the flame height. FDS does not use a flame height correlation, but rather predicts the flame height based on the fuel stoichiometry and fluid dynamics of the turbulent plume.</p>	<p>Гутьеррес - Монте и др. [26] моделируется 1.3MW и 2.3MW fires в 20 м куб атриум с помощью FDS версии 4. Авторы приходят к выводу, что FDS "значительно более - прогнозирует на 40% до 80 % от температуры факела возле пламени (ниже 9 м), но только чуть более - прогнозирует на 10% до 25 % от температуры факела выше 9 метров. " Аналогичные результаты были найдено для экспериментов, проведенных в VTT, Финляндия, в 19 м высотой тест зал с аналогичными по размеру пожаров. Данные результаты были включены в разделе 6.6. Оба эти исследования указывают на чувствительность центральной температуры факела недалеко от кончика пламени к предсказанию высоты пламени. FDS не использует корреляцию высота пламени, а предсказывает высоту пламени на основе стехиометрии топлива и гидродинамики турбулентного факела.</p>
<p>Hurley and Munguia [27, 28] compared FDS (version 4) simulations with plume and ceiling jet measurements from a series of full-scale tests conducted by Underwriters Laboratories. The tests were conducted in a 36.6 m by 36.6 m compartment with ceiling heights</p>	<p>Херли и Мунгиа [27, 28] по сравнению FDS (версия 4) моделирования с плюмов и потолочных измерений реактивных из серии натурных испытаний, проведенных Лабораторией по технике. Испытания проводились в 36,6 м на 36,6 м отсеке с высотой</p>

<p>ranging from 3 m to 12.2 m. Heat release rates followed a modified t-squared growth profile. Thermocouples attached to brass disks were used to simulate thermal detectors. The FDS simulations were conducted with a grid spacing of 10 cm. A convergence study found that grid-size convergence was achieved outside of the plume region. However, grid convergence was not achieved in the plume region at this grid spacing. Outside of the plume region, FDS predictions were within a factor of 1.9 of the test data.</p>	<p>потолков от 3 м до 12,2 м. Скорости высвобождения тепла с последующим модифицированную t -квадрат профиля роста. Термопары, прикрепленные к латунных дисков были использованы для имитации тепловых детекторов. Моделирование FDS были проведены с шагом сетки 10 см. Схождение исследование показало, что сетка размера сближение было достигнуто за пределами шлейфа регионе. Тем не менее, сетки конвергенции не была достигнута в плюмов регионе в этом шаге сетки. Вне шлейфа регионе, FDS прогнозы были в 1,9 раза тестовых данных.</p>
<p>2.2.2 Pool Fires</p>	<p>2.2.2 Пожары пролива</p>
<p>Xin et al. [29] used FDS to model a 1 m diameter methane pool fire. The computational domain was 2 m by 2 m by 4 m with a uniform grid size of 2.5 cm. The predicted results were compared to experimental data and found to qualitatively and quantitatively reproduce the velocity field. The same authors performed a similar study of a 7.1 cm methane burner [30] and a helium plume [31].</p>	<p>Синь и др. [29] используется FDS для моделирования 1 м в диаметре метана бассейн огонь с. Расчетная область была 2 м на 2 м на 4 м с однородным размером сетки 2,5 см. Прогнозируемые результаты были сопоставлены с экспериментальными данными и признано качественно и количественно воспроизвести поле скоростей. Те же авторы провели аналогичный изучение 7.1 см горелки метана [30] и гелия шлейф [31].</p>
<p>Hostikka et al. [32] modeled small pool fires of methane, natural gas and methanol to test the FDS radiation solver for low-sooting fires. They conclude that the predicted radiative fluxes are higher than measured values, especially at small heat release rates, due to an over-prediction of the gas temperature. These tests are also included in the Heat Flux section of this report.</p>	<p>Хостикка др. [32] моделируется небольшой бассейн пожаров метана, природного газа и метанола, чтобы проверить радиационный решатель FDS для низких -сажеобразования пожаров. Они пришли к выводу, что предсказанные радиационные потоки выше, чем измеренных значений, особенно при малых скоростей тепловыделения, из-за чрезмерной прогнозирования температуры газа. Эти тесты также включены в раздел Тепловой поток этого отчета.</p>
<p>Hietaniemi, Hostikka and Vaari [33] consider heptane pool fires of various diameters. Predictions of the burning rate as a function of diameter follow the trend observed in a number of experimental studies. Their results show an improvement in the model over the earlier work with methanol fires, due to improvements in the radiation routine and the fact that heptane is more sooty than methanol, simplifying the treatment of radiation. The authors point out that reliable predictions of the burning rate of liquid fuels require roughly twice as fine a grid spanning the burner than would be necessary to predict plume velocities and temperatures. The reason for this is the prediction of the heat feedback to the burning surface necessary to predict rather than to specify the burning rate.</p>	<p>Хиетаниеми, Хостикка и Ваари [33] считают гептан бассейн пожаров различных диаметров. Предсказания скорости горения в зависимости от диаметра следовать тенденцию, наблюдаемую в ряде экспериментальных исследований. Их результаты показывают улучшение в модели над предыдущей работы с метанолом пожаров, из-за улучшений в процедуре радиации и тем, что гептан является более закопченный, чем метанол, упрощая обработку излучения. Авторы отмечают, что надежные предсказания скорости горения жидкого топлива требует примерно в два раза штрафа сетку, охватывающую горелку, чем это необходимо для прогнозирования скорости и температуры факела. Причиной этого является предсказание обратной тепла к поверхности горения, необходимой для прогнозирования вместо того, чтобы указать скорость горения.</p>
<p>2.2.3 Air and Gas Movement in the Absence of Fire</p>	<p>2.2.3 Движение воздуха и газа при отсутствии огня</p>
<p>The low Mach number assumption in FDS is appropriate not only to fire, but to most building ventilation scenarios. An example of how the model can be used to assess indoor air quality is presented by Musser et al. [34]. The test compartment was a displacement ventilation test room that contained computers, furniture, and lighting fixtures as well as heated rectangular boxes intended to represent occupants. A detailed description of the test configuration is given by Yuan et al. [35]. The room is ventilated with cool supply air introduced via a diffuser that is mounted on a side wall near the floor. The air rises as it is warmed by heat sources and exits through a return duct located in the upper portion of the room. The flow pattern is intended to remove contaminants by sweeping them upward at</p>	<p>Низкий число Маха предположение в FDS подходит не только стрелять, но для большинства сценариев здание вентиляции. Пример того, как модель может быть использована для оценки качества воздуха в помещениях представлен Массер и др. [34]. Тест отсек был смещение тест вентиляция помещения, что содержится компьютеры, мебель и светильники, а также подогревом прямоугольники, предназначенные для представления пассажиров. Подробное описание тестовой конфигурации задается Yuan и и др. [35]. Помещение вентилируется с холодного воздуха, введенного через диффузор, который установлен на боковой стенке вблизи пола. Воздух поднимается, как это нагревается от источников тепла и выходит через обратный канал, расположенный в верхней части</p>

<p>the source and removing them from the room. Sulphur hexafluoride, SF₆, was introduced into the compartment during the experiment as a tracer gas near the breathing zone of the occupants. Temperature, tracer concentration, and velocity were measured during the experiments. For temperature, the two finest grids (50 by 36 by 24 and 64 by 45 by 30) produced results in which the agreement between the measurement and prediction was considered "acceptable." The agreement for the tracer concentrations were not as good. It was suggested that the difference could be related to the way the source of the tracer gas was modeled. The comparison of velocity data was deemed "reasonable," given the limitations of the velocity probes at low velocities.</p>	<p>помещения. Картина течения предназначен для удаления загрязнений радикальные их вверх на источник и удаление их из комнаты. Гексафторида серы, SF₆, был введен в отсек в ходе эксперимента в качестве индикаторного газа вблизи зоны дыхания и пассажиров. Температура, концентрации индикаторного и скорость были измерены в ходе экспериментов. Для температуры, два лучших сетки (50 на 36 на 24 и 64 на 45 по 30) дали результаты, в которых соглашение между измерения и прогнозирования считалось «приемлемым». Соглашение о концентрации измеряемых были не так хороши. Было предложено, что разница может быть связана с тем, как источник индикаторного газа был смоделирован. Сопоставление данных скорости был признан " разумным ", учитывая ограничения зондов скорости на малых скоростях.</p>
<p>In another study, Musser and Tan [36] used FDS to assess the design of ventilation systems for facilities in which train locomotives operate. Although there is only a limited amount of validation, the study is useful in demonstrating a practical use of FDS for a non-fire scenario.</p>	<p>В другом исследовании, Массер и Тан [36] используется FDS оценить дизайн вентиляционных систем для объектов, в которых магистральных тепловозов работают. Хотя есть только ограниченное количество проверки, исследование полезно в демонстрирует практическое использование FDS для сценария без огня.</p>
<p>Mniszewski [37] used FDS to model the release of flammable gases in simple enclosures and open areas. In this work, the gases were not ignited.</p>	<p>Mniszewski [37] используется FDS моделировать высвобождение горючих газов в простых корпусов и на открытых площадках. В этой работе, газы не воспламеняются.</p>
<p>Kerber and Walton provided a comparison between FDS version 1 and experiments on positive pressure ventilation in a full-scale enclosure without a fire. The model predictions of velocity were within 10 % to 20 % of the experimental values [38].</p>	<p>Кербер и Уалтон условия сравнение между FDS версии 1 и экспериментов по вентиляции с положительным давлением в полномасштабную корпусе без огня. Предсказания модели из скорости были в пределах 10% до 20% от экспериментальных значений [38].</p>
<p>2.2.4 Wind Engineering</p>	<p>2.2.4 Расчет воздействий ветра</p>
<p>Most applications of FDS involve fires within buildings. However, it can be used to model thermal plumes in the open and wind impinging on the exterior of a building. Rehm, McGrattan, Baum and Simiu [39] used the LES solver to estimate surface pressures on simple rectangular blocks in a crosswind, and compared these estimates to experimental measurements. In a subsequent paper [40], they considered the qualitative effects of multiple buildings and trees on a wind field. A different approach to wind was taken by Wang and Joulain [41]. They considered a small fire in a wind tunnel 0.4 m wide and 0.7 m tall with flow speeds of 0.5 m/s to 2.5 m/s. Much of the comparison with experiment is qualitative, including flame shape, lean, length. They also use the model to determine the predominant modes of heat transfer for different operating conditions. To assess the combustion, they implemented an "eddy break-up" combustion model [42] and compared it to the mixture fraction approach used by FDS. The two models performed better or worse, depending on the operating conditions. Some of the weaknesses of the mixture fraction model as implemented in FDS version 2 were addressed in subsequent versions.</p>	<p>Большинство приложений FDS включать пожаров внутри зданий. Тем не менее, он может быть использован для моделирования тепловых перья в открытом и ветра падающего на внешний вид здания. Рем, McGrattan, Баум и Simiu [39] использовали решатель LES оценивать поверхностные давление на простых прямоугольных блоков в боковом ветре, и сравнили эти оценки в экспериментальных измерений. В последующей работе [40], по их мнению, качественные эффекты нескольких зданий и деревьев на поле ветра. Другой подход к ветру было размещено Ванг и Joulain [41]. Они считали, небольшой пожар в аэродинамической трубе шириной 0,4 м и 0,7 м в высоту со скоростью потока 0,5 м / с до 2,5 м / с. Большая часть сравнения с экспериментом качественно, в том числе формы пламени, худой, длины. Они также используют модель для определения преобладающих режимов теплообмена для различных условий эксплуатации. Для оценки горение, они реализовали " вихревых ломку» модель горения [42] и сравнил его с фракции подхода смеси, используемой FDS. Эти две модели выполнены лучше или хуже, в зависимости от условий эксплуатации. Некоторые из слабостей смеси фракции модели как реализованного в FDS версии 2, были рассмотрены в последующих версиях.</p>
<p>Chang and Meroney [43] compared the results of FDS with the commercial CFD package FLUENT in simulating the transport of pollutants from steady point sources in an idealized urban environment. FLUENT employs a variety of RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes)</p>	<p>Чанг и Meroney [43] сравнили результаты FDS с коммерческим CFD пакета FLUENT при моделировании переноса загрязняющих веществ от стационарных точечных источников в идеализированной городской среды. FLUENT</p>

<p>closure methods, whereas FDS employs large eddy simulation (LES). The results of the numerical models were compared with wind tunnel measurements within a 1:50 scale physical model of an urban street "canyon."</p>	<p>использует различные ПАЕН (Рейнольдс Среднемесячная Навье-Стокса) методы закрытия, в то время как FDS использует крупных вихрей (LES). Результаты численных моделей были сопоставлены с результатами измерений в аэродинамической трубе в пределах 1:50 масштаба физической модели городской улице «каньон».</p>
<p>2.2.5 Atmospheric Dispersion</p>	<p>2.2.5 Рассеяние в атмосфере</p>
<p>During the 1980s and 1990s, the Building and Fire Research Laboratory at NIST studied the burning of crude oil under the sponsorship of the US Minerals Management Service. The aim of the work was to assess the feasibility of using burning as a means to remove spilled oil from the sea surface. As part of the effort, Rehm and Baum developed a special application of the LES model called ALOFT. The model was a spin-off of the two-dimensional LES enclosure model, in which a three-dimensional steady-state plume was computed as a two-dimensional evolution of the lateral wind field generated by a large fire blown in a steady wind. The ALOFT model is based on large eddy simulation in that it attempts to resolve the relevant scales of a large, bent-over plume. Validation work was performed by simulating the plumes from several large experimental burns of crude oil in which aerial and ground sampling of smoke particulate was performed [44]. Yamada [45] performed a validation of the ALOFT model for 10 m oil tank fire. The results indicate that the prediction of the plume cross section 500 m from the fire agree well with the experimental observations.</p>	<p>В 1980-х и 1990-х годов научно-исследовательская лаборатория Строительство и Пожар на NIST изучали сжигание сырой нефти под спонсорской поддержке Служба управления минеральными ресурсами США. Цель работы заключалась в оценке возможности использования сжигание в качестве средства для удаления разлитой нефти с поверхности моря. В рамках усилий, Рем и Баум разработана специальная применение модели LES называемой ALOFT. Эта модель была спин-офф двумерной модели LES корпуса, в котором трехмерное стационарное шлейф была вычислена как двумерной эволюции поперечной поля ветра, генерируемого большой пожара раздувом в стационарном ветра. ALOFT модель основана на крупных вихрей в том, что он пытается разрешить соответствующие масштабы большой, согнутом шлейфа. Проверка работы были выполнены путем имитации перья из нескольких больших экспериментальных ожогов сырой нефти, в котором был выполнен воздушной и наземной выборки дыма частиц [44]. Ямада [45] провели проверку в ALOFT модели для масляного бака 10 м огня. Результаты показывают, что предсказание поперечного шлейф разделе 500 м от огня, хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями.</p>
<p>Mouilleau and Champassith [46] performed a validation study to assess the ability of FDS (version 4) to model atmospheric dispersion. They concluded that the best results were obtained for simulations done with explicitly-modeled wind fluctuations. Specific atmospheric flow characteristics were evaluated for passive releases in open and flat fields. The authors concluded that maximum downwind concentration were well-predicted, except for the case of unstable conditions where the model over-predicted the concentration, and that time-averaged "cloud shape" was well-predicted for stable atmospheric conditions, but less so for neutral and unstable conditions.</p>	<p>Мулле и Шампассит [46] провели исследование проверки для оценки способности FDS (версия 4) для моделирования атмосферной дисперсии. Они пришли к выводу, что наилучшие результаты были получены для моделирования совершенных с явно - моделируемых колебаний ветра. Конкретные характеристики атмосферных потоков были оценены для пассивных релизов в открытых и плоских областях. Авторы пришли к выводу, что максимальная по ветру концентрация были хорошо предсказал, для случая нестабильных условиях, где модель чрезмерной прогнозируемых концентрацию, и что усредненный по времени "облако форма " был хорошо прогнозируемых стабильных атмосферных условиях, кроме, но в меньшей степени для нейтральные и нестабильные условия.</p>
<p>2.2.6 Growing Fires</p>	<p>2.2.6 Растущие пожары</p>
<p>Vettori [47] modeled two different fire growth rates in an obstructed ceiling geometry. The rectangular compartment was 9.2 m by 5.6 m by 2.4 m with a hollow steel door to the outside that remained closed during the tests. An open wooden stairway led to an upper floor with the same dimensions as the fire compartment below. Wooden joists measuring 0.038 m by 0.24 m were spaced at 0.41 m intervals across the ceiling and were supported by a single steel beam that spanned the width of the room. A rectangular methane gas burner measuring 0.7 m by 1.0 m by 0.31 m was placed in the corner of the chamber. Slow and fast burning fires that reached 1055 kW in 600 s and 150 s, respectively, were monitored. Four vertical arrays of Type K thermocouples were used to measure temperatures during the tests. The FDS model used four grid refinements and</p>	<p>Веттори [47] смоделировал два различных темпа роста пожара в труднодоступной геометрии потолка. Прямоугольное помещение составляло 9,2 м на 5,6 м на 2,4 м с пустой стальной дверью, ведущей на улицу, которая была закрыта во время проведения испытаний. Открытая деревянная лестница вела на верхний этаж с теми же размерами, что и пожарный отсек ниже. Деревянные балки перекрытий, составляющие 0,038 м на 0,24 м, располагались с интервалом 0,41 м на потолке и опирались на стальную балку, проложенную по всей ширине комнаты. Прямоугольная метановая газовая горелка, составляющая 0,7 м на 1,0 м на 0,31 м была помещена в углу камеры. Медленные и быстрые горения пожары, которые достигли 1055 кВт в 600 с и 150 с соответственно, контролировались. Четыре</p>

<p>piecewise-linear grid spacing for each fire growth rate (slow and fast). For the fast growing fire, the predicted temperatures were within 20 % of the measured values and within 10 % for the slow growing fire. In general, finer grids produced better agreement.</p>	<p>вертикальных массивы термпары тип К были использованы для измерения температуры во время испытаний. Модель FDS используется четыре сетки уточнения и кусочно-линейное шаг сетки для каждой скорости роста пожарной (медленной и быстрой). Для быстро растущего огня, предсказанные температуры были в пределах 20% измеренных значений и в пределах 10% для медленно растущей огня. В общем, более мелкие сетки производится лучшее согласие.</p>
<p>In a follow-up report, Vettori [48] extended his study to include sloped ceilings, with and without obstructions. He found that the difference between predicted and measured sprinkler activation times varied between 4 % and 26 % for all cases studied. He also noted that FDS was able to predict the first activation of a sprinkler twice as far from the fire as another; caused presumably by the re-direction of smoke and heat by the beams on the ceiling.</p>	<p>В последующий отчет, Веттори [48] распространил свое исследование, чтобы включить скошенные потолки, с и без препятствий. Он обнаружил, что разница между прогнозируемым и измеренных времен активации спринклерной варьировала от 4% до 26 % для всех исследованных случаев. Он также отметил, что FDS был в состоянии предсказать первый активацию спринклера в два раза дальше от огня и другой; вызванного предположительно повторного направления дыма и тепла со стороны балки на потолке.</p>
<p>Floyd [49, 50] validated FDS by comparing the modeling results with measurements from fire tests at the Heiss-Dampf Reaktor (HDR) facility. The structure was originally the containment building for a nuclear power reactor in Germany. The cylindrical structure was 20 m in diameter and 50 m in height topped by a hemispherical dome 10 m in radius. The building was divided into eight levels. The total volume of the building was approximately 11,000 m³. From 1984 to 1991, four fire test series were performed within the HDR facility. The T51 test series consisted of eleven propane gas tests and three wood crib tests. To avoid permanently damaging the test facility, a special set of test rooms were constructed, consisting of a fire room with a narrow door, a long corridor wrapping around the reactor vessel shield wall, and a curtained area centered beneath a maintenance hatch. The fire room walls were lined with fire brick. The doorway and corridor walls had the same construction as the test chamber. Six gas burners were mounted in the fire room. The fuel source was propane gas mixed with 10 % air fed at a constant rate to one of the six burners.</p>	<p>Флойд [49, 50] подтверждено FDS путем сравнения результатов моделирования с измерениями от огневых испытаний на Реактор (HDR) объекта Хайс - Dampf. Структура изначально здание удержания для реактора атомной электростанции в Германии. Цилиндрическая конструкция была 20 м в диаметре и 50 м в высоту увенчанный полусферическим куполом 10 м в радиусе. Здание было разделено на восемь уровней. Общий объем здания был примерно 11000 м³. С 1984 по 1991, четыре пожара серии испытаний были выполнены в пределах объекта HDR. Тест серии T51 состоял из одиннадцати пропана испытаний газовых и трех испытаний древесины кровати. Чтобы избежать повреждения тестовый центр, специальный набор тестовых комнат были построены, состоящий из пожарной комнате с узкой дверью, длинный коридор обтекание корпуса реактора стену щитов, и занавешенный область с центром под технологический люк. В огонь Стены комнат были выложены огнеупорным кирпичом. Двери и коридор стены имели такую же конструкцию, как испытательной камере. Шесть газовых горелок были установлены в каминном зале. Источник топлива был пропан газ, смешанный с 10% воздуха, подаваемого с постоянной скоростью в одном из шести горелок.</p>
<p>The FDS model predicted the layer height and temperature of the space to within 10 % of the experimental values [49].</p>	<p>Модель FDS предсказал высоту слоя и температуры пространстве с точностью до 10 % от экспериментальных значений [49].</p>
<p>FDS predictions of fire growth and smoke movement in large spaces were presented by Kashef [51]. The experiments were conducted at the National Research Council Canada. The tests were performed in a compartment with dimensions of 9 m by 6 m by 5.5 m with 32 exhaust inlets and a single supply fan. A burner generated fires ranging in size from 15 kW to 1000 kW.</p>	<p>FDS прогнозы роста пожаров и движения дыма в больших помещениях были представлены Kashef [51]. Эксперименты проводились на Национальный исследовательский совет Канады. Испытания проводились в отсеке с размерами 9 м на 6 м на 5,5 м с 32 выходными отверстиями и одним приточным вентилятором. Горелка запустила пожары размером от 15 кВт до 1000 кВт.</p>
<p>2.2.7 Flame Spread</p>	<p>2.2.7 Распространения пламени</p>
<p>Although FDS simulations have been compared to actual and experimental large-scale fires, it is difficult to quantify the accuracy because of the uncertainty associated with material properties. Most quantified validation work associated with flame spread have been for small, laminar flames with length scales ranging from millimeters to a few centimeters.</p>	<p>Хотя моделирование FDS были по сравнению с фактическими и экспериментальными крупномасштабных пожаров, трудно оценить точность из-за неопределенности, связанной с материальными свойствами. Самые количественно работа проверка, связанная с распространением пламени были для малых, слоистых пламени с длинами в диапазоне от миллиметров до нескольких сантиметров.</p>

<p>For example, FDS (or its core algorithms) have been used at a grid resolution of roughly 1 mm to look at flames spreading over paper in a micro-gravity environment [52, 53, 54, 55, 56, 57], as well as “g-jitter” effects aboard spacecraft [58]. Simulations have been compared to experiments performed aboard the Space Shuttle. The flames are laminar and relatively simple in structure, and the materials are relatively well-characterized.</p>	<p>Например, FDS (или ее основные алгоритмы) были использованы при разрешении сетки из примерно 1 мм, чтобы посмотреть на пламя распространяется по бумаге в микрогравитации [52, 53, 54, 55, 56, 57], а также как «g-jitter» эффектов на борту космического аппарата [58]. Симуляторы были по сравнению с экспериментами, выполненными на борту космического корабля. Пламя ламинарный и относительно простым по конструкции и материалы являются относительно хорошо охарактеризованы.</p>
<p>The flame spread calculations from FDS were compared to the vertical flame spread over a 5 m slab of PMMA performed by Factory Mutual Research Corporation (FMRC). The predicted flame spread rate was within 0.3 m/s for any point in time during the analysis. The comparison at the quasi-steady burning rate once the full slab was burning shows that FDS over-estimated the burning rate [23, 24].</p>	<p>Распространение пламени расчеты из FDS сравнивались с распространением вертикальной пламени над 5 м плиты ПММА в исполнении Factory Mutual Research Corporation (FMRC). Прогнозируемое скорость распространения пламени был в пределах 0,3 м / с для любой момент времени в течение анализа. Сравнение в квази-постоянной скоростью горения сразу полным плита горела показывает, что FDS переоценить скорости горения [23, 24].</p>
<p>A charring model was implemented in FDS by Hostikka and McGrattan [59]. The model is a simplification of work done at NIST by Ritchie et al. [60]. The charring model was first used to predict the burning rate of a small wooden sample in the cone calorimeter. The results were more favorable for higher imposed heat fluxes. For low imposed fluxes, the heat transfer at the edge of the sample was more pronounced, and more difficult to model accurately. Full-scale room tests with wood paneling were modeled, but the results were judged to be grid-dependent. This was likely a consequence of the gas phase spatial resolution, rather than the solid phase. The authors concluded that it is difficult to predict the growth rate of a fire in a woodlined room without “tuning” the pyrolysis rate coefficients. For real wood products, it is unlikely that all of the necessary properties can be obtained easily. Thus, grid sensitivity and uncertain material properties make blind predictions of fire growth on real materials beyond the reach of the current version of the model. However, the model can still be used for a qualitative assessment of fire behavior as long as the uncertainty in the flame spread rate is recognized.</p>	<p>Модель обугливания был реализован в FDS по Hostikka и McGrattan [59]. Модель представляет собой упрощение работы сделано в NIST по Ричи и др. [60]. Обугливания модель впервые была использована для прогнозирования скорость горения небольшом деревянном образца в конусе калориметр. Результаты были более благоприятными для более высоких наложенных потоков, передача тепла на краю образца было более выраженным, и более трудно точно смоделировать. Натурные номер тесты с деревянными панелями были смоделированы, но результаты были признаны сетки зависит. Это, вероятно, является следствием газовой фазы пространственным разрешением, а не твердой фазе. Авторы пришли к выводу, что трудно предсказать темпы роста пожара в woodlined комнате без «настройки» коэффициентами ставок пиролиза. Для реальных изделий из древесины, маловероятно, что все необходимые свойства можно получить легко. Таким образом, чувствительность сетки и неопределенные свойства материала делают слепые предсказания роста огонь по реальным материалов вне досягаемости текущей версии модели. Тем не менее, модель по-прежнему можно использовать для качественной оценки поведения пожара, пока неопределенность в скорости распространения пламени признается.</p>
<p>Kwon et al. [61] performed three simulations to evaluate the capability of FDS, version 4, in predicting upward flame spread. The FDS predictions were compared with empirical correlations and experimental data for upward flame spread on a 5 m PMMA panel. A simplified flame spread model was also applied to assess the simulation results.</p>	<p>Квон и др. [61] выполняли три моделирования для оценки возможности FDS, версии 4, в прогнозировании распространения вверх пламени. Предсказания FDS сравнивались с эмпирическими корреляций и экспериментальных данных для восходящего распространения пламени на 5 м ПММА панели. Упрощенная модель распространения пламени была также применена для оценки результатов моделирования.</p>
<p>An extensive amount of flame spread validation work with FDS version 4 has been performed by Hietaniemi, Hostikka, and Vaari at VTT, Finland [33]. The case studies are comprised of fire experiments ranging in scale from the cone calorimeter (ISO 5660-1, 2002) to full-scale fire tests such as the room corner test (ISO 9705, 1993). Comparisons are also made between FDS 4 results and data obtained in the SBI (Single Burning Item) Euro-classification test apparatus (EN 13823, 2002) as well as data obtained in two ad hoc</p>	<p>Обширный объем распространения пламени проверки работы с FDS версии 4 была выполнена по Хьетаниеми, Хостикка и Ваари в VTT, Финляндия [33]. Тематические исследования состоят из пожарных экспериментов в диапазоне шкале от конуса калориметр (ISO 5660-1, 2002) к полномасштабным огневых испытаний, таких как испытания на углу комнаты (ISO 9705, 1993). Сравнения также между FDS 4 результатов и данных, полученных в ВОО (Одноместный Горящий предмет) Испытательное</p>

<p>experimental configurations: one is similar to the room corner test but has only partial linings and the other is a space to study fires in building cavities. In the study of upholstered furniture, the experimental configurations are the cone and furniture calorimeters, and the ISO room. For liquid pool fires, comparison is made to data obtained by numerous researchers. The burning materials include spruce timber, MDF (Medium Density Fiber) board, PVC wall carpet, upholstered furniture, cables with plastic sheathing, and heptane. The scope of the VTT work is considerable. Assessing the accuracy of the model must be done on a case by case basis. In some cases, predictions of the burning rate of the material were based solely on its fundamental properties, as in the heptane pool fire simulations. In other cases, some properties of the material are unknown, as in the spruce timber simulations. Thus, some of the simulations are true predictions, some are calibrations. The intent of the authors was to provide guidance to engineers using the model as to appropriate grid sizes and material properties. In many cases, the numerical grid was made fairly coarse to account for the fact that in practice, FDS is used to model large spaces of which the fuel may only comprise a small fraction.</p>	<p>оборудование Евро- классификации (EN 13823, 2002), а также данных, полученных в двух специальных экспериментальных конфигурациях: одна похожа на тесте углу комнаты но имеет только частичные прокладки, а другой является пространством для изучения пожаров в создании полости. При изучении мягкой мебели, экспериментальные конфигурации конус и мебель калориметры, и ISO комната. Для жидких пожаров бассейн, сравнение с данными, полученными многочисленными исследователями. Горящий материалы включают ель лес, МДФ (Medium Density Fiber) доска, ПВХ стены ковер, мягкая мебель, кабели с пластмассовой оболочкой, и гептан. Объем работы VTT является значительным. Оценка точности модели должно быть сделано на индивидуальной основе. В некоторых случаях, предсказания скорости горения материала были основаны исключительно на его основных свойств, как в огне моделирования гептан бассейн. В других случаях, некоторые свойства материала неизвестны, как и в Ель моделирования. Таким образом, некоторые из моделирования являются истинными предсказания, некоторые из них калибровки. Цель авторов была служить руководством для инженеров с использованием модели, чтобы соответствующих размеров сетки и свойств материала. Во многих случаях, расчетных сеток было сделано довольно грубыми, чтобы объяснить тот факт, что на практике, FDS используется для моделирования больших пространств, из которых топливо может содержать только малую часть.</p>
<p>2.2.8 Compartment Fires</p>	<p>2.2.8 Пожары в пожарных отсеках</p>
<p>As part of the NIST investigation of the World Trade Center fires and collapse, a series of large scale fire experiments were performed specifically to validate FDS [62]. The tests were performed in a rectangular compartment 7.2 m long by 3.6 m wide by 3.8 m tall. The fires were fueled by heptane for some tests and a heptane/toluene mixture for the others. The results of the experiments and simulations are included in detail in this Guide.</p>	<p>В рамках расследования NIST пожаров на Всемирный торговый центр и распада, серии крупномасштабных пожараЭксперименты проводились в частности, для проверки FDS [62]. Испытания проводились в прямоугольном отсеке 7,2 м в длину и 3,6 м в ширину и 3,8 м высотой. Пожары были подпитывается гептана для некоторых тестов и гептан / толуол для других. Результаты экспериментов и моделирования включены подробно в настоящем руководстве.</p>
<p>A second set of experiments to validate FDS for use in the World Trade Center investigation is documented in Ref. [63]. The experiments are not described as part of this Guide. The intent of these tests was to evaluate the ability of the model to simulate the growth of a fire burning three office workstations within a compartment of dimensions 11 m by 7 m by 4 m, open at one end to mimic the ventilation of windows similar to those in the WTC towers. Six tests were performed with various initial conditions exploring the effect of jet fuel spray and ceiling tiles covering the surface of the desks and carpet. Measurements were made of the heat release rate and compartment gas temperatures at four locations using vertical thermocouple arrays. Six different material samples were tested in the NIST cone calorimeter: desk, chair, paper, computer case, privacy panel, and carpet. Data for the carpet, desk and privacy panel were input directly into FDS, with the other three materials lumped together to form an idealized fuel type. Open burns of single workstations were used to calibrate the simplified fuel package. Details of the modeling are contained in Ref. [64].</p>	<p>Второй набор экспериментов для проверки FDS для использования в расследовании Всемирного торгового центра документируется в работе. [63]. Эксперименты не описаны в рамках этого руководства. Цель этих испытаний была оценка способности модели для имитации роста огонь, горящий три офисных рабочих станций в рамках отсеке размерами 11 м на 7 м на 4 м, открытый на одном конце, чтобы имитировать вентиляцию окна, похожий на те, в башнях ВТЦ. Шесть испытания проводились с различными начальными условиями исследовать эффект струи распыления топлива и потолочных плит, покрывающих поверхность столы и ковер. Измерения были сделаны из температур газа скорость тепловыделения и купейных в четырех местах, используя вертикальные массивы термопар.Шесть различных материальных образцы были испытаны в конусе калориметр NIST: стол, стул, бумага, случай компьютера, панель конфиденциальности, и ковер. Данные по ковровой, письменным столом и панелью конфиденциальности были введены непосредственно в FDS, с трех других материалов объединены, чтобы сформировать идеализированный тип топлива. Открытые ожоги отдельных рабочих станций были использованы для</p>

	калибровки упрощенную пакет топлива. Подробная информация о моделировании содержатся в статье. [64].
<p>The BRE Centre for Fire Safety Engineering at the University of Edinburgh conducted a series of largescale fire tests in a real high rise building in Dalmarnock, Glasgow, Scotland [65, 66]. The experiments took place in July, 2006, with the close collaboration of the Strathclyde Fire Brigade and other partners. These experiments attempted to create realistic scenario in which a wide range of modern fire safety engineering tools could be put to a test. Jahn, Rein and Torero assessed the sensitivity of FDS when applied to these experiments [67]. Fire size and location, convection, radiation and combustion parameters were varied in order to determine the associated degree of sensitivity. Emphasis was put in the prediction of secondary ignition and time to flashover. In this context and while keeping the HRR constant, simulations of fire growth were significantly sensitive to location of the heat release rate, fire area, flame radiative fraction, and material thermal and ignition properties.</p>	<p>BRE Центр пожарной безопасности инженерии в Университете Эдинбурга провели серию крупномасштабных испытаний пожарных в реальной высотного здания в Dalmarnock, Глазго, Шотландия [65, 66]. Эксперименты состоялись в июле 2006 года, в тесном сотрудничестве с пожарной бригады Стратклайд и другими партнерами. Эти эксперименты пытались создать реалистичный сценарий, в котором широкий спектр современных пожарной безопасности технических средств можно было бы поставить на испытания. Ян, Рейн и Тореро оценку чувствительности FDS при нанесении на этих экспериментов [67]. Площадь пожара и расположение, конвекция, излучение и параметры горения варьировались, чтобы определить соответствующую степень чувствительности. Особый акцент был сделан на предсказанию вторичной загорания и времени, чтобы перекрытия. В этом контексте и при сохранении постоянной HRR, моделирование роста пожарной были значительно чувствительны к месту нахождения скорости тепловыделения, зоны пожара, пламя радиационного фракции и материальных тепловых и загорания свойств.</p>
<p>Students at Stord/Haugesund University College in Norway simulated full-scale experiments of temperature and smoke spread in a realistic multi-room setting using both CFAST and FDS [68]. Data from the top 0.5 m of the compartments was compared with measurements. The simulations were found to provide satisfying results in CFAST, as an alternative to FDS.</p>	<p>Студенты в Сторд/Хаугесюнде Университетского колледжа в Норвегии моделируется полномасштабные эксперименты температуры и распространения дыма в реальных условиях многокомнатной использованием как CFast и FDS [68]. Данные из верхней 0,5 м из отсеков сравнивали с результатами измерений. Моделирование было установлено, обеспечивают удовлетворительные результаты в CFast, в качестве альтернативы FDS.</p>
<p>2.2.9 Sprinklers, Mist System, and Suppression by Water</p>	<p>2.2.9 Оросители, Туман система, и тушение воды</p>
<p>A significant validation effort for sprinkler activation and suppression was a project entitled the International Fire Sprinkler, Smoke and Heat Vent, Draft Curtain Fire Test Project organized by the National Fire Protection Research Foundation [69]. Thirty-nine large scale fire tests were conducted at Underwriters Laboratories in Northbrook, IL. The tests were aimed at evaluating the performance of various fire protection systems in large buildings with flat ceilings, like warehouses and "big box" retail stores. All the tests were conducted under a 30 m by 30 m adjustable-height platform in a 37 m by 37 m by 15 m high test bay. At the time, FDS had not been publicly released and was referred to as the Industrial Fire Simulator (IFS), but it was essentially the same as FDS version 1. The first series of heptane spray burner fires have been simulated with the latest version of FDS and are included in this Guide under the heading "UL/NFPRF Test Series." Most of the full-scale experiments performed during the project used a heptane spray burner to generate controlled fires of 1 MW to 10 MW. However, five experiments were performed with 6 m high racks containing the Factory Mutual Standard Plastic Commodity, or Group A Plastic. To model these fires, bench scale experiments were performed to characterize the burning behavior of the commodity, and larger test fires provided validation data with which to test the model predictions of the burning rate and flame spread behavior [70, 71]. Two to four tier</p>	<p>Значительные усилия проверка для активации спринклерной и пресечения был проект под названием Международный пожаротушения, дыма и тепла вентиляционных систем, Эскизный проект испытания своих занавес организована Национальным исследовательским противопожарной защиты Фонда [69]. Тридцать девять крупномасштабных огневые испытания были проведены в Underwriters Laboratories in Northbrook, Иллинойс. Испытания были направлены на оценку эффективности различных систем противопожарной защиты в больших зданиях с плоскими потолками, таких как склады и "большая коробка " розничных магазинах. Все тесты проводились под 30 м на 30 м с регулируемым по высоте платформы в 37 м на 37 м на 15 м в высоту испытательной площадке. В то время, FDS не выпущена в свет и был передан в качестве пожарного тренажера промышленной (IFS), но это было по существу то же самое, FDS версии 1. Первая серия пожаров с гептановыми распыляющими горелками были смоделированы с последней версией FDS и включены в настоящем руководстве под заголовком " UL / NFPRF серии испытаний. " Большинство натуральных экспериментов, проведенных в ходе реализации проекта использовали гептан спрей горелку для создания контролируемых пожаров 1 МВт до 10 МВт. Тем не менее, пять Эксперименты проводились с высотой 6 м стоек, содержащих Factory</p>

<p>configurations were evaluated. For the period of time prior to application of water, the simulated heat release rate was within 20 % of the experimental heat release rates. It should be noted that the model was very sensitive to the thermal parameters and the numerical grid when used to model the fire growth in the piled commodity tests.</p>	<p>Mutual стандартных пластиковых товар, или в группах пластиковой. Для моделирования этих пожаров, скамейка масштабные эксперименты проводились охарактеризовать характеристик горения товара, и больше испытаний пожары были получены данные проверки, с которыми для тестирования модели предсказания скорости горения и распространения пламени поведения [70, 71]. От двух до четырех конфигураций уровня были оценены. За период времени до применения воды, смоделированный скорость тепловыделения была в пределах 20% от экспериментальных скоростей тепловыделения. Следует отметить, что модель была очень чувствительны к тепловых параметров и численного сетки при используемых для моделирования роста пожара в сложных товарных испытаний.</p>
<p>High rack storage fires of pool chemicals were modeled by Olenick et al. [72] to determine the validity of sprinkler activation predictions of FDS. The model was compared to full-scale fires conducted in January, 2000 at Southwest Research Institute in San Antonio, Texas.</p>	<p>Высокая хранения стойки пожары химических веществ бассейн моделировались Olenick и др. [72] для определения действительности активации спринклерной предсказаний FDS. Эта модель была по сравнению с полномасштабным пожаров, проведенных в январе 2000 года в Юго-западного исследовательского института в Сан-Антонио, штат Техас.</p>
<p>FDS has been used to study the behavior of a fire undergoing suppression by a water mist system. Kim and Ryou [73, 74] compared FDS predictions to results of compartment fire tests with and without the application of a water mist. The cooling and oxygen dilution were predicted to within about 10 % of the measurements, but the simulations failed to predict the complete extinguishment of a hexane pool fire. The authors suggest that this is a result of the combustion model rather than the spray or droplet model.</p>	<p>FDS была использована для изучения поведения подавления огня, подвергаемого системой водяного тумана. Ким и Ре [73, 74] по сравнению FDS прогнозы результатам отсек огневых испытаний с и безПрименение водяной туман. Разбавление охлаждения и кислород были предсказаны с точностью около 10% измерений, а моделирование не смогли предсказать полное гашение гексанового бассейна пожара. Авторы полагают, что это является результатом модели сгорания, а не модели распыления или капель.</p>
<p>Another study of water mist suppression using FDS was conducted by Hume at the University of Canterbury, Christchurch, New Zealand [75]. Full-scale experiments were performed in which a fine water mist was combined with a displacement ventilation system to protect occupants and electrical equipment in the event of a fire. Simulations of these experiments with FDS showed qualitative agreement, but the version of the model used in the study (version 3) was not able to predict accurately the decrease in heat release rate of the fire.</p>	<p>Другое исследование подавления водяного тумана с использованием FDS был проведен Юма в Университете Кентербери, Крайстчерч, Новая Зеландия [75]. Натурные эксперименты проводились в котором штраф водяной туман был объединен с системой вентиляции смещения, чтобы защитить водителя и пассажиров и электрооборудование в случае пожара. Моделирование этих экспериментов с FDS показали качественное согласие, но версия модели, используемой в исследовании (версия 3) не смог точно предсказать снижение скорости тепловыделения огня.</p>
<p>Hostikka and McGrattan [76] evaluated the absorption of thermal radiation by water sprays. They considered two sets of experimental data and concluded that FDS has the ability to predict the attenuation of thermal radiation "when the hydrodynamic interaction between the droplets is weak." However, modeling interacting sprays would require a more costly coalescence model. They also note that the results of the model were sensitive to grid size, angular discretization, and droplet sampling. O'Grady and Novozhilov [77] compared the predictions of FDS version 4 against full-scale fire tests performed at SP Sweden involving a 1.5 MW steady-state fire with two different sprinkler flow rates [78].</p>	<p>Hostikka и McGrattan [76] оценивали поглощение теплового излучения от водяных струй. Они считали, два набора экспериментальных данных и пришли к выводу, что FDS имеет способность предсказывать ослабление теплового излучения, когда гидродинамическое взаимодействие между капель слаба. Тем не менее, моделирование взаимодействующих спреи потребует более дорогостоящего модель коалесценции. Они также отмечают, что результаты модели были чувствительны к размера сетки, угловой дискретизации, и отбора проб капель. О'Грейди и Новожиллов [77] сравнили предсказания FDS версии 4 против полномасштабных огневых испытаний, проведенных в SP Швеции с участием 1,5 МВт стационарное огонь с двух разных скоростях спринклерной потока [78].</p>
<p>The authors reported results for gas temperatures and the tangential flow velocity in the ceiling jet. With the</p>	<p>Авторы сообщили результаты для температур газа и скорости вдоль потока в струе потолка. С</p>

<p>sprinkler off, the average relative prediction error away from the fire was of the order of 12 % for the temperature (with respect to excess temperature in the ceiling jet) and 6 % for velocity. For the two different sprinkler operating conditions, the relative errors were 7 % to 8 % for velocity and 10 % to 15 % for the temperature. Sensitivity of the model to a range of input parameters was investigated. The model demonstrated moderate sensitivity to the spray parameters, such as spray cone configuration, initial droplet velocities, and droplet sizes. On the other hand, the sensitivity to other parameters such as sprinkler atomization length and rms of droplet size distribution was low.</p>	<p>спринклерной офф, средняя относительная ошибка прогноза от огня было порядка 12% для температуры (относительно превышения температуры в струе потолка) и 6% для скорости. Для двух различных условиях эксплуатации разбрызгиватель, относительные погрешности на 7% до 8% для скорости и от 10% до 15% от температуры. Результаты исследования чувствительности модели в диапазоне входных параметров. Модель демонстрирует, умеренную чувствительность к параметрам распыления, таких как конфигурации факела, начальных скоростей капель и размеров капли. С другой стороны, чувствительность к другим параметрам, таких как длина разбрызгиватель распыления и среднеквадратичного распределения капель по размеру был низким.</p>
<p>Xiao [79] compared FDS simulations with real scale compartment measurements for unsprinklered and sprinklered experiments. Numerical results for doorway mass flow rate and temperature are compared with the experimental data for three fire sizes.</p>	<p>Сяо [79] по сравнению FDS моделирования с реальными масштабных измерений отсек для unsprinklered и sprinklered экспериментов. Численные результаты для скорости и температуры дверей массового расхода сравниваются с экспериментальными данными для трех размеров пожарных.</p>
<p>2.2.11 Tunnel Fires</p>	<p>2.2.11 Пожары в туннелях</p>
<p>Cochard [82] used FDS to study the ventilation within a tunnel. He compared the model results with a fullscale tunnel fire experiment conducted as part of the Massachusetts Highway Department Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program. The test consisted of a single point supply of fresh air through a 28 m² opening in a 135 m tunnel. The ventilation was started 2 min after the ignition of a 40 MW fire. Fifteen temperature measurement trees were placed within the tunnel and replicated within the model. Depending on location, the difference between predicted and measured temperature rise ranged from 10 % to 20 %.</p>	<p>Cochard [82] используется FDS изучить вентиляции в туннеле. Он сравнил результаты модели с полномасштабной туннель пожарной эксперимента, проведенного в рамках программы Массачусетс шоссе отдела Мемориал Tunnel своих Вентиляция испытаний. Тест состоял из одного источника точки свежего воздуха через отверстие в 135 м тоннеля 28 м². Вентиляция была начата 2 мин после зажигания огня 40 МВт. Пятнадцать измерения температуры дерева были размещены внутри туннеля и воспроизведены в рамках модели. В зависимости от местоположения, разница между прогнозируемым и измеренного повышения температуры в диапазоне от 10% до 20%.</p>
<p>McGrattan and Hamins [83] also applied FDS to simulate two of the Memorial Tunnel Fire Tests as validation for the use of the model in studying an actual fire in the Howard Street Tunnel, Baltimore, Maryland, July 2001. The experiments chosen for the comparison were unventilated. One experiment was a 20 MW fire; the other a 50 MW fire. FDS predictions of peak near-ceiling temperatures were within 50 °C of the measured peak temperatures, which were 600 °C and 800 °C, respectively.</p>	<p>McGrattan и Hamins [83] также применяется FDS для имитации два из тестов Мемориал Туннель сжигания, так как проверки на использование модели в изучении фактического огонь в Говард -стрит тоннеля, Балтимор, Мэриленд, июле 2001 года. Эксперименты, выбранные для сравнения были непроветриваемых. Один эксперимент был огонь 20 МВт, а другой огонь 50 МВт. FDS предсказания пик вблизи потолка температурах были в пределах 50 °C измеренных пиковых температур, которые были 600 °C и 800 °C, соответственно.</p>
<p>Piergoirgio et al. [84] provided a qualitative analysis of FDS applied to a truck fire within a tunnel. The goal of their analysis was to describe the spread of the toxic gases within the tunnels, to determine the places not involved in the spreading of combustion products and to quantify the oxygen, carbon monoxide and hydrochloric acid concentrations during the fire.</p>	<p>Piergoirgio др. [84] при условии, качественный анализ FDS применяется к грузовика огня в туннеле. Цель их анализа было описать распространение токсичных газов в туннелях, для определения места не участвуют в распространении продуктов сгорания и для количественного определения кислорода, окиси углерода и концентрации соляной кислоты во время пожара.</p>
<p>Edwards et al. [85, 86] used FDS to determine the critical air velocity for smoke reversal in a tunnel as a function of the fire intensity, and his results compared favorably with experimental results. In a further study, Edwards and Hwang [87] applied FDS to study fire spread along combustibles in a ventilated mine entry. Analyses such as these are intended for planning and implementation of ventilation changes during mine fire fighting and rescue operations.</p>	<p>Эдвардс и др. [85, 86] используется FDS определить критическую скорость воздуха для дыма разворота в туннеле в зависимости от интенсивности пожара, и его результаты выгодно с экспериментальными результатами. В дальнейшем исследовании, Эдвардс и Хван [87] применяется FDS для изучения распространения огня вдоль горючих в проветриваемом вступлении шахты. Анализы, такие как они предназначены для планирования и</p>

	реализации изменений вентиляции во время горных пожаротушения и аварийно-спасательных работ.
Bilson et al. [88] used FDS to evaluate the interaction of a deluge system with a tunnel ventilation and smoke exhaust system.	Билсон и др. [88] используется FDS оценить взаимодействие системы потоп с туннельной вентиляции и курить выхлопную систему.
Harris [89] used FDS to determine the heat flux from a tunnel fire under varying water application rates. These results were qualitatively consistent with experimental results of Arvidson [90], who conducted burn tests for shielded and unshielded standard plastic commodities under a variety of spray conditions.	Харрис [89] используется FDS для определения теплового потока от пожара в туннеле под при различных нормах расхода воды. Эти результаты были качественно согласуется с экспериментальными результатами Arvidson [90], которые провели ожога тесты для экранированных и неэкранированных стандарт пластиковых товаров под различными условиями распыления.
Trelles and Mawhinney [91, 92] simulated with FDS 4 a series of full-scale fire suppression experiments conducted at the San Pedro de Anes test tunnel near Gijon, Asturias, Spain in February, 2006. The fuel consisted of wooden and polyethylene pallets, and the suppression system consisted of different configurations of water mist nozzles.	Trelles и Мауайнни [91, 92] моделируется с FDS 4 серия натуральных экспериментов пожаротушения проведены на испытательном тоннеле Сан-Педро -де- Анес ближайшее Хихон, Астурия, Испания в феврале 2006 года. Топливо состоит из деревянных и полиэтиленовых поддонов, а система подавления состоял из различных конфигураций воды аэрозольных сопел.
2.2.12 Smoke Detection	2.2.12 Обнаружение дыма
The ability of version 1 of FDS to accurately predict smoke detector activation was studied by D'Souza [93]. The smoke transport model within FDS was tested and compared with UL 217 test data. The second step in this research was to further validate the model with full-scale multi-compartment fire tests. The results indicated that FDS is capable of predicting smoke detector activation when used with smoke detector lag correlations that correct for the time delay associated with smoke having to penetrate the detector housing. A follow-up report by Roby et al. [94] and paper by Zhang et al. [95] describes the implementation and validation of the smoke detector algorithm currently incorporated in FDS.	Способность версии 1 FDS точно предсказать активацию детектор дыма изучали D'Souza [93]. Дым транспортная модель в FDS была протестирована и по сравнению с UL 217 тестовых данных. Второй шаг в этом исследовании был для дальнейшей проверки модели с натуральных испытаний с несколькими отделениями пожарной безопасности. Результаты показали, что FDS, способна предсказать активацию детектор дыма при использовании детектор дыма отставание корреляций, что правильное для времени задержки, связанной с дымом необходимости проникнуть в корпус извещателя. Следующий доклад по Роби и и др. [94] и бумаги Чжан и др. [95] описывает реализацию и проверку дыма алгоритма детектора в настоящее время включены в FDS.
Another study of smoke detector activation was carried out by Brammer at the University of Canterbury, New Zealand [96]. Two fire tests from a series performed in a two-story residence were simulated, and smoke detector activation times were predicted using three different methods. The methods consisted of either a temperature correlation, a time-lagged function of the optical density, or a thermal device much like a heat detector. The purpose was to identify ways to reliably predict smoke detector activation using typical model output like temperature and smoke concentration. It was remarked that simulating the early stage of the fire is critical to reliable prediction.	Другое исследование активации детектора дыма проводили Браммера в Университете Кентербери, Новая Зеландия [96]. Два огневых испытаний из серии, проведенного в двухэтажном жилья были смоделированы и время активации детектор дыма были предсказаны с использованием трех различных методов. Методы состоял из любой температуре корреляции, времени перелета зависимости от оптической плотности, или теплового устройства так же, как детектор тепла. Цель состояла в том, чтобы определить пути надежно предсказать активацию детектор дыма с использованием обычного модели следующий вывод температуры и концентрации дыма. Было отмечено, что имитации раннюю стадию пожара имеет решающее значение для надежного прогноза.
Cleary [97] also provided a comparison between FDS computed gas velocity, temperature and concentrations at various detector locations. The research concluded that multi-room fire simulations with the FDS model can accurately predict the conditions that a sensor might experience during a real fire event. The FDS model was able to predict the smoke and gas concentrations, heat, and flow velocities at various detector locations to within 15 % of measurements.	Cleary [97] также при условии сравнение между FDS, вычисленную скорость газа, температуру и концентрации в различных точках детектора. Исследование вывод, что многокомнатная пожарные расчеты с моделью FDS может точно предсказать условия, датчик может возникнуть во время реального события огня. Модель FDS был в состоянии предсказать дым и концентрации газа, тепла и скорости потока в различных местах детектора в пределах 15% от измерений.
2.2.13 Combustion Model	2.2.13 Модель горения
A few studies have been performed comparing direct numerical simulations (DNS) of a simple burner flame to	Несколько исследований были выполнены сравнения прямого численного моделирования (DNS) из

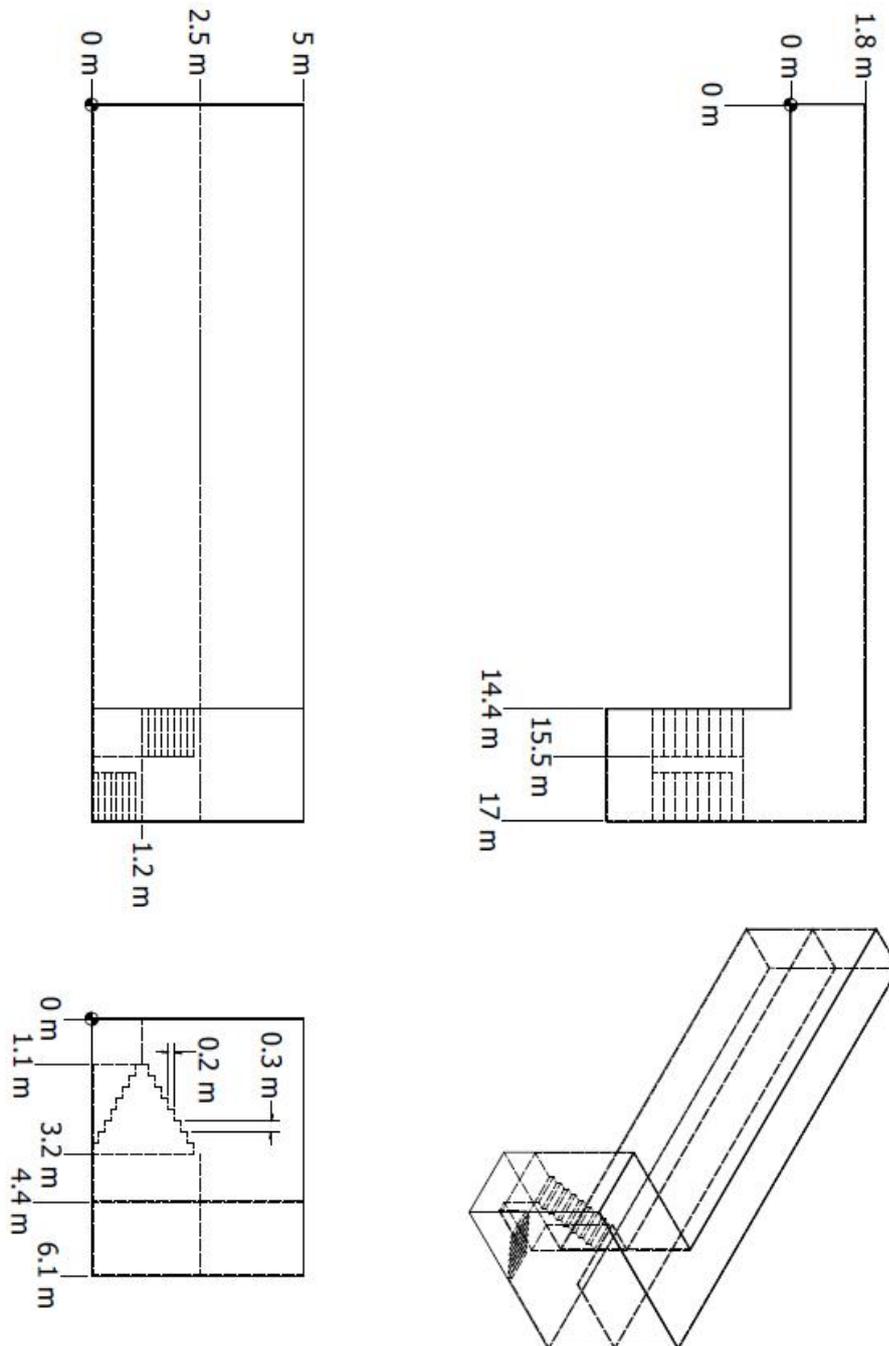
<p>laboratory experiments [98]. Another study compared DNS calculations of a counterflow diffusion flames to experimental measurements and the results of a one-dimensional multi-step kinetics model [99].</p>	<p>простого пламени горелки в лабораторных испытаниях [98]. Другое исследование по сравнению DNS расчеты противотоком диффузионного пламени для экспериментальных измерений и результатов одномерной модели многоступенчатые кинетики [99].</p>
<p>Bundy, Dillon and Hamins [100, 101] studied the use of FDS in providing data and correlations for fire investigators to support their investigations. A paraffin wax candle was placed within a 0.61 m by 0.61 m by 0.76 m plexi-glass enclosure. The chamber was raised 20 mm off the surface to reveal 44 uniformly spaced 6 mm diameter holes. The holes provided oxygen to the flame without subjecting the flame to a draft. A 150 mm hole was provided at the top of the enclosure to allow for the heat and combustion products to exit the space. The heat flux from the candle flame was modeled with FDS. The model provides a prediction of the heat flux of the candle at a height of 56 mm above the base of the flame with an accuracy of 5 %. The flux is under predicted by 16 % at 76 mm above the base of the flame. The remainder of the predictions show flux measurements were under-predicted by 15 % to 40 % of the measured values.</p>	<p>Банди, Диллон и Хейминс [100, 101] исследовали использование FDS в предоставлении данных и корреляции для пожарных следователей, чтобы поддержать их исследования. Парафин свечи был помещен в 0,61 м на 0,61 м на 0,76 м плексигласа корпуса. Камера была поднята на 20 мм от поверхности, чтобы выявить 44 равномерно расположенных отверстий диаметром 6 мм. Отверстия условия кислорода к пламени, не подвергая пламя к проекту. 150 мм отверстие было предусмотрено в верхней части шкафа, что позволяет для тепла и продуктов сгорания, чтобы выйти из пространства. Тепловой поток от пламени свечи была смоделирована с FDS. Модель обеспечивает прогнозирование теплового потока свечи на высоте 56 мм над основанием пламени с точностью до 5%. Флюс под предсказано на 16% на 76 мм выше основания пламени. Остальная часть предсказаний показать потока измерения были под - предсказывали на 15% до 40% от измеренных значений.</p>
<p>Floyd et al. [102, 50] compared the radiation model of FDS version 2 with full-scale data from the Virginia Tech Fire Research Laboratory (VTFRL). The test compartment was outfitted with equipment capable of taking temperature, air velocity, gas concentrations, unburned hydrocarbon and heat flux measurements. The test facility consisted of a single compartment geometrically similar to the ISO 9705 standard compartment with dimensions of 1.2 m by 1.8 m by 1.2 m in height. The ceiling and walls were constructed of fiberboard over a steel shell with a floor of concrete. Three baseline experiments were completed with fires ranging in size from 90 kW to 440 kW. Overall, FDS predicted the temperatures to within 15 % of the measured temperatures. The FDS velocity measurements followed the trend of the test data but did not replicate it. The outgoing velocities were under-predicted by 30 % to 40 % and the incoming velocities were over-predicted by 40 %. FDS predicted the heat flux gauge response to within 10 % of the measured values. The radiation model in FDS predicted the measured fluxes to within 15 %.</p>	<p>Флойд и др. [102, 50] по сравнению излучения модель FDS версии 2 с натурных данных из Tech пожарной исследовательской лаборатории Вирджиния (VTFRL). Тест отсек был оснащен оборудованием, способным принимать температуру, скорость движения воздуха, концентрации газа, несгоревшего углеводорода и измерения теплового потока. Испытательная установка состояла из одного отсека геометрически подобно стандартной отсека ISO 9705 с размерами 1,2 м на 1,8 м на 1,2 м в высоту. Потолок и стены были построены из ДВП над стальной оболочки с полом бетона. Три базовые эксперименты были завершены с пожарами в размере от 90 кВт до 440 кВт. В целом, FDS предсказал температуру с точностью до 15% от измеренных температур. Измерения скорости FDS следуют тенденции тестовых данных, но не копировать его. Исходящие скорости были под - предсказывали на 30% до 40%, а входящие скорости были слишком предсказал на 40%. FDS предсказал тепла калибра поток ответ на пределах 10% от измеренных значений. Излучение модель в FDS предсказал измеренные потоки в пределах 15%.</p>
<p>Xin and Gore [103] compared FDS predictions and measurements of the spectral radiation intensities of small fires. The fuel flow rates for methane and ethylene burners were selected so that the Froude numbers matched that of liquid toluene pool fires. The heat release rate was 4.2 kW for the methane flame and 3.4 kW for the ethylene flame. Line of sight spectral radiation intensities were measured at six downstream locations. The spectral radiation intensity calculations were performed by post-processing the transient scalar distributions provided by FDS.</p>	<p>Синь и Гор [103] по сравнению FDS прогнозы и измерения спектральных интенсивностей излучения небольших возгораний. Скорости потока топлива для метана и этилена горелок были выбраны таким образом, чтобы число Фруда соответствует что жидких пожаров толуол бассейн. Скорость выделения тепла составил 4,2 кВт для пламени метана и 3,4 кВт для этилена пламени. Прямой видимости спектральных интенсивностей излучения измерялись в шести последующих местах. Расчеты спектральные интенсивности излучения были выполнены после обработки переходных распределения скалярных предоставляемые FDS.</p>
<p>Zhang et al. [104] compared the experimental results of a circular methane gas burner to predictions computed by FDS. The compartment was 2.8 m by 2.8 m by 2.2 m high with natural ventilation from a standard door.</p>	<p>Чжан и др. [104] по сравнению экспериментальные результаты круговой метана газовой горелки с прогнозами, вычисленных FDS. Отсек был 2,8 м на 2,8 м на 2,2 м с естественной вентиляцией от</p>

