

ИНФРАСТРУКТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРАКТИКУМОВ ДЛЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Болгова Е. В., Богачева А. В., Духанов А. В., Князьков К. В., Бухановский А. В.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия (197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49), e-mail: dukhanov@niuitmo.com

Предлагается на основе концепции iPSE подход к организации инфраструктуры виртуальных лабораторных практикумов (ВЛП), используемых в междисциплинарных учебных курсах и программах, позволяющий нивелировать эффекты эрозии знаний, иллюзии интерактивности и информационной избыточности. В работе сформулированы требования к обеспечивающей инфраструктуре ВЛП, которые основываются на композитных приложениях, использующих несколько прикладных вычислительных пакетов. В требованиях учтены современные технологии разработки и реализации удалённых сервисов и информационная безопасность. Информационная модель ВЛП сформулирована в виде направленного ациклического графа. Полученная модель интерпретирована в разрезе учебного процесса. Реализация подхода выполнена с применением платформы CLAVIRE, которая предоставляет несколько классов пользовательских интерфейсов. Приведены примеры реализации ВЛП в области нанотехнологий и моделирования в науках об обществе и человеке.

Ключевые слова: облачные вычисления, концепция iPSE, виртуальный лабораторный практикум, композитное приложение, поток работ, информационная модель, платформа CLAVIRE, междисциплинарные образовательные программы.

VIRTUAL LABORATORY WORKSHOPS INFRASTRUCTURE FOR MULTIDISCIPLINARY EDUCATIONAL PROGRAMS USING THE CONCEPT OF CLOUD COMPUTING

Bolgova E. V., Bogacheva A. V., Dukhanov A. V., Knyazkov K. V., Boukhanovsky A. V.

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia (197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr., d.49), e-mail: dukhanov@niuitmo.com

This paper describes the iPSE approach to the organization of the virtual laboratory workshops (VLW) infrastructure used in multidisciplinary educational courses and. This approach permits to neutralize the effects of the knowledge erosion, the illusion of interactivity and information redundancy. The paper offers the wording of the requirements of providing infrastructure VLW, which is based on the composite applications with the use of several computing packages. The requirements include the advanced technologies of development and implementation of remote services and information security. The VLW information model is formulated as a directed acyclic graph. This model is interpreted in the context of the educational process. Realization of the approach is performed with the application of the platform CLAVIRE, which provides the several classes of users' interfaces. There are presented the VLW examples in the fields of nanotechnology and modeling in social and human sciences.

Key words: cloud computing, concept of iPSE, virtual laboratory workshop, composite application, workflow, information model, platform CLAVIRE, multidisciplinary educational program.

Введение. Информационная революция по Д. Беллу [1] существенно повлияла на эволюцию методологических основ образовательных процессов. В частности, использование современных информационно-коммуникационных технологий обеспечивает реализацию дистанционного обучения, позволяет удаленно использовать лабораторное оборудование или эмулировать его в рамках виртуального лабораторного практикума (ВЛП), а также помогать оценивать усвоение знаний и компетенций [2]. Вместе с тем внедрение информационных технологий в образование порождает ряд негативных явлений, в том числе эрозию знаний,

иллюзию интерактивности и информационную избыточность [3]. Эффект эрозии знаний возникает, когда учащийся может получить требуемый результат из готовых «полуфабрикатов», не вникая в их устройство, что приводит к разрыву между знанием и опытом познания. Иллюзия интерактивности возникает за счет использования упрощенных (шаблонных) форм дистанционного общения участников, не отражающих в полной мере реальные исследовательские процессы. Информационная избыточность появляется в результате неконтролируемой конкуренции различных образовательных ресурсов, вследствие которой обучаемый часто не может определиться с выбором необходимого источника. Это в целом отрицательно сказывается на системности отдельных курсов и образовательных программ, что особенно заметно в междисциплинарных курсах и программах, число которых в последние годы неуклонно увеличивается в связи с общими тенденциями развития инструментария научного познания [4]. Потому в настоящее время актуальна задача создания методов и технологий автоматизации образовательных процессов, нивелирующих перечисленные негативные аспекты и одновременно унифицирующих принципы представления знаний с обеспечением междисциплинарных связей. Несмотря на то, что для традиционных видов образовательных ресурсов (например, электронных конспектов лекций) обеспечение данных механизмов является технической задачей (см., например, [5]), для ВЛП, реализуемых на основе современных методов компьютерного моделирования, проблема унификации междисциплинарных связей остается открытой. Настоящая статья посвящена вопросам развития концептуальных основ и практических подходов к созданию междисциплинарных ВЛП в рамках парадигмы «электронной науки» (eScience) [6] на основе концепции облачных вычислений.

Характеристики инфраструктуры междисциплинарных ВЛП. Современный ВЛП представляет собой инструментарий распределенных вычислений для выполнения научных исследований и образовательной деятельности, позволяющий консолидировать вычислительные и программные ресурсы с целью решения междисциплинарных задач. Как следствие, в соответствии с общей постановкой [4] это выдвигает следующие требования к обеспечивающей инфраструктуре.

1) Поддержка исполнения композитных приложений (КП), состоящих из отдельных вычислительных сервисов распределенной среды, объединенных в целях решения общей задачи. Данная технология является основополагающей для междисциплинарных исследований, поскольку обеспечивает преемственность с созданными ранее предметными разработками, в силу того, что в рамках ВЛП КП komponуется из апробированных прикладных пакетов. Основное преимущество модели КП перед интегрированными приложениями (в которых, как в «черном ящике», изначально заложен механизм решения

междисциплинарной задачи) состоит в том, что структура расчётов, характеризующих каждый из этапов задачи, является открытой. Такое преимущество позволяет устранить эффект эрозии знаний.

