

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭВМ

# **СЕТЕВЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

СБОРНИК ТРУДОВ  
III Международной научной конференции  
17–19 октября 2007 г., Минск

Минск  
«Издательский центр БГУ»  
2007

УДК 004(063)  
ББК 32.81я43+32.973я43  
С33

**Редакционная коллегия:**

доктор технических наук, профессор М. К. Буза (отв. ред.);  
доктор технических наук, профессор В. С. Жданов;  
доктор технических наук, профессор А. Н. Курбацкий;  
доктор-инженер, профессор Jan Leszczynski;  
доктор технических наук, профессор И. В. Максимей;  
кандидат технических наук, доцент Л. Ф. Зимянин (отв. секретарь)

С33 **Сетевые компьютерные технологии** : сб. тр. III Междунар. науч. конф.,  
17–19 окт. 2007 г., Минск / редкол. : М. К. Буза (отв. ред.), А. Н. Курбацкий  
[и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2007. – 226 с.  
ISBN 978-985-476-541-9.

В сборник включены материалы по следующим научным направлениям: компьютерные сети и системы телекоммуникаций, параллельная и распределенная обработка данных, технологии проектирования программных систем, компьютерные технологии в образовании, защита информации в компьютерных сетях. В материалах рассматриваются современные научные и практические проблемы в указанных сферах.

Предназначен для специалистов в области информатики и ее приложений в технике, образовании, бизнесе и смежных областях.

УДК 004(063)  
ББК 32.81я43+32.973я43

ISBN 978-985-476-541-9

© БГУ, 2007

## О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЖАРОВ В КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЕ РАСЧЕТОВ, ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ (Часть 1)

Д.В. Баровик, В.И. Корзюк, В.Б. Таранчук  
Беларусь, г. Минск

Приведены рассматриваемая математическая модель и некоторые алгоритмические особенности ее реализации в среде системы Mathematica. Обсуждаются состав и требования к сервису программного комплекса для моделирования лесных пожаров и визуализации результатов.

Основные понятия теории лесных пожаров. Лесным пожаром называется явление неуправляемого многостадийного горения в открытом пространстве на покрытой лесом площади, когда имеют место взаимосвязанные процессы конвективного и радиационного переноса энергии, нагревания, сушки и пиролиза лесных горючих материалов (ЛГМ), а также горение газообразных и догорание конденсированных продуктов пиролиза ЛГМ. Лесные пожары распространяются в результате горения лесных горючих материалов, к которым относятся природные углеводородные топлива, в частности: веточки, хвоинки, листья в кронах деревьев и опавшие на землю, а также напочвенный покров (трава, кустарники, мох, лишайник), болотные растения и торф. В результате горения лесных горючих материалов образуются конечные продукты горения – зола и недожог (совокупность недогоревших лесных горючих материалов, которые обогащены углеродом). Над очагом лесного пожара возникает конвективная колонка – струя нагретых продуктов сгорания ЛГМ (частицы сажи и золы в виде дыма).

При математическом моделировании пожаров на территории, покрытой лесом, обычно принимают во внимание достаточно большой контрольный объем среды – зону пожара, внутри которой параметры состояния среды в результате обусловленных пожаром физико-химических превращений отличаются от невозмущенных значений, определяемых погодными условиями и типом растительности. Наиболее сильное изменение параметров состояния среды происходит в части зоны, называемой фронтом пожара. Поверхность, отделяющая фронт от несгоревших ЛГМ, называется внешней кромкой фронта лесного пожара. Ее проекция на подстилающую поверхность называется контуром лесного пожара. Внешняя кромка, распространяющаяся по ветру, называется передней, а против ветра – задней кромкой фронта лесного пожара.

Изменения химического состава и агрегатного состояния в зоне лесного пожара. При лесных пожарах имеет место эффект задымленности территорий, возможно образование облаков над зоной пожара в результате конденсации водяного пара, образующегося при сгорании ЛГМ. Физико-химические процессы в зоне лесного пожара и тепло- и массообмен в приземном слое атмосферы включают (см., например [1, 2]) прогрев, сушку, пиролиз ЛГМ, сгорание продуктов пиролиза; подъем продуктов горения с возможными конденсацией и выпадением осадков, а, с другой стороны, с возможными коагуляцией, седиментацией частиц.

