

Сложные системы управления

УДК 004.75: 504.75: 681.3

В.В. Храмов, Н.Н. Будник

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ГРИД НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В АР КРЫМ

Рассмотрены методы, связанные с моделированием лесных пожаров в АР Крым с использованием грид-среды при помощи распределенной вычислительной системы моделирования чрезвычайных ситуаций. Описаны ее особенности, архитектура, а также веб-интерфейс пользователя. Получен комплекс альтернативных моделей прогнозирования пожаров, предложены процедуры адаптивной организации вычислительного эксперимента в среде грид.

Введение и постановка задачи

Лесные пожары — одна из самых главных угроз мирового масштаба. В настоящее время на Земле ежегодно возникает около 200 тысяч лесных пожаров, и число их с каждым годом возрастает. Для Крыма его леса имеют важное климатообразующее, защитное и рекреационное значение. Леса Крыма выполняют важнейшие водоохранные, почвозащитные функции, они являются водосборной площадью, где зарождаются крымские реки, питающие водой города и поселки полуострова. Деревья и кустарники закрепляют склоны гор своими корнями, исключают эрозию почвы, не дают развиваться осыпям и оползням. Лес защищает поля, сады и виноградники, строения от такого грозного явления, как селевые потоки.

Лес — один из основных источников уникального климата Южного Берега АР Крым, именно он в комплексе с морем формирует целебный климат, благотворно влияющий на здоровье человека. Горы и лес формируют неповторимые ландшафты крымской природы, привлекающей ежегодно сотни тысяч туристов со всех стран СНГ и из дальнего зарубежья. Горный Крым — один из мировых центров биоразнообразия. Флора сосудистых растений Крыма насчитывает 2775 видов, или 60 % флоры Украины. Среди них в лесной зоне 279 видов, т.е. 10 %, являются эндемиками. Нигде на Европейском континенте не сосредоточено такого количества редких растений, как в Крыму. В Крыму произрастает 39,2 % растений, занесенных в Красную книгу. Лесистость Крымского полуострова недостаточна — 10,6 % (лесистость в целом по Украине — 15,6 %, оптимальным является показатель — 19–20 %) [1]. Общая площадь земель лесного фонда Крыма — 298,3 тыс. га.

Статистика свидетельствует, что за последние 17 лет (начиная с 1993 г. по 2009 г. включительно) в лесах Крыма по вине человека произошло 2120 лесных пожаров на общей площади 2170 га, в том числе верховых — 258 га. Следует отметить, что количество лесных пожаров варьируется из года в год

© В.В. Храмов, Н.Н. Будник, 2012

ISSN 0452-9910. Кибернетика и вычисл. техника. 2012. Вып. 169

и зависит в основном от погодных условий, а также от посещаемости лесов туристами. В условиях жаркой засушливой погоды повышается вероятность возникновения и распространения самовозгораний. Самые большие, охватывавшие огромную площадь пожары возникали в Ялтинском горно-лесном природном заповеднике. Примером может послужить пожар в 1993 г., когда площадь, охваченная огнем, составила 460 га, а в 1998 г. возник пожар на площади 107 га. Тушение лесных пожаров в горной местности связано с задействованием огромных материальных и людских ресурсов, к тому же является трудной задачей из-за тяжелой проходимости местности. Из вышеизложенного следует, что одна из первоочередных экологических задач — предотвращение лесных пожаров, которую можно решить, используя статистическое (эмпирическое) и физическое моделирование.

Целью данной статьи является рассмотрение методов, связанных с моделированием лесных пожаров в АР Крым с использованием грид-среды при помощи распределенной вычислительной системы моделирования чрезвычайных ситуаций и описанием ее особенностей и архитектуры, а также веб-интерфейса пользователей.