2) Ориентация на технологии удаленного взаимодействия с пользователем через web-браузер, без использования специализированных клиентских приложений, в рамках модели SaaS или AaaS облачных вычислений. Применение облачной парадигмы обусловлено не только ресурсными преимуществами, но и разнообразием программного обеспечения для решения междисциплинарных задач. Такое разнообразие усложняет процессы настройки и сопровождения соответствующего программного обеспечения. При этом необходимо обеспечение *проблемно-ориентированных интерфейсов* КП, отражающих не только порядок его использования в рамках конкретного ВЛП (по принципу «входной файл – выходной файл»), но и весь процесс решения задачи с возможностью контроля промежуточных результатов и поддержки всего цикла проведения ВЛП в рамках виртуального рабочего пространства пользователя. Таким образом возможно нивелировать эффекты иллюзии интерактивности.

3) Обеспечение интеллектуальной поддержки пользователей как при выполнении ВЛП, так и в ходе обучения на его основе, необходимо, поскольку самостоятельное освоение разнообразных пакетов в различных предметных областях для большинства пользователей затруднено (в частности, это требует использования сторонних образовательных ресурсов, что неизбежно стимулирует развитие информационной избыточности). Потому задача интеллектуальной поддержки состоит в аннотировании сервисов КП, выработке рекомендаций по их объединению в процессе проектирования КП, а также при интерпретации и проверке корректности результатов. При этом механизм интеллектуальной поддержки должен обеспечивать не только выработку рекомендаций, но и анализ возможных альтернатив с генерацией пояснений для пользователя, чем обусловлен данный выбор. Таким образом, регулирование поступления информации к пользователю снимает проблему информационной избыточности.

4) Обеспечение информационной безопасности ВЛП в рамках модели системы с открытым контуром (для которой характеристики и местонахождение потенциальных пользователей не определены). При этом важно обеспечить защиту от легитимного пользователя, который имеет право доступа к ресурсам ВЛП, но использует их не по назначению (например, для коммерческих расчетов или хранения данных из сомнительного источника). В настоящее время основной мерой защиты является изначальная редукция функций и способов использования ВЛП, сводящая его к набору упрощенных шаблонов.

Такой подход, однако, неизбежно приводит к увеличению эрозии знаний и иллюзии интерактивности, что ограничивает его применимость.

5) Возможность эффективного совокупного использования ресурсов существующих суперкомпьютеров, Грид-сред и сред облачных вычислений, поскольку современные пакеты для научных расчетов в ряде случаев предъявляют жесткие требования к аппаратно-программному обеспечению. Как следствие, в рамках одного междисциплинарного КП необходимо объединять несколько вычислительных ресурсов, в том числе принадлежащих другим участникам распределенной вычислительной среды. При этом в ходе выполнения ВЛП должны быть обеспечены максимальная изоляция пользователя от уровня реальных вычислительных ресурсов, а также автоматизированный выбор ресурсов и сценария исполнения приложения исходя из внешних пользовательских требований (минимизация стоимости или времени расчета, доступ к уникальным сервисам и пр.).

б) Поддержка «горячего» подключения в ВЛП новых прикладных пакетов и вычислительных ресурсов с минимальными усилиями со стороны их разработчиков или владельцев. Данная мера обеспечивает не только открытость, переносимость и масштабируемость ВЛП, но и позволяет отчасти решить проблему информационной избыточности: сторонние прикладные пакеты, войдя в состав ВЛП, перестают рассматриваться как конкурирующий ресурс и аннотируются общей системой интеллектуальной поддержки. Однако реализация механизма горячего подключения требует развития соответствующих методов унифицированных описаний ресурсов и сервисов для решения междисциплинарных задач.

Информационная модель междисциплинарных ВЛП. Для обеспечения перечисленных выше требований к инфраструктуре ВЛП требуется развитие методической составляющей организации учебного процесса с использованием КП. Наиболее распространенным подходом к представлению КП является формализм *потока работ*, или *workflow* (WF), который позволяет описать связи между отдельными операциями в распределенной среде в виде ориентированного графа.

В целом WF-представление может рассматриваться как основа для формализации процесса изучения междисциплинарных явлений, на основе которого может быть построен весь цикл обучения в рамках выполнения ВЛП. Если представить WF в форме модели направленного ациклического графа (DAG), то его узлами будут являться блоки обработки данных с входными и выходными параметрами, а дугами – зависимости между узлами. Блоком может быть, например, запуск пакета, процедура, блок варьирования параметров, условное ветвление, цикл. Каждый блок композитного приложения представляется кортежем вида $\langle Ins, P, Outs, F \rangle$, где $Ins = \{I_i : i = 0..n, I_i \in Id\}$ – множество идентификаторов входных

параметров блока, $O_{outs} = \{O_i : i = 0..m, O_i \in Id\}$ – множество идентификаторов выходных параметров блока (Id – множество всех идентификаторов параметров), $P : Type(I_0) \times \dots \times Type(I_n) \rightarrow \{true, false\}$ – предикат, определяющий попадание переданного набора входных значений в область допустимых для пакета (т. е. проверяющий корректность), $Type : Id \rightarrow B$ – оператор, который определяет тип идентификатора, F – функция, переводящая переданные входные значения в выходные:

$$F : \{x : (x \in Type(I_0) \times \dots \times Type(I_n)) \wedge P(x)\} \rightarrow Type(O_0) \times \dots \times Type(O_m). \quad (1)$$

Между блоками могут быть заданы зависимости двух типов: по данным и по управлению. Зависимость по данным соединяет выходной параметр одного блока с входным другого, при этом неявно также задается порядок исполнения блоков. Зависимость по управлению явно задает порядок исполнения блоков, на ее основе строятся управляющие конструкции: условие, цикл, блок варьирования параметров. В целом КП – это кортеж $\langle Ins^{wf}, Outs^{wf}, N, D, C \rangle$, где $Ins^{wf} = \{I_i \mid i = 0..n, I_i \in Id\}$ – множество идентификаторов входных параметров WF, $Outs^{wf} = \{O_i \mid i = 0..m, O_i \in Id\}$ – множество идентификаторов выходных параметров WF, $N = \{N_i \mid N_i : Node, i = 0..k\}$ – множество узлов WF (здесь $Node$ – узел WF), D – множество зависимостей по данным, C – множество зависимостей по управлению. В рамках предлагаемой модели зависимость по управлению – это двойка вида $\langle Child^C, Parent^C \rangle$, $Child^C \in N$ – зависимый узел, а $Parent^C \in N$ – узел, от которого $Child^C$ зависит, при этом $Child^C \neq Parent^C$. Зависимость по данным – это тройка вида $\langle Child^D, Parents^D, F_{conv} \rangle$, где $Child^D \in \bigcup_{N_i \in N} N_i.Ins \cup Outs^{wf}$ – зависимый узел, $Parents^D \subseteq \bigcup_{N_i \in N} N_i.Outs \cup Ins^{wf}$ – множество узлов, от которых $Child^D$ зависит, F_{conv} – функция конвертации данных. Зависимость по данным устанавливается между каждым (одним) входным параметром и несколькими выходными:

$$F_{conv} : Type(Parent_0^D) \times \dots \times Type(Parent_z^D) \rightarrow Type(Child^D), z = |Parents^D|. \quad (2)$$

Для всего WF или для каждого из его блоков может быть введена функция интерпретации *interpretation*, позволяющая преобразовать набор входных данных в набор выходных:

$$Interpretation(WF) : Type(I_1) \times \dots \times Type(I_n) \rightarrow Type(O_1) \times \dots \times Type(O_m). \quad (3)$$

Выражения (1)–(3) могут использоваться как в прямой, так и в обратной форме для описания информационных процессов, происходящих при выполнении ВЛП. В частности, в прямой форме они воспроизводят действия пользователя при выборе и настройке отдельных

прикладных пакетов (1), их объединении в КП (2), а также запуске и исполнении всего КП в распределенной среде (3). Обратные зависимости могут интерпретироваться как критерии проверки действий обучаемого и успешности прохождения этапов выполнения ВЛП.

На основе модели (1)–(3) можно определить три подхода к использованию междисциплинарных ВЛП для развития составляющих компетенций.

1) Функция интерпретации (3) применяется к WF в целом; при этом предполагается, что КП в форме WF ранее создано и отлажено; обучаемый получает непосредственный доступ к нему без возможности изменения внутренней структуры в процессе выполнения ВЛП. Такой подход с использованием интегрированного ВЛП с доступом к удаленно выполняемым прикладным пакетам применяется для подготовки специалистов в предметных областях, с наследуемой проблемой эрозии знаний. Преимущество подхода – возможность «бесшовного» объединения пакетов в составе КП, что позволяет расширить круг решаемых задач и состав виртуальных лабораторных работ на основе одних и тех же прикладных пакетов и вычислительных ресурсов.

2) Функции (1)–(3) последовательно применяются к отдельным блокам WF – прикладным пакетам, от начала – к концу. В этом случае обучаемый имеет возможность пошагово исследовать процессы, происходящие в «междисциплинарной» системе, анализируя выходные данные каждого из пакетов и интерпретируя их влияние на результаты последующих вычислений. Данный режим работы является предпочтительным для ВЛП, поскольку позволяет воспроизвести «осязаемые» связи между объектами исследования и их составляющими.

3) Рассматривается только функция интерпретации (1) независимо для каждого из содержательных блоков WF. Этот подход ориентирован на обучение применению отдельных прикладных пакетов, включая подготовку входных данных, запуск на исполнение, визуализацию и интерпретацию результатов расчетов. Его цель состоит не столько в изучении междисциплинарных явлений, сколько в дополнении компетенций навыками использования прикладных пакетов, характерных для той или иной предметной области.

В качестве примера на рис. 1 приведен пример WF для междисциплинарного КП прогнозирования критических ситуаций, связанных с террористическими действиями в условиях несанкционированных флешмоб-акций, организованных с использованием социальных сетей. На рис. 1(а) приведена общая структура задачи. На первом шаге необходимо по вероятностным характеристикам в соответствии с многомерным законом степеней вершин сгенерировать модельную сеть, на основе которой исследуется распространение информации (оповещение об акции). Для того чтобы оценить неопределенность прогноза распространения информации, используется бутстрепирование –

формируется выборка на основе текущей сети с удалением части случайно выбранных узлов. Далее по каждому элементу выборки моделируется процесс распространения информации в сети с целью определения интервальной оценки числа оповещенных (оценка сверху для числа участников социальной акции). Далее по характерным статистическим сценариям (минимальное, максимальное, среднее значение числа участников) выполняется анализ картины паники и эвакуации. В целом такое КП требует сопряжения пяти прикладных пакетов с различной функциональностью и интерфейсами (рис. 1(б)). Из рис. 1 видно, что совместное применение функций (1)–(3) позволяет в ходе ВЛП наблюдать подготовку и развитие флешмоб-акции, а также ее результат – динамику толпы во время паники. Напротив, использование функции (1) обеспечивает исследование только характеристик паники в зависимости от вероятностных характеристик структуры социальной сети; все динамические аспекты, связанные с оповещением участников, опускаются.

Реализация ВЛП на основе платформы CLAVIRE. Формулы (1)–(3) справедливы на уровне абстрактного описания КП в терминах предметной области. Их практическое воплощение сводится к интерпретации абстрактного WF (AWF) в исполнимую форму с последующем запуском на выполнение в распределенной вычислительной среде. Граф AWF транслируется в исполнимую форму – граф конкретного WF (CWF). Процесс интерпретации динамический, т.е. граф CWF определяется по мере выполнения блоков AWF. При интерпретации одного блока AWF могут порождаться множественные узлы в CWF. Таким образом, уравнение для интерпретации (3), примененное к модели WF, позволяет на абстрактном уровне задавать WF, который однозначно транслируется в исполнимую форму.