При математическом описании ([1]) будем считать, что лес в процессе пожара представляет собой многофазную многоярусную пористо-дисперсную пространственно-неоднородную среду, которая состоит из: сухого органического вещества (объемная доля  $\phi_1$ ), воды в жидко-капельном состоянии ( $\phi_2$ ), связанной с этим веществом конденсированного продукта пиролиза (коксика,  $\phi_3$ ), конденсированного продукта горения коксика (пепла,  $\phi_4$ ), газовой фазы ( $\phi_5$ ), дисперсных частиц сажи ( $\phi_6$ ), золы ( $\phi_7$ ), капель воды ( $\phi_8$ ) над очагом лесного пожара. Примем, что элементы ЛГМ (тонкие веточки, хвоинки, листья) имеют одну температуру, а газовая и дисперсная фазы – другую; под влиянием ветра элементы среды колеблются, а эффект колебаний этих элементов (аэроупругость среды) сказывается только на значениях силы сопротивления и коэффициентов тепло- и массообмена элементов ЛГМ с газовой фазой, т.е. среда считается квазитвердой (почти недеформирующейся при порывах ветра). Тепловая энергия, выделившаяся во фронте пожара в результате свободной и вынужденной конвекции и излучения, передается ЛГМ, которые нагреваются, высушиваются и затем разлагаются на газообразные горючие и инертные продукты пиролиза и конденсированный горючий продукт пиролиза (коксик), после чего газообразные и конденсированные продукты сгорают, и процесс повторяется сначала. Над фронтом пожара имеет место конвективная колонка, которая возникает в результате свободной конвекции и содержит большое количество паров воды. Последние могут конденсироваться с образованием капель воды в верхних, относительно более холодных слоях атмосферы над зоной пожара.

Двухфазная двухтемпературная модель лесных пожаров. Для упрощения полной системы уравнений тепло- и массопереноса в зоне лесного пожара ([1]) ниже рассматривается двухфазная модель пожаров в одном ярусе леса ([2]), на основе которой при необходимости можно составить многоярусную модель, записав систему уравнений для каждого яруса леса с заданием коэффициентов и начальных значений параметров, а также, определив члены, описывающие обмен веществом, импульсом и энергией между ярусами. В рассматриваемой ниже модели лес представляется как однослойная двухфазная среда, состоящая из воздуха и газообразных продуктов пиролиза и горения (газовая фаза) и из лесных горючих материалов и твердых пиролиза и горения ЛГМ (твердая фаза). В физико-математической модели двухфазной гетерогенной смеси имеем двухкомпонентный континуум с движением фаз и с межфазным обменом массой, импульсом и энергией ([3]); газовая фаза является многокомпонентной средой, состоящей из горючих газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др.), негорючих газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и др.), дисперсной сажи и окислителя ( $\text{O}_2$ ). Считается, что частицы дисперсной сажи движутся вместе с газовой фазой, при сгорании сажи процесс теплообмена проходит быстро и можно рассматривать температуру газовой фазы. Твердая фаза также является многокомпонентной состоящей из ЛГМ, продукта пиролиза ЛГМ - коксика и золы.

Система уравнений двумерной двухфазной модели для яруса ([2]), полученная интегрированием по высоте слоя ЛГМ исходной трехмерной системы осредненных по Рейнольдсу уравнений газовой динамики при сформулированных упрощениях, может быть записана в виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = Q - J_p, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u^2 + \varphi p)}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} = 2\rho \omega_x v - \rho c_{su} |V| + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + p \frac{\partial \varphi}{\partial x} - J_u, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v^2 + \varphi p)}{\partial y} = -2\rho \omega_x u - \rho c_{sv} |V| + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + p \frac{\partial \varphi}{\partial y} - J_v, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u E + \varphi p u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v E + \varphi p v)}{\partial y} = -J_E + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + p \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{\rho_j} + \alpha(T_1 - T) + \kappa \sigma(T_1^4 - T^4) + Q_T - 2\sigma T^4, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho C}{\partial t} + \frac{\partial \rho u C}{\partial x} + \frac{\partial \rho v C}{\partial y} = R_C - J_C + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D_C \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho D_C \frac{\partial C}{\partial y} \right), \quad (5)$$

$$p = \frac{\rho R T}{\varphi} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i}, \quad R = (\gamma - 1)c_v, \quad K_x = c_v(k_T + k) + \frac{16\sigma l_s T^3}{3}, \quad (6)$$

$$\rho_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial t} = R_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^m \rho_j \varphi_j c_{vj} \frac{\partial T_1}{\partial t} = -p \sum_{j=1}^m \frac{R_j}{\rho_j} - \alpha(T_1 - T) - \kappa \sigma(T_1^4 - T^4) + Q_T, \quad (8)$$

$$\varphi + \sum_{j=1}^m \varphi_j = 1, \quad \sum_{i=1}^n C_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n R_i = Q, \quad \sum_{j=1}^m R_j = -Q, \quad (9)$$