1. Физические методы моделирования

Согласно Р. Веберу [1], модели оценки лесной пожарной опасности могут быть разделены на три группы: эмпирические (или статистические), полумэмпирические (или лабораторные), физические (или аналитические). Физические методы моделирования пожара позволяют спрогнозировать ход его распространения, продолжительность, а также особенности поведения и причиняемые последствия. Однако, вследствие хаотического характера эволюции пожара, возникает необходимость рассмотрения целого ансамбля вариантов развития событий, что приводит к тому, что задача прогнозирования техногенных ситуаций с вычислительной точки зрения является достаточно трудоемкой [2]. Например, при моделировании типового лесного пожара только для решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса [3] необходимо выполнить порядка $2 \cdot 10^{13}$ арифметических операций, так как сложность модели в процессорных операциях оценивается как $O(mn^3)$, где n — количество пространственных точек по одной координате, а m — глубина прогноза. При использовании современных персональных компьютеров (Core i3-2100 3.1GHz/ Intel H61 rev3.0 ASUS P8H61/ DDR3 2Gb Unix) для расчета только одного эксперимента с данной моделью требуется несколько часов машинного времени. Необходимо отметить, что для принятия оперативных решений результирующие данные (оценка ущерба, скорость распространения пожара, его ярусность и тип) должны быть получены в режиме реального времени. В связи с тем что имитационные эксперименты поддаются распараллеливанию, появляется возможность удовлетворить это существенное условие за счет организации распределенного моделирования с использованием грид-технологий [4–5]. Например, при использовании OpenMP-версии симулятора пожаров FDS [6] расчетное время на выполнение каскада задач (300–700 экземпляров модели) сократится более чем в восемь раз, а в случае MPI-режима — в 17 раз. Кроме этого, использование грид-сервисов AMGA [7], LFC [8] расширяет

функциональные возможности системы прогнозирования чрезвычайных ситуаций при хранении и поиске результатов моделирования, позволяющих для воссоздания участка горения лесного массива оперировать огромным набором нестационарных параметров (температурой, относительной влажностью воздуха, скоростью ветра и т.д.). Таким образом, методы организации моделирования задач на примере лесных пожаров при использовании многопроцессорных вычислительных комплексов и грид являются актуальными.

Реализация таких методов не может быть достигнута без использования современных многопроцессорных систем. Одной из таких систем является первый Крымский экспериментальный грид-ресурс <http://www.cluster.crimea.ua>, который был создан в Таврическом гуманитарно-экологическом институте в Симферополе [9]. Он также применяется для задач моделирования в области гуманитарно-экологических исследований (мониторинга зависимости состояния человека от гелиометеофакторов [10], очистки водных ресурсов, наблюдения за погодными условиями и т.д.). Основой грид-ресурса является многопроцессорный кластер, для которого выбрана мультикомпьютерная архитектура Беовульф [11], программное обеспечение: Scientific Linux-5.4, PBS torque, среда openMPI, системы мониторинга: ganglia, MRTG+RRD. В качестве грид-коммуникатора используется программное обеспечение промежуточного уровня — Nordugrid (<http://www.nordugrid.org>), который находится на главном узле кластера и осуществляет связь с грид-инфраструктурой Украинского академического сегмента — <http://uag.bitp.kiev.ua> [12]. С помощью инфраструктуры осуществляется загрузка задач, обмен информацией, мониторинг. Благодаря такой грид-инфраструктуре есть возможность сократить и оптимизировать расчеты во время моделирования.

При расчете же самих физических моделей примером может служить задача прогнозирования лесных пожаров [13], для которой необходимо много времени и информационных ресурсов. Многопроцессорные системы — вычислительные кластеры и грид-среда позволяют оперировать огромным набором параметров для описания зоны пожара в реальном времени. Сложность моделирования лесных пожаров заключается в том, что некоторые параметры, такие как температура, относительная влажность воздуха и скорость ветра, могут измениться с развитием возгорания. Модель должна представлять собой систему иерархических моделей для разных пространственных масштабов. Перспективным представляется адаптивное использование моделей — процессы догорания в ядре очага пожара можно описывать более простыми средствами, чем фронт. Хаотический характер эволюции пожара требует рассмотрения ансамбля вариантов расчета для оценки вероятности прогноза.

