

странстве повышения температуры воздуха в этом же месте практически нет из-за того, что восходящий поток горячего воздуха и дыма находится в стороне от контролируемой точки.

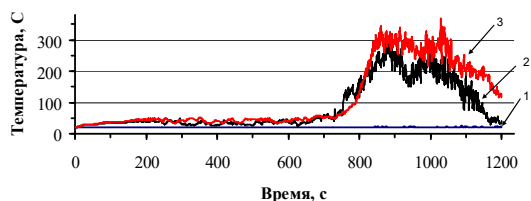


Рисунок 3 – Зависимости температуры воздуха на высоте 2.2 м в центре помещения от времени при пожаре в открытом пространстве (1), под навесом (2), в помещении с проемами на месте торцевых стен (3)

На рисунке 4 представлены зависимости тепловыделения от времени при пожарах в комнате с различными условиями естественной вентиляции: через отсутствующие две боковые стены, дальнюю от источника пожара торцевую стену, ближнюю торцевую стену, ближнюю торцевую стену и дверь в дальней торцевой стене, отсутствующие две торцевые стены.

Моделирование показало, что условия естественной вентиляции влияют на динамику тепловыделения при пожаре через формирование газодинамических потоков, обеспечивающих поступление свежего воздуха и удаление нагретого дыма и продуктов сгорания. Из рисунка 4 видно, что максимальные тепловыделения в рассмотренных случаях отличаются почти на порядок величины и достигаются в сильно отличающиеся моменты пожаров.

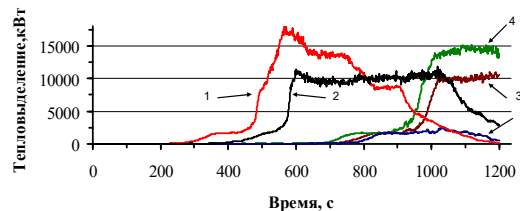


Рисунок 4 – Зависимости тепловыделения от времени при пожаре в помещении: с проемами на месте боковых стен (1), дальней торцевой стены (2), ближней торцевой стены (3), ближней торцевой стены и двери (4), торцевых стен (5)

Зависимости температуры воздуха на высоте 2.2 м в центре помещения от времени для этих пожаров представлены на рисунке 5.

УДК 628.74

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА В СМЕЖНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Кухарев И.А., Невдах В.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Компьютерное моделирование пожаров, позволяющее прогнозировать динамику их опасных факторов, находит все более широкое применение при проектировании систем противопожар-

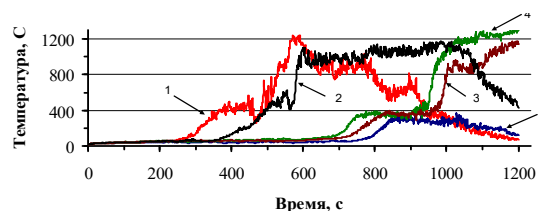


Рисунок 5 – Зависимости температуры воздуха на высоте 2.2 м в центре помещения от времени при пожаре в помещении: с проемами на месте боковых стен (1), дальней торцевой стены (2), ближней торцевой стены (3), ближней торцевой стены и двери (4), торцевых стен (5)

Достижение больших температур воздуха в случаях, показанных на рисунке 5, обусловлено распространением пламенного горения.

Выполненное моделирование пожаров позволило установить, что время достижения пожаром в помещении с естественной вентиляцией стадии, которую в литературе принято называть стадией полного охвата помещения пламенем, определяется интенсивностью возникающих при пожаре газодинамических процессов, которые, в свою очередь, определяются размерами и расположением открытых проемов.

Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что пожары в ограждениях с естественной вентиляцией с одним и тем же количеством и расположением горючих материалов могут сильно различаться по степени опасности, определяемой возникающими газодинамическими процессами.

### Литература

1. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. Third edition. Willey, 2011. – 551 p.
2. Karlsson B., Quintiere J.G. Enclosure fire dynamics. CRC Press LLC, 2000. 317 p.
3. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, V. 1: Mathematical model, NIST Sp. Publ. 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 94 p.
4. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide, NIST Special Publication 1019-5 / K. McGrattan [et al.]. Gaithersburg, MA, 2009. – 176 p.
5. Evaluating models for predicting full-scale fire behaviour of polyurethane foam using cone calorimeter data / J.U. Ezinwa [et al.] Fire Technology, 2014, V. 50. P. 693–719.

