

ДИСТАНЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОЛЕТА: ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ IaaS И DaaS «ИНФРАСТРУКТУРА И ДАННЫЕ КАК УСЛУГА»¹

А.В. Алиев*, Г.А. Тарнавский*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Поступила в редколлегию

Аннотация—Рассмотрен компьютерный инструментарий для математического моделирования аэродинамики высокоскоростного полета в реальных газовых средах. Вычислительный процесс организован с использованием облачных технологий «Программное обеспечение, инфраструктура и данные как услуга».

1. ВВЕДЕНИЕ

Направление Cloud Computing («Облачные вычисления») является быстроразвивающимся перспективным направлением современной информатики. Идеология «Облачных вычислений» заключается в переносе организации вычислений и обработки данных в существенной степени с персональных компьютеров на серверы Всемирной Сети (облако — символ Интернета).

К настоящему времени можно выделить несколько основных технологий (моделей) этого направления:

- инфраструктура как услуга (Infrastructure as a Service, IaaS);
- платформа как услуга (Platform as a Service, PaaS);
- данные как услуга (Data as a Service, DaaS);
- программное обеспечение как услуга (Software as a Service, SaaS);
- рабочее место как услуга (Workplace as a Service, WaaS).

В рамках моделей IaaS, PaaS, DaaS, SaaS и WaaS заказчики платят не за владение программным продуктом как таковым, а за его аренду, т.е. его использование через Web-интерфейс. Таким образом, в отличие от классической схемы лицензионной покупки программного продукта заказчику не требуется инвестировать большие средства для приобретения продукта и аппаратной платформы для его развертывания и обеспечения в дальнейшем работоспособности системы. Заказчик несет только сравнительно небольшие периодические затраты в виде абонентской платы, с возможностью ее прекращения или приостановления по истечении надобности в программном продукте, и ее возобновление при необходимости.

Концепция Cloud Computing является фундаментом функционирующего в Интернете Центра компьютерного моделирования [1] (<http://www.SciShop.ru>). На портале SciShop.ru в его различных сегментах применяются облачные технологии IaaS, PaaS, DaaS, SaaS и WaaS.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-07-12001-офи.

Ранее, в работе [2] были рассмотрены облачные технологии IaaS («Инфраструктура как услуга») и SaaS («Программное обеспечение как услуга») портала. В работе [3] рассматривалась в основном облачная WaaS-технология («Рабочее место как услуга»), которая используется, в частности, для поддержки клиентов — пользователей информационно-вычислительного комплекса «Удар», входящего в спектр программных комплексов портала (см. [4]). Настоящая статья представляет приложения технологии IaaS и DaaS («Данные как услуга»), поддерживающие запросы клиентов на использование инфраструктуры информационно-вычислительного комплекса «Поток» (см. [5]) и его баз данных, содержащих результаты компьютерного моделирования аэродинамики высокоскоростного полета объектов в реальных газовых средах.

2. НАУЧНАЯ ОБЛАСТЬ И ПАРАДИГМА ИССЛЕДОВАНИЙ

Современный этап создания высокоскоростных летательных аппаратов нового поколения, начало их полетов в верхних слоях тропосферы с выходом на околоземные орбиты с высотами до 100 км требует интенсификации исследований в области физической газовой динамики. Изучение сложных структур гиперзвуковых течений с наличием в них особенностей (скачков уплотнения, температурных и динамических пограничных слоев и т.п.) все в большей и большей степени опирается на компьютерную поддержку. Компьютерные эксперименты, как более мобильные и менее затратные, в этой научной области практически заменили физические эксперименты в аэродинамических трубах и полетные эксперименты. Кроме того, компьютерные эксперименты позволяют моделировать процессы в диапазонах определяющих параметров, недоступные для физических экспериментов (см. рис. 1).

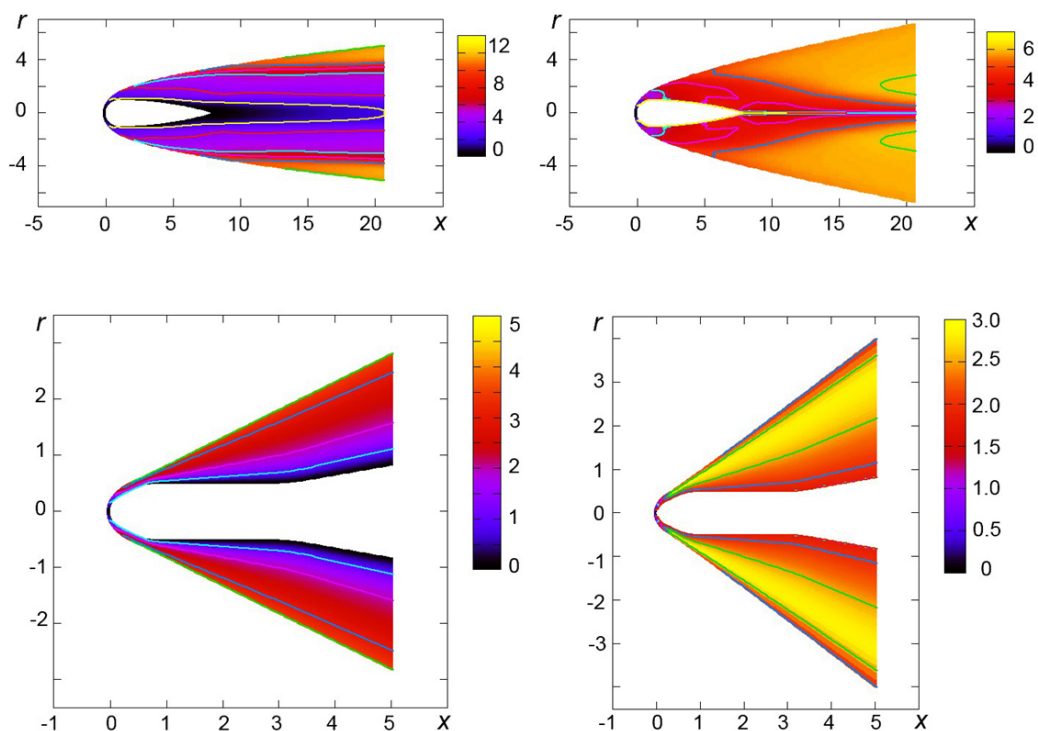


Рис. 1. Моделирование аэродинамики полета на высоте H со скоростью V : поля значений локального числа Маха M при обтекании возвращаемого орбитального аппарата DR-6 (сверху) и геофизической ракеты НВ-2 (снизу): $H = 70$ км, $V = 6$ км/с, $M = 18.2$ (слева) и $H = 5$ км, $V = 2$ км/с, $M = 6.2$ (справа)

Создание вычислительных комплексов нового поколения для математического моделирования различных физических явлений и процессов с высокими функциональными возможностями, обусловленными использованием современных информационных технологий, ориентировано на быстроразвивающиеся высокопроизводительные компьютерные системы параллельного счета (суперкомпьютеры на базе процессоров с многоядерной архитектурой). При этом главной парадигмой разработки этих комплексов является расширение области знания и исследование процессов, ранее недоступных для компьютерного моделирования. Существуют различные пути повышения функциональных возможностей вычислительных комплексов. Первым из них является разработка совершенно новых программных продуктов, создаваемых на базе новых теоретических методов и численных алгоритмов. Этот путь требует проведения всей последовательности этапов математического моделирования: гносеологической цепочки «физическое явление — физическая модель — математическая модель — вычислительный алгоритм — компьютерная программа — организация полученных данных — визуализация информации» с тщательной верификацией каждого этапа. И эта верификация должна быть проведена как на новых классах задач (цели, ради которой создается комплекс), так и на «старых» задачах, поскольку априори неизвестно, насколько новые алгоритмы обеспечивают точность их решения. Не следует полагать, что, если новый алгоритм с привлекательными возможностями обеспечивает хорошую точность решения некоторого нового класса задач, то он, этот алгоритм, «автоматически» обеспечивает точность решения «старых» классов задач. Так думать было бы неоправданным оптимизмом. Кроме того, этот путь может быть весьма длительным по времени и затратным по интеллектуальным усилиям, причем эти усилия в большой степени уже были затрачены при создании предыдущего комплекса.

Второй путь опирается на преемственность проведенных разработок и заключается в последовательном наращивании возможностей программного ресурса от версии к версии. (Заметим в скобках, что такой путь предпочитает, например, корпорация Microsoft с постепенным, но существенным расширением возможностей своих программных продуктов.)

На наш взгляд, этот путь является более оптимальным, поскольку использует все достоинства предыдущих версий с одновременным устранением алгоритмических недостатков или неоднозначностей программирования, которые могут быть выявлены только при длительной эксплуатации вычислительного комплекса, решении с его помощью многочисленных и разнообразных классов задач предметной области с вариацией определяющих эти задачи параметров во всем широком диапазоне их изменения и тщательном многостороннем анализе полученных решений.

Более того, этот путь, путь модернизации, позволяет использовать новые информационные технологии направления Cloud Computing. Облачные технологии кардинальным образом упрощают как доступ к программным комплексам, так и оптимизируют организацию их функционирования (запуск процессорных систем, пользование контентом баз данных и библиографического раздела). Это существенно расширяет круг возможных потребителей программных ресурсов.

3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Создание фундаментальных основ информационно-вычислительного комплекса «Поток» опирается на общие принципы математического моделирования, тщательной теоретической проработке всех его сегментов и их верификации на широких классах практических задач в аэродинамике.

Эти основы, кратко изложенные ниже, являются фундаментальной платформой, базой для постепенного развития и совершенствования вычислительного инструментария.

Исследуемое физическое явление — аэродинамика высокоскоростного полета. Изучаются стационарные и нестационарные процессы обтекания объектов (летательных аппаратов, неуправляемых тел) различной геометрической конфигурации набегающим сверх- и гиперзвуковым потоком газа. Исследуются газодинамические структуры обтекания головной части тела, отрывные и безотрывные течения над его боковой поверхностью и кормой, течение за кормой тела в ближнем следе, в том числе рециркуляционное, течение в дальнем и сверхдальнем следе за телом.

Физическая модель. Рассматривается сжимаемая вязкая теплопроводная газовая среда. В первой версии газ предполагался совершенным, однородным и многокомпонентным, не меняющим своих физических свойств и химического состава. В последних версиях модель газовой среды приближается к реальной атмосфере Земли, а в представленной, пятой, версии предусмотрена возможность переключения типа атмосферы (Земли, Марса, Юпитера и т.д.).

Математическая модель. Для описания динамических процессов используется модель Навье-Стокса — нестационарная система дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Эта система замыкается уравнением состояния. В первой–четвертой версиях используется уравнение состояния идеального газа с постоянным, но варьируемым как параметр в различных задачах, показателем адиабаты. В пятой версии принята расширенная модель газа с уравнением состояния, отклоняющимся от идеального (модель эффективного показателя адиабаты). В программном комплексе не производятся непосредственные расчеты физико-химических процессов. Используются термодинамические параметры из специализированных цифровых и электронных баз данных атмосферы Земли, Марса и других планет.

Для описания процесса теплопроводности используется закон Фурье для теплового потока. Коэффициенты теплопроводности и вязкости полагаются зависящими от температуры по степенному закону (в каждой точке газовой среды) с вариацией его показателя как параметра. Соотношение между этими коэффициентами полагается подчиняющимся гипотезе Прандтля.

Для математической постановки задачи система уравнений дополняется граничными и начальными условиями.

Граничные условия соответствуют типу границы области решения задачи. На поверхности тела ставятся условия прилипания потока и тепловое условие (тепловой изоляции поверхности тела или его изотермичности; в последнем случае температура поверхности варьируется как параметр). Для разреженных газовых сред (полет на больших высотах) эти условия заменяются на условия проскальзывания потока и температурного скачка в газе у поверхности тела. Внешняя граница области может быть выбрана или на достаточном удалении от обтекаемого объекта с постановкой здесь условий невозмущенного потока, или эта граница полагается поверхностью головного скачка уплотнения. В этом случае здесь ставятся условия Рэнкина-Гюгонио, а само положение и конфигурация этой границы определяются в процессе получения всего решения (см. рис. 2). На оси симметрии ставятся условия симметричности течения. Математическая формулировка непрерывной дифференциальной задачи высокоскоростного обтекания не требует постановки граничных условий на выходной границе (формулировка дискретной задачи для вычислительного алгоритма требует постановки здесь особого граничного условия — интерполяцию параметров изнутри расчетной области на границу).

Математическая модель замыкается постановкой начальных данных. Их роль исключительно важна для эффективной и правильной работы вычислительного инструментария. Для решения стационарных задач методом установления удачная постановка начальных данных сокращает время счета на один, два и иногда даже три порядка. Для нестационарных задач с наличием неустойчивых физических процессов и соответствующих им бифуркаций решения начальные данные фактически определяют ветвь решения, на которую выйдет вычислительный алгоритм. В связи с вышесказанным во всех версиях комплекса «Поток» функционируют

базы начальных данных с автоматизированной поддержкой выбора из них файла записи для оптимальной работы алгоритма.

Вычислительный алгоритм. Непрерывная дифференциальная задача математической модели аппроксимируется дискретной, решение которой производится в узлах вычислительной сетки. Неявный конечно-разностный алгоритм решения основан на методе расщепления уравнений по физическим процессам и координатным направлениям (метод «дробных шагов») и обеспечивает точность решения первого порядка по времени и второго — по пространственным координатам.

Дискретная формулировка задачи замыкается постановкой граничных и начальных данных с реализацией их соответствующими алгоритмами. Неявные алгоритмы расчета головной ударной волны (внешняя граница) и условие проскальзывания потока и температурного скачка на поверхности (внутренняя граница) имеют ту же точность, что и основной алгоритм.

Реализация условий симметрии обеспечивается явным алгоритмом с той же точностью. Условие на выходной границе, отсутствующее в дифференциальной непрерывной постановке, однако требующееся для дискретной, обеспечивается явным алгоритмом с первым по времени и третьим по пространству порядками точности.

Компьютерные программы. Программный комплекс сегментирован на большой ряд подпрограмм, около 100, обеспечивающих реализацию сегментов вычислительного алгоритма. Все подпрограммы автономны, что является оптимальным для отладки и обеспечивает расширяемость, дополняемость и модификацию комплекса от версии к версии. Язык программирования — Фортран.

Организация данных. Вычислительные результаты, полученные комплексом, сводятся в базы данных (БД). По типам и классам решенных задач эти БД размещаются в банках данных долгосрочного хранения, имеющие два основных типа назначения. Во-первых, предоставление данных для их смыслового анализа в предметной области, сравнения друг с другом и т.п. Во-вторых, использование полученных данных в качестве начального приближения при решении новых задач.

Для поиска необходимых файлов данных созданы специализированные системы управления базами данных (СУБД). Эти СУБД также выполняют соответствующую двойственную функцию. Первой из них является поиск в БД заказанного пользователем файла для анализа или графической интерпретации. Вторая функция — обеспечить автоматический поиск в БД подходящей записи для ее оптимального использования в качестве начального, стартового условия для решения новой задачи. При этом поиск осуществляется в соответствии с параметрами решаемой задачи, например, коррелирует с высотой и скоростью полета, конфигурацией тела, тепловым режимом на его поверхности, типом газовой среды. Для этого в СУБД функционирует специально разработанный метод, в котором определены понятия «метрика пространства БД», «расстояние» между записями с весовыми множителями каждой «координаты» (высоты полета, скорости движения и т.п.) на основании разработанных и практически апробированных критериев важности каждого параметра для максимальной эффективности решения новой задачи.

Алгоритм поиска наиболее подходящего файла основан на определении минимума «расстояния» от «координат точки» задачи, для решения которой отыскивается файл, до «координат» всех файлов записей БД, т.е. осуществляется поиск «ближайшей» записи в «пространстве» БД. Этот алгоритм представляет существенное «ноу-хау» и безотказно функционирует в течение длительного времени, обеспечив решение многочисленных классов задач

Визуализация данных. Во всех версиях комплекса «Поток» используются графические интерпретаторы данных, поддерживающие и облегчающие анализ цифровой информации. Эти интерпретаторы опираются на графические системы, функционирующие в операционных сре-

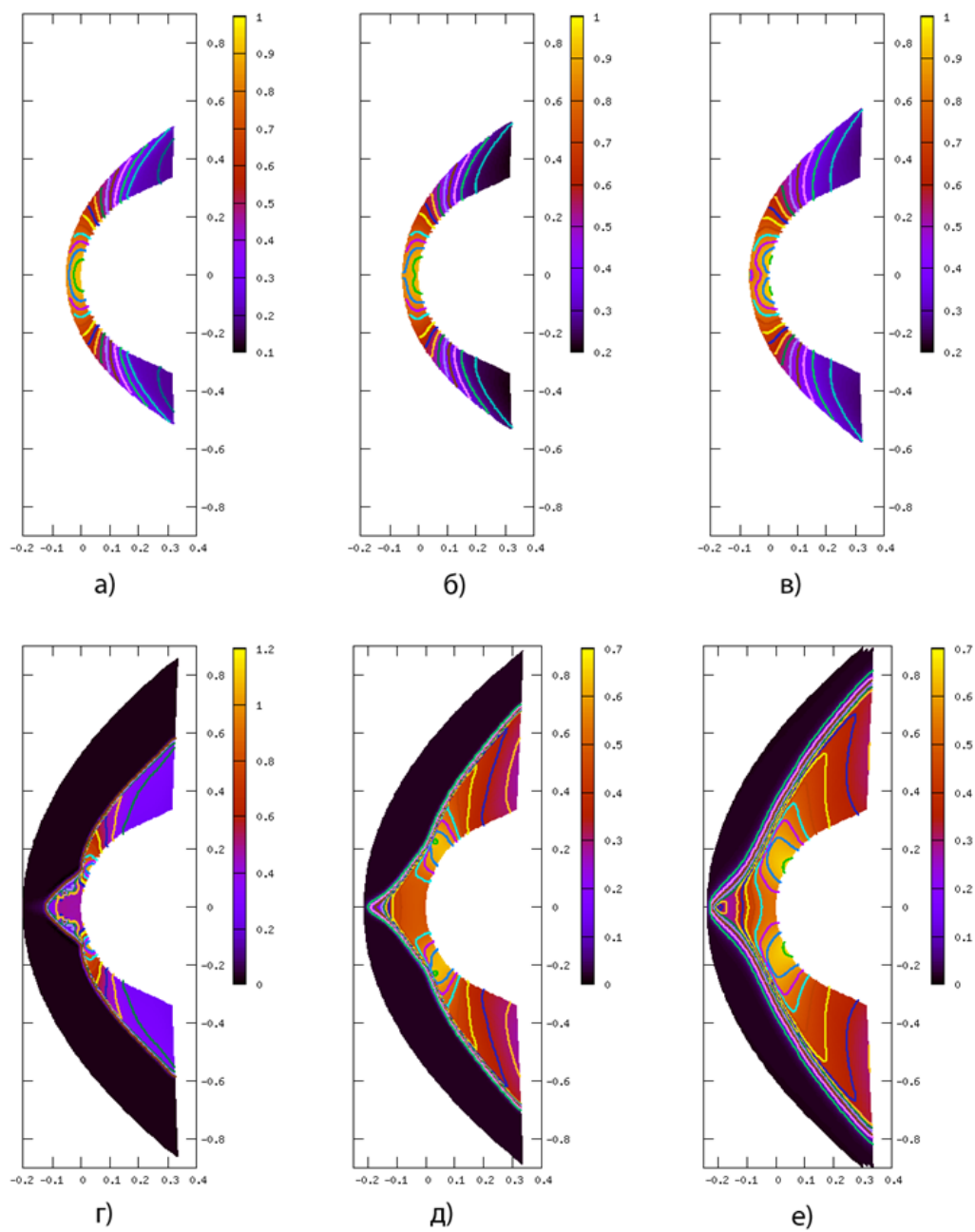


Рис. 2. Моделирование обтекания головной части аппарата (поля и изолинии температур), движущегося в атмосфере Земли со скоростью 2 км/с на высотах 70 (а, г), 80 (б, д) и 90 (в, е) км при использовании вычислительных режимов «выделения головного скачка» (а, б, в) и «сквозного счета» (г, д, е)

дах текущего времени, от систем Grafor в первых версиях до GnuPlot и TecPlot в последних версиях комплекса.

Подробное описание теоретического метода расщепления для решения задач аэродинамики и детали реализующего его вычислительного алгоритма приведены в работе [5] и библиографии в ней.

4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Для решения поставленной задачи — определения топологии и параметров ударно-волновых структур (см. рис. 1) предназначен информационно-вычислительный комплекс (ИВК) «Поток». ИВК «Поток» состоит из 4 разделов: «Научные публикации», «Компьютерные вычисления», «Табличные базы данных» и «Графические базы данных».

Раздел «Научные публикации» содержит PDF-файлы статей (например, [5]) и предназначен для информационной поддержки пользователя.

Раздел «Компьютерные вычисления» предназначен для проведения расчетов с вариацией определяющих параметров в допустимых диапазонах их изменения и содержит процессорные системы «Stream» и «Rocket». Система «Stream» ориентирована на моделирование аэродинамики высокоскоростного движения объектов различной конфигурации в реальных газовых средах во всей области возмущенного течения или в ее отдельных сегментах. При этом производятся расчеты обтекания головной части объекта, его боковой поверхности (фюзеляжа), течения в окрестности кормы объекта и в ближнем следе за ним, а также течений в дальнем и сверхдальнем следах за объектом. Система «Rocket» ориентирована на расчет обтекания тел ракетной конфигурации.

Процессорные системы предоставляют полученную информацию как в таблично-цифровом, так и визуально-графическом виде (см. рис. 3).

Раздел «Табличные базы данных» обеспечивает пользователя таблично-цифровой информацией во всех декларированных диапазонах изменения определяющих параметров. Раздел «Графические базы данных» ориентирован на весьма существенную поддержку исследований пользователя. Методика работы с этим разделом составляет основную направленность статьи и будет описана ниже.

ИВК «Поток» может функционировать как в автономном режиме, так и в составе Центра компьютерного моделирования.

5. ЦЕНТР КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ — ПОРТАЛ CLOUD COMPUTING

Примером применения технологий «Облачных вычислений» является Web-ресурс SciShop.ru, Центр компьютерного моделирования в Интернете. Данный центр компьютерного моделирования (рис. 4а, подробнее см. [1]) предназначен для реализации современных потребностей в дистрибуции научных продуктов и направлен на решение фундаментальных проблем, связанных с разнообразными научными, техническими, социальными и психологическими аспектами разработки и продвижения специализированного Web-ресурса, особой точки обмена произведенным научным продуктом, в том числе и на платной основе, в системе Интернет.

Центр ориентирован на три аспекта использования: как электронная книга (в т.ч. учебник), как электронный справочник (база данных) и как инструментальный для научных исследований (процессорная система) и предназначен для хранения, пополнения и систематизации накопленной информации, обеспечения непрерывности научного прогресса и его ускорения в данной области за счет преемственности осуществленных разработок.

Все основные публикации о инфраструктуре и контенте Центра, организации вычислительного процесса, маршрутизации информационных потоков (и т.п.) размещены непосредственно

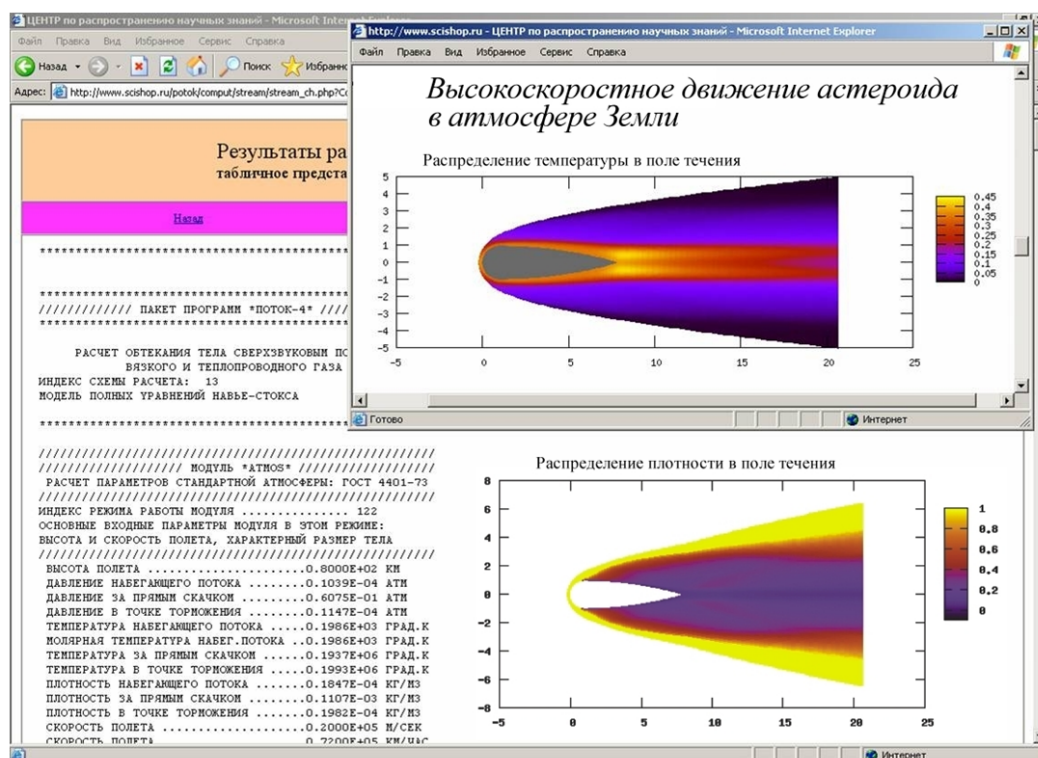


Рис. 3. Информационно вычислительный комплекс «Поток». Таблично-цифровое и визуально-графическое представление информации

на сайте. Доступ к ним осуществляется через специальную страницу (см. рис. 4б), на которой помещен список литературы. Каждая из позиций этого списка является гиперссылкой, обеспечивающей свободное получение PDF-файла данной статьи. Доступ на эту страницу производится с Главной страницы сайта по гиперссылке «Публикации».

Посетитель сайта может, по своему желанию, зарегистрироваться как клиент, которому Центр в дальнейшем будет оказывать определенные услуги. Регистрация производится на специальной странице (рис. 4в), на которую можно попасть по гиперссылке «Регистрация» с Главной страницы. Клиент выбирает форму платежа, и ему предоставляются индивидуальные логин и пароль. Заметим, что для ознакомления с сайтом посетитель может не регистрироваться. Однако в этом случае часть ресурсов Центра ему будет недоступна. Внесение абонентской платы через электронные платежные системы открывает клиенту доступ ко всем разделам и сегментам Центра, с сообщением посетителю об открытии для него портала в режиме полномасштабного функционирования (см. рис. 4г).

Главной сущностью концепции Cloud Computing и ее основных технологий IaaS, SaaS и WaaS — «Инфраструктура, программное обеспечение и рабочее место как услуга» — является замена юридической формы пользования программным продуктом.

Форма купли-продажи товара с отчуждением прав собственности от продавца к покупателю меняется на форму аренды, в данном случае — продажи не продукта, а услуг по его использованию, Март 23, 2010 at 10:24 ртнию клиентом без смены собственника продукта.

При этом оплата услуг может проводиться различными способами. На портале SciShop.ru реализована абонентская форма оплаты пользования инфраструктурой (технология IaaS) и

контентом (технология SaaS) Центра компьютерного моделирования с организацией в нем для клиента специализированных рабочих мест (технология WaaS) запуска программных комплексов.

Для коммерческого сегмента Центра организовано применение (с отработкой необходимых интерфейсов) специализированной банковской Интернет-системы «Robokassa», обеспечивающей использование более 20 электронных платежных систем (WebMoney, Яндекс.Деньги и т.д.) с целью существенного расширения круга клиентов. Также была внедрена система, позволяющая проводить платежи с использованием SMS сотовой телефонии.

Следует, однако, проинформировать возможного клиента о том, что в настоящее время имеет место «война» электронных платежных систем, что может приводить к проблемам конвертации электронных валют. Так, например, WebMoney принимает платежи из ограниченного списка электронных банков. На законодательном уровне дискутируется вопрос о допуске на финансовый рынок Интернета только электронных банков, у которых существуют реальные банки (в частности, WebMoney, сотовая телефония, возможно, Яндекс.Деньги, а в перспективе и другие).

Обратим внимание на форму оплаты услуг в Cloud Computing (подчеркнем еще раз, что услуга является одним из главных атрибутов концепции облачных вычислений). Здесь могут использоваться такие формы, как абонемент (на определенный срок за определенную плату) или транзакция (оплата за каждое конкретное действие клиента).

На портале SciShop.ru принята абонентская система — один, два или три календарных месяца с возможностью дальнейшей пролонгации. При этом количество и вид действий (запросов) клиента не лимитируется. Стоимость технической поддержки и обновления приложений включена в абонентскую плату.

Безопасность прохождения платежей, прозрачность их маршрутизации, необходимые сообщения клиенту, конвертация валют в различных электронных платежных системах гарантируется специальными структурами системы «Robokassa» и проверено в ходе опытной эксплуатации Центра компьютерного моделирования. Однако следует подчеркнуть, что получение прибыли в настоящий момент не является доминирующей целью выполняемого многогранного проекта, являющегося функциональным исследованием проблем распространения научных знаний на основе современных информационных технологий.

Одной из ключевых технологий, составляющих Cloud Computing, является технология IaaS «Infrastructure as a Service». Портал SciShop.ru, сконструированный и функционирующий на базе идеологии Cloud Computing, предоставляет клиенту разнообразные сервисы. Кратко представим часть из них.

Режимы функционирования. Центр компьютерного моделирования является multifunctionальной системой, в которой клиенту обеспечивается возможность выбора того или иного режима функционирования. Выбор этих режимов осуществляется посетителем сразу же после входа в Центр, на главной странице сайта. Кратко рассмотрим назначение этих режимов.

Во-первых, посетитель может выбрать один из разделов Центра: или Центр-1, или Центр-2, каждый из которых включает в себя спектр различных научных разработок, предназначенных для использования клиентами. Содержание этих разделов с описанием информационно-вычислительных комплексов «Удар», «Поток», «Астра» и «Нано» приведено в [1] и, более предметно, в [4-7].

Во-вторых, посетитель Центра по своему желанию может выбрать русский (устанавливается «по умолчанию») или английский вариант (сегмент) языка Web-ресурса. Здесь следует отметить, что англоязычное «зеркало» иногда отстаёт на одну версию от русского контента.

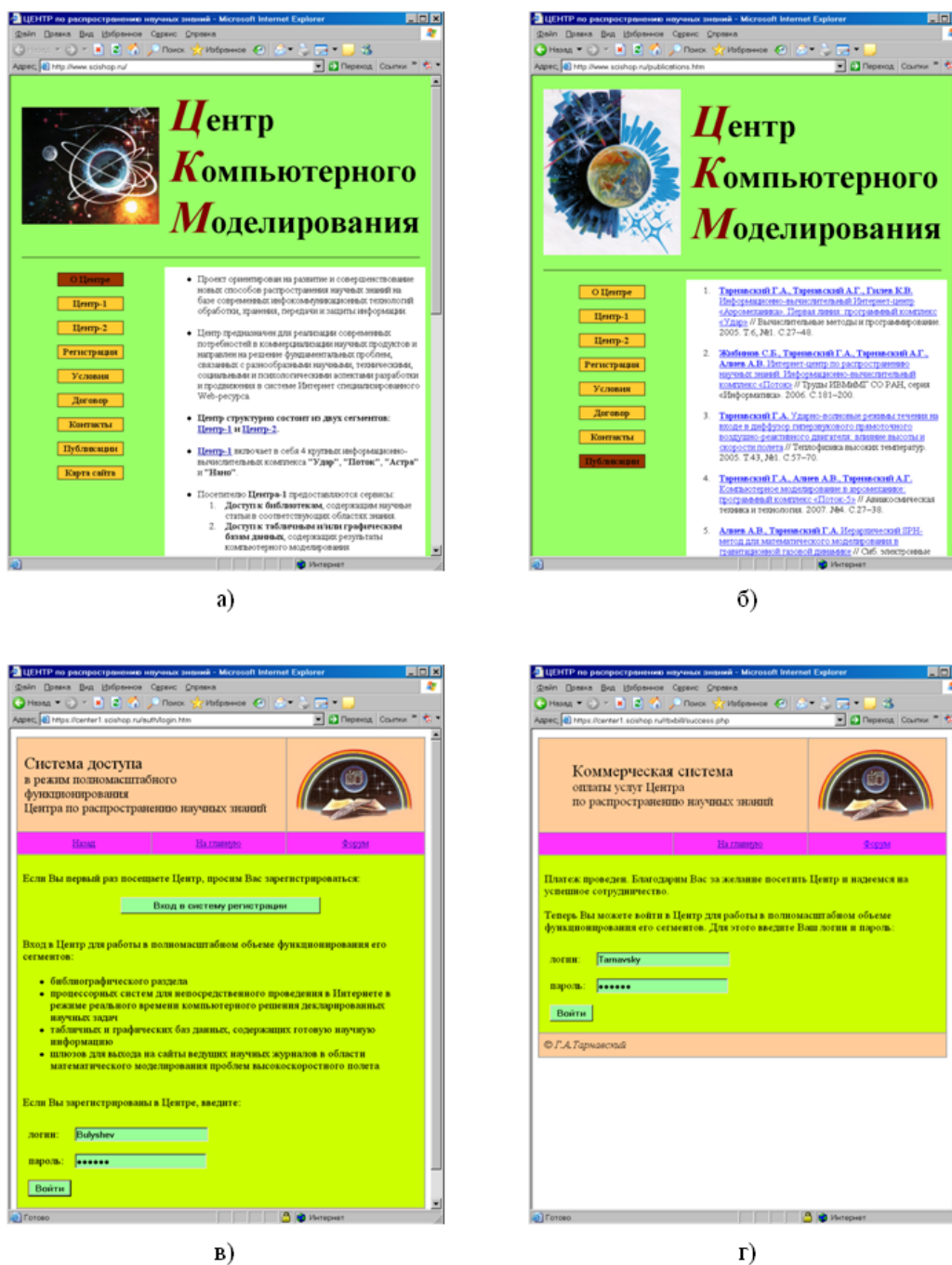


Рис. 4. Главная страница Интернет сайта «Центр компьютерного моделирования» (а); страница «Публикации» о Центре компьютерного моделирования (б); шлюз для входа в «Систему регистрации и получения платного доступа к ресурсам» (в); шлюз для доступа в режим полномасштабного функционирования Центра (г)

В-третьих, клиент может, по своему выбору, «включить» один из двух режимов коммерческой системы Центра. Первый режим является бесплатным демо-режимом (который устанавливается «по умолчанию»), имеющим определенные ограничения на используемый контент. В этом режиме клиент может зарегистрироваться или оставаться анонимным. Второй режим — режим полномасштабного функционирования Центра. Для «включения» этого режима посетитель должен быть зарегистрирован в Центре с внесением абонентской платы за пользование его ресурсами. Абонентская плата осуществляется через электронные международные, российские и украинские платежные системы типа WebMoney, Yandex.Деньги и т.п., а также через SMS-сообщения сотовой телефонии. Системы Центра принимают 4 вида валют: доллары, евро, рубли и гривны.

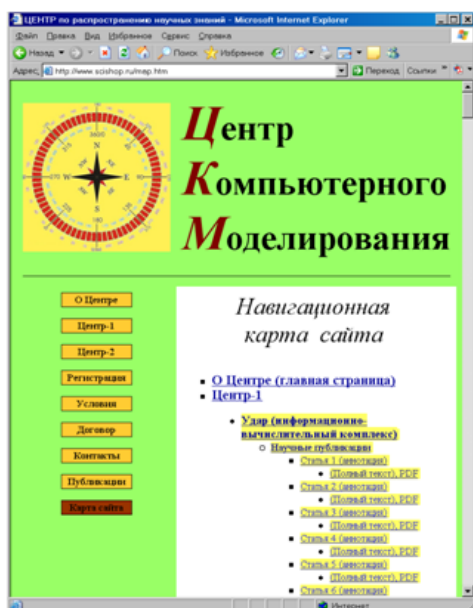
В-четвертых, посетитель Центра может ознакомиться с основами функционирования Центра в разделе «Документация». В сегменте «Научные публикации» обеспечивается доступ к научным статьям, содержащим описание различных аспектов функционирования Web-ресурсов и опубликованным в различных журналах. Посетителю бесплатно предоставляются PDF статей. В сегменте «Условия» посетитель, который имеет законченные программные разработки и желает разместить их в Центре на безвозмездной или коммерческой основе, может ознакомиться с условиями их размещения. Сегмент «Договор» содержит текст договора о размещении научного продукта в Центре, который должен быть заключен между автором и администрацией сайта. В сегменте «Контакты» указаны почтовые, телефонные и электронные адреса администрации Центра.

Ориентация посетителей на портале. Навигационная карта сайта является одним из важнейших атрибутов документирования любого крупного Web-ресурса. Удобство и понятность навигации отличает хорошо продуманные и хорошо спроектированные сайты, и навигационная карта может существенно поднять уровень комфортности посещений сайта и реализации поставленных целей, в частности, увеличения числа продаж на коммерческих порталах.

В Интернете используются различные формы навигационных карт, однако следует подчеркнуть, что уже выработался определенный стандарт их дизайна. Главная задача навигационной карты — дать посетителю общее представление о топологии сайта, указать его основные структуры (разделы, подразделы и т.п.) и переходы (гиперссылки) между ними. При этом, как правило, движение по страницам сайта должно быть однозначно простым и понятным, т.е. хорошо спроектированный сайт отличает коммуникационный граф без лишних ветвлений и перекрестных связей. Заметим, что повышение эффективности навигационной карты может быть достигнуто использованием ее отдельных строк в качестве гиперссылок, представляющих определенную (подробную или краткую) информацию о данном подразделе Web-ресурса. Навигационная карта Центра компьютерного моделирования (рис. 5а) соответствует современным требованиям (полнота содержания, понятность описания и удобство пользования) Web-документации этого типа.

Раздел «Центр-1». Главным разделом Центра компьютерного моделирования, содержащим информационно-вычислительные комплексы и поддерживающие их структуры, является раздел «Центр-1». Корневая страница этого Web-ресурса приведена на рис. 5б и представляет физико-математическую сущность «Центра-1» как ассоциации независимых информационно-вычислительных комплексов «Удар», «Поток», «Астра» и «Нано». Переход на эти сегменты осуществляется нажатием соответствующих гиперссылок. Заметим, что возможность «без проблем» получить доступ к этим крупным ресурсам (с их активизацией) является одной из ключевых услуг Центра, входящих в технологию IaaS «Инфраструктура как услуга» облачных вычислений.

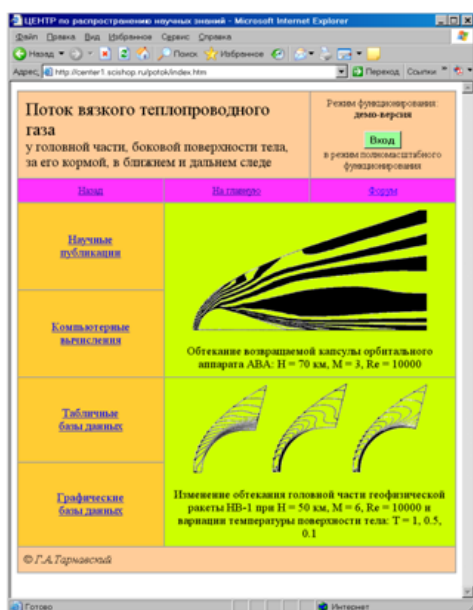
Кратко охарактеризуем информационно-вычислительные комплексы (ИВК):



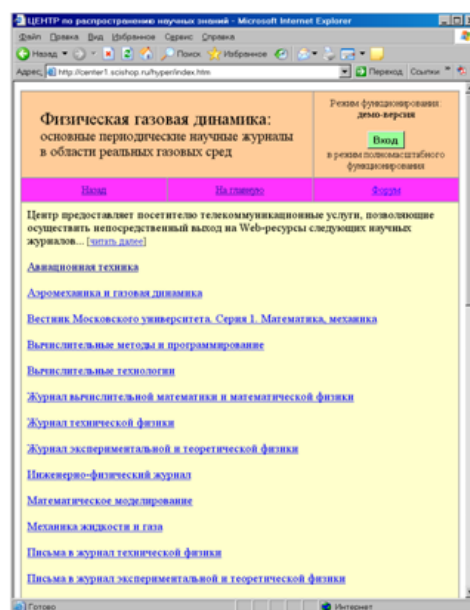
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Навигационная карта сайта (а); корневая страница раздела «Центр-1» (б); базовая страница информационно-вычислительного комплекса «Поток» (в); плюз для выхода на сайты ведущих российских и зарубежных журналов в области физической газовой динамики (г)

- ИВК «Удар» [4], высокоскоростная внутренняя аэродинамика: расчет ударно-волновых структур в диффузоре гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (рис. 5в);
- ИВК «Поток» [5], высокоскоростная внешняя аэродинамика: расчет обтекания объектов в атмосферах Земли и Марса;
- ИВК «Астра» [6], вычислительная астрофизика: моделирование динамики процессов в межгалактическом газе и протопланетных облаках;
- ИВК «Нано» [7], микроэлектроника: компьютерная поддержка проектирования наноструктурированных полупроводниковых материалов.

«Центр-1» также содержит еще 4 крупных сегмента, поддерживающих комфорт пользования комплексами для посетителей сайта. Это сегменты «Форум», «Математическое моделирование», «Физическая газовая динамика» и «Нанотехнологии в электронике» со следующими функциями.

«Форум» — специальный коммуникационный раздел Центра для взаимодействия посетителей друг с другом и с разработчиками (гостевая книга и книга отзывов, страница для проведения научных конференций и консультаций).

«Математическое моделирование», «Физическая газовая динамика» и «Нанотехнологии в электронике» являются шлюзами для непосредственного выхода посетителя Центра на сайты основных русско- и англоязычных научных журналов по соответствующим тематикам. Эти шлюзы являются составной частью облачной технологии WaaS («Workplace as a Service») и ориентированы на клиентскую поддержку, поскольку в процессе работы с сегментами Центра у посетителя может возникнуть необходимость получения информации, которая отсутствует в библиографических разделах сайта, но имеется в статьях, помещенных в некоторых научных журналах.

Вообще говоря, разработаны и успешно функционируют мощные поисковые системы типа Google, Yandex и др., которые могут выполнить данную задачу, однако непосредственный доступ на сайты научных журналов является незаменимым эффективным средством поиска материалов, которые не вполне ясно «вырисовываются» в текущем научном творчестве и не могут быть четко сформулированы для машин поисковиков.

Библиографическая поддержка посетителей Центра организована следующим образом. Как уже указывалось, созданы три шлюза для выхода на сайты ведущих российских и зарубежных журналов по тематикам «Математическое моделирование», «Физическая газовая динамика» и «Нанотехнологии в электронике».

Эти шлюзы функционируют достаточно стандартным образом. Посетитель по гиперссылке, например, «Журналы по физической газовой динамике», с корневой страницы «Центра-1» (см. рис. 5б) попадает на страницу сайта со списком названий журналов по данной проблематике (см. рис. 5г). Каждое название само является гиперссылкой, содержащей URL-адрес сайта журнала.

Таким образом, посетитель Центра переходит на сайт требуемого журнала непосредственно из Центра, без обращения к поисковым системам или своим записным книжкам. Разумеется, дальнейшая навигация посетителя по сайту журнала не контролируется системами Центра и не обеспечивается их поддержкой. Добавим, что администрация Центра также не несет ответственности за неправомерные действия клиента, например, несакционированное журналом скачивание его статей в случае платного доступа к интеллектуальной собственности журнала. Подчеркнем, что абонентская плата пользования ресурсами Центра не включает в себя и не означает санкционирование оплаченного доступа к ресурсам научных журналов. Таким образом, при создания портала были использованы все основные облачные технологии IaaS, SaaS, DaaS и WaaS. Кратко резюмируем вышесказанное.

При создании портала были использованы все основные облачные технологии IaaS, SaaS, DaaS и WaaS. Кратко резюмируем вышесказанное.

Технология IaaS «Инфраструктура как услуга». Центр компьютерного моделирования предоставляет Интернет-инфраструктуру и инфраструктуру портала:

- аппаратные средства (серверы, системы хранения данных, клиентские системы, сетевое оборудование);
- операционные системы и системное программное обеспечение (средства виртуализации, автоматизации, управления);
- многофункциональные сегменты контента портала (переключатели режимов, шлюзы и т.п.).

Технология SaaS «Программное обеспечение как услуга». В распоряжение клиента предоставляются информационно-вычислительные комплексы со следующими характеристиками:

- комплексы используются в режиме дистанционного доступа;
- коммуникативность пользования (одним комплексом могут пользоваться одновременного несколько клиентов);
- поддержка систем комплексов включена в оплату;
- модернизация комплексов происходит плавно и незаметно для клиентов.

Технология DaaS «Данные как услуга». Центр предоставляет клиенту библиотечные, табличные и графические базы данных, в которых содержатся:

- теоретические материалы и тексты опубликованных статей;
- цифровые результаты проведенных расчетов научных и прикладных задач и их визуализация (1D-, 2D- и 3D-графика);

Клиенту обеспечивается пересылка данных по сети с необходимым контролем над потоками данных и защитой информации.

Технология WaaS «Рабочее место как услуга». Центр предоставляет клиенту максимальный комфорт для проведения научных исследований, а также снижает клиентские затраты на эксплуатацию собственных рабочих станций, с их заменой виртуализированной (для пользователя) средой централизованной инфраструктуры (суперкомпьютер СО РАН).

Некоторые вопросы авторского права и интеллектуальной собственности, связанные с использованием программных продуктов, в том числе с применением облачных технологий, рассмотрены в [8].

6. ДОСТУП К БАЗАМ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ПОТОК»

Рассмотрим организацию «Облачных вычислений» в Центре компьютерного моделирования SciShop.ru. Поясним маршрутизацию действий клиента на примере одного из информационно-вычислительных комплексов Центра. Допустим, что клиент интересуется картиной обтекания объектов высокоскоростным потоком сжимаемого вязкого теплопроводного газа и намерен использовать для проведения своих исследований табличные и графические базы данных информационно-вычислительного комплекса «Поток». Для работы с этим ресурсом в режиме дистанционного доступа по сети Интернет необходимо:

- зайти на сайт Центра компьютерного моделирования SciShop.ru (рис. 4а);
- нажатием кнопки «Центр-1» перейти в соответствующий сегмент ресурса, корневую страницу группы программных комплексов «Удар», «Поток», «Астра» и «Нано» (рис. 5б);

– нажатием кнопки «Поток» перейти на базовую страницу этого раздела (рис. 5в).

На этой странице клиент может выбрать один из четырех сегментов раздела «Поток», два из которых предоставляют клиенту доступ к табличным (рис. 6а) или графическим (рис. 6б) базам данных. После выбора какой-либо из них, в зависимости от своих целей, клиент попадает на страницу соответствующего раздела.

Таким образом, последовательность действий клиента по доступу к базам данных комплекса «Поток» в Центре компьютерного моделирования является абсолютно прозрачной и ясной (даже для неспециалиста в области вычислительных технологий) и строго детерминирована от начала (вход на сайт SciShop.ru) и до конца (получение в свое распоряжение результатов в таблично-цифровом и графическом формате). При этом клиент даже «не видит» ни сценария задания, ни кодов программного комплекса. Он освобожден от необходимости организовывать маршрутизацию информационных потоков к вычисляющему компьютеру и обратно.

Такая простота доступа к сложному многофункциональному информационно-вычислительному комплексу, доступ «с первого захода» без трудоемкой и требующей длительного времени инсталляции, легкость и элегантность пользования сегментами комплекса, являются основными преимуществами облачных вычислений, контрапунктом Cloud Computing.

7. ТЕХНОЛОГИЯ DAAS «ДАННЫЕ КАК УСЛУГА»

Наряду с такими важными характеристиками любого программного комплекса, как точность моделирования, безотказность функционирования и широта спектра решаемых задач, существенное значение имеет комфорт деятельности клиента, непосредственно определяющий эффективность использования комплексов (и даже небольших компьютерных программ) с весьма кардинальным влиянием на весь ход исследований, с возможностью сокращения сроков выполнения проектов.

В концепции Cloud Computing организации рабочего места как услуги для пользователя (технология WaaS «Workplace as a Service») придается большое значение. Эта технология весьма подробно описана в [3]. Другая важная технология Cloud Computing, технология SaaS («Программное обеспечение как услуга»), анализировалась в [2]. Там же рассматривалась специально созданная технология организации информационных потоков, включающая обеспечение непосредственно вычислительного процесса — облачная технология DFC («Data Files Cruise», «Круиз файлов данных»). В [1] приводилось описание структуры и функций Центра компьютерного моделирования (технология IaaS «Infrastructure as a Service»). В настоящей работе основное внимание уделяется технологии DaaS («Данные как услуга»).

Облачный портал — Центр компьютерного моделирования и входящие в него информационно-вычислительные комплексы ориентированы на создание максимально комфортных условий для клиента.

Одним из сервисов ИВК «Поток» является предоставление клиенту результатов уже проведенных расчетов аэродинамики высокоскоростного полета, потребовавших существенных затрат компьютерных ресурсов. Эти результаты размещены в базах данных и предоставляются клиенту по его запросу.

Проведем краткое описание структуры этого сегмента ИВК «Поток». Базы данных комплекса разделены на табличные (ТБД) и графические (ГБД). Это разделение входит в технологию DaaS как услуга клиенту, поскольку наиболее оптимальным путем анализа предоставляемой информации является предварительный анализ визуализированных картин обтекания объектов или их сегментов, дающих интегральное представление о процессе в целом, а затем — детальный анализ аэродинамических характеристик по цифровым таблицам, специа-

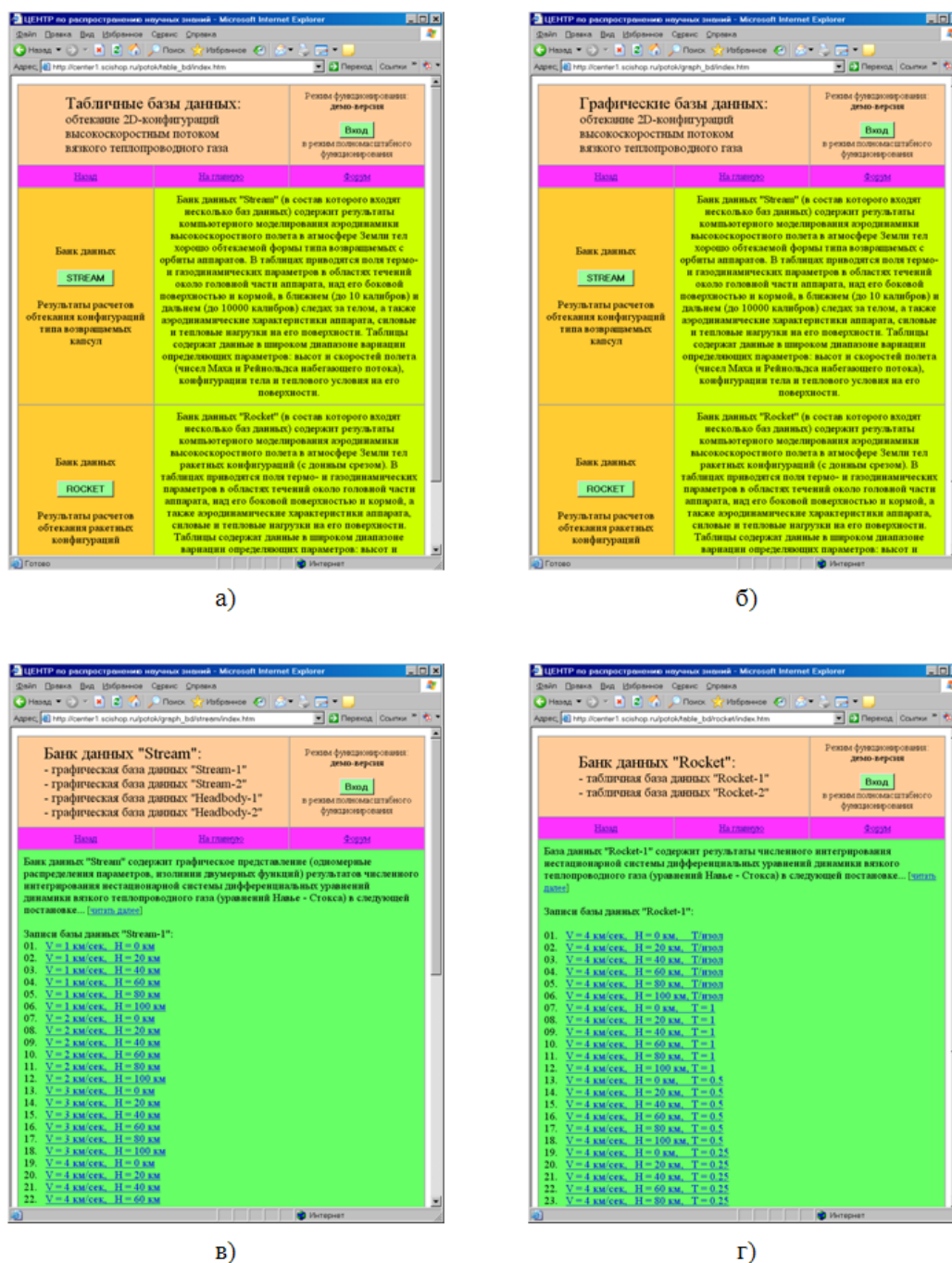


Рис. 6. Страница первого уровня линии «Табличные базы данных» раздела «Поток» (а); страница первого уровня линии «Графические базы данных» раздела «Поток» (б); страница «Банк данных «Stream» второго уровня линии «Графические базы данных» раздела «Поток» (в); Страница «Банк данных «Rocket» второго уровня линии «Табличные базы данных» раздела «Поток» (г)

лизированная структура которых ориентирована на максимум комфортности работы с этими таблицами.

Доступ к ТБД и ГБД осуществляется с базовой страницы ИВК «Поток» (рис. 5в) по гиперссылкам «Табличные базы данных» и «Графические базы данных». Структуры ТБД и ГБД практически одинаковы для удобства ориентации пользователя. Начальные страницы линий ТБД и ГБД показаны на рис. 6а и 6б соответственно. Эти обе линии содержат банки данных «Stream» (рис. 6в) и «Rocket» (рис. 6г).

Банк данных «Stream» (в состав которого входят несколько баз данных) содержит результаты компьютерного моделирования аэродинамики высокоскоростного полета в атмосфере Земли тел хорошо обтекаемой формы типа возвращаемых с орбиты аппаратов. В таблицах приводятся поля термо- и газодинамических параметров в областях течений около головной части аппарата, над его боковой поверхностью и кормой, в ближнем (до 10 калибров) и дальнем (до 10000 калибров) следах за телом, а также аэродинамические характеристики аппарата, силовые и тепловые нагрузки на его поверхности. Таблицы содержат данные в широком диапазоне вариации определяющих параметров: высот и скоростей полета (чисел Маха и Рейнольдса набегающего потока), конфигурации тела и теплового условия на его поверхности.

Банк данных «Rocket» (в состав которого входят несколько баз данных) содержит результаты компьютерного моделирования аэродинамики высокоскоростного полета в атмосфере Земли тел ракетных конфигураций (с донным срезом). В таблицах приводятся поля термо- и газодинамических параметров в областях течений около головной части аппарата, над его боковой поверхностью и кормой, а также аэродинамические характеристики аппарата, силовые и тепловые нагрузки на его поверхности. Таблицы содержат данные в широком диапазоне вариации определяющих параметров: высот и скоростей полета (чисел Маха и Рейнольдса набегающего потока), конфигурации тела и теплового условия на его поверхности.

БД «Stream» и «Rocket» включают в себя базы данных соответственно «Stream-1», «Stream-2», «Rocket-1» и «Rocket-2». БД «Stream-1» и «Rocket-1» содержат параметры обтекания объектов с теплоизолированной поверхностью, а БД «Stream-2» и «Rocket-2» — объектов с изотермической поверхностью. Режимы теплоизоляции (тепловой поток в корпус объекта равен нулю) или изотермичности (температура поверхности постоянна) описывают существенно разные физические процессы и используют разные математические модели и реализующие их вычислительные алгоритмы, а размещенные в соответствующих БД файлы записи содержат решения с существенным различием газодинамических картин обтекания.

Такое структурирование банка данных на сегменты — базы данных различной аэродинамической природы — есть один из аспектов облачной технологии DaaS «Данные как услуга», поскольку это существенно повышает комфортность работы.

Для комфорта доступа к записям (цифровым или графическим файлам в гиперссылках указаны главные аэродинамические характеристики расчета — скорость V (км/с) и высота H (км) полета.

Приведем некоторые иллюстрации записей, хранящихся в различных ТБД и ГБД. На рис. 7а показан результат вызова табличного файла записи № 23 БД «Rocket-1» ($V = 4$ км/с, $H = 80$ км). На рис. 7б показан фрагмент графической базы данных — файла записи № 01 БД «Stream-2», где