Наконец, для моделирования реального лесного пожара как способа поддержки принятия решений необходима корректировка результатов расчетов текущими данными дистанционного зондирования, поэтому важным элементом предлагаемой системы должна стать процедура

ассимиляции экспериментальных данных в расчетную модель. А это очень сложно осуществить последовательным выполнением расчета. Грид-среда позволяет создавать каскад задач и осуществлять расчет, не дожидаясь других данных. Из вышесказанного можно сделать вывод, что грид-технологии эффективно и актуально использовать на многих этапах процесса моделирования.

Для решения задач прогнозирования лесных пожаров была предложена и реализована вычислительная полевая модель пожара — математическая модель расчета тепломассопереноса при пожаре, в основе которой лежит система уравнений в частных производных, в которой численно решаются уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре. Модель представляет собой систему уравнений, включающую уравнения сохранения массы, момента импульса и энергии. Задача решается на регулярной 3D-сетке, тепловое излучение рассчитывается методом конечных объемов, для визуализации была построена реальная 3D-модель лесного участка (детали см. в [13]).

Экспериментальные данные моделировались на вычислительном кластере и в грид. Также применялись алгоритмы сценариев запуска расчетов в грид, используя язык xrls и язык описания объектов симулятора. Во время моделирования был выявлен ряд актуальных проблем, одна из них — отсутствие удобного, понятного и в то же время функционального веб-интерфейса для запуска расчетов распределенных вычислений [14]. Это препятствует большинству потенциальных пользователей из прикладных областей науки быстро и эффективно осуществлять манипуляции с грид-средой. Другой немаловажной проблемой явился вопрос поддержания безопасности при работе с грид, поэтому был разработан и внедрен новый веб-интерфейс для пользователей.

2. Архитектура грид-портала CrimeaEcoGrid

При проектировании нового веб-интерфейса были проанализированы многие свойства, характеристики и особенности большинства современных грид-порталов, в частности P-grade [15], Lunarc [16], Gilda, Migrating Desktop [17], Bio Sim Grid, Genius, и составлены критерии, по которым возможно спроектировать более универсальный, многофункциональный многопользовательский веб-интерфейс для украинского и международного грид-сообщества.

Для комплексной реализации веб-интерфейса со всеми выше описанными особенностями была предложена архитектура портала для запуска задач и управление ими в грид (рис. 1). Архитектура в основном соответствует архитектуре веб-ориентированной системы виртуальных лабораторий в грид-инфраструктуре Украины [18], но имеет и существенные дополнения и специфические особенности, связанные с компьютерным моделированием в гуманитарных и экологических исследованиях [19].

Из рис. 1 видно, что пользователи грид-среды проходят 3-уровневую авторизацию, которая формирует профиль пользователя при первом же сеансе входа на портал.

Данные берутся из проверенного персонального грид-сертификата. Отличительной особенностью является то, что исследователь может выбирать из десятка виртуальных организаций ту, в которой он состоит на текущий момент, а также подавать заявку на внесение новой организации в список грид-портала администратором и возможность перейти по ссылке для заявки на регистрацию в нужную виртуальную организацию (ВО) (рис. 2).