Для реализации рассмотренного механизма работы с КП в рамках перечисленных выше требований к инфраструктуре ВЛП допустимо использовать многопрофильную инструментально-технологическую платформу CLAVIRE (Cloud Application Virtual Environment) [7]. Платформа CLAVIRE, основанная на концепции iPSE (Intelligent Problem Solving Environment) [8], используется для построения предметно-ориентированных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих многопользовательский удаленный доступ через сеть Интернет к исполнению КП на неоднородных ресурсах облачной вычислительной среды. Платформа поддерживает принципы сервисно-ориентированной архитектуры (SOA) и позволяет использовать вычислительные ресурсы различной архитектуры (SMP, GPGPU, CBEA), а также существующие Грид-среды и среды облачных вычислений в рамках моделей IaaS и SaaS.

Принципиальным достоинством платформы CLAVIRE для реализации ВЛП является сочетание унифицированных подходов к платформенно-независимому описанию КП в форме WF, что позволяет обеспечить:

- сопряжение неоднородных программных модулей в составе одного WF на этапе интерпретации из абстрактного представления в исполнимую форму (реализуя функцию (1));

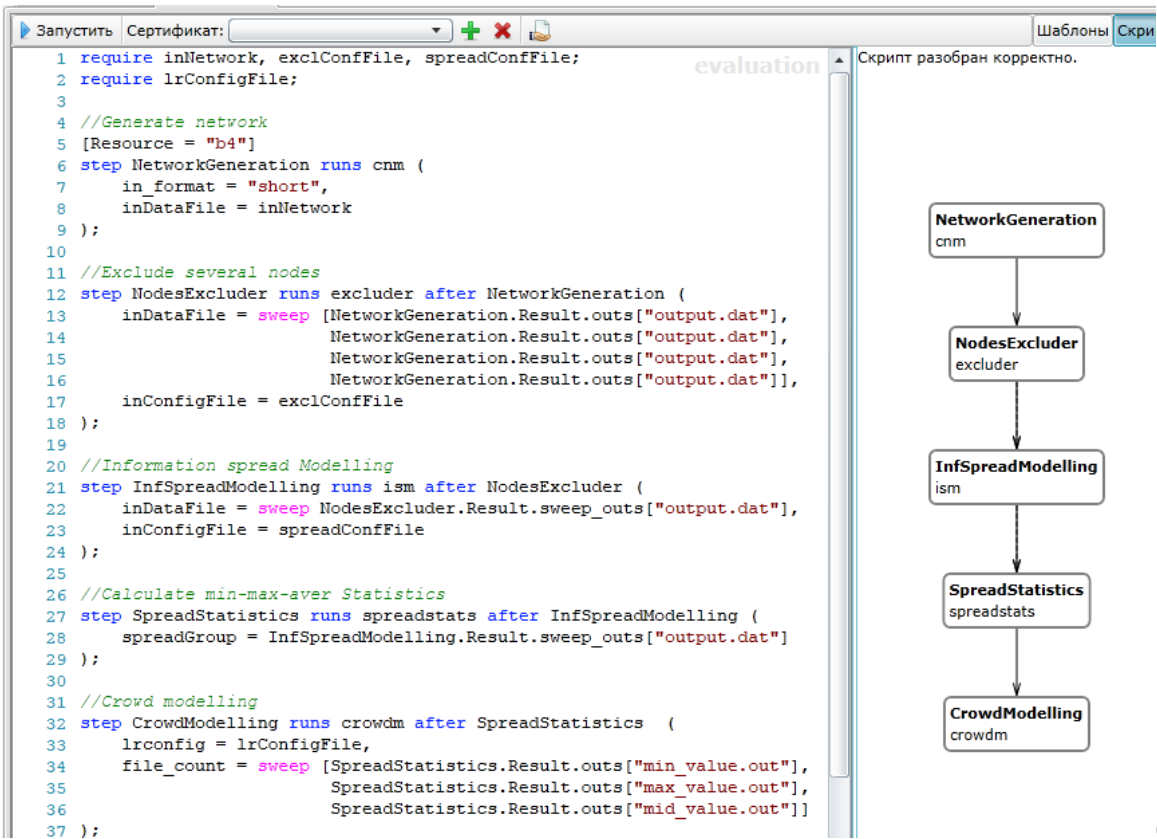
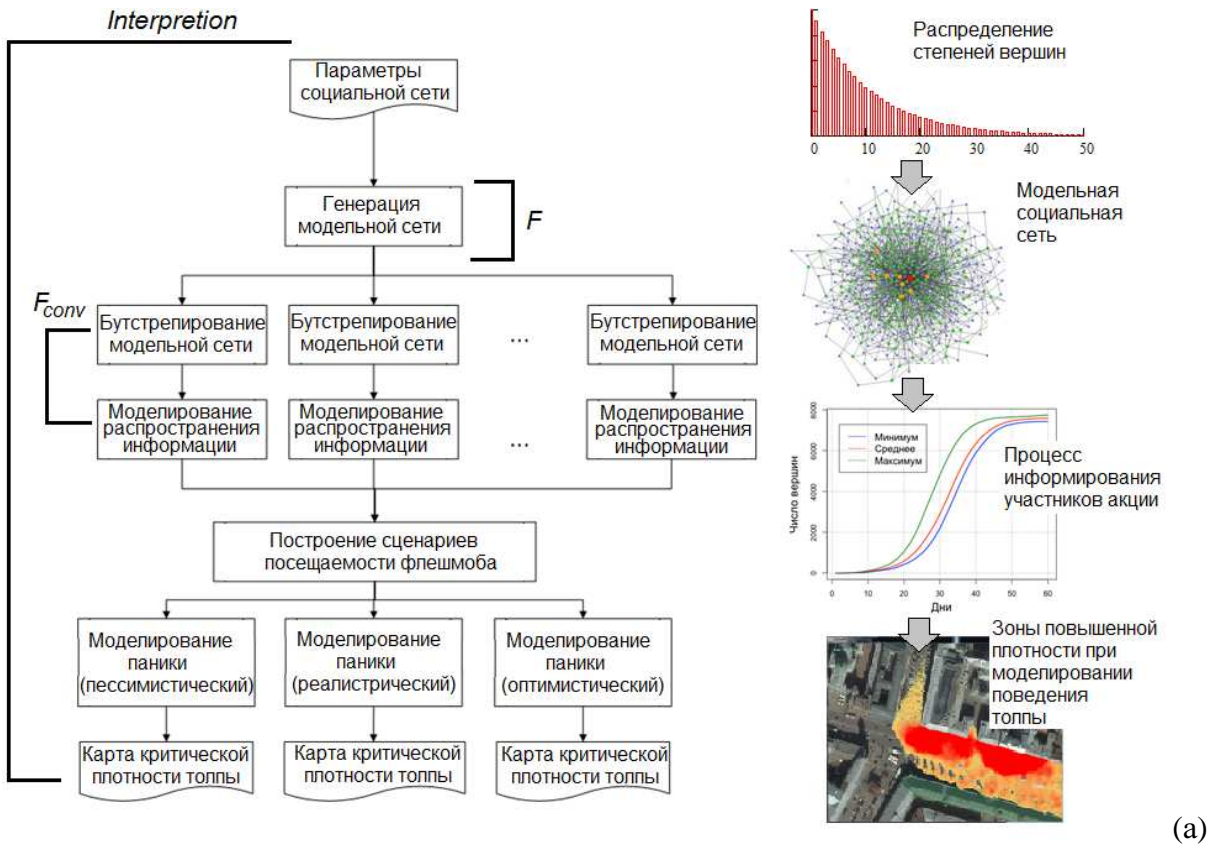


