

В процессе работы исследовались и измерялись электрические свойства тканей животного происхождения (мышечная ткань и ткань живого дождевого червя). Сопоставлен график дисперсии электропроводимости для биологических тканей различных типов представлены на рис.2.

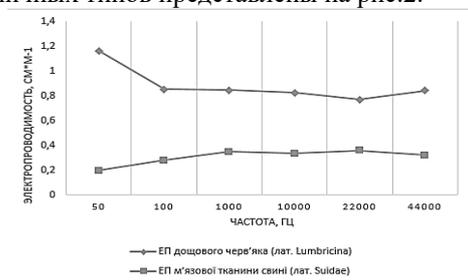


Рис.2 Дисперсия электропроводимости биологических тканей

Новыми результатами в данной работе - является установленные зависимости изменения значений электропроводимости БТ различных типов, от частоты тока, с использованием частотного диапазона 50-44000 Гц (в том числе, исследования с использованием частот терапевтических интенсивностей (22 и 44 кГц) в шести разноточечных удаленных частотных точках). В результате эксперимента установлено - максимальная электропроводимость для живой БТ достигается при частоте воздействия 50 Гц и составляет  $1,163 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ . Сравнительные результаты описаны в работах других авторов и полученные в данном исследовании для неживой БТ (мышечной ткани свиньи (лат. Suidae)), можно сделать вывод, что для частот в диапазоне от 1 до 44 кГц достигаются значения электропроводности, принадлежащие интервалу  $0,32-0,36 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Перспективным направлением для диагностики и медико-биологических исследований проницаемости биологической ткани является измерение зависимости глубины проникновения фармакологических препаратов (ФП) в биоткань от частоты и времени воздействия при импульсном электрофорезе. В основу исследований положена задача создания измерительной системы и алгоритма нахождения наиболее оптимальных параметров электрического сигнала, для обеспечения необходимой глубины и скорости проникновения ФП в БТ, а, следовательно, обеспечения

наибольшего лечебного эффекта. В процессе выполнения данного исследования проведен ряд экспериментов на БТ (жировой) с использованием различных ФП (например, растворы йода и бриллиантовой зелени  $\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$ ). На рис. 3 приведена диаграмма зависимости глубины проникновения бриллиантовой зелени ( $\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$ ) от частоты тока (время воздействия 60 с.)

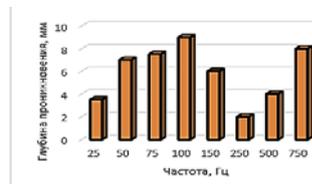


Рис. 3. Зависимость глубины проникновения бриллиантовой зелени от частоты тока

Из приведенной выше диаграммы, можно сделать вывод, что в электрически активном состоянии наибольшая глубина проникновения для раствора бриллиантовой зелени 1% ( $\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$ ) достигается в диапазонах 75-125 Гц (макс.9 мм) и 500-750 Гц (не более 8 мм) при времени воздействия 60 с.

Таким образом, данные исследования актуальны в современной приборной биоинженерии и использованы при разработке нового комбинированного физиотерапевтического излучателя [3].

1. Терещенко Н. Ф. Исследование электропроводимости биологических тканей / Н. Ф. Терещенко, В. В. Цапенко, Н.В. Чухраев // Вестник НТУУ «КПИ» серия Приборостроение - 2017- Вып. 53 (1) / 2017 - С.87-94, Украина, Киев.
2. Цапенко В. В., Исследование зависимости глубины проникновения препаратов в биологическую ткань от частоты и времени воздействия при импульсном электрофорезе / В.В. Цапенко, Н. Ф. Терещенко, Н. В. Чухраев. // Интернаука. – 2017. – №4 (26). – Т. 1. – С. 60–66, Украина, Киев Режим доступа: <http://www.inter-nauka.com/issues/2017/4/2345>.
3. Цапенко В.В. Комплексный излучатель ультратерапии/ В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко, Н.В. Чухраев //Приборостроение: Материалы 8-й международной научно-технической конференции, Минск, 25-27 ноября 2015 г.: в 2 т. / Белорусский национальный технический университет; ред. кол.: ОК Гусев [и др.]. – Минск, 2015. – Т.1. – С. 158–159.

УДК 628.74

### ГАЗОДИНАМИКА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Голубев А.А., Невдах В.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

При проектировании систем противопожарной автоматики для различных помещений обоснование выбора типа пожарных извещателей

и их расположения в настоящее время обычно осуществляется на основе компьютерного моделирования динамики начальной стадии пожаров.