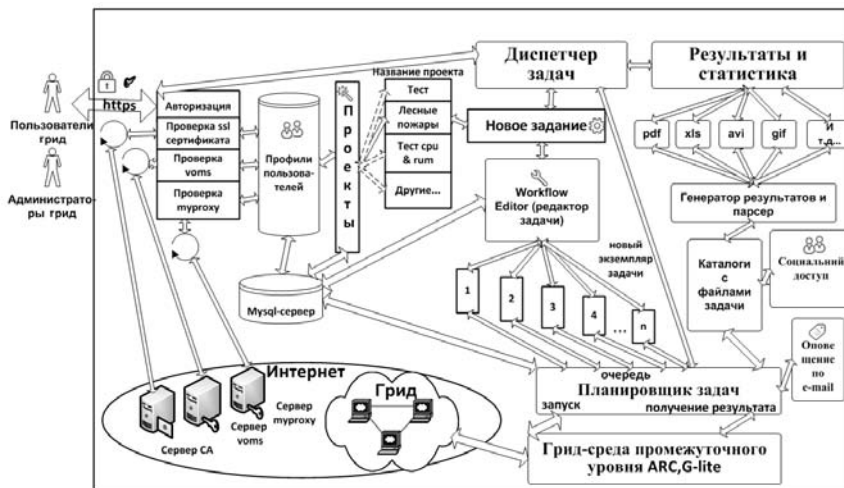


Рис. 1. Архитектура CrimeaEcoGrid-портала

В профиле сохраняется выбранный или вновь введенный muroxu-сервер с параметрами временного сертификата пользователя, что в дальнейшем автоматизирует прохождение авторизации на большинстве сервисов в грид. Также сохраняются дополнительные личные данные пользователя, например контакты и предпочитаемые критерии выбора для исследований, дополнительные сервисы грид-инфраструктуры, например использование временного хранилища для файлов задач. Для авторизации используется стандартный способ, при котором нужно провести генерацию и загрузку временного сертификата на сервер muroxu для дальнейшей удобной работы на грид-портале. Это можно сделать на ОС Линукс, войдя по терминалу на кластер и выполнив команду **myproxy-init -l testuser -s thei.org.ua -m crimeaeco**, где **testuser** — имя тестового пользователя для грид-портала, **thei.org.ua** — сервис muroxu (может быть другой на выбор), **crimeaeco** — виртуальная организация, в которой пользователь принимает участие.

Также для удобства исследователей грид была адаптирована и доработана утилита Certificate Management Wizard [20] (она содержит открытый код и написана на языке java), которая позволяет работать с сертификатами грид, используя удобный GUI-интерфейс и мультиязычность (рис. 3). После этого шага исследователю предлагается выбрать нужный проект для запуска задачи в грид, исключая те проекты, где исследователь не зарегистрирован в виртуальных организациях. Проекты портала могут быть самые разные и в совокупности охватывают большинство исследований в грид.

Проекты заносятся предварительно администратором в систему с проверенными и рабочими шаблонами для запуска в грид и могут

модифицироваться по желанию исследователей. Для первого запуска рекомендуется выбирать готовый шаблон и переходить к запуску. Но если исследователь уверен в том, что может изменить параметры запуска, то он может выбрать обычный редактор или мастер редактирования параметров (Workflow Editor) [21], который уже работает с несколькими проектами грид-портала, гибко подключая набор компонентов для разных моделей и шаблонов запуска задач, используя теорию конечных автоматов [22] для построения структуры файла модели и регулярные выражения для поиска нужных элементов в этом файле.

The screenshot shows a web interface for VOMS check. At the top, there are navigation tabs: 'Главная', 'Проекты', 'Задачи', 'Анализ', and 'Статистика'. Below these are two sub-tabs: 'Проверка VOMS' (active) and 'Временный сертификат'. The main content area is titled 'Проверка VOMS' and contains a heading 'Выберите виртуальные организации для проверки:'. Below this is a list of organizations with checkboxes and status indicators:

- test_vo вы состоите в этой организации
- crimeaeco вы состоите в этой организации
- ukraine вы состоите в этой организации
- moldyngrid вы состоите в этой организации
- testbed.univ.kiev.ua вы состоите в этой организации
- eo-grid.kd.kiev.ua вы не состоите в этой организации - зарегистрироваться
- kpi.edu вы состоите в этой организации

 A note says 'Сообщите, если Вашей ВО нет в списке' and there is a 'проверить' button. Below this is a confirmation message 'Виртуальные организации выбраны.' and a section titled 'Выбор ВО по умолчанию' with the heading 'Выберите ВО, используемую по умолчанию для проектов:'. It contains three checked items with dropdown menus:

- TEST (dropdown: test_vo)
- Тест CPU & RAM (dropdown: crimeaeco)
- Моделирование лесных пожаров (dropdown: crimeaeco)

 There is a 'сохранить' button at the bottom.