Уравнения (1 - 6) описывают изменения газовой фазы, (7 - 8) - твердой, (9) - нормировочные и балансные соотношения. Приняты обозначения:  $t$  - время;  $x, y$  - декартовы координаты;  $\rho, p, T, E, V$  - парциальная плотность, давление, температура, полная энергия и скорость газовой фазы;  $\varphi$  - объемная доля газовой фазы;  $Q$  - скорость поступления вещества в газовую среду за счет процессов в твердой фазе;  $Q_T$  - тепловыделение в газовой фазе;  $J_p, J_C, J_u, J_v, J_E$  - поток вещества, импульса и энергии на верхней и нижней границах слоя ЛГМ;  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - массовые концентрации компонент газовой фазы;  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - скорость изменения концентрации за счет химических реакций;  $D_C$  - коэффициент турбулентной диффузии;  $M_i$  - молекулярная масса  $i$ -ой компоненты; (6) - уравнение состояния газовой фазы,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $\gamma$  - показатель адиабаты;  $\varphi_j, j = 1, \dots, m$  - объемные доли компонент твердой фазы (определены выше);  $\rho_j, j = 1, \dots, m$  - истинные плотности компонент твердой фазы  $\rho_j = \text{const}$ ;  $c_{vj}, j = 1, \dots, m$  - теплоемкости компонент

твердой фазы;  $R_j, j = 1, \dots, m$  - скорость изменения объемной доли  $\varphi_j$ ;  $T_1$  - температура твердой фазы;  $Q_T$  - тепловыделение в твердой фазе;  $\omega_x$  - угловая скорость вращения Земли;  $c_s$  - эмпирический коэффициент сопротивления растительности;  $s$  - удельная поверхность ЛГМ;  $k$  - коэффициент молекулярной теплопроводности в газе;  $k_T$  - коэффициент турбулентной теплопроводности;  $\kappa \sigma(T_1^4 - T^4)$  - обмен лучистой энергией между твердой и газовой фазами;  $\kappa$  - коэффициент поглощения излучения;  $\alpha(T_1 - T)$  - межфазный теплообмен;  $\alpha$  - коэффициент теплообмена;  $\tau$  - тензор турбулентных вязких напряжений,  $t_{ij} = \nu_t(\partial V_i / \partial x_j + \partial V_j / \partial x_i)$ ,  $\nu_t$  - коэффициент турбулентной вязкости;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана;  $l_s$  - характерное расстояние между элементами ЛГМ.

Начальные и граничные условия получаются из условий, приведенных в ([1]), после осреднения по высоте яруса.

Схема численного решения методом расщепления. Система уравнений (1) - (9) решалась численно с применением метода расщепления по физическим процессам, явным конечно-разностным аппроксимациям. А именно, решение рассматриваемой системы на любом временном интервале  $[t_n, t_{n+1}]$  определяется поэтапно. На каждом из этапов рассчитывается часть исходной системы уравнений, описывающая тот или иной физический процесс, а начальными данными служат решения, полученные на предыдущем этапе. Все входящие в уравнения коэффициенты вычисляются на временном слое  $t_n$  и уже рассчитанном промежуточном. Система расщепляется на следующие составляющие:

1 этап. Перенос газовой фазы:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial G(F)}{\partial x} + \frac{\partial H(F)}{\partial y} = 0, \quad (10)$$

$$F = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho E \\ \rho C \end{pmatrix}, \quad G(F) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + R \rho T \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i} \\ \rho uv \\ \rho u E + R \rho u T \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i} \\ \rho u C \end{pmatrix}, \quad H(F) = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + R \rho T \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i} \\ \rho v E + R \rho v T \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i} \\ \rho v C \end{pmatrix}.$$

2 этап. Учет изменения импульса и энергии за счет расширения трубки тока:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} = p^* \frac{\partial \varphi^*}{\partial x}, \quad \frac{\partial \rho v}{\partial t} = p^* \frac{\partial \varphi^*}{\partial y}, \quad \frac{\partial \rho E}{\partial t} = p^* \sum_{j=1}^m \frac{R_j^*}{\rho_j}. \quad (11)$$

3 этап. Учет выбывания субстанции на верхней границе:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -J_F \quad (12)$$

$$u = \frac{\rho u}{\rho}, v = \frac{\rho v}{\rho}, E = \frac{\rho E}{\rho}, C = \frac{\rho C}{\rho}, T = \frac{1}{c_v} \left( E - \frac{u^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right)$$

и вычисление:

4 этап. Учет межфазного трения:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -c_d s u |V|, \frac{\partial v}{\partial t} = -c_d s v |V|, |V| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (13)$$

5 этап. Учет изменения импульса за счет ускорения Кориолиса:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 2\omega_z v, \frac{\partial v}{\partial t} = -2\omega_z u \quad (14)$$

6 этап. Учет влияния турбулентной вязкости, теплопроводности и диффузии:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial W}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial W}{\partial y} \right), \text{ где } W = \begin{pmatrix} u \\ v \\ T \\ C \end{pmatrix}, K = \begin{pmatrix} \nu_t \\ \nu_t \\ K_c \\ D_c \end{pmatrix} \quad (15)$$

7 этап. Учет химических реакций:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = Q, \rho_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial t} = R_j, j = 1, \dots, m, \frac{\partial \rho C_i}{\partial t} = R_i, i = 1, \dots, n-1, C_n = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} C_i \quad (16)$$

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = Q_T, \sum_{j=1}^m \rho_j c_{v,j} \frac{\partial T_j}{\partial t} = Q_{T_1} \quad (17)$$

Здесь (16) - изменение массы и массовых концентраций в газовой фазе и объемных долей компонентов твердой фазы за счет химических реакций, (17) - изменение тепловой энергии за счет химических реакций. Критерий прекращения горения: объемная доля ЛГМ становится меньше некоторого (задаваемого) критического значения  $\varphi^*$ :  $\varphi(x, y, t) \leq \varphi^*(x, y)$ .

8 этап. Учет межфазного теплообмена и обмена лучистой энергией:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha(T_1 - T) + \kappa \sigma (T_1^4 - T^4) - 2\sigma T^4$$

$$\sum_{j=1}^m \rho_j \varphi_j c_{p,j} \frac{\partial T_j}{\partial t} = -\alpha(T_1 - T) - \kappa \sigma (T_1^4 - T^4) \quad (18)$$

9 этап. Вычисление давления из уравнения состояния:

$$p = \frac{\rho R T}{\varphi} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i} \quad (19)$$

Разностная схема для решения уравнений математической модели. При построении разностных аппроксимаций на основе описанной схемы расщепления основную трудность представляет реализация первого этапа - выбор аппрокси-

мации, обеспечивающей достаточно точный расчет приближенного решения нелинейных уравнений переноса. Первоначально (другие аппроксимации, модификации традиционных схем являются предметом отдельной работы) для аппроксимации уравнений системы (10) применяется явная разностная схема на двухточечном ориентированном по направлению потока шаблоне ([4]). При аппроксимации всех уравнений (10) - (19) производные по времени заменялись разностью вперед, производные по пространственным переменным в уравнениях (15) - выражениями типа

$$\frac{\partial}{\partial x} K \frac{\partial W}{\partial x} \approx (K_{i+1/2,j} \frac{W_{i+1,j} - W_{i,j}}{\Delta x} - K_{i-1/2,j} \frac{W_{i,j} - W_{i-1,j}}{\Delta x}) / \Delta x$$

$$\frac{\partial}{\partial y} K \frac{\partial W}{\partial y} \approx (K_{i,j+1/2} \frac{W_{i,j+1} - W_{i,j}}{\Delta y} - K_{i,j-1/2} \frac{W_{i,j} - W_{i,j-1}}{\Delta y}) / \Delta y$$

Описанная схема реализована в среде КТС Mathematica. При расчетах условие устойчивости контролировалось путем сопоставления результатов, полученных с разными значениями временного шага, а также соотношением

$$\max_j (|u_j| + c_y) \frac{\Delta t}{\min(\Delta x, \Delta y)} < \frac{1}{4}$$

Назначение получаемых в расчетах результатов - формирование базы знаний (БЗ) из комплектов рассчитанных при разных значениях параметров задачи типовых численных решений. Они идентифицируются тремя группами параметров: характеристиками ЛГМ конкретного участка леса (наборы по умолчанию могут быть получены из отдельной БЗ), геометрией источника возгорания и климатическими условиями. Расчеты проводятся на мощном сервере по запросам, инициированным зарегистрированными пользователями. Результаты расчетов в унифицированном для спроектированной базы знаний формате (в ASCII кодировке) для определенных временных слоев, число которых, как правило, значительно меньше, чем число расчетных, сохраняются на внешнем устройстве.

Работа с БЗ возможна широкому кругу зарегистрированных в системе специалистов-предметников, которые могут анализировать и сопоставлять рассчитанные для разных параметров решения, интерактивно формировать графические иллюстрации из клиентских приложений.