При возникновении возгорания, из-за локального повышения температуры воздуха в помещении начинают протекать газодинамические процессы, приводящие к формированию пространственных распределений опасных факторов пожара (ОФП) [1]. Газодинамика в помещении на начальной стадии пожара сильно зависит от его мощности, геометрии помещения, высоты расположения источника возгорания, наличия вентиляционных отверстий, их размеров и расположения.

Целью настоящей работы являлось компьютерное моделирование поведения ОФП на их начальном этапе с источником на разной высоте в закрытой комнате и в комнате с естественной вентиляцией через отверстия, расположенные также на разной высоте. Моделирование пожара осуществлялось с помощью программы FDS, в которой реализована полевая модель пожара [2, 3].

При помощи графического интерфейса Pyrosim в прямоугольной расчётной сетке с кубическими ячейками размером 0.1x0.1x0.1 м была создана модель помещения - комнаты с размерами 5.0x3.0x2.7 м (см. рисунок (1)). Потолок и стены комнаты толщиной 0.3 м выполнены из материала с теплофизическими параметрами, соответствующих параметрам пеноблоков. Пол выполнен из материала со свойствами дерева. В комнате имеются два окна, дверь и мебель.

Моделировалась первые 300 секунд квазистационарного по массовой скорости горения пламенного пожара. Результаты моделирования отображались программой визуализации Smokeview и представлялись в виде таблиц с численными значениями контролируемых параметров пожара – полного тепловыделения, температуры и изменения давления воздуха на разных высотах в центре комнаты. Примеры картин пожаров на 195-й секунде в закрытой комнате с источником мощностью 90 кВт, расположенным на полу и на высоте 2.2 м, показаны на рисунках 2(а, б) соответственно. Динамика тепловыделения этих пожаров представлена на рисунке 3. Из этого рисунка видно, что пожар с источником на полу в течение всего времени моделирования является квазистационарным по тепловыделению. Наблюдающиеся небольшие колебания тепловыделения обусловлены неустойчивостью факела пламени над источником пожара. Газодинамика в комнате спокойная. Температура воздуха в центре комнаты нарастает с уменьшающейся скоростью и формируется практически постоянный вертикальный градиент температуры (рисунок 4 а).

Пожар с источником на высоте 2.2 м является квазистационарным по тепловыделению до ~ 120 с. Пламенное горение в этот период времени происходит только над источником. В комнате формируется припотолочный слой дыма, температура которого заметно превышает температуру нижележащих слоев (рисунок 4 б) и выше, чем в случае

пожара с источником на полу. После этого момента начинается пожар с нестационарным тепловыделением - интенсивность пламенного горения в области источника уменьшается, но создаются условия для самовоспламенения в слое дыма, которое может возникать в его разных местах и усилить газодинамические явления в комнате. При этом полное тепловыделение источника и областей самовоспламенения может как значительно превышать квазистационарный уровень, так и быть значительно меньше (см. рисунок 2), а температура воздуха в верхней зоне комнаты при этом испытывает заметные колебания (рисунок 4 б).

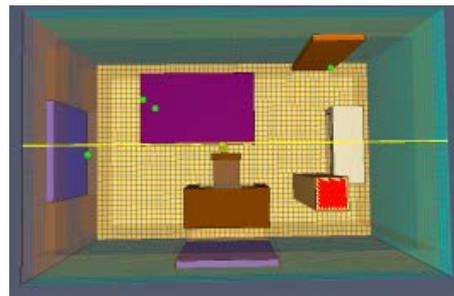


Рисунок 1 – Модель комнаты



а



б

Рисунок 2 – Вид комнаты на 195-й секунде пожара с источником мощностью 90 кВт на полу (а) и высоте 2.2 м (б)

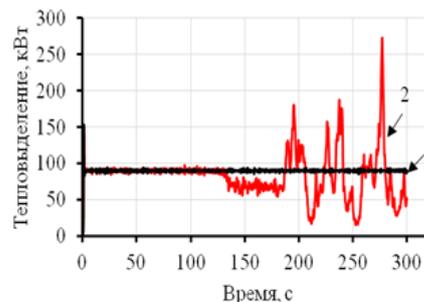


Рисунок 3 – Зависимости тепловыделения от времени при пожаре мощностью 90 кВт в закрытой комнате с источником на полу (1), на высоте 2.2 м (2)