Рис. 2. Проверка виртуальных организаций

Workflow Editor работает в двух режимах. Первый — редактирование новой задачи, второй — подготовка запуска новой задачи (рис. 4). Формирование параметров новой задачи и автоматического создания подзадач по нужным тегам осуществляется по формуле:

$$x_1 \otimes x_2 \dots \otimes x_n, \quad (1)$$

где x_i — значения параметров модели с номером i , \otimes — тензорное произведение всех возможных комбинаций в файле модели. На рис. 5 представлен интерфейс мастера редактирования параметров.

После запуска задачи и каскадных подзадач в грид в режиме массивного моделирования вся информация находится в директории диспетчера задач, где можно просматривать статус задач, а также производить различные манипуляции: удаление, перезапуск, конфигурирование шаблона. Кроме этого, появляется возможность получения файлов задач из грид и возможность перехода в раздел результатов (блок «Анализ», рис. 6), в котором возможно сгенерировать отчеты в виде выходных файлов, а также загружать задачу на компьютер пользователя для дальнейших вычислений.

На рис. 7 представлены изображения и графики моделирования. Актуальность этого блока в том, что внутри интерфейса есть специальный набор API, которые распознают файлы в папках хранилища и подготавливают соответствующие шаблоны для формирования выходных файлов для конечного просмотра или загрузки сформированного архива.

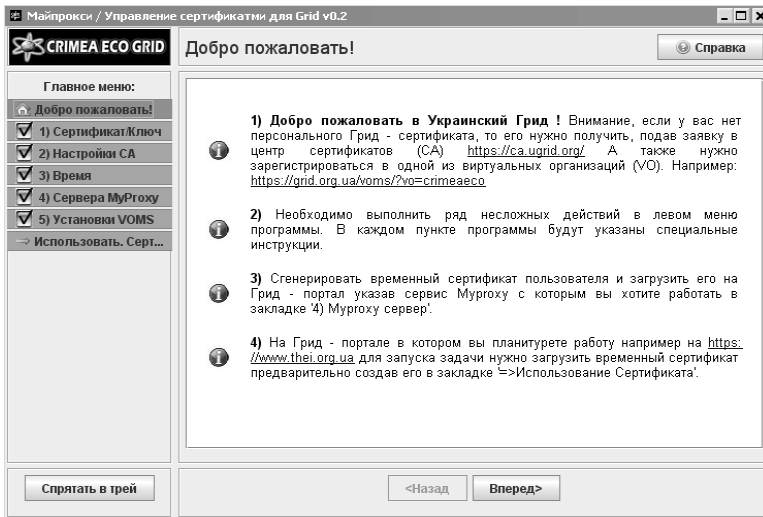


Рис. 3. Утилита Certificate Management Wizard for Grid

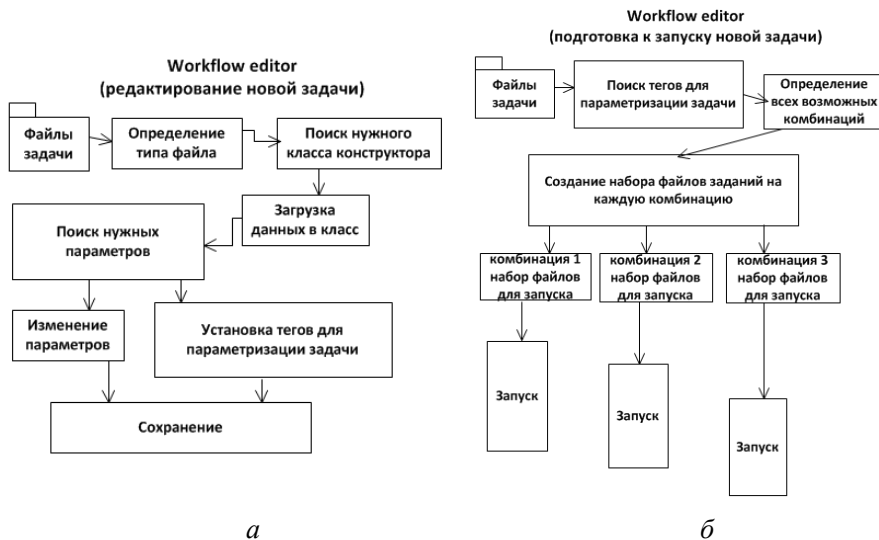


Рис. 4. Workflow Editor — редактирование и подготовка к запуску новой задачи

Все данные пользователей CrimeaEcoGrid-портала, а также состояние задач и результаты хранятся в базе данных широко известного программного продукта MySQL. База данных включает 23 таблицы и 25 реляционных связей (пунктиром выделены связи, которые пересекаются или попадают за область видимости), назначение основных таблиц следующее:

- **users** — таблица в которой хранятся данные об исследователях;
- **user_allowed_projects** — пользователи, разрешенные в проектах;

- **user_allowed_software** — список доступного программного обеспечения;
- **user_accepted_voms** — список разрешенных виртуальных организаций;
- **myproxy_servers** — список серверов myproxy;
- **projects** — список проектов CrimeaEcoGrid-портала;
- **task_profiles** — профили задач;
- **task_sets** — настройки задач;
- **task_submits** — настройки потомков задач;
- **task_states** — статусы задач и ее потомков.

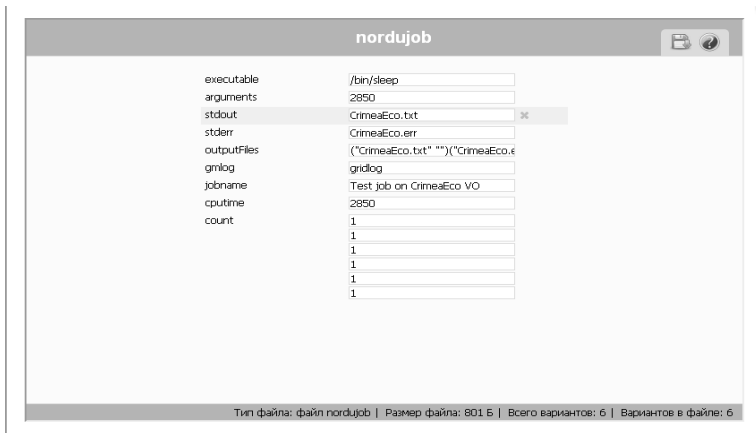


Рис. 5. Интерфейс мастера редактирования параметров

Все остальные таблицы служат вспомогательными источниками и принимают участие в сборе статистики, локализации и правильном отображении данных на грид-портале.

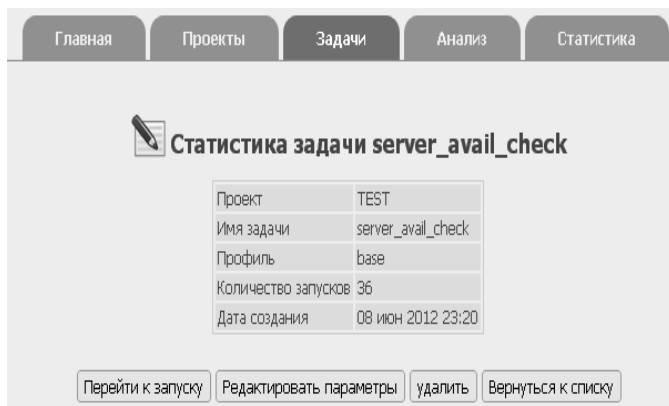


Рис. 6. Диспетчер задач

CrimeaEcoGrid-портал обладает кросс-браузерностью (работает без ошибок во всех браузерах). Для реализации этой возможности был написан фреймворк, который использует MVC-концепцию [23], тем самым отделяя логику модели от ее визуализации. За счет такого разделения повышается возможность повторного использования многих компонентов. Наиболее полезно применение данной концепции, когда пользователь должен видеть те

же самые данные одновременно в различных контекстах или с различных точек зрения. Во фреймворке используется активная модель MVC, которая включает не только совокупность кода доступа к данным и СУБД, но и всю логику. В свою очередь, контроллеры избавлены от логики приложения. Таким образом, контроллер становится «тонким» и выполняет исключительно функцию связующего звена (glue layer) между отдельными компонентами системы. Также многие механизмы страниц реализованы с использованием технологии AJAX [24].

