

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ PHOENICS. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕРХОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СТРОЕНИЯ

*Э.Е. Сопруненко, В.А. Перминов, д. ф.-м. н., проф.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. 8 983 230 16 77*

*E-mail: perminov@tpu.ru, soprunenکو.elina@yandex.ru*

Лесные пожары являются основной причиной повреждения и гибели лесов на значительных площадях. Ежегодно в России происходит более 18 тыс. лесных пожаров [1]. В настоящее время в изучении лесных пожаров все большую значимость и большие перспективы приобретают методы математического моделирования данного явления.

Целью данной статьи является исследование воздействия лесного пожара на строение с помощью программно-вычислительного комплекса PHOENICS [2].

Первой задачей данной работы является изучение физико-математической модели расчета лежащей в основе программно-вычислительного комплекса PHOENICS.

Вторая задача – это построение модели воздействия лесного пожара на строение, и определение критических безопасных расстояний между очагом пожара и зданием при различных скоростях ветра.

Программное обеспечение PHOENICS – многофункциональное ПО, позволяющее прогнозировать и формализовать описание чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Программа позволяет решать одномерные, двумерные и трёхмерные задачи с учетом тепло- и массопереноса и химических реакций [2]. PHOENICS инструмент, который моделирует процессы, включающие поток жидкости, теплопередачу или перемещение массы, химические реакции и реакции горения в технологическом оборудовании и окружающей среде.

В основе программно-вычислительного комплекса PHOENICS лежит численная аппроксимация дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных, выражающих законы сохранения массы смеси и составляющих ее компонентов, импульса, энергии, характеристик турбулентности. Для перехода к расчету геометрическое и временное пространство разбивается на конечное число объемов, путем создания сетки в декартовой, цилиндрической или криволинейной системе координат. PHOENICS автоматически переводит систему дифференциальных уравнений в консервативную систему алгебраических, в соответствии с выбранной сеткой (аппроксимация дифференциальных уравнений). «Консервативность» системы алгебраических уравнений означает, что при ее получении соблюдается физический смысл исходных дифференциальных уравнений [3].

Дифференциальные уравнения, описывающие процессы тепло- и массообмена и гидродинамики подчиняются обобщенному закону сохранения. Если обозначить любую искомую функцию  $\Phi$ , то обобщенное дифференциальное уравнение принимает следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S_\Phi; \quad (1)$$

где  $t, x_i$  – временная и пространственные координаты,  $\rho$  – плотность,  $v_i$  – компоненты вектора скорости,  $\Gamma_\Phi$  – коэффициент переноса (например,  $\Gamma_\Phi$  – коэффициент турбулентной вязкости, теплопроводности, диффузии и т.д.),  $S_\Phi$  – источниковый член. В частности в  $S_\Phi$  может входить приток (сток) тепла за счет химических реакций в уравнении энергии или увеличение (уменьшение) концентраций компонент в результате химических реакций в уравнении диффузии. Конкретный вид  $\Gamma_\Phi$  и  $S_\Phi$  зависит от смысла переменной  $\Phi$  (в действительности следовало бы использовать обозначения  $\Gamma_\Phi$  и  $S_\Phi$ , но это привело бы к слишком большому количеству нижних индексов в дальнейших выкладках и поэтому эти индексы будут опускаться). В уравнении (1) также подразумевается суммирование по индексу  $i$ . При решении трехмерных задач  $i = 1, 2, 3$ .

Построение дискретного аналога для уравнения вида (1) проводится на основе метода контрольного объема.