### Литература

1. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения // Успехи механики. 2002. № 4. -С. 41 - 89.
2. Кулешов А.А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии. // Информационные технологии и вычислительные системы. 2003. № 4. -С. 56 - 70.
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. - М.: Наука, 1987, 464 с.

4. Таранчук В.Б., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов двухфазной многокомпонентной фильтрации // Современные проблемы и математические методы теории фильтрации. М., Наука. 1987. -С. 184 - 194.

## О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЖАРОВ В КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЕ РАСЧЕТОВ, ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ (Часть 2)

Д.В. Баровик, В.И. Корзюк, В.Б. Таранчук  
Беларусь, г. Минск

Обсуждаются состав и требования к сервису реализованного в среде системы Mathematica программного комплекса для моделирования лесных пожаров и визуализации результатов.

В части 1 работы описана двухфазная двухтемпературная математическая модель лесных пожаров, используемая для подготовки и наполнения базы знаний (БЗ) комплектов типовых численных решений. Соответствующие расчеты проводятся на достаточно мощном компьютере. Результаты расчетов в унифицированном для спроектированной базы знаний формате сохраняются на внешнем устройстве – записываются интегральные показатели и сеточные функции численных решений для определенных временных слоев. Одновременно формируется комплект и дополняется БЗ. Прием и анализ информации из базы знаний возможны широкому кругу зарегистрированных в системе специалистов-предметников, которые могут анализировать и сопоставлять размещенные в каталоге рассчитанные для разных параметров решения, интерактивно формировать графические иллюстрации из клиентских приложений.

Клиент-серверная архитектура программного комплекса. Математическое моделирование техногенных чрезвычайных ситуаций, и в частности, лесных и торфяных пожаров является важнейшей компонентой систем поддержки принятия решений, экспертных систем, используемых при проектировании, анализе промышленной безопасности и экологической обстановки. Соответствующие компьютерные модели нужны для прогноза развития чрезвычайной ситуации на конкретных объектах, лесных массивах, площадях. Разработанные математические модели лесных пожаров (например, [1, 2]) являются очень сложными, выполнение расчета любого варианта требует много времени даже на достаточно мощных электронных вычислительных машинах. Соответствующие компьютерные модели пока могут применяться только авторами-разработчиками, и не ориентированы на включение в геоинформационные системы (ГИС) или системы отображения оперативной обстановки.

Представляется, что современный уровень ИТ дает возможности проектирования и наполнения баз знаний типовых численных решений задач геоэкологии, разработки и включения в ГИС упрощенных инженерных моделей, формирования компьютерных экспресс-моделей различных природных явлений. Компьютерные модели могут эффективно создаваться на платформе какой-либо из

систем интеллектуальных вычислений, где их можно проектировать как интерактивные с возможностями «подключения» оценок из базы знаний. Возможным принципом функционирования систем является обеспечение работы с моделями на разных уровнях. Математики-прикладники создают и сопровождают компьютерные модели. Специалисты-предметники, зарегистрированные в серверном приложении, работают с моделями по одному из предлагаемых сценариев. На таком уровне пользователи используют систему и компьютерные модели как «черный ящик», не отвлекаясь на их «математическую начинку», получают выходные данные, варьируя входную информацию, причем работают в привычной для себя среде. Для названных задач – это регламентные документы, таблицы, карты и схемы. Администраторы системы обеспечивают регламент и условия доступа для других пользователей, работающих с БЗ из клиентских приложений. На таком уровне расчеты по математическим моделям не проводятся, результаты извлекаются из наполненной базы знаний и обрабатываются, для чего в системе должен быть доступен достаточно широкий набор типовых функций обработки и визуализации, а также средства автоматического формирования и запоминания модулей специализированных алгоритмов обработки.

При таких требованиях к алгоритмическому и программному обеспечению особая роль отводится проектированию и разработке сервиса программных комплексов. Задачи создателям компьютерных моделей усложняются требованиями типа - проектировать и разрабатывать системы надо на программных платформах, где математические вычисления выполняются ядром, интерфейс может настраиваться (адаптироваться) самим пользователем, возможна реализация работы в клиент-серверной архитектуре. Одной из систем, удовлетворяющей сформулированным требованиям является система компьютерной алгебры Mathematica. В ней математические выкладки, преобразования и упрощения выражений выполняются после записи уравнений, условий и функций в традиционной математической нотации самой системой. Практика последних лет подтверждает эффективность применения систем интеллектуальных вычислений при решении задач математической физики, механики сплошных сред, в частности, механики многофазных реагирующих сред, тепло- и массопереноса.