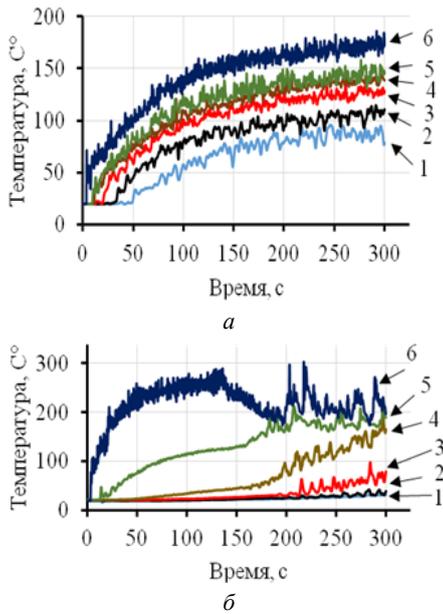


Рисунок 4 – Зависимости температуры воздуха от времени в центре закрытой комнаты на высоте 0.1 м (1), 0,5 м (2), 1,0 м (3), 1,5 м (4), 2,0 м (5), 2,6 м (6) при пожаре с источником на полу (а) и высоте 2,2 м (б)

Динамика изменения давления воздуха в центре комнаты при пожаре с источником на полу и на высоте 2.2 м представлена на рисунке 5. Различие в изменениях давлений для двух пожаров объясняется тем, что при расположении источника на высоте нагревается меньший слой воздуха. Его расширение приводит к меньшему изменению давления воздуха в комнате.

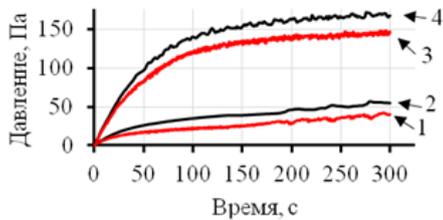


Рисунок 5 – Зависимости изменения давления воздуха в центре закрытой комнаты от времени на высоте 0.1 м (2, 4) и 2.6 м (1, 3) при пожаре с источником на полу (3, 4) и на высоте 2.2 м (1, 2)

Различие давлений воздуха под потолком и у пола - газодинамический эффект, обусловленный работой источника пожара. Пока работает источник пожара в закрытой комнате, нагреваемый в области пламенного горения воздух выталкивается вверх, создавая избыточное давление, причем над полом оно всегда меньше, чем под потолком.

Газодинамика в комнате принципиально меняется, если пожар в комнате происходит при наличии естественной вентиляции. Было проведено моделирование пожаров мощностью также 90 кВт с источником на высоте 2,2 м и с вентиляционным отверстием размерами 0,9х0,3 м от уровня пола под дверью и над дверью под потолком, результаты которого представлены на рисунках 6–8.

Из сравнения рисунков 6 и 3 видно, что динамика тепловыделения при пожаре в комнате с вентиляцией у пола качественно такая же, как и в случае соответствующего пожара в закрытой комнате. Динамики пространственного распределения температуры воздуха таких пожаров также подобны, особенно на участках квазистационарного тепловыделения (см. рисунки 7 а и 4 б). Из сравнения этих рисунков также видно, что на участках пожаров с нестационарным тепловыделением, вертикальный градиент и пространственная неоднородность распределения температуры воздуха при пожаре в закрытой комнате выше, чем при пожаре в комнате с вентиляцией.

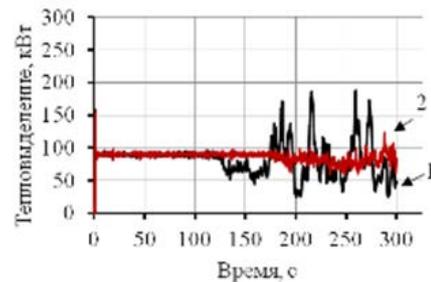


Рисунок 6 – Зависимости тепловыделения от времени при пожаре с источником мощностью 90 кВт на высоте 2,2 м с вентиляционным отверстием от уровня пола (1) и потолка (2)

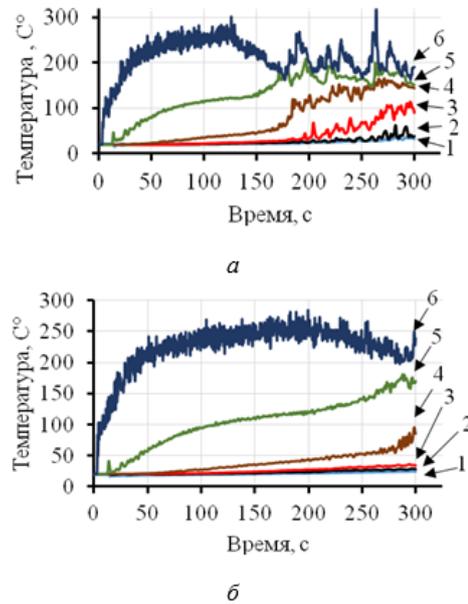


Рисунок 7 – Зависимости температуры воздуха в центре комнаты с вентиляционным отверстием от уровня пола (а), потолка (б) от времени на высоте 0,1 м (1), 0,5 м (2), 1,0 м (3), 1,5 м (4), 2,0 м (5), 2,6 м (6) при пожаре с источником на высоте 2.2 м

Пожар в комнате с источником на высоте 2.2 м и с вентиляционным отверстием под потолком по тепловыделению подобен пожару с источником на полу в закрытой комнате. В то же время динамики пространственного распределения температур существенно различны (см. рисунки 7, б и 4, а).