	стандартной двери.
2.2.14 Soot Deposition	2.2.14 Отложение сажи
Several studies have been conducted that indicate soot deposition is an important factor in compartment fires for the accurate prediction of smoke concentrations, smoke detector activations, and visibility. Gottuk et al. [105] reported that smoke concentrations predicted by FDS near smoke alarms in a corridor were two to five times greater than measured smoke concentrations. Hamins et al. [106] conducted full-scale compartment fire experiments for use in validation studies of various fire models, including FDS. The results indicated that smoke concentrations predicted by FDS were up to five times greater than measured smoke concentrations. Floyd and McDermott [107] implemented thermophoretic and turbulent diffusion soot deposition mechanisms in FDS and compared predicted soot densities and concentrations to measurements from small- and large-scale experiments. Riahi [108] conducted bench-scale experiments to measure soot densities and soot deposition patterns on walls for various fuels. Riahi identified thermophoretic deposition as an important soot deposition mechanism in the hot gas layer. Cohan [109] used FDS to simulate select cases from the Gottuk [105] corridor tests, Hamins et al. [106] NRC experiments, and Riahi [108] hood experiments with thermophoretic and turbulent diffusion soot deposition mechanisms. Overholt and Ezekoye [110] implemented gravitational settling of soot in the gas-phase in FDS and quantified the effects of gravitational settling/deposition compared to thermophoretic and turbulent diffusion deposition for small- and large-scale validation cases.	Несколько исследований были проведены, которые указывают осаждения сажи является важным фактором в купейных пожаров для точного прогнозирования концентраций дыма, детектор дыма активаций, и видимость. Gottuk др. [105] сообщили, что концентрация дыма, предсказанные FDS рядом дыма в коридоре были два-пять раз больше, чем измеренных концентраций дыма. Hamins др. [106] провели полномасштабные отсека огонь эксперименты для использования в валидации исследований различных моделей пожарных, в том числе FDS. Результаты показали, что концентрации дыма, предсказанные FDS были в пять раз больше, чем измеренных концентраций дыма. Флойд и МакДермотт [107] реализованы термофоретическая и турбулентной диффузии механизмов осаждения сажи в FDS и по сравнению предсказанные плотности сажи и концентрации, чтобы измерений от малых и крупномасштабных экспериментов. Riahi [108] провели При лабораторных экспериментов для измерения плотности сажи и моделей осаждения сажи на стенах для различных видов топлива. Riahi определены термофоретическая осаждения в качестве важного механизма осаждения сажи в слое горячего газа. Кохан [109] используется FDS для имитации отдельных случаях от Gottuk [105] коридора тестов, Hamins и др. [106] CPH эксперименты, и Riahi [108] капот эксперименты с механизмами осаждения термофоретическая и турбулентная диффузия сажи. Оверхолт и Ezekoye [110] реализованы гравитационное оседание сажи в газовой фазе в FDS и количественно эффекты гравитационного отстаивания / осаждения по сравнению с термофоретического и турбулентной диффузии осаждения для малых и крупных случаях проверки.
2.3 Reconstructions of Actual Fires	2.3 Реконструкция реальных пожаров
ASTM E 1355 states that a model may be evaluated by comparing it with "Documented Fire Experience" which includes	ASTM E 1355 говорится, что модель может быть оценена путем сравнения его с «документированная пожарной опыт», который включает
<ul style="list-style-type: none"> • eyewitness accounts of real fires, • known behavior of materials in fires (for example, melting temperatures of materials), and • observed post-fire conditions, such as the extent of fire spread. 	<ul style="list-style-type: none"> • свидетельства очевидцев из реальных пожаров, • известно поведение материалов при пожарах (например, температуры плавления материалов) и • наблюдаемые условия послепожарные, такие как степень распространения огня.
Often the term "reconstruction" is applied to this type of simulation, because the model is used to reconstruct events based on evidence collected during and after the fire. The two most notable examples of fire reconstructions by NIST using FDS were the reconstructions of the fires within the World Trade Center towers and Building 7 on September 11, 2001 [64]; and the fire that occurred at the Station Nightclub in Rhode Island in February, 2003 [111]. Other examples of reconstructions by NIST staff are cited below.	Часто термин «реконструкция» применяется к этому типу моделирования, поскольку модель используется для восстановления событий на основе доказательств, собранных во время и после пожара. Два наиболее заметные примеры пожарных реконструкций по NIST использованием FDS были реконструкции пожаров внутри башни Всемирного торгового центра и здание 7 11 сентября 2001 года [64], и огонь, который произошел на станции в ночном клубе в Род-Айленде в феврале, 2003 [111]. Другие примеры реконструкций по персоналу NIST приведены ниже.
Dan Madrzykowski and Bob Vettori examined a fire in a townhouse in Washington, D.C., where two fire fighters were killed and one severely injured during the evening hours of May 30, 1999 [112]. Questions arose about the injuries the fire fighters had sustained, the lack of thermal damage in the living room where a fallen fire fighter was found and why the fire fighters never opened	Дэн Madrzykowski и Боб Веттори рассмотрены пожар в таунхаусе в Вашингтоне, округ Колумбия, где две пожарные были убиты и один тяжело ранены в вечерние часы от 30 мая 1999 года [112]. Вопросы возникли по поводу травм пожарные перенесли, отсутствие термического повреждения в гостиной, гдеупал пожарный был найден и почему пожарные не

<p>their hose lines to protect themselves or to extinguish the fire. To answer some of the questions, a rectangular volume of 10 m by 6 m by 5.1 m was divided into 76,500 cells in the FDS model. The FDS results that best replicated the observed fire behavior indicated that the opening of the basement sliding glass door provided oxygen to a pre-heated, under-ventilated fire. Flashover was estimated to occur in less than 60 s following the entry of fire fighters into the basement. The resulting fire gases flowed up the basement stairs and moved across the living room ceiling towards the back wall of the townhouse. These hot gases came in direct contact with the fire fighters who were killed. The hot gases traversed the townhouse in less than 2 s, giving the fire fighters little time to respond. The model showed that the oxygen level was too low to support flaming and, therefore, the fire fighters did not have a visual cue of the thermal conditions until it was too late. Results of the FDS study were shared with the D.C. fire department and have been made available via a multi-media CD-ROM to other fire departments across the country.</p>	<p>открыли свои шлангопроводов, чтобы защитить себя или для тушения пожара. Чтобы ответить на некоторые из вопросов, прямоугольную объем 10 м на 6 м на 5,1 м была разделена на 76 500 клеток в модели FDS. Результаты FDS, который наилучшим образом воспроизведены Наблюдаемое поведение пожара указано, что открытие скользящей стеклянной двери подвала условия кислород предварительно нагретой, под проветриваемом огня. Flashover, по оценкам, произойти менее чем за 60 с после вступления пожарных в подвале. Полученные пожарные газы текла вверх по подвальной лестнице и переехал по потолку гостиной к задней стенке таунхауса. Эти горячие газы пришел в непосредственном контакте с пожарных, которые были убиты. Горячие газы пересек таунхаус менее чем за 2 с, давая пожарных мало времениответить. Модель показала, что уровень кислорода была слишком низкой, чтобы поддержать пламенный и, следовательно, пожарные не было наглядное представление тепловых условиях, пока не стало слишком поздно. Результаты исследования FDS были совместно с пожарной службы постоянного тока и были доступны через CD-ROM мультимедийного других пожарных частей по всей стране.</p>
<p>Bob Vettori, Dan Madrzykowski, and Doug Walton simulated a fire in a Houston restaurant [113]. On the morning of February 14, 2000, a fire started in the office area of a fast food restaurant. Two fire fighters died when the roof collapsed. The FDS model was used to simulate the fire. The fuel was assumed to be the contents of a typical office, and the fire was assumed to have a slowly growing heat release rate peaking at 6 MW. Multiple vents were modeled and the time at which they opened replicated the fire fighters' actions after arrival. The model provided a visual representation of the fire during the initial phases until the collapse of the roof.</p>	<p>Боб Веттори, Дэн Madrzykowski, и Дуг Уолтон моделируется пожар в ресторане Хьюстон [113]. Утром 14 февраля 2000 года начался пожар в офисном районе ресторана быстрого питания. Два пожарных погибли, когда рухнул крыша. Модель FDS был использован для моделирования огонь. Топливный предполагалась содержимое типичного офиса, и огонь предполагалось иметь медленно растущий скорость тепловыделения с максимумом 6 МВт. Несколько отверстия были смоделированы и время, в которое они открыли воспроизведены действия пожарных "после прибытия. Модель не предусмотрено визуальное представление огня на начальных стадиях до обрушения кровли.</p>
<p>Dan Madrzykowski, Glenn Forney and DougWalton simulated a fire that killed three children and three fire fighters on the morning of December 22, 1999 in a two story duplex house in Iowa [114]. The fire started on top of a stove in a two-story residence. FDS was used to simulate the fire. The fuel packages consisted of several furniture items in the kitchen and living room with heat release rates reaching 5.2 MW. The model results indicated the critical event in the fire was flashover of the kitchen. The fire became a multi-room event after flashover with temperatures increasing to over 600 C. The hot gases spread quickly from the living room to the stairway on the second floor trapping the fire fighters.</p>	<p>Дэн Madrzykowski, Гленн Форни и DougWalton моделируется огонь, который убил троих детей и три пожарных на утро 22 декабря 1999 года в двухэтажном двухквартирных домов в Айове [114]. Пожар начался на вершине печи в двухэтажном жителя. FDS был использован для моделирования огонь. Топливные пакеты состоял из нескольких предметов мебели в кухне и гостиной с темпами тепловыделения идущими 5,2 МВт. Результаты моделирования показали критическое событие в огне был перекрытия из кухни. Огонь стал событием многокомнатная после перекрытия с температуры увеличивается до более чем 600 ° C. Горячие газы быстро распространился из гостиной к лестнице на второй этаж улавливания пожарных.</p>
<p>Dan Madrzykowski and DougWalton investigated the fire in the Cook County (Chicago) Administration Building in October, 2003, that claimed the lives of six people trapped in a stairwell [115]. Issues addressed by the model were the movement of the fire from its room of origin and the movement of smoke up the stairwell.</p>	<p>Дэн Madrzykowski и DougWalton исследовали огонь в округа Кук (Чикаго) Административное здание в октябре 2003 года, которая унесла жизни шести людей, запертых в подъезде [115]. Вопросы, рассмотренные модели были движение огня от его комнате происхождения и движение дыма вверх лестничная клетка.</p>
<p>Outside of NIST, FDS has been used to investigate many actual fires, but very few of these studies are documented in the literature. Exceptions include</p>	<p>Вне NIST, FDS была использована для расследования многие актуальные пожаров, но очень немногие из этих исследований описаны в литературе. Исключение составляют</p>
<ul style="list-style-type: none"> • A large fire in a "cash & carry" warehouse in the UK 	<ul style="list-style-type: none"> • Большая пожар в " наличными и нести" со склада в

was studied by Camp and Townsend using both hand calculations and FDS (version 1) [116].	Великобритании изучали с использованием как расчеты рук и FDS (версия 1) [116] на лагерь и Таунсенд.
<ul style="list-style-type: none"> • A study by Rein et al. [117] looked at several fire events using an analytical fire growth model, the NIST zone model CFAST, and FDS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Исследование, Рейн и соавт. [117] рассмотрели несколько пожаров с использованием аналитической модели пожарной роста, модели NIST зона CFAST и FDS.
<ul style="list-style-type: none"> • A similar study was performed several years earlier by Spearpoint et al. [118] as a class exercise at the University of Maryland. 	<ul style="list-style-type: none"> • Аналогичное исследование было проведено несколько лет назад на вершина шарошки и др. [118] как класс упражнения в Университете Мэриленда.
<ul style="list-style-type: none"> • During the SFPE Professional Development Week in the fall of 2001, a workshop was held in which several engineers related their experiences using FDS as a forensic tool [119]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Во время SFPE Недели профессионального развития в осенью 2001 года, был проведен семинар, в котором несколько инженеров, связанных с опытом использования FDS как судебный инструмент [119].
<ul style="list-style-type: none"> • The role of carbon monoxide in the deaths of three fire fighters was studied by Christensen and Icove [120]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Роль окиси углерода в гибели трех пожарных изучали Кристенсен и Icove [120].
Chapter 3. Description of Experiments	Глава 3. Описание экспериментов
This chapter contains a brief description of the experiments that were used for model validation. Only enough detail is included here to provide a general understanding of the model simulations. Anyone wishing to use the experimental measurements for validation ought to consult the cited test reports or other publications for a comprehensive description.	Эта глава содержит краткое описание экспериментов, которые были использованы для проверки моделей. Только достаточно подробно включен здесь, чтобы дать общее представление о модельных экспериментах. Все желающие использовать экспериментальные измерения для проверки должны проконсультироваться с цитируемые протоколы испытаний или другие издания, для всестороннего описания.
3.1 ArupFire Tunnel Fire Experiments	3.1 Опыты в туннелях ArupFire
Gabriele Vigne and Jimmy Jönsson of ArupFire conducted a series of fire experiments within a tunnel with a 50 m ² cross section. The tunnel is located in La Ribera del Folgoso, Spain. It is approximately 6.5 m high, 8 m wide and 300 m long. Five replicate tests were conducted using a 1 m by 2 m steel pan filled with heptane on water. Near-ceiling temperatures were measured 2 m, 4 m, 6 m and 8 m from the plume centerline. The peak heat release rate was approximately 5.3 MW.	Габриэле Вигне и Джимми Йонссон из ArupFire провели серию пожарных экспериментов в туннеле с поперечным сечением 50 м ² . Туннель находится в Ла Рибера дель Folgoso, Испания. Это примерно 6,5 м в высоту, 8 м в ширину и длиной 300 м. Пять повторных испытания проводились с использованием 1 м на 2 м стальной поддон, заполненный гептана на воде. Рядом с потолка температура измерялись 2 м, 4 м, 6 м и 8 м от факела центральной линии. Скорость высвобождения пик жара была примерно 5,3 МВт.
3.2 ATF Corridors Experiments	3.2 ATF Коридоры Эксперименты
A series of eighteen experiments were conducted in a two-story structure with long hallways and a connecting stairway in the large burn room of the ATF Fire Research Laboratory in Ammdendale, Maryland, in 2008 [121]. The test enclosure consisted of two 17.0 m long hallways connected by a stairway consisting of two staircases and an intermediary landing. There was a door at the opposite end of the first floor hallway, which was closed during all tests. The end of the second floor hallway was open with a soffit near the ceiling.	Серия из восемнадцати экспериментов были проведены в двухэтажном структуры с длинными коридорами и соединительной лестнице в большой ожоговой комнате пожарной исследовательской лаборатории АТФ в Ammdendale, штат Мэриленд, в 2008 году [121]. Тест корпус состоял из двух 17,0 м длинных коридоров, соединенных лестницей, состоящей из двух лестниц и посредника посадки. Был дверь на противоположном конце первого этажа коридор, который был закрыт во время всех испытаний. Конец второй этаже прихожая была открыта с перекрытия под потолком.
The walls and ceilings of the test structure were constructed of 1.2 cm gypsum wallboard. The flooring throughout the structure, including the stairwell landing floor, consisted of one layer of 1.3 cm thick cement board on one layer of 1.9 cm thick plywood supported by wood joists. The first set of stairs, which had eight risers, led from the first floor up to the landing area. The second set of stairs, which had nine risers, led from the landing area up to the second floor. The stairs were constructed of 2.5 cm thick clear pine lumber. The two set of stairs were separated by an approximately 0.42 m wide gap in the middle of the stairwell. This gap was separated from the stairs by a 0.91 m tall barrier constructed of a single piece of gypsum board. The flue space was open to the first floor. The flue space was separated from the second floor by a 0.9 m tall barrier	Стены и потолки в тестовой структуры были построены 1,2 см гипсокартона. Полы по всей структуре, в том числе подъезде посадка этаже, состоит из одного слоя толщиной 1,3 см цемента борту на одном слое толстой фанеры 1,9 см поддерживаемой деревянных брусьев. Первый набор лестницы, которые было восемь стояков, во главе с первого этажа до посадочной площадки. Второй набор лестницы, которые было девять стояки, во главе с посадочной площадки до второго этажа. Лестница были построены 2,5 см толщиной ясно сосна пиломатериалов. Два набора лестницы были разделены широкой щелью около 0,42 м в середине лестницы. Этот разрыв был отделен от лестницы на 0,91 м в высоту барьера, построенного из цельного куска гипсокартона. Дымовой пространство было

<p>constructed of gypsum board. There was a metal exterior type door at the end of the first floor near the burner. The door was closed during all experiments.</p>	<p>открыто на первый этаж. Дымовое пространство было отделено от второго этажа на 0,9 м высотой барьера, построенного из гипсокартона. Был одним из видов металла наружные двери в конце первом этаже около горелки. Дверь была закрыта в течение всех экспериментов.</p>
<p>The fire source was a natural gas diffusion burner. The burner surface was horizontal, square and 0.45 m on each side, its surface was 0.37 m above the floor, and it was filled with gravel. The burner was located near the end of the first floor away from the stairs. A diagram of the test structure is displayed in Figure 3.1.</p>	<p>Источник пожара был естественный Газодиффузионный горелки. Поверхность горелки была горизонтальной, квадратные и 0,45 м с каждой стороны, его поверхность была 0,37 м от пола, и это было заполнено гравия. Горелка была расположена ближе к концу первом этаже от лестницы. Схема тестовой структуры отображается на рисунке 3.1.</p>



<p>Figure 3.1: Geometry of the ATF Corridors Experiments.</p>	<p>Рис. 3.1: Геометрия экспериментов в коридорах ATF.</p>
<p>3.3 Beyler Hood Experiments</p>	<p>3.3 Эксперименты Бейлера под колпаком</p>

<p>Craig Beyler performed a large number of experiments involving a variety of fuels, fire sizes, burner diameters, and burner distances beneath a hood [122]. The hood consisted of concentric cylinders separated by an air gap. The inner cylinder was shorter than the outer and this allowed combustion products to be removed uniformly from the hood perimeter. The exhaust gases were then analyzed to determine species concentrations. The burner could be raised and lowered with respect to the bottom edge of the hood. Based on the published measurement uncertainties, species errors are estimated at 6 %. 148 tests were performed with measurements made in the exhaust duct. The fuels in those tests were as follows: 16 acetone, 11 ethanol, 13 isopropanol, 18 methanol, 51 propane, 28 propylene, and 11 toluene. Hood equivalence ratios varied from 0.2 to 1.7. A subset of 47 tests spanning the equivalence ratio range for each fuel was simulated for validation (5, 5, 5, 5, 15, 7, and 5 respectively for the fuels mentioned above).</p>	<p>Крейг Бейлер провел множество экспериментов с участием различных видов топлива, размерами пожара, диаметрами горелки и расстояниями до горелки под колпаком [122]. Колпак состоит из концентрических цилиндров, разделенных воздушной прослойкой. Внутренний цилиндр был короче, чем наружный и это позволило продуктам сгорания должны быть удалены из равномерно по периметру капота. Выхлопные газы затем анализировали для определения концентрации видов. Горелка может подниматься и опускаться по отношению к нижнему краю колпака. На основании опубликованных погрешностей измерений, ошибки видов оцениваются в 6%. 148 испытания были проведены с измерениями, проводимыми в выпускном канале. Топлива в этих испытаний были следующими: 16 ацетон, этанол, 11 13 изопропанол, метанол, 18 51 пропан, пропилен, 28 и 11 толуола. Hood отношения эквивалентности варьировала от 0,2 до 1,7. Подмножество из 47 тестов, охватывающих диапазон отношение эквивалентности для каждого вида топлива был смоделирован для проверки (5, 5, 5, 5, 15, 7 и 5 соответственно для топлив, упомянутых выше).</p>
<p>3.4 BRE Spray Test for Radiation Attenuation</p>	<p>3.4 BRE спрей тест для ослабления излучения</p>
<p>Murrel et al. [123] measured the attenuation of thermal radiation passing through a water spray using a heat flux gauge. The radiation was produced by a heat panel, one meter square, at 900 C. The horizontal distance from the radiation panel to the spray nozzle was 2 m and to the measurement point 4 m. The nozzles were positioned at a height 0.24 m above the panel upper edge. The heat flux gauge was positioned at the line passing through the center of the panel. The attenuation of radiation was defined as $(q_0 - q_s) = q_0$, where q_0 is the initial radiative heat flux, measured without a spray, and q_s is the heat flux measured during the spray operation.</p>	<p>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 ° C. 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 потоктепла был помещен на линии, проходящей через центр панели. Ослабление излучения был определен как $(q_0 - Q_s) = q_0$, где q_0 является начальный поток радиационного тепла, измеряется без спрея и Q_s является тепловой поток измеряется во время операции распыления.</p>
<p>Experimental results are used from three full-cone type nozzles, labeled A, B and D. The opening angles of the nozzles were between 90 and 108 degrees. The purpose of the simulation is to compare the measured and simulated attenuation of radiation at different flow conditions. The nozzles were specified in terms of median droplet size and mean vertical velocity using PDPA measurement in a single position, 0.7 m below the nozzle. The droplet boundary conditions were determined by assuming $dm \propto p^{1/3}$ and $v \propto p^{1/2}$ type of dependences between the droplet size, speed and pressure.</p>	<p>Экспериментальные результаты используются из трех сопел типа полный конус, обозначенные A, B 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 $dm \propto P^{1/3}$ и $V \propto P^{1/2}$ тип зависимостей между размером капли, скорости и давления.</p>
<p>3.5 Bryant Doorway Velocity Measurements</p>	<p>3.5 Измерения скорости движения в дверном проеме Брайанта</p>
<p>Rodney Bryant of the Fire Research Division at NIST performed a series of velocity measurements of the gas velocity within the doorway of a standard ISO 9705 compartment for fires ranging from 34 kW to 511 kW [124, 125, 126]. A doorway served as the only vent for the enclosure. It included a jamb of 30 cm extending outward to facilitate the laser measurements. The entire compartment was elevated 0.3 m off the floor of the laboratory.</p>	<p>Родни Брайант Научно-исследовательского отдела огонь по NIST провели серию измерений скоростей скорости газа в дверях стандартного ISO 9705 отсеке для пожаров, начиная с 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.</p>
<p>The measurements were made using both bi-directional probes and PIV (Particle Image Velocimetry). The PIV measurements only cover the lower two-thirds of the</p>	<p>Измерения проводились с использованием как двунаправленный зондов и PIV (Particle Velocimetry изображения). Измерения PIV охватывает только</p>

<p>doorway because of difficulties in seeding the hot outflow gases. The bi-directional probe measurements span the entire height of the doorway, but Bryant reports that these measurements were up to 20 % greater than the PIV measurements in certain regions of the flow. Consequently, only the PIV data was used for comparison to the model.</p>	<p>нижние две трети дверях из-за трудностей в посеве горячие отток газов. Двухнаправленный 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.</p>
<p>3.6 Cable Response to Live Fire – CAROLFIRE</p>	<p>3.6 Отклик кабеля на живой огонь - CAROLFIRE</p>
<p>CAROLFIRE was a project sponsored by the U.S. Nuclear Regulatory Commission to study the fire-induced thermal response and functional behavior of electrical cables [127]. The primary objective of CAROLFIRE was to characterize the various modes of electrical failure (e.g., hot shorts, shorts to ground) within bundles of power, control and instrument cables. A secondary objective of the project was to test a simple model to predict thermally-induced electrical failure (THIEF). The measurements used for these purposes were conducted at Sandia National Laboratories and are described in Volume II of the CAROLFIRE test report. In brief, there were two series of experiments. The first were conducted within a heated cylindrical enclosure known as the Penlight apparatus. Single and bundled cables were exposed to various heat fluxes and the electrical failure modes recorded. The second series of experiments involved cables within trays in a semienclosed space under which a gas-fueled burner created a hot layer to force cable failure.</p>	<p>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 оболочке, 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 кабеля.</p>
<p>Petra Andersson and Patrick Van Hees of the Swedish National Testing and Research Institute (SP) proposed that a cable's thermally-induced electrical failure can be predicted via a one-dimensional heat transfer calculation, under the assumption that the cable can be treated as a homogenous cylinder [128]. Their results for PVC cables were encouraging and suggested that the simplification of the analysis is reasonable and that it should extend to other types of cables. The assumptions underlying the THIEF model are as follows:</p>	<p>Петра Андерссон и Патрик Ван Hees НИИ шведского национального тестирования и (SP) предположил, что термически индуцированных электрическая неисправностькабеля 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:</p>
<p>1. The heat penetration into a cable of circular cross section is largely in the radial direction. This greatly simplifies the analysis, and it is also conservative because it is assumed that the cable is completely surrounded by the heat source.</p>	<p>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 источником тепла.</p>
<p>2. The cable is homogenous in composition. In reality, a cable is constructed of several different types of polymeric materials, cellulosic fillers, and a conducting metal, most often copper.</p>	<p>2. Кабель однородной по составу. В действительности, кабель изготовлен из нескольких различных типов полимерных материалов, целлюлозных наполнителей, и проводящего металла, чаще всего меди.</p>
<p>3. The thermal properties ρ, k, c_p, and ρ of the assumed homogenous cable are independent of temperature. In reality, both the thermal conductivity and specific heat of polymers are temperature-dependent, but this information is very difficult to obtain from manufacturers. More discussion of this assumption is found below.</p>	<p>3. Тепловая ρ и k проводимость, теплоемкость и плотность ρ из предполагаемой однородной кабеля 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.</p>
<p>4. It is assumed that no decomposition reactions occur within the cable during its heating, and ignition and burning are not considered in the model. In fact, thermoplastic cables melt, thermosets form a char layer, and both off-gas volatiles up to and beyond the point of</p>	<p>4. Предполагается, что никакие реакции разложения не происходит внутри кабеля при его нагреве, и воспламенение и горение не рассматриваются в модели. В самом деле, термопластичные кабели расплава, термореактивные образуют слаг слой, и</p>

electrical failure.	оба отходящих газов летучие до и после точки отказа электрооборудования.
5. Electrical failure occurs when the temperature just inside the cable jacket reaches an experimentally determined value.	5. Электрические сбой происходит, когда температура только внутри оболочки кабеля достигает экспериментально определенное значение.
Because the CAROLFIRE Penlight experiments tested single cables that were heated uniformly on all sides, the one-dimensional THIEF model accurately predicted the times for the temperature inside the cable jacket to reach "threshold" values that are typically observed when the cable fails electrically.	Поскольку эксперименты CAROLFIRE пальчиковые испытания одиночных кабелей, которые были нагреты равномерно со всех сторон, одномерная модель ВОР точно предсказал времена для температуры внутри оболочки кабеля для достижения "порогового" значения, которые обычно наблюдаются, когда кабель не удается электрически.
3.7 CSTB Tunnel Experiments	3.7 CSTB Tunnel Эксперименты
Between 2005 and 2008, the French building research laboratory, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) cooperated with the French Tunnel Study Center (CETU), the French National Centre for Scientific Research (CNRS, Institut PPRIME) and the French Directorate for Civil Security (DSC) to conduct fire experiments in a tunnel, some of which involved a water mist system [129]. The first aim was to improve the understanding of the interaction between water mist and a tunnel fire. The second was to develop a database for model validation. A one-third scale was selected with the objective of studying realistic fire phenomena in an affordable way. Twenty-eight experiments were conducted (20 with and 8 without water mist) with varying fuels (heptane pool, wood crib and wood pallet), longitudinal velocities (with and without back layering), and obstructions near the fire.	Между 2005 и 2008 году французский здание научно-исследовательская лаборатория, Научно-технический центр 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.
The tunnel was 43 m long, with a semi-circular cross section whose area was approximately 4 m ² . The walls were covered by a fire resistant mortar cement with well known thermal properties. The floor was made of concrete. A fan was mounted at the downstream side of the tunnel. Measurements were made of the following: fuel mass, gas temperature, air velocity, radiative heat flux and gas concentration (CO, CO ₂ and O ₂). Sensors were located at 11 longitudinal positions.	Туннель был длинный 43 м, с полукруглым сечением, площадь была примерно 4 м ² . 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 (СО, СО ₂ и О ₂). Датчики были расположены в 11 продольных позиций.
Tests 2 and 27 have been selected because neither exhibited back layering. The longitudinal velocity in Test 2 was approximately 2.2 m/s and in Test 27 it was 3.1 m/s. Both experiments involved a 0.5 m ² area heptane pool. In Test 2, the HRR was deduced from the fuel mass loss rate only. In Test 27, the HRR was deduced from both the mass loss rate and from oxygen consumption calorimetry.	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 м ² . В Test 2, HRR была выведена только из скорости потери массы топлива. В тесте 27, HRR была выведена как из скорости потери массы и от потребления кислорода калориметрии.
In Test 27, a water mist system was manually activated 300 s after ignition. The water mist system was composed of six nozzles along the centerline of the tunnel, from 4 m upstream to 3.5 m downstream of the fire, 1.5 m apart. The operating pressure was approximately 90 bar. The water flow rate injected at each nozzle was close to 5.5 L/min, corresponding to a total mist discharge rate of approximately 33 L/min. Test 27 is interesting because it involved a very low water injection rate. The main consequence is that the HRR actually increased slightly after the nozzles were activated, and the fire did not extinguish. The experiment stopped when the fuel was exhausted. This allowed for an assessment of the model's ability to predict the gas cooling.	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 вводят 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 HRR деле немного возросла после сопла были активированы, и огонь не потушить. Эксперимент прекращали, когда топливо был исчерпан. Это позволило провести оценку способности модели для прогнозирования охлаждающего газа.

<p>3.8 Cup Burner Experiments</p> <p>The cup-burner is a widely used experimental apparatus for studying flame extinguishment. The test is designed to determine the effectiveness of various. Typically, these experiments feature a steady fuel-air coflow diffusion flame that is seated on the cup. The extinguishing agent is gradually introduced into the air stream to determine the minimum concentration of the agent that leads to extinction. Two experimental data sets are examined: methane (CH₄) - air coflow [130] and n-heptane (C₇H₁₆) - air coflow [131]. The extinguishing agents of interest are argon (Ar), carbon dioxide (CO₂), helium (He), and nitrogen (N₂).</p>	<p>3.8 Испытания с чашечной горелкой</p> <p>Чашечная горелка широко используется в экспериментальных установках для исследования тушения пламени. Испытание предназначено для определения эффективности различных огнегасящих агентов. Как правило, эти эксперименты имеют устойчивую топливно-воздушной софлов диффузионного пламени, что сидит на чашку. Огнетушащий постепенно вводят в поток воздуха, чтобы определить минимальную концентрацию агента, что приводит к вымиранию. Два экспериментальных набора данных рассматриваются: метан (CH₄) - воздух софлов [130] и н-гептан (C₇H₁₆) - воздух софлов [131]. Огнетушащие интересные аргон (Ar), диоксид углерода (CO₂), гелий (He), и азот (N₂).</p>
<p>3.9 FAA Cargo Compartments</p> <p>The U.S. Federal Aviation Administration (FAA) has sponsored experiments and modeling of smoke transport within aircraft storage compartments [132, 133]. Two types of compartments were used; one from a Boeing 707 and one from a McDonnell Douglas DC-10. The 707 compartment was 6.7 m in length, 3.2 m in width, and 1.4 m in height. The DC-10 compartment was 14 m in length, 4.4 m in width, and 1.7 m in height. The fire for all experiments was fueled by a 0.1 m by 0.1 m tray of plastic resin producing a peak HRR of 5 kW [134]. The long walls of the compartments were barrel-shaped to conform to the shape of the aircraft fuselage. The fire was placed in different locations, and measurements of gas and ceiling temperature, heat flux, gas concentration, and smoke obscuration were made at a variety of locations, mostly near the ceiling.</p>	<p>3.9 FAA грузовых отсеков</p> <p>Федеральная авиационная администрация США (FAA) спонсировала эксперименты и моделирование дыма транспорта в отделениях для хранения самолетов [132, 133]. Были использованы два типа отсеков, один из Boeing 707 и один из McDonnell Douglas DC-10. 707 отсека 6,7 м в длину, 3,2 м в ширину и 1,4 м в высоту. DC-10 Отсек составила 14 м в длину, 4,4 м в ширину и 1,7 м в высоту. Огонь для всех экспериментов был вызван 0,1 м на 0,1 м подносом пластиковые смолы производства пиковую HRR 5 кВт [134]. Длинные стенки отсеков были бочкообразные, чтобы соответствовать форме фюзеляжа летательного аппарата. Огонь был помещен в разных местах, и измерения температуры газа и потолка, теплового потока, концентрации газа и дыма затемнения были сделаны в различных местах, в основном под потолком.</p>
<p>3.10 FAA Polymers</p> <p>As part of their efforts to characterize the burning behavior of commonly used plastics, the U.S. Federal Aviation Administration (FAA) conducted measurements of the thermal properties of charring and noncharring polymers with the specific purpose of providing input data for numerical pyrolysis models [135, 136]. The study aimed to determine whether a one-dimensional conduction/reaction model could be used as a practical tool for prediction and/or extrapolation of the results of fire calorimetry tests. The non-charring polymers included poly(methyl methacrylate) (PMMA), high-impact polystyrene (HIPS), and high density polyethylene (HDPE). The charring polymers included polycarbonate (PC) and polyvinyl chloride (PVC).</p>	<p>3.10 Полимеры FAA</p> <p>В рамках своих усилий по характеризуют характеристик горения, обычно используемых пластмасс, Федеральная авиационная администрация США (FAA) провели измерения тепловых свойств обугливание и noncharring 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) (PMMA), ударопрочного полистирола (HIPS) и полиэтилена высокой плотности (HDPE). Обугливание полимеры включали поликарбонат (ПК) и поливинилхлорид (ПВХ).</p>
<p>3.11 Fleury Heat Flux Measurements</p> <p>Rob Fleury, a masters degree student at the University of Canterbury in Christchurch, New Zealand, measured the heat flux from a variety of propane fires [137]. The objective of the work was to evaluate a variety of empirical heat flux calculation methods. For the measurements, heat flux gauges were mounted on moveable dollies that were placed in front of, and to the side of, burners with dimensions of 0.3 m by 0.3 m (1:1 burner), 0.6 m by 0.3 m (2:1 burner), and 0.9 m by 0.3 m (3:1 burner). The heat release rates were set to 100 kW, 150 kW, 200 kW, 250 kW, and 300 kW. The gauges were mounted at heights of 0 m, 0.5 m, 1.0 m, and 1.5 m relative to the top edge of the burner.</p>	<p>3.11 Измерения теплового потока Флери</p> <p>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 теплового потока. 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</p>

	0 м, 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и относительно верхнего края горелки.
3.12 FM Parallel Panel Experiments	3.12 Эксперименты с Параллельными панелями FM
Patricia Beaulieu made heat flux measurements within a set of vertical parallel panels as part of a cooperative research program between Worcester Polytechnic Institute and FM Global (Factory Mutual) [138]. The experimental apparatus consisted of two vertical parallel panels, 2.4 m high and 0.6 m wide, with a sand burner at the base. The objective of the project was to measure the flame spread rate over various composite wall lining materials, but there were also experiments conducted with inert walls for the purpose of measuring the heat flux from two fuels, propane and propylene, at heat release rates of 30 kW, 60 kW, and 100 kW.	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.
3.13 FM/SNL Test Series	3.13 Серия испытаний FM/SNL
The Factory Mutual and Sandia National Laboratories (FM/SNL) test series consists of 25 compartment fire experiments conducted in 1985 for the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) by Factory Mutual Research Corporation (FMRC), under the direction of Sandia National Laboratories (SNL) [139, 140]. The primary purpose of these experiments was to provide data with which to validate computer models for various types of compartments typical of nuclear power plants. The experiments were conducted in an enclosure measuring approximately 18 m long by 12 m wide by 6 m high, constructed at the FMRC fire test facility in Rhode Island. A drawing is included in Figure 3.2. All of the experiments included forced ventilation to simulate typical power plant conditions. Six of the experiments were conducted with a fullscale control room mock-up in place. Parameters varied during the experiments included fire intensity, enclosure ventilation rate, and fire location. The current guide uses data from nineteen experiments (Tests 1-17, 21, and 22). In these tests, propylene gas burners, heptane pools, and methanol pools were used as fire sources. Table 3.1 lists the test parameters.	Factory Mutual и Sandia National Laboratories (FM/SNL) серии испытаний состоит из 25 купейных экспериментов пожарных, проведенных в 1985 году для Комиссии по ядерному регулированию США (NRC) по Factory Mutual Research Corporation (FMRC), под руководством Sandia National Laboratories (SNL) [139, 140]. Основная цель этих экспериментов заключалась в предоставлении данных, с которыми для проверки компьютерных моделей для различных типов отсеков, характерных для атомных электростанций. Эксперименты проводились в корпусе размером примерно 18 м в длину и 12 м в ширину и 6 м в высоту, построенных на FMRC пожарной испытательной станции в Род-Айленде. Рисунок показана на рисунке 3.2. Все эксперименты включали принудительную вентиляцию для имитации типичных условий питания растений. Шесть из экспериментов были проведены с полномасштабной диспетчерской макета на месте. Параметры менялись в ходе экспериментов включала интенсивность огня, интенсивности вентиляции корпуса, и огонь местоположение. Нынешний руководство использует данные из девятнадцати экспериментов (тесты 1-17, 21 и 22). В ходе этих испытаний, пропилен газовые горелки, гептан бассейны, и бассейны метанола были использованы в качестве пожарнойисточников. Таблица 3.1 перечислены параметры испытаний.
The following information was provided by the test director, Steve Nowlen of Sandia National Laboratory. In particular, Tests 4, 5, and 21 were given extra attention.	Следующая информация была предоставлена испытательного директора, Стив Nowlen из Sandia National Laboratory. В частности, тесты 4, 5, и 21 получили дополнительное внимание.
Heat Release Rate: The HRR was determined using oxygen consumption calorimetry in the exhaust stack with a correction applied for the carbon dioxide in the upper layer of the compartment. The uncertainty of the fuel mass flow was not documented. Several tests selected for this study had the same target peak heat release rate of 516 kW following a 4 min "t-squared" growth profile. The test report contains time histories of the measured HRR, for which the average, sustained HRR following the ramp up for Tests 4, 5, and 21 have been estimated as 510 kW, 480 kW, and 470 kW, respectively. Once reached, the peak HRR was maintained essentially constant during a steady-burn period of 6 min in Tests 4 and 5, and 16 min in Test 21. Note that in Test 21, Nowlen reports a "significant" loss of effluent from the exhaust hood that could lead to an	Скорость выделения тепла: HRR была определена с использованием потребление кислорода калориметрии в выхлопной трубы с коррекции применяется для диоксида углерода в верхнем слое отсека. Неопределенность расхода топлива массового не было описано. Несколько тестов, выбранные для этого исследования было то же самое пиковую скорость выделения тепла целевой из 516 кВт следующие 4 мин "т-квадрат" профиль в рост. Протокол испытаний содержит временных диаграмм измеряемого ПЧР, для которых средняя, устойчивого HRR после нарастить испытаний 4, 5, и 21 были оценены как 510 кВт, 480 кВт, и 470 кВт соответственно. После того, как достигнуто, то пик HRR поддерживалась по существу постоянной в течение стационарного периода ожоговой 6 мин в

under-estimate of the HRR towards the end of the experiment.		тестах 4 и 5 и 16 мин в тесте 21. Обратите внимание, что в тесте 21, Nowlen сообщает "значительное" потерю стоков от вытяжкой, что может привести к недостаточному оценки ПЧР к концу эксперимента.					
Radiative Fraction: The radiative fraction was not measured during the experiment, but in this study it is assumed to equal 0.35, which is typical for a smoky hydrocarbons. It was further assumed that the radiative fraction was about the same in Test 21 as the other tests, as fuel burning must have occurred outside of the electrical cabinet in which the burner was placed.		Радиационное Фракция: Радиационное фракция не измерялась во время эксперимента, но в данном исследовании предполагается, на равную 0,35, что характерно для дымный углеводородов. Кроме того, было предположить, что радиационное доля была примерно такой же в тесте 21 как и другие тесты, как сжигание топлива должно было произойти за пределами электрическом шкафу, в котором горелка была помещена.					
Measurements: Four types of measurements were conducted during the FM/SNL test series that are used in the current model evaluation study, including the HGL temperature and depth, and the ceiling jet and plume temperatures. Aspirated thermocouples (TCs) were used to make all of the temperature measurements. Generally, aspirated TC measurements are preferable to bare-bead TC measurements, as systematic radiative exchange measurement error is reduced.		Измерения: были проведены четыре типа измерений во время серии испытаний FM / SNL, которые используются в данном исследовании оценки модели, в том числе температуры HGL и глубине, и струи потолка и температурах шлейфа:. Атмосферный термодары (ТК), были использованы, чтобы сделать все измерения температуры. Как правило, атмосферные измерения TC предпочтительнее измерения TC, чтобы обнажить - шарик, как систематическое радиационного ошибка обмен измерения снижается.					
HGL Depth and Temperature: Data from all of the vertical TC trees were used when reducing the HGL height and temperature. For the majority of the tests, Sectors 1, 2, and 3 were used, all weighted evenly. For Tests 21 and 22, Sectors 1 and 3 were used, evenly weighted. Sector 2 was partially within the fire plume.		Глубина и температура HGL: Данные из всех вертикальных деревьев TC были использованы при снижении высоты HGL и температуру. Для большинства испытаний, секторах 1, 2 и 3 были использованы, все взвешенные равномерно. Для испытаний 21 и 22, секторов 1 и 3 были использованы, равномерно взвешенной. Сектор 2 был частично внутри пожарного шлейфа.					
Table 3.1: Summary of FM/SNL Experiments.		Таблица 3.1: Итоги экспериментов FM/SNL.					
Test No.	Fuel Type	Nominal Peak HRR (kW)	Fire Position	Ventilation Rate (ach)	Room Configuration	Used in Guide?	
1	Propylene Burner	516	Center	10	Empty	Yes	
2	Propylene Burner	516	Center	10	Empty	Yes	
3	Propylene Burner	2000	Center	10	Empty	Yes	
4	Propylene Burner	516	Center	1	Empty	Yes	
5	Propylene Burner	516	Center	10	Empty	Yes	
6	Heptane Pool	500	Wall	1	Empty	Yes	
7	Propylene Burner	516	Center	1	Empty	Yes	
8	Propylene Burner	1000	Center	1	Empty	Yes	
9	Propylene Burner	1000	Center	8	Empty	Yes	
10	Heptane Pool	1000	Wall	4.4	Empty	Yes	
11	Methanol Pool	500	Wall	4.4	Empty	Yes	
12	Heptane Pool	2000	Wall	4.4	Empty	Yes	
13	Heptane Pool	2000	Wall	8	Empty	Yes	
14	Methanol Pool	500	Wall	1	Empty	Yes	
15	Heptane Pool	1000	Wall	1	Empty	Yes	
16	Heptane Pool	500	Corner	1	Empty	Yes	
17	Heptane Pool	500	Corner	10	Empty	No	
18	PMMA Slab	1000	Wall	1	Empty	No	
19	Heptane Pool	1000	Center	1	Furnished	No	
20	Heptane Pool	1000	Corner	1	Furnished	No	
21	Propylene Burner	500	Cabinet	1	Furnished	Yes	
22	Propylene Burner	1000	Cabinet	1	Furnished	Yes	
23	Qualified Cable	N/A	Cabinet	1	Furnished	No	
24	Unqualified Cable	N/A	Cabinet	1	Furnished	No	
25	Unqualified Cable	N/A	Cabinet	8	Furnished	No	

№ Исп.	Тип горючего материала	Номинальное пик HRR (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

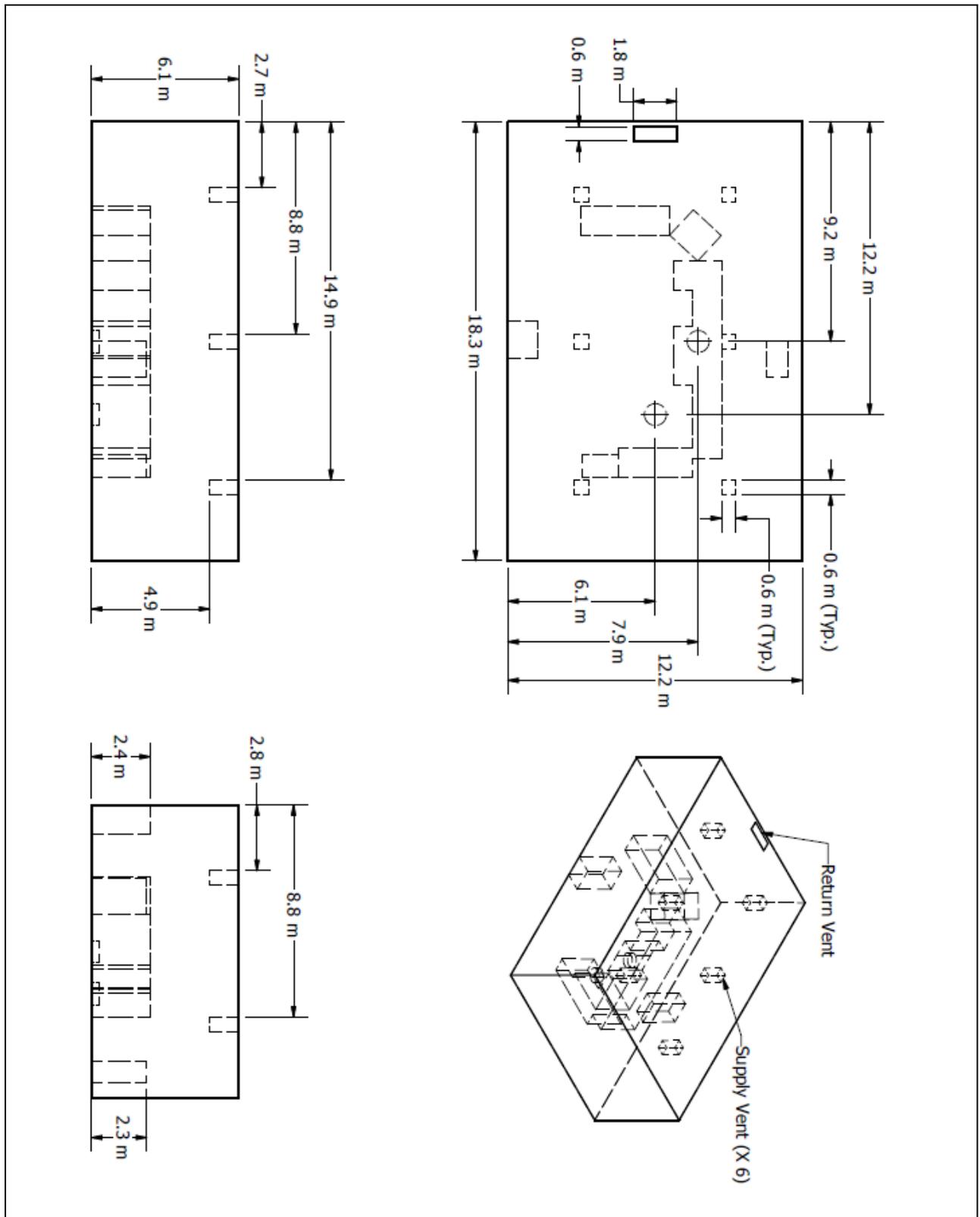


Figure 3.2: Geometry of the FM/SNL Experiments.

Рис. 3.2: Геометрия экспериментов FM/SNL.

3.14 Hamins Methane Burner Experiments

3.14 Эксперименты Хэминса с горелкой с метаном

Anthony Hamins et al. performed a series of tests on circular gas burners measuring the radial and vertical radiative heat flux profiles outside the flame region. The tests are described in [32]. Tests at three burner diameters, 0.10 m, 0.38 m and 1.0 m are used for validation.

Энтони Хэминс и др. провели серию испытаний на круговых газовых горелках, измеряющих радиальные и вертикальные радиационных профили теплового потока за пределами региона пламени. Испытания описаны в [32]. Испытания на трех диаметров горелки, 0,10 м, 0,38 м и 1,0 м используются для проверки.

3.15 Harrison Spill Plumes

3.15 Струи разлива Харрисона

Roger Harrison, a student at the University of Canterbury, New Zealand, performed a series of one-tenth scale experiments to characterize thermal spill plume entrainment [141, 142, 143, 144]. The dimensions of the fire compartment were 1 m by 1 m by 0.5 m high. The height of the compartment opening was equal to the height of the compartment. The width of the opening was varied from 0.2 m to 1 m. A 0.3 m balcony was attached to the top of the compartment opening. The balcony extended 0.5 m beyond each side of the fire compartment. The heat release rate of the fire varied from 5 kW to 15 kW. The plume entrainment rate was measured at different heights by varying the exhaust rate of gases from a hood above the compartment. Two different test configurations were used to model both detached and adhered spill plumes. A diagram of the test structure is displayed in Figure 3.3.

Роджер Харрисон, студент в университете Кентерберри, 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 прилипшие перья разлива. План структуры испытания представлен на Рис. 3.3.

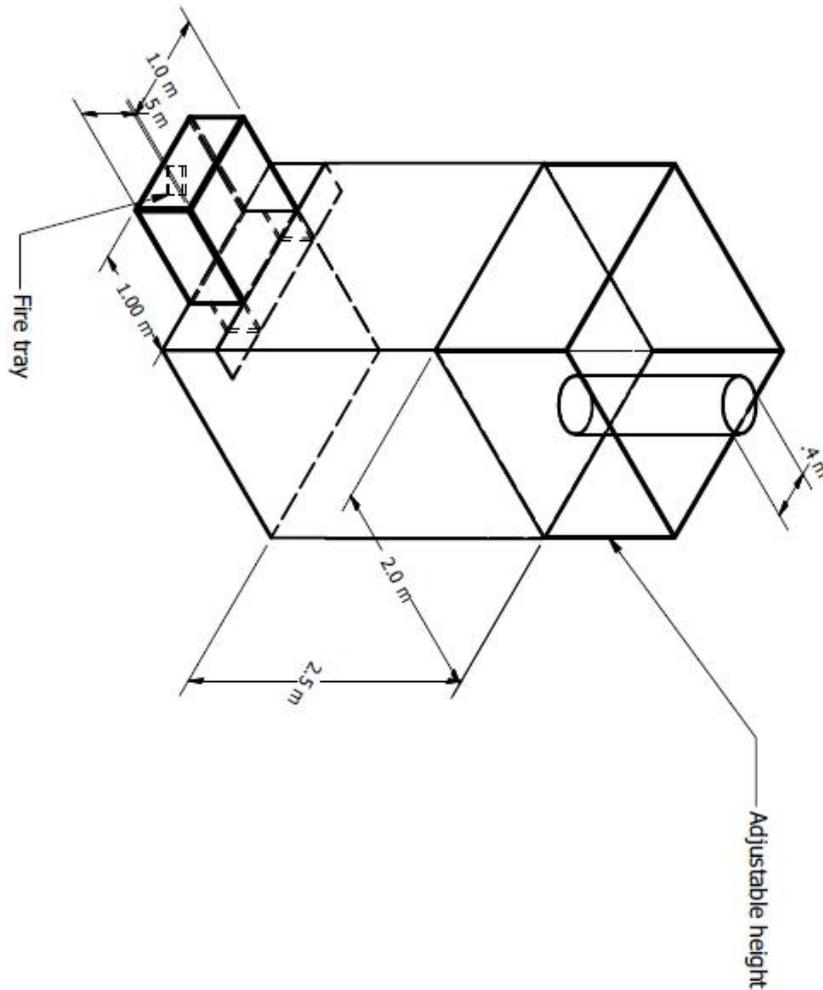


Figure 3.3: Geometry of the Harrison Spill Plumes Experiments.

Рисунок 3.3: Геометрия экспериментов Харрисона со струями разлива.

3.16 Heskestad Flame Height Correlation

3.16 Корреляция высоты пламени Хескестада

A widely used experimental correlation for flame height is given by the expression [145, 25]:

Широко используется экспериментальная корреляция по высоте пламени определяется выражением [145, 25]:

$\frac{L_f}{D} = 3.7(Q^*)^{2/5} - 1.02 \quad (3.1)$	
where	где
$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g} D^{5/2}} \quad (3.2)$	
is a non-dimensional quantity that relates the fire's heat release rate, \dot{Q} , with the diameter of its base, D . The greater the value of Q^* , the higher the flame height relative to its base diameter.	– безразмерная величина, связывающая скорость выделения тепла при горении, \dot{Q} , с диаметром его основания, D . Чем больше значение Q^* , тем выше высота пламени по отношению к диаметру его основания.
3.17 LEMTA Spray Test for Radiation Attenuation	3.17 Испытание распылением LEMTA для ослабления излучения
Lechene et al. [146] measured the attenuation of thermal radiation passing through a water spray using a heat flux gauge. The radiation was produced by a 30 cm by 35 cm heat panel whose emission is close to a black body at 500 C. The horizontal distance from the radiation panel to the spray nozzle was 1.5 m and to the measurement point 3 m. The heat flux gauge was positioned at the line passing through the center of the panel. Water mist is produced by seven nozzles arranged in a row, 10 cm apart. They are positioned 1.5 m high. The heat panel is translated vertically during the experiment, the distance between the panel upper edge and the nozzle row varying between 20 cm and 100 cm.	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.
The attenuation of radiation is defined as previously described for the BRE Spray experiments. The purpose of the simulations is to compare the measured and simulated attenuation of radiation at different heights. The water mist nozzle has been characterized by Lechene by measuring the spray angles and the water flow rate. The droplet size is set by using a PDPA measurement in a single position, 20 cm below the injection point.	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.
3.18 LLNL Enclosure Experiments	3.18 Эксперименты в помещении LLNL
Sixty-four tests were conducted by Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) in 1986 to study the effects of ventilation on enclosure fires [147]. The test enclosure was 6 m long, 4 m wide, and 4.5 m high (Fig. 3.4). It contained a methane rock burner which was placed in the center of the space. For most of the tests the burner was placed on the floor. The fires varied in size from 50 kW to 400 kW. The burner was 0.57 m in diameter and 0.23 m height. The door was closed and sealed for most tests, and air was pulled through the space at rates varying from 100 g/s to 500 g/s. In some tests the enclosure included a plenum space, where make-up air could be injected from above or below. The test matrix is listed in Table 3.2.	Шестьдесят четыре испытания проводились Ливерморской национальной лаборатории (LLNL) в 1986 году для изучения эффектов вентиляции на корпуса пожаров [147]. Тест корпус был длиной 6 м, шириной 4 м, и высотой 4,5 м (рис. 3.4). Она содержала метан рок горелки, который был помещен в центре пространства. Для большинства испытаний горелка была помещена на полу. Пожары варьироваться в размерах от 50 кВт до 400 кВт. Горелка была 0,57 м в диаметре и 0,23 м в высоту. Дверь была закрыта и опечатаны для большинства тестов, и воздух был разобран через пространство на ставками в диапазоне от 100 г / с до 500 г / с. В некоторых тестах корпус включал пленум пространство, где макияж воздух может быть введен сверху или снизу. Тест матрицы приведены в таблице 3.2.
3.19 McCaffrey Plume Experiments	3.19 Эксперименты Маккэффри со струями
In 1979, at the National Bureau of Standards (now NIST), Bernard McCaffrey measured centerline temperature and velocity profiles above a porous, refractory burner. There were five distinct heat release rates, ranging from 14 kW to 57 kW. The fuel was natural gas. The burner was square, 0.3 m on each side. The results of the experiments are reported in Reference	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

[148].						экспериментов приведены в работе [148].					
Table 3.2: Summary of LLNL Enclosure Experiments.						Таблица 3.2: Обзор экспериментов в помещениях LLNL.					
Test No.	Room Config.	h_0 m	Q kW	m g/s	T_∞ °C	Test No.	Room Config.	h_0 m	Q kW	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

Номер исп.	Конфиг. пом.	h_0 м	\dot{Q} кВт	\dot{m} г/с	T_∞ °C	Номер исп.	Конфиг. пом.	h_0 м	\dot{Q} кВт	\dot{m} г/с	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	
T full compartment							T – наполненное помещение					
N natural ventilation (door open)							N – естественная вентиляция (открытая дверь)					
P plenum configuration							P – конфигурация вентиляции					
X 3 ft extension on inlet opening							X – входное отверстие, расширенное до 3 футов					
L low inlet duct							L – нижнее входное отверстие					
GS grate on inlet, north/south configuration							GS – решетка на входном отверстии, конфигурация в северном/южном направлении					
H high inlet duct							H – верхнее входное отверстие					
GW grate on inlet, east/west configuration							GW – решетка на входном отверстии, конфигурация в восточном/западном направлении					
E elevated fire, h0							E – верхнее горение, h_0					

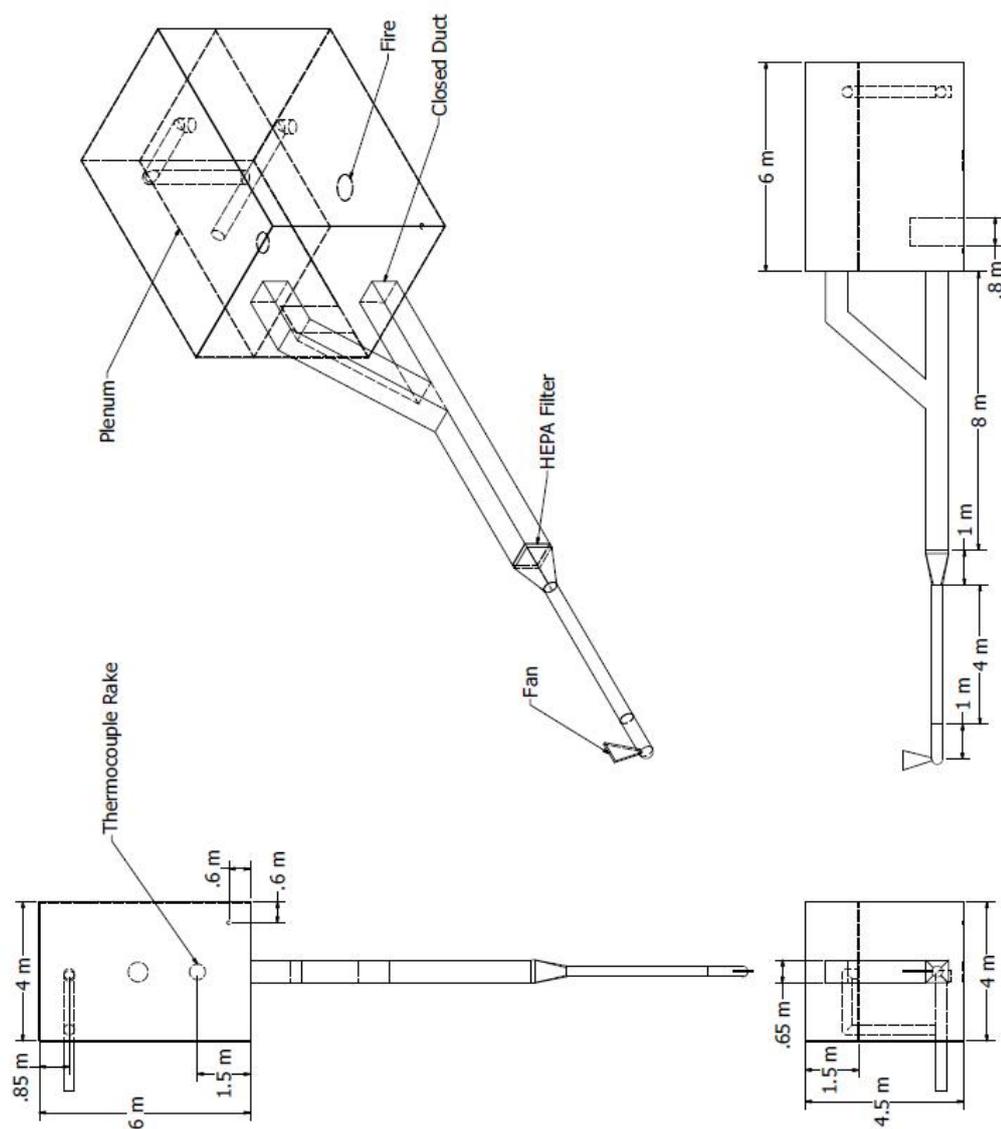


Figure 3.4: Geometry of the LLNL Enclosure Experiments.

Рис. 3.4: Геометрия экспериментов в помещении LLNL.

3.20 NBS Multi-Room Test Series

3.20 Серия испытаний Национального бюро стандартов в нескольких помещениях

The National Bureau of Standards (NBS, which is now called the National Institute of Standards and Technology, NIST) Multi-Room Test Series consisted of 45 fire tests representing 9 different sets of conditions were conducted in a three-room suite (see Fig. 3.5). The experiments were conducted in 1985 and are described in detail in Ref. [149]. The suite consisted of two relatively small rooms, connected via a relatively long corridor. The fire source, a gas burner, was located against the rear wall of one of the small compartments. Fire tests of 100 kW, 300 kW and 500 kW were conducted. For the current study, only three 100 kW fire experiments have been used, including Test 100A from Set 1, Test 100O from Set 2, and Test 100Z from Set 4. These tests were selected because they had been used in prior validation studies, and because these tests had the steadiest values of measured heat release rate during the steady-burn period.