Опишем предлагаемый регламент функционирования программного комплекса моделирования лесных пожаров. На рисунке 1 приведена схема архитектуры комплекса:

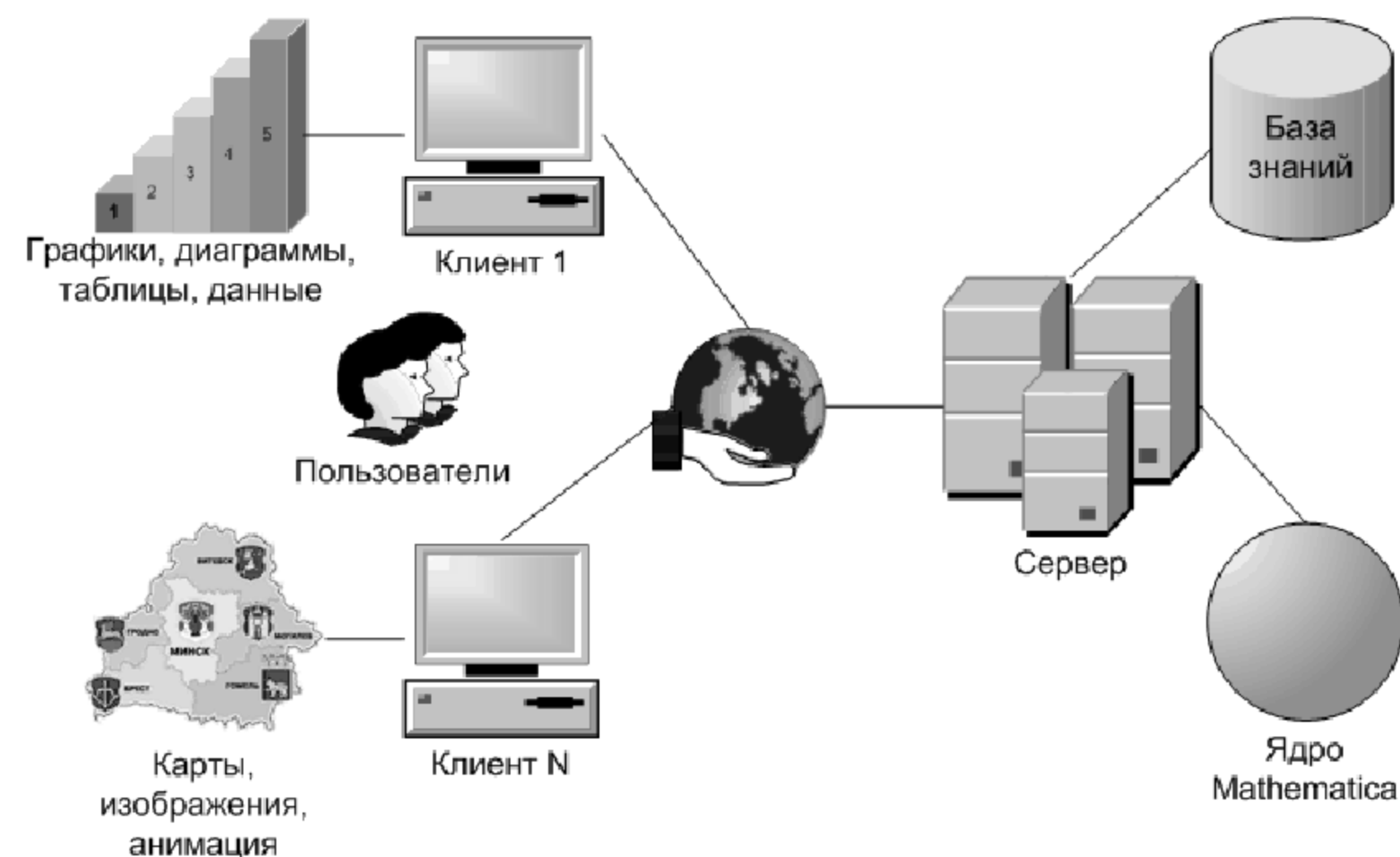


Рис. 1. Упрощенная схема архитектуры программного комплекса

На клиентских рабочих местах формируется и отправляется (при условии, что пользователь обладает соответствующими правами) запрос к серверу – три группы параметров: характеристики ЛГМ конкретного участка леса, геометрия источника возгорания и объекта, параметры климатических условий. На сервере удовлетворяющий критериям запроса вариант извлекается из базы знаний, если подходящего варианта нет, то он рассчитывается по компьютерной модели. Информация отправляется пользователю в унифицированном формате. Сервис, установленный на клиентских приложениях, позволяет обрабатывать информацию из базы знаний в нескольких формах, включающих табличные данные, графики, карты плотностей и изолиний, карты векторных полей и анимацию.

