

НАУКОЕМКИЙ ПРОГРАММНЫЙ WEB-ИНСТРУМЕНТАРИЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИИ УГОЛЬНОГО РЕГИОНА
А. М. Гудов, С. Ю. Завозкин, И. В. Григорьева, Л. В. Бондарева, Н. Н. Окулов

KNOWLEDGE-INTENSIVE SOFTWARE WEB-TOOLS FOR SOLVING THE PROBLEMS
OF THE COAL REGION ECOLOGY

A. M. Gudov, S. Yu. Zavozkin, I. V. Grigorieva, L. V. Bondareva, N. N. Okulov

Работа выполняется в рамках задания № 2014/64 на выполнение государственной работы «Организация проведения научных исследований».

Работа посвящена описанию прототипа информационно-вычислительного портала, создаваемого в Кемеровском государственном университете с целью предоставления доступа широкого круга инженерам, студентам, аспирантам и другим заинтересованным пользователям к решению прикладных задач экологии Кузбасса. В качестве элементов прототипа представлены: решение задачи движения примесей в затопленной шахте; виртуальная лаборатория по изучению параллельного программирования; система доступа к распределенным вычислительным ресурсам.

The paper is dedicated to the pilot system of the computer information portal that is being designed at Kemerovo State University in order to enable engineers, students, postgraduate students and other users to get an expanded access to solving applied environmental problems in Kuzbass. The following elements of the pilot system are presented: solution for the problem of grit motion in a flooded shaft; virtual laboratory of parallel programming, distributed computer resources access system.

Ключевые слова: информационно-вычислительный портал, математическое моделирование, метод сеток, виртуальная лаборатория, высокопроизводительные вычисления.

Keywords: computer information portal, mathematical modeling, net method, virtual laboratory, high performance computing.

Введение

Предприятия угольной промышленности оказывают существенное негативное влияние на все компоненты окружающей среды Кузбасса, вызывая нежелательное их изменение. Экологическая ситуация усугубляется высокой стоимостью природоохранных объектов, сложностью изыскания средств на финансирование, отсутствием в ряде случаев научно обоснованных рекомендаций по снижению отрицательного воздействия горных работ на окружающую среду и ликвидации последствий этого воздействия. Большое влияние разработка угольных месторождений оказывает на состояние водных ресурсов региона. Увеличивается количество сточных вод на предприятиях угольной промышленности, которые являются серьезным источником загрязнения водных ресурсов. Многие из входящих в состав сточных вод компоненты способны накапливаться в водоемах, аккумулироваться водными организмами, вызывая необратимые последствия в водной среде.

По сравнению с другими, метод очистки сточных вод в отработанных горных выработках затопленных угольных шахт позволяет значительно сократить затраты. В Кузбассе впервые в мировой практике данную методику опробовали на шахте «Кольчугинская» для очистки сточных вод углеобогащательной фабрики «Комсомолец». Предполагается, что закачанные в выработку жидкие промышленные отходы будут очищаться за счет отстаивания и разбавления фильтрующимися грунтовыми водами.

При всей экономической привлекательности применения такого метода очистки остается актуальной и важной проблема исследования и прогнозирования

вероятных сценариев развития протекающих внутри процессов. Так наиболее опасным возможным сценарием может стать «залповый выброс» накопленных примесей, когда будет наблюдаться даже кратковременное увеличение концентрации и объема примесей в откачиваемой жидкости. Причинами возникновения данного явления могут стать изменения внутренней структуры выработки из-за обрушения верхней кровли или слеживания накопившегося осадка, сезонное изменение гидрологического режима в регионе, и, как следствие, увеличение объема фильтрующихся грунтовых вод. Обводненная выработка представляет собой «черный ящик», поэтому реальные измерения каких-либо параметров возможны лишь на входе и выходе. Численное моделирование процесса очистки промышленных стоков является практически единственным инструментом позволяющим оценить воздействие такого проекта на экологию нашей области.

Зачастую созданные в процессе развития наукоемких технологий программные средства остаются либо в распоряжении разработчиков, либо собираются в проблемно-ориентированные пакеты и используются только узким кругом специалистов. Это обусловлено, прежде всего, тем, что программное обеспечение решает узкопрофессиональные задачи, является сложным в эксплуатации, постоянно требует доработки при изменении постановки решаемой задачи. Такое программное обеспечение является уникальным, лицензии на его использование обладают большой стоимостью (порядка 2500 \$ за процессор или 900 – 1500 \$ на пользователя). Современные информационные технологии позволяют существенно снизить стоимость проведения вычислительного эксперимента

и расширить круг пользователей за счет создания облачных вычислений и специализированных WEB-сервисов.