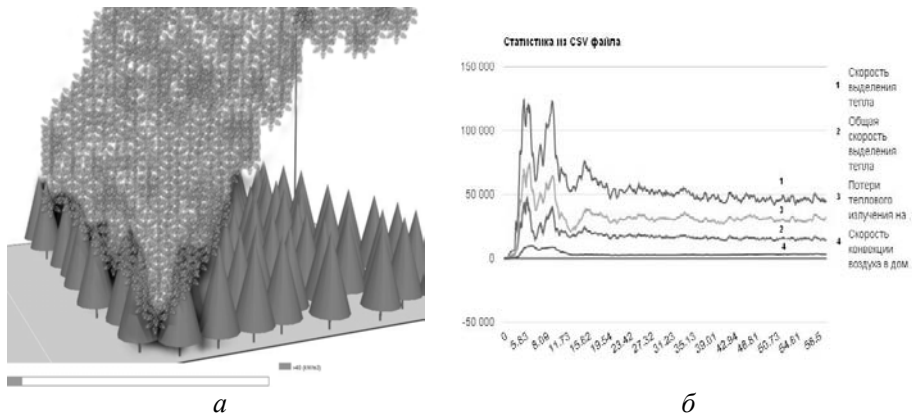


Рис. 7. Блок анализа результатов

Кроме этого, все JavaScript-скрипты сайта загружаются через отдельное веб-приложение Smart Optimizer (<http://code.google.com/p/smartoptimizer/>), которое ускоряет выполнение клиентской составляющей CrimeaEcoGrid-портала за счет объединения и минимизации CSS и JavaScript-файлов, кэширование на клиентском и серверном уровне. Для авторизации используется утилита на языке java — Certificate Managment Wizard, которая была существенно доработана и переведена на разные языки, позволяя упростить работу с сертификатами грид, используя приятный GUI-интерфейс и мультиязычность. На рис. 9 изображен вид главной страницы CrimeaEcoGrid-портала.



Рис. 8. CrimeaEcoGrid-портал

Выводы

1. В работе освещены современные подходы и указаны основные проблемы пожарной опасности. Предложенные модели лесных пожаров позволили адекватно рассчитать динамику пожаров применительно к природно-географическим условиям АР Крым.

2. Создана трехмерная модель лесного участка с очагом возгорания на основе математической полевой модели пожара, использующей уравнение Навье-Стокса, закон сохранения массы и импульса, 3D- и 2D-моделирование с помощью программ FDS, FarSite, Behave. Разработанные алгоритмы сценариев запуска для расчетов на кластерах в грид с использованием языка xhsl и языка описания объектов симулятора FDS позволили сократить время расчетов и обеспечить прогнозирование в режиме реального времени.

3. В результате создана информационная система моделирования чрезвычайных ситуаций в грид на примере лесных пожаров в АР Крым. Система оснащена удобным и многофункциональным веб-интерфейсом для работы. Веб-интерфейс успешно протестирован в грид-среде и применяется в гуманитарных и экологических исследованиях.