Рис. 1. Пример WF для междисциплинарного КП прогнозирования критических ситуаций: (а) общая структура задачи; (б) реализация КП средствами платформы CLAVIRE – процесс проектирования, создания и исполнения КП как в пакетном, так и в интерактивном режиме исполнения с возможностью динамического изменения структуры WF (реализуя, таким образом, функции (2) и (3)).

Для описания прикладных пакетов в составе КП в платформе CLAVIRE используется предметно-ориентированный язык EasyPackage [9]; его грамматика в нотации РБНФ представлена на рис. 2(а). В основе языка лежит формализация знаний о пакете, осуществляемая за счет декомпозиции интерфейса работы с пакетом в граф взаимосвязанных *параметров*. Выделяются следующие виды параметров: входные, выходные, параметры исполнения. Входные и выходные параметры описывают предметный интерфейс пакета, они открыты пользователю. Параметры исполнения характеризуют запуск пакета и отвечают за распараллеливание, определение механизма запуска, прогноз производительности по заложенным моделям. Помимо графа параметров в описание пакета входят описания механизмов обработки данных: проверки целостности задания входных параметров (попадания параметра в область допустимых значений), формирования входных данных для пакета из входных параметров, определения успешности запуска пакета, извлечения информации из результатов работы пакета. Предметные параметры пакета в разработанном описании характеризуются рядом свойств: названием, описанием, значением по умолчанию, а также типом, который может быть выбран из набора базовых. Все параметры укладываются в ациклический граф, в котором зависимости определяют порядок вычисления свойств и значений. Для описания файлов предусмотрен специальный тип файлового параметра. Файлы являются основным механизмом передачи данных на вход пакетам и получения результатов (помимо файлов параметры передаются через командную строку и переменные окружения). Ключевая особенность обработки файлов состоит в применении к ним двух видов процедур: извлечения данных (экстракторы) в параметры, а также формирования их из параметров (сборщики). Таким образом, за счет использования процедур осуществляется переход от низкоуровневой работы с пакетом к высокоуровневому параметрическому представлению, обеспечивающему интерпретацию (1).

Для описания структуры КП в целом используется предметно-ориентированный язык EasyFlow [9]; его грамматика в нотации РБНФ представлена на рис. 2(б). Он сочетает в себе черты декларативных и императивных языков программирования. Высокоуровневая структура КП задается в виде декларативных указаний, а промежуточная обработка данных оформлена в императивном виде. Возможности языка включают в себя задание блоков и зависимостей. Поддерживаются блоки исполнения пакета и варьирования параметров. Для

блоков КП поддерживается режим постобработки, который использует императивный язык программирования Ruby.

ОписаниеПакета	::= {ИмпортБиблиотек} {ОбъявлениеКлассаRuby} <u>ОбщееОписание</u> {Секция}
ИмпортБиблиотек	::= use ИмяБиблиотеки
ОбщееОписание	::= {ИмяПоляОписания <u>Строка</u> }
ИмяПоляОписания	::= name display vendor url license description
Секция	::= ИмяСекции "{" {ОбъявлениеПарам} "}"
ИмяСекции	::= inputs outputs execution
ОбъявлениеПарам	::= [public] ТипПараметра "{" {Поле} "}"
ТипПараметра	::= param file file_group models
Поле	::= ПолеДанных ТипДанных Процедура ОбработкаДанных
ПолеДанных	::= (name display description depends type default depends package filename path filters coeffs) <u>ВыражениеRuby</u>
ТипДанных	::= bool enum [{ <u>Строка</u> [","] }] int float string list hash
Процедура	::= (required validator enabled evaluator expected estimator) Лямбда
Лямбда	::= [{" <u>БлокRubyСПараметрами</u> }]"
ОбработкаДанных	::= (assembler extractor) <u>ВыражениеСозданияОбъектаКлассаRuby</u>

(а)

Программа	::= {ВходныеДанные} {АтрибутWF} {{{Комментарий}}{ОписаниеБлока}}}
Комментарий	::= "/" /" Строка
ВходныеДанные	::= require СписокИдентификаторов ";"
АтрибутWF	::= "{" flow ":" Идентификатор "=" Выражение "}"
ОписаниеБлока	::= {Атрибут} (step ~step) Идентификатор runs КомпозитныйИдентификатор [after СписокИдентификаторов] СписокПараметров [ПостОбработка] ";"
КомпозитныйИдентификатор	::= { Идентификатор [Точка] }
СписокИдентификаторов	::= { Идентификатор [", "] }
Атрибут	::= "[" Идентификатор "=" Выражение "]"
СписокПараметров	::= "(" {(Параметр Порт)[,]} ")"
Параметр	::= Идентификатор "=" Выражение
Порт	::= Идентификатор "<-" ПолеОбъекта
ПостОбработка	::= post code ruby <u>КодRuby</u> code end
Выражение	::= Литерал ПолеОбъекта
ПолеОбъекта	::= КомпозитныйИдентификатор ["[" Выражение "]"]
Литерал	::= Строка Целое Дробное Логическое Список Константа
Идентификатор	::= Буква{Буква Цифра "_"}.