В Кемеровском государственном университете (КемГУ) реализуется проект, цель которого заключается в создании наукоемкого web-ориентированного программно-технологического комплекса для решения экологических задач угольного региона, доступного широкому кругу исследователей, управленцев, инженеров, студентов, аспирантов.

В рамках выполнения проекта решаются следующие задачи:

- создание математических моделей для решения прикладных экологических задач;
- проведение вычислительных экспериментов на базе центра коллективного пользования (ЦКП) по высокопроизводительным вычислениям;
- верификация результатов численных экспериментов на массиве статистических данных предприятий угольной промышленности Кемеровской области;
- разработка прикладного программного обеспечения на основе web-приложения (информационно-вычислительный портал);
- создание виртуальных лабораторных практикумов и методического обеспечения для проведения образовательного процесса на базе информационно-вычислительного портала;
- запуск в эксплуатацию вычислительного портала для сдачи в аренду созданных математических моделей, алгоритмов, прикладного программного обеспечения.

Таким образом, реализация проекта ведется по следующим основным направлениям:

- 1) создание математических моделей и программных компонентов для решения задач затопления шахт и газификации углей;

- 2) моделирование и реализация программно-технологической web-платформы для предоставления набора сервисов по выполнению функций информационно-вычислительного портала;

- 3) создание образовательной компоненты в виде виртуального лабораторного практикума по параллельному программированию;

- 4) организация доступа к собственному вычислительному ресурсу (ЦКП) и другим вычислительным ресурсам, предоставляемым конечному пользователю на сторонних площадках или в облаке.

Задача о затоплении шахты

В рамках выполнения задач по первому направлению построена многопараметрическая математическая модель, основные положения которой приводятся ниже.

Будем предполагать, что:

- 1) в отработанную горную выработку подаются промышленные стоки, содержащие только нерастворенные примеси с известными концентрациями;

- 2) через верхнюю кровлю в выработку поступают грунтовые воды, не содержащие нерастворенные примеси;

- 3) частицы примеси не влияют на течение, но оседают под действием силы тяжести и распространяются по выработке за счет диффузии и переноса вместе с потоком воды; осевшие примеси могут накапливаться и «затвердевать» (слеживаться), если на протяжении некоторого времени не сносятся потоками воды;

- 4) так как скорость движения жидкости в затопленной горной выработке мала, то боковые стенки не оказывают существенного влияния на осаждение и подъем примеси, поэтому будем рассматривать только двумерную модель.

Задача о течении и распространении растворенных примесей рассматривалась в работах [6 – 10].

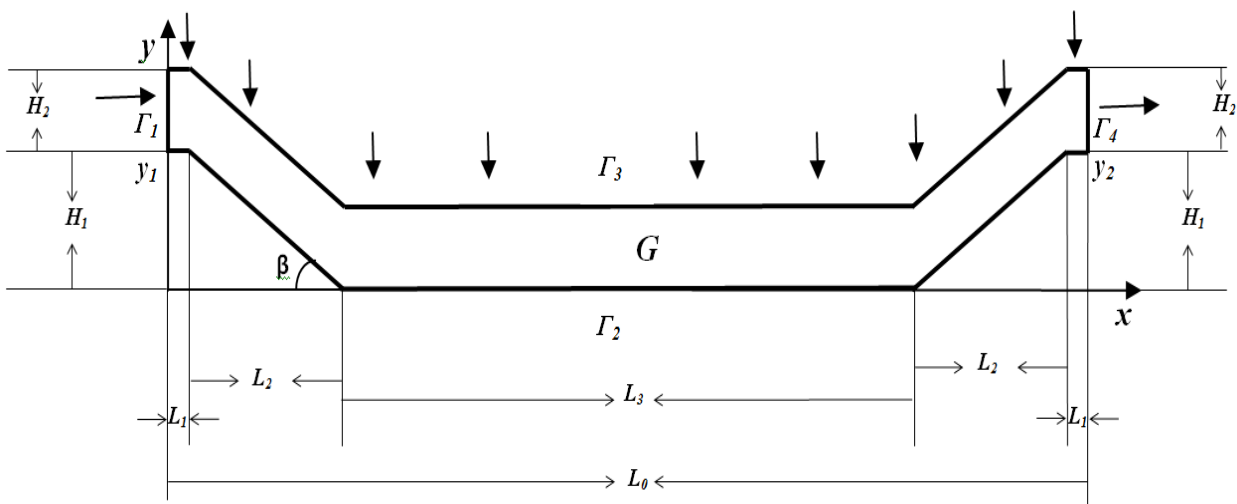


Рис. 1. Область решения для задачи об оседании примеси и слеживании осадка

Рассмотрим область решения G , характерной для затопленной горной выработки (рис. 1) с границей