Библиотека модулей визуализации данных численного моделирования в системе Mathematica. Анализ и обобщение моделей геоэкологии позволяют выделить следующие основные требования к программному сервису визуализации: двумерная и трехмерная графика с поддержкой вывода фронтов и границ (например, контуров, зон поражения, границ облаков тяжелых углеводородов, фронтов низового и верхового пожаров), изолиний цифровых полей рассчитываемых распределений температуры, давления газа, концентраций компонентов газовой фазы, частиц дыма, сажи, капелек воды и др., векторных полей скоростей (каждая стрелка в соответствующей точке прорисовывается сонаправленной с вектором скорости потока, а ее длина пропорциональна величине скорости).

Все перечисленные виды графического представления данных (описываемых функциями или таблично) в КТС Mathematica могут быть реализованы, но в прямоугольных областях (для 3D - в параллелепипедах). Ниже описаны разработанные модули, позволяющие формировать изображения в областях, огра-

ниченных криволинейными границами (поверхностями). Изложение дается для 2D графики (на плоскости), обобщение на случай 3D (пространство, декартовы координаты) делается аналогично, т.к. в КТС почти все опции для 2D и 3D графики одинаковы ([3]).

Система Mathematica содержит набор стандартных средств визуализации двумерной графики в следующих подходах: контурные карты (изолинии), карты плотностей, векторные поля, демонстрация эволюции (анимация). Особенностью графики в КТС является то, что отображение происходит в прямоугольной области, нет возможности выделения подобластей и включений. Поясним эти термины.

Подобласть – участок (часть плоскости), ограниченный заданным во входной карте (схеме) не имеющим самопересечений контуром (ломаной) со специально для него назначенными атрибутами. Основной смысл введения понятия подобласти обусловлен особенностями аппроксимации в ней сеточных функций. Если входная карта содержит подобласти, то при получении и визуализации цифрового поля значения сеточной функции рассчитываются только во внутренних узлах сетки (кроме узлов, попадающих во включения), причем в каждой подобласти расчет выполняется по всей совокупности опорных точек базы данных со значением обрабатываемого параметра. Это дает возможность при аппроксимации любого цифрового поля разделять на части/участки всю совокупность исходных данных, например, если есть априорная информация о независимом поведении восстанавливаемых функций на отдельных участках.

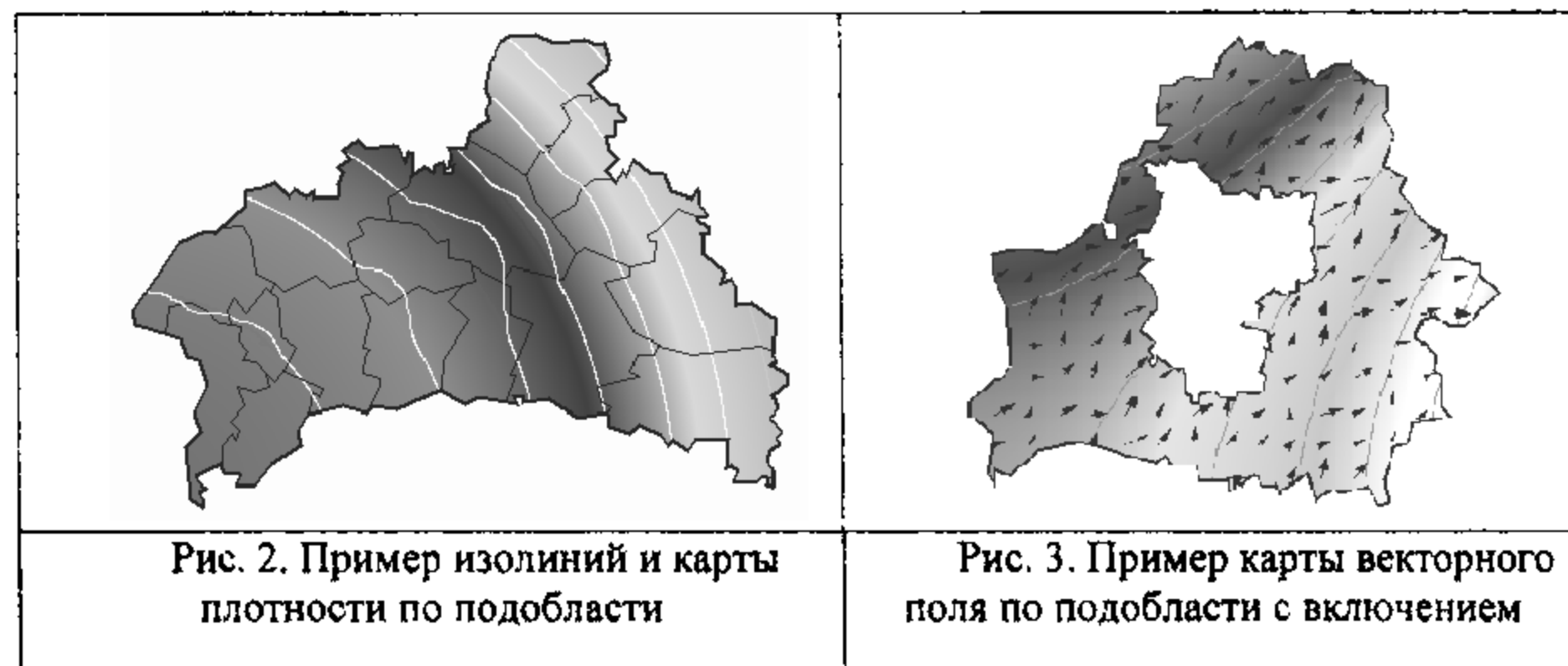
Включение – участок (часть плоскости), ограниченный заданным во входной карте не имеющим самопересечений контуром (ломаной). Внутри любого включения могут находиться вложенные подобласти, которые не должны иметь пересечений с их содержащими включениями. Во включениях расчет цифрового поля, формирование изолиний, зон относительной однородности не производится.