Национальное бюро стандартов (NBS, который сейчас называется Национальный институт стандартов и технологий, NIST) Multi-Room серии испытаний состоял из 45 огневых испытаний, представляющих 9 различных наборов условий были проведены в номере-люкс трехкомнатной (см. рис. 3.5). Эксперименты проводились в 1985 году и подробно описаны в работе. [149]. Набор состоит из двух относительно небольших комнат, соединенных посредством относительно длинного коридора. Источник огня, газовая горелка, был расположен на задней стенке одного из небольших отделений. Огневые испытания 100 кВт, были проведены 300 кВт и 500 кВт. В текущем исследовании, только три 100 кВт пожарные эксперименты были использованы, в том числе испытания 100A от множества 1, Test 100o из множества 2 и Test 100Z от Set 4. Были выбраны Эти тесты, потому что они были использованы в предыдущих исследованиях валидации, и потому, что эти тесты были наиболее устойчивых значений

	измеряемой скорости тепловыделения в период установившегося горения.
Following is additional information provided by the test director, Richard Peacock of NIST:	Ниже приводится дополнительная информация, представленная директором по испытаниям, Ричардом Пикоком из NIST:
Heat Release Rate: In the two tests for which the door was open, the HRR during the steady-burn period measured via oxygen consumption calorimetry was 110 kW with an uncertainty of about 15 %, consistent with the replicate measurements made during the experimental series and the uncertainty typical of oxygen consumption calorimetry. It was assumed that the closed door test (Test 100O) had the same HRR as the open door tests.	Скорость выделения тепла: В двух тестах, для которых дверь была открыта, HRR в период установившегося горения измеряется с помощью потребления кислорода калориметрии было 110 кВт с погрешностью около 15%, в соответствии с повторных измерений, сделанных в ходе серии экспериментов и неопределенность типичны потребления кислорода калориметрии. Предполагалось, что тест закрытая дверь (Тест 100O) была такая же HRR в качестве тестов в открытую дверь.
Radiative Fraction: Natural gas was used as the fuel in Test 100A. In Tests 100O and 100Z, acetylene was added to the natural gas to increase the smoke yield, and as a consequence, the radiative fraction increased. The radiative fraction of natural gas has been studied previously, whereas the radiative fraction of the acetylene/natural gas mixture has not been studied. The radiative fraction for the natural gas fire was assigned a value of 0.20, whereas a value of 0.30 was assigned for the natural gas/acetylene fires.	Радиационное Фракция: Природный газ был использован в качестве топлива в Test 100A. В тестах 100O и 100Z, ацетилен был добавлен в природного газа для увеличения выхода дыма, и, как следствие, радиационного доля увеличилась. Радиационное доля природного газа изучалось ранее, а радиационный доля ацетилена / природного газа смеси не изучен. Радиационное фракция для природного газа огонь был присваивается значение 0,20, в то время как значение 0,30 был назначен для природного газа / ацетилена пожаров.
Measurements: Only two types of measurements conducted during the NBS test series were used in the evaluation considered here, because there was less confidence in the other measurements. The measurements considered here were the HGL temperature and depth, in which bare bead TCs were used to make these measurements. Single point measurements of temperature within the burn room were not used in the evaluation of plume or ceiling jet algorithms. This is because the geometry was not consistent in either case with the assumptions used in the model algorithms of plumes or jets. Specifically, the burner was mounted against a wall, and the room width-to-height ratio was less than that assumed by the various ceiling jet correlations.	Измерения: Только два типа измерений, проведенных во время серии испытаний НБС были использованы в оценке рассматриваемого здесь, потому что там было меньше уверенности в других измерениях. Измерения рассматриваемые здесь были температура и глубина HGL, в котором голые ТК шарик были использованы для проведения этих измерений. Единая точка измерения температуры в ожоговой комнате не были использованы в оценке шлейфа или потолка алгоритмов реактивных. Это потому, что геометрия не был последовательным в любом случае с допущений, используемых в модели алгоритмов шлейфов или струй. В частности, горелки был установлен вплотную к стене, а соотношение номер ширины к высоте было меньше, чем предполагалось различными потолок реактивных корреляций.

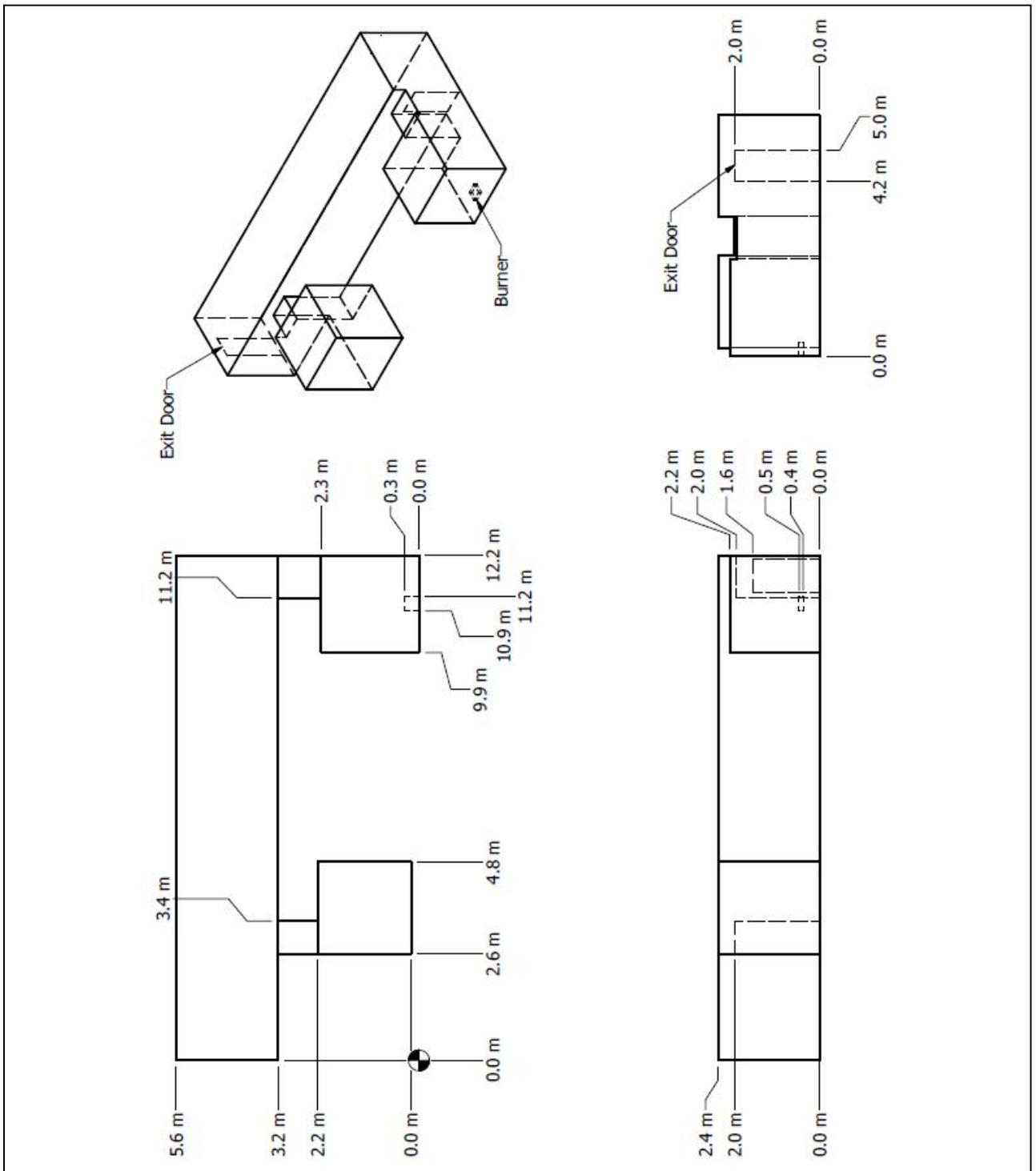


Figure 3.5: Geometry of the NBS Multi-Room Experiments.

Рис. 3.5: Геометрия экспериментов Национального бюро стандартов в нескольких помещениях.

3.21 NIST/NRC Test Series

These experiments, sponsored by the US NRC and conducted at NIST, consisted of 15 large-scale experiments performed in June 2003. All 15 tests were included in the validation study. The experiments are documented in Ref. [106]. The fire sizes ranged from 350 kW to 2.2MW in a compartment with dimensions 21.7 m by 7.1 m by 3.8 m high, designed to represent a compartment in a nuclear power plant containing power and control cables. The walls and ceiling were covered with two layers of marine boards, each layer 0.0125 m thick. The floor was covered with one layer of gypsum board on top of a layer of plywood. Thermo-physical and

3.21 Серия испытаний NIST/NRC

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 исследование проверки. Эксперименты описаны в работе. [106]. Размеры пожарные колебалась от 350 кВт до 2.2MW в отсек с размерами 21,7 м на 7,1 м на 3,8 м, предназначенных для представления отсек в атомной электростанции, содержащей силовых и контрольных кабелей. Стены и потолок были покрыты двумя слоями мариновать доски, каждый слой толщиной 0,0125 м. Пол был покрыт одним

<p>optical properties of the marinate and other materials used in the compartment are given in Ref. [106]. The room had one door and a mechanical air injection and extraction system. Ventilation conditions, the fire size, and fire location were varied. Numerous measurements (approximately 350 per test) were made including gas and surface temperatures, heat fluxes and gas velocities.</p>	<p>слоем гипсокартона на вершине слоя фанеры. Теплофизические и оптические свойства Маринуйте и других материалов, используемых в отсеке приведены в работе. [106]. В комнате была одна дверь и механическим впрыском воздуха и извлечения системы. Условия вентиляции, размер огонь, и огонь расположение варьировались. Многочисленные измерения (примерно 350 на тест) были сделаны в том числе газовых и поверхностных температур, тепловых потоков и скоростей газа.</p>
<p>Following are some notes provided by Anthony Hamins, who conducted the experiments:</p>	<p>Ниже приведены некоторые замечания, предоставленные Энтони Hamins, проводившие эксперименты:</p>
<p>Natural Ventilation: The compartment had a 2 m by 2 m door in the middle of the west wall. Some of the tests had a closed door and no mechanical ventilation (Tests 2, 7, 8, 13, and 17), and in those tests the measured compartment leakage was an important consideration. The test report lists leakage areas based on measurements performed prior to Tests 1, 2, 7, 8, and 13. For the closed door tests, the leakage area used in the simulations was based on the last available measurement. The chronological order of the tests differed from the numerical order. For Test 4, the leakage area measured before Test 2 was used. For Tests 10 and 16, the leakage area measured before Test 7 was used.</p>	<p>Естественная вентиляция: Отсек имели 2 м на 2 м дверь в середине западной стены. Некоторые из испытаний было закрытую дверь и не искусственной вентиляции легких (тесты 2, 7, 8, 13 и 17), и в тех тестах измеряется утечки купе было важным фактором. Протокол испытаний перечислены области утечки на основе измерений, проведенных до испытаний 1, 2, 7, 8, и 13. Для испытаний закрытой двери, площадь утечки использованы при моделировании был основан на последней доступной измерения. Хронологический порядок испытаний отличалась от порядку. Для испытания 4, был использован область утечка, измеренная перед Тест 2. Для испытаний 10 и 16, был использован область утечки измеряют до испытания 7.</p>
<p>Mechanical Ventilation: The mechanical ventilation and exhaust was used during Tests 4, 5, 10, and 16, providing about 5 air changes per hour. The door was closed during Test 4 and open during Tests 5, 10, and 16. The supply duct was positioned on the south wall, about 2 m off the floor. An exhaust duct of equal area to the supply duct was positioned on the opposite wall at a comparable location. The flow rates through the supply and exhaust ducts were measured in detail during breaks in the testing, in the absence of a fire. During the tests, the flows were monitored with single bi-directional probes during the tests themselves.</p>	<p>Механическая вентиляция: была использована механическая вентиляция вытяжная ходе испытаний 4, 5, 10, и 16, обеспечивая около 5 воздухообмен в час. Дверь была закрыта во время испытаний 4 и открыт в течение испытаний 5, 10, и 16. Труба подачи 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.</p>
<p>Heat Release Rate: A single nozzle was used to spray liquid hydrocarbon fuels onto a 1 m by 2 m fire pan that was about 0.1 m deep. The test plan originally called for the use of two nozzles to provide the fuel spray. Experimental observation suggested that the fire was less unsteady with the use of a single nozzle. In addition, it was observed that the actual extent of the liquid pool was well-approximated by a 1 m circle in the center of the pan. For safety reasons, the fuel flow was terminated when the lower-layer oxygen concentration dropped to approximately 15 % by volume. The fuel used in 14 of the tests was heptane, while toluene was used for one test. The HRR was determined using oxygen consumption calorimetry. The recommended uncertainty values were 17 % for all of the tests.</p>	<p>Выделения тепла Цена: одно сопло был использован для распыления жидких углеводородных топлив на 1 м на 2 м пожарной кастрюле, которая была около 0,1 м в глубину. Тест план первоначально призвал к использованию двух сопел, чтобы обеспечить спрей топлива. Экспериментальное наблюдение предположил, что огонь был менее неустойчивый с использованием одного сопла. Кроме того, было отмечено, что фактическая степень жидкой ванны был хорошо аппроксимировать 1 м круг в центре кастрюли. Из соображений безопасности расход топлива было прекращено, когда концентрация кислорода ниже слоя упала до примерно 15% по объему. В качестве топлива используется в 14 испытаний было гептан, в то время как толуол был использован для одного теста. HRR была определена с использованием потребления кислорода калориметрии. Рекомендуемые значения неопределенности на 17% для всех тестов.</p>
<p>Radiative Fraction: The values of radiative fraction and its uncertainty were reported as 0.44±0.07 and 0.40±0.09 for heptane and toluene, respectively.</p>	<p>Радиационное Фракция: Значения радиационного фракции и ее неопределенности были сообщены как 0,44 0,07 и 0,40 0,09 для гептана и толуола соответственно.</p>
<p>Soot Yield: The values of the soot yield and its</p>	<p>Сажа Выход: Значения выход сажи и его</p>

uncertainty were reported as 0.0149 kg/kg ± 0.0033 kg/kg and 0.195 kg/kg ± 0.052 kg/kg for heptane and toluene, respectively.

неопределенности были зарегистрированы как 0,0149 кг / кг ± 0,0033 кг / кг и 0,195 кг / кг ± 0,052 кг / кг в течение гептан и толуол, соответственно.

A diagram of the test structure is displayed in Figure 3.6.

Схема структуры испытания показана на Рис. 3.6.

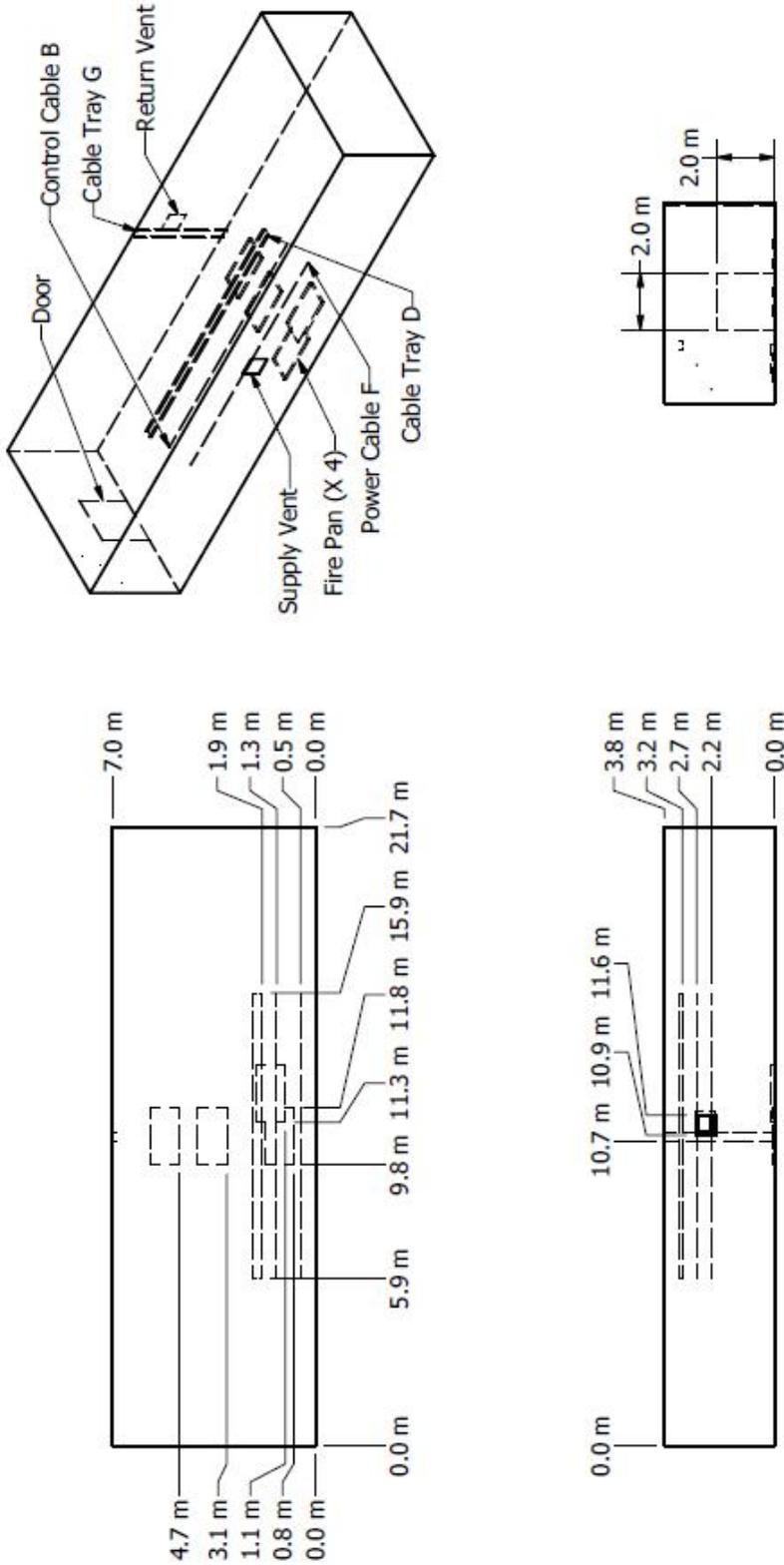


Figure 3.6: Geometry of the NIST/NRC Experiments.

Рис. 3.6: Геометрия экспериментов NIST/NRC.

3.22 NIST Dunes 2000 Experiments

3.22 Испытания NIST Dunes 2000

A series of experiments was conducted by NIST to measure the activation time of ionization and photoelectric smoke alarms in a residential setting [150]. Tests were conducted in actual homes with

В серии экспериментов было проведено NIST для измерения времени активации ионизации и фотоэлектрических дыма в жилом обстановке [150]. Испытания проводились в реальных домах с

<p>representative sizes and floor plans, utilized actual furnishings and household items for fire sources, and tested actual smoke alarms sold in retail stores at that time. Thirty-six tests were conducted in two homes; 27 in a single-story manufactured home, and 8 in a two-story home.</p>	<p>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.</p>
<p>Figure 3.7 shows a diagram of the layout and instrumentation in the single-story manufactured home. The primary partitioning of the 84.7 m² floor plan consisted of three bedrooms, one full bathroom, one kitchen/dining area, one living room, and two hallways. For testing, the doors to bedroom 3 and the bathroom were always closed. The ceiling was peaked on the long axis, reaching a height of 2.4 m. The outside walls were approximately 2.1 m in height. The slope of the ceiling was approximately 8.4. Groups of smoke alarms were located in the room of fire origin, at least one bedroom, and in a central location. Five stations (Station A through Station E) containing smoke alarm arrays were mounted parallel to the ceiling. Note that, in the FDS Guides, smoke detectors and smoke alarms are collectively referred to as smoke detectors because the same smoke detection algorithm is used to predict activation of either type of device.</p>	<p>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 FDS гидов, детекторы дыма и дыма в совокупности называют детекторами дыма, потому что тот же самый алгоритм обнаружения дыма используется для прогнозирования активацию любого типа устройства.</p>
<p>Eight experiments that were conducted in the single-story manufactured home were selected for model validation. Only tests that used a flaming ignition source with a couch or mattress fuel package were considered; the cooking oil fires and tests that used a smoldering ignition source were not considered. The flaming ignition tests used a moderate flame source to quickly ignite the fuel package. Note that Test SDC15 was excluded due to a failed ignition event.</p>	<p>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.</p>
<p>Although a load cell was used in the experiments to measure the mass loss rate of the fuel package, the mass loss data were not reliable enough to reconstruct the HRR curves for each test. Instead, the HRR curves were determined by approximating the fire growth using a t² ramp, as in Eq. (3.3). The parameters for the t² ramp were calibrated in FDS by using the temperature measured at the highest thermocouple in the tree (2 cm below the ceiling) in the fire room.</p>	<p>Хотя датчик нагрузки был использован в экспериментах измерить скорость потери массы пакета топлива, данные потери массы не были достаточно надежным, чтобы реконструировать кривые HRR для каждого теста. Вместо этого, кривые HRR были определены путем аппроксимации рост пожара с помощью t² рампы, как в уравнении. (3.3). Параметры для t² рампы были откалиброваны в FDS с помощью температуры, измеренной на самом высоком термомпары в дереве (2 см ниже потолка) в каминном зале.</p>
$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 \quad (3.3)$	
<p>A time offset was used to align the predicted ceiling thermocouple temperatures with the measured temperatures. This offset is reported as the time at which the t² ramp begins. The t-squared calibration parameters and time offsets for the HRR ramps are shown in Table 3.3. Additionally, the ignition source had a small effect on the measured ceiling thermocouple temperatures. Therefore, the size of the ignition source was approximated as either 3 kW or 7 kW, and the time offset of the ignition source was also calibrated by using the measured ceiling thermocouple temperatures. The resulting HRR curve was input into FDS as a fire ramp. A summary of the eight tests selected for model validation is shown in Table 3.3.</p>	<p>Смещение времени использовался для выравнивания предсказанные температуры потолок термомпар с измеренных температур. Это смещение, как сообщается, как время, с которого начинается t² рампы. Т-квадрат параметры калибровки и временные смещения для HRR 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 HRR был вход в FDS как огня</p>

Figure 3.7: Geometry of the NIST Dunes 2000 Experiments.				Рис. 3.7: Геометрия испытаний NIST Dunes 2000.		
Table 3.3: Summary of NIST Dunes 2000 experiments selected for model validation.				Таблица 3.3: Обзор испытаний NIST Dunes 2000, отобранных для валидации моделей.		
	Test No.	Fire Source	Fire Location	\dot{Q}_0 (kW)	T (s)	Time Offset (s)
	SDC02	Chair	Living Room	150	180	20
	SDC05	Mattress	Bedroom	200	180	20
	SDC07	Mattress	Bedroom	350	180	50
	SDC10	Chair	Living Room	150	180	40
	SDC33	Chair	Living Room	100	180	10
	SDC35	Chair	Living Room	100	180	10
	SDC38	Mattress	Bedroom	120	180	25
	SDC39	Mattress	Bedroom	200	180	25
	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
3.23 NIST Reduced Scale Enclosure Experiments				3.23 Испытания NIST в помещениях уменьшенного масштаба		
The NIST Reduced Scale Enclosure (RSE) is a 40 % scale version of the ISO 9705 compartment [151]. It measures 0.98 m wide by 1.46 m deep by 0.98 m tall. The compartment contains a door centered on the smaller wall that measures 0.48 m wide by 0.81 m tall. A 15 cm diameter natural gas burner was positioned in the center of the compartment. The burner was on a stand so that its top was 15 cm above the floor. The fires ranged from 50 kW to 600 kW. Species measurements, including CO concentration, were made near the ceiling in the front and back of the compartment.				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 была 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.		
3.24 NRCC Facade Heat Flux Measurements				3.24 NRCC Фасад теплового потока Измерения		
A series of experiments was conducted by the Fire Research Section of the Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada (NRCC), to measure the heat flux to a mock exterior building facade due to a fire within a compartment [152, 153]. The experiments selected for model validation were conducted using a series of propane line burners within a compartment whose interior dimensions were 5.95 m wide, 4.4 m deep, and 2.75 m high (see Fig. 3.8). There were five different door/window sizes:				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 m by 2.00 m high				1. 0,94 м на 2,00 м в высоту		
2. 0.94 m by 2.70 m high (door)				2. 0,94 м на 2,70 м в высоту (дверной проем)		
3. 2.60 m by 1.37 m high (shown in Fig. 3.8)				3. 2,60 м на 1,37 м в высоту (показано на Рис. 3.8)		
4. 2.60 m by 2.00 m high				4. 2,60 м на 2,00 м в высоту		
5. 2.60 m by 2.70 m high (door)				5. 2,60 м на 2,70 м (дверной проем)		
There were four fire sizes: 5.5MW, 6.9MW, 8.6MW, and 10.3MW. In all, 19 experiments were conducted, with the exception of the 10.3 MW fire with Window 1. In each experiment, heat flux measurements were made 0.5 m, 1.5 m, 2.5 m, and 3.5 m above the top of the door/window.				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.		

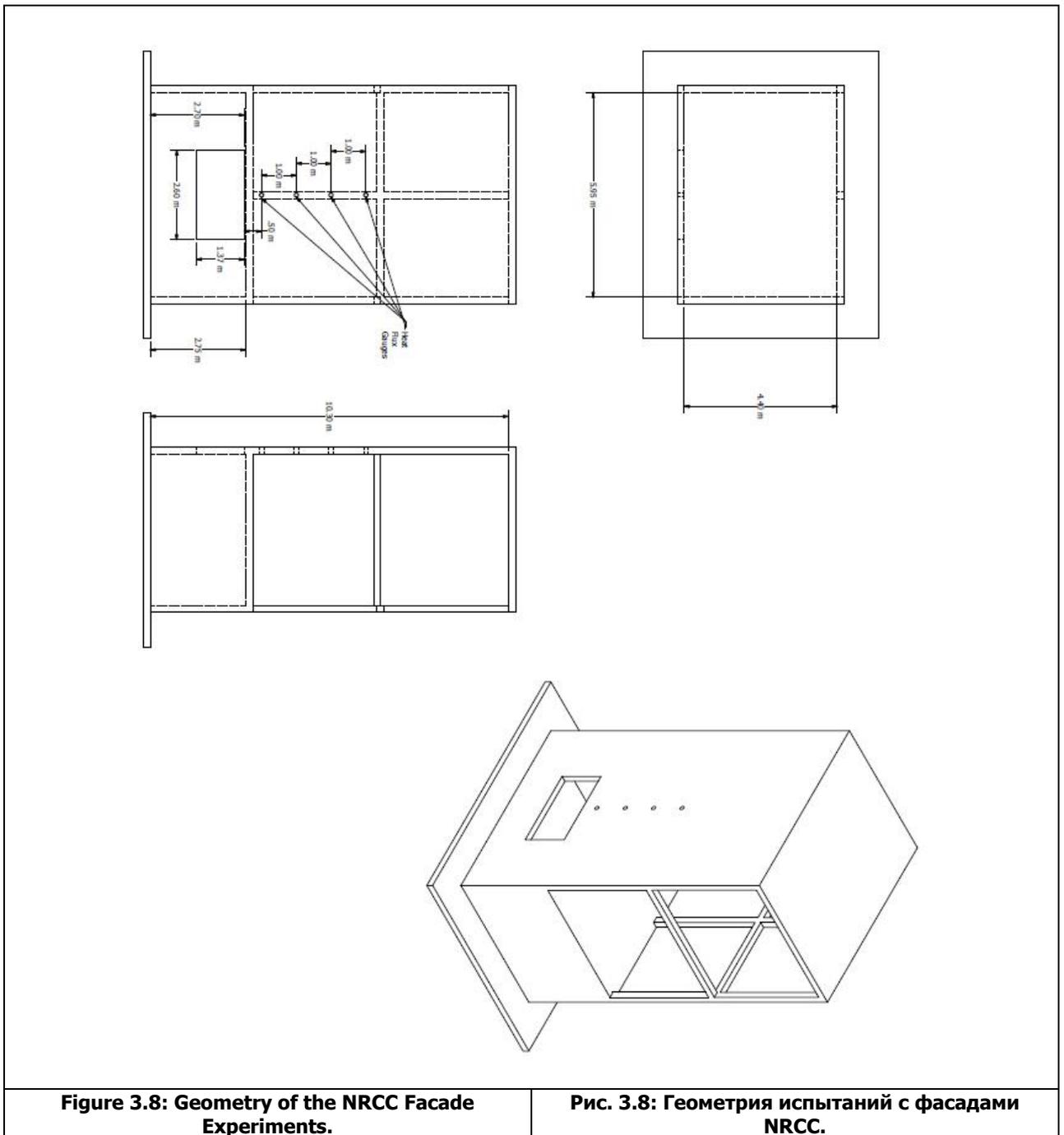


Figure 3.8: Geometry of the NRCC Facade Experiments.

Рис. 3.8: Геометрия испытаний с фасадами NRCC.

<p>3.25 NRL/HAI Wall Heat Flux Measurements</p> <p>Back, Beyler, DiNenno and Tatem [154] measured the heat flux from 9 different sized propane fires set up against a wall composed of gypsum board. The experiments were sponsored by the Naval Research Laboratory and conducted by Hughes Associates, Inc., of Baltimore, Maryland. The square sand burner ranged in size from 0.28 m to 0.70 m, and the fires ranged in size from 50 kW to 520 kW.</p>	<p>3.25 Измерения теплового потока стен NRL/HAI</p> <p>Вернуться , Beyler , DiNenno и Татэм [154] измерили тепловой поток из 9 различных размеров пропана поджогов к стене , состоящей из гипсокартона . Эксперименты поддержке Морской исследовательской лаборатории и проводится Hughes Associates , Inc, в Балтиморе, штат Мэриленд . Квадратный песок горелки колебалась в размерах от 0,28 м до 0,70 м , и пожары колебалась в размерах от 50 кВт до 520 кВт.</p>
<p>3.26 PRISME Project</p> <p>PRISME is the name of a fire test program conducted under the auspices of the Organization for Economic Cooperation and Development, Nuclear Energy Agency (OECD/NEA). The experiments were conducted at the French Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) at Cadarache. A variety of experiments were conducted to study ventilation effects, electrical cable failure, and leakage [155].</p>	<p>3.26 Проект PRISME</p> <p>PRISME это имя тестовом огонь программы , проведенного под эгидой Организации экономического сотрудничества и развития, Агентства по ядерной энергии (АЯЭ / ОЭСР). Эксперименты проводились на французском Institut de radiационной защиты и др. de sûreté nucléaire (IRSN) в Кадараше . Разнообразные эксперименты проводились с целью изучения вентиляционные эффекты, электрический</p>

	повреждений кабеля и утечкой [155].
3.27 Restivo Compartment Air Flow Experiment	3.27 Эксперимент Restivo потока воздуха в помещении
Velocity measurements for forced airflow within a 9 m by 3 m by 3 m high compartment were made by Restivo [156]. These measurements have been widely used to validate CFD models designed for indoor air quality applications. It was also used to assess early versions of FDS [19, 20, 34]. In the experiment, air was forced into the compartment through a 16.8 cm vertical slot along the ceiling running the width of the compartment with a velocity of 0.455 m/s. A passive exhaust was located near the floor on the opposite wall, with conditions specified such that there was no buildup of pressure in the enclosure. The component of velocity in the lengthwise direction was measured in four arrays: two vertical arrays located 3 m and 6 m from the inlet along the centerline of the room, and two horizontal arrays located 8.4 cm above the floor and below the ceiling, respectively. These measurements were taken using hot-wire anemometers. While data on the specific instrumentation used are not readily available, hot-wire systems tend to have limitations at low velocities, with typical thresholds of approximately 0.1 m/s.	Измерения скорости для принудительного воздушного потока внутри 9 м на 3 м по высотой 3 м отсеке были сделаны Restivo [156]. Эти измерения были широко использованы для обоснования моделей CFD , предназначенные для качества воздуха в помещениях приложений. Он также использовался для оценки ранних[версий FDS [19, 20 , 34] . В эксперименте , воздух был вынужден в отсек через 16,8 см вертикальной щели вдоль потолка под управлением ширину отсека со скоростью 0,455 м / с . Пассивная выхлопных был расположен около этаже на противоположной стене , с условиями, установленными таким образом, чтобы не было наращивание давления в корпусе. Составляющая скорости в продольном направлении была измерена в четырех массивов : два вертикальных массивов , расположенных 3 м и 6 м от входа вдоль центральной части комнаты , и две горизонтальные массивы расположены 8,4 см над уровнем пола и под потолком , соответственно. Эти измерения были взяты с помощью Термоанемометры . В то время как данные по конкретной используемой аппаратуры не всегда доступны , горячей проводные системы , как правило, имеют ограничения при малых скоростях , с типичными порогов около 0,1 м / с.
3.28 Sandia Plume Experiments	3.28 Эксперименты струи Sandia
The Fire Laboratory for Accreditation of Models by Experimentation (FLAME) facility [157, 158] at Sandia National Laboratories in Albuquerque, New Mexico, is designed specifically for validating models of buoyant fire plumes. The plume source is 1 m in diameter surrounded by a 0.5 m steel 'ground plane'. PIV/PLIF techniques are used to obtain instantaneous joint scalar and velocity fields. O'Hern et al. [157] studied a turbulent buoyant helium plume in the FLAME facility. Earlier work to model this experiment has been performed by DesJardin et al. [159]. Tieszen et al. [160, 161] studied methane and hydrogen pool fires.	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. O'Hern 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.
3.29 Sippola Aerosol Deposition Experiments	3.29 Эксперименты осаждения аэрозоля Sippola
Mark Sippola, a doctoral student at the University of California, Berkeley, measured aerosol deposition velocities for various sizes of monodisperse fluorescent particles and various air velocities in a duct [162, 163]. For the experiments considered here, the straight steel duct with smooth walls was square with dimensions of 15 cm by 15 cm. The particle diameters were 1 mm, 3 mm, 5 mm, 9 mm, and 16 mm. The air velocities in the duct were 2.2 m/s, 5.3 m/s, and 9.0 m/s. A total of twelve panels (20 cm by 10 cm) were cut from the duct section to measure the amount of particles deposited to the duct surfaces; four panels each from the duct ceiling, wall, and floor surfaces. Fluorescent measurement techniques and aerosol concentration measurements were used to calculate the deposition velocities of the particles to duct surfaces (ceiling, wall, and floor) at two straight duct sections where the turbulent flow profile was fully developed.	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 .
3.30 Smyth Slot Burner Experiment	3.30 Эксперимент щелевой горелки Смита
Kermit Smyth et al. conducted diffusion flame experiments at NIST using a methane/air Wolfhard-Parker slot burner. The experiments are described in	Кермит Смит и др. . Проведенные эксперименты диффузионного пламени в NIST , используя метан / воздух Wolfhard - Parker слот горелку . Эксперименты

<p>detail in Refs. [164, 165]. The Wolfhard-Parker slot burner consists of an 8 mm wide central slot flowing fuel surrounded by two 16 mm wide slots flowing dry air with 1 mm separations between the slots. The slots are 41 mm in length. Measurements were made of all major species and a number of minor species along with temperature and velocity. Experimental uncertainties have been reported as 5 % for temperature and 10 % to 20 % for the major species.</p>	<p>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.</p>
<p>3.31 SP Adiabatic Surface Temperature Experiments</p>	<p>3.31 Эксперименты температуры адиабатических поверхностей SP</p>
<p>In 2008, three compartment experiments were performed at SP Technical Research Institute of Sweden under the sponsorship of Brandforsk, the Swedish Fire Research Board [166]. The objective of the experiments was to demonstrate how plate thermometer measurements in the vicinity of a simple steel beam can be used to supply the boundary conditions for a multi-dimensional heat conduction calculation for the beam. The adiabatic surface temperature was derived from the plate temperatures and used by TASEF, a finite-element thermal-structural program.</p>	<p>В 2008 году три эксперимента отсек проводились при SP технического научно-исследовательского института Швеции под эгидой Brandforsk , шведской пожарной исследовательского совета [166] . Целью экспериментов было показано, как измерения пластина термометр в непосредственной близости от простого пучка стали могут быть использованы для питания граничные условия для многомерного расчета теплопроводности для пучка. Адиабатическая температура поверхности была получена из температур пластин и используется TASEF , конечно-элементной тепловой структурно- программы .</p>
<p>The experiments were performed inside a standard compartment designed for corner fire testing (ISO 9705). The compartment is 3.6 m deep, 2.4 m wide and 2.4 m high and includes a door opening 0.8 m by 2.0 m. The room was constructed of 20 cm thick light weight concrete blocks with a density of 600 kg/m³ – 100 kg/m³. The heat source was a gas burner run at a constant power of 450 kW. The top of the burner, with a square opening 30 cm by 30 cm, was placed 65 cm above the floor, 2.5 cm from the walls. A single steel beam was suspended 20 cm below the ceiling along the centerline of the compartment. There were three measurement stations along the beam at lengths of 0.9 m (Position A), 1.8 m (Position B), and 2.7 m (Position C) from the far wall where the fire was either positioned in the corner (Tests 1 and 2), or the center (Test 3). The beam in Test 1 was a rectangular steel tube filled with an insulation material. A diagram of the room used in Test 1 is displayed in Figure 3.9. The beam in Tests 2 and 3 was an I-beam. A diagram of the room used in Tests 2 and 3 is displayed in Figure 3.10.</p>	<p>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/м³ _ 100 кг/м³. 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 былдвухавровых балок . Схема комнате используемые при проведении испытаний 2 и 3 отображается на рисунке 3.10 .</p>

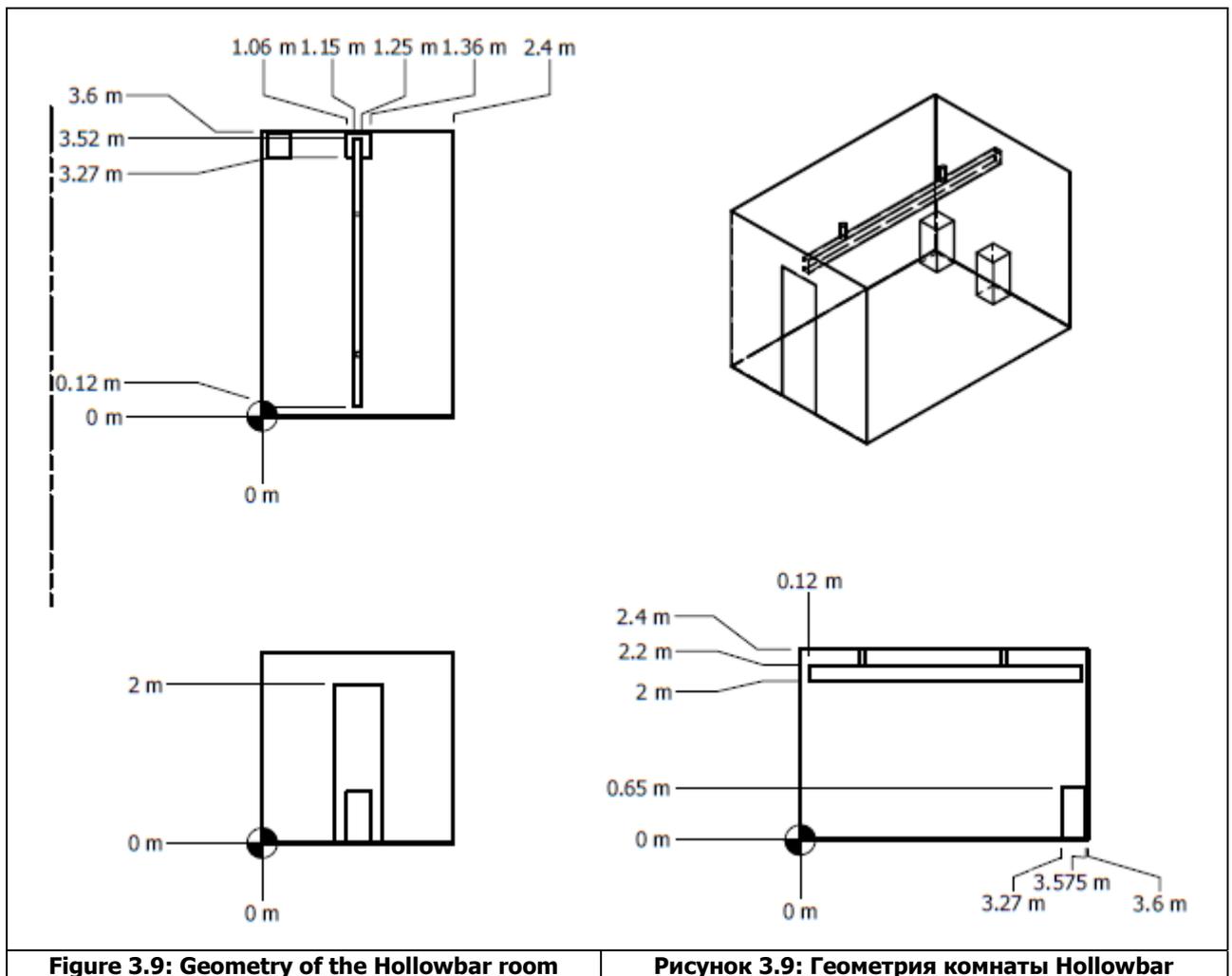


Figure 3.9: Geometry of the Hollowbar room

Рисунок 3.9: Геометрия комнаты Hollowbar

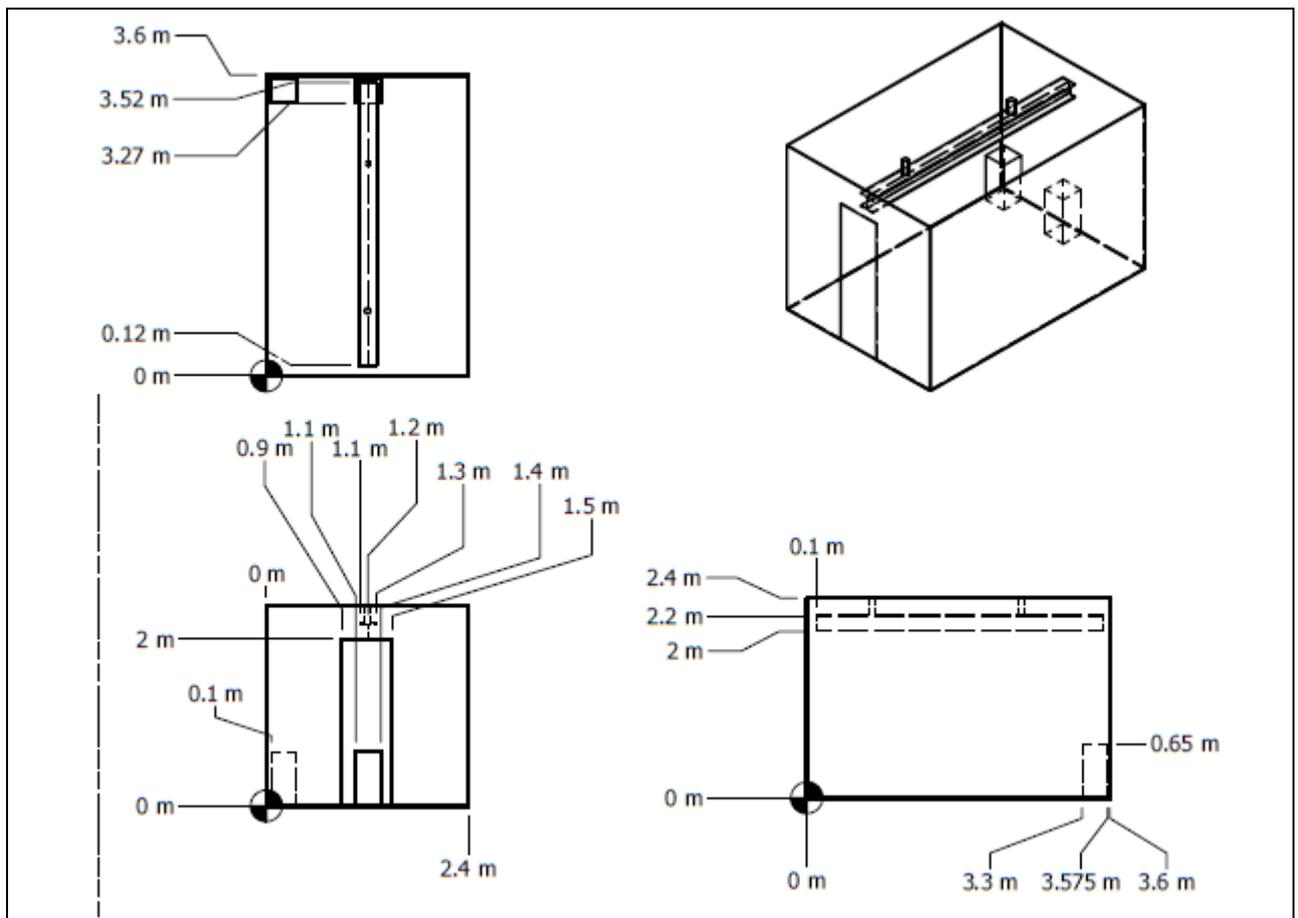


Figure 3.10: Geometry of the I-Beam room

Рисунок 3.10: Геометрия комнаты I-Beam

A second series of experiments involving plate thermometers was carried out in 2011 [167]. A 6 m long, 20 cm diameter vertical steel column was positioned in the center of 1.1 m and 1.9 m diesel fuel and 1.1 m heptane pool fires. Gas, plate thermometer, and surface temperatures were measured at heights of 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, and 5 m above the pool surface. These experiments are notable because the column is partially engulfed in flames.

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.

3.32 Steckler Compartment Experiments

3.32 Эксперименты в помещении Steckler

Steckler, Quintiere and Rinkinen performed a set of 55 compartment fire tests at NBS in 1979. The compartment was 2.8 m by 2.8 m by 2.13 m high¹, with a single door of various widths, or alternatively a single window with various heights. A 30 cm diameter methane burner was used to generate fires with heat release rates of 31.6 kW, 62.9 kW, 105.3 kW and 158 kW. Vertical profiles of velocity and temperature were measured in the doorway, along with a single vertical profile of temperature within the compartment. A full description and results are reported in Reference [168]. The basic test matrix is listed in Table 3.4. Note that the test report does not include a detailed description of the compartment. However, an internal report² by the test sponsor, Armstrong Cork Company, reports that the compartment floor was composed of 19 mm calcium silicate board on top of 12.7 mm plywood on wood joists. The walls and ceiling consisted of 12.7 mm ceramic fiber insulation board over 0.66 mm aluminum sheet attached to wood studs. A diagram of the compartment is displayed in Figure 3.11.

Стеклер , Quintiere и Ринкинен выполнила комплекс 55 купейных испытаний пожарных в НБС в 1979 году. Отсек был 2,8 м на 2,8 м на 2,13 м высотой¹, с одной двери различной ширины , или же в одном окне с различных высот . 30 см горелки диаметр метан используется для генерации пожаров с тепловыделения темпов 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]. Базовый тест матрица приведены в таблице 3.4. Обратите внимание, что протокол испытаний не включает в себя подробное описание отсека. Тем не менее, внутренний доклад² испытательной спонсора , Армстронг Корк компании , сообщает, что отделение этаж состоит из 19 мм силиката кальция борту сверху 12,7 мм фанеры на деревянных брусьев. Стены и потолок состоял из 12,7 мм керамической волокнистой изоляцией доске над 0,66 мм алюминиевого листа , прикрепленной к древесных шпильки. Схема отсека отображается на рисунке 3.11.

¹ The test report gives the height of the compartment

¹ Протокол испытаний дает высоту отсека как 2,18 м.

as 2.18 m. This is a misprint. The compartment was 2.13 m high.					Это опечатка. Отсек был 2.13 м в высоту.				
² Technical Research Report, Fire Induced Flows Through Room Openings - Flow Coefficients, Project 203005-003, Armstrong Cork Company, Lancaster, Pennsylvania, May, 1981.					² Исследовательский отчет Технический, своих индуцированных потоков через комнату Отверстия - Коэффициенты расхода, Проект 203005-003, Армстронг Корт Кампани, Ланкастер, Пенсильвания, май, 1981.				
Table 3.4: Summary of Steckler compartment experiments.					Таблица 3.4: Резюме экспериментов Steckler в помещении				
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				

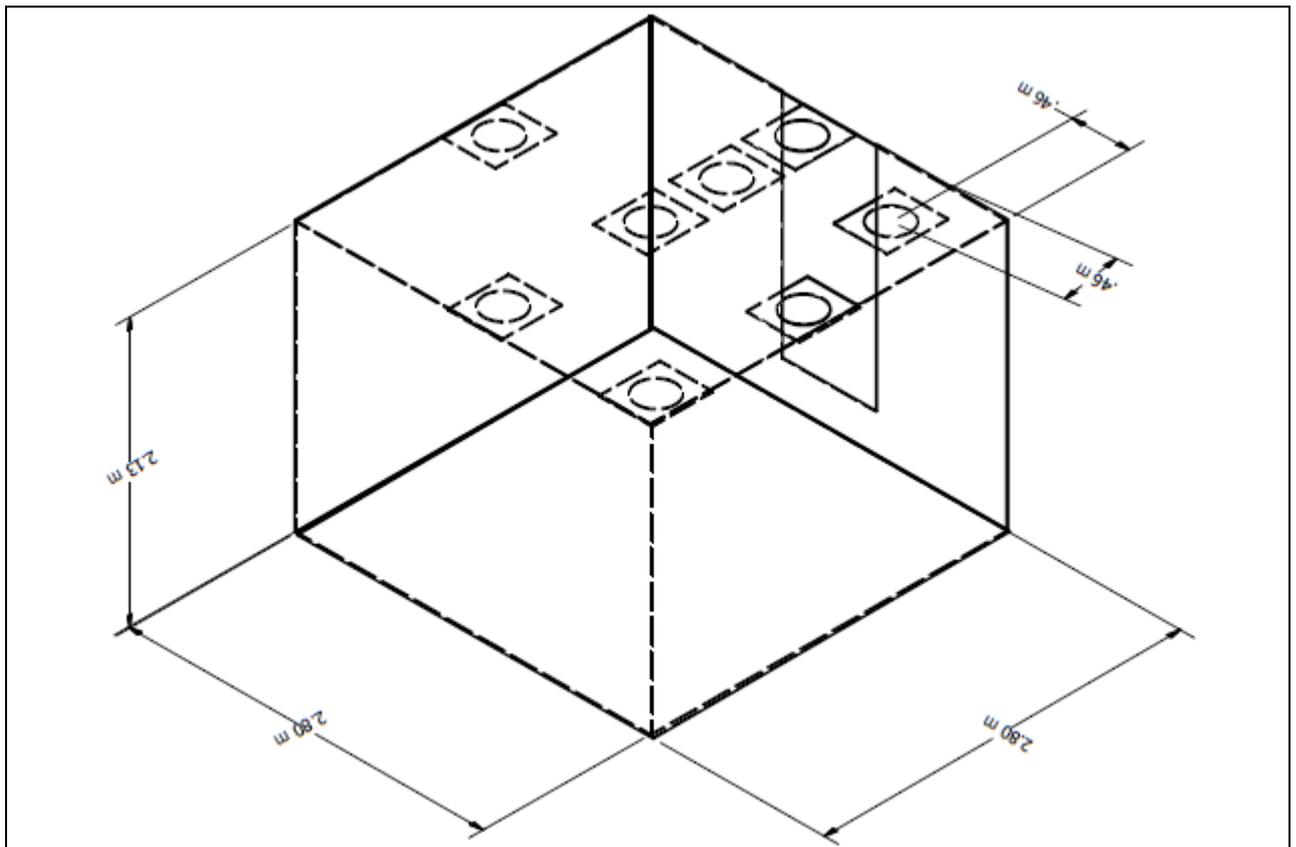


Figure 3.11: Geometry of the Steckler Compartment Experiments.

Рисунок 3.11: Геометрия экспериментов в помещении Steckler.

3.33 UL/NIST Vent Experiments

3.33 Эксперименты по вентиляции UL/NIST

In 2012, the Fire Fighting Technology Group at NIST conducted experiments at Underwriters Laboratories (UL) in Northbrook, Illinois, to assess the change in compartment temperature due to the opening of one or two 1.2 m square ceiling vents. Four experiments were conducted using a natural gas burner in a 6.1 m by 4.3 m by 2.4 m compartment with a single door opening. The fires ranged in size from 500 kW to 2MW, and the vents were opened and closed such that during the four experiments there were 31 discrete time intervals in which model predictions could be compared to quasi-steady conditions. The compartment contained two vertical arrays of thermocouples, and the door and vents were instrumented with thermocouples and bi-directional velocity probes. A diagram of the compartment is displayed in Figure 3.12.

В 2012 году пожаротушения Technology Group в NIST провели эксперименты на Underwriters Laboratories (UL) в Northbrook, Иллинойс, чтобы оценить изменение температуры отсека в связи с открытием одного или двух 1,2 м квадратных отверстий потолка. Четыре были проведены эксперименты с использованием природного газа в горелку 6,1 м на 4,3 м на 2,4 м отсеке с одним дверного проема. Пожары колебалась в размере от 500 кВт до 2 МВт, и были открыты форточки и закрыл, так что в течение четырех экспериментов было 31 дискретные интервалы времени, в котором предсказания модели могут быть по сравнению с квази-стационарных условиях. Отсек содержит две вертикальные массивы термопар, и дверь и вентиляционные отверстия, были оборудованы термопар и двунаправленного зондов скорости. Схема отсека отображается на рисунке 3.12.

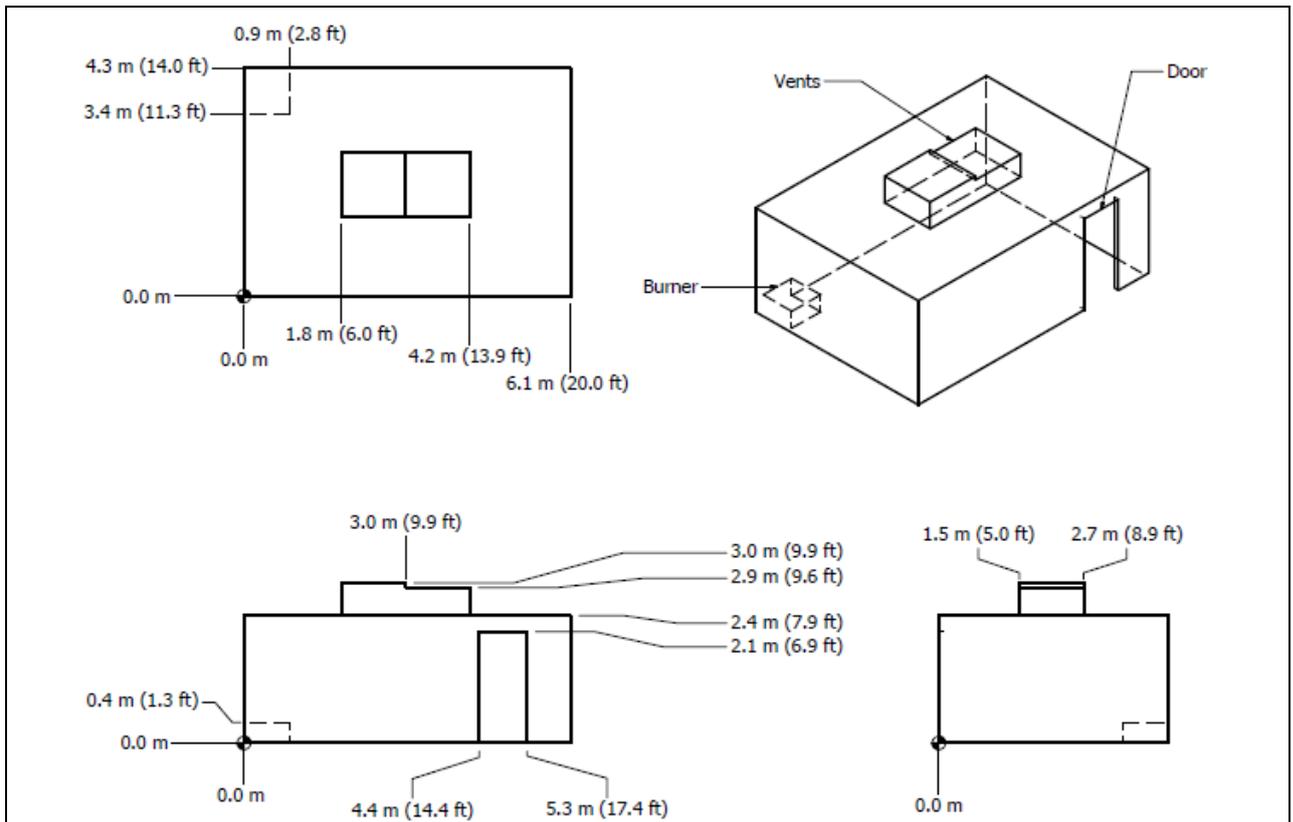


Figure 3.12: Geometry of the UL/NIST Experiments.

Рисунок 3.12: Геометрия экспериментов UL/NIST.

3.34 UL/NFPRF Sprinkler, Vent, and Draft Curtain Study

3.34 Исследование UL/NFPRF спринклеров, вентиляции и навесных экранов

In 1997, a series of 34 heptane spray burner experiments was conducted at the Large Scale Fire Test Facility at Underwriters Laboratories (UL) in Northbrook, Illinois [169]. The experiments were divided into two test series. Series I consisted of 22 4.4 MW experiments. Series II consisted of 12 10 MW experiments. The objective of the experiments was to characterize the temperature and flow field for fire scenarios with a controlled heat release rate in the presence of sprinklers, draft curtains, and smoke & heat vents. The Large Scale Fire Test Facility at UL contains a 37 m by 37 m (120 ft by 120 ft) main fire test cell, equipped with a 30.5 m by 30.5 m (100 ft by 100 ft) adjustable height ceiling. The UL/NFPRF test results (Series I) are summarized in Table 3.5. The UL/NFPRF test results (Series II) are summarized in Table 3.6. The layout of the experiments is shown in Figs. 3.13 and 3.14.

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. Серия II состоял из 12 10 экспериментов МВт. Целью экспериментов было охарактеризовать температуру и поля течения для сценариев пожарных с контролируемой скоростью выделения тепла 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. Компонетка 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

Table 3.5: Results of the UL/NFPRF Series I Experiments. Note that DNO means "Did Not Open". Also note, the fires grew at a rate proportional to the square of the time until a certain flow rate of fuel was achieved at which time the flow rate was held steady. Thus, the "Heat Release Rate" was the size of the fire at the time when the fuel supply was leveled off.

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 выровнялась.

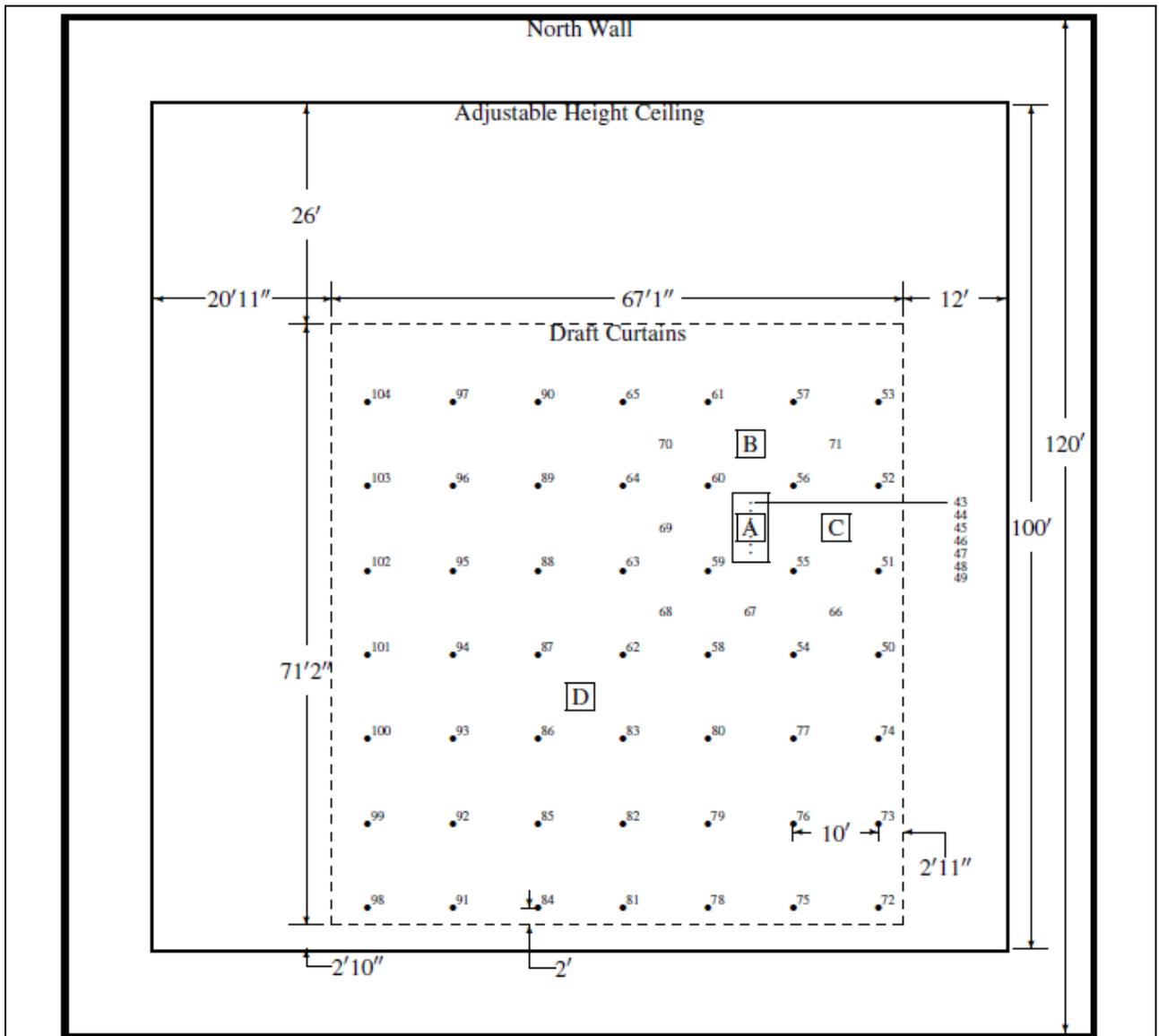


Figure 3.13: Plan view of the UL/NFPRF Experiments, Series I. The sprinklers are indicated by the solid circles and are spaced 3 m apart. The number beside each sprinkler location indicates the channel number of the nearest thermocouple. The vent dimensions are 4 ft by 8 ft. The boxed letters A, B, C and D indicate burner positions. Corresponding to each burner position is a vertical array of thermocouples. Thermocouples 1–9 hang 7, 22, 36, 50, 64, 78, 92, 106 and 120 in from the ceiling, respectively, above Position A. Thermocouples 10 and 11 are positioned above and below the ceiling tile directly above Position B, followed by 12–20 that hang at the same levels below the ceiling as 1–9. The same pattern is followed at Positions C and D, with thermocouples 21–31 at C and 32–42 at D.