$\partial G = \bigcup_i \Gamma_i$, $i = 1, \dots, 4$, где Γ_1, Γ_4 – входное и выходное

отверстия, соответственно, высоты H_2, Γ_2, Γ_3 – нижняя и верхняя границы, длины $2L_1 + 2L_2 + L_3$.

Считаем, что жидкость является однородной, вязкой и несжимаемой. Течение такой жидкости описывается безразмерной системой уравнений Навье – Стокса в переменных «функция тока – вихрь» [11].

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \Delta \omega; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega. \quad (2)$$

Для системы уравнений (1) – (2) ставится следующие начальная и краевая задачи:

$$u|_{t=0} = 0, \quad v|_{t=0} = 0;$$

$$\Gamma_1: u = u_0(t, x, y), \quad v = 0; \quad \Gamma_2: u = 0, \quad v = 0; \quad (3)$$

$$\Gamma_3: u = 0, \quad v = v_0(t, x, y);$$

$$\Gamma_4: u = u_1(t, x, y), \quad v = 0.$$

В (1) – (3) используются следующие обозначения:

$\vec{U} = (u(t, x, y), v(t, x, y))$ – вектор скорости, заданный своими компонентами u, v ;

$u_0(t), u_1(t), v_0(t)$ – известные функции, определенные на границе области решения ∂G ;

$\text{Re} = \frac{\tilde{u} L_0}{\nu}$ – число Рейнольдса;

\tilde{u} – характерная скорость, вычисляется как максимальная скорость входного потока;

L_0 – характерная длина;

ν – кинематическая вязкость;

Δ – оператор Лапласа.

Компоненты вектора скорости u, v связаны с вихрем ω и функцией тока ψ соотношениями:

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}, \quad u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Учитывая (3), зададим ω и ψ на ∂G следующим образом:

$$\omega|_{t=0} = 0, \quad \omega|_{\partial G} = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{\partial G}; \quad (4)$$

$$\psi|_{t=0} = 0, \quad \bigcup_i \Gamma_i: \psi = \psi_i(t, x, y);$$

где $\psi_i(t, x, y)$ – известные функции, которые выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие $\int_{\partial G} \frac{\partial \psi}{\partial n} = 0$ [12], n – направление внешней нормали.

Для моделирования распространения примеси используется уравнение переноса [2], учитывающее воздействие силы тяжести и диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v - v_s) \frac{\partial C}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$C(x, y, 0) = C_0(x, y);$$

$$\Gamma_1: C = C_1(x, y); \quad \Gamma_2: D \frac{\partial C}{\partial y} + v_s C = C_D - C_{us}; \quad (6)$$

$$\Gamma_3: C = C_1(x, y); \quad \Gamma_4: \frac{\partial C}{\partial y} = 0.$$

Здесь $C_0(x, y), C_1(x, y), C_2(x, y)$ – заданные функции, определенные на границе ∂G ;

C – концентрация оседающей примеси;

v_s – скорость оседания примеси, характеризует массу оседающих частиц;

D – коэффициент диффузии.

На нижней границе области решения Γ_2 определяется поток «тяжелой» примеси, равный разности расходов отрывающихся от дна частиц примеси C_D (отвечает за размыв осадка) и оседающих частиц C_{us} (определяет аккумуляцию примеси на дне).

Процесс отложения примесей моделируется так: если на протяжении времени T^* в области решения вблизи границы, концентрация осевшей примеси превышает пороговое значение C^* , то будем считать, что данная примесь перестаетноситься течением, и граница области решения переносится в соответствии с концентрацией C^* и временем T^* .

Поставленные дифференциальные задачи решаются методом сеток. Исходные дифференциальные краевые задачи аппроксимируются обычным образом на разностной, согласованной с границей, неравномерной сетке с шагом h_x, h_y по пространственным переменным и шагом τ по времени [13]. Уравнение переноса вихря и уравнение переноса примеси решаются неявной схемой стабилизирующих поправок с противопоточной аппроксимацией конвективных членов [14]. Разностное уравнение Пуассона для функции тока решается методом минимальных невязок неполной аппроксимации с параметром – матрицей с использованием покомпонентной и глобальной оптимизации итерационных параметров [5].