ной защиты объектов, для которых приоритетной задачей является безопасность людей. Для этого разработаны и используются различные модели пожаров – полевые, зонные, интегральные (см.,

например, [1, 2]). Полевая модель пожара является наиболее универсальной, так как не содержит никаких упрощающих предположений о структуре газодинамических потоков в расчетном пространстве, и поэтому применима для рассмотрения любых сценариев развития пожара на объектах практически любой геометрической формы. С помощью полевой модели пожара можно также определить возможность применения более простых зонных и полевых моделей к пожару, протекающему в конкретных условиях, среди которых наиболее часто встречаются случаи пожаров в смежных помещениях, т. е. в помещениях, соединенных открытыми проемами с помещением, в котором находится источник пожара.

Целью работы является исследование условий применимости зонных и интегральных моделей для моделирования пожаров в смежных помещениях на их начальном этапе до создания в помещениях условий, несовместимых с жизнью людей.

Для определения этих условий проводилось компьютерное моделирование динамики начальной стадии пожара с помощью полевой модели пожара, реализованной в программе FDS (Version 5) [2, 3]. С помощью графического интерфейса PyroSim в кубической сетке с ребром ячейки 0.1 м была создана расчетная модель помещений с общими размерами 8×5×3 м, включающая в себя два смежных помещения – две комнаты примерно одинаковой площади, соединенные открытым дверным проемом. В конструкции помещений использованы такие материалы как дерево, кирпич и бетон. В модели использовались справочные значения теплофизических параметров этих материалов.

Начальные условия моделирования: температура воздуха в комнате +20°C, давление воздуха 760 мм. рт. ст.

Моделировались первые 300 секунд стационарных по массовой скорости сгорания горючего материала пожаров с источником площадью 0.5 м<sup>2</sup> и мощностью 150 кВт, расположенного в правой комнате на полу и на высоте 1.35 м над уровнем пола.

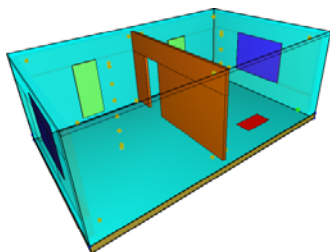


Рисунок 1 – Вид модели смежных помещений

Контроль температуры, затемнения и изменения давления воздуха осуществлялся соответствующими датчиками, расположенными на уровне 0,1 м от уровня пола и потолка, в каждом

углу и по центрам, а также в центрах комнат на высотах: 0.6, 1.1, 1.6, 2.1 м. В центре каждой комнаты на поверхности пола и потолка также были установлены датчики для контроля температуры этих поверхностей.

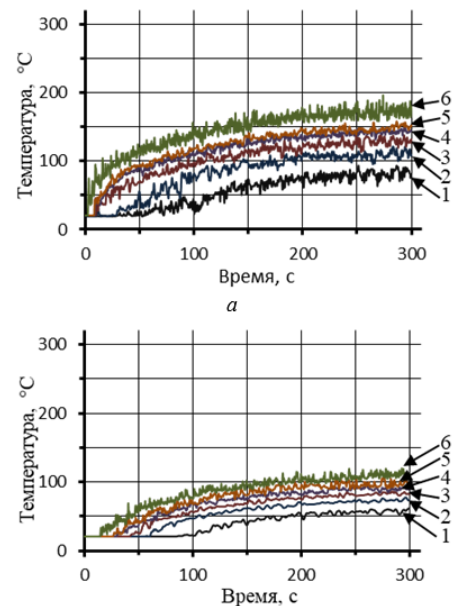


Рисунок 2 – Динамика вертикального распределения температуры воздуха в центре комнаты с источником пожара (а) и в смежной комнате (б) при пожаре с источником на полу: высота 0,1 (1), 0,6 (2), 1,1 (3), 1,6 (4), 2,1 (5) и 2,6 м (6) от уровня пола

В обоих случаях пожары были квазистационарными по тепловыделению.

Характер изменения пространственного распределения температуры воздуха по вертикали в центрах комнат с течением времени пожара показан на рисунках 2(а, б) и 3(а, б) для пожара с источником на полу и на высоте 1.35 м соответственно.