Основная идея метода поддается прямой физической интерпретации. Расчетная область разбивается на некоторое число непересекающихся контрольных объемов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. В одномерном случае это отрезок, двумерном – прямоугольник, трехмерном – параллелепипед. Дифференциальные уравнения интегрируются

по каждому контрольному объему. Для вычисления интегралов используются кусочные профили, которые описывают изменение функции  $\Phi$  между узловыми точками. В качестве кусочных профилей могут быть использованы различные функции (прямые, параболы, полиномы различных степеней, экспоненты и т.д.). Однако практика показывает, что наиболее оптимальным с точки зрения точности и экономичности при численной реализации являются полиномиальные профили. Полученный таким образом дискретный аналог выражает закон сохранения для параметра состояния  $\Phi$  для конечного каждого контрольного объема. Так же, как дифференциальное уравнение выражает закон сохранения для бесконечно малого контрольного объема. Важнейшее свойство метода контрольного объема состоит в том, что при его использовании точно выполняются интегральные законы сохранения таких величин как масса, количество движения, энергия и т.д. в каждом контрольном объеме и для любой группы контрольных объемов и, следовательно, на всей расчетной области. Таким образом, даже решение с использованием малого количества контрольных объемов удовлетворяет точным интегральным балансам во всей области, то есть дискретный аналог (разностная схема) Патанкара - Сполдинга является консервативным. Способ разбиения расчетной области для трехмерного случая на контрольные объемы и типичный контрольный объем приведены на рис.1 [4].

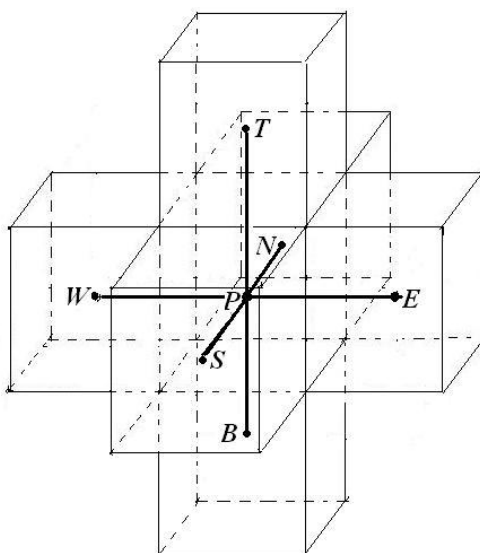


Рис. 1. Типичный контрольный объем для трехмерной области

#### *Физическая постановка задачи*

Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. Как правило, возгорание в лесах происходит в нижнем ярусе леса в напочвенном покрове (опавшая хвоя, мхи, лишайники, отмершая трава и т.д.), а затем огнем охватывается полог леса, то есть образование верхового лесного пожара происходит в результате перехода низового лесного пожара в верховой [4].

Экспериментальные методы изучения лесных пожаров являются дорогостоящими и не позволяют проводить полное физическое моделирование данного явления. В этих условиях представляют интерес теоретические методы исследования. Так метод математического моделирования позволяет адекватно описывать состояние лесного массива и приземного слоя атмосферы при лесных пожарах. Например, на основе численного анализа можно исследовать процесс возникновения и распространения верхового лесного пожара [4].

В данной статье приводятся результаты расчетов возникновения верхового лесного пожара в постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров [5]. Предполагается, что очаг низового пожара имеет конечные размеры и над пологом леса задана скорость ветра. Ось  $0x_3$  направлена вверх, а оси  $0x_1$  и  $0x_2$  – параллельно поверхности земли (ось  $0x_1$  совпадает с направлением ветра). Схема данного процесса представлена на рис. 2:

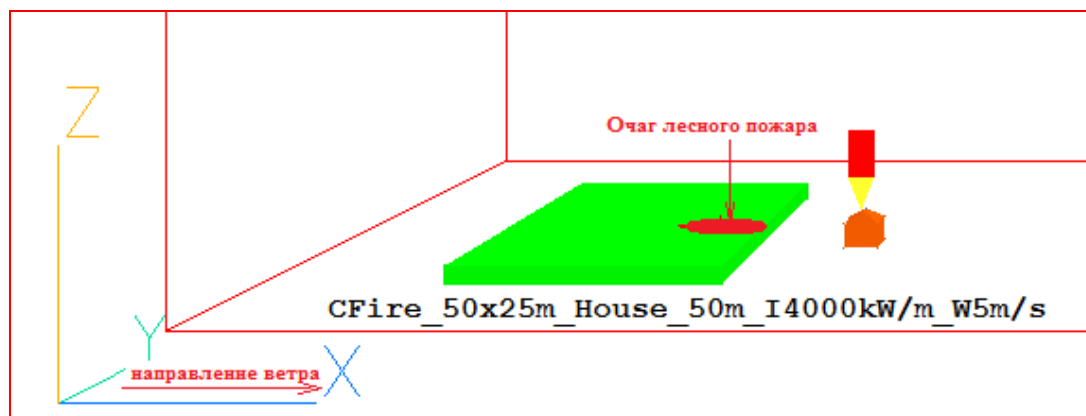


Рис. 2. Схема очага лесного пожара

Предполагается, что: 1) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным, 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука, 3) среда находится в локально-термодинамическом равновесии, 4) известна скорость ветра над пологом леса в невозмущенных условиях, 5) газодисперсная смесь бинарная и состоит из частиц конденсированной фазы, а также газовой фазы – компонентов кислорода, газообразных горючих и инертных компонентов.

В рассматриваемой расчётной области с размерами  $1000 \times 1000 \times 500$  м задавался лесной пожар размером  $50 \times 25$  м и деревянное строение на различных расстояниях от очага.

Получив кривые распределения температур и скорости на поверхности здания, была построена зависимость температуры на стенках здания размерами  $20 \times 50 \times 20$  метров для скоростей ветра от 5 до 10 м/с. График зависимости температуры представлена на рис. 3:

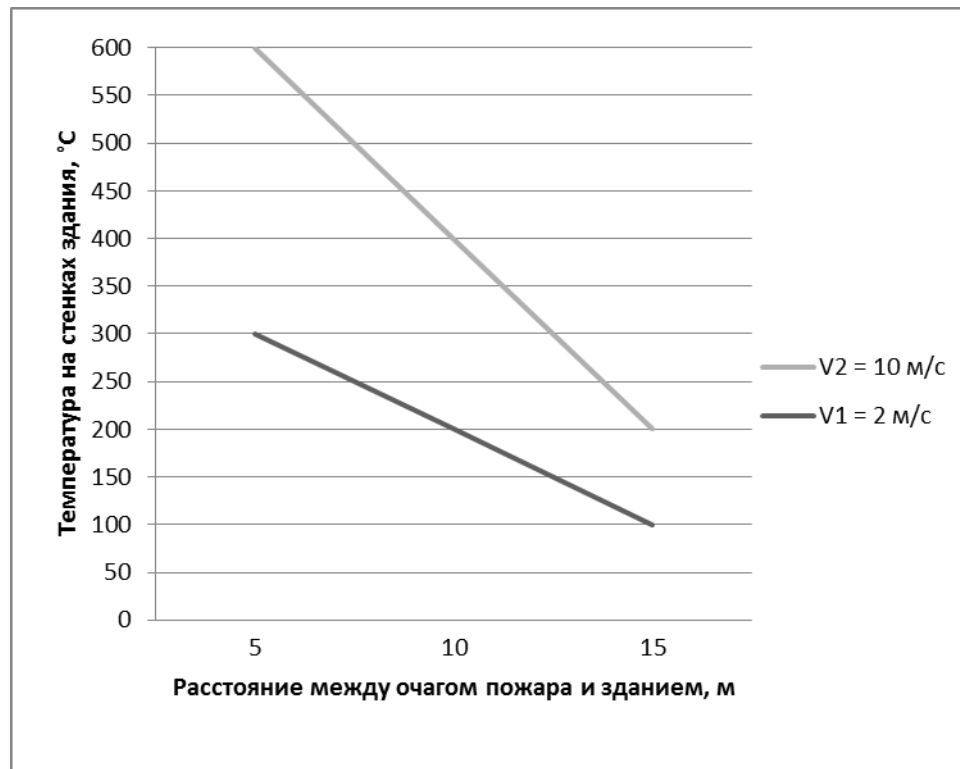


Рис. 3. Зависимость температуры на стенках деревянного строения для различных скоростях ветра (линии 1 и 2 соответственно при скоростях 2 и 10 м/с) на расстоянии 10 м от очага пожара