(б)

Рис. 2. Упрощенная грамматика предметно-ориентированных языков платформы CLAVIRE:

(а) EasyPackage; (б) EasyFlow

Платформа CLAVIRE позволяет, используя представление КП на языке EasyFlow, выполнять процедуру планирования исполнения на уровне всего WF в рамках распределенной вычислительной среды. Для этого используется режим предварительной интерпретации КП. Данный механизм обеспечивает изоляцию пользователя от аспектов низкоуровневого взаимодействия с ресурсами распределенной среды в процессе выполнения

ВЛП. При этом использование декларативных описаний пакетов на языке EasyPackage обеспечивает защиту от легитимного пользователя. В частности, администратор системы может установить диапазоны изменения входных данных и сценарии использования пакетов, соответствующие учебным режимам применения ВЛП без модификации их исходного кода. Прямого доступа к вычислительным ресурсам, на которых выполняются пакеты, у пользователя нет – он работает только с управляющим ядром CLAVIRE.

Примеры междисциплинарных ВЛП. В целом платформа CLAVIRE является только средством разработки и поддержки функционирования ВЛП. В зависимости от решаемых задач она предоставляет разработчику пять классов пользовательских интерфейсов.

- Проблемно-ориентированный интерфейс, обеспечивающий возможность удаленного запуска отдельных прикладных пакетов через web-интерфейс в терминах предметной области и реализующий функцию интерпретации (1). Подходит для обучения работе с прикладными пакетами в удаленном режиме.
- Интерфейс разработки WF, предоставляющий пользователю возможность разработки и отладки скрипта КП, абстрагируясь от терминов конкретных предметных областей, с последующим исполнением скрипта. Реализует функции интерпретации (1)–(3). Подходит для большинства задач междисциплинарных ВЛП в целом, ориентирован на пользователей, владеющих основами программирования.
- Интерфейс виртуальных моделирующих объектов предоставляет пользователю высокоуровневую среду проектирования структурных моделей на базе готовых, но редактируемых структурных компонентов. Данный вид интерфейса также позволяет реализовать большинство задач междисциплинарных ВЛП, но не требует от пользователя навыков в программировании.
- Интерфейс интеллектуального инструктора, позволяющий управлять процессом разработки КП, рассматривая возможные альтернативы и рекомендуя пользователю наиболее приемлемый вариант. Подходит для изучения методического арсенала с целью решения задач заданного класса, группы классов и даже предметной области.
- Консольный, или программный, интерфейс, применяемый для использования возможностей CLAVIRE через другие приложения; может быть полезен при подключении ВЛП к существующим системам дистанционного обучения.

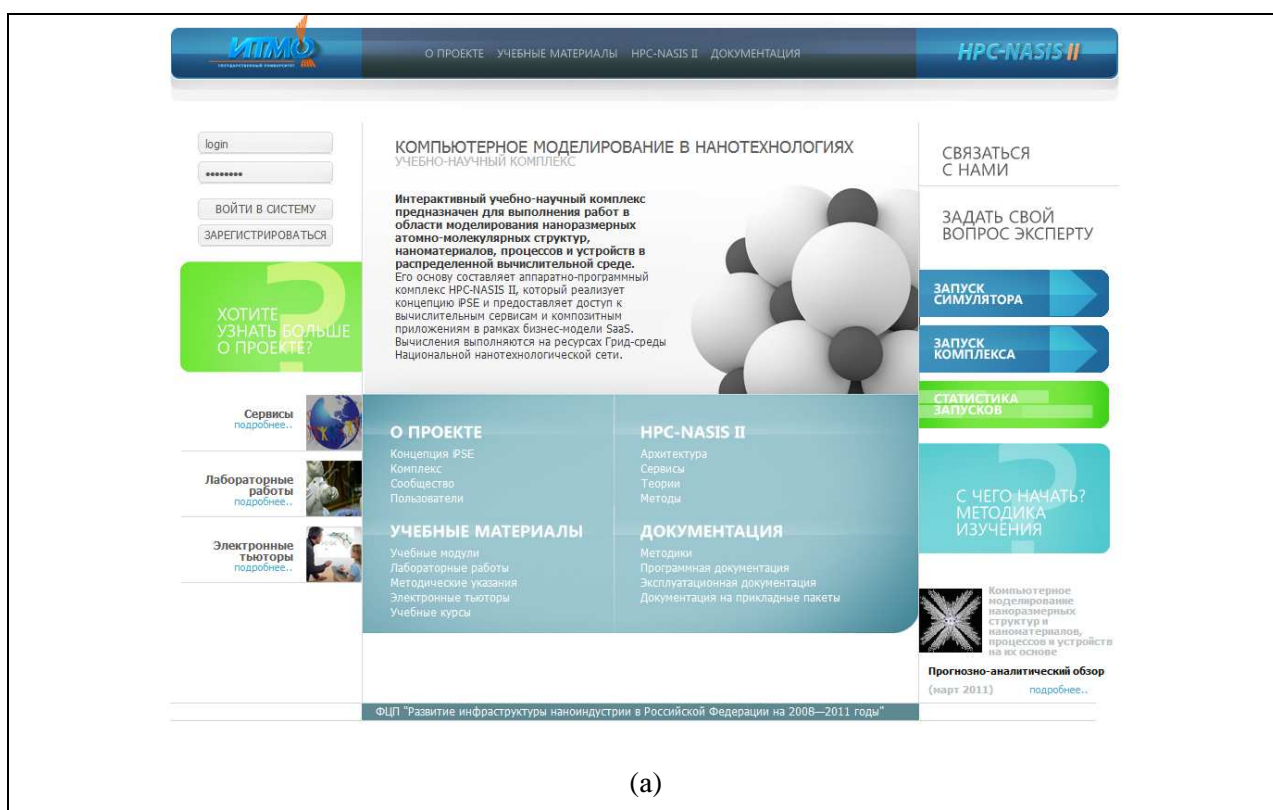
В современных ВЛП данные интерфейсы могут использоваться как отдельно, так и в совокупности в рамках инфраструктуры проблемно-ориентированных web-центров в среде облачных вычислений.