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 термодары. Размеры вентиляционных 4 фута на 8 футов в коробке буквы A, B, C и D указывают позиции горелки. Соответствующей каждому местоположению горелки представляет собой вертикальный массив термодар. Термодары 1-9 повесить 7, 22, 36, 50, 64, 78, 92, 106 и 120 в с потолка, соответственно, выше Позиция A. термодар 10 и 11 расположены выше и ниже потолочной плитки непосредственно над Позиция B, затем 12-20, что повесить на том же уровне ниже потолка, как 1-9. Такая же картина следуют в положениях C и D, с помощью термодар 21-31 на C и 32-42 на D.

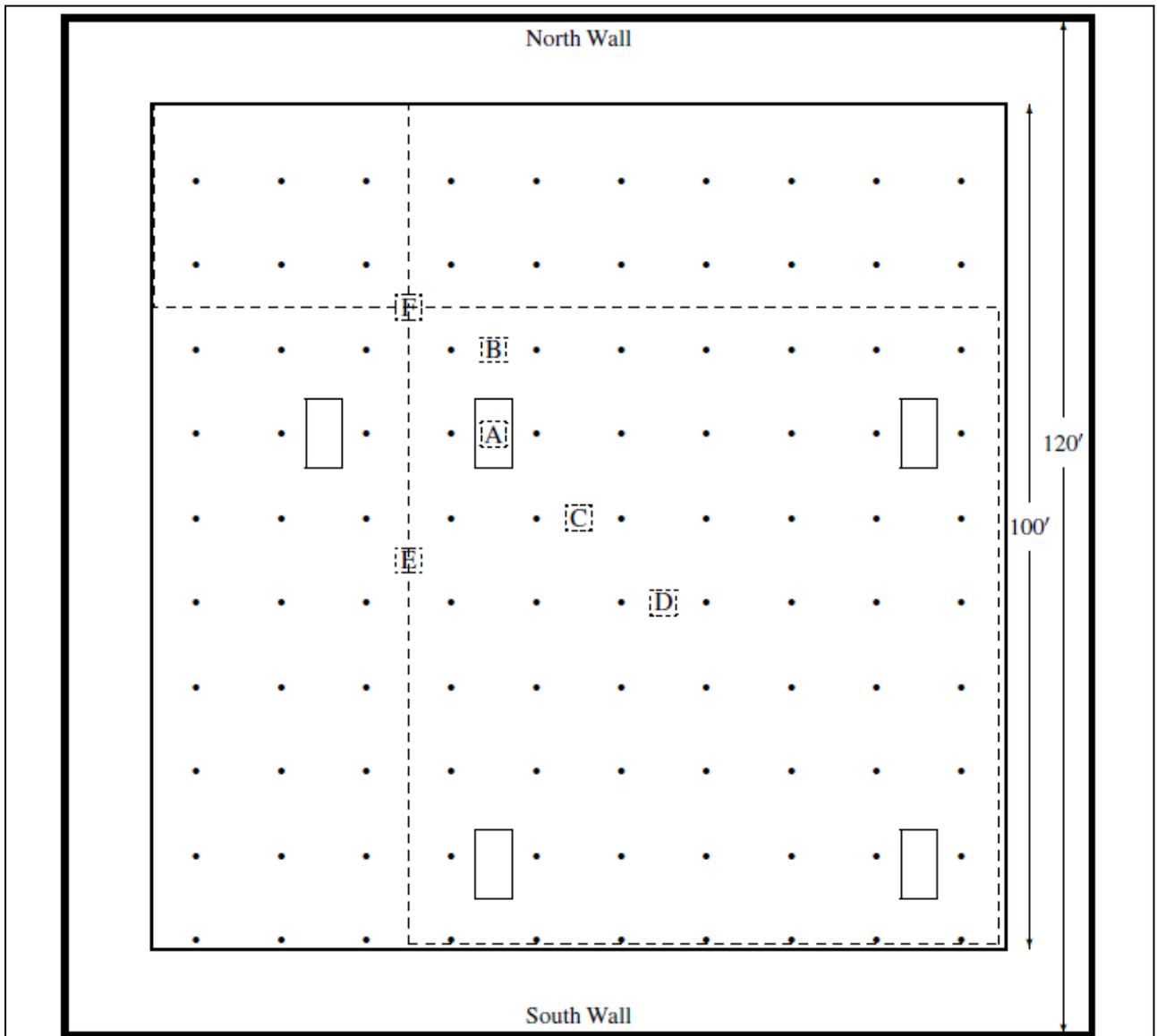


Figure 3.14: Plan view of the UL/NFPRF Experiments, Series II. The boxed letters A, B, C, D, E and F indicate burner positions. The sprinklers are indicated by the solid circles and are spaced 10 ft apart. The branch lines run north to south. The vents are 4 ft by 8 ft.

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

<p>Table 3.6: Results of the heptane spray burner Series II. Note that all fires were ramped up to 10MW in 75 s following a t-squared curve. Also, the plus sign appended to a value in the "Sprinklers Opened" column indicates that the area of sprinkler activation spread to the edge of the adjustable height ceiling, thus more activations might have occurred had the ceiling extended further.</p>	<p>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.</p>
<p>Ceiling: The ceiling was raised to a height of 7.6 m and instrumented with thermocouples and other measurement devices. The ceiling was constructed of 0.6 m by 1.2 m by 1.6 cm UL fire-rated Armstrong Ceramaguard (Item 602B) ceiling tiles. The manufacturer reported the thermal properties of the material to be: specific heat 753 J/(kg_K), thermal conductivity 0.0611 W/(m_K), and density 313 kg/m³.</p>	<p>Потолок: Потолок был поднят на высоту 7,6 м и оборудован системой термодатчиков и других измерительных приборов. Потолок был построен из 0,6 м на 1,2 м на 1,6 см UL противопожарных Армстронг Ceramaguard (Пункт 602B) потолочных плит. Производитель сообщил тепловых свойств материала, подлежащего: теплоемкость 753 Дж / (кг_K), теплопроводность 0,0611 Вт / (м_K), и плотность 313 кг/м³.</p>
<p>Draft Curtains: Sheet metal, 1.2 mm thick and 1.8 m deep, was suspended from the ceiling for 16 of the 22 Series I tests, enclosing an area of about 450 m² and 49 sprinklers. The curtains were in place for all of the Series II tests.</p>	<p>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.</p>
<p>Sprinklers: Central ELO-231 (Extra Large Orifice) uprights were used for all the tests. The orifice diameter of this sprinkler is reported by the manufacturer to be nominally 1.6 cm (0.64 in), the reference actuation temperature is reported by the manufacturer to be 74_C (165_F). The RTI (Response Time Index) and C-factor (Conductivity factor) were reported by UL to be 148 (m_s)^{1/2} and 0.7 (m/s)^{1/2}, respectively [169]. When installed, the sprinkler deflector was located 8 cm below the ceiling. The thermal element of the sprinkler was located 11 cm below the ceiling. The sprinklers were installed with nominal 3 m by 3 m (exact 10 ft by 10 ft) spacing in a system designed to deliver a constant 0.34 L/(s_m²) (0.50 gpm/ft²) discharge density when supplied by a 131 kPa (19 psi) discharge pressure</p>	<p>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)^{1/2}, 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 gpm/ft²) плотность разряда, когда питание от 131 кПа (19 пси) давление на выходе</p>
<p>Vent: UL-listed double leaf fire vents with steel covers and steel curb were installed in the adjustable height ceiling in the position shown in Figs. 3.13 and 3.14. The</p>	<p>Вентиляция: UL- перечисленных двойных листьев пожарные отверстия со стальными крышками и стали обочины были установлены в регулируемой высоты</p>

<p>vent is designed to open manually or automatically. The vent doors were recessed into the ceiling about 0.3 m (1 ft).</p>	<p>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) .</p>
<p>Heat Release Rate: The heptane spray burner consisted of a 1 m by 1 m square of 1.3 cm pipe supported by four cement blocks 0.6 m off the floor. Four atomizing spray nozzles were used to provide a free spray of heptane that was then ignited. For all but one of the Series I tests, the total heat release rate from the fire was manually ramped up following a "t-squared" curve to a steady-state in 75 s (150 s was used in Test I-16). The fire was ramped to 10 MW in 75 s for the Series II tests. The fire growth curve was followed until a specified fire size was reached or the first sprinkler activated. After either of these events, the fire size was maintained at that level until conditions reached roughly a steady state, i.e., the temperatures recorded near the ceilings remained steady and no more sprinkler activations occurred. The heat release rate from the burner was confirmed by placing it under the large product calorimeter at UL, ramping up the flow of heptane in the same manner as in the tests, and measuring the total and convective heat release rates. It was found that the convective heat release rate was 0.65 _ 0.02 of the total.</p>	<p>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 потолков 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.</p>
<p>Instrumentation: The instrumentation for the tests consisted of thermocouples, gas analysis equipment, and pressure transducers. The locations of the instrumentation are referenced in the plan view of the facility (Fig. 3.13). Temperature measurements were recorded at 104 locations. Type K 0.0625 in diameter Inconel sheathed thermocouples were positioned to measure (i) temperatures near the ceiling, (ii) temperatures of the ceiling jet, and (iii) temperatures near the vent.</p>	<p>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.</p>
<p>3.35 Ulster SBI Corner Heat Flux Measurements</p>	<p>3.35 Измерения углового теплового потока Ольстера SBI</p>
<p>Zhang et al. [170] measured the heat flux and flame heights from fires in the single burning item (SBI) enclosure at the University of Ulster, Northern Ireland. Thin steel plate probes were used to measure the surface heat flux, and flame heights were determined by analyzing the instantaneous images extracted from the videos of the experiments by a CCD camera. Three heat release rates were used – 30 kW, 45 kW, and 60 kW.</p>	<p>Чжан и др. [170] измерили теплового потока и пламени высоты от пожаров в пункте одной горячей (ВОО) корпуса в университете Ольстера , Северная Ирландия. Тонкие стальные пластины зонды используются для измерения тепловой поток у поверхности , и высоты пламени были определены на основе анализа мгновенных фотографий , извлеченные из видео экспериментов по ПЗС-камеры . Три скорости высвобождения тепла были использованы - 30 кВт , 45 кВт и 60 кВт.</p>
<p>3.36 USCG/HAIWater Mist Suppression Tests</p>	<p>3.36 Береговая охрана США / HAIWater Mist подавления тесты</p>
<p>The U.S. Coast Guard sponsored a series of experiments to assess the fire suppression capabilities of a variety of water mist systems in a variety of ship board configurations. The experiments were conducted in 1999 by Hughes Associates, Inc., in a simulated machinery space aboard the test vessel State of Maine at the USCG Fire and Safety Test Detachment, Mobile, Alabama [171]. The space had nominal dimensions of 7 m by 5 m by 3 m, containing two steel engine mock-ups each measuring 3 m by 1 m by 1.5 m. The space was equipped with a door for natural ventilation and a forced ventilation system providing approximately 15 air</p>	<p>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</p>

<p>changes per hour. Five commercially available water mist systems were evaluated. The obstructed heptane spray fires ranged in size from approximately 250 kW to 1 MW.</p>	<p>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 .</p>
<p>3.37 USN High Bay Hangar Experiments</p>	<p>3.37 USN Высокий отсек Ангар Эксперименты</p>
<p>The U.S. Navy sponsored a series of 33 tests within two hangars examining fire detection and sprinkler activation in response to spill fires in large enclosures. Experiments were conducted using JP-5 and JP-8 fuels in two Navy high bay aircraft hangars located in Naval Air Stations in Barber's Point, Hawaii and Keflavik, Iceland.</p>	<p>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 .</p>
<p>The Hawaii tests were conducted in a 15 m high hangar measuring 97.8 m in length and 73.8 m in width. Of the 13 tests conducted in the facility 11 were conducted in pans ranging from .09 m² to 4.9 m² in area with heat release rates varying from 100 kW to 7.7 MW. The burner was placed in the center of the room on a scale that continuously recorded the pans weight. The facility was equipped with a number of detection devices including thermocouples, electronic smoke and spot heat detectors, projected beam smoke detectors, combination UV/IR optical flame detectors, line-type heat detectors, as well as sprinklers. Measurements were recorded at a large number of locations allowing for a through profile of compartment behavior.</p>	<p>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 термопары, 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 .</p>
<p>It was suspected that fire plume behavior and response of detection devices in a cold building may not have been well replicated by the experiments held in the warm hangar in Hawaii. The Iceland tests were conducted under a 22 m barrel vaulted ceiling in a hangar measuring 45.7 m by 73.8 m. 22 tests in total were conducted. The majority of these tests fires burned JP-5 fuel with the remainder burning JP-8. The jet fuel fires ranged in size from .06 m² to 20.9 m² and in heat release rate from 100 kW to approximately 33 MW. The facility was equipped similarly to the Hawaii hangar.</p>	<p>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.</p>
<p>3.38 Vettori Flat Ceiling Experiments</p>	<p>3.38 Веттори плоский потолок Эксперименты</p>
<p>Vettori [47] analyzed a series of 45 experiments conducted at NIST that were intended to compare the effects of different ceiling configurations on the activation times of quick response residential pendant sprinklers. The two ceiling configurations used consisted of an obstructed ceiling, with parallel beams 0.038 m wide by 0.24 m deep placed 0.41 m on center, and a smooth ceiling configuration, in which the beams were covered by a sheet of gypsum board. In addition to the two ceiling configurations, there were also three fire growth rates and three burner locations used – a total of 18 test configurations. The fire growth rate was provided by a computer controlled methane gas burner to mimic a standard t-squared fire growth rate with either a slow, medium, or fast ramp up. The burner was placed in a corner of the room, then against an adjacent wall, and then in a location removed from any wall. Measurements were taken to record sprinkler activation time, temperatures at varying heights and locations within the room, and the ceiling jet velocities at several other</p>	<p>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</p>

locations. A diagram of the test structure is displayed in Figure 3.15.	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.
3.39 Vettori Sloped Ceiling Experiments	3.39 Веттори наклонным потолком Эксперименты
Vettori [48] performed a series of 72 compartment experiments to assess the effects of ceiling beams and slopes on the activation times of quick-response residential pendent sprinklers. There were 36 experiments (2 replicates of each) combining the following parameters:	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:
<ul style="list-style-type: none"> • Flat, 13°, or 24° Sloped Ceiling • Smooth or Obstructed Ceiling • Fast or Slow Growth Fire • Corner, Side Wall, or Detached Burner Location 	<ul style="list-style-type: none"> • Плоский, 13°, 24° или наклонным потолком • Гладкая или Затрудненные потолка • Быстро или медленно своих Рост • Угол, Боковая стенка или коттеджа горелки расположение

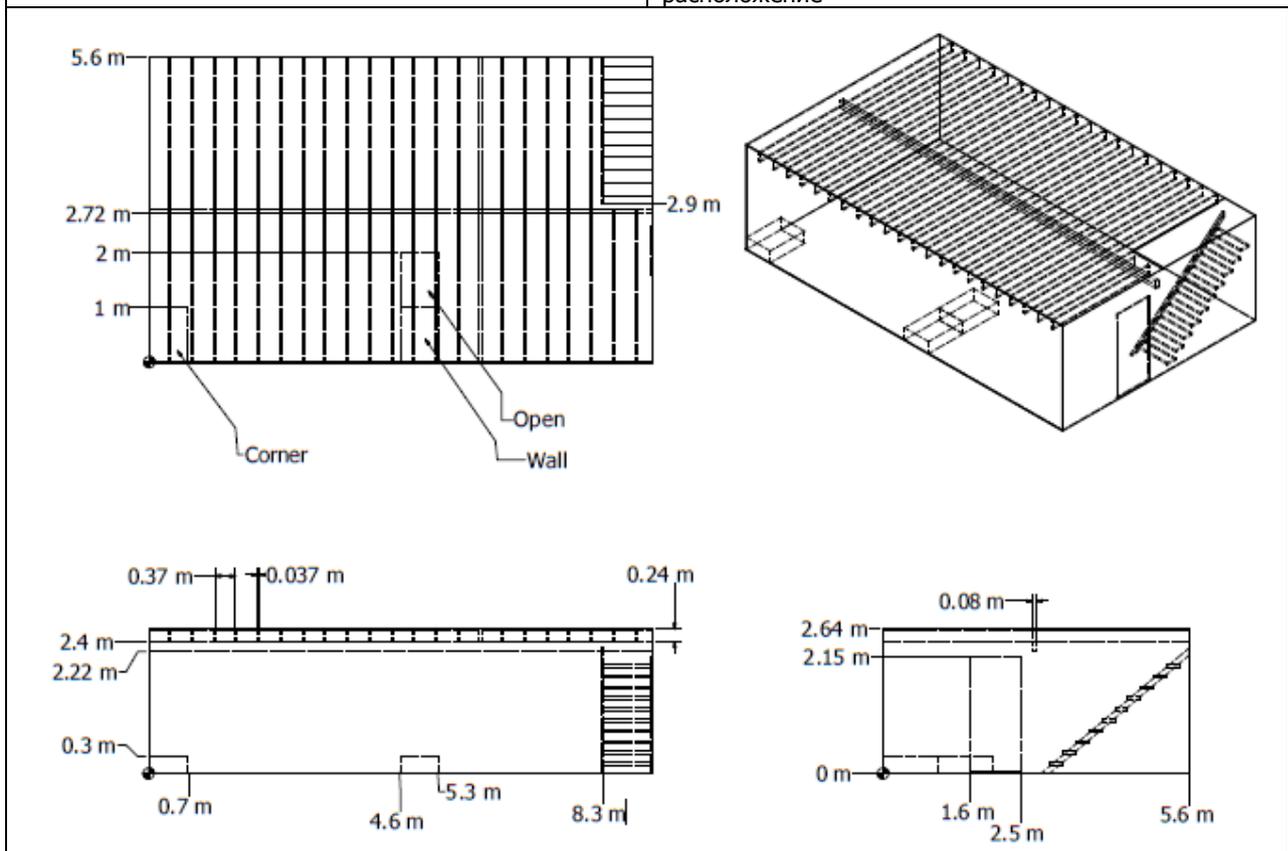


Figure 3.15: Geometry of the Vettori Flat Ceiling compartment.	Рисунок 3.15: Геометрия плоского потолка помещения по Веттори.
3.40 VTT Large Hall Tests	3.40 Испытания VTT в большом зале
The experiments are described in Ref. [172]. The series consisted of 8 experiments, but because of replicates only three unique fire scenarios. The experiments were undertaken to study the movement of smoke in a large hall with a sloped ceiling. The tests were conducted inside the VTT Fire Test Hall, with dimensions of 19 m high by 27 m long by 14 m wide. Each test involved a single heptane pool fire, ranging from 2 MW to 4 MW. Four types of predicted output were used in the present evaluation – the HGL temperature and depth, average flame height and the plume temperature. Three vertical arrays of thermocouples (TC), plus two thermocouples in the plume, were compared to FDS predictions. The HGL temperature and height were reduced from an average of the three TC arrays using the standard algorithm described in Chapter 5. The ceiling jet temperature was not considered, because the ceiling in the test hall is not	Эксперименты описаны в работе [172]. Серия состояла из 8 экспериментов, но из-за повторов только три уникальных сценариев пожара. Эксперименты были проведены для изучения движения дыма в большом зале с наклонным потолком. Испытания проводились внутри VTT огневое испытание зале, с размерами 19 м в высоту на 27 м в длину и 14 м в ширину. Каждый тест участвует один пожар гептан бассейн, начиная от 2 МВт до 4 МВт. Четыре типа предсказанного выходе были использованы в настоящем оценки - температура HGL и глубине, средняя высота пламени итемпературы факела. Три вертикальные массивы термопар (TC), а также два термопар в факеле, были по сравнению с FDS предсказаний. Температура HGL и высота были снижены в среднем с трех массивов TC с использованием стандартного

flat, and the standard model algorithm is not appropriate for this geometry.	алгоритма , описанного в главе 5. Температура потолка струи не рассматривался , потому что потолок в тестовом зале не является плоским, и стандартный алгоритм модель не подходит для этой геометрии .
The VTT test report lacks some information needed to model the experiments, which is why some information was based on private communications with the principal investigator, Simo Hostikka.	Протокол испытаний VTT испытывает недостаток в некоторой информации, необходимой для моделирования экспериментов , вот почему некоторая информация была основана на личных сообщениях с главного исследователя, Симо Hostikka .
Surface Materials: The walls and ceiling of the test hall consist of a 1 mm thick layer of sheet metal on top of a 5 cm layer of mineral wool. The floor was constructed of concrete. The report does not provide thermal properties of these materials.	Материалы поверхности: Стены и потолок испытательного зала состоят из толстого слоя 1 мм листового металла на вершине 5 см слоем минеральной ваты . Пол был построен из бетона. В докладе не обеспечивает тепловые свойства этих материалов .
Natural Ventilation: In Cases 1 and 2, all doors were closed, and ventilation was restricted to infiltration through the building envelope. Precise information on air infiltration during these tests is not available. The scientists who conducted the experiments recommend a leakage area of about 2 m ² , distributed uniformly throughout the enclosure. By contrast, in Case 3, the doors located in each end wall (Doors 1 and 2, respectively) were open to the external ambient environment. These doors are each 0.8 m wide by 4 m high, and are located such that their centers are 9.3 m from the south wall.	Естественная Вентиляция: В случаях 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 доступен. Ученые , проводившие эксперименты порекомендовать область утечки около 2 м ² , распределенных равномерно по всей корпусе. В противоположность этому, в случае 3 , двери , расположенные в каждой торцевой стенке (двери 1 и 2 соответственно) были открыты для внешнего окружающей среды. Эти двери каждый 0,8 м в ширину и 4 м в высоту , и расположены так, что их центры находятся 9,3 м от южной стены .
Mechanical Ventilation: The test hall has a single mechanical exhaust duct, located in the roof space, running along the center of the building. This duct had a circular section with a diameter of 1 m, and opened horizontally to the hall at a distance of 12 m from the floor and 10.5 m from the west wall. Mechanical exhaust ventilation was operational for Case 3, with a constant volume flow rate of 11 m ³ /s drawn through the exhaust duct.	Механическая вентиляция: Тест зал имеет единую механическую вытяжную трубу , расположенную в пространстве под крышей , бег по центру здания. Этот канал был круглое сечение диаметром 1 м , и открыл по горизонтали в зал на расстоянии 12 м от пола и 10,5 м от западной стены . Механическая вытяжная вентиляция оперативных для случая 3 , с постоянной объемной скорости потока 11 м ³ / с , проведенной через вытяжной канал .
Heat Release Rate: Each test used a single liquid fuel pan with its center located 16 m from the west wall and 7.4 m from the south wall. For all tests, the fuel was heptane in a circular steel pan that was partially filled with water. The pan had a diameter of 1.17 m for Case 1 and 1.6 m for Cases 2 and 3. In each case, the fuel surface was 1 m above the floor. The trays were placed on load cells, and the HRR was calculated from the mass loss rate. For the three cases, the fuel mass loss rate was averaged from individual replicate tests. In the HRR estimation, the heat of combustion (taken as 44,600 kJ/kg) and the combustion efficiency for n-heptane was used. Hostikka suggests a value of 0.8 for the combustion efficiency. Tewarson reports a value of 0.93 for a 10 cm pool fire [173]. For the calculations reported in the current study, a combustion efficiency of 0.85 is assumed. In general, an uncertainty of 15 % has been assumed for the reported HRR of most of the large scale fire experiments used.	Скорость выделения тепла: Каждый тест использовался один на жидком топливе кастрюлю с его центром, расположенным 16 м от западной стены и 7,4 м от южной стены . Для всех испытаний , топливо было гептан в круглом стали сковороду , что было частично заполненной водой. Пан имел диаметр 1,17 м для случая 1 и 1,6 м для случаев, 2 и 3. В каждом случае , поверхность топлива был 1 м от пола. Лотки были размещены на тензодатчиков , а также HRR рассчитывали по скорости потери массы . За три случаях скорость потери массы топлива был в среднем от индивидуальных тестов повторных . По оценке HRR , был использован теплота сгорания (взятый в качестве 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 .
Radiative Fraction: The radiative fraction was assumed to be 0.35, similar to many smoky hydrocarbons.	Доля излучения: Предполагается, что доля излучения равна 0.35, аналогично многим дымным углеводородам.
A diagram of the test structure is displayed in Figure 3.16.	Схема тестовой структуры показана на рис 3.16.

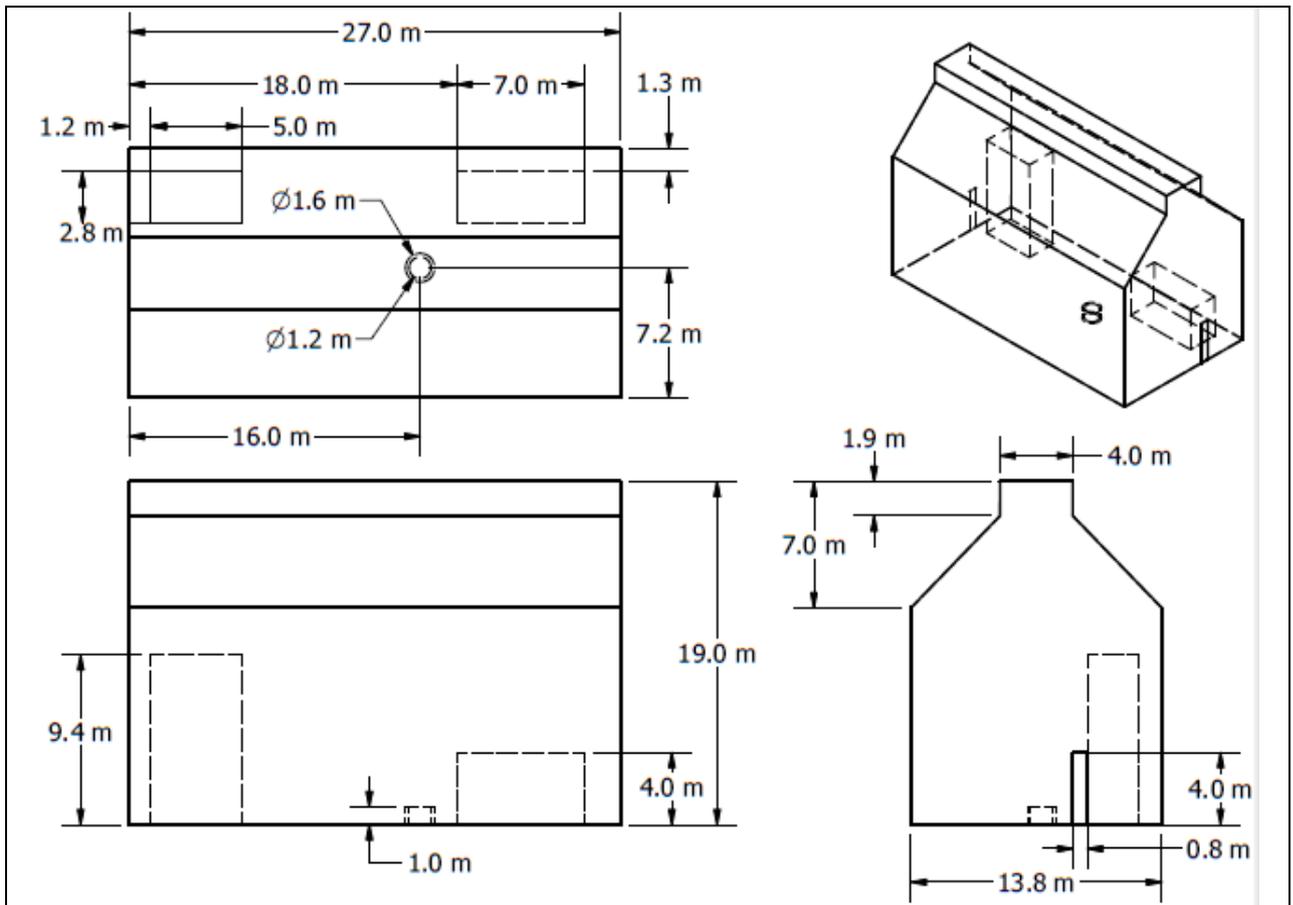


Figure 3.16: Geometry of the VTT Large Fire Test Hall.

Рисунок 3.16: Геометрия испытания VTT крупного пожара в зале.

3.41 WTC Spray Burner Test Series

3.41 Серия испытаний распылительной горелки в Центре мировой торговли

As part of its investigation of the World Trade Center disaster, the Building and Fire Research Laboratory at NIST conducted several series of fire experiments to both gain insight into the observed fire behavior and also to validate FDS for use in reconstructing the fires. The first series of experiments involved a relatively simple compartment with a liquid spray burner and various structural elements with varying amounts of sprayed fire-resistant materials (SFRM). A diagram of the compartment is shown in Fig. 3.17. A complete description of the experiments can be found in the NIST WTC report NCSTAR 1-5B [62]. The overall enclosure was rectangular, as were the vents and most of the obstructions. The compartment walls and ceiling were made of 2.54 cm thick marineite. The manufacturer provided the thermal properties of the material used in the calculation. The density was 737 kg/m³, conductivity 0.12 W/m/K. The specific heat ranged from 1.17 kJ/kg/K at 93 °C to 1.42 kJ/kg/K at 425 °C. This value was assumed for higher temperatures. The steel used to construct the column and truss flanges was 0.64 cm thick. The density of the steel was assumed to be 7,860 kg/m³; its specific heat 0.45 kJ/kg/K.

В рамках своего расследования катастрофы Всемирного торгового центра, Научно-исследовательская лаборатория Строительство и Пожар на NIST провели несколько серий пожарных экспериментов как для усиления проникновения в наблюдаемого поведения пожара, а также для проверки FDS для использования в восстановлении пожаров. В первой серии экспериментов участвовали относительно простой отсек с жидким распылением горелки и различных структурных элементов с различными количествами распыляемого негорючих материалов (SFRM). Схема отсека показана на рис. 3.17. Полное описание экспериментов 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 marineite. 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 температур. 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.

Two fuels were used in the tests. The properties of the fuels were obtained from measurements made on a series of unconfined burns that are referenced in the test

Два топлива были использованы в тестах. Свойства топлив были получены из измерений, выполненных на серии неограниченных ожогов, на которые

report. The first fuel was a blend of heptane isomers, C₇H₁₆. Its soot yield was set at a constant 1.5 %. The second fuel was a mixture (40 % - 60 % by volume) of toluene, C₇H₈, and heptane. Because FDS only considers the burning of a single hydrocarbon fuel, the mixture was taken to be C₇H₁₂ with a soot yield of 11.2 %. The radiative fraction for the heptane blend was 0.44; for the heptane/toluene mixture it was 0.39. The heat release rate of the simulated burner was set to that which was measured in the experiments. The spray burner was modeled using reported properties of the nozzle and liquid fuel droplets.

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 FDS считает сжогение одного углеводородного топлива , смесь принято быть C₇H₁₂ с сажей 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.

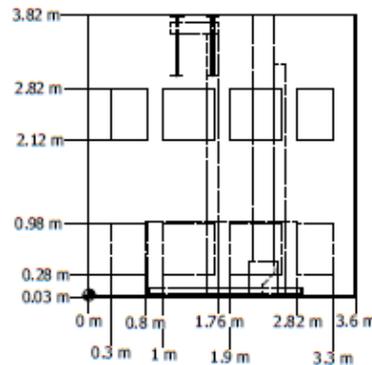
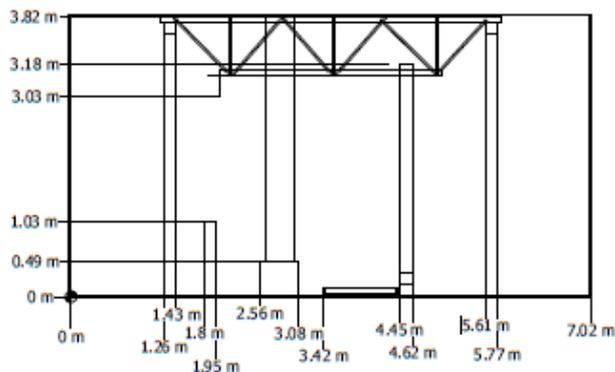
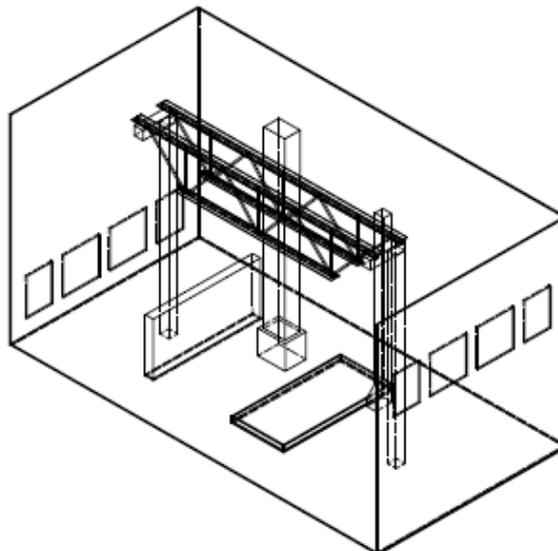
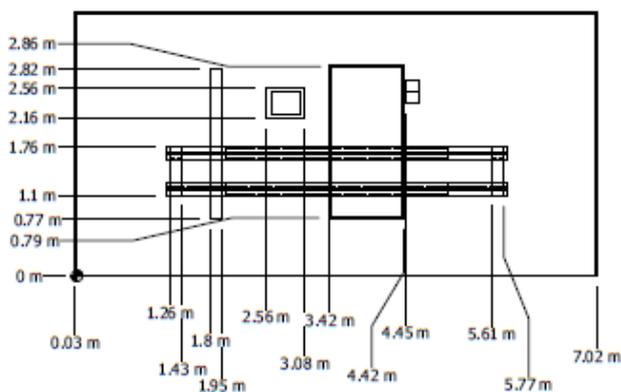


Figure 3.17: Geometry of the WTC Experiments.

Рисунок 3.17: Геометрия экспериментов в Центре мировой торговли.

3.42 Summary of Experiments

Table 3.7 presents a summary of all the experiments described in this chapter in terms of quantities commonly used in fire protection engineering. This "parameter space" outlines the range of applicability of the validation studies performed to date. The parameters are explained below:

3.42 Резюме экспериментов

Таблица 3.7 представляет собой резюме всех экспериментах, описанных в этой главе через величины, обычно используемых в противопожарной защиты техники. Это "пространство параметров" очерчивает границы применимости исследований по валидации выполненных до настоящего времени. Параметры описаны ниже:

Heat Release Rate, \dot{Q} , is the range of peak heat release rates of the fires in the test series.

Скорость тепловыделения, \dot{Q} , является диапазон пиковой скоростью тепловыделения пожаров в серии испытаний.

Fire Diameter, D , is the equivalent diameter of the base of the fire, calculated $D = \sqrt{4A/\pi}$, where A is the area of the base.

Диаметр пожара, D , является эквивалентный диаметр основания пожара, в расчете $D = \sqrt{4A/\pi}$, где A представляет собой площадь основания.

Ceiling Height, H , is the distance from floor to ceiling.

Высота потолка, H , расстояние от пола до потолка.

Fire Froude Number, Q_{∞} , is a useful non-dimensional quantity for plume correlations and flame height

Огонь Фруда, Q_{∞} , является полезным безразмерная величина для плюмов корреляций и

estimates.	высоте оценках пламени .
$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} \quad (3.4)$	
It is essentially the ratio of the fuel gas exit velocity and the buoyancy-induced plume velocity. Jet fires are characterized by large Froude numbers. Typical accidental fires have a Froude number near unity.	По существу, это отношение скорости выхода газа топлива и плавучести , вызванной скорости шлейфа . Jet пожары характеризуются большим числом Фруда . Типичные пожары имеют ряд Фруда около единицы .
Flame Height relative to Ceiling Height , $L_f = H$, is a convenient way to express the physical size of the fire relative to the size of the room. The height of the visible flame, based on Heskestad's correlation, is estimated by:	Высота пламени по сравнению с высотой потолка , $LF = H$, является удобным способом выразить физический размер пожарной относительно размера комнаты. Высота видимого пламени , на основе корреляции Heskestad , оценивается :
$L_f = D \left(3.7 (Q^*)^{2/5} - 1.02 \right) \quad (3.5)$	
Global Equivalence Ratio , f , is the ratio of the mass flux of fuel to the mass flux of oxygen into the compartment, divided by the stoichiometric ratio.	Соотношение глобальный ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ , F , представляет собой отношение потока массы топлива к массовому потоку кислорода в отсеке , деленное на стехиометрическом соотношении .
$\phi = \frac{\dot{m}_f}{r \dot{m}_{O_2}} \equiv \frac{\dot{Q} \text{ (kW)}}{13,100 \text{ (kJ/kg)} \dot{m}_{O_2}} ; \quad \dot{m}_{O_2} = \begin{cases} \frac{1}{2} 0.23 A_0 \sqrt{H_0} & : \text{ Natural Ventilation} \\ 0.23 \rho \dot{V} & : \text{ Mechanical Ventilation} \end{cases} \quad (3.6)$	
Here, r is the stoichiometric ratio, A_0 is the area of the compartment opening, H_0 is the height of the opening, ρ is the density of air, and \dot{V} is the volume flow of air into the compartment. If $f < 1$, the compartment is considered "well-ventilated" and if $f > 1$, the compartment is considered "underventilated."	Здесь R является стехиометрическое соотношение , A_0 является площадь отверстия отсека , H_0 равна высоте отверстие , ρ -плотность воздуха, а \dot{V} является объемный расход воздуха в отсеке. Если $e < 1$, отсек считается " хорошо проветриваемом " и если $F > 1$, отсек считается " underventilated . "
Compartment Aspect Ratios , $W=H$ and $L=H$, indicate if the compartment is shaped like a hallway, typical room, or vertical shaft.	Коэффициенты отсек аспект , $W = H$ и $L = H$, указать, если отсек имеет форму прихожей, типичной комнате, или вертикальным валом .
Relative Distance along the Ceiling , $r_c = j=H$, indicates the distance from the fire plume of a sprinkler, smoke detector, etc., relative to the compartment height, H .	Относительное расстояние вдоль потолка , $RC J = H$, указывает расстояние от пожарной шлейф дождевальная , дымовые датчики, и т.д. , по отношению к высоте отсека , H .
Relative Distance from the Fire , $r_{rad}=D$, indicates whether a "target" is near or far from the fire.	Относительная Расстояние от огня , $r_{rad} = D$ показывает, является ли это "цель" близко или далеко от огня.
Table 3.8 lists a few important parameters related to the numerical resolution of the calculation.	Таблица 3.8 списки несколько важных параметров, относящихся к численному решению расчета .
Characteristic Fire Diameter , D_{char} , is a useful length scale that incorporates the heat release rate of the fire.	Характеристика диаметра пожара , D_{char} , является полезным масштаб длины , что включает в себя скорость тепловыделения в огонь.
$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (3.7)$	
Plume Resolution Index , $D_{\text{char}}=dx$, is the number of grid cells of length dx that span the characteristic diameter of the fire. The greater its value, the more "resolved" are the fire dynamics.	Индекс Разрешения струи , $D_{\text{char}} = dx$, это количество ячеек сетки длины DX , которые охватывают характерный диаметр огонь. Чем больше его значение , тем больше " решен" являются динамика пожарные .
Ceiling Height relative to Fire Diameter , $H=D_{\text{char}}$, is the non-dimensional height of the smoke plume.	Высота потолка относительно диаметра пожара , $H = D_{\text{char}}$, является безразмерная высота дымового шлейфа .
Note that the calculations performed for the various validation studies described in this Guide use a wide range of values of the Plume Resolution Index, $D_{\text{char}}=dx$. There are several reasons for this. First, typical applications of FDS often involve relatively small fires in relatively large spaces, and it is impractical to use a very fine grid that captures the detailed fire dynamics.	Обратите внимание, что расчеты, выполненные для различных проверочных исследований , описанных в данном руководстве использовать широкий спектр значений Plume Список Резолюция , $D_{\text{char}} = DX$. Есть несколько причин для этого . Во-первых, типичные приложения FDS часто включают относительно небольшие пожары в относительно больших

Second, for some applications the accuracy of calculation is highly dependent on resolving the plume well, but for others, it is less important. For those citing the validation studies in this Guide, it is important that both the physical and numerical parameters are comparable to the given application.

пространств , и это непрактично использовать очень тонкую сетку , которая захватывает динамику пожарные подробности . Во-вторых, для некоторых приложений точность расчета сильно зависит от разрешения шлейф хорошо, но для других, это не столь важно. Для тех, ссылаясь на исследования проверки в данном руководстве , важно , что как физические и численные параметры сопоставимы с данного приложения .

Table 3.7: Summary of important experimental parameters.

Таблица 3.7 : Резюме важных параметров эксперимента .

Test Series	\dot{Q} (kW)	D (m)	H (m)	\dot{Q}^*	L_f/H	ϕ	W/H	L/H	r_{c_j}/H	r_{rad}/D
Arup Tunnel	5344	1.6	7	1.4	0.8	0.03	1.1	43	0 – 1.1	N/A
ATF Corridors	50 – 500	0.5	2.4	0.3 – 3.1	0.3 – 1	0.01 – 0.07	0.8	7.1	0.8 – 6	N/A
Beyler Hood	8 – 30	0.2	0.5	0.4 – 1.0	0.7 – 1.4	0.2 – 1.7	2.0	2.0	N/A	N/A
Bryant Doorway	34 – 511	0.3	2.4	0.4 – 6.4	0.3 – 1	0.01 – 0.16	1.0	2.1	0.6 – 0.8	N/A
CSTB Tunnel	1965 – 2484	0.8	1.9	2.9 – 3.7	2.1 – 2.4	0.04 – 0.05	1.3	28	1.6 – 12.6	N/A
Cup Burner	0.3	0.028	Open	1.9	Open	Varying	Open	Open	Open	N/A
FAA Cargo	5	0.1	1.4	1.3	0.2	0	2.3	4.8	0.1 – 4.8	N/A
Fleury Heat Flux	100 – 300	0.3 – 0.6	Open	0.3 – 4.3	Open	Open	Open	Open	Open	0.8 – 6.7
FM Panels	30 – 100	0.5	Open	0.15 – 0.5	Open	Open	Open	Open	Open	0 – 0.3
FM/SNL	470 – 516	0.9	6.1	0.5 – 0.6	0.3	0.2	2.0	3.0	0.2 – 0.3	N/A
Hamins CH ₄	0.4 – 162	0.1 – 1.0	Open	0.1	Open	Open	Open	Open	N/A	0.1 – 12
Harrison Plumes	5 – 15	0.16	0.5	0.4 – 1.3	0.6 – 1.1	0.1	2	2	N/A	N/A
Heskestad	10 ² – 10 ⁷	1.1	Open	10 ⁻¹ – 10 ⁴	Open	Open	Open	Open	N/A	N/A
LLNL Enclosure	50 – 400	0.6	4.5	0.2 – 1.4	0.1 – 0.4	0.03 – 0.22	0.9	1.3	0.3 – 1.0	N/A
McCaffrey Plume	14 – 57	0.3	Open	0.2 – 0.7	Open	Open	Open	Open	N/A	N/A
NBS Multi-Room	110	0.3	2.4	1.4	0.4 – 5.2	0.12	1.0	5.1	0.5 – 0.7	0.9 – 2.4
NIST RSE	50 – 600	0.15	1.0	4.9 – 58.4	1 – 2.9	0.1 – 1.15	1.0	1.5	N/A	N/A
NIST/NRC	350 – 2200	1.0	3.8	0.3 – 1.9	0.4 – 1.1	0.04 – 0.7	1.9	5.7	0.3 – 2.1	2 – 4
NRCC Facade	5000 – 10300	4.3	2.8	0.1 – 0.2	1 – 1.8	2.5 – 5.2	1.6	2.2	N/A	0
NRL/HAI	50 – 520	0.3 – 0.7	Open	1 – 1.1	Open	Open	Open	Open	N/A	0.3 – 8
Sandia Plume	2025 – 5450	1.0	Open	1.7 – 4.6	Open	Open	Open	Open	N/A	N/A
SP AST	450	0.3	2.4	5.7	1	0.1	1.0	1.5	N/A	N/A
Steckler	31.6 – 158	0.3	2.1	0.7 – 3.5	0.3 – 0.7	0.01 – 0.6	1.3	1.3	N/A	N/A
UL/NFPRF	4400 – 10000	1.0	7.6	3.7 – 8.5	0.8 – 1.1	0	4.9	4.9	0.1 – 2.0	N/A
UL/NIST Vents	500 – 2000	0.9	2.4	0.6 – 2.5	0.8 – 1.7	0.1 – 0.5	1.8	2.5	1.0 – 2.3	N/A
Ulster SBI	30 – 60	0.2	Open	1.4 – 2.8	Open	Open	Open	Open	N/A	1 – 7.5
USCG/HAI	250 – 1000	0.3	3.0	5.6 – 22.4	0.6 – 1.1	0.3 – 1.0	1.7	2.3	0 – 0.8	6 – 15
USN Hawaii	100 – 7700	0.3 – 2.5	15	1.3 – 0.7	0.1 – 0.4	0	4.9	6.5	0 – 1.2	N/A
USN Iceland	100 – 15700	0.3 – 3.4	22	1.3 – 0.6	0.1 – 0.4	0	2.1	3.4	0 – 1.0	N/A
Vettori Flat	1055	0.7	2.6	2.3	1.2	Closed	2.1	3.5	0.8 – 2.9	N/A
Vettori Sloped	1055	0.7	2.5	2.3	1.2	0.23	2.2	2.9	N/A	N/A
VTT Large Hall	1860 – 3640	1.4 – 1.8	19	0.7	0.2	0	1.0	1.4	0 – 0.6	N/A
WTC	965 – 1460	1.0	3.8	0.8 – 1.2	0.7 – 0.9	0.5 – 0.7	0.9	1.8	0.1	0.5 – 2

Table 3.8: Summary of important numerical parameters.

Таблица 3.8: Резюме важных числовых параметров.

Test Series	D^* (m)	$D^*/\delta x$	H/D^*
Arup Tunnel	1.8	9	3.8
ATF Corridors	0.3 – 0.7	3 – 7	8.5 – 3.4
Beyler Hood	0.1 – 0.2	5 – 8	3.5 – 2.1
Bryant Doorway	0.2 – 0.7	5 – 14	9.9 – 3.4
CSTB Tunnel	1.2 – 1.3	12 – 13	1.5 – 1.4
Cup Burner	0.04	36	Open
FAA Cargo	0.1	5.6	12
Fleury Heat Flux	0.4 – 0.6	8 – 12	Open
FM Panels	0.2 – 0.4	12 – 19	Open
FM/SNL	0.7	7	8.8 – 8.5
Hamins Burner	0.04 – 0.5	6	Open
Harrison Plumes	0.1 – 0.2	5 – 7	4.4 – 2.8
Heskestad	0.4 – 44	5 – 20	Open
LLNL Enclosure	0.3 – 0.6	1 – 3	15.9 – 6.9
McCaffrey Plume	0.2 – 0.3	5 – 20	Open
NBS Multi-Room	0.4	4	6.2
NIST RSE	0.3 – 0.8	12 – 32	3.5 – 1.3
NIST/NRC	0.6 – 1.3	5 – 11	6.5 – 3.1
NRCC Facade	1.8 – 2.4	18 – 24	1.5 – 1.2
NRL/HAI	0.3 – 0.7	9 – 10	Open
Sandia Plume	1.2 – 1.8	20 – 118	Open
SP AST	0.7	14	3.5
Steckler	0.2 – 0.4	5 – 9	9.1 – 4.8
UL/NFPRF	1.7 – 2.4	8 – 12	4.5 – 3.2
UL/NIST	0.7 – 1.2	7 – 12	3.4 – 1.9
Ulster SBI	0.2 – 0.3	12 – 15	Open
USCG/HAI	0.5 – 0.9	5 – 9	5.6 – 3.2
USN Hawaii	0.4 – 2.1	2 – 11	40.3 – 7.1
USN Iceland	0.4 – 2.8	2 – 14	59 – 7.8
Vettori Flat	1.0	12	2.8
Vettori Sloped	1.0	10	2.6
VTT Large Hall	1.2 – 1.6	5 – 6	15.8 – 12.1
WTC	0.9 – 1.1	9 – 11	4.1 – 3.5

Chapter 4. Quantifying Model Uncertainty

Глава 4. Количественный анализ неопределенности модели

This chapter describes a method to estimate the model uncertainty using comparisons of model predictions with experimental measurements whose uncertainty has been quantified. The method is ideal for complex numerical models like FDS for which a systematic analysis of sub-components is impractical, but for which there exists a relatively large amount of experimental data with which to evaluate the accuracy of the model predictions. If the uncertainty in the experiments can be quantified, the uncertainty in the model can then be expressed in the form of a normal distribution whose mean and standard deviation are estimated from the relative difference between the predicted and measured values.

В этой главе описывается метод оценки модели неопределенности с помощью сравнения предсказаний модели с экспериментальными измерениями, чья неопределенность была количественно определена. Метод идеально подходит для сложных численных моделей, как FDS 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.

This method only addresses model uncertainty. It does not account for the uncertainty associated with the model input parameters. How the parameter uncertainty is treated depends greatly on the type of application.

Этот метод рассматривает только модель неопределенности. Это не учитывает неопределенности, связанной с модельными входными параметрами. Как неопределенность параметр

<p>Regardless of how the parameter uncertainty is calculated, the model uncertainty needs to be addressed independently. In fact, it is incumbent on the model developers to express the uncertainty of the model in as simple a form as possible to enable the end user to assess the impact of parameter uncertainty and then combine the two forms of uncertainty into a final result.</p>	<p>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.</p>
<p>4.1 Introduction</p>	<p>4.1 Введение</p>
<p>The most effective way of introducing the subject of uncertainty in fire modeling is by way of an example. Suppose that a fire model is used to estimate the likelihood that an electrical control cable could be damaged by a fire. It is assumed that the cable loses functionality when its surface temperature reaches 200 °C, and the model predicts that the cable temperature could reach as high as 175 °C. Does this mean that there is no chance of damage? The answer is no, because the input parameters, like the heat release rate of the fire, and the model assumptions, like the way the cables are modeled, are uncertain. The combination of the two – the parameter uncertainty and the model uncertainty – leave open the possibility that the cable temperature could exceed 200 °C.</p>	<p>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 .</p>
<p>This chapter addresses model uncertainty only and suggests a simple method to quantify it. While parameter uncertainty is certainly an important consideration in fire modeling, its treatment varies considerably depending on the particular application. For example, in what is often referred to as a "bounding analysis," the model input parameters are chosen so as to simulate a "maximum credible" or "worst case" fire. In other cases, mean values of the input parameters constitute a "50th percentile" design scenario. Sometimes entire statistical distributions, rather than individual values, of the input parameters are "propagated" through the model in a variety of ways, leading to a statistical distribution of the model output. Notarianni and Parry survey these techniques in the SFPE Handbook [174]. Regardless of the method that is chosen for assessing the impact of the input parameters on the model prediction, there needs to be a way of quantifying the uncertainty of the model itself. In other words, how good is the prediction for a given set of input parameters?</p>	<p>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 ?</p>
<p>The issue of model uncertainty has been around as long as the models themselves. The scenario above, for example, was considered by Siu and Apostolakis in the early 1980s [175] as part of their development of risk models for nuclear power plants. The fire models at the time were relatively simple. In fact, many were engineering correlations in the form of simple formulae. This made the methods for quantifying their uncertainty reasonably tractable because each formula consisted of only a handful of physical parameters. Over the past thirty years, however, both fire modeling and the</p>	<p>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</p>

corresponding methods of uncertainty analysis have become far more complex. The current generation of computational fluid dynamics fire models require such a large number of physical and numerical parameters that it is considered too cumbersome to estimate model uncertainty by systematically assessing their combined effect on the final prediction. The more practical approach is to compare model predictions with actual fire experiments in a validation study, the conclusions of which typically come in the form of statements like: "The model generally over-predicts the measured temperatures by about 10 %," or "The model predictions are within about 20 % of the measured heat fluxes." This information is helpful, at the very least to demonstrate that the model is appropriate for the given application. However, even the statement that the model over-predicts measured temperatures by 10 % is useful not only to gain acceptance of the model but also to provide a better sense of the model's accuracy, and a greater level of assurance in answering the question posed above. Knowing that the model not only predicted a temperature of 175 °C, but also that the model tends to over-predict temperatures by a certain amount, increases the confidence that the postulated fire would not cause the cable to fail. The probability of cable failure could be quantified further via a statistical distribution like the one shown in Fig. 4.1. The area indicated by the shaded region is the probability that the temperature will exceed 200 °C, even though the model has predicted a peak temperature of only 175 °C.

тридцать лет, однако, как огонь моделирование и соответствующие методы анализа неопределенности стали гораздо сложнее. Нынешнее поколение вычислительных моделей жидкости динамика пожарных требуют такого большого количества физических и численных параметров, что она считается слишком громоздким 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 °C, 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 °C, даже при том, что модель предсказала пиковую температуру только 175 °C.

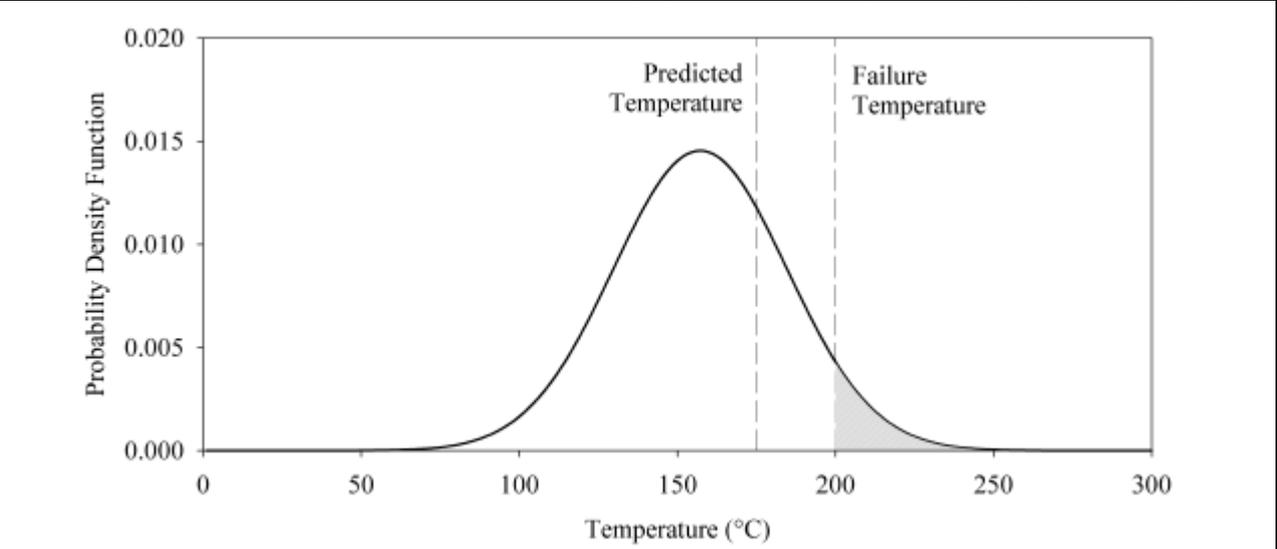


Figure 4.1: Plot showing a possible way of expressing the uncertainty of the model prediction.

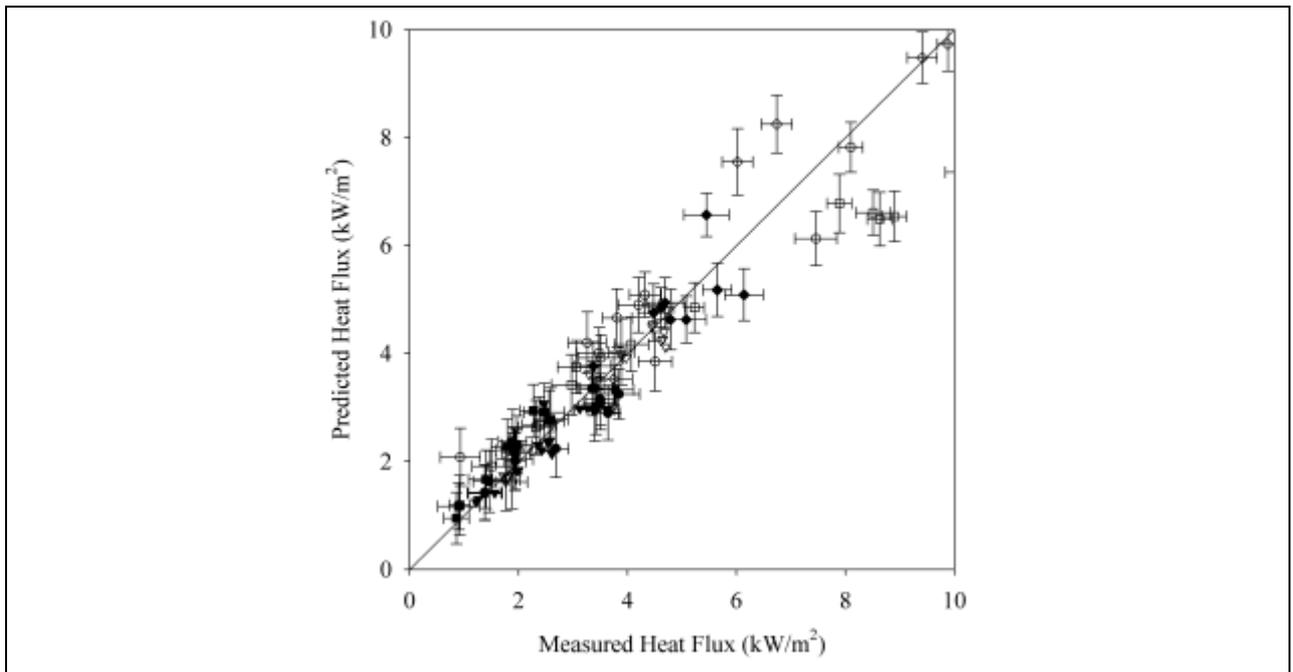
Рисунок 4.1: Диаграмма, показывающая возможный способ выражения неопределенности прогноза модели.

This chapter describes a method for expressing model uncertainty by way of a distribution like the one shown in Fig. 4.1. The procedure is not a dramatic departure from the current practice of fire model validation in that it relies entirely on comparisons of model predictions and experimental measurements. The advantage of the approach is that it does not demand advanced knowledge of statistics or details of the numerical model.