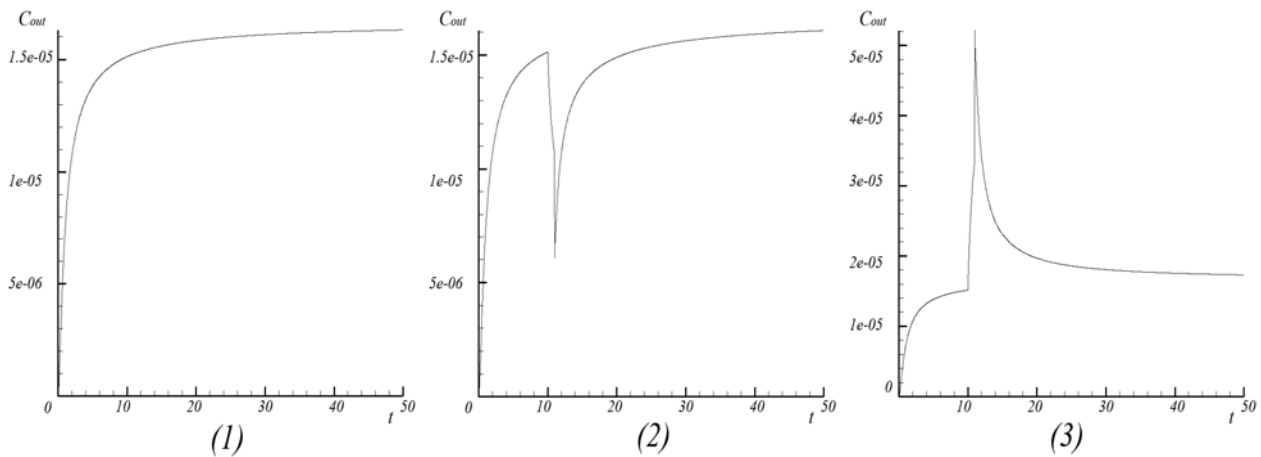


Рис. 2. График изменения количества примеси, выходящей из области решения (1) поток грунтовых вод постоянен; (2) поток грунтовых вод уменьшается в 4 раза в интервале времени $t \in (10, 11)$; (3) модель «залпового выброса» поток грунтовых вод увеличивается в 4 раза в интервале времени $t \in (10, 11)$

Предполагается, что в начальный момент времени $t = 0$ в области решения нет примесей, и через входную границу в область начинается подача загрязненной жидкости. Через верхнюю кровлю фильтруются «чистые» грунтовые воды, а на выходной границе проводится откачка жидкости.

Основной характеристикой, показывающей насколько "эффективно" происходит процесс осаждения и накопления примеси является объем примесей, выходящих из области решения с потоком откачиваемой жидкости C_{out} . Когда поток поступающих в область грунтовых вод V_{in} постоянен, количество выходящей примеси равномерно увеличивается до некоторого уровня (рис. 2.1).

Но в случае любых колебаний V_{in} показатель C_{out} может существенно изменяться. При этом уменьшение объема поступающей жидкости не приводит к опасным последствиям (Рис. 2.2), количество «выброса» уменьшается соответствующим образом и с восстановлением прежнего объема потока равномерно увеличивается.

Самым опасным развитием процессов осаждения и накопления илов является возможность так называемого «залпового выброса». Такая картина может наблюдаться, если, например, произойдет даже кратковременное увеличения объема фильтруемых грунтовых вод (рис. 2.3). Как видно из рисунка, в интервале времени от $t = 10$ до $t = 11$ вместе с увеличением V_{in} в 4 раза происходит резкое увеличение количества примеси на выходе из области решения. До момента времени $t = 10$ происходит равномерное увеличение величины C_{out} , а после $t = 11$ ее показатели уменьшаются до значения, полученного для аналогичной задачи с постоянным объемом фильтрующихся грунтовых вод (рис. 2.1).

Предложенная модель позволяет исследовать процессы течения и распространения, оседания нерастворенных примесей, с возможностью изменения формы выработки из-за накопления осадка. Моделирование осуществляется с учетом внутренних свойств жидкости, оперируя конечным набором параметров (ско-

рость оседания, диффузия, интенсивность накопления и др.). Эмпирически подбирая входные параметры задачи, можно моделировать примеси, обладающие разными свойствами. Модель позволяет прогнозировать момент «запирания» канала тока жидкости и возможность «залпового выброса».

Информационно-вычислительный портал

В рамках реализации программно-технологической web-платформы создается специализированный информационно-вычислительный портал, который должен обладать следующими основными функциональными возможностями:

- предоставление сервиса для решения сложных наукоемких задач экологической направленности для угольных предприятий региона;
- использование вычислительного кластера для проведения вычислительных экспериментов на базе ЦКП КемГУ;
- предоставление картографического сервиса для наглядного представления полученных результатов;
- предоставление сервисов для отладки параллельных программ с использованием эмуляции вычислительного кластера;
- предоставление виртуального лабораторного практикума для образовательных целей;
- предоставление сервисов по учету используемых вычислительных ресурсов для целей обеспечения аренды разработанного программного обеспечения.

Работу с порталом можно осуществлять двумя способами.

1. Если пользователь не обладает достаточными знаниями и навыками специфики работы с порталом, он может сформулировать запрос в общем виде в соответствии с предложенным набором правил (рис. 3, блок 1). Если запрос требует уточнения, у пользователя запрашивается дополнительная информация (Рис. 3, блок 2). Как только запрос конкретизирован, поль-

зователю предлагается доступное решение (или набор решений) задачи в виде действий, которые ему необходимо выполнить.

2. В случае, если пользователь знает конкретно что ему нужно на портале, он просто выбирает действие из списка возможных.

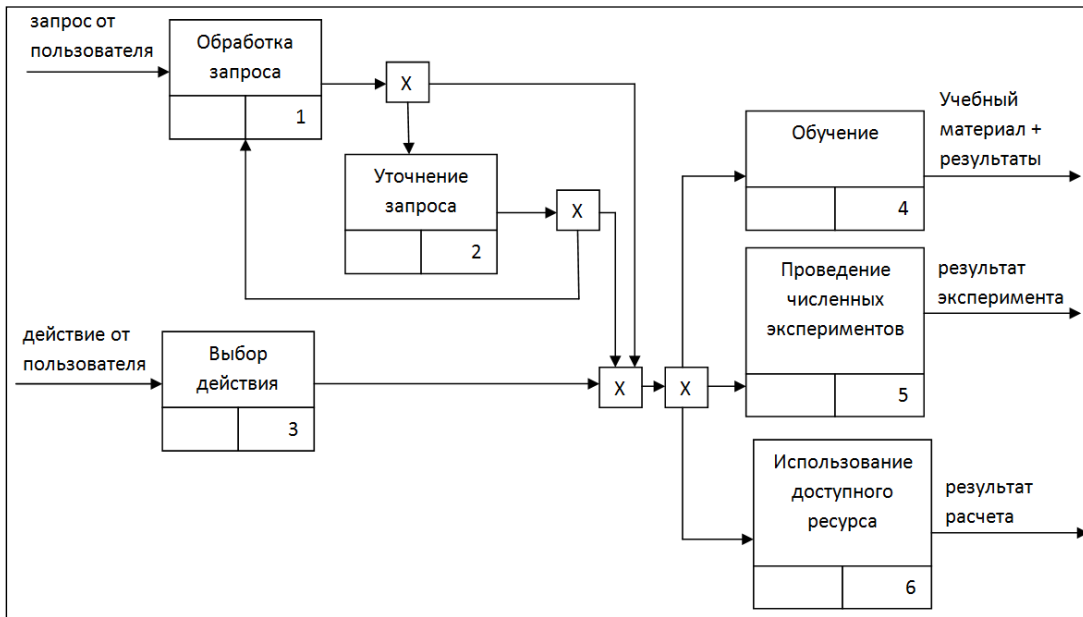


Рис. 3. Процесс использования информационно-вычислительного портала

Портал предоставляет три крупных блока функций:

- 1) для образовательных целей (Рис. 3, блок 4);
- 2) для решения наукоемких задач и проведения численных экспериментов с помощью специального инструментария (Рис. 3, блок 5);
- 3) для выполнения собственного программного кода на определенном вычислительном ресурсе (Рис. 3, блок 6).

Для работы с системой пользователь использует браузер (Рис. 4), который, взаимодействуя с системой посредством web-сервера, выполняет функции отображения данных [1]. Интерфейс пользователя обеспечивает ввод в систему новых объектов (исходные файлы расчетных программ, файлы начальных дан-

ных и пр.) и получение результатов расчетов в текстовом и/или графическом виде.

База данных содержит файлы пользователя и метаинформацию, необходимую для организации проведения расчетов (база пользователей, вычислительных ресурсов, журналы событий и т. п.). Менеджер вычислительных ресурсов (МВР) выполняет основную функцию системы – запуск программ на удаленных вычислительных ресурсах. МВР и сервер приложений занимают ключевое место в системе и обеспечивают связь между клиентской частью системы и вычислительными ресурсами. МВР взаимодействует с удаленными вычислительными ресурсами, отслеживает их состояние, обеспечивает двустороннюю передачу файлов и команд.

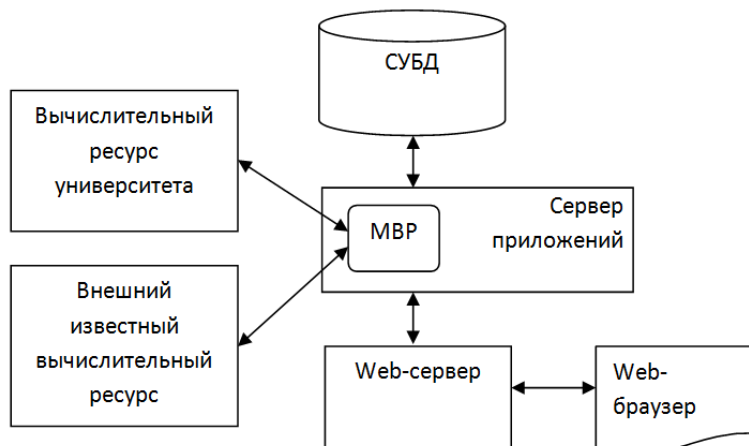


Рис. 4. Архитектура информационно-вычислительного портала

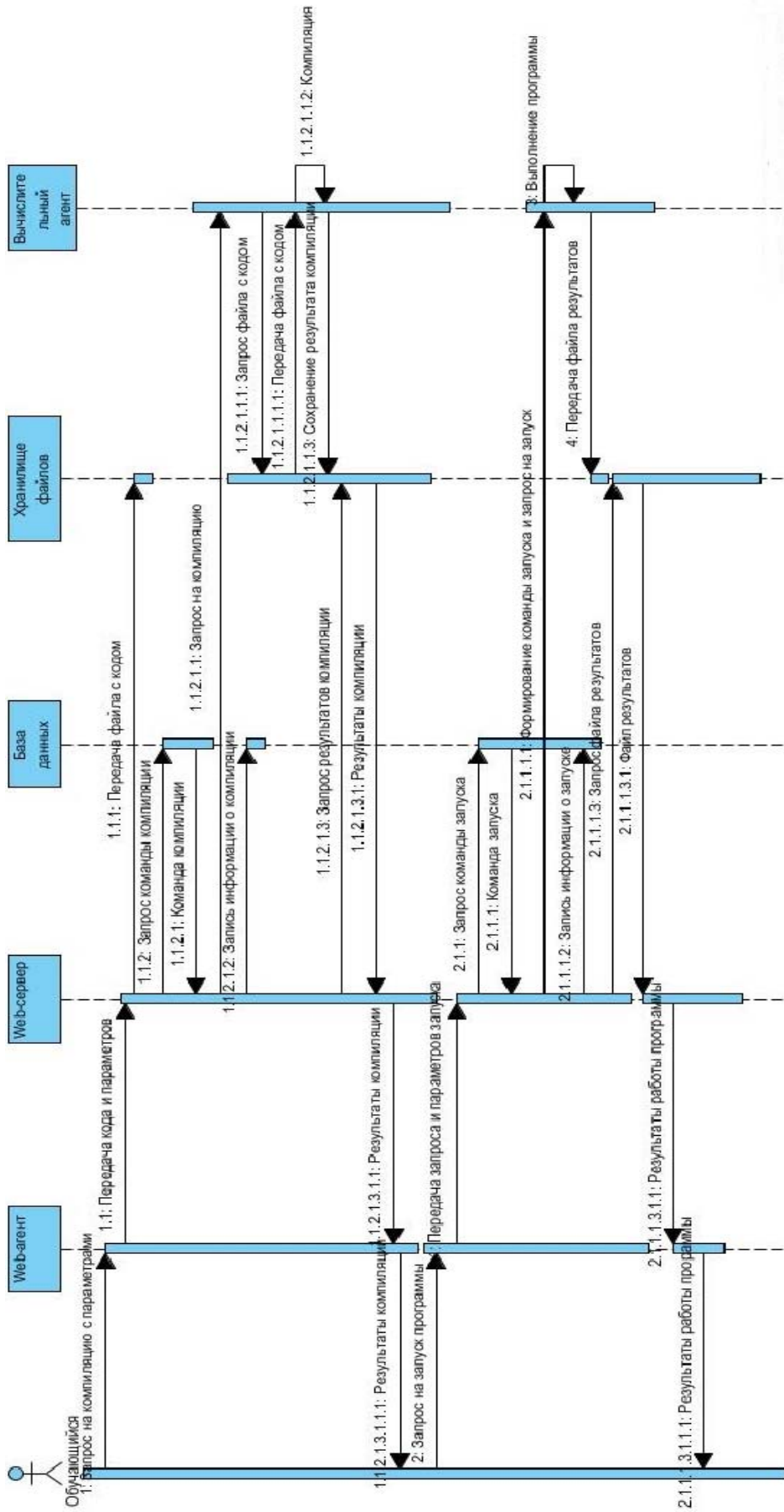


Рис. 5. Диаграмма последовательности действий компиляции и запуска программ

Для визуализации и пространственного представления полученных результатов в рамках информационно-вычислительного портала разрабатывается модуль, предоставляющий картографический сервис, который позволит сформировать расчетную область задачи, основываясь на картографическом описании местности. Это в значительной степени упростит начальный этап моделирования и позволит получать решения, соответствующие реальным условиям задач, у которых расчетная область представляет собой поверхность земли с расположенными на ней объектами.

В качестве образовательной компоненты реализуется модуль виртуальной лаборатории по параллельному программированию. Модуль «Виртуальный лабораторный практикум по параллельным алгоритмам» является образовательным ресурсом, предоставляющим теоретический материал и экспериментальную площадку для реализации параллельных алгоритмов в рамках одной системы.

Модуль предоставляет полнотекстовый теоретический материал, структурированный по главам, с иллюстративным материалом и анимационными роликами по темам: реализация параллельных алгоритмов для кластеров с общей и распределенной оперативной памятью с использованием библиотеки MPI и директив OpenMP (матрично-векторные операции, точные и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений, сортировки внутренних массивов, генетические алгоритмы); вопросы сложности и теоретической оценки параллельных алгоритмов. Реализована возможность организации обсуждения теоретического материала.

Единый порядок доступа ко всем вычислительным ресурсам обеспечивает единый унифицированный подход к работе со всеми доступными вычислительными ресурсами. Пользователь, выбрав ресурс и средства реализации (язык программирования, средства распараллеливания, компилятор), реализует код программы во фреймворке, предложенной системой [4]. Для написанного кода пользователь может создать выполняемый файл или получить список ошибок компиляции.

В настоящее время модуль обеспечивает доступ к параллельным вычислительным ресурсам ЦКП КемГУ; применяется при разработке параллельных программ на языке C/C++ для систем с распределенной памятью с использованием библиотеки MPI, систем с общей памятью с использованием директив OpenMP, а так же для гибридных систем с использованием MPI и OpenMP.

Организация доступа к вычислительным ресурсам реализуется в соответствии со следующими основными принципами.

1. Унификация работы с вычислительными ресурсами.
2. Предоставление вычислительных ресурсов, адекватных требованиям пользователя. Организация гибкой системы распределения пользовательских задач по вычислительным ресурсам с учетом используемых средств реализации программ и средств распараллеливания, запрошенного объема оперативной

памяти, с учетом приоритета пользователей (исследователи имеют больший приоритет, чем обучающиеся).

3. Прозрачность системы – предоставление информации пользователю о состоянии доступных вычислительных ресурсов и расчетов. Пользователь может видеть состояние своих расчетов, положение очереди расчетов, отменять вычисления, получать результаты вычислений.

4. Организации доступа в удаленном режиме посредством предоставления web-интерфейса.

5. Нетребовательность к уровню знания пользователем команд операционных систем (ОС) используемых вычислительных ресурсов, компиляторов и пр.

6. Поддержка различных сред запуска (компиляторы, ОС, технологии параллельного программирования (MPI, OpenMP, UPC и др.)).

7. Возможность отложенного запуска заданий, функции пакетной обработки.

8. Простота подключения и использования новых вычислительных ресурсов (при наличии соответствующего агента).

9. Предоставление пользователю информации в зависимости от его предпочтений, а также прав доступа, определяемых набором ролей пользователя (основывается на механизмах аутентификации и авторизации).

Таким образом, данная система сочетает в себе возможности удаленного доступа с web-интерфейсом пользователя, пакетной обработки заданий и мониторинга состояния вычислительных ресурсов [3].