Из этих рисунков видно, что при обоих промоделированных пожарах температуры воздуха в центрах комнат на разных высотах возрастают с течением времени с насыщением, определяемым соотношением величин скоростей тепловыделения источника и тепловых потерь через стены и потолки помещений. Также видно, что в течение всех 300 с моделирования в комнате с источником пожара и в смежной комнате формируются и существуют вертикальные градиенты температуры воздуха. Так, из рисунка 2а видно, что температура воздуха в центре комнаты с источником пожара на высоте головы человека среднего роста (~ 1.6 м) в конце моделирования достигает 145 °С, что превышает критическую температуру для человека. При этом вертикальный градиент температуры в помещении составляет 100 °С. Из-за дополнительных потерь тепла температура воздуха в смежной комнате ниже, чем в комнате с источником и вертикальный градиент меньше, однако всё ещё достаточно большой.

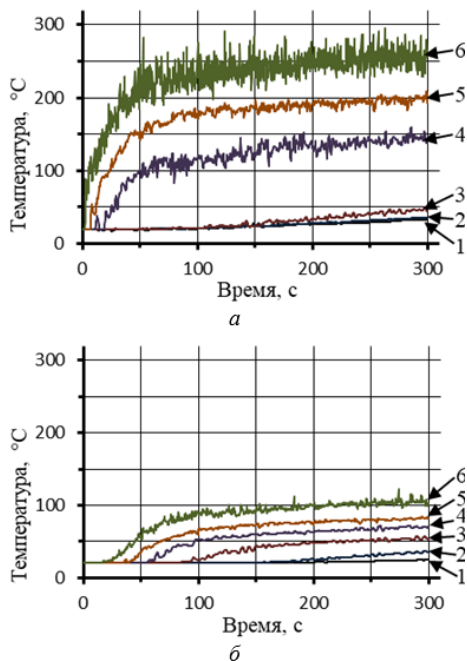


Рисунок 3 – Динамика вертикального распределения температуры воздуха в центре комнаты с источником пожара (а) и в смежной комнате (б) при пожаре с источником на высоте 1.35 м: высота 0,1 (1), 0,6 (2), 1,1 (3), 1,6 (4), 2,1 (5) и 2,6 м (6) от уровня пола

Из рисунков 2а, б и 3а, б видно, что при увеличении высоты расположения источника пожара до 1.35 м увеличиваются и абсолютные значения температур и их градиенты увеличиваются в обеих комнатах. Так, вертикальный градиент температуры в комнате с источником на конец моделирования достигает 230 °С, в смежной комнате – 75°С.

УДК 531.385

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА (ВТГ) С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Распопов В.Я.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Российская Федерация

Волновой твердотельный гироскоп является одним из наиболее перспективных приборов, предназначенных для определения угла и угловой скорости вращения объекта по соотношению: себестоимость изготовления/точность получаемой инерциальной информации [1, 2].

### 1. Конструкция ВТГ

В общем случае конструкция ВТГ включает в себя чувствительный элемент (резонатор), устройства возбуждения колебаний (актюаторы), устройства информации (датчики перемещений), сервисную электронику, а также корпусные, опорные и вспомогательные детали [патенты на изобретения RU 2182312, RU 2185601 и др.].

В актюаторах ВТГ могут использоваться следующие способы возбуждения колебаний: элек-

тродинамический, электромагнитный, индукционный, пьезоэлектрический и акустический. Выбор принципа возбуждения колебаний определяется, как правило, исходя из предполагаемых условий эксплуатации прибора и тактико-технических характеристик, предъявляемых к нему.

В датчиках перемещений могут применяться емкостный, пьезоэлектрический, индукционный, электромагнитный, на ПАВ принципы измерений [3, 4].

Достижение требуемых характеристик ВТГ обеспечивается, главным образом, качеством изготовления резонатора [5, 6].

### Литература

1. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. – Third edition. Willey, 2011. – 551 p.
2. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model, NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 94 p.
3. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide, NIST Special Publ. 1019-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 174 p.

тродинамический, электромагнитный, индукционный, пьезоэлектрический и акустический. Выбор принципа возбуждения колебаний определяется, как правило, исходя из предполагаемых условий эксплуатации прибора и тактико-технических характеристик, предъявляемых к нему.

В датчиках перемещений могут применяться емкостный, пьезоэлектрический, индукционный, электромагнитный, на ПАВ принципы измерений [3, 4].

Достижение требуемых характеристик ВТГ обеспечивается, главным образом, качеством изготовления резонатора [5, 6].

### 2. Резонатор

**2.1. Особенности конструкции.** Известны: полусферическая, тороидальная (полуасфериче-