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

<p>The parameters of the distribution shown in Fig. 4.1, namely the mean and standard deviation, are not generated by the model user. Rather, they are reported as the results of the validation study. The calculation of the probability of exceeding some critical threshold (i.e., the area under the curve) is a simple table look-up or function call in data analysis software like Microsoft Excel®.</p>	<p>глубоких знаний в области статистики или детали численной модели . Параметры распределения показано на рис. 4.1 , а именно среднее значение и стандартное отклонение , не порождают 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 ® .</p>
<p>4.2 Sources of Model Uncertainty</p>	<p>4.2 Источники неопределенности модели</p>
<p>A deterministic fire model is based on fundamental conservation laws of mass, momentum and energy, applied either to entire compartments or smaller control volumes that make up the compartments. A CFD model may use millions of control volumes to compute the solution of the Navier-Stokes equations. However, it does not actually solve the Navier-Stokes equations, but rather an approximate form of these equations. The approximation involves simplifying physical assumptions, like the various techniques for treating subgrid-scale turbulence. One critical approximation is the discretization of the governing equations. For example, the partial derivative of the density, ρ, with respect to the spatial coordinate, x, can be written in approximate form as:</p>	<p>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 CFD могут 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 приближений дискретизация основных уравнений . Например, частные производные от плотности , ρ, по отношению к пространственной координаты x , можно записать в приближенной форме как:</p>
$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho_{i+1} - \rho_{i-1}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2) \quad (4.1)$	
<p>where ρ_i is the average value of the density in the ith grid cell and Δx is the spacing between cells. The second term on the right represents all of the terms of order Δx^2 and higher in the Taylor series expansion and are known collectively as the discretization error. These extra terms are simply dropped from the equation set, the argument being that they become smaller and smaller with decreasing grid cell size, Δx. The effect of these neglected terms is captured, to some extent, by the subgrid-scale turbulence model, but that is yet another approximation of the true physics. What effect do these approximations have on the predicted results? It is very difficult to determine based on an analysis of the discretized equations. One possibility for estimating the magnitude of the discretization error is to perform a detailed convergence analysis, but this still does not answer a question like, "What is the uncertainty of the model prediction of the gas temperature at a particular location in the room at a particular point in time?"</p>	<p>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 приближения 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 ? "</p>
<p>To make matters worse, there are literally dozens of subroutines that make up a CFD fire model, from its transport equations, radiation solver, solid phase heat transfer routines, pyrolysis model, empirical mass, momentum and energy transfer routines at the wall, and so on. It has been suggested by some that a means to quantify the model uncertainty is to combine the uncertainties of all the model components. However, such an exercise is very difficult, especially for a computational fluid dynamics (CFD) model, for a number of reasons. First, fire involves a complicated interaction of gas and solid phase phenomena that are closely</p>	<p>Что еще хуже , есть буквально десятки подпрограмм , входящих в состав пожарной модель CFD , 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 гидродинамики (CFD) модели , по ряду</p>

<p>coupled. Second, grid sensitivity in a CFD model or the error associated with a two-layer assumption in a zone model are dependent on the particular fire scenario. Third, fire is an inherently transient phenomenon in which relatively small changes in events, like a door opening or sprinkler actuation, can lead to significant changes in outcome.</p>	<p>причин. Во-первых, пожар приводит к сложной взаимодействию газа и явлений твердой фазы , которые тесно связаны между собой. Во-вторых, чувствительность сетки в модели CFD или ошибки, связанной 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 .</p>
<p>Rather than attempt to decompose the model into its constituent parts and assess the uncertainty of each, the strategy adopted here is to compare model predictions to as many experiments as possible. This has been the traditional approach for quantifying model uncertainty in fire protection engineering because of the relative abundance of test data. Consider, for example, the plot shown in Fig. 4.2. This is the typical outcome of a validation study, where in this case a series of heat flux measurements are compared with model predictions. The diagonal line indicates where the prediction and measurement agree. But because there is uncertainty associated with each, it cannot be said that the model is perfect if its predictions agree exactly with measurements. There needs to be a way of quantifying the uncertainties of each before any conclusions can be drawn. Such an exercise would result in the uncertainty bars¹ shown in the figure. The horizontal bar associated with each point represents the uncertainty in the measurement itself. For example, the heat flux gauge is subject to uncertainty due to its design and fabrication. Because the horizontal bar represents the experimental uncertainty, it is assumed that the vertical bar represents the model uncertainty. This is only partially true. In fact the vertical bar represents the total uncertainty of the prediction, which is a combination of the model and parameter uncertainties. The physical input parameters, like the heat release rate and material properties, are based on measurements that are reported in the documentation of the experiment. The total experimental uncertainty is represented by all of the horizontal bar and part of the vertical. If the experimental uncertainty can be quantified, then the model uncertainty can be obtained as a result.</p>	<p>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 подлежит 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 экспериментальный неопределенность может быть определена количественно, то модель неопределенность можно получить в результате.</p>
<p>¹ The data in Fig. 4.2 was extracted from Ref. [176]. The uncertainty bars are for demonstration only.</p>	<p>¹ Данные на рис. 4,2 экстрагировали из работы . [176] . Неопределенность бары только для демонстрации.</p>



<p>Figure 4.2: Example of a typical scatter plot of model predictions and experimental measurements.</p>	<p>Рисунок 4.2: Пример типичной точечной диаграммы модельных предсказаний и экспериментальных измерений.</p>
<p>4.3 Quantifying the Experimental Uncertainty</p>	<p>4.3 Количественная оценка экспериментальной неопределенности</p>
<p>As discussed in the previous section, the experimental uncertainty is a combination of the uncertainty in the measurement of the quantity of interest, like the gas temperature or heat flux, along with the propagated uncertainty of the measured test parameters, like the heat release rate or material properties. "Propagated uncertainty" is, in this case, what has been referred to above as the parameter uncertainty. It is not the uncertainty of the parameter itself, but rather the uncertainty in the predicted quantity resulting from the uncertainty of the parameter.</p>	<p>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.</p>
<p>In the fire model validation study conducted by the U.S. Nuclear Regulatory Commission [176], Hamins estimated the experimental uncertainty for several full-scale fire experiments. There were two uncertainty estimates needed for each quantity of interest. The first was an estimate, expressed in the form of a 95 % confidence interval, of the uncertainty in the measurement of the quantity itself. For example, reported gas and surface temperatures were made with thermocouples of various designs (bare-bead, shielded, aspirated) with different size beads, metals, and so on. For each, one can estimate the uncertainty in the reported measurement.</p>	<p>В огонь модели анализа беспристрастности, проведенного Комиссией по ядерному регулированию США [176] , Hamins 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 термодпар различных конструкций (с непокрытой шарик , экранированный, с придыханием) с различными Размер шариков , металлов и так далее. Для каждого , можно оценить неопределенность в отчетном измерения .</p>
<p>Next, the uncertainty of the measurements of the reported test parameters was estimated, including the heat release rate, leakage area, ventilation rate, material properties, and so on. It was then necessary to calculate how the uncertainty in these parameters contributed to the uncertainty of the reported measurement. To do this, Hamins examined a number of empirical formulae that are widely used in fire protection engineering to determine the most important test parameters and their</p>	<p>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, Hamins рассмотрели ряд эмпирических формул , которые широко используются в противопожарной защиты</p>

<p>effect on the measured results. These formulae provided the means of propagating the parameter uncertainties through the experiment. For example, it has been shown [177] that the hot gas layer temperature rise, $T - T_0$, due to a compartment fire is proportional to the heat release rate, \dot{Q}, raised to the two-thirds power:</p>	<p>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:</p>
---	---

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

<p>The constant, C, involves a number of geometric and thermo-physical parameters that are unique to the given fire scenario. By way of differentials, this empirical relationship can be expressed in the form:</p>	<p>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:</p>
--	--

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

<p>In words, the relative change in the temperature rise is approximately two-thirds the relative change in the heat release rate. Assuming that the numerical model exhibits the same functional relationship between the compartment temperature and the heat release rate, there is now a way to express the uncertainty of the model prediction as a function of the uncertainty of this most important input parameter. Often, the uncertainty of a measurement is expressed in the form of a 95 % confidence interval, (two standard deviations or 2 s).</p>	<p>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).</p>
--	--

<p>Thus, if the heat release rate of a fire is assumed with 95 % confidence to be within 15 % of the reported measurement, then the temperature predicted by the model has an uncertainty² of at least 10 %.</p>	<p>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%.</p>
---	---

<p>(² An uncertainty that is expressed in the form of a percentage typically means one or two relative standard deviations, often denoted with a tilde, $es = s = m$.)</p>	<p>(² Неопределенность, которая выражается в виде процента, как правило, означает один или два относительных стандартных отклонений, часто обозначаемые с тильды, $ES = S = m$.)</p>
--	--

Table 4.1: Sensitivity of model outputs from Volume 2 of NUREG-1824 [176].

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

<p>The uncertainty of each measurement is expressed as a relative standard deviation. The uncertainty of the measured output quantity is denoted es_{out}, and the uncertainty of each significant input parameter is</p>	<p>Неопределенность каждого измерения выражается как относительное стандартное отклонение. Неопределенность измеряемой величины выходного обозначается es_{out}, и неопределенность каждого</p>
--	--

zenoted esin. Assuming that all the uncertainties are uncorrelated, they are combined via the expression:	значительного входного параметра является zenoted Есин. Если предположить, что все неопределенности являются некоррелированными, они объединяются с помощью выражения:
---	--

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

<p>The factors, p_{in}, represent the power dependencies of the individual input parameters. Table 4.1 lists the most important physical parameters associated with various measured quantities in the experiments and their power dependence.</p> <p>Hamins estimated the combined experimental uncertainties for ten quantities of interest in the U.S. NRC validation study. The results are summarized in Table 4.2, with each combined uncertainty reported in the form of a 95 % confidence interval (i.e., 2 esE). It is assumed throughout that both experiment and model uncertainties can be expressed in relative terms. The assumption is based on a qualitative assessment of dozens of scatter plots similar to that shown in Fig. 4.2 that show the scattered points to form an expanding "wedge" about the diagonal line, or some other off-diagonal line due to an assumed bias in the model predictions. This assessment is a critical component of the analysis described in the next section.</p>	<p>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. Hamins 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 недиагонального линии связи с предполагаемой уклоном в модельных предсказаний. Эта оценка является важным компонентом анализа, описанного в следующем разделе .</p>
--	---

Table 4.2: Summary of Hamins' uncertainty estimates [176].

Таблица 4.2: Резюме оценок неопределенности Hamins ' [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

4.4 Calculating Model Uncertainty	4.4 Расчет неопределенности модели
This section describes a method for calculating the model uncertainty [178]. Specifically, this entails developing formulae for the mean and standard deviation of a statistical distribution like the one shown in Fig. 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 .
These formulae are functions solely of the model predictions and the experimental measurements against which the model is compared. The objective is to characterize the performance of the model in predicting a given quantity of interest (e.g., the hot gas layer temperature) with two parameters; one that expresses the tendency for the model to under or over-predict the true value of the quantity and one that expresses the degree of scatter about the true value.	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

<p>The predicted and measured values of the quantity of interest are obtained from one or more validation studies. Figure 4.3 is a typical example of a comparison of model and measurement. Given that usually dozens of such measurements are made during each experiment, and potentially dozens of experiments are conducted as part of a test series, hundreds of such plots can be produced for any given quantity of interest.</p>	<p>степень разброса об истинной стоимости.</p> <p>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.</p>
<p>Usually, the data is condensed into a more tractable form by way of a single metric with which to compare the two curves like the ones shown in Fig. 4.3. Peacock et al. [179] discuss various possible metrics. A commonly used metric is simply to compare the measured and predicted peak values. If the data is spiky, some form of time-averaging can be used. Regardless of the exact form of the metric, what results from this exercise is a pair of numbers for each time history, $(E_i; M_i)$, where i ranges from 1 to n and both M_i and E_i are positive numbers expressing the increase in the value of a quantity above its ambient. As mentioned above, measurements from full-scale fire experiments often lack uncertainty estimates. In cases where the uncertainty is reported, it is usually expressed as either a standard deviation or confidence interval about the measured value. In other words, there is rarely a reported systematic bias in the measurement because if a bias can be quantified, the reported values are adjusted accordingly. For this reason, assume that a given experimental measurement, E_i, is normally distributed about the "true" value, q_i, and there is no systematic bias:</p>	<p>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 n 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, q_i, и нет систематическая ошибка :</p>
$E \theta \sim N(\theta, \sigma_E^2) \quad (4.5)$	
<p>Figure 4.3: Example of a typical time history comparison of model prediction and experimental measurement.</p>	<p>Рисунок 4.3 : Пример типичного сравнению истории время предсказания модели и экспериментального измерения .</p>

<p>The notation³ $E q$ means that E is conditional on a particular value of q. This is the usual way of defining a likelihood function. It is convenient to use the so-called delta method⁴ to obtain the approximate distribution</p>	<p>Notation³ $E Q$ означает, что E является зависимостью от конкретного значения Q. Это обычный способ определения функции правдоподобия. Это удобно использовать так называемый дельта метод⁴ получить приблизительное распределение</p>
$\ln E \theta \sim N \left(\ln \theta - \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2}, \tilde{\sigma}_E^2 \right) \quad (4.6)$	
<p>The purpose of applying the natural log to the random variable is so that its variance can be expressed in terms of the relative uncertainty, $\text{es}E = sE/q$. This is the way that experimental uncertainties are reported. In addition, the results of past validation exercises, when plotted as shown in Fig. 4.2, form a wedge-shaped pattern that suggests that the difference between predicted and measured values is roughly proportional to the magnitude of the measured value.</p>	<p>Цель применения натурального логарифма к случайной переменной так, чтобы его отклонение может быть выражено в терминах относительной неопределенности, $\text{es}E = SE = \text{ц}$. Это путь, что экспериментальные неопределенности сообщаются. Кроме того, результаты последних упражнений проверки, когда нанесены как показано на рис. 4.2, образуют клиновидный образец, который показывает, что разница между прогнозируемым и измеренными значениями примерно пропорционально величине измеренного значения.</p>
<p>It cannot be assumed, as in the case of the experimental measurements, that the model predictions have no systematic bias. Instead, it is assumed that the model predictions are normally distributed about the true values multiplied by a bias factor, d:</p>	<p>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, распространяются об истинных значениях, умноженных на коэффициент смещения, D:</p>
$M \theta \sim N(\delta \theta, \sigma_M^2) \quad (4.7)$	
<p>The standard deviation, sM, and the bias factor, d, represent the model uncertainty. Again, the delta method renders a distribution for $\ln M$ whose parameters can be expressed in terms of a relative standard deviation:</p>	<p>Стандартное отклонение, SM, а коэффициент смещения, D, представляют модели неопределенности. Опять же, метод дельта оказывает распределение для $\ln M$, параметры которого могут быть выражены в терминах относительного стандартного отклонения:</p>
$\ln M \theta \sim N \left(\ln \delta + \ln \theta - \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2}, \tilde{\sigma}_M^2 \right) ; \quad \tilde{\sigma}_M = \frac{\sigma_M}{\delta \theta} \quad (4.8)$	
<p>Combining Eq. (4.6) with Eq. (4.8) yields:</p>	<p>Объединяя уравнения (4.6) с формулой (4.8) следует:</p>
$\ln M - \ln E = \ln(M/E) \sim N \left(\ln \delta - \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2} + \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2}, \tilde{\sigma}_M^2 + \tilde{\sigma}_E^2 \right) \quad (4.9)$	
<p>Equation (4.9) is important because it does not involve the unknown q, but rather the known predicted and measured values of the quantity of interest plus an estimate of the experimental uncertainty. Until now, it has been assumed that all of the relevant uncertainties can be characterized by normal distributions.</p>	<p>Уравнение (4.9) является важным, поскольку оно не связано с неизвестной Q, а, скорее, известными предсказанными и измеренными значениями количества интереса, а также расчетное экспериментальной неопределенности. До сих пор предполагалось, что все соответствующие неопределенности можно охарактеризовать нормальных распределений.</p>
<p>Equation (4.9) can be used to test this assumption, whereas Eqs. (4.7) and (4.5) cannot. An examination of the results of the validation study discussed above [176] indicates that in cases where the number of pairs of M and E is greater than about 20, the values of $\ln(M/E)$ pass a test for normality⁵, whereas when there are less values, normality cannot be assumed. Figure 4.4 contains a set of data from the validation study. There were 124 point comparisons of measured and predicted Wall Temperatures, for which $\ln(M/E)$ conforms quite well to a normal distribution. If normality cannot be assumed, alternative techniques for assessing model uncertainty with limited experimental data have been proposed, for example, see Ref. [181].</p>	<p>Уравнение (4.9) может быть использован для проверки этого предположения, в то время как уравнения (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 $\ln(M/E)$ соответствует достаточно хорошо к нормальному распределению. Если нормальность нельзя предположить, альтернативные методы для оценки неопределенности модели с ограниченными экспериментальных данных были</p>

предложены , например, см. . [181] .	
<p>Figure 4.4: The results of normality testing for a set of data taken from Reference [176]. On the left is a comparison of measured vs predicted wall temperatures, and on the right is the distribution of $\ln(M=E)$. Note that the off-diagonal lines in the scatter plot indicate the 2es bounds for the experiments (long dash) and the model (short dash).</p>	<p>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) .</p>
<p>Returning to Eq. (4.9), what is now needed is a way to estimate the mean and standard deviation of the distribution. First, define:</p>	<p>Возвращаясь к уравнению . (4.9) , то, что сейчас необходимо, так это способ оценить среднее значение и стандартное отклонение распределения . Прежде всего, определите :</p>
$\overline{\ln(M/E)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(M_i/E_i) \quad (4.10)$	
<p>The least squares estimate of the standard deviation of the combined distribution is defined as:</p>	<p>Наименее оценка квадратов стандартного отклонения комбинированного распределения определяется как :</p>
$\tilde{\sigma}_M^2 + \tilde{\sigma}_E^2 \approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\ln(M_i/E_i) - \overline{\ln(M/E)} \right]^2 \quad (4.11)$	
<p>Recall that esE is known and the expression on the right can be evaluated using the pairs of measured and predicted values. Equation (4.11) imposes a constraint on the value of the experimental uncertainty, esE. A further constraint is that esM cannot be less than esE because it is not possible to demonstrate that the model is more accurate than the measurements against which it is compared. Combining the two constraints leads to:</p>	<p>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 :</p>
$\tilde{\sigma}_E^2 < \frac{1}{2} \text{Var} \left(\ln(M/E) \right) \quad (4.12)$	
<p>An estimate of d can be found using the mean of the distribution:</p>	<p>Оценка г можно найти с помощью среднее распределения :</p>
$\delta \approx \exp \left(\overline{\ln(M/E)} + \frac{\tilde{\sigma}_M^2}{2} - \frac{\tilde{\sigma}_E^2}{2} \right) \quad (4.13)$	
<p>Taking the assumed normal distribution of the model prediction, M, in Eq. (4.7) and using a Bayesian argument⁶ with a non-informative prior for q, the posterior distribution can be expressed:</p>	<p>Принимая предполагаемую нормальное распределение прогноза модели , M, в уравнении . (4.7) и используя байесовский Argument⁶ с неинформативно до при д , распределение задней может быть выражена :</p>

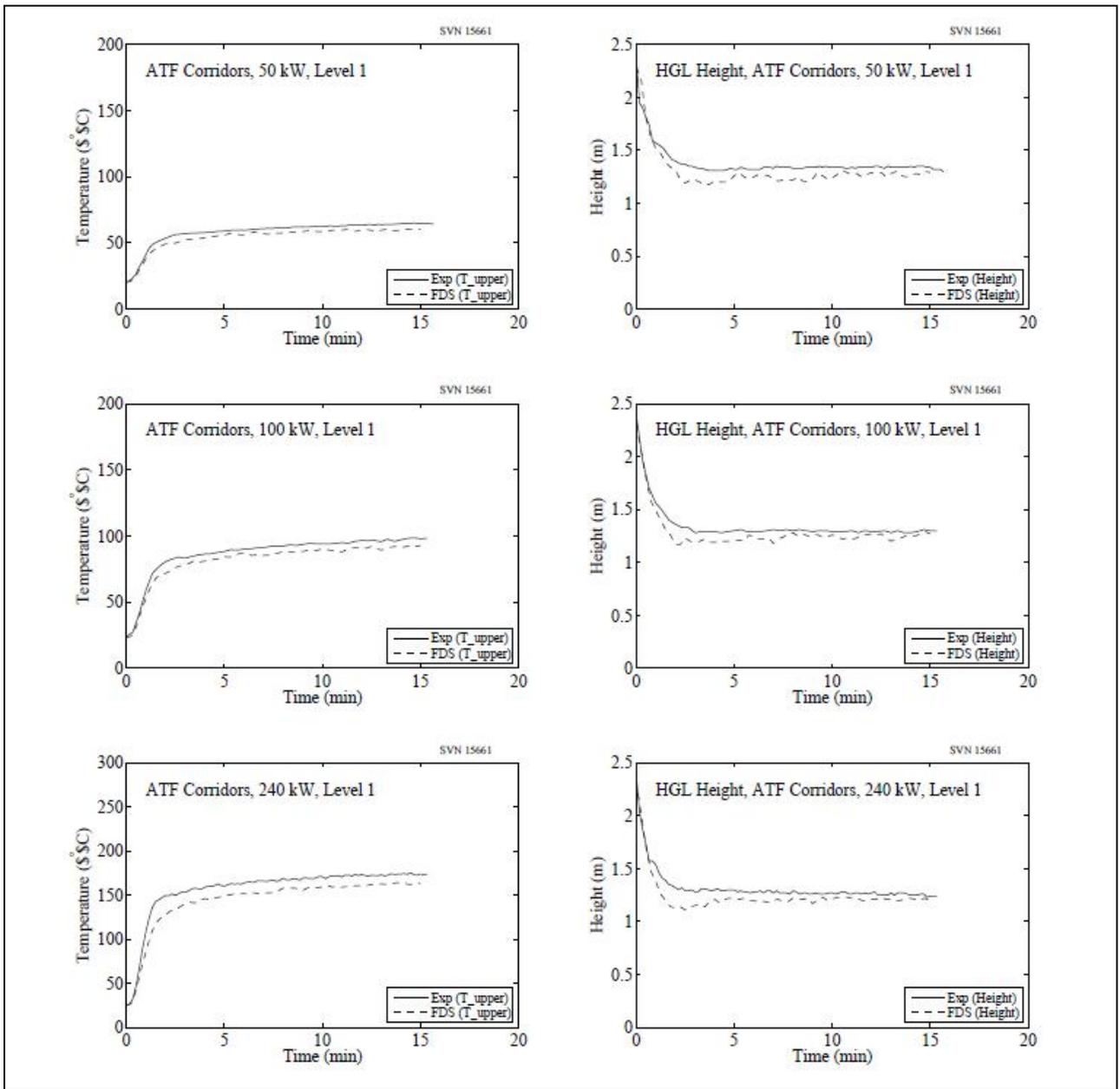
$\delta \theta M \sim N(M, \sigma_M^2) \quad (4.14)$	
<p>The assumption of a non-informative prior implies that there is not sufficient information about the prior distribution (i.e., the true value) of q to assume anything other than a uniform⁷ distribution. This is equivalent to saying that the modeler has not biased the model input parameters to compensate for a known bias in the model output. For example, if a particular model has been shown to over-predict compartment temperature, and the modeler has reduced the specified heat release rate to better estimate the true temperature, then it can no longer be assumed that the prior distribution of the true temperature is uniform. Still another way to look at this is by analogy to target shooting. Suppose a particular rifle has a manufacturers defect such that, on average, it shoots 10 cm to the left of the target. It must be assumed that any given shot by a marksman without this knowledge is going to strike 10 cm to the left of the intended target. However, if the marksman knows of the defect, he or she will probably aim 10 cm to the right of the intended target to compensate for the defect. If that is the case, it can no longer be assumed that the intended target was 10 cm to the right of the bullet hole.</p>	<p>Предположение о неинформативно до означает, что нет достаточной информации о предварительного распределения (т.е. истинная стоимость) д 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 .</p>
<p>The final step in the derivation is to rewrite Eq. (4.14) as:</p>	<p>Последним шагом в выводе является переписать . (4.14) , как :</p>
$\theta M \sim N\left(\frac{M}{d}, \tilde{\sigma}_M^2 \left(\frac{M}{d}\right)^2\right) \quad (4.15)$	
<p>This formula has been obtained⁸ by dividing by the bias factor, d, in Eq. (4.14). To summarize, given a model prediction, M, of a particular quantity of interest (e.g., a cable temperature), the true (but unknown) value of this quantity is normally distributed. The mean value and variance of this normal distribution are based solely on comparisons of model predictions with past experiments that are similar to the particular fire scenario being analyzed. The performance of the model is quantified by the estimators of the parameters, d and es_M, which have been corrected to account for uncertainties associated with the experimental measurements.</p>	<p>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 .</p>
<p>4.5 Example</p>	<p>4.5 Пример</p>
<p>This section describes how to make use of Eq. (4.15). Referring to the sample problem given above, suppose a fire model is being used to estimate the likelihood that electrical control cables could be damaged due to a fire in a compartment. Damage is assumed to occur when the surface temperature of any cable reaches 200 °C. What is the likelihood that the cables would be damaged if the model predicts that the maximum surface temperature of the cables is 175 °C. Assuming that the input parameters are not in question, the following procedure is suggested:</p>	<p>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 :</p>
<p>1. Assemble a collection of model predictions, M_i, and experimental measurements, E_i, from past experiments involving objects with similar thermal characteristics as</p>	<p>1 . Соберите коллекцию модельных предсказаний M_i, экспериментальных измерений , E_i , из прошлых экспериментов с участием объектов с аналогичными</p>

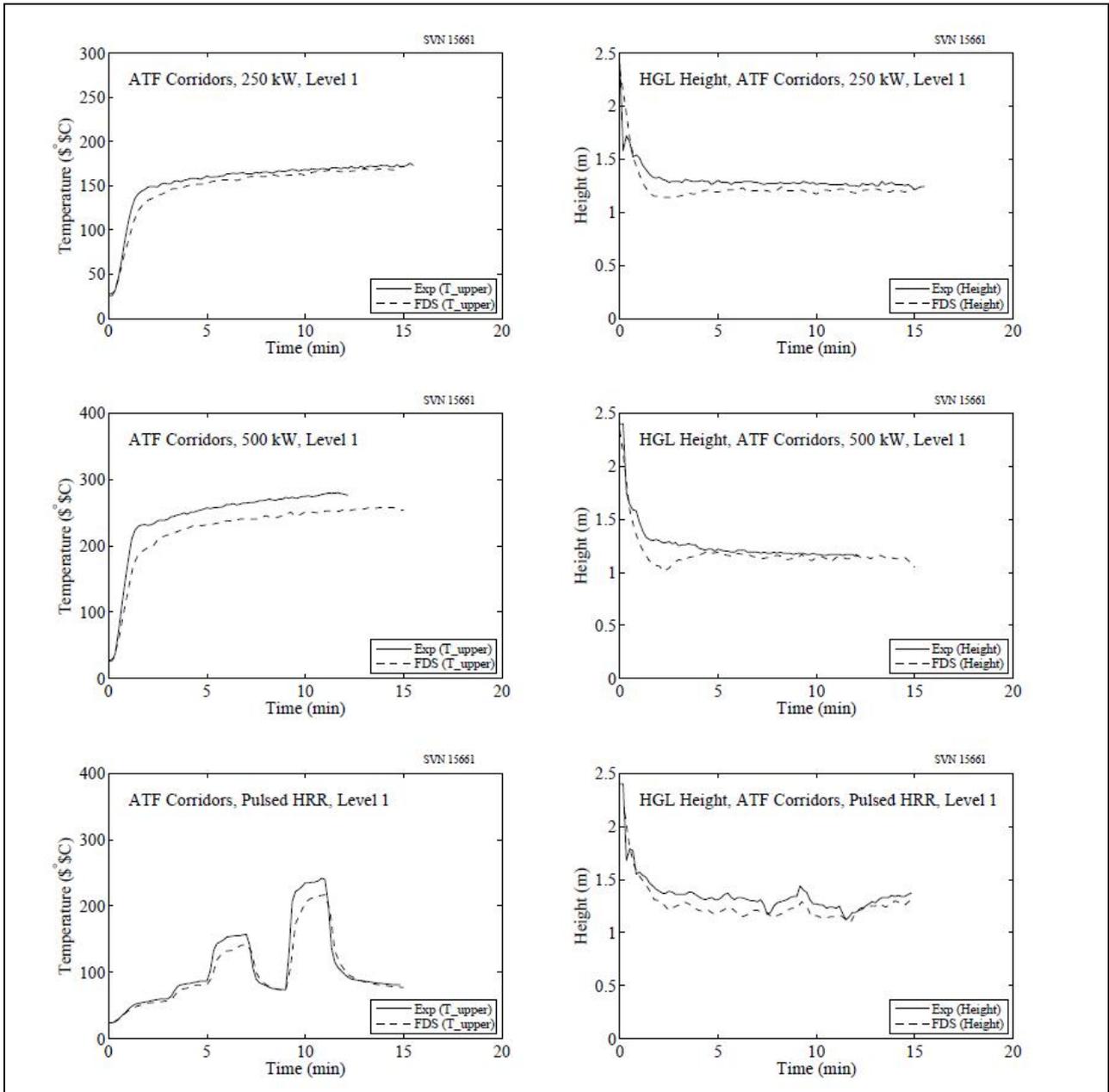
<p>the cables in question. How "similar" the experiment is to the hypothetical scenario under study can be quantified by way of various parameters, like the thermal inertia of the object, the size of the fire, the size of the compartment, and so on. Obtain estimates of the experimental uncertainty from those who conducted the experiments or follow the procedure outlined by Hamins [176]. Express the experimental uncertainty in relative terms, esE.</p>	<p>тепловыми характеристиками, что и кабелей в вопросе. Как "аналогичные" эксперимент на 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.</p>
<p>2. Calculate the bias factor, d, and relative standard deviation, s~M, from Eqs. (4.13) and (4.11), respectively. For the data shown in Fig. 4.4, d = 1:13 and that esM = 0:20.</p>	<p>2. Рассчитайте коэффициент смещения, D, и относительное стандартное отклонение, S ~ M, от уравнений (4.13) и (4.11) соответственно. Для данных, приведенных на рис. 4.4, d = 1:13 и что ESM = 0:20.</p>
<p>Consider the distribution, Eq. (4.15), of the "true" temperature, q, shown graphically in Fig. 4.1. The vertical lines indicate the "critical" temperature at which damage is assumed to occur (Tc = 200 °C), and the temperature predicted by the model (175 °C). Given an ambient temperature of 20 °C, the predicted temperature rise, M, is 155 °C. The mean and standard deviation in Eq. (4.15) are calculated:</p>	<p>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 (Tc = 200 °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:</p>
$\mu = 20 + \frac{M}{\delta} = 20 + \frac{155}{1.13} = 157 \text{ } ^\circ\text{C} \quad ; \quad \sigma = \tilde{\sigma}_M \frac{M}{\delta} = 0.20 \times \frac{155}{1.13} = 27 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.16)$	
<p>respectively. The shaded area beneath the bell curve is the probability that the "true" temperature can exceed the critical value, Tc = 200 °C, which can be expressed via the complimentary error function:</p>	<p>соответственно. Затененной области под кривой нормального распределения является вероятность того, что "истинный" температура может превышать критическое значение, Tc = 200 °C, которая может быть выражена через бесплатный функции ошибок:</p>
$P(T > T_c) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{T_c - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{200 - 157}{27 \sqrt{2}} \right) \approx 0.06 \quad (4.17)$	
<p>This means that there is a 6 % chance that the cables could become damaged, assuming that the model's input parameters are not subject to uncertainty.</p>	<p>Это означает, что есть 6% шанс, что кабели могут быть повреждены, если предположить, что входные параметры модели не являются предметом неопределенности.</p>
<p>4.6 Additional Considerations</p>	<p>4.6 Дополнительные соображения</p>
<p>Keep in mind that for any fire experiment, FDS might predict a particular quantity accurately (within the experimental uncertainty bounds, for example), but another quantity less accurately. For example, in the a series of 15 full-scale fire experiments conducted at NIST in 2003, sponsored by the U.S. Nuclear Regulatory Commission, the average hot gas layer (HGL) temperature predictions were nearly within the accuracy of the measurements themselves, yet the smoke concentration predictions differed from the measurements by as much as a factor of 3. Why? Consider the following issues associated with various types of measurements:</p>	<p>Имейте в виду, что для любого пожара эксперимента, FDS может предсказать конкретный количество точно (в пределах экспериментальных границы неопределенности, например), но другой количество менее точно. Например, в серии из 15 полномасштабных огневых экспериментов, проведенных в NIST в 2003 году, авторами которого Комиссии по ядерному регулированию США, средняя слой горячего газа (HGL) 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:</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Is the measurement taken at a single point, or averaged over many points? In the example above, the HGL temperature is an average of many thermocouple measurements, whereas the smoke concentration is based on the extinction of laser light over a short length span. Model error tends to be reduced by the averaging process, plus most fire models, including FDS, are based on global mass and energy conservation laws that are expressed as spatial averages. 	<ul style="list-style-type: none"> • измерения, принятые ли в одной точке, или в среднем на протяжении многих точек? В приведенном выше примере, температура HGL является средним из множества термопар измерений, в то время как концентрация дыма основан на исчезновение лазерного света в течение короткого промежутка длины. Ошибка Модель имеет тенденцию к уменьшению в процессе усреднения, а также большинство моделей пожарных, в том числе

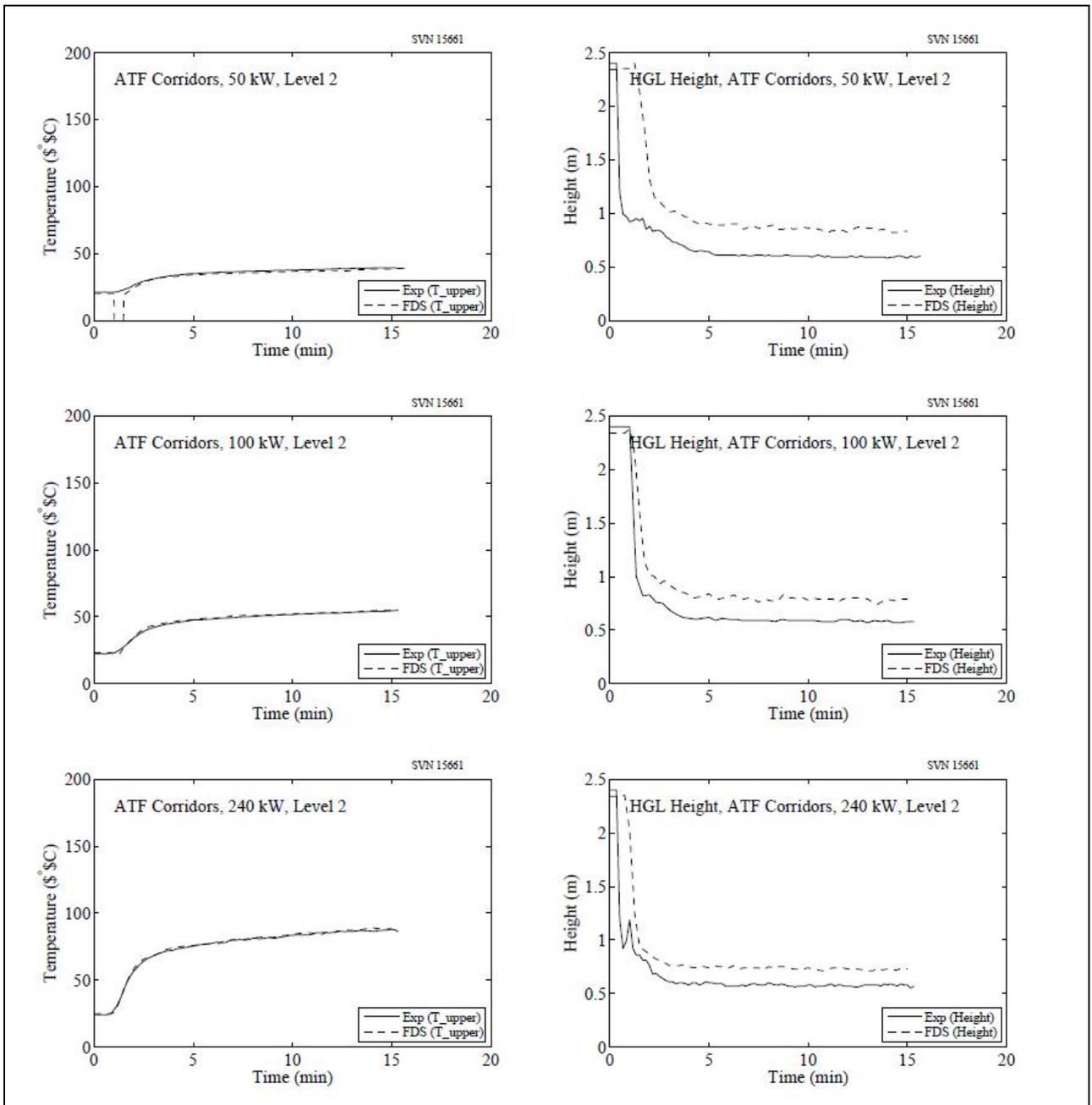
	FDS , основаны на глобальной массы и законов сохранения энергии , которые выражаются как пространственные средних.
<ul style="list-style-type: none"> • Is the measured quantity time-averaged or instantaneous? For example, a surface temperature prediction is less prone to error in comparison to a heat flux prediction because the former is, in some sense, a time integral of the latter. 	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
<ul style="list-style-type: none"> • In the case of a point measurement, how close to the fire is it? The terms "near-field" and "far-field" are used throughout this Guide to describe the relative distance from the fire. In general, predictions of near field phenomena are more prone to error than far-field. There are exceptions, however. For example, a prediction of the temperature directly within the flaming region may be more accurate than that made just a fire diameter away because of the fact that temperatures tend to stabilize at about 1000 °C within the fire itself, but then rapidly decrease away from the flames. Less accurate predictions typically occur in regions of steep gradients (rapid changes, both in space and time). 	<ul style="list-style-type: none"> • 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).

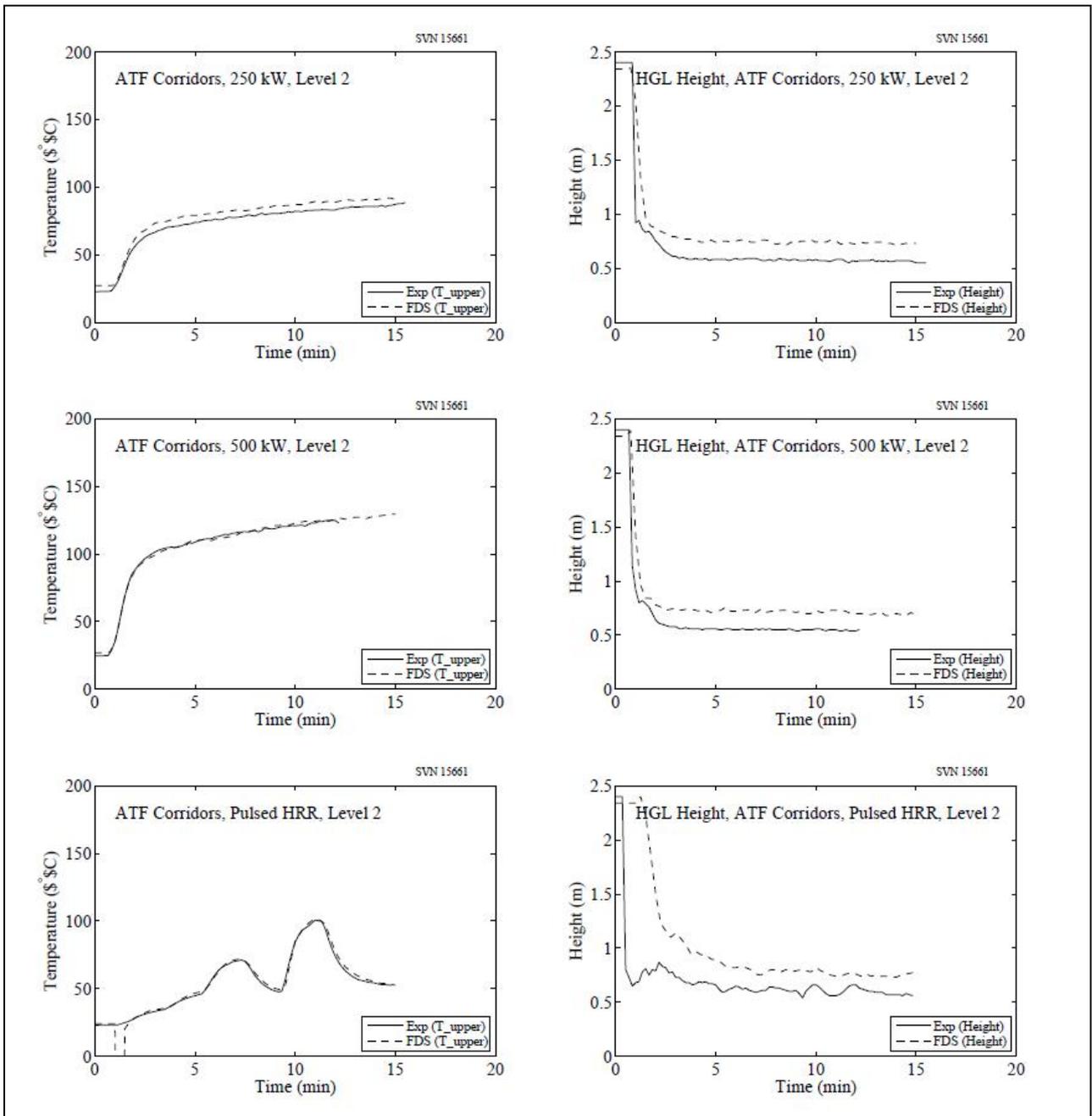
Chapter 5. HGL Temperature and Depth	Глава 5. Температура и глубина HGL
FDS, like any CFD model, does not perform a direct calculation of the HGL temperature or height. These are constructs unique to two-zone models. Nevertheless, FDS does make predictions of gas temperature at the same locations as the thermocouples in the experiments, and these values can be reduced in the same manner as the experimental measurements to produce an "average" HGL temperature and height. Regardless of the validity of the reduction method, the FDS predictions of the HGL temperature and height ought to be representative of the accuracy of its predictions of the individual thermocouple measurements that are used in the HGL reduction. The temperature measurements from all six test series are used to compute an HGL temperature and height with which to compare to FDS. The same layer reduction method is used for all the data presented in this chapter.	FDS, как и любой модель CFD, не выполняет прямое вычисление температуры HGL или высоты. Данные конструкции уникальны для двухзонных моделей. Тем не менее, FDS делает предсказания температуры газа в тех же местах, что и термодара в экспериментах, и эти значения могут быть уменьшены таким же образом, как экспериментальные измерения для получения "среднюю" температуру HGL и высоту. Несмотря на обоснованности метода редукции, то FDS предсказания температуры HGL и высота должна быть представитель точности его прогнозы отдельных измерений с помощью термодары, которые используются в сокращении HGL. Измерения температуры от всех шести серий испытаний используются для вычисления температуры HGL и высоту с которой можно сравнивать с FDS. Тот же метод сокращения слой используется для всех данных, представленных в данной главе.
5.1 HGL Reduction Method	5.1 Метод редукции HGL
Fire protection engineers often need to estimate the location of the interface between the hot, smoke-laden upper layer and the cooler lower layer in a burning compartment. Relatively simple fire models, often referred to as two-zone models, compute this quantity directly, along with the average temperature of the upper and lower layers. In a computational fluid dynamics (CFD) model like FDS, there are not two distinct zones, but rather a continuous profile of temperature. Nevertheless, there are methods that have been developed to estimate layer height and average temperatures from a continuous vertical profile of temperature. One such method [183] is as follows: Consider a continuous function $T(z)$ defining temperature T as a function of height above the floor z , where $z = 0$ is the floor and $z = H$ is the ceiling. Define T_u as the upper layer temperature, T_l as the lower layer temperature, and z_{int} as the interface height. Compute the quantities:	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 <i>двухзонных моделей</i> , вычислить эту величину непосредственно, наряду с средней температуры верхних и нижних слоев. В вычислительной гидродинамики (CFD) модели, как FDS, есть не две различные зоны, а скорее непрерывный профиль 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:
$(H - z_{\text{int}})T_u + z_{\text{int}}T_\ell = \int_0^H T(z)dz = I_1$ $(H - z_{\text{int}})\frac{1}{T_u} + z_{\text{int}}\frac{1}{T_\ell} = \int_0^H \frac{1}{T(z)}dz = I_2$	
Solve for zint:	Решение z_{int} :
$z_{\text{int}} = \frac{T_\ell(I_1 I_2 - H^2)}{I_1 + I_2 T_\ell^2 - 2T_\ell H} \quad (5.1)$	
Let T_ℓ be the temperature in the lowest mesh cell and, using Simpson's Rule, perform the numerical integration of I_1 and I_2 . T_u is defined as the average upper layer temperature via	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:
$(H - z_{\text{int}})T_u = \int_{z_{\text{int}}}^H T(z)dz \quad (5.2)$	
Further discussion of similar procedures can be found in Ref. [184].	Дальнейшее рассмотрение аналогичных процедур приведено в работе [184].
5.2 ATF Corridors	5.2 Опыты ATF в коридорах
The ATF Corridors experiments consisted of two corridors one on top of the other and connected by a stairwell. HGL temperature and depth reductions were carried out using three arrays of thermocouples in the lower corridor (Trees A, B, and C) and two arrays in the upper corridor (Trees G and H).	Опыты ATF в коридорах включали два коридора, один из которых располагался над другим и был соединен с ним лестничной клеткой. Температура HGL и сокращения глубины проводились с использованием трех наборов термодпар в нижней коридора (деревья А, В, и С) и двух массивов в верхнем коридоре (деревья G и H).







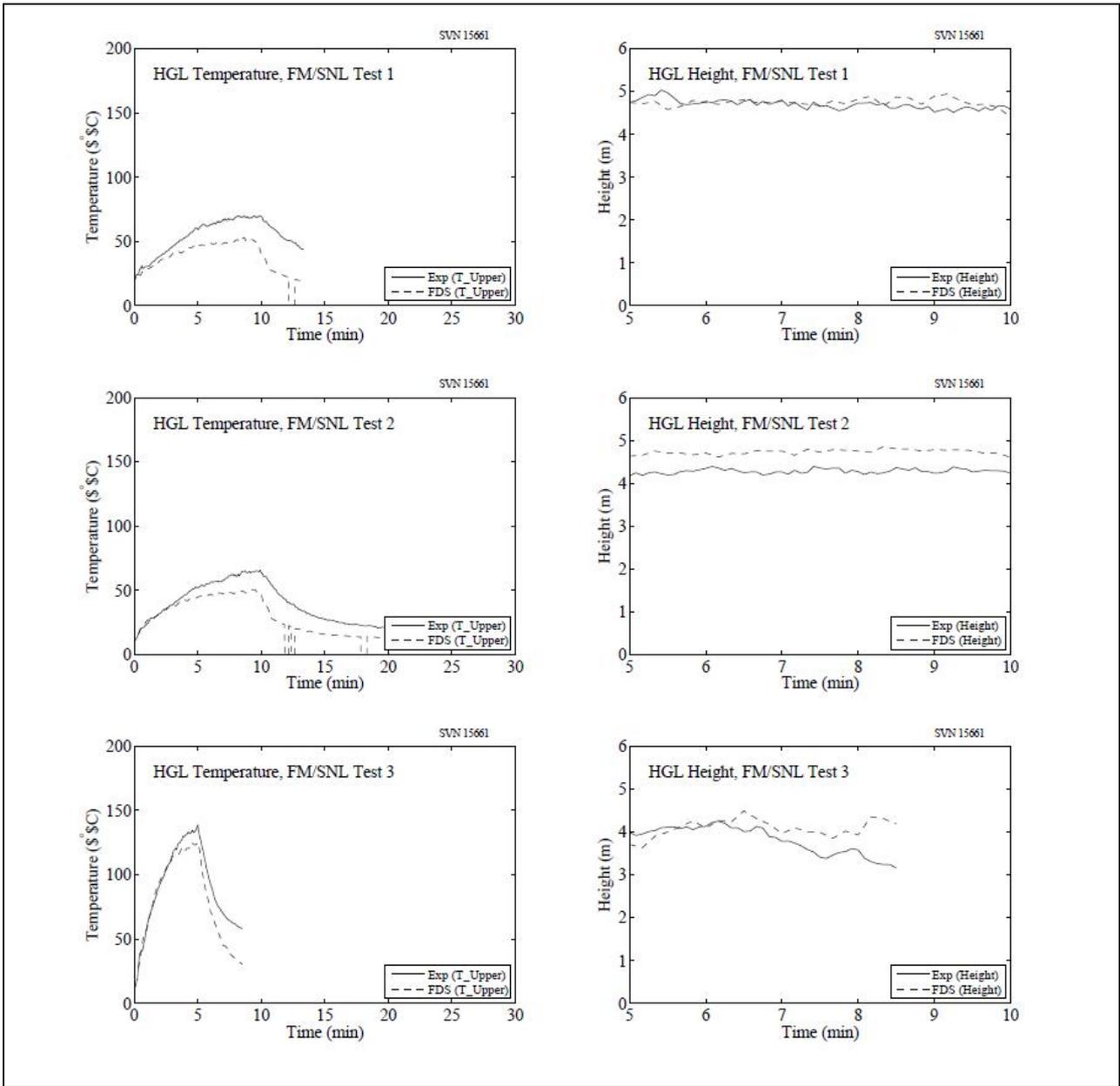


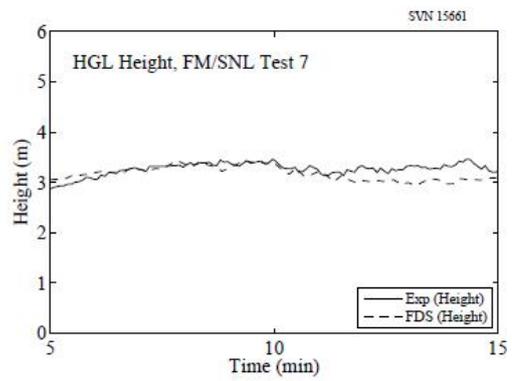
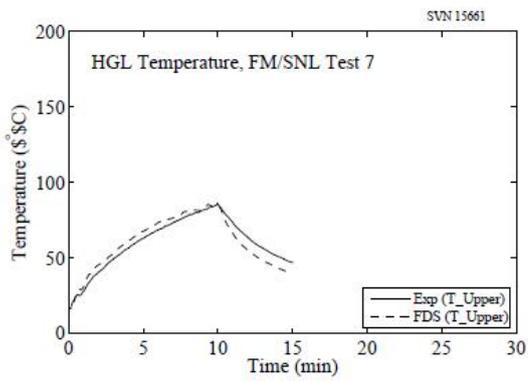
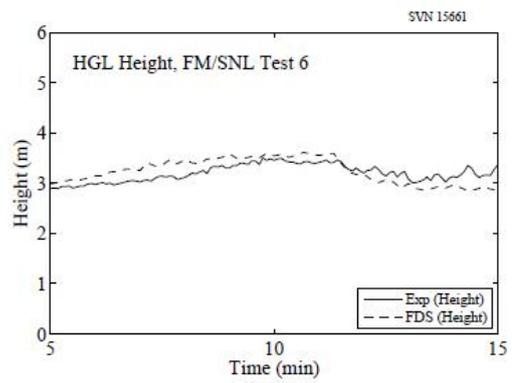
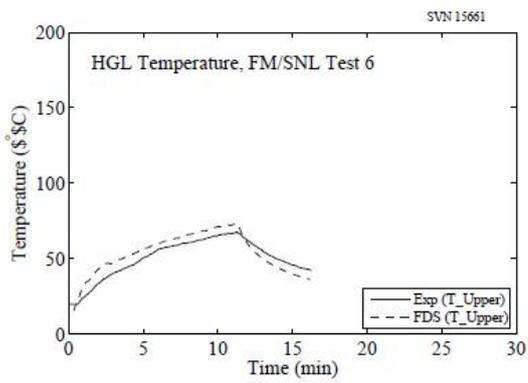
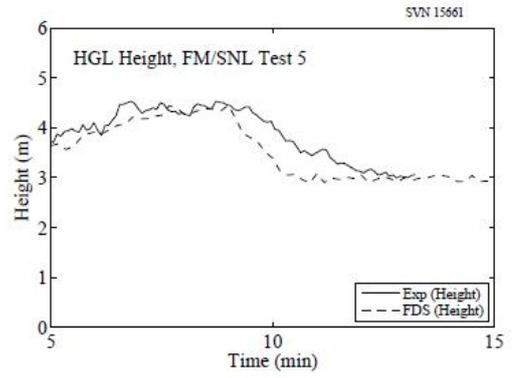
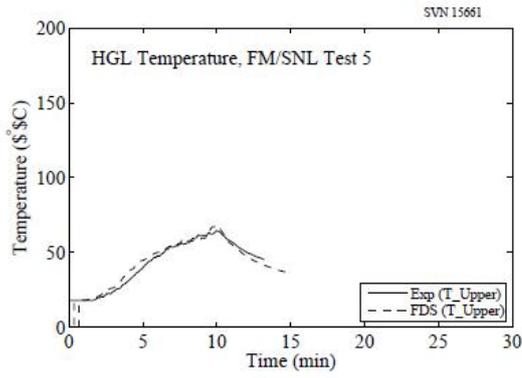
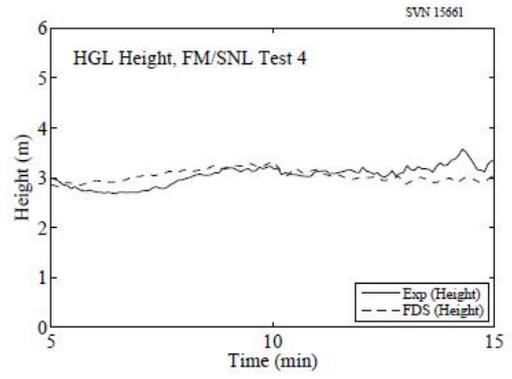
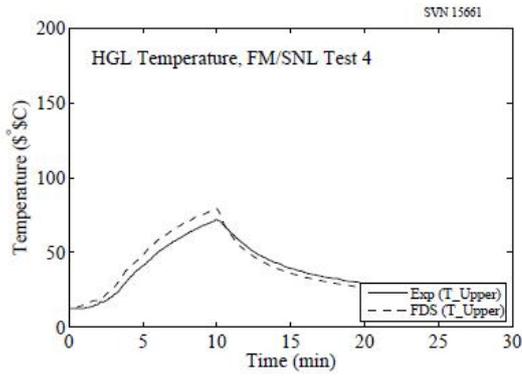
5.3 FM/SNL Test Series

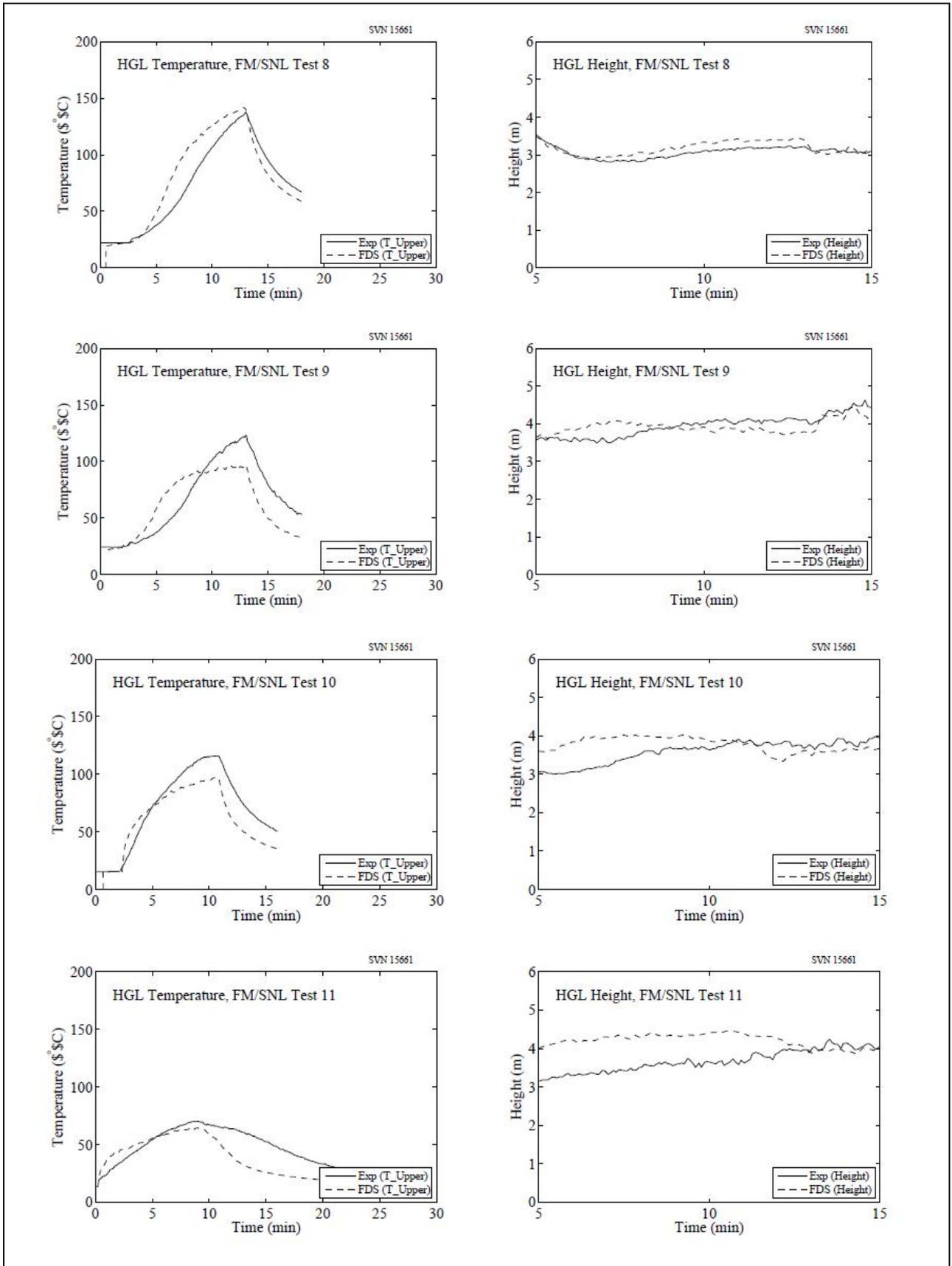
Nineteen tests from the FM/SNL test series were selected for comparison. The HGL temperature and height are calculated using the standard method. The thermocouple arrays that were located in Sectors 1, 2 and 3 are averaged (with an equal weighting for each) for all tests except Tests 21 and 22. For these tests, only Sectors 1 and 3 are used, as Sector 2 falls within the smoke plume. Also, for all but the gas burner experiments, the time history of the HRR is estimated. Only the peak HRR is reported.

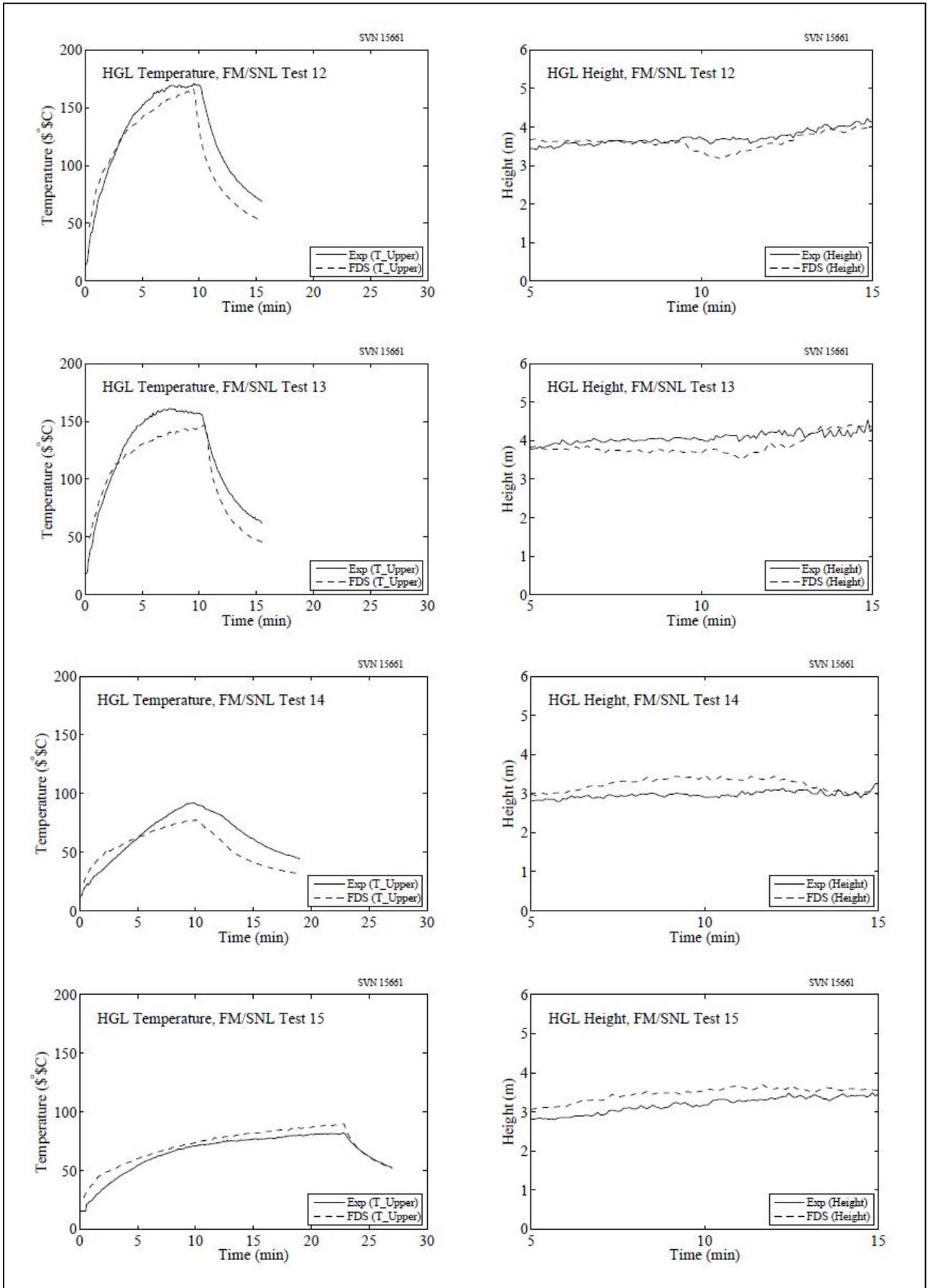
5.3 Серии испытаний FM/SNL

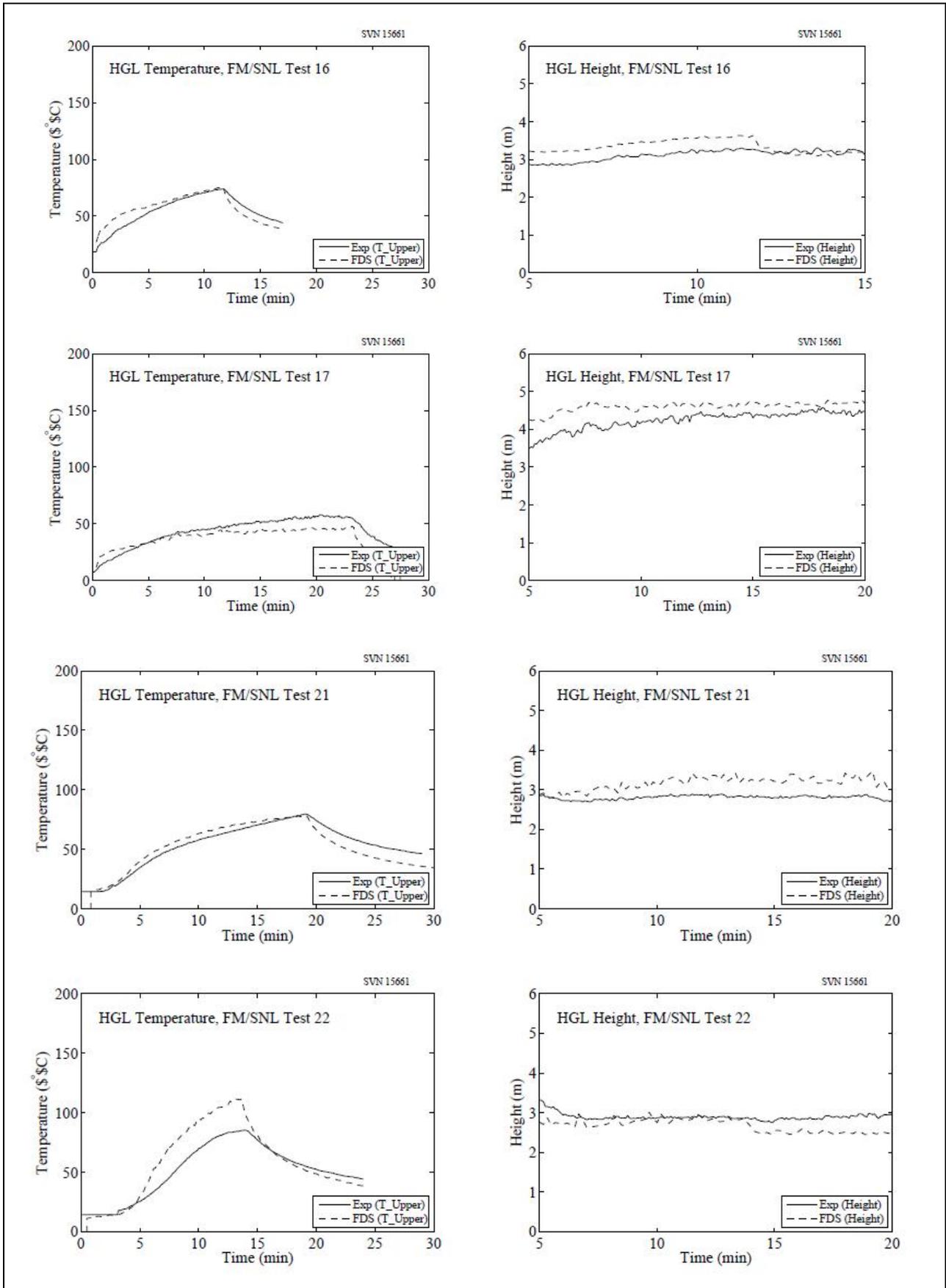
Для сравнения были выбраны девятнадцать примеров испытаний из серии FM/SNL. Температура и высота HGL вычисляются с использованием стандартного метода. Группы термопар, размещенные в секторах 1, 2 и 3 были усреднены (с равным взвешиванием для каждой) для всех испытаний, за исключением испытаний 21 и 22. 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 скорости выделения тепла. Сообщается только о максимальное значение скорости выделения тепла.