Заключение

В результате выполнения проекта разработана многопараметрическая модель гидродинамики несжимаемой жидкости. Созданы и опробованы соответствующие алгоритмы. Предложены принципы создания информационно-вычислительного портала на основе сервис ориентированной архитектуры. Реализован прототип web-ориентированного программно-технологического комплекса в составе нескольких модулей: программный компонент расчета задачи движения примесей в затопленной шахте; виртуальная лаборатория по параллельным вычислениям; набор компонент для взаимодействия с распределенными вычислительными ресурсами.

Практическая значимость работы заключается в том, что прототип программно-технологического комплекса будет использован для выполнения вычислительных экспериментов и обучению студентов и аспирантов технологиям высокопроизводительных вычислений.

Планируется, что созданный наукоемкий высокотехнологический продукт привлечет дополнительные инвестиции для исследования новых задач экологии региона.

Литература

1. Афанасьев К. Е., Окулов Н. Н., Стуколов С. В. Разработка информационного портала параллельных вычислений для проведения научных и инженерных расчетов в режиме on-line // Материалы пятой сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям (под ред. проф. А. В. Старченко). Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010. С. 10 – 14.
2. Белолипецкий В. М., Костюк В. Ю., Шокин Ю. И. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск: Инфолио-пресс, 1997.
3. Власенко А. Ю., Окулов Н. Н. Система автоматического контроля корректности и виртуальная лаборатория как компоненты информационно-вычислительного портала // Научно-технический вестник Поволжья. № 6. Казань, 2011. 267 с.
4. Григорьева И. В., Демидов А. В. Система удаленного доступа и управления распределенными вычислительными ресурсами // Вычислительные технологии. Т. 13. Спец. выпуск 5. 2008. С. 28 – 32.
5. Захаров Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики. Новосибирск: Наука, 2004. 239 с.
6. Захаров Ю. Н., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Чирюкина А. В. Моделирование распространения загрязняющих веществ в затопленных горных выработках // Вестник НГУ. 2009. Т. 7. Вып. 4. С. 66 – 72. (Серия: Информационные технологии).
7. Захаров Ю. Н., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Чирюкина А. В. Моделирование распространения примесей в затопленных горных выработках: монография. Кемерово, 2013. 96 с.
8. Захаров Ю. Н., Счастливцев Е. Л., Чирюкина А. В. Течение идеальной жидкости в закрытых водоемах // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. Спец. выпуск 2. С. 21 – 27.
9. Захаров Ю. Н., Чирюкина А. В. Итерационный метод определения течения стратифицированной жидкости в проточном водоеме // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: материалы V Всероссийской научной конференции. 2006. С. 511 – 512.
10. Захаров Ю. Н., Чирюкина А. В. Течение жидкости в подземных полостях с учетом фильтрации через стенки // Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии: сборник научных трудов. 2007. С. 305 – 309.
11. Лойцянский Л. В. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987.
12. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980.
13. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 592 с.
14. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. Новосибирск: Наука, 1967.

Информация об авторах:

Гудов Александр Михайлович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЮНЕСКО по новым информационным технологиям КемГУ, 8(3842) 546-469, good@kemsu.ru.

Alexander M. Gudov – Doctor of Technical Science, Associate Professor, Head the UNESCO Chair for New Information Technologies, Kemerovo State University.

Завозкин Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО по новым информационным технологиям КемГУ, 8(3842) 546-469, shade@kemsu.ru.

Sergey Yu. Zavozkin – Candidate of Technical Science, Assistant Professor at the UNESCO Chair for New Information Technologies, Kemerovo State University.

Григорьева Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО по новым информационным технологиям КемГУ, 8(3842) 546-469, igriva@list.ru.

Irina V. Grigorieva – Candidate of Physics and Mathematics, Assistant Professor at the UNESCO Chair for New Information Technologies, Kemerovo State University.

Бондарева Любовь Васильевна – ассистент кафедры вычислительной математики КемГУ, l.v.kemerova@mail.ru.

Lyubov V. Bondareva – Assistant Lecturer at the UNESCO Chair for New Information Technologies Kemerovo State University.

Окулов Николай Николаевич – ассистент кафедры ЮНЕСКО по новым информационным технологиям КемГУ, 8(3842) 546-469, onick7@yandex.ru.

Nikolay N. Okulov – Assistant Lecturer at the UNESCO Chair for New Information Technologies Kemerovo State University.

Статья поступила в редколлегию 02.02.2015 г.