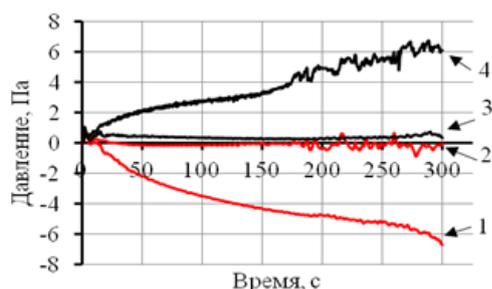


Рисунок 8 – Зависимости изменения давления воздуха в центре комнаты от времени на высоте 0,1 (1, 3) и 2,6 м (2, 4) с вентиляционным отверстием от уровня пола (1, 2), потолка (3, 4)

Отмеченные подобия характеристик пожаров в закрытой комнате и в комнате с естественной вентиляцией обусловлены действием эффекта дымовой трубы, возникающего при пожаре в комнате с вентиляцией. Благодаря этому эффекту, в верхней зоне комнаты формируется область повышенного давления воздуха, из которой нагретый дым выталкивается через верхнюю часть вентиляционного отверстия, а в нижней зоне комнаты образуется область пониженного давления, в которую через

нижнюю часть отверстия поступает свежий воздух (рисунок 8). Положение нейтральной поверхности, разделяющей две этих зоны, зависит от высоты расположения вентиляционного отверстия и мощности источника пожара.

Таким образом, проведенное моделирование показало, что увеличение высоты расположения источника пожара в помещении и появление в нём естественной вентиляции обуславливают появления нестационарных по тепловыделению участков на начальном этапе стационарного по массовой скорости сгорания топлива пожара, а также формируют газодинамические процессы, приводящие к неоднородным вертикальным пространственным распределениям температур и изменения давления воздуха в комнате.

1. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. – Third edition. Wiley, 2011. - 551p.
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 Publication 1019-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 176 p.

УДК 628.74

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ ПРИ ПОЖАРАХ В ПОМЕЩЕНИИ

Герасимович В.А., Невдах В.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В последнее время тенденция развития методов и приборов противопожарной защиты объектов разного назначения в наиболее развитых странах заключается в возрастании роли компьютерного моделирования пожаров на таких объектах для прогнозирования динамики опасных факторов пожара (ОФП). Это позволяет использовать гибкое или объектно-ориентированное нормирование в области пожарной безопасности для обеспечения пожарной безопасности объектов с учетом их индивидуальных особенностей. К настоящему времени разработаны и используются различные модели пожаров - зонные, интегральные, полевые, среди которых наиболее универсальными являются полевые (дифференциальные) модели пожара [1]. В полевых моделях задается расчетная область трехмерного пространства, в которой будет протекать моделируемый пожар и в которой требуется знание полей ОФП. Эта область делится на большое количество контрольных объемов – ячеек расчетной сетки. Каждая ячейка рассматривается как точка пространства, в которой численными методами решается система уравнений в частных производных, выражающих законы сохранения массы, импульса и энергии компонентов горючей смеси,

а также описывающих появление и перенос теплового излучения. Полевой метод не содержит никаких упрощающих предположений о структуре газодинамических потоков в расчетном пространстве, и поэтому принципиально применим для рассмотрения любого сценарий развития пожара на объекте практически любой геометрической формы.

В настоящей работе представлены результаты компьютерного моделирования режимов горения при пожарах в помещении с помощью программы FDS (Fire Dynamics Simulator), в которой реализована полевая модель пожара [2, 3].

В редакторе-интерфейсе PyroSim была создана модель помещения – комнаты с размерами 4,2х3,3х2,7 м в прямоугольной расчетной сетке с кубическими ячейками размером 0,1х0,1х0,1 м (см. рисунок 1). Моделировались начальные этапы (первые 300 секунд) стационарных по массовой скорости сгорания топлива пожаров (см. рисунок 2) с источником, расположенным на разной высоте, в закрытой комнате и в комнате с естественной вентиляцией через открытую вертикальную фрамугу окна с размерами 0,3х1 м. В качестве источника пожара использовалась поверхность с размерами 0,5х0,5 м и тепловыделением 150 кВт.