5.4 LLNL Enclosure Series

The plots on the following pages compare predicted and measured layer temperatures from the LLNL Enclosure test series. In the experiments, fifteen thermocouples were evenly spaced from floor to ceiling on either side of the burner. The measured temperatures were reported as

5.4 Серии испытаний в помещениях LLNL

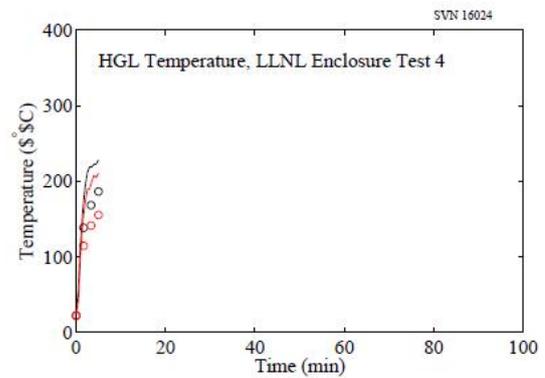
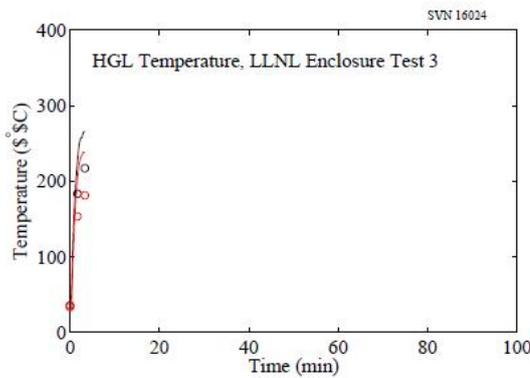
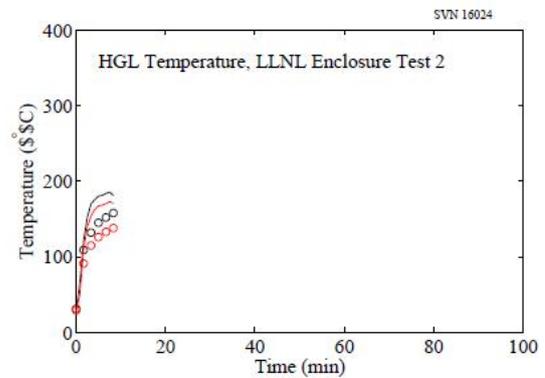
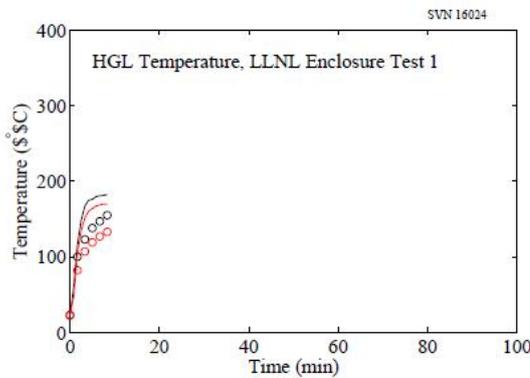
В графиках на последующих страницах сравниваются прогнозируемые и измеренные температуры слоев из серии испытаний помещений LLNL. В испытаниях пятнадцать термопар были равномерно распределены от пола до потолка по

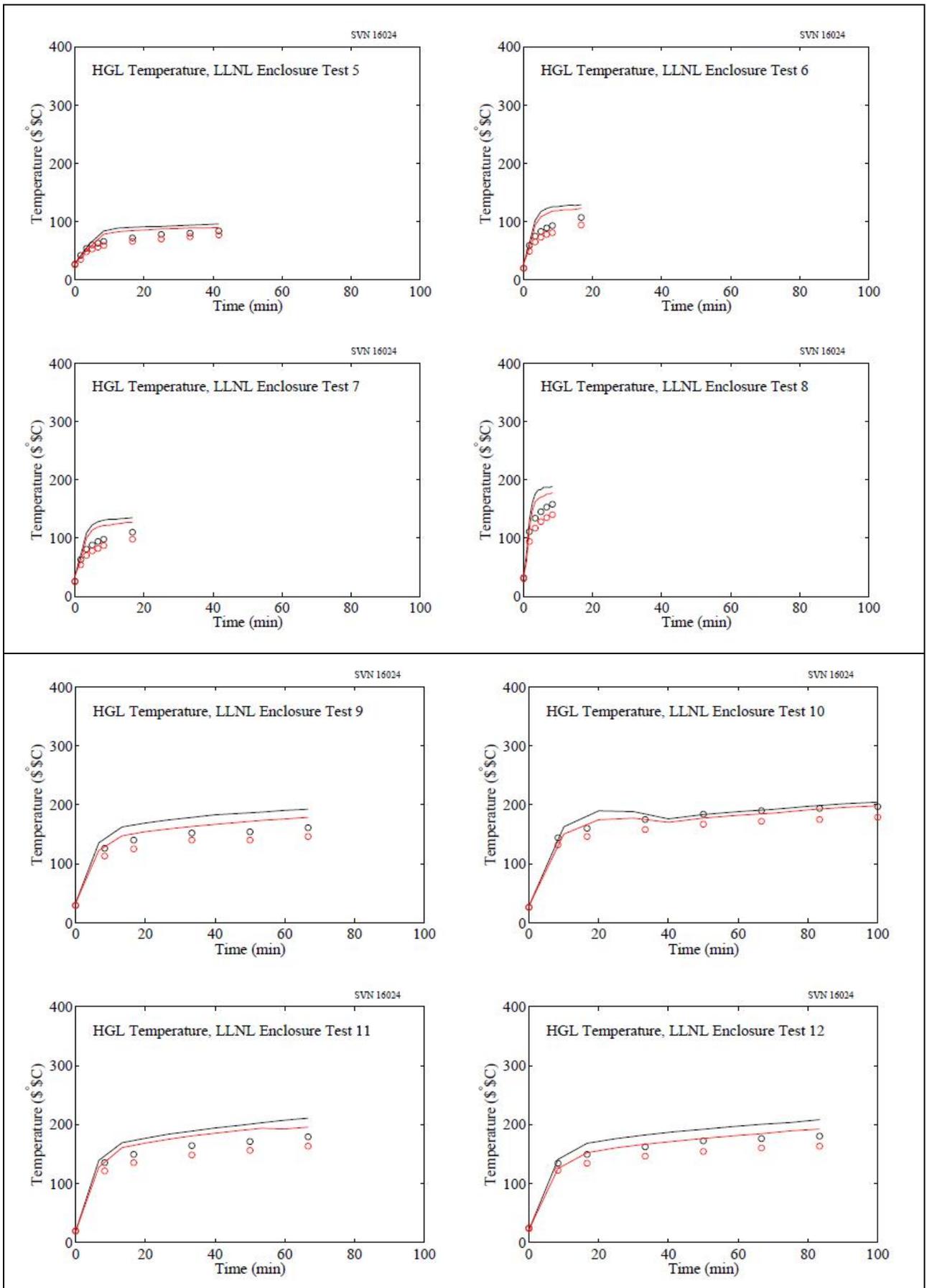
averages of the lower, middle, and upper five TCs. Some of the experiments were conducted with a separated plenum space in the top one-third of the overall compartment (Tests 17-60). In these cases, the upper five TCs are a measure of the average plenum temperature.

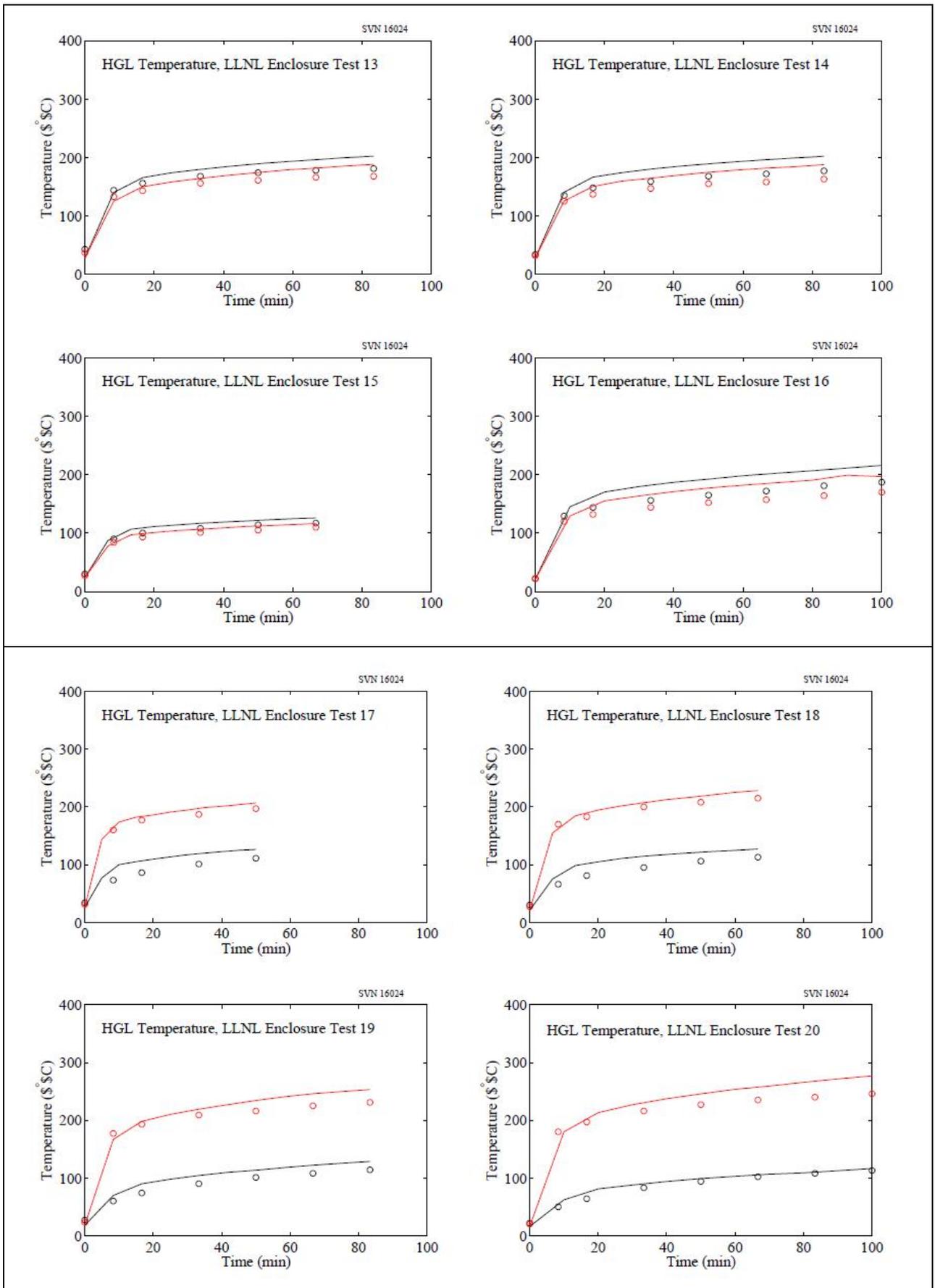
обе стороны от горелки. Измеренные температуры были зарегистрированы в виде средних значений в нижней, средней и верхней пяти термopарах. Некоторые испытания были проведены с отдельной камерой статического давления пространства в верхней одной третьей части общего помещения (тесты 17-60). В этих случаях верхние пять термopар являются мерой средней температуры в полости.

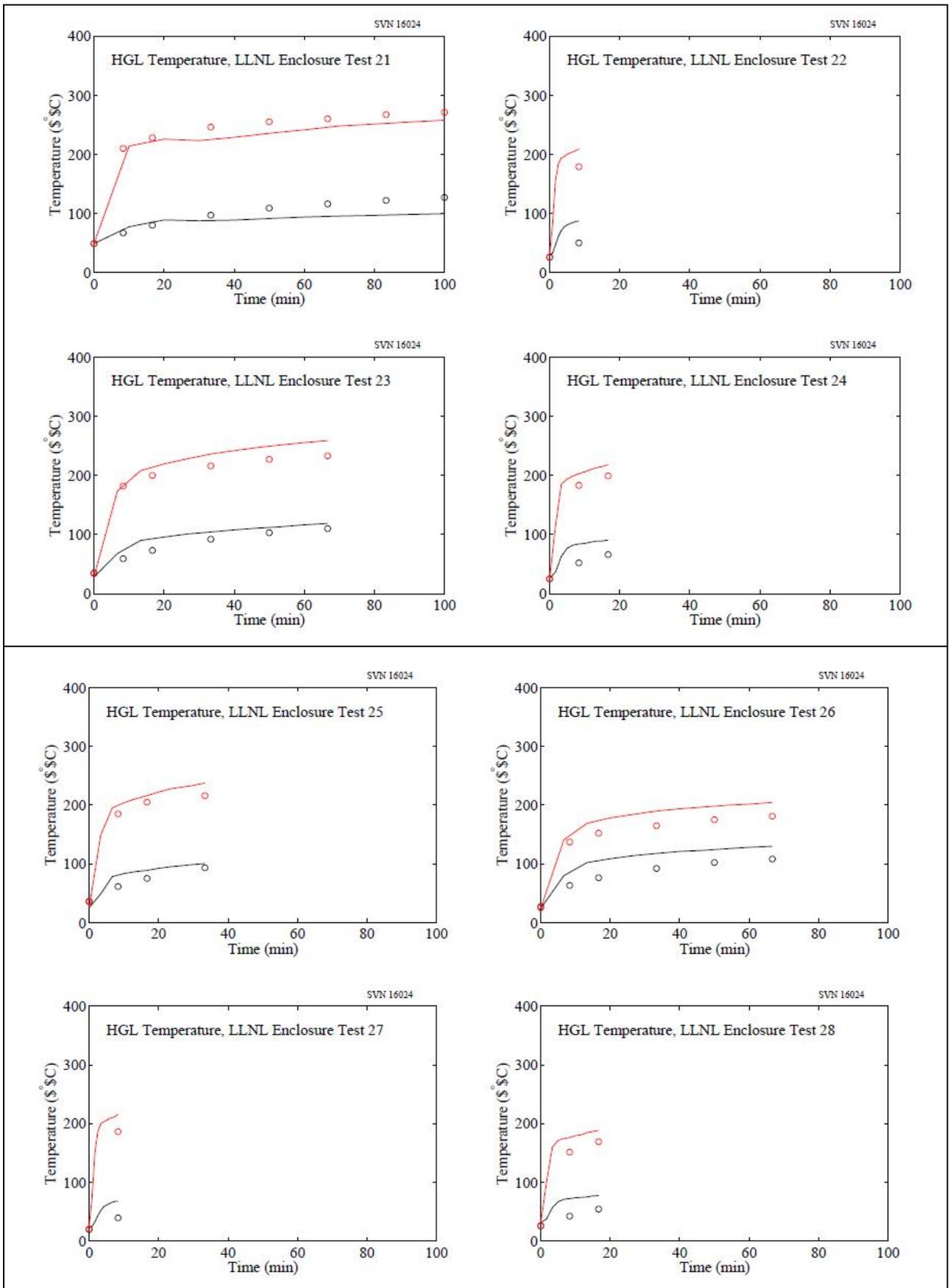
In the figures on the following pages, the black circles represent the average of the five upper-most TC measurements. The lines represent the simulation. The red circles represent the average of the middle five TC measurements. For the plenum tests, these TCs are located immediately beneath the plenum and their average temperature is typically greater than that of the plenum. Note that in a number of tests, the fuel flow was stopped or the fire self-extinguished. The simulations last only as long as the reported measurements.

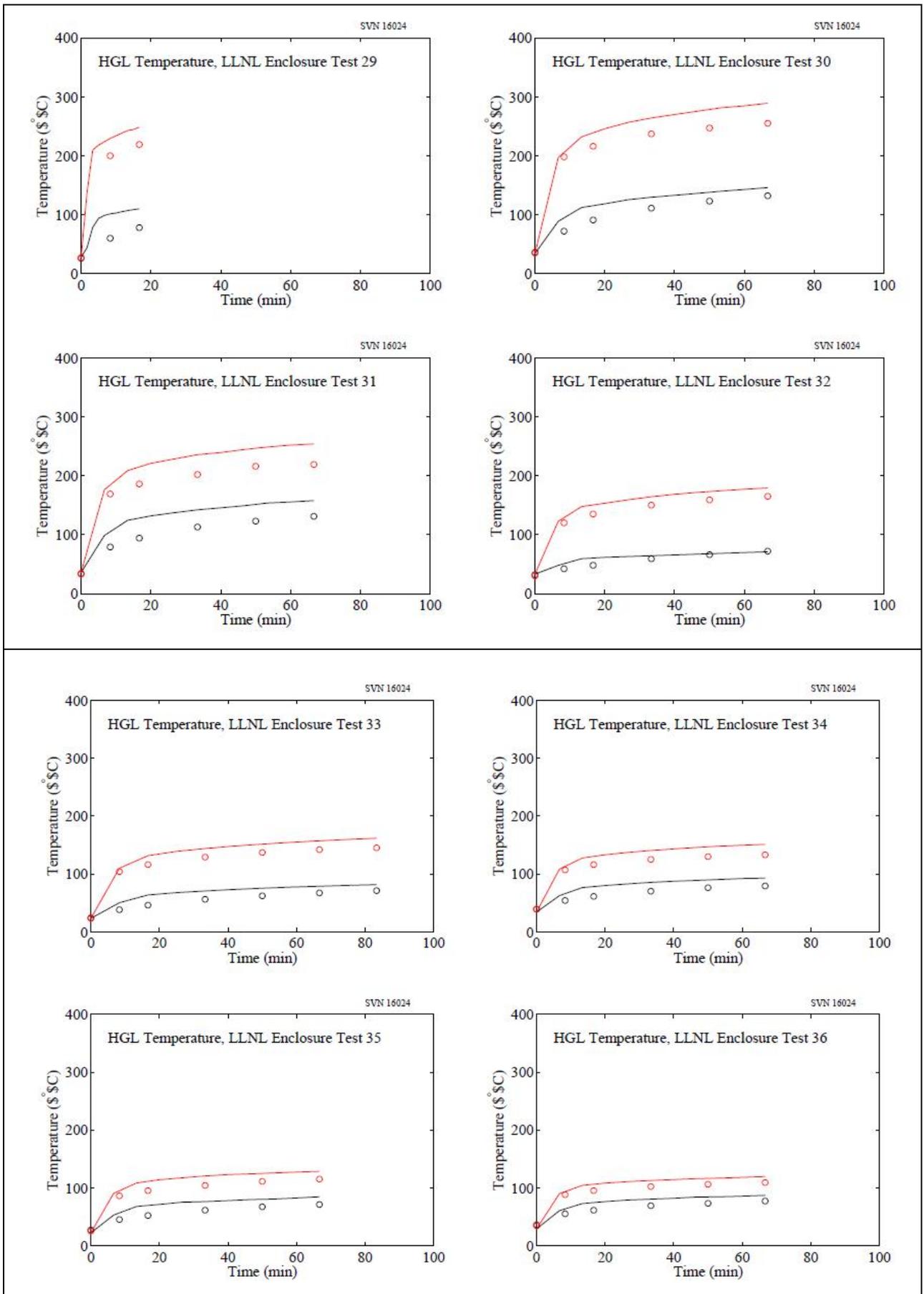
На рисунках на следующих страницах черные круги представляют собой среднее из пяти наиболее высоких измеренных значений термopар. Линии представляют моделирование. Красные круги представляют собой среднее из средних пяти измерений термopар. Для испытаний в камерах, эти термopары расположены непосредственно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

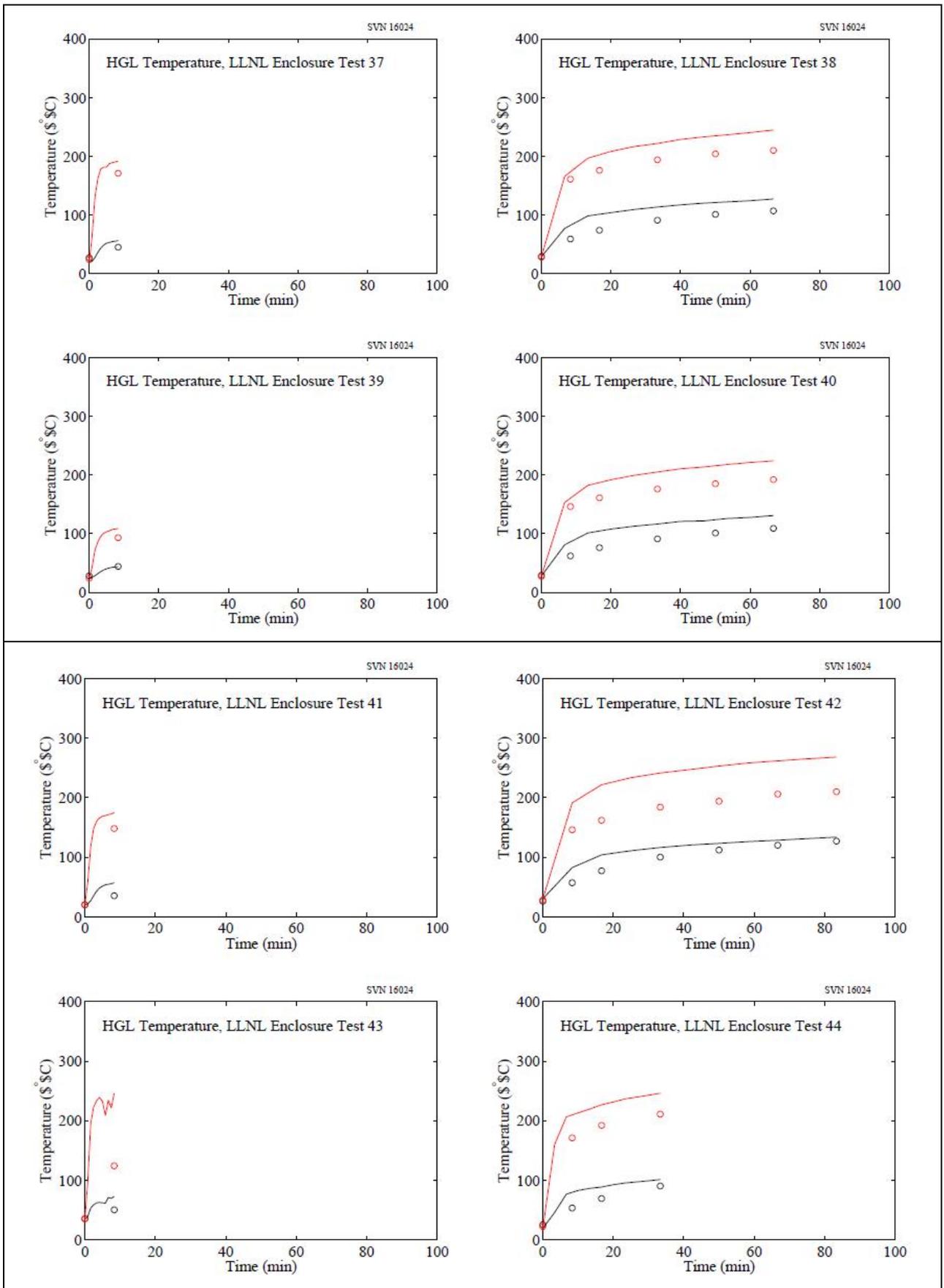


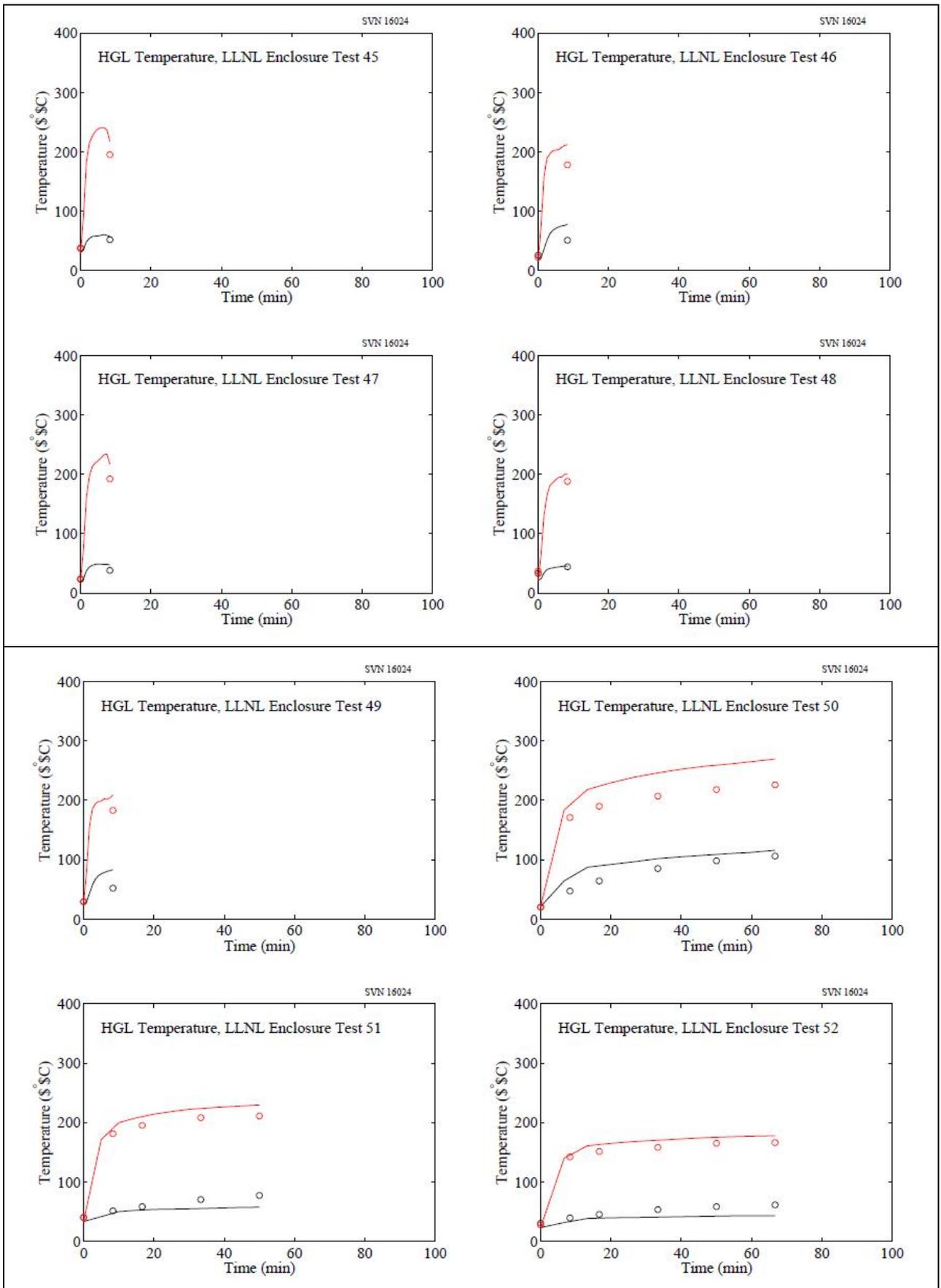


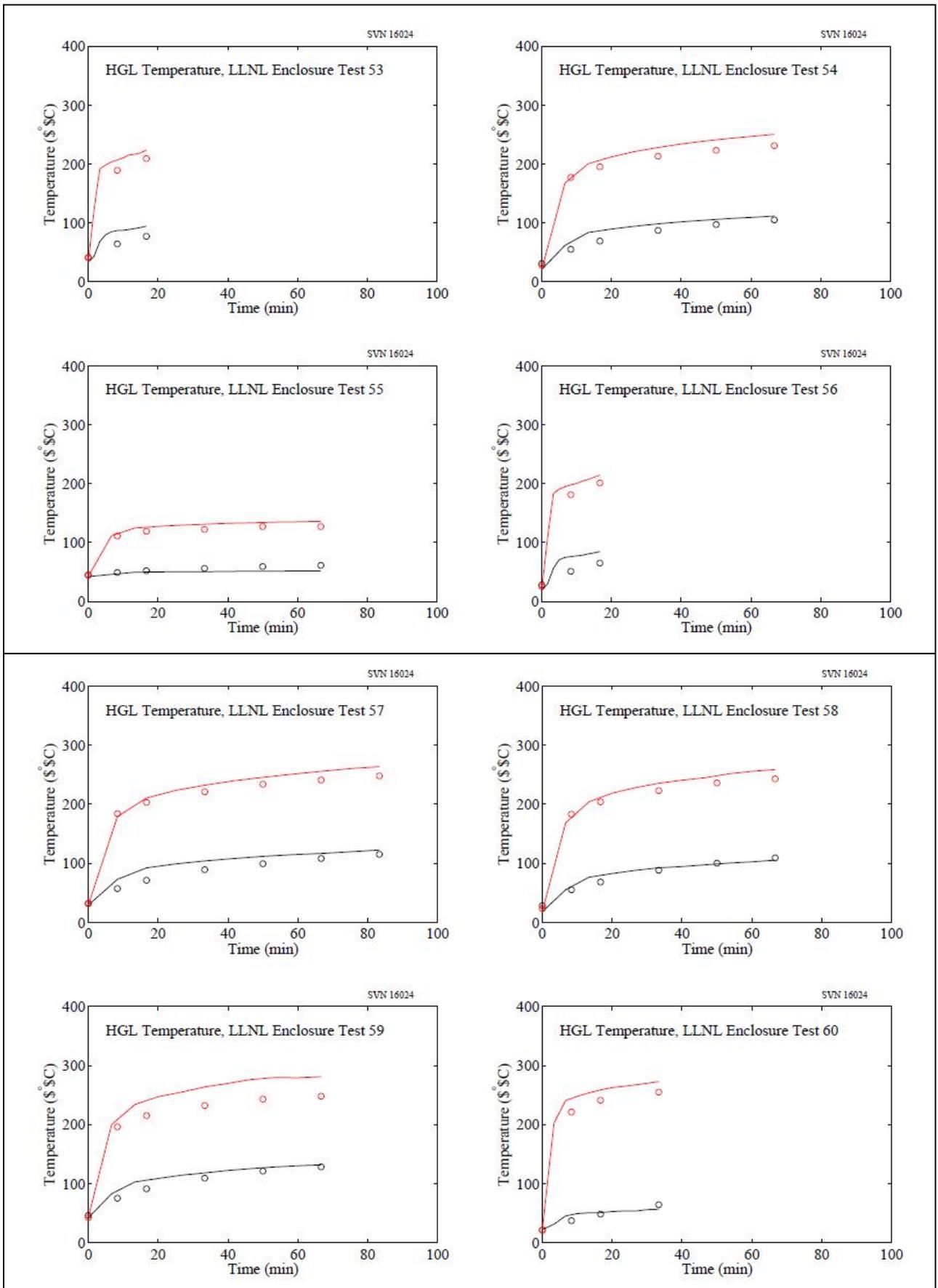


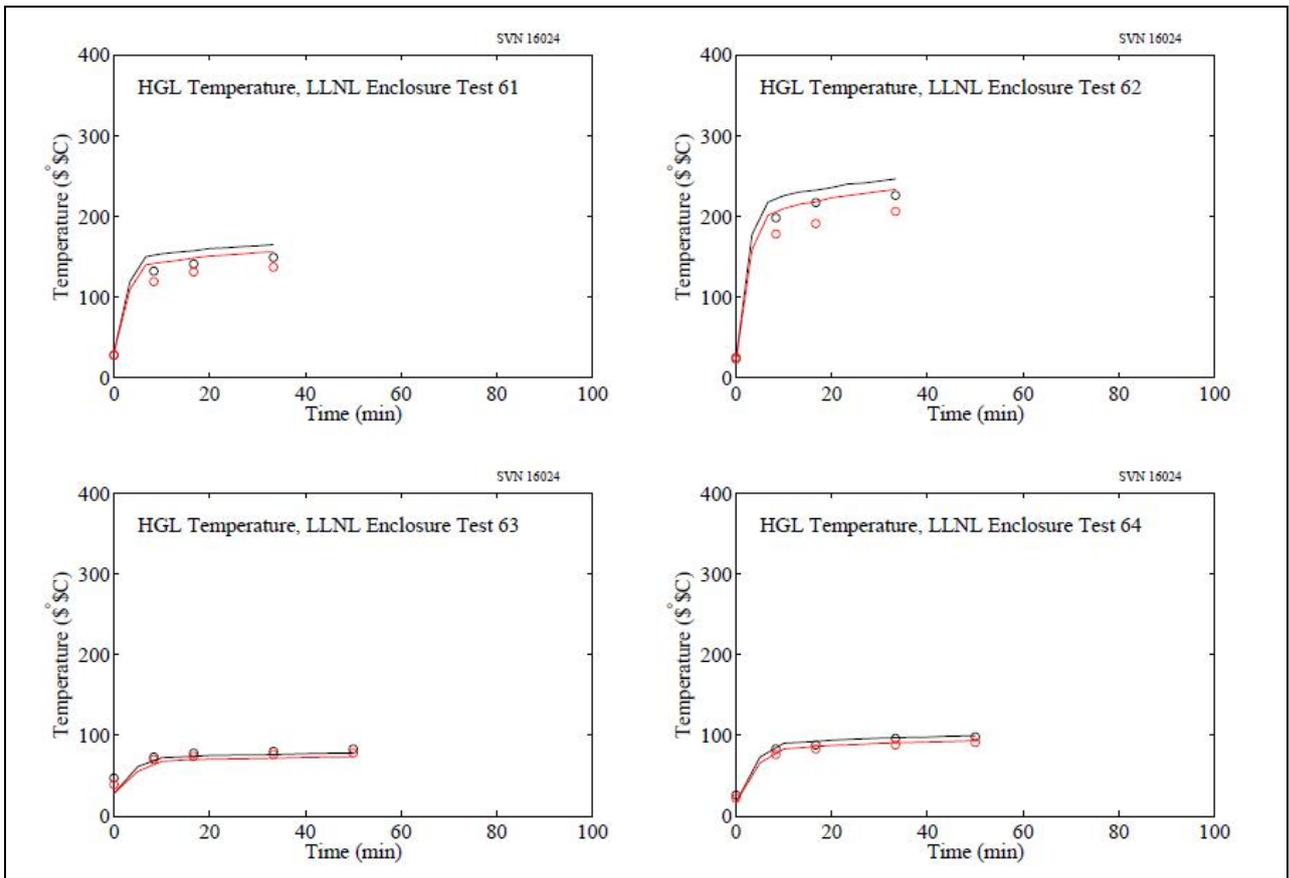










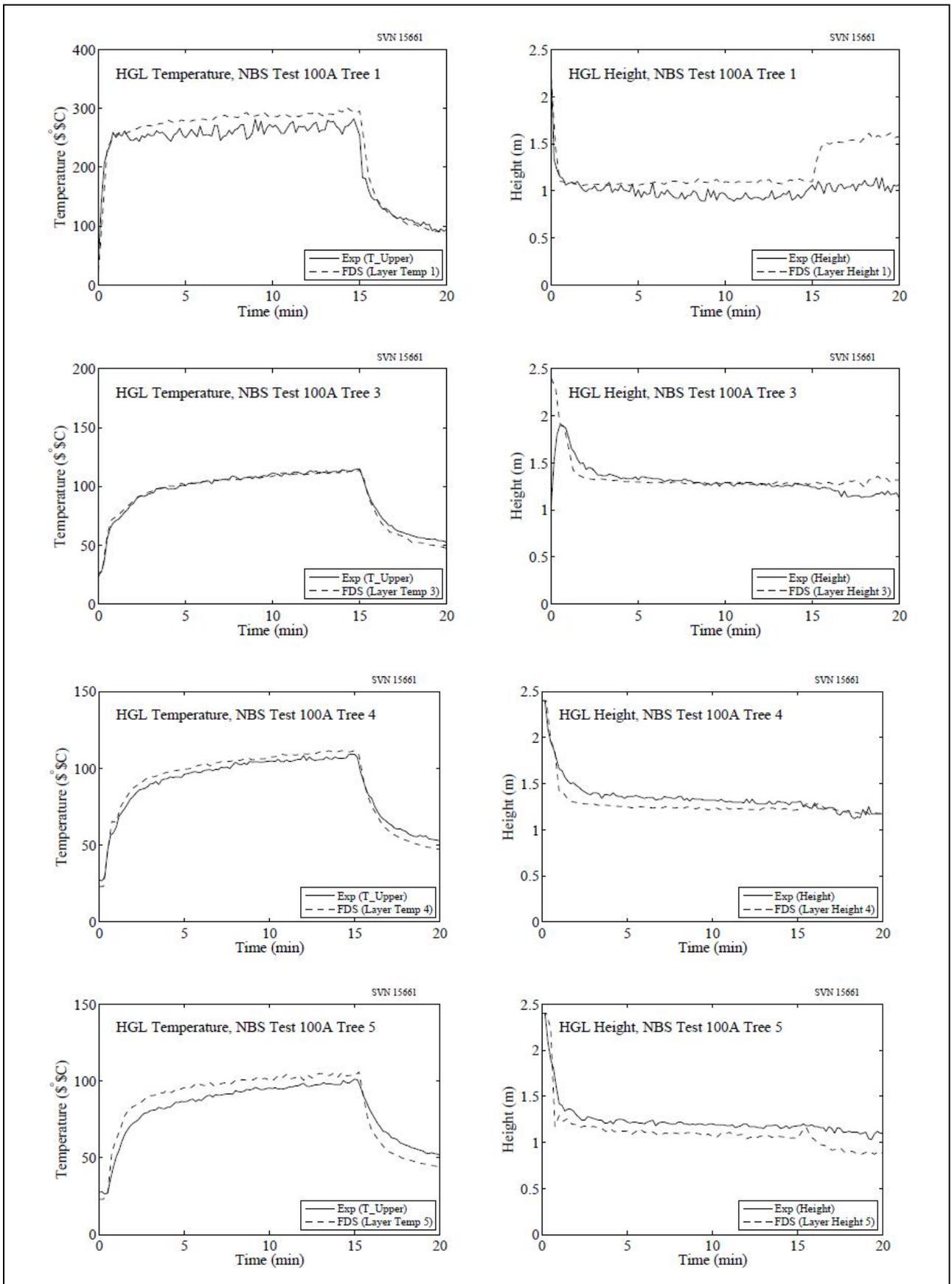


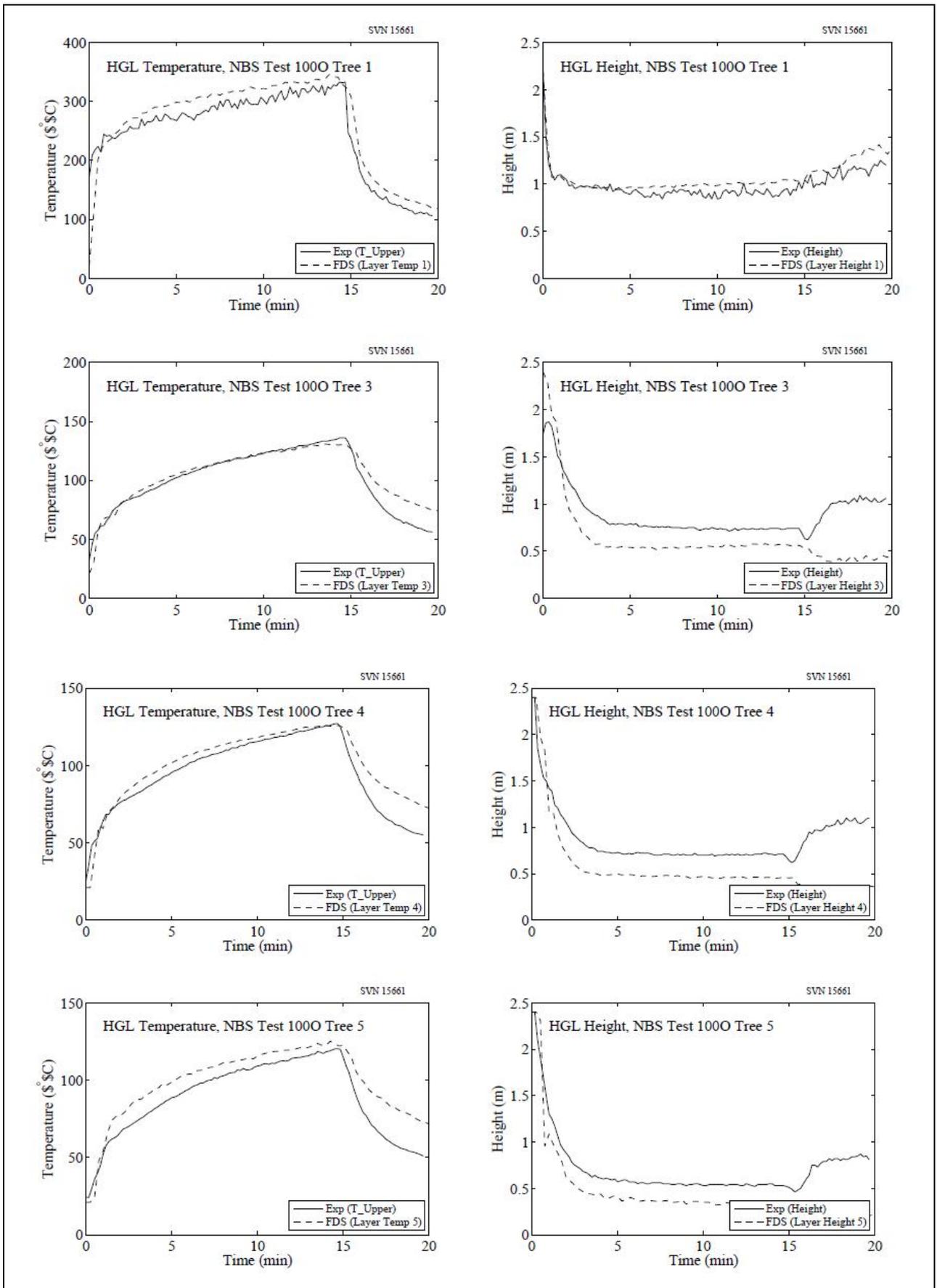
5.5 NBS Multi-Room Test Series

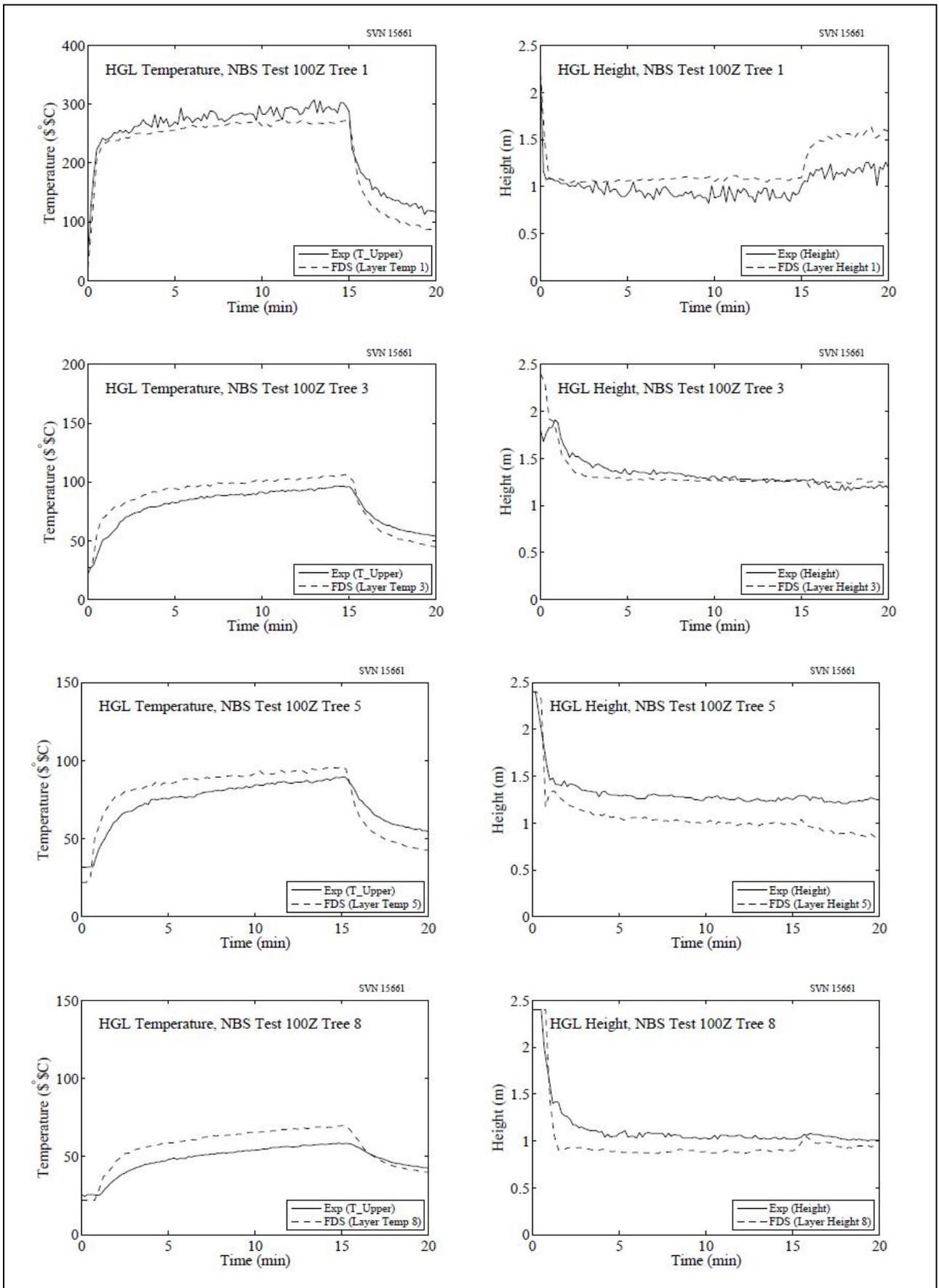
This series of experiments was performed in two relatively small rooms connected by a long corridor. The fire was located in one of the rooms. Eight vertical arrays of thermocouples were positioned throughout the test space: Tree 1 in the burn room, Tree 2 in the doorway of the burn room, Trees 3, 4, and 5 in the corridor, Tree 6 in the exit doorway to the outside at the far end of the corridor, Tree 7 in the doorway of the “target” room, and Tree 8 inside the target room. Four trees have been selected for comparison with model prediction: Tree 1 in the burn room, the trees in the corridor, and Tree 8 in the target room in Test 100Z. In Tests 100A and 100O, the target room was closed. The test director reduced the layer information individually for the eight thermocouple arrays using an alternative method. These results were included in the original data sets. However, in this report the selected TC trees were reduced using the method described in Section 5.1.

5.5 Серии испытаний НБС в нескольких помещениях

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: Дерево 1 в ожоговой комнате, Дерево 2 в дверях ожоговой комнате, 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 сравнению 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.







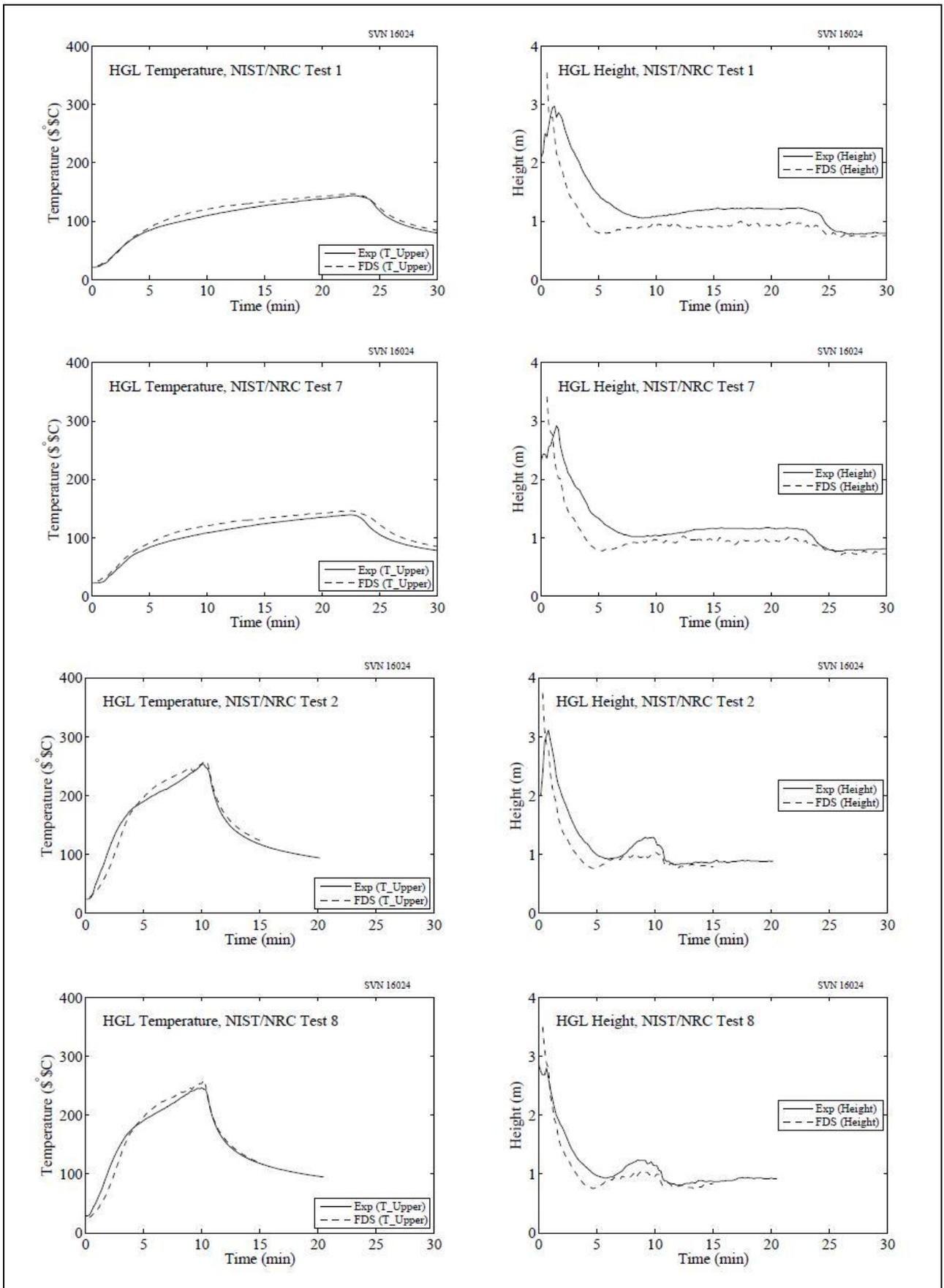
5.6 NIST/NRC Test Series

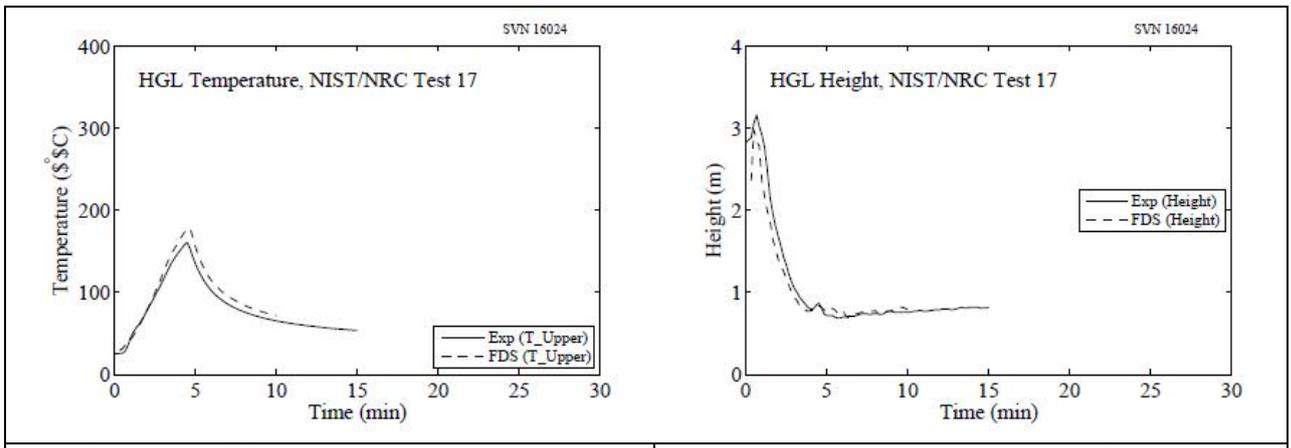
The NIST/NRC series consisted of 15 heptane spray fire experiments with varying heat release rates, pan locations, and ventilation conditions. Gas temperatures were measured using seven floor-to-ceiling thermocouple

5.6 Серия испытаний NIST/NRC

Серия испытаний NIST/CPH состояла из 15 пожарных испытаний с гептановым распылением с разной скоростью выделения тепла, панорамными местоположениями и условиями вентиляции.

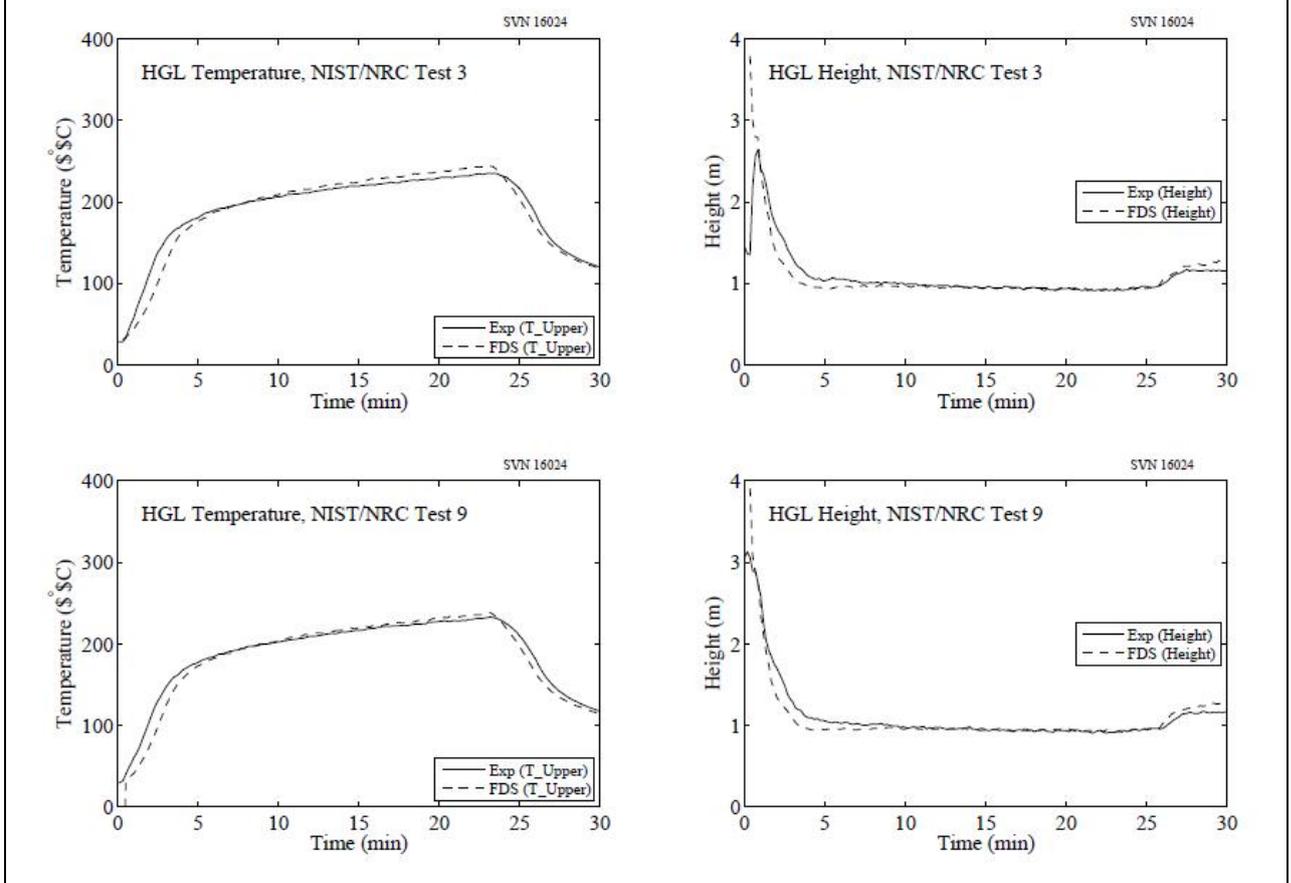
<p>arrays (or "trees") distributed throughout the compartment. The average hot gas layer temperature and height are calculated using thermocouple Trees 1, 2, 3, 5, 6 and 7. Tree 4 was not used because one of its thermocouples (TC 4-9) malfunctioned during most of the experiments. A few observations about the simulations:</p>	<p>Значения температуры газа были измерены с помощью семи групп термодатчиков (или "деревьев"), расположенных от пола до потолка и распределенных в помещении. Средняя температура в слое горячего газа и высота вычисляются с помощью датчиков термодатчиков 1, 2, 3, 5, 6 и 7. Дерево 4 не использовалось, поскольку одна из его термодатчиков (TC 4-9) работала со сбоями в большей части испытаний. Несколько наблюдений относительно моделирования:</p>
<ul style="list-style-type: none"> • During Tests 4, 5, 10 and 16 a fan blew air into the compartment through a vent in the south wall. The measured velocity profile of the fan was not uniform, with the bulk of the air blowing from the lower third of the duct towards the ceiling at a roughly 45 angle. The exact flow pattern is difficult to replicate in the model, thus, the results for Tests 4, 5, 10 and 16 should be evaluated with this in mind. The effect of the fan on the hot gas layer is small, but it does have a some effect on target temperatures near the vent. 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 несущественно, однако он воздействует в некоторой степени на целевые температуры рядом с вентиляционным отверстием.
<ul style="list-style-type: none"> • For all of the tests involving a fan, the predicted HGL height increased after the fire was extinguished, while the measured HGL decreased. This appears to be a curious artifact of the layer reduction algorithm. It is not included in the calculation of the relative difference. 	<ul style="list-style-type: none"> • Во всех испытаниях с вентилятором прогнозируемая высота HGL увеличивалась после тушения пожара, а измеренное значение HGL снижалось. Это представляет собой любопытный артефакт алгоритма сокращения слоя. Он не входит в расчет относительной разности.
<ul style="list-style-type: none"> • In the closed door tests, the hot gas layer descended all the way to the floor. However, the reduction method, used on both the measured and predicted temperatures, does not account for the formation of a single layer, and therefore does not indicate that the layer drops all the way to the floor. This is neither a flaw in the measurements nor in FDS, but rather in the layer reduction method. 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 FDS, а скорее ошибкой в методе сокращения слоя.
<ul style="list-style-type: none"> • The HGL reduction method produces spurious results in the first few minutes of each test because no clear layer has yet formed. These early times are not included in the relative difference calculation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Метод сокращения HGL 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.