Таким образом, анализируя процесс выполнения первой задачи можно сделать вывод, что для получения консервативной системы уравнений в программно-вычислительном комплексе PHOENICS используется удобный в понимании не только математического смысла модели, но и ее физического смысла, метод «контрольного объема», суть которого заключается в разбиении геометрического (и временного) пространств на конечное число объемов и для каждого из них необходимо составление баланса величин (энергии, импульса, массы). В итоге, для решения нам необходимо получить разницу величин (энергии, импульса, массы) поступивших и покинувших данный объем за какой-то промежуток времени.

В ходе выполнения второй задачи исследовалось воздействие лесного пожара на деревянное строение, и определялись критические безопасные расстояния между очагом пожара и зданием при различных скоростях ветра. В результате решения была построена зависимость температуры на стенках деревянного здания размерами 20x50x20 метров для скоростей ветра от 2 до 10 м/с.

Полученные результаты расчетов могут позволить оценить безопасные критические расстояния для построек, находящихся вблизи лесных массивов. Данная математическая модель может быть использована для разработки своевременных профилактических мероприятий по обеспечению безопасности в условиях лесных пожаров. Также полученные результаты моделирования могут быть применены в проведении актуализации существующих нормативов безопасных расстояний при лесных пожарах для зданий и сооружений.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть продолжены с использованием большего числа определяющих факторов и с перспективой усовершенствования и дополнения существующей модели.

Литература.

1. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] / URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (дата обращения: 1.09.2014);
2. CHAM PHOENICS Your Gateway to CFD Success [Электронный ресурс]/URL: <http://www.cham.co.uk/products.php> (дата обращения: 30.06.14).
3. ЗАО «Союзтеплострой инжиниринг» [Электронный ресурс]/URL: [http://www.stsing.ru/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=77&Itemid=103](http://www.stsing.ru/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=77&Itemid=103) (дата обращения: 26.07.14).
4. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров [Текст] : дис. ... док. физ.-мат. наук : 01.02.05 : утв. 27.08.10 / В. А. Перминов. – 2010. – 283 с.
5. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008 – 404 с
6. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с

### **СУММАРНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. БЕЛОЙ)**

*Д.С. Теплова, маг.1 ГО*

*Башкирский государственный университет, г.Уфа*

*450074, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32, тел. 89093500452*

*E-mail: d.teplova@yandex.ru*

Экологическая тематика в научной и общественной сфере в данный момент наиболее актуальна, т. к. последствия влияния антропогенного воздействия на природную среду и ее компоненты проявляются и все чаще оказывают прямое воздействие на здоровье, социальное благополучие человека. В связи с этим необходимость мониторинга и оценки экологических ситуаций не только сельских, но малонаселенных территорий, очевидна. В некоторых случаях оценивание ситуаций несет определенные сложности в связи с тем, что загрязнение или нагрузка вызывают изменение не только компонента, испытывающего данное воздействие, но и всего ландшафта. Поэтому комплексная оценка наиболее приемлема в данных случаях.

Для избегания субъективности оценки экологических ситуаций используют ряд показателей. Наряду с самими количественными покомпонентными исследованиями, выполнение комплексных оценок включает процедуру интеграции данных. [3] Процесс сводится к определению суммарных показателей загрязненности воздуха, воды, почв и их обобщению на основе характеристик значимости каждого из геокомпонентов в суммарные показатели состояния среды в целом. Выполнение ко-