1. Weber R.O. Modelling fire spread through fuel beds. Progress in Energy and Combustion Science, 1991. — 17, 67. — P. 82.
2. Кузюрин Н.Н., Фомин С.А. Сложность комбинаторных алгоритмов. Курс лекций. — Долгопрудный: МФТИ, 2007. — 135 с.
3. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. — М.: Мир, 1990. — Т.1. — 384 с.
4. Храмов В.В., Судаков О.О., Кононов М.В. Перший Кримський експериментальний обчислювальний Grid-ресурс: створення і перші результати випробувань і експлуатації // Математичні машини і системи. — 2011. — № 1. — С. 103–111.
5. Кононов М.В., Судаков О.О., Храмов В.В., Скоропісов В.С. Особливості моделювання лісових пожеж на кластерах в Grid / Вісник КНУ. Сер. Фіз.-мат. науки. — 2011. — Вип. 2. — С. 185–192.
6. NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd et al. // Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. — Gaithersburg, Maryland, 2007. — 234 p.
7. AMGA: ARDA Metadata Catalogue Project. — <http://amga.web.cern.ch/amga/>.
8. LFC administration tutorial. — https://twiki.cern.ch/twiki/pub/LCG/LfcAdminGuide/LFC-Tier2-tutorial-15_06_2006.ppt.
9. Khramov V.V., Sudakov O.O. The first Crimean experimental computing grid-resource for research and simulation in the humanities // 9th International Conference ICAP'2009, 17–20 June 2009, Kyiv. — P. 105.
10. Sudakov O.O., Kononov M.V., Khramov V.V., Grigoryev P.Ye. Use of distributed computing in the monitoring of dependence of human state from the heliometeofactors // 10th International young scientists conference on applied physics, June, 17–20, Kyiv. — Kyiv: Shevchenko National University of Kyiv, 2010. — P. 223.
11. BEOWULF: A Parallel Workstation for Scientific Computation / T. Sterling, D. Bekler, D. Sayarese et al. // Proceedings of the 1995 International Conference on Parallel Processing, August 14–18, 1995, Urbana-Champaign, Illinois, USA. — 1995. — Vol. I: Architecture, CRC Press. — P. 11–14.
12. Бойко Ю.В., Зінов'єв М.Г., Свістунов С.Я., Судаков О.О. Український академічний Грід: створення і перші результати експлуатації // Математичні машини і системи. — 2008. — № 1. — С. 67–84.

13. Кононов М.В., Судаков О.О., Храмов В.В., Скорописов В.С. Особливості моделювання лісових пожег на кластерах в Grid / Вісник КНУ. Сер. Фіз.-мат. науки. — 2011. — Вип. 2. — С. 185–192.
14. *Sudakov O.O., Kononov M.V., Khramov V.V., Dtshpesh E.A.* Development and optimization effective web — user interface for cluster for modeling applications in the grid // XI International young scientists conference on applied physics, June,15–18, Kyiv. — Kyiv: Shevchenko National University of Kyiv, 2011. — P. 189–190.
15. P-GRADE Grid Portal. — <http://portal.p-grade.hu/>.
16. Lunarc Application Portal. — http://laportal.sourceforge.net/docs/users_guide.pdf.
17. "Applications on demand" as the exploitation of the Migrating Desktop / М. Курczyk, R. Lichwała, N. Meyer et al. // Future Generation Computer Systems. — 2005. — Vol. 21, Issue 1. — P. 37–44.
18. Архітектура веб-орієнтованої системи віртуальних лабораторій в Грід-інфраструктурі / А.О. Сальніков, Є.А. Слюсар, М.І. Анісімов та ін. // Інформаційні технології в освіті. — 2009. — № 4. — С. 31–39.
19. Храмов В.В., Судаков О.О., Кононов М.В. Перший Кримський експериментальний обчислювальний Grid-ресурс: створення і перші результати випробувань і експлуатації // Математичні машини і системи. — 2011. — № 1. — С. 103–111.
20. Certificate Managment Wizard User's guide. — <http://www.ngs.ac.uk/tools/certwizard>.
21. Лазарев И.В., Сухорослов О.В. Использование workflow-методологии для описания процесса распределенных вычислений // Труды ИСА РАН.— М.: КомКнига, 2005. — Т. 14. — С. 26–70.
22. Кобринский Н.Е., Трахтенброт Б.А. Введение в теорию конечных автоматов. — М.: Физматгиз, 1962. — 404 с.
23. Стивен Сандерсон ASP.NET MVC Framework с примерами на С# для профессионалов. — М.: Вильямс, 2009. — 557 с.
24. Крейн Д., Паскарелло Э., Джеймс Д. Ајах в действии. — М.: Вильямс, 2006. — 639 с.

Київський національний
 університет імені Тараса Шевченка
 Інститут кібернетики
 ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ

Получено 28.08.2012