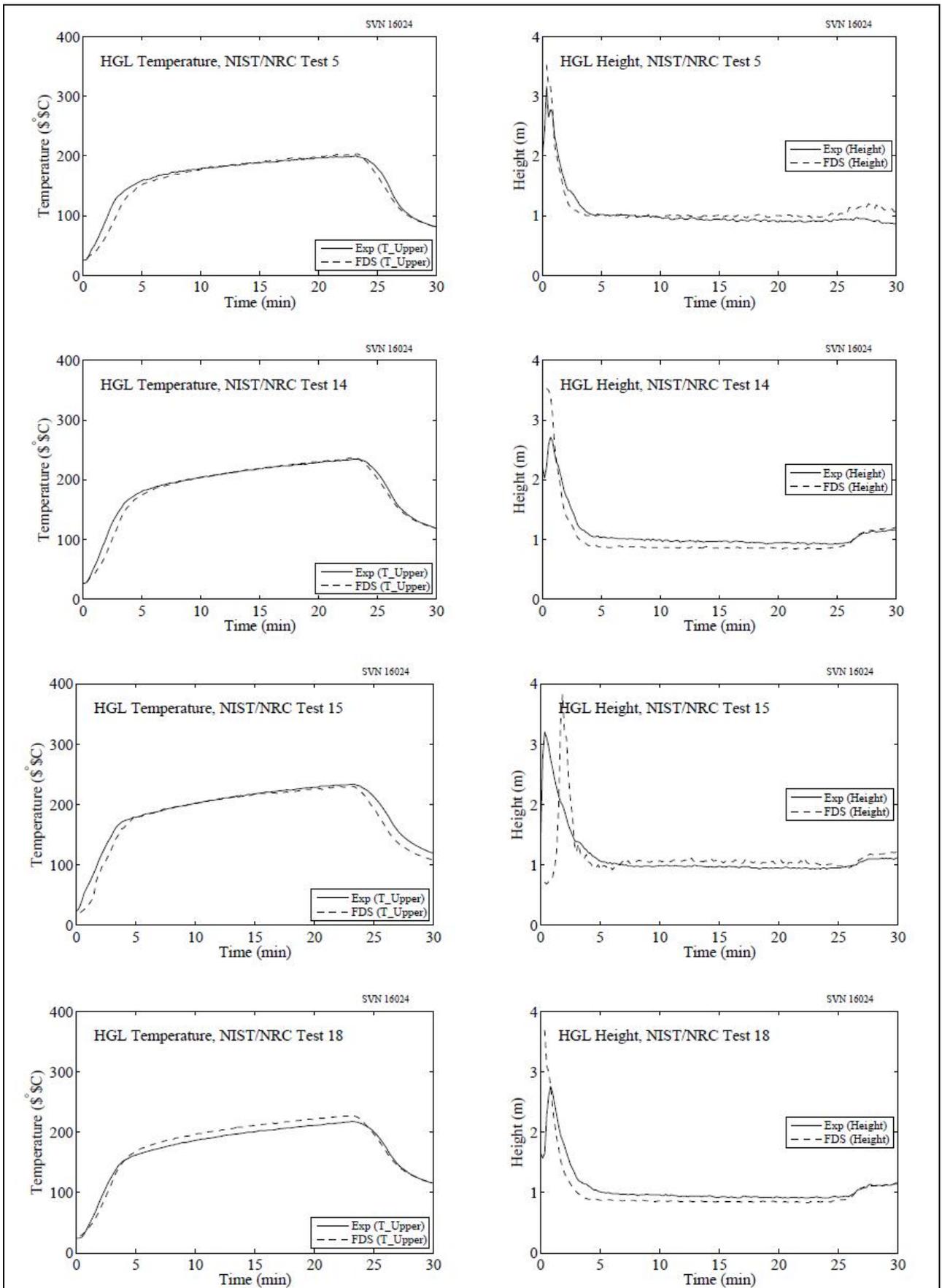




Open door tests to follow

Ниже приведены испытания с открытой дверью





5.7 SP Adiabatic Surface Temperature Experiments

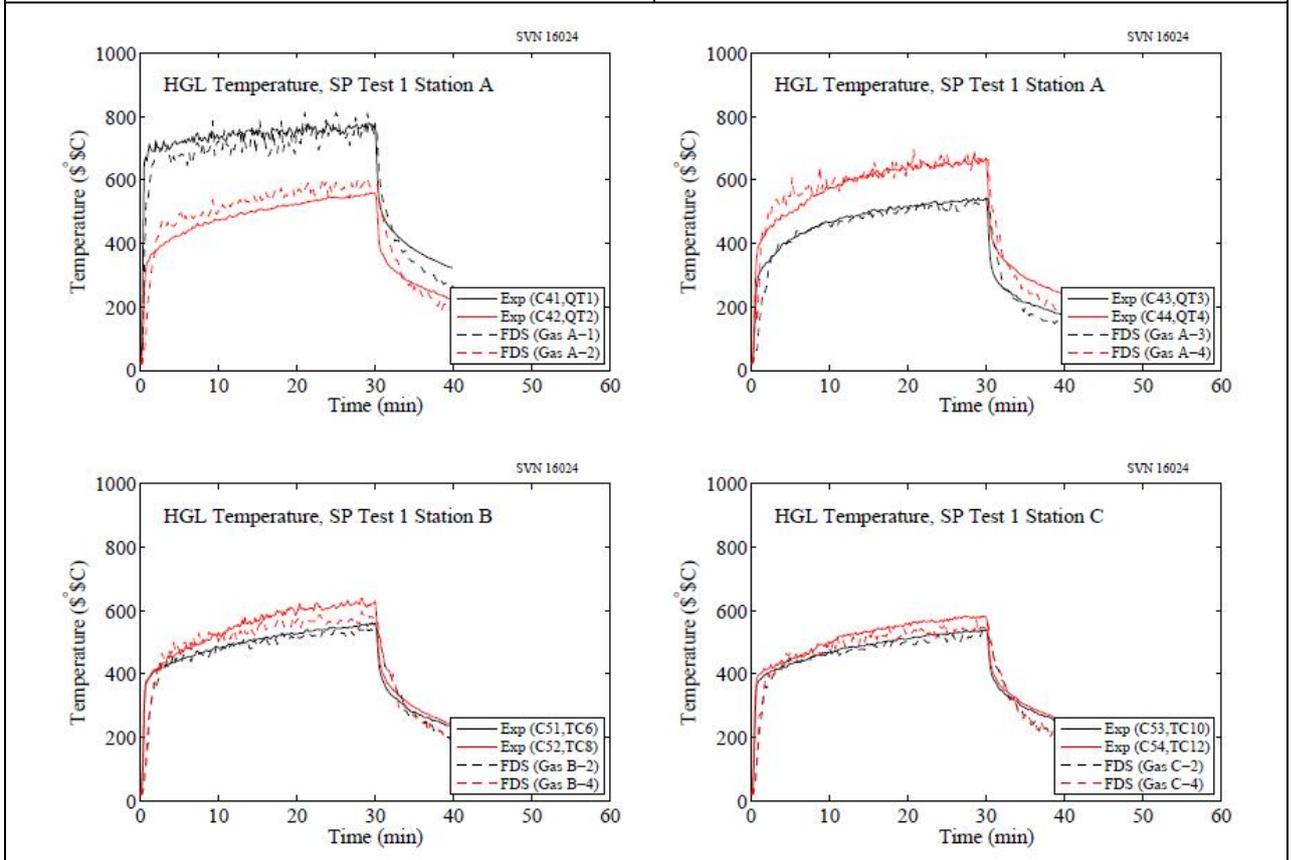
Three experiments were conducted in a standard compartment, 3.6 m long by 2.4 m wide by 2.4 m high, with a 0.8 m wide by 2.0 m high door centered on the

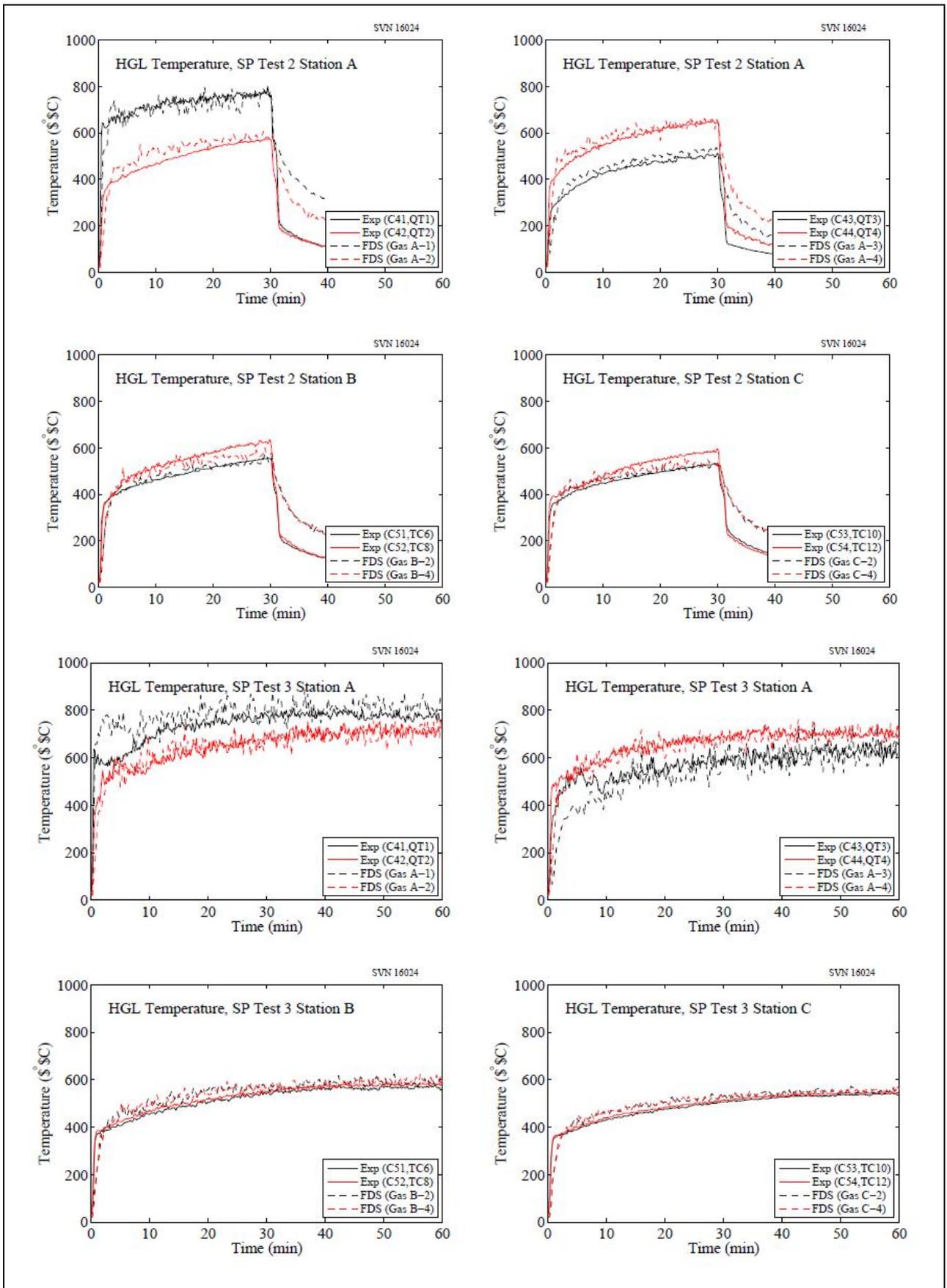
5.7 Испытания SP с адиабатическими поверхностными температурами

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

narrow wall. Each experiment used a constant 450 kW propane burner and a single beam suspended 20 cm below the ceiling along the centerline of the compartment. There were three measurement stations along the beam at lengths of 0.9 m (Position A), 1.8 m (Position B), and 2.7 m (Position C) from the far wall where the fire was either positioned in the corner (Tests 1 and 2), or the center (Test 3). Details can be found in the test report [166]. The gas temperatures reported here were measured at 4 locations surrounding the beam at Position A, and 2 locations at Positions B and C.

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.





5.8 Steckler Compartment Experiments

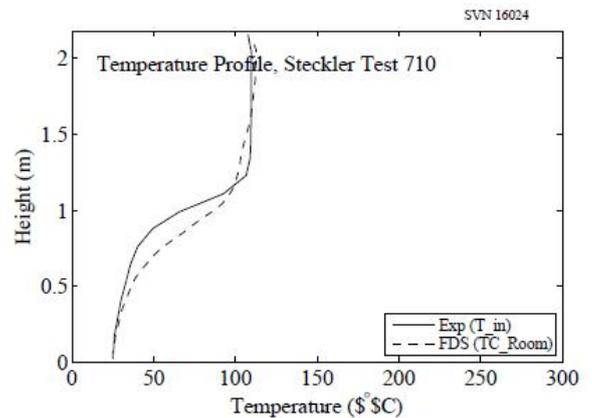
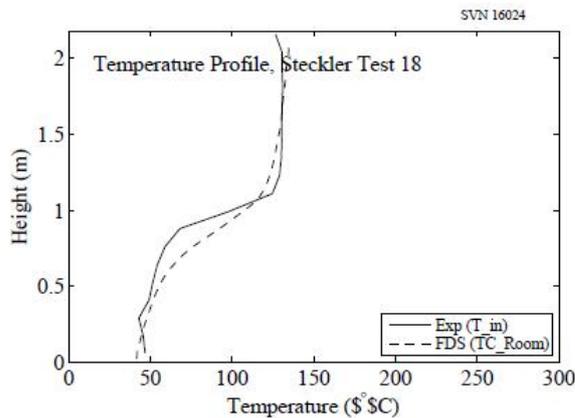
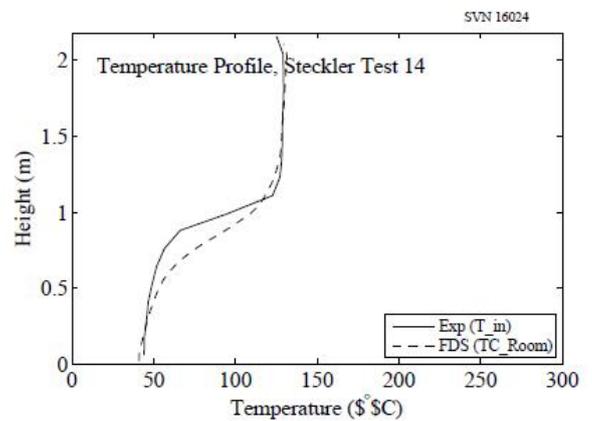
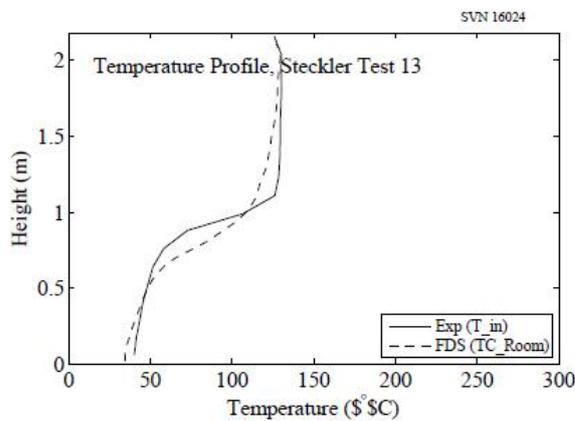
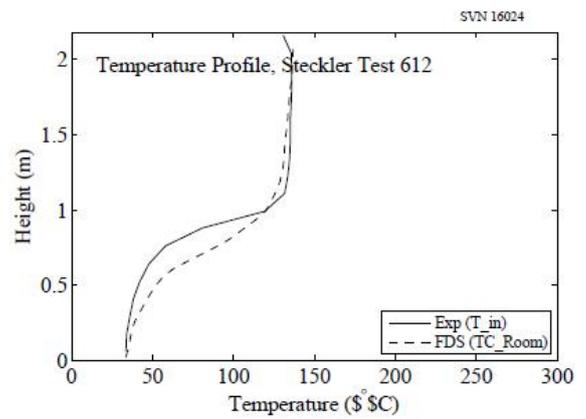
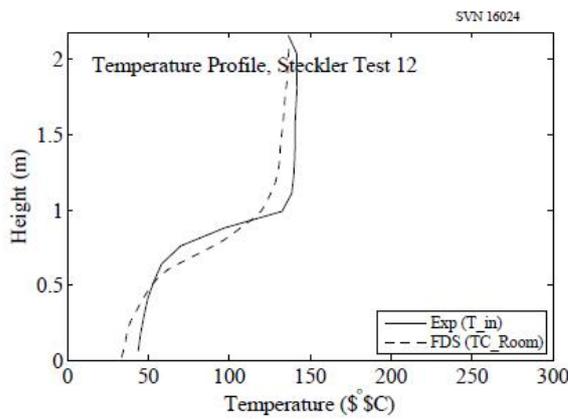
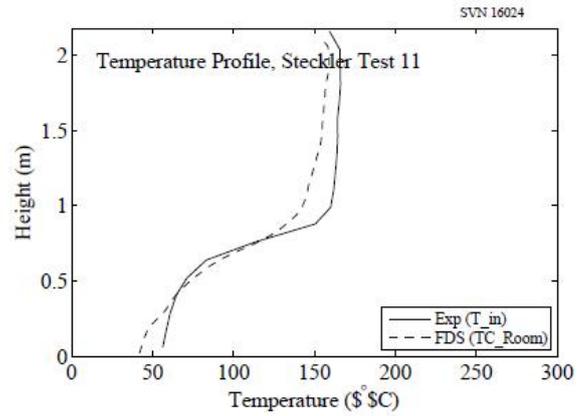
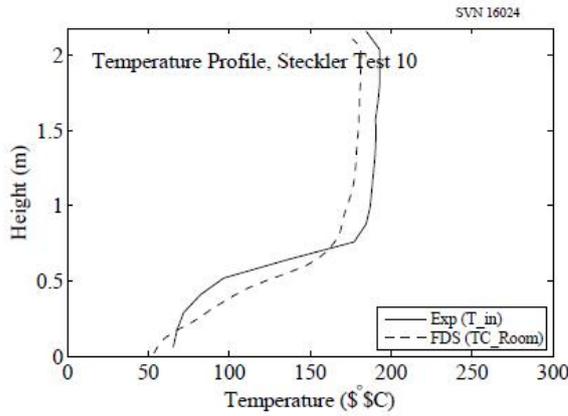
Steckler et al. [168] mapped the doorway/window flows in 55 compartment fire experiments. The test matrix is presented in Table 3.4. Shown on the following pages are the temperature profiles inside the compartment compared with model predictions. To quantify the

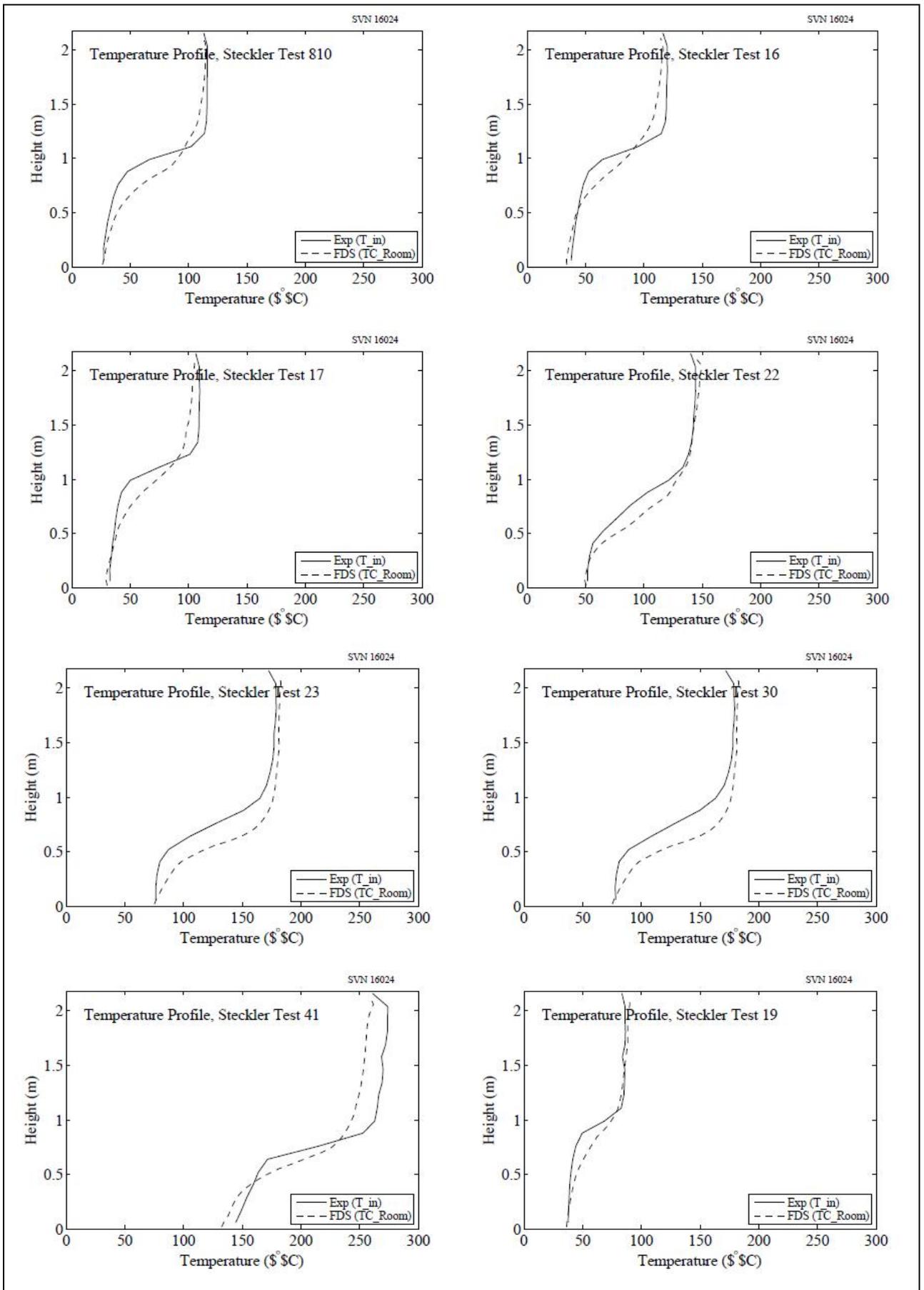
5.8 Испытания Стеклера в помещениях

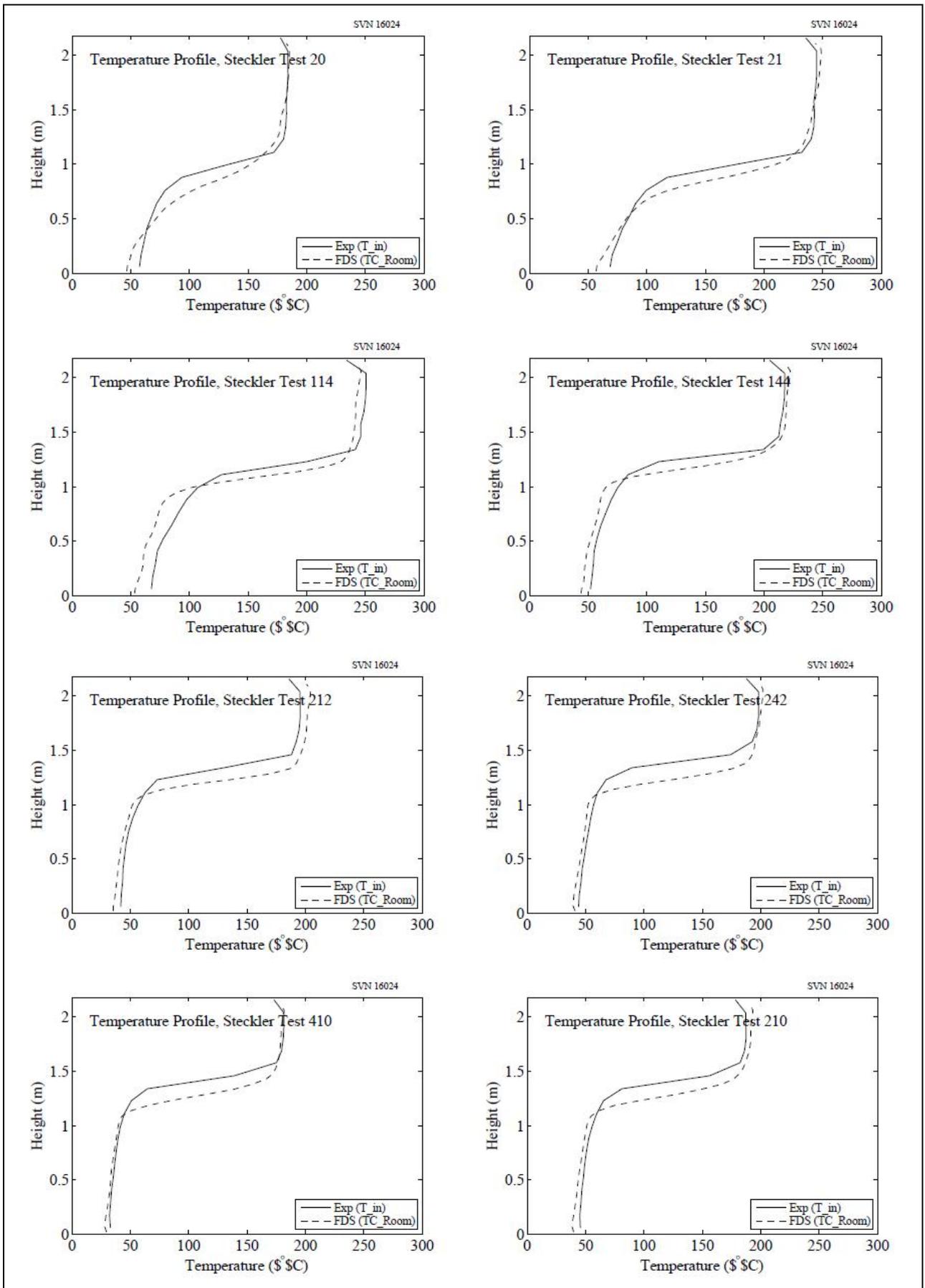
Стеклер и др. [168] изобразили потоки в дверном / оконном проемах в 55 пожарных испытаниях в помещениях. Матрица испытаний представлена в Таблице 3.4. На следующих страницах показаны графики температур внутри помещения в сравнении

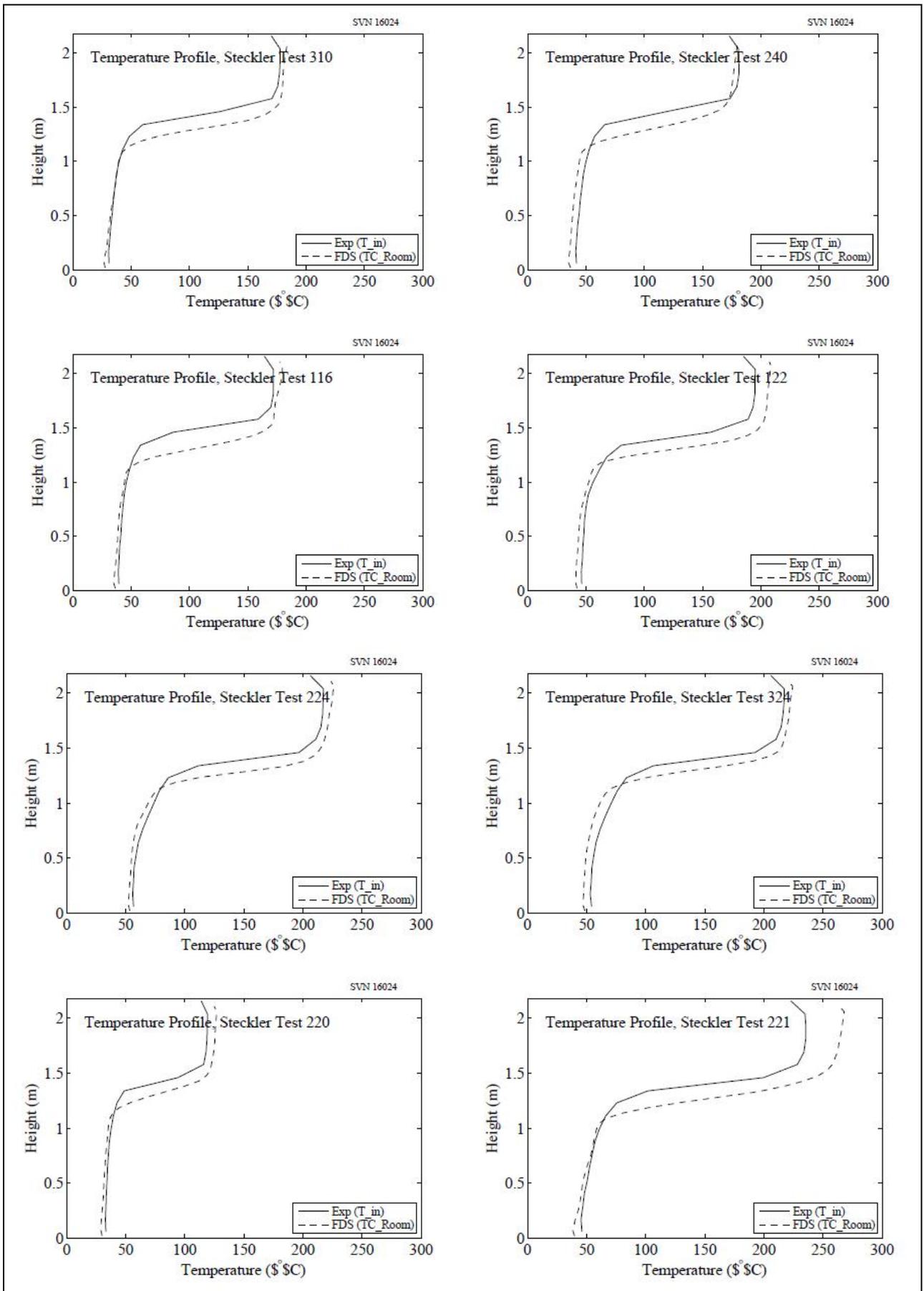
difference between prediction and measurement, the maximum temperatures were compared.

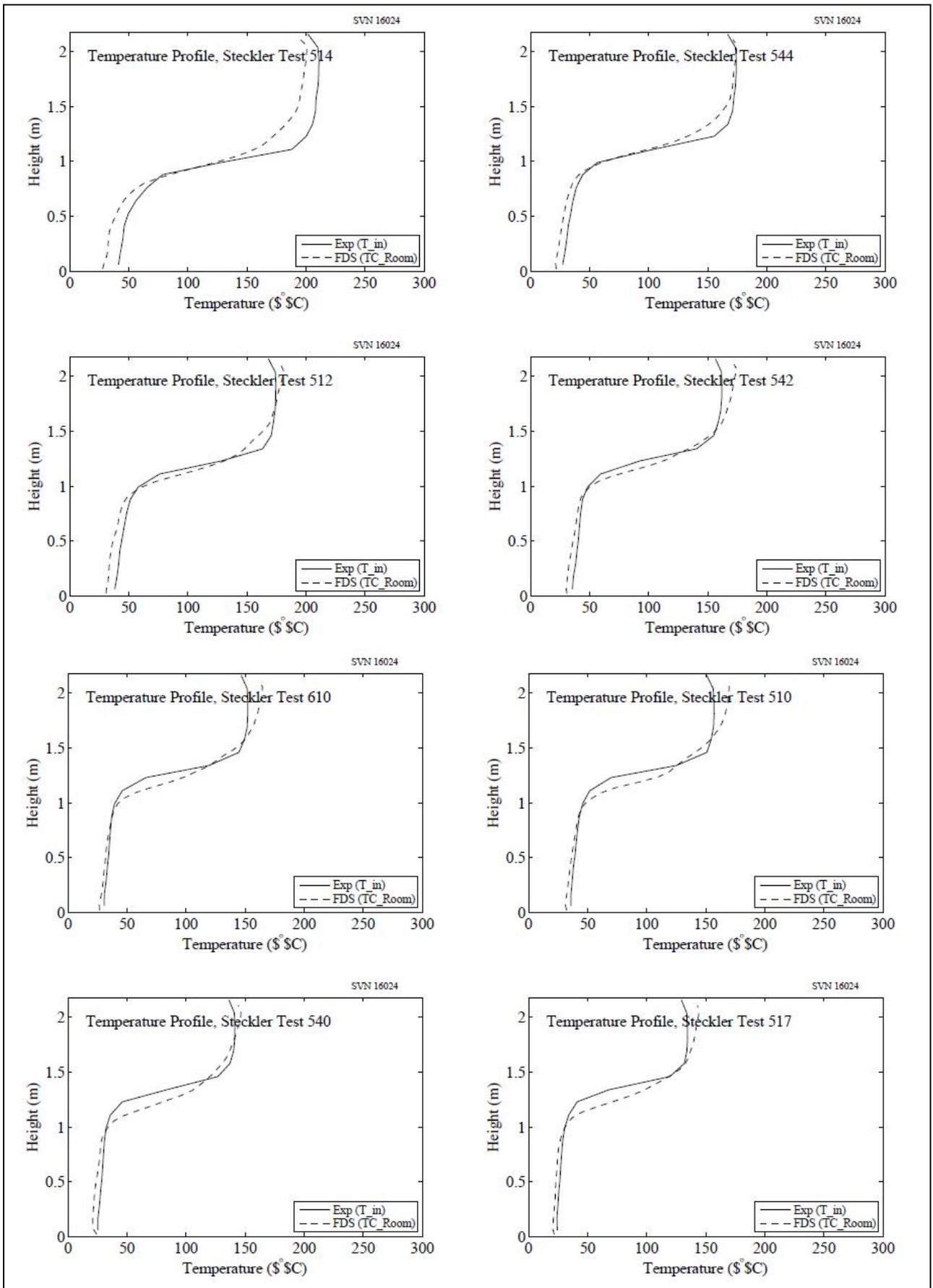
с прогнозами модели. Для количественной оценки различий между прогнозируемыми и измеренными данными были сопоставлены максимальные значения температур.

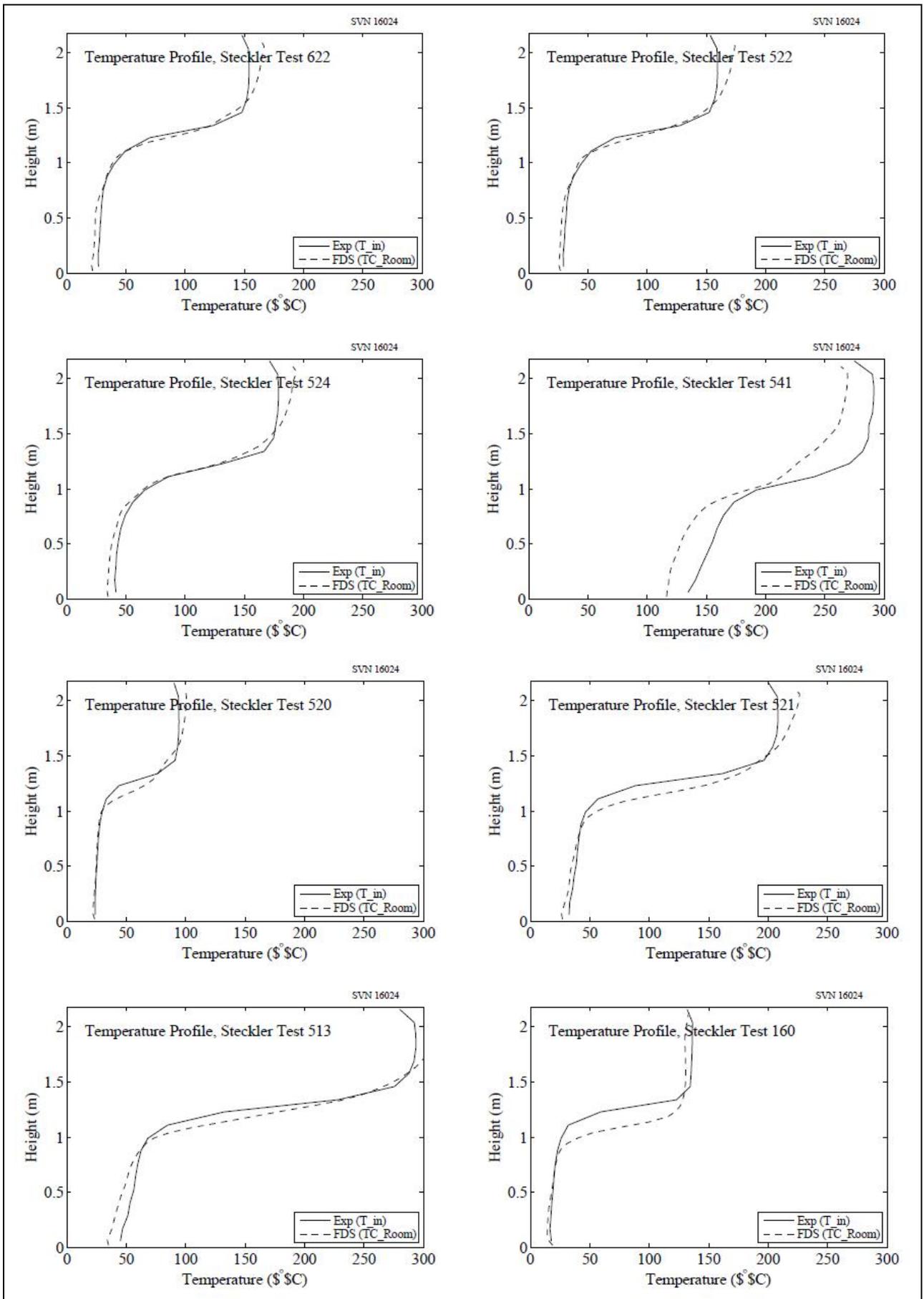


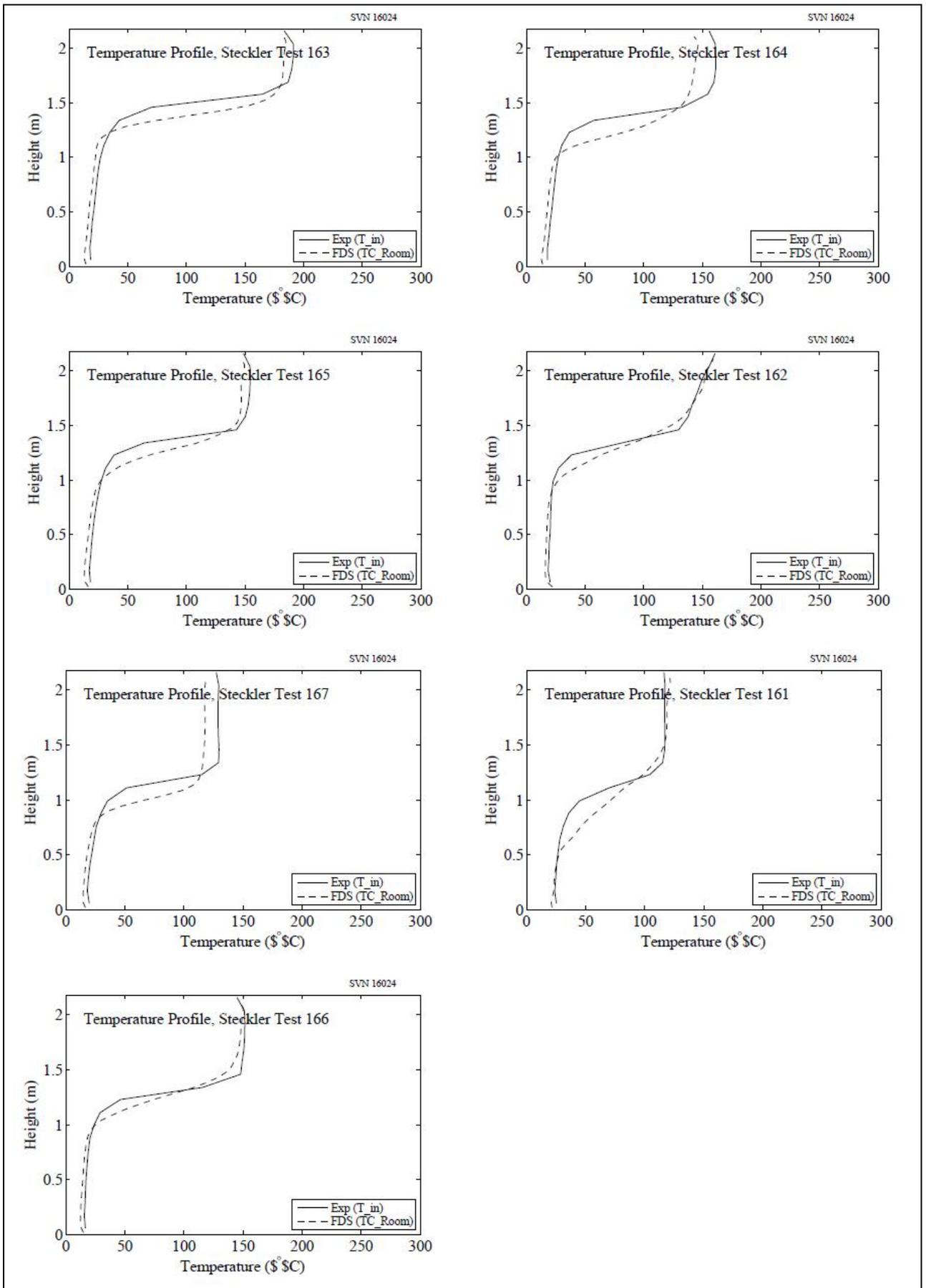












5.9 UL/NIST Vent Experiments

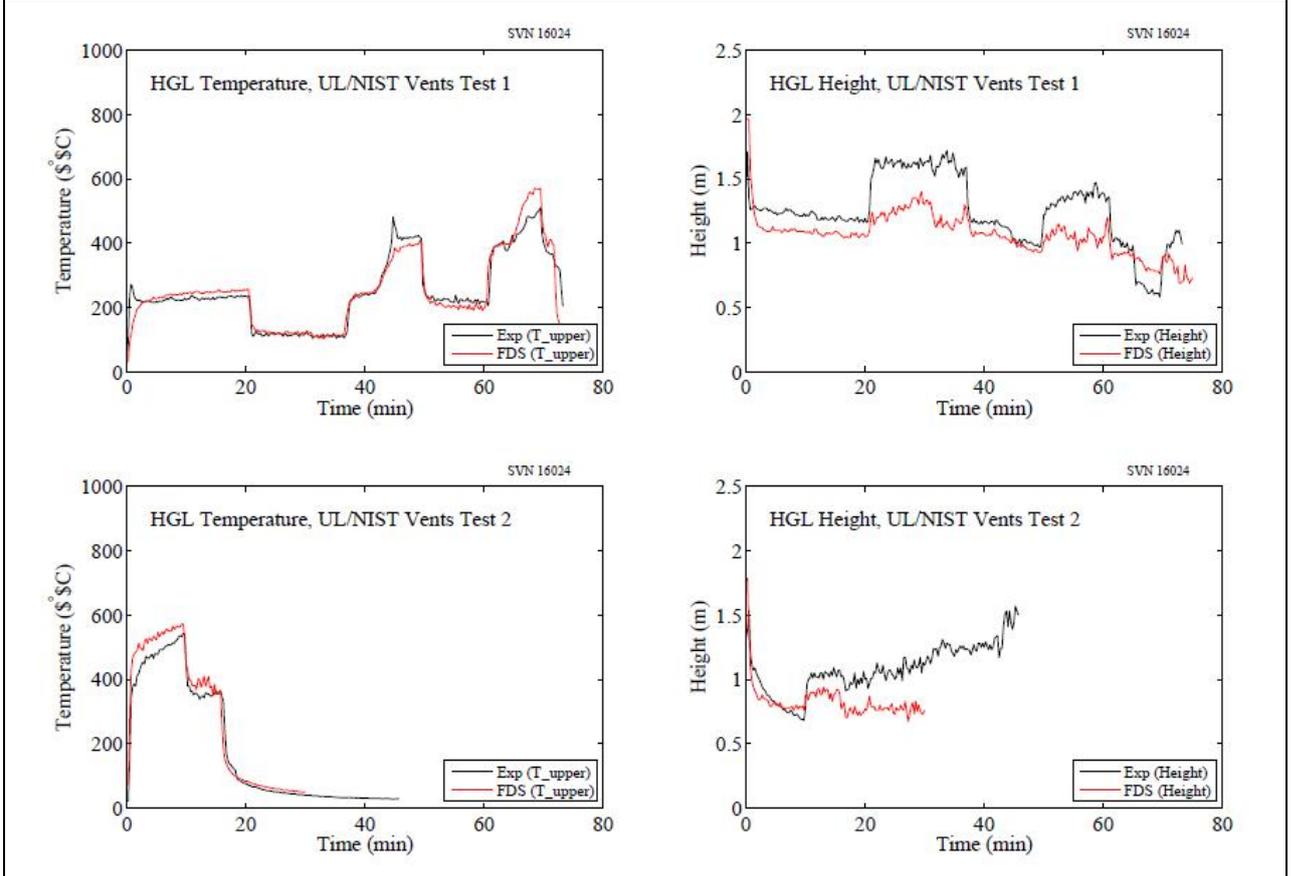
The HGL temperature and height for the four experiments was calculated from two vertical arrays of eight

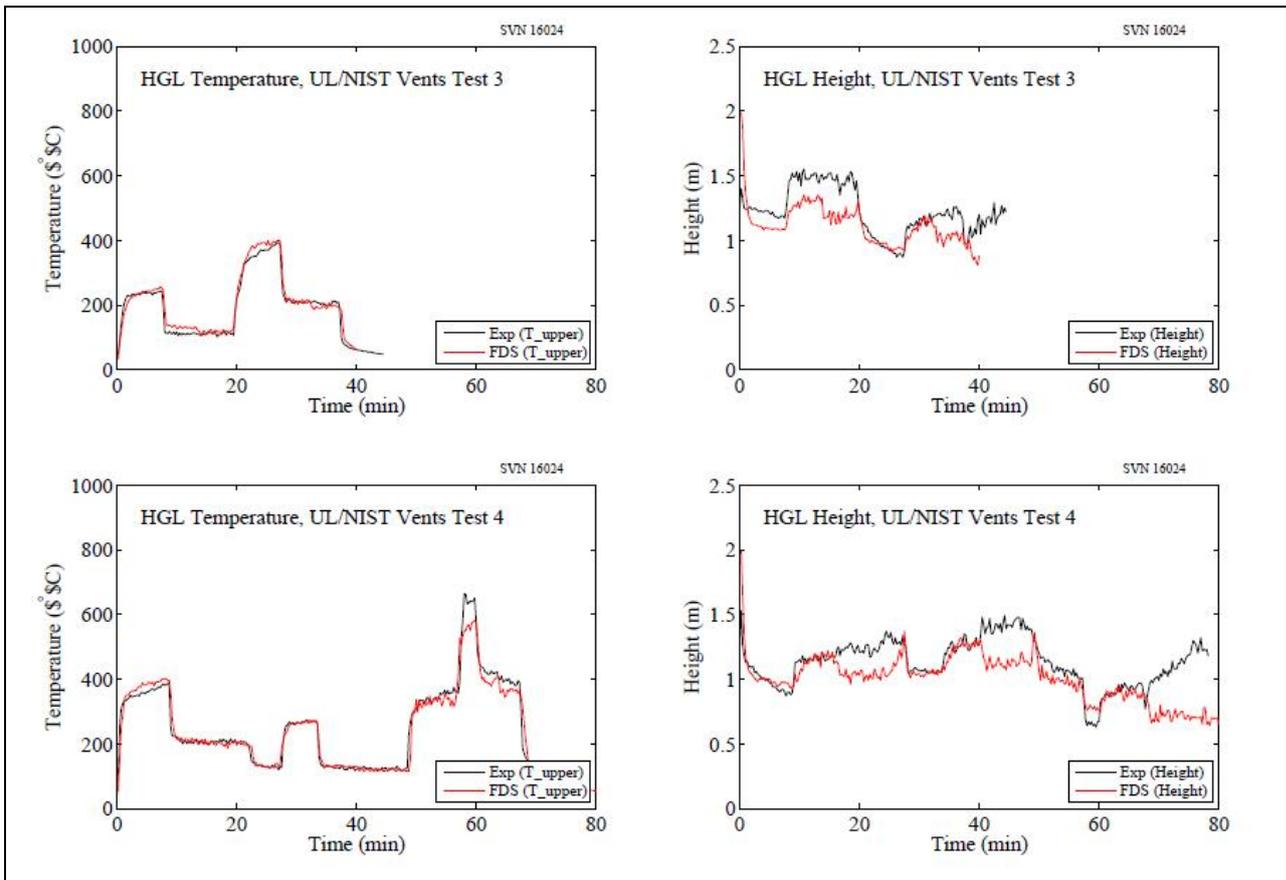
5.9 Испытания UL/NIST с вентиляционными отверстиями

Температура и высота HGL для четырех испытаний была рассчитана на основе двух вертикально

thermocouples each. The arrays were centered on the long central axis of the compartment and 90 cm from each short size wall. The 2.4 m by 1.2 m double vent was 90 cm from each array. The uppermost TC was 2.5 cm below the ceiling. The second TC was 30 cm (1 ft) below the ceiling, and the rest were spaced evenly by 1 ft.

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.



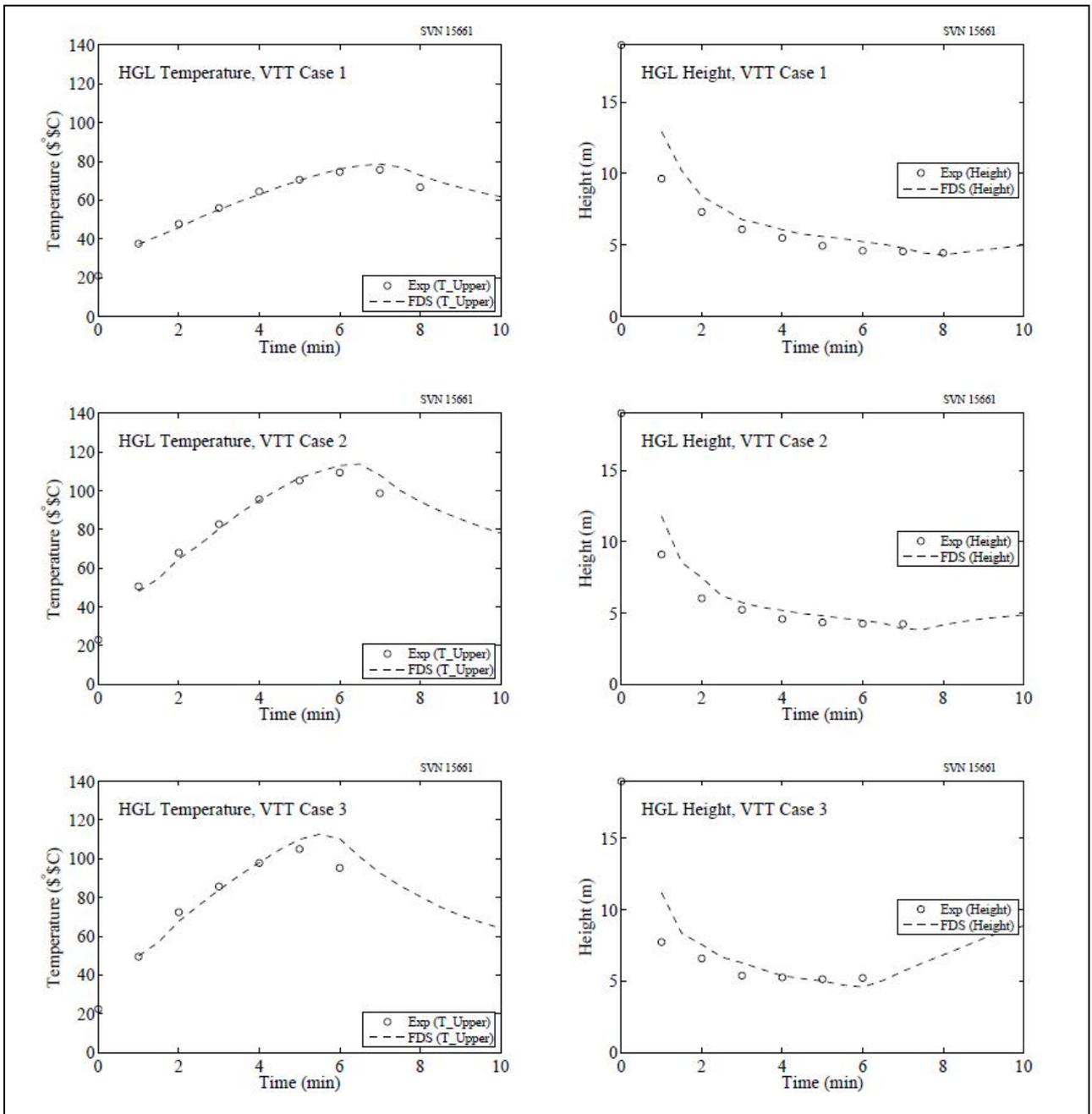


5.10 VTT Test Series

The HGL temperature and height are calculated from the (1 min) averaged gas temperatures from three vertical thermocouple arrays using the standard reduction method. There are 10 thermocouples in each vertical array, spaced 2 m apart in the lower two-thirds of the hall, and 1 m apart near the ceiling.

5.10 Серия испытаний VTT

Температура и высота HGL вычисляются исходя из (1 мин) средних температур газа из трех вертикальных групп термодпар с помощью стандартного метода сокращения. Используются 10 термодпар 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.

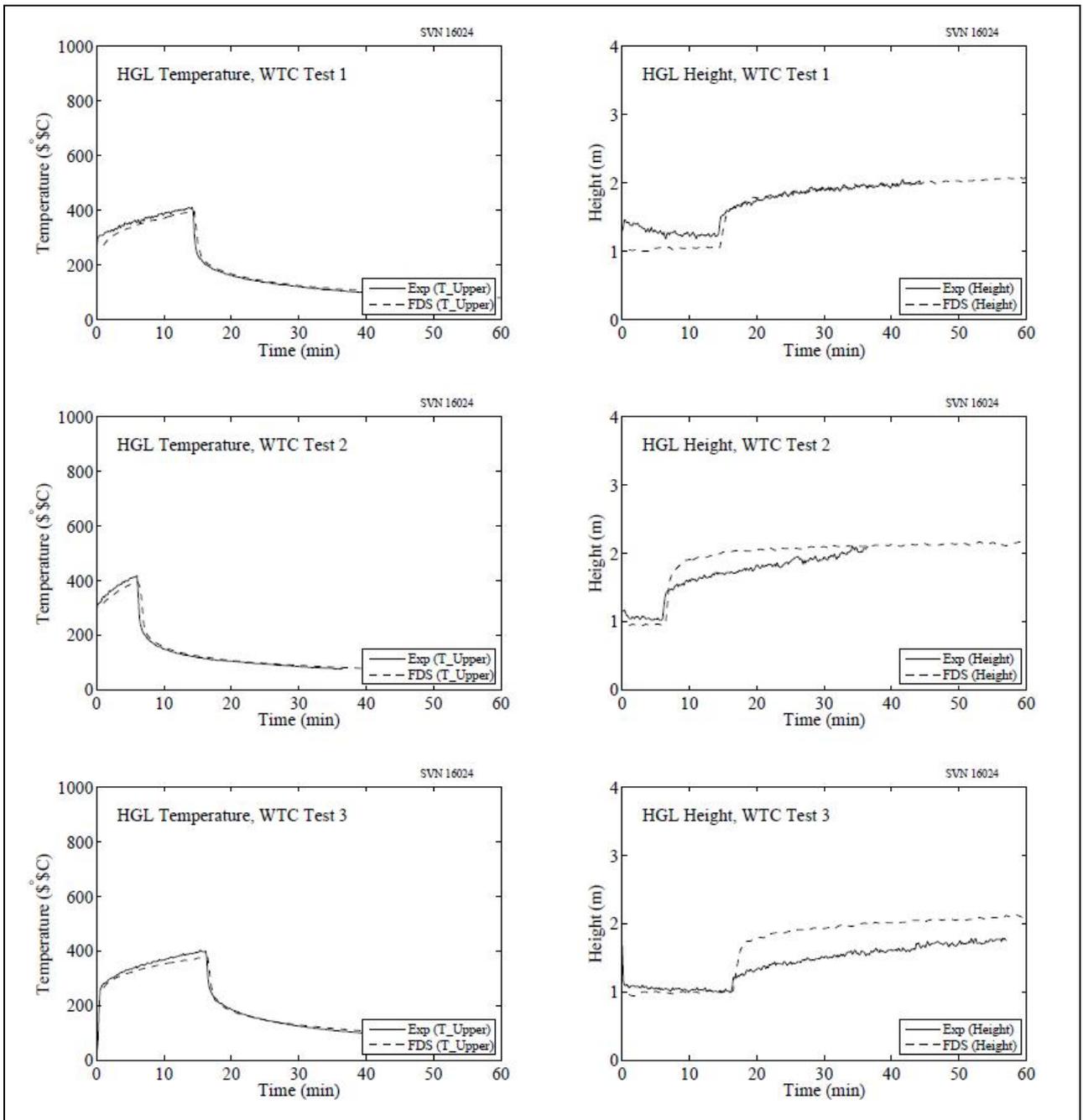


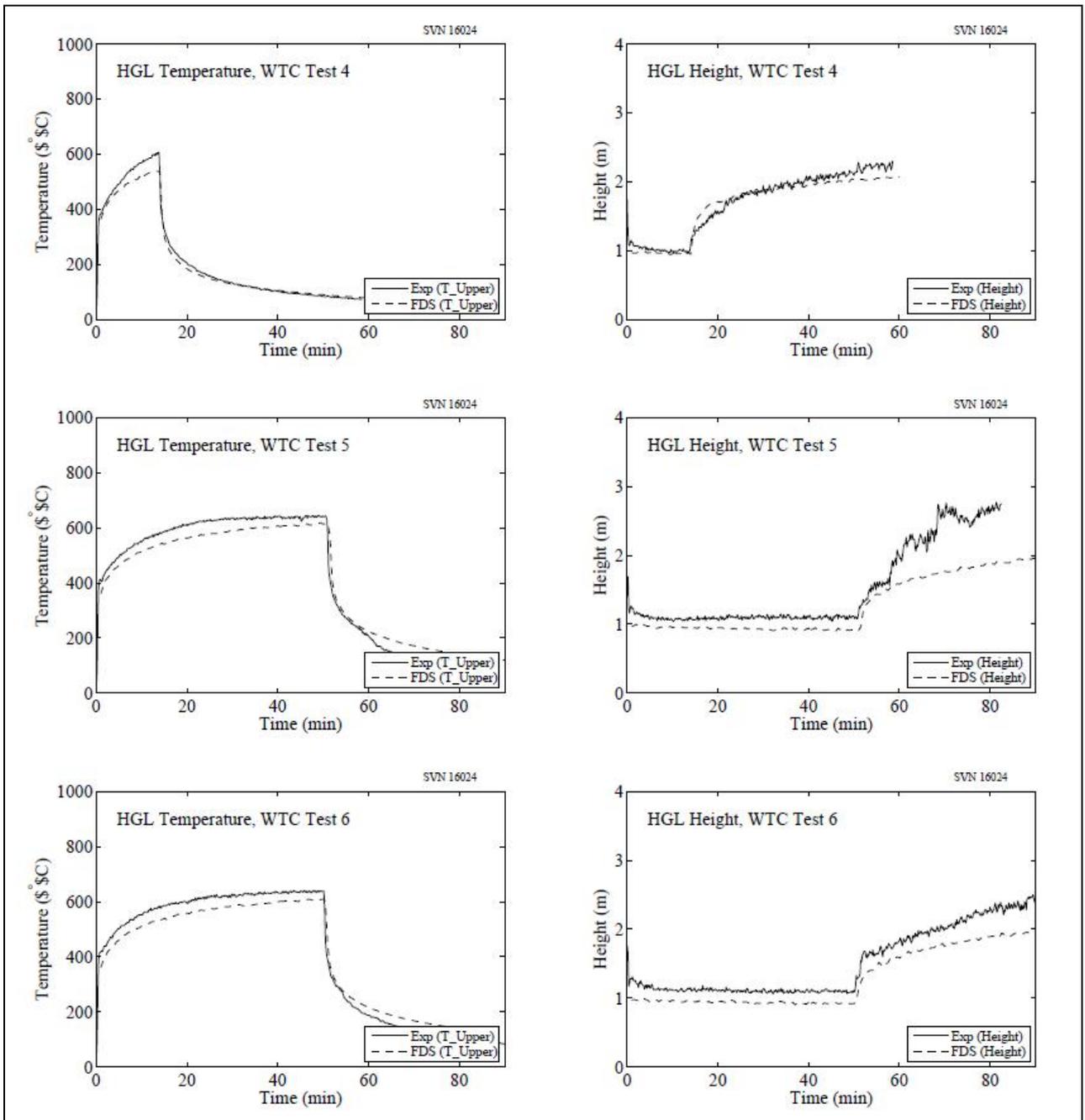
5.11 WTC Test Series

The HGL temperature and height for the WTC experiments were calculated from two TC trees, one that was approximately 3 m to the west and one 2 m to the east of the fire pan (see Fig. 3.17). Each tree consisted of 15 thermocouples, the highest point being 5 cm below the ceiling.

5.11 Серия испытаний WTC

Температура и высота HGL 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.