Характерным примером такого web-центра является учебно-научный комплекс «Компьютерное моделирование в нанотехнологиях» [10]. Его основу составляет аппаратно-программный комплекс HPC-NASIS II, который реализует концепцию iPSE [8] и предоставляет доступ к вычислительным сервисам и композитным приложениям в рамках бизнес-модели SaaS. Междисциплинарность данной проблемной области обусловлена тем, что компьютерное моделирование в нанотехнологиях основывается на многомасштабном подходе. На нижнем уровне иерархии находится уровень моделирования свойств самих атомно-молекулярных систем на основе квантово-механических *ab initio* (из первых принципов) расчетов. Последующие уровни ориентируются на использование результатов таких расчетов в качестве параметров системы вложенных моделей, определяющих свойства мезомасштабных и макромасштабных явлений. Комплекс включает в себя три группы таких моделей (24 пакета) – для квантово-механического моделирования и *ab initio* расчетов атомно-молекулярных систем, для вычисления характеристик различных процессов нанофотоники и наноплазмоники, а также для моделирования методами молекулярной динамики. Все прикладные пакеты развернуты на ресурсах среды ГридННС и предполагают использование в режиме удаленного доступа. ВЛП на основе комплекса включает в себя как решение отдельных задач моделирования наноразмерных атомно-молекулярных структур, так и КП для комплексного моделирования нанотехнологических процессов. На рис. 3(а) приведен основной скриншот учебно-научного комплекса «Компьютерное моделирование в нанотехнологиях».

Другим примером использования платформы CLAVIRE для организации ВЛП является производственно-исследовательский web-центр «Социодинамика» (<http://socio.escience.ifmo.ru/>) [11]. Он предназначен для поддержки научной и образовательной деятельности в области компьютерного моделирования в науках об обществе и человеке. Web-центр представляет собой открытую интеллектуальную проблемно-ориентированную среду, объединяющую распределенные сервисы вычислений и доступа к данным. В их число входят 12 прикладных пакетов обработки данных и социодинамического моделирования, доступные в рамках концепции облачных вычислений, а также специализированный инструмент для сбора данных из социальных сетей – краулер. Междисциплинарность в данном случае обусловлена разнообразием методологических подходов к социальному моделированию, математический аппарат часто заимствуется из смежных областей-аналогов (например, статистической физики [12]).

Дополнительно web-центр оснащен инструментарием поддержки виртуального профессионального сообщества пользователей в рамках концепции web 2.0, включая интерактивные средства общения, совместного выполнения проектов, поддержки единого

рабочего пространства, а также средства, позволяющие вести обсуждение в режиме реального времени с использованием графики и текста. Кроме того, предусмотрены сервисы интерактивной консультации экспертов, возможность сохранения результатов выполненных задач для последующего использования другими членами сообщества или для совместного обсуждения и исправления. Аппаратная составляющая web-центра формируется в составе распределенной иерархической среды облачных вычислений, включающей в себя выделенные суперкомпьютеры, виртуальные машины в «облаке» и целевые системы в составе среды ГридННС. Единообразный способ работы с центром, равно как и оптимизация распределения вычислительной нагрузки, осуществляется средствами CLAVIRE. ВЛП на основе web-центра включает в себя 15 лабораторных работ, ориентированных на решение таких задач, как анализ скорости и каналов распространения информации в социальной сети, анализ и прогноз индексов общественных настроений, выявление групп влияний в социальной сети и определение «лидеров мнений», мониторинг манипуляций мнениями и источников дезинформации. На рис. 3(б) представлен пример проблемно-ориентированного интерфейса в ходе выполнения ВЛП по моделированию и исследованию социальной сети с заданными свойствами (<http://socio.escience.ifmo.ru/poi/>) [11].