Визуализация карт в подобластях с криволинейной границей. Реализована следующая методика для визуализации контурных карт и карт плотностей в односвязных областях, не являющихся прямоугольными. Пользователь задает границы области визуализации в виде списка координат вершин замкнутого многоугольника (ограничения на выпуклость многоугольника не накладываются), ширину и высоту прямоугольной карты, построенной стандартными средствами Mathematica, такими как ContourGraphics или DensityGraphics. Формирование изображения в подобласти обеспечивает алгоритм и соответствующий модуль contourCut, который возвращает координаты вершин двух замкнутых многоугольников, «обрамляющих» область визуализации. При наложении этих многоугольников цветом фона на обычное изображение изолиний или карту плотностей, формируемых функциями КТС, достигается эффект визуализации заданной карты в требуемой области. Достоинством такой методики является то, что ее можно применять к изображениям (картам), задаваемым стандартными графическими объектами системы Mathematica. При этом, можно использовать любые опции (свойства, настройки) этих графиков: масштабирование, окраска, вывод координатных осей, линий сетки, ее калибровки, надписей, заго-

ловков, легенды и т. п. Алгоритм contourCut описан в [4]. Наложение многоугольников на прямоугольный график цветом фона производится непосредственно функцией Show или через ее опцию Epilog. Функцией Line может быть выведена указываемым стилем и граница области. Также функцией Show (или ее опцией Epilog) на полученную карту выводятся задаваемыми цветами и стилями всевозможные контура, границы, линии разметки, а если так добавленную подобласть закрасить цветом фона, получим подобласть типа «дырка» (визуализация в многосвязных областях).

На рисунке 2 приведен пример визуализации изолиний и зон в подобласти (граница подобласти – контур Брестской области РБ, легенда не выводится, т.к. цифровое поле не конкретизируется), причем кроме изолиний на схеме показаны нанесенные внутренние контура-границы (в данном примере границы административных районов).

Визуализация векторных полей. Для отображения векторных полей в областях сложной конфигурации векторное поле формируется одной из стандартных функций (например, ListPlotVectorField), далее в полученном объекте Graphics удаляются все векторы (объекты Arrows), которые не попадают в область моделирования (т.е. удаляются все вектора вне подобласти). Для реализации такого алгоритма обработки стандартного изображения запрограммирована библиотека Modelling.m. (описание алгоритма дано в [4]).



Изображение на рисунке 3 демонстрирует некоторые возможности библиотеки Modelling.m. Приведен пример визуализации векторного поля, изолиний, наложенных на карту зон в подобласти с включением. В примере подобласть – схематично изображенная площадь Республики Беларусь, включение – Минская область.

### Литература

1. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения // Успехи механики. 2002. № 4. -С. 41 - 89.

2. Кулешов А.А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии. // Информационные технологии и вычислительные системы. 2003. № 4. -С. 56 - 70.

3. Морозов А.А., Таранчук В.Б. Программирование задач численного анализа в системе Mathematica: Учеб. пособие.– Мн.: БГПУ, 2005. -145 с.

4. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Библиотека модулей визуализации научных данных в системе Mathematica // Информатизация образования. 2007. № 2. -С. 24 - 31.