5.12 Summary of Hot Gas Layer Temperature and Height

5.12 Обзор температуры и высоты слоя горячего газа

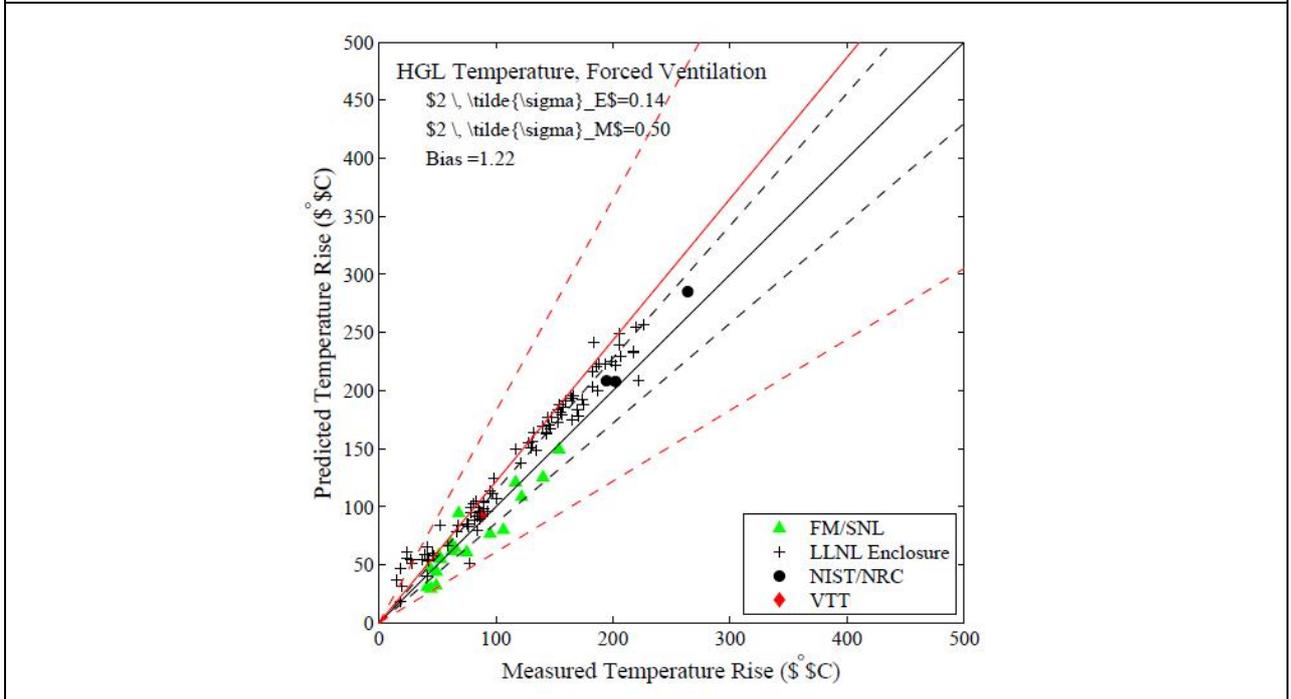
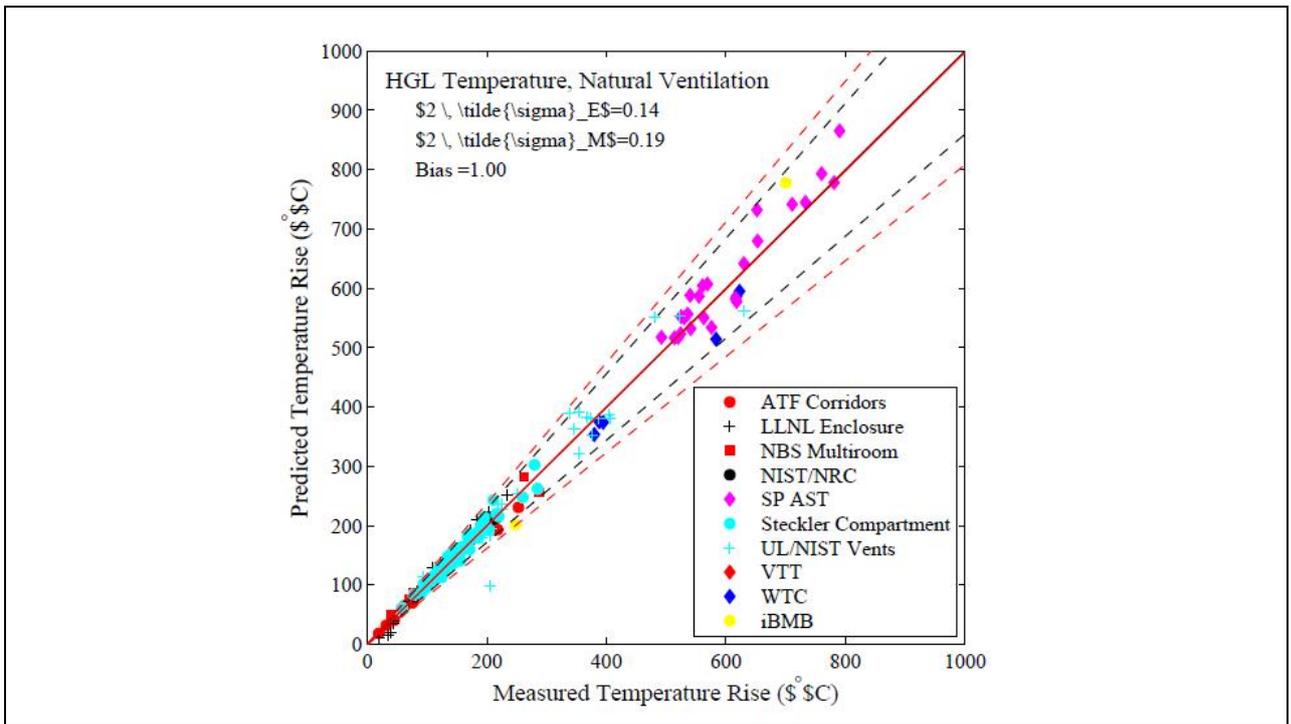


Figure 5.1: Summary of the HGL temperature predictions for natural and forced ventilation.

Рис. 5.1: Обзор температурных прогнозов HGL для естественной и принудительной вентиляции.

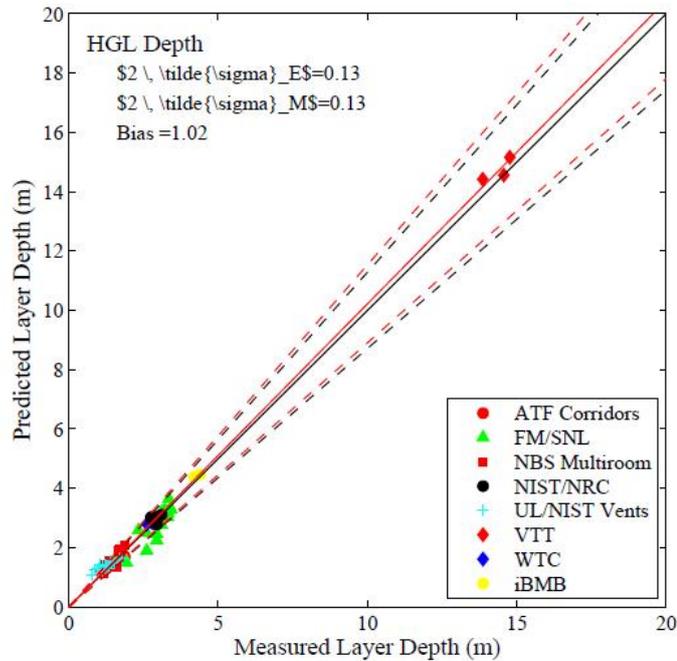
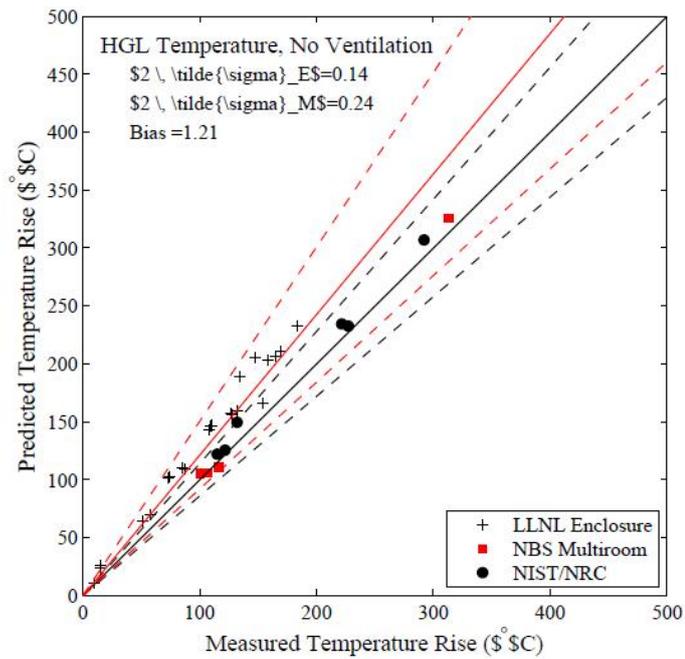


Figure 5.2: Summary of HGL temperature (no ventilation cases) and depth predictions.

Рис. 5.2: Обзор температуры HGL (без случаев вентиляции) и прогнозируемые значения глубины.

Chapter 6

Глава 6

Fire Plumes

Струи пламени

For fire plumes, a measure of how well the flow field is resolved is given by the non-dimensional expression $D^* = \delta x$, where D^* is a characteristic fire diameter

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

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

and δx is the nominal size of a mesh cell¹. The quantity $D^* = \delta x$ can be thought of as the number of computational cells spanning the characteristic (not necessarily the physical) diameter of the fire. The more

а δx – номинальный размер сетки ячеек¹. Величина может рассматриваться как число вычислительных ячеек, охватывающих характеристический (не обязательно физический) диаметр пожара. Чем

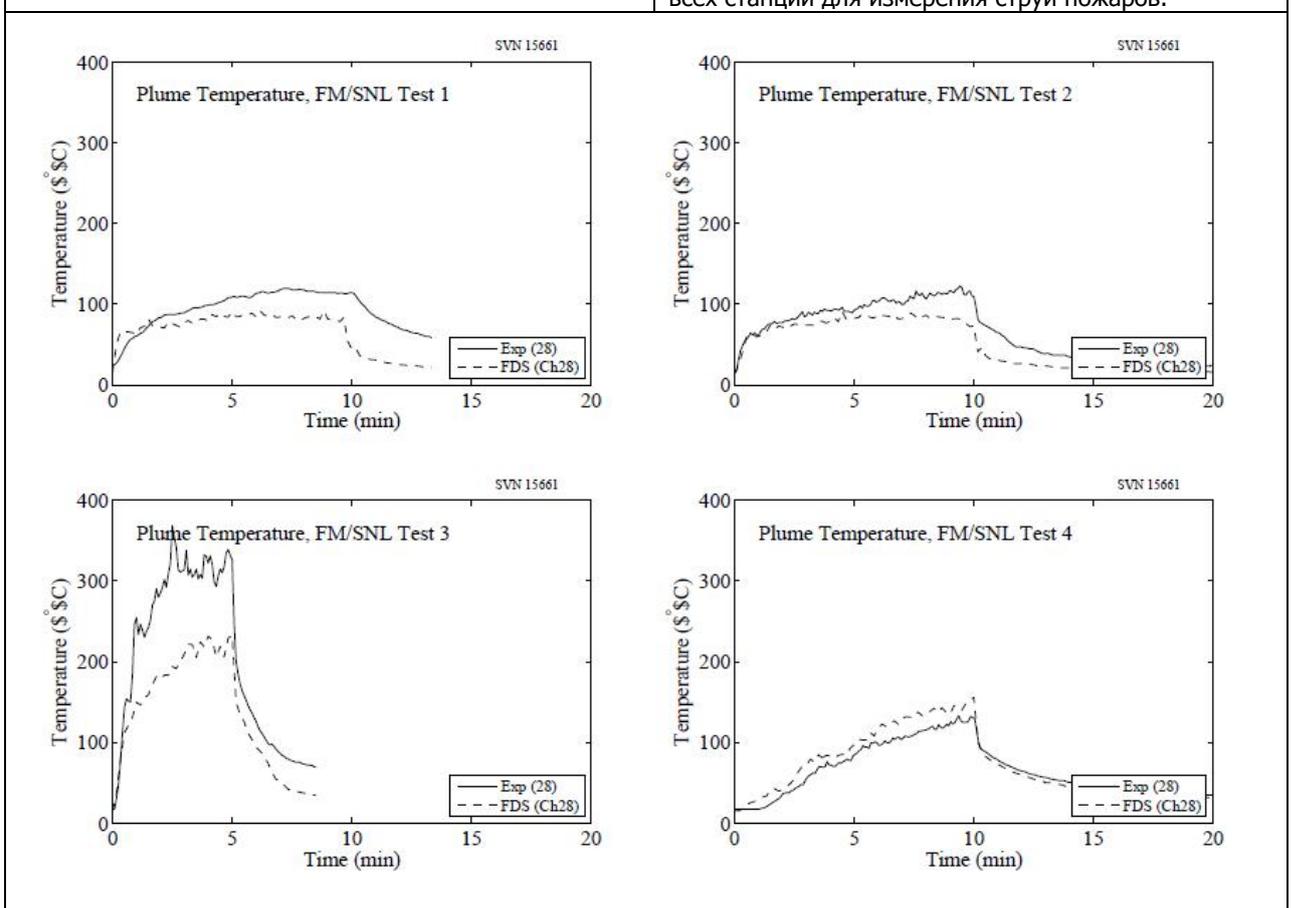
<p>cells spanning the fire, the better the resolution of the calculation. It is better to assess the quality of the mesh in terms of this non-dimensional parameter, rather than an absolute mesh cell size. For example, a cell size of 10 cm may be "adequate," in some sense, for evaluating the spread of smoke and heat through a building from a sizable fire, but may not be appropriate to study a very small, smoldering source.</p>	<p>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 распространения дыма и тепла через здание от значительного пожара, но может не подходить для изучения очень мало, тлеющий источник.</p>
<p>1The characteristic fire diameter is related to the characteristic fire size via the relation $Q \propto (D^* / D)^{5/2}$, where D is the physical diameter of the fire.</p>	<p>¹ Характеристический диаметр пожара связан с характеристическим размером пожара посредством соотношения $Q^* = (D^* / D)^{5/2}$, где D – физический диаметр огня.</p>

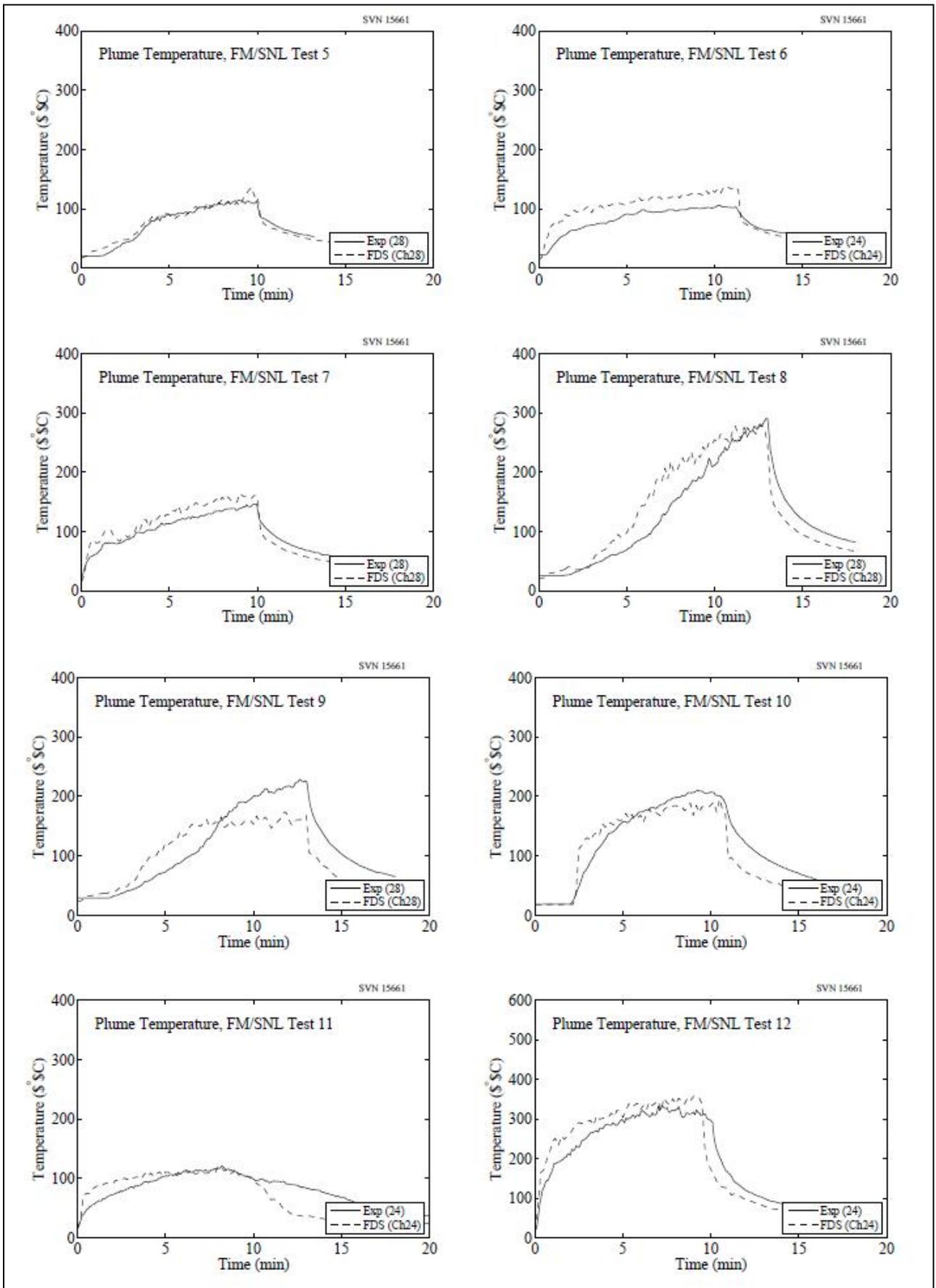
6.1 FM/SNL Test Series

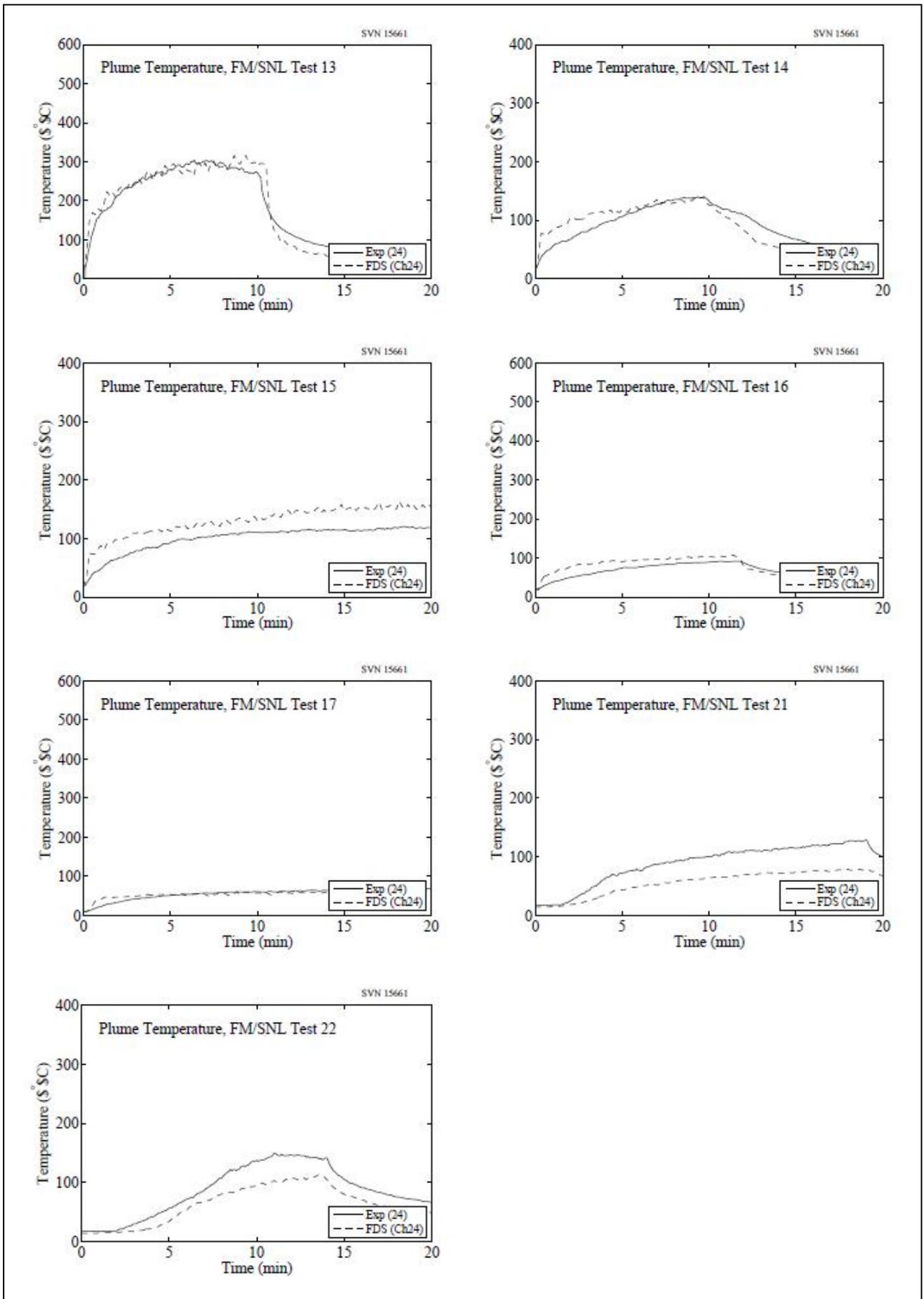
The FM/SNL tests consisted of propylene gas burners, heptane pools, methanol pools, PMMA solids, as well as qualified and unqualified cables, burned in a large room which, for the first 18 tests, was free of obstructions. Plume Temperatures shown here were measured at approximately 6 m from the floor, or 0.98 times the total ceiling height. For Tests 1-5 and 7-9, the thermocouple station (Station 13) was centered above the fire pan. Tests 6 and 10-15 used an alternate fire location, centered along the south wall. Station 9 was not centered above these fires, but fell within the plume. Tests 16 and 17 had fires located in the south-west corner of the room, too remote from any stations to allow for plume measurements.

6.1 Серия испытаний FM/SNL

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 термодатчика (станция 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.







6.2 Heskestad's Flame Height Correlation

Table 6.1 lists the parameters for FDS simulations of fires in a 1 m by 1 m square pan². Figure 6.1 shows a verification of the heat release rate for each case, and

6.2 Корреляция высоты пламени Хескестада

В Таблице 6.1 приведены параметры моделирования пожаров с помощью FDS в квадратном лотке размером 1 м на 1 м². На Рис 6.1 показана

<p>Fig. 6.2 compares the FDS predictions with Heskestad's empirical correlation. Note that the flame height for the FDS simulations is defined as the distance above the pan, on average, at which 99 % of the fuel has been consumed. Note also that the simulations were run at three different grid resolutions. A convenient length scale is given by</p>	<p>верификация скорости выделения тепла для каждого испытания, на Рис. 6.2 сопоставлены прогнозы FDS с эмпирической корреляцией Хескестада. Обратите внимание, что высота пламени для моделирования с помощью FDS 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:</p>
$D^* = (Q^*)^{2/5} D \quad (6.2)$	
<p>Given a grid cell size, Δx, the three resolutions can be characterized by the non-dimensional quantity, $D/\Delta x$, whose values in these cases are 5, 10 and 20.</p>	<p>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.</p>
<p>The flame height definition used in Fig. 6.2 (99 % fuel consumption) is admittedly arbitrary and is often questioned when FDS predictions of flame height are compared with experimental values, which are usually based on luminosity (effectively measuring radiation emission from soot). Further, Heskestad's flame height correlation is one among many such correlations [25, 185, 186, 187, 188, 189, 190], and the reported variation is significant, especially at low values of Q^* where the details of the burner configuration (shape of the burner, etc.) become important. To illustrate the uncertainty one can expect from FDS calculations and to test the sensitivity of the reported FDS results to the flame height definition, Fig. 6.3 shows two different FDS flame height predictions, one at 99 % fuel consumption (as in Fig. 6.2)—the red curve—and one using 95 % fuel consumption—the blue curve. Three different grid resolutions were run for each flame height definition. For 99 % fuel consumption, the red dashed line is the maximum flame height from the three resolutions. For 95 % fuel consumption, the blue dashed line is the minimum flame height from the three resolutions. We also overlay several different flame height correlations (colored solid lines).</p>	<p>Определение высоты пламени, используемое на Рис. 6.2 (при горении 99 % топлива), признано произвольным и часто ставится под сомнение, когда прогнозы FDS 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 FDS и проверить чувствительность зарегистрированных результатов FDS к определению высоты пламени, на Рис. 6.3 показаны два разных прогнозируемых значения высоты пламени FDS, 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).</p>
<p>Figure 6.4 includes comparisons of the predicted HRR as a function of the height of the burner for three different values of Q^*. The experimental measurements were performed by Tamanini at Factory Mutual [191]. Both the HRR and height above the burner have been non-dimensionalized by the total HRR and the flame height, respectively. These results demonstrate that the predicted spatial distribution of the energy release improves as the numerical grid is refined.</p>	<p>На Рис. 6.4 включает в себя сравнение прогнозируемой скорости выделения тепла как функции высоты горелки для трех разных значений Q^*. Экспериментальные измерения проводились Таманини, Factory Mutual [191]. Как скорость выделения тепла и высота над горелкой были обезразмерены общей скоростью выделения тепла и высотой пламени, соответственно. Эти результаты показывают, что прогнозируемое пространственное распределение выделения энергии повышается при улучшении числовой расчетной сетки.</p>
<p>2 The effective diameter, D, of a 1 m square pan is 1.13 m, obtained by equating the area of a square and circle.</p>	<p>² Эффективный диаметр, D, квадратного лотка со стороной 1 м, составляет 1,13 м, получен путем приравнивания площади квадрата и круга.</p>
<p>Table 6.1: Summary of parameters for the flame height predictions. The grid cell size, $\Delta x=10$, refers to the case where $D/\Delta x=10$.</p>	<p>Таблица 6.1: Обзор параметров для прогнозирования высоты пламени. Размер ячейки</p>

				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

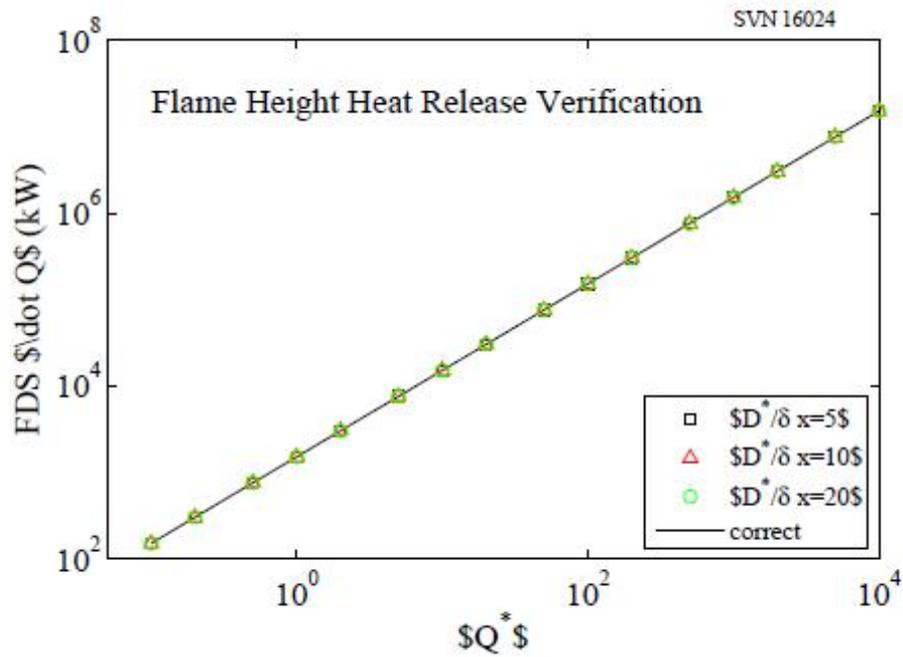


Figure 6.1: Verification of the heat release rate for Heskestad Flame Height cases.

Рис. 6.1: Верификация скорости выделения тепла для примеров Хескестада относительно высоты пламени.

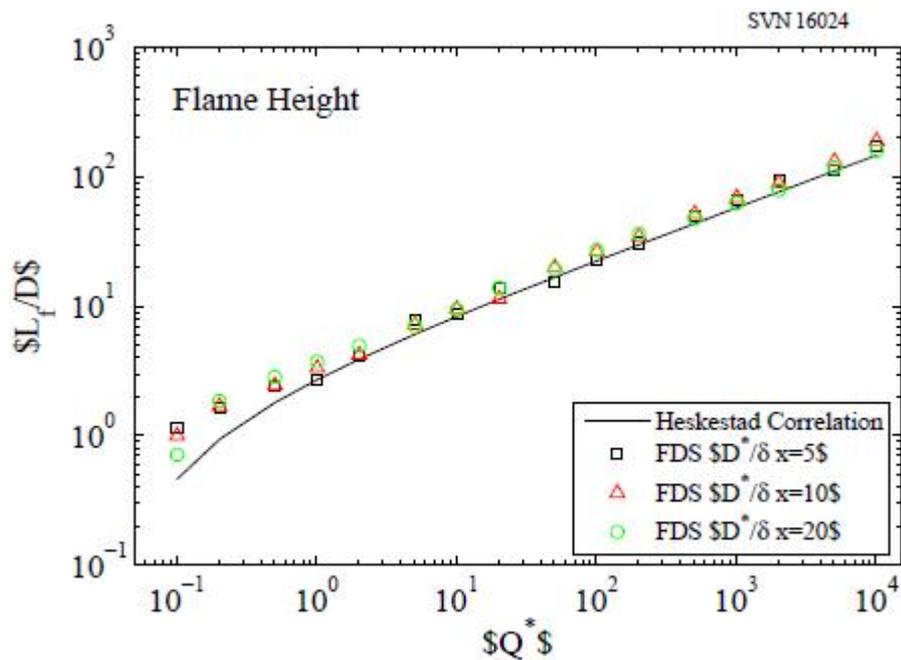


Figure 6.2: Comparison of FDS predictions of flame height from a 1 m square pan fire for Q^* values ranging from 0.1 to 10000.

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

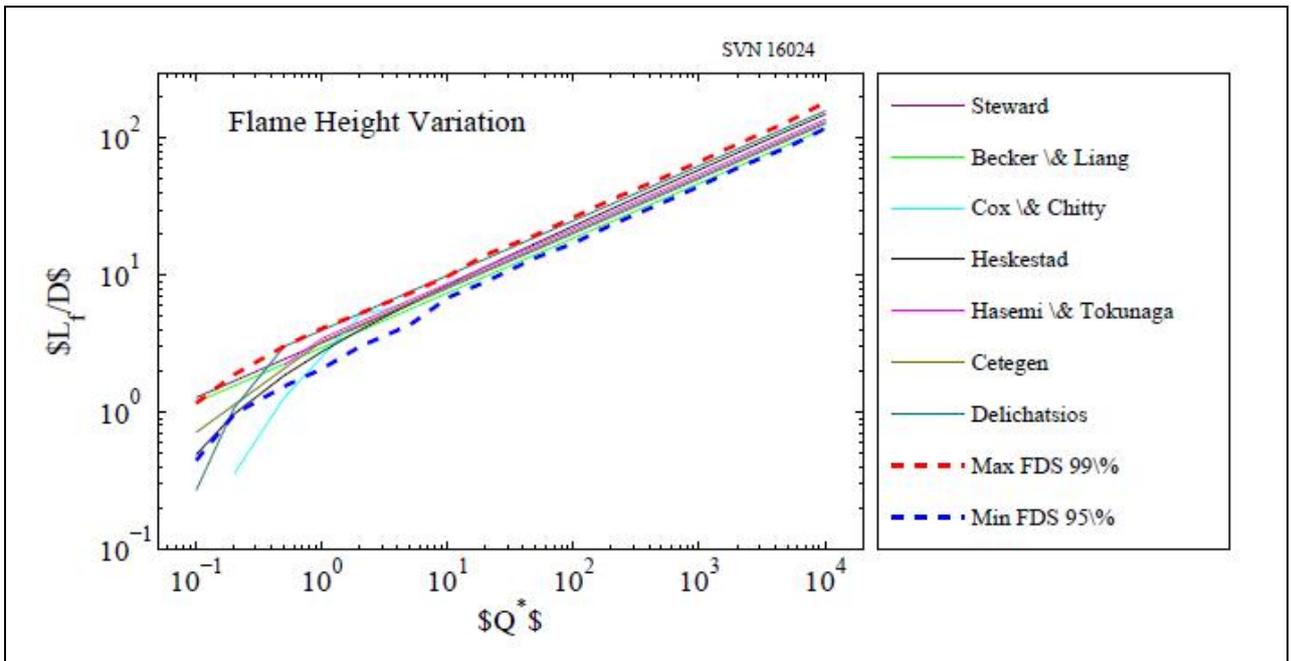


Figure 6.3: Flame height predictions from various correlations compared with FDS predictions using two different flame height definitions. Uncertainty (maximum variation) at $Q^* > 1$ is $\pm 15\%$. At $Q^* = 0.1$, the uncertainty is approximately $\pm 65\%$. Correlation references: Steward [185], Becker and Liang [186], Cox and Chitty [187], Heskestad [25], Hasemi and Tokunaga [188], Cetegen [189], Delichatsios [190].

Рис. 6.3: Прогнозы высоты пламени из различных корреляций по сравнению с прогнозами FDS 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], Деличачсиос [190].

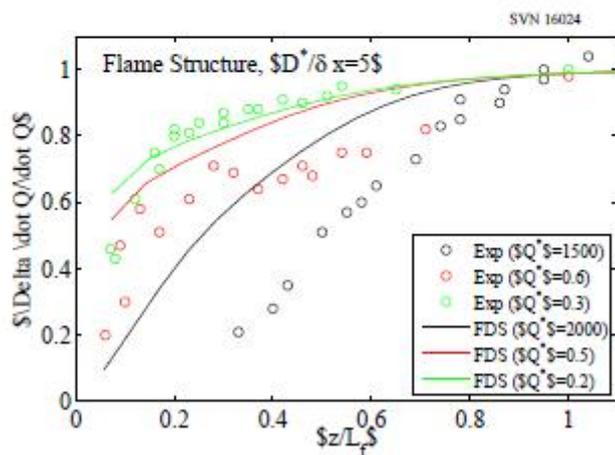
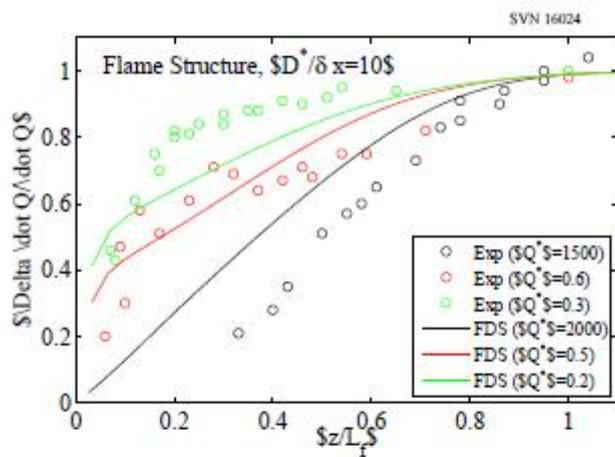
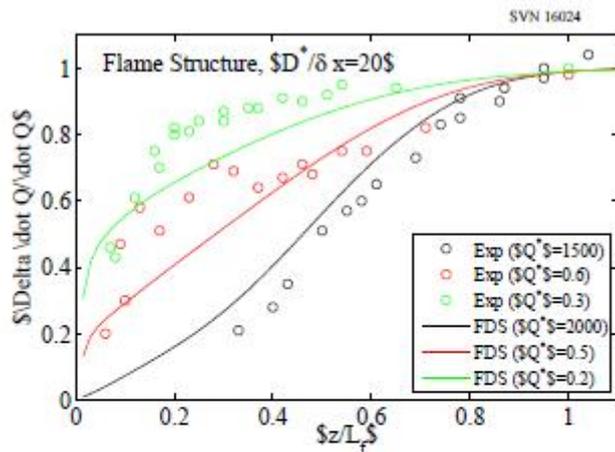


Figure 6.4: Predicted HRR as a function of height above the burner compared to measurements.

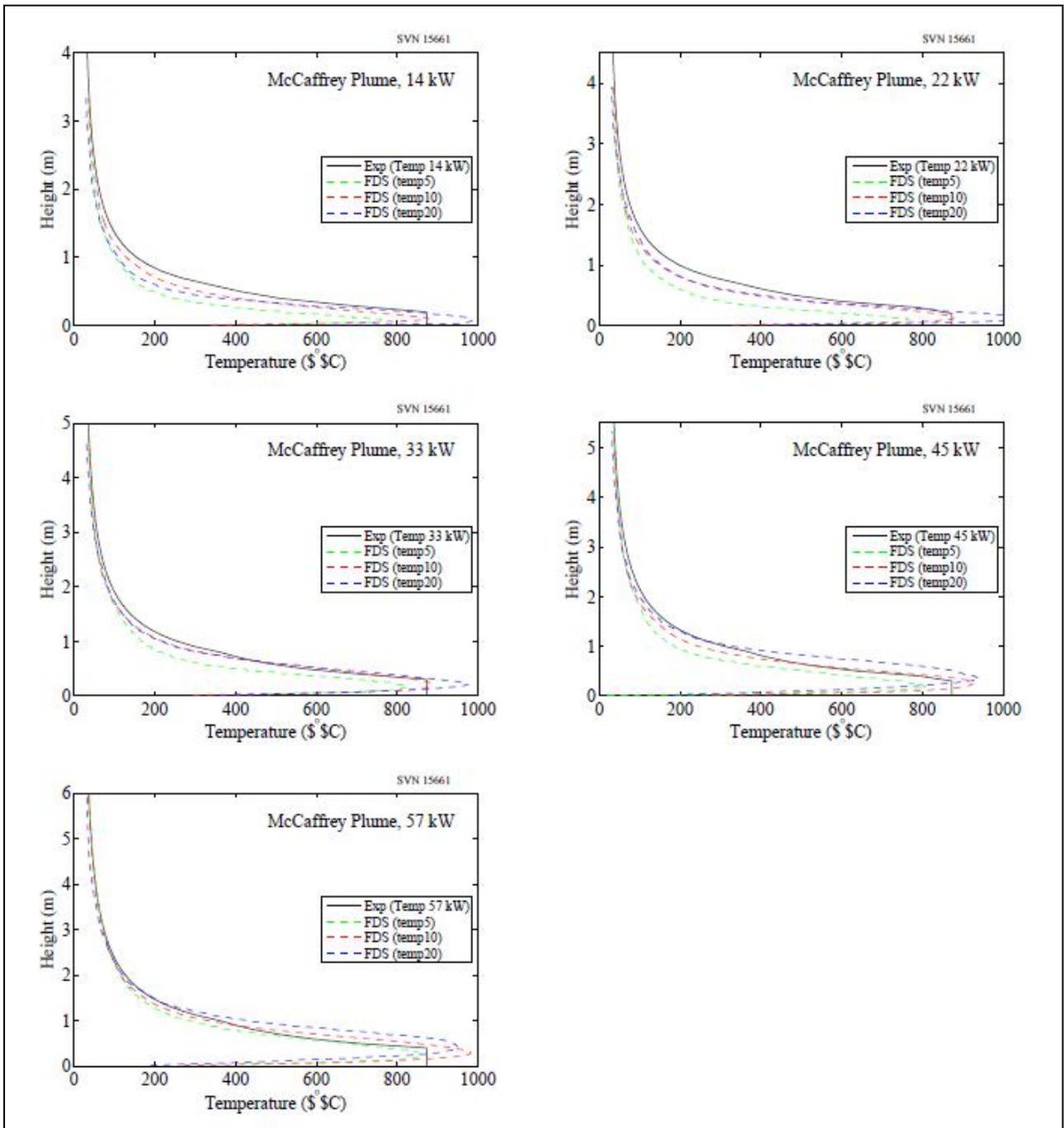
Рис. 6.4: Прогнозируемая скорость выделения тепла как функция высоты над горелкой в сравнении с данными измерений.

6.3 McCaffrey's Plume Correlation

The following plots show the results of simulations of McCaffrey's five fires at three grid resolutions, $D\Box = dx = [5;10;20]$ (note this resolution index is used to label the legend entries). The mesh cells are cubic and the spacing is uniform (no stretching).

6.3 Корреляция струи Маккеффри

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).



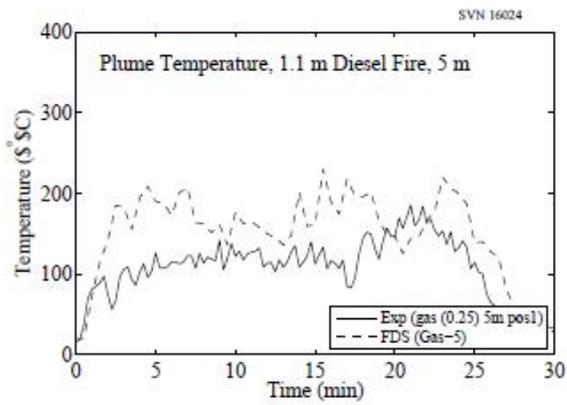
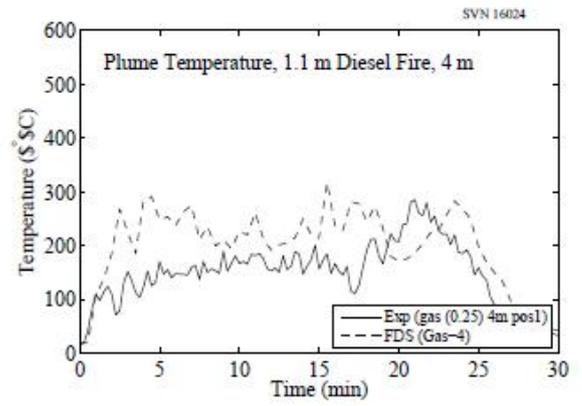
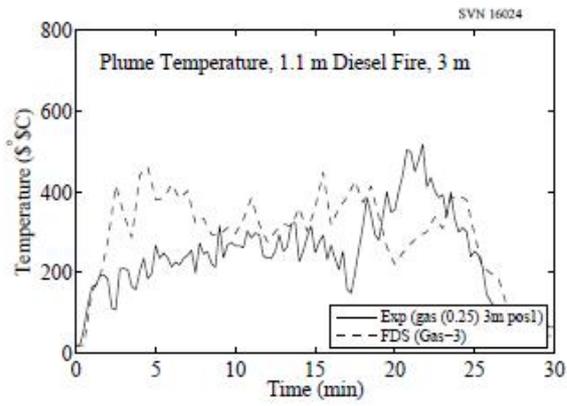
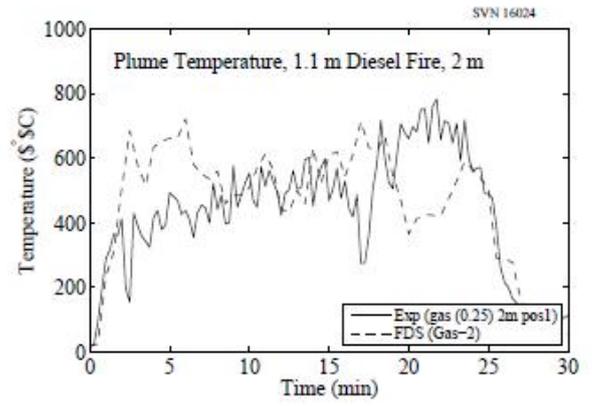
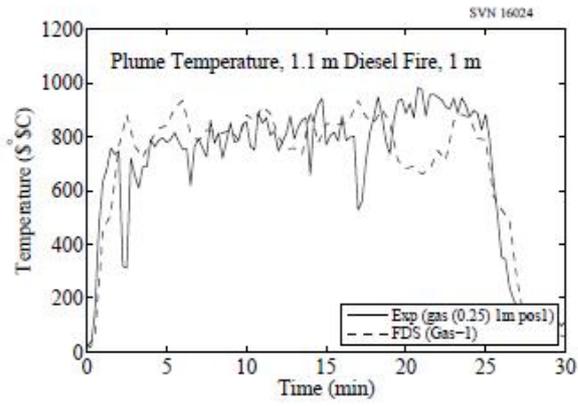
6.4 SP Adiabatic Surface Temperature Experiments

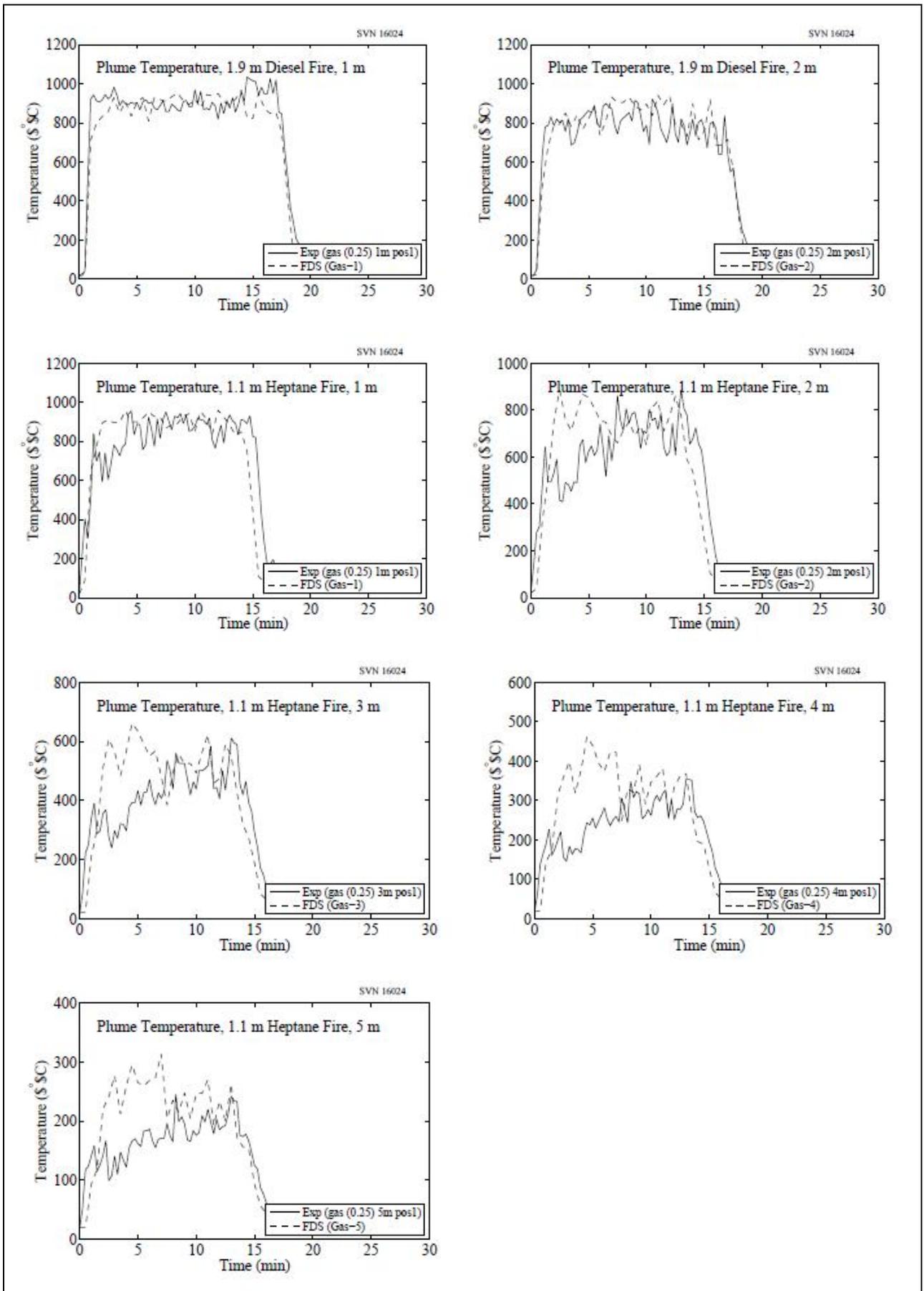
Three experiments were conducted at SP, Sweden, in 2011, in which a 6 m long, 20 cm diameter vertical column was positioned in the middle of 1.1 m and 1.9 m diesel fuel and 1.1 m heptane pool fires [167]. Gas, plate, and steel surface temperature measurements were made at heights of 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, and 5 m above the pool surface. Gas temperatures were measured with 0.25 mm and 0.50 mm bead thermocouples. The results are very similar and only the 0.25 mm values are used. In the experiments, the fire was reported to lean. The lean was significant for the 1.9 m diesel fuel fire. In that case, only data from 1 m and 2 m above the pool are used. The average temperature between 10 min and 15 min is the basis of comparison.

6.4 Испытания Технического исследовательского института Швеции с температурой адиабатической поверхности

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 термодпар 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.





6.5 USN High Bay Hangar Experiments

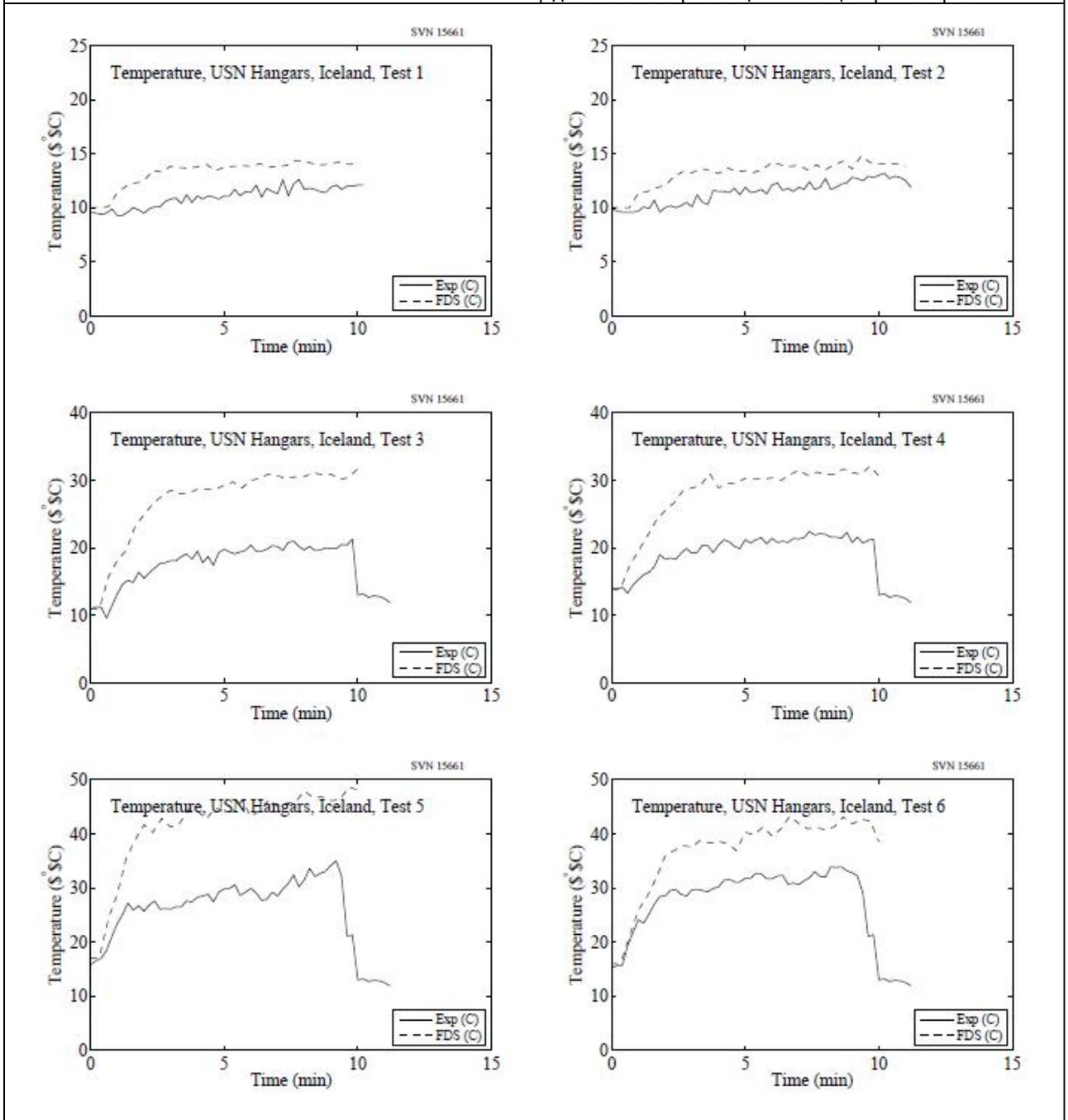
A large number of plume temperature measurements are available from the US Navy experiments conducted at Keflavik, Iceland, and Barber's Point, Hawaii. The hangars

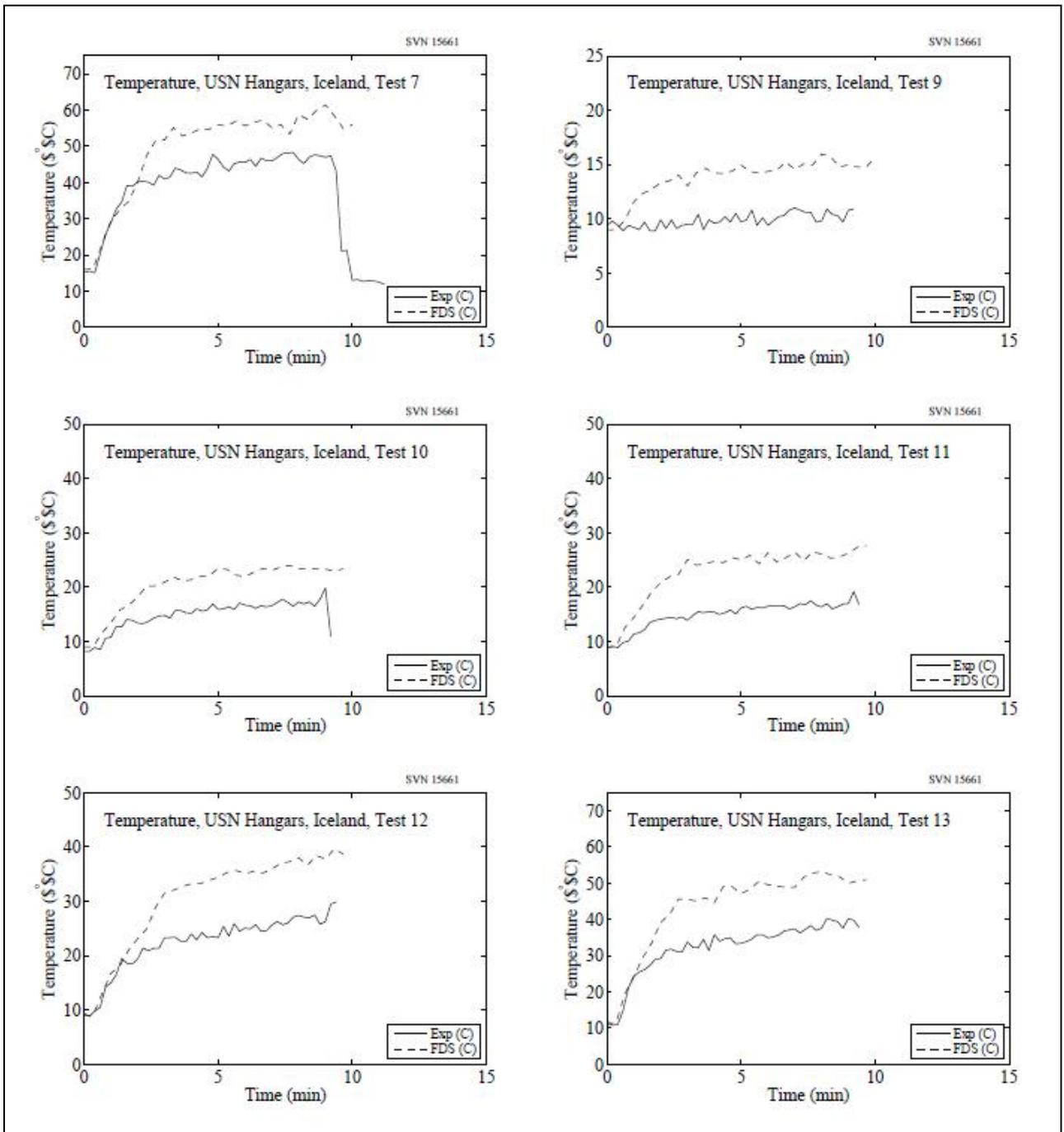
6.5 Испытания ВМС США в высоких ангарах

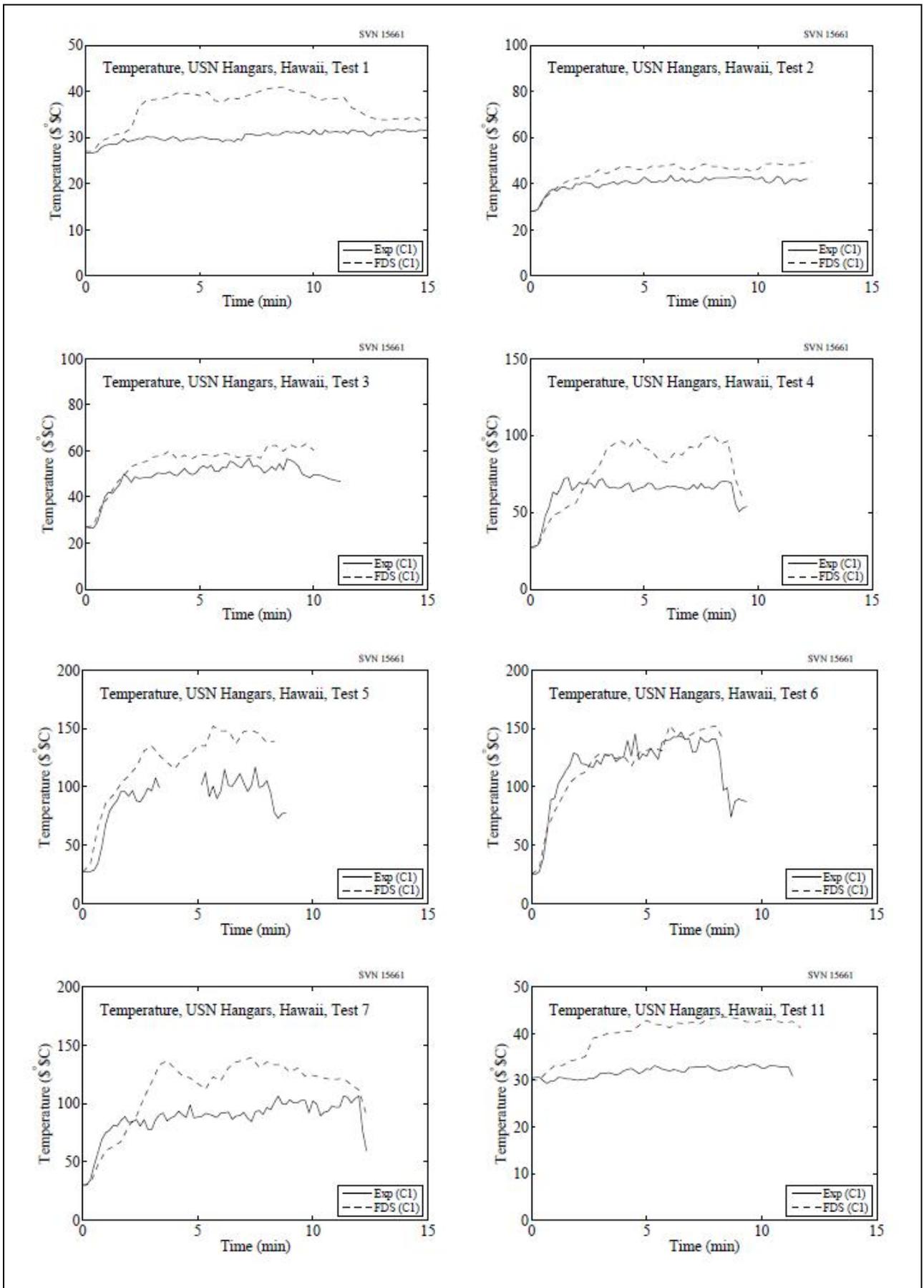
Большое количество измерений температуры струи пламени доступны из испытаний ВМС США, проведенных в Кефлавике, Исландия и Барберс

were very large in size (22 m high in Iceland and 15 m high in Hawaii) and the heat release rates varied from 100 kW to 33 MW. All experiments made use of a fuel pan filled with either JP-5 or JP-8 jet fuel, positioned in the center of the hangar.

Пойнт, Гавайи. Ангары были очень большого размера (22 м в высоту в Исландии и 15 м в высоту на Гавайях) и скорость выделения тепла 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.







6.6 VTT Large Hall

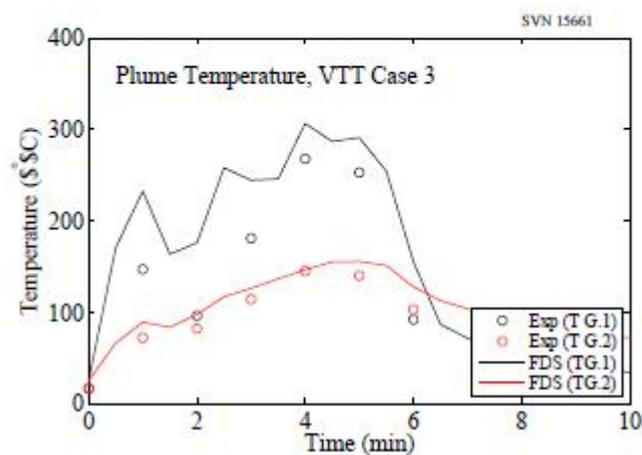
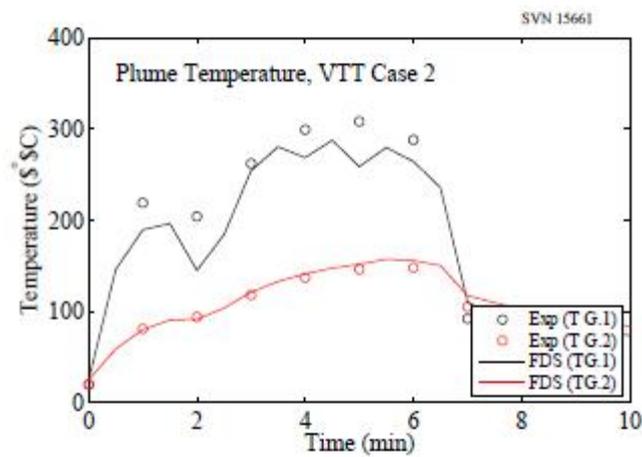
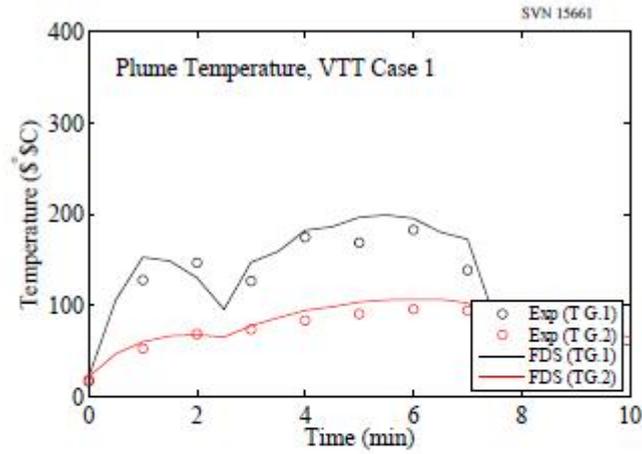
The VTT experiments consisted of liquid fuel pan fires positioned in the middle of a large fire test hall. Plume temperatures were measured at two heights above the

6.6 Испытания VTT в большом зале

Испытания VTT проводились с пожарами жидкого топлива в лотке, расположенном в центре большого зала для пожарных испытаний. Температуры струи

fire, 6 m (T G.1) and 12 m (T G.2). The flames were observed to extend to about 4 m above the fire pan.

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.



6.7 Summary of Plume Temperature Predictions

6.7 Обзор прогнозируемых температур струи