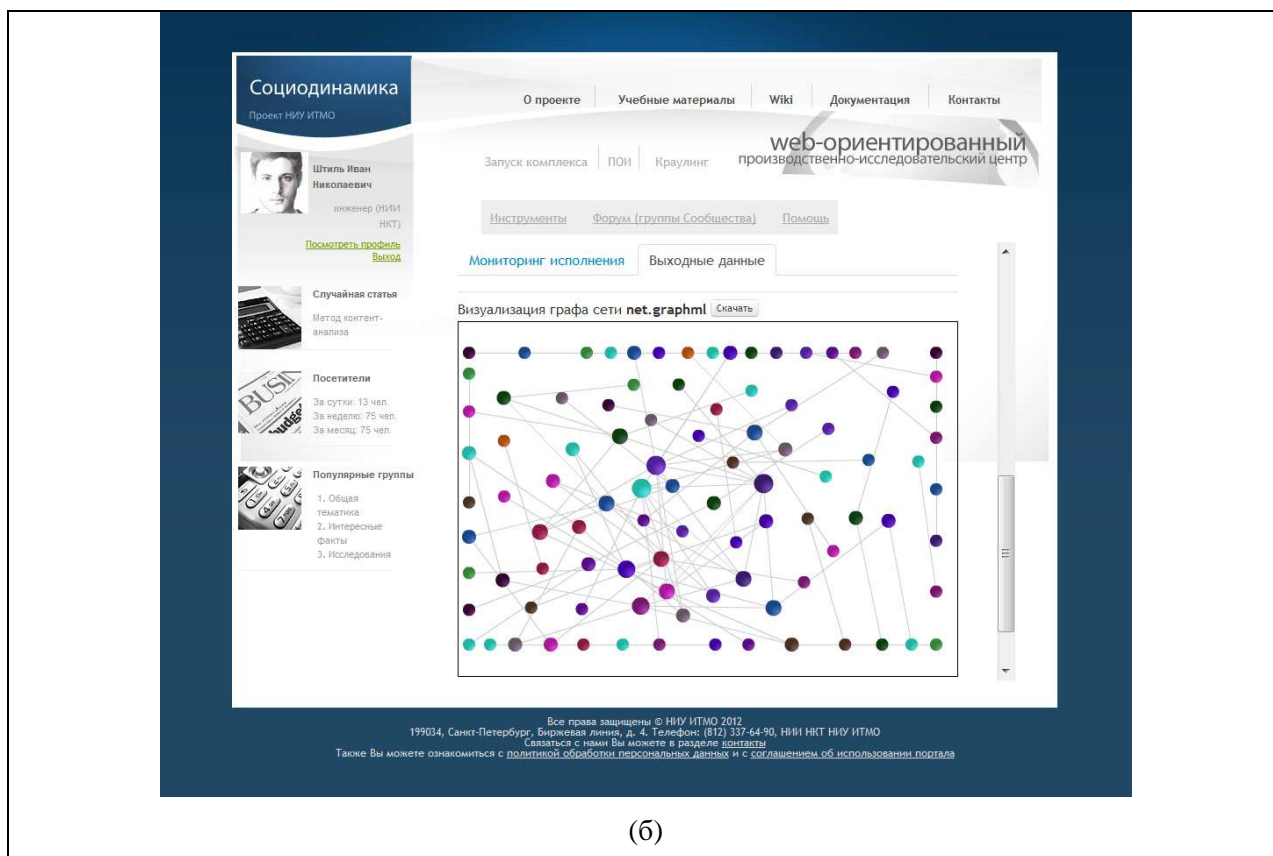


Рис. 3. Примеры реализации междисциплинарных ВЛП на основе CLAVIRE: (а) учебно-научный комплекс «Компьютерное моделирование в нанотехнологиях»; (б) производственно-исследовательский web-центр «Социодинамика»

Заключение. Таким образом, предложенный подход к организации инфраструктуры ВЛП в рамках концепции iPSE, реализуемой в инструментально-технологической платформе CLAVIRE, позволяет отчасти нивелировать негативные аспекты, связанные с информатизацией процессов выполнения лабораторных работ в междисциплинарных программах.

- Эффект эрозии знаний устраняется за счет построения ВЛП в форме КП, что позволяет формализовать модель обучения и проверки выполнения работы в рамках выражений (1)–(3).
- Эффект иллюзии интерактивности устраняется за счет использования технологии проблемно-ориентированных интерфейсов и декларативных описаний пакетов и КП на предметно-ориентированных языках EasyFlow и EasyPackage; этот же механизм обеспечивает защиту системы от легитимного пользователя.
- Эффект информационной избыточности устраняется за счет использования средств интеллектуальной поддержки обучаемого на всем цикле выполнения ВЛП,

реализуемых механизмами интеллектуального инструктора и виртуальных моделирующих объектов.

Реализованные на основе CLAVIRE проблемно-ориентированные ВЛП в области нанотехнологий и моделирования в науках об обществе и человеке внедрены в рамках магистерской образовательной программы НИУ ИТМО «Суперкомпьютерные технологии в междисциплинарных исследованиях».

Работа выполнена в рамках проекта по реализации постановления №218 Правительства Российской Федерации (платформа CLAVIRE), а также проекта «Исследование и разработка web-ориентированного производственно-исследовательского центра в конкретной прикладной области» федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

Список литературы

1. Лукиных Т. Н., Можаяева Г. В. Информационные революции и их роль в развитии общества. [Электронный ресурс]. Сайт открытого междисциплинарного электронного журнала «Гуманитарная информатика». Режим доступа: http://huminf.tsu.ru/e-jurnal/magazine/3/luk_moz.htm, свободный. Загл. с экрана. (Дата обращения 23.08.2012.)
2. Бояшова С. А. Метрологический подход к понятию профессиональной компетентности специалиста // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 9. С. 82-85.
3. Галкин Д. В. Проблемы образования в контексте информатизации: в поиска модели критической педагогики. [Электронный ресурс]. Сайт открытого междисциплинарного электронного журнала «Гуманитарная информатика». Режим доступа: <http://huminf.tsu.ru/e-jurnal/magazine/3/gal2.htm>, свободный. Загл. с экрана. (Дата обращения 23.08.2012.)
4. Benioff, M. and Lazowska, E. (Chairs), Computational Science: Ensuring America's Competitiveness; President's Information Technology Advisory Committee (PITAC) Report, June 2005. [<http://www.nitrd.gov>] (Дата обращения 23.08.2012.)
5. Васильев В. Н., Лисицына Л. С., Лямин А. В. Сетевое сообщество на основе методического интернет-центра: первый опыт создания и перспективы развития // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. № 32. С. 254-259.
6. Бухановский А. В., Васильев В. Н. Современные программные комплексы компьютерного моделирования e-Science // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 3. С. 60-64.

7. Бухановский А. В., Васильев В. Н., Виноградов В. Н., Смирнов Д. Ю., Сухоруков С. А., Яппаров Т. Г. CLAVIRE: перспективная технология облачных вычислений второго поколения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 7-13.
8. Бухановский А. В., Ковальчук С. В., Марьин С. В. Интеллектуальные программные комплексы компьютерного моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 10. С. 5-24
9. Князьков К. В., Ларченко А. В. Предметно-ориентированные технологии разработки приложений в распределенных средах // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 36-43.
10. Спельников Д. М., Гуськов А. А., Маслов В. Г., Бухановский А. В. Учебно-научный комплекс, компьютерное моделирование в нанотехнологиях на основе грид-среды // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 44-50.
11. Иванов С. В., Болгова Е. В., Каширин В. В., Якушев А. В., Чугунов А. В., Бухановский А. В. Web-ориентированный производственно-исследовательский центр «Социодинамика» // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 65-71.

Рецензенты:

Маслов Владимир Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры биофизики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, г. Санкт-Петербург.

Нечаев Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ Научно-технических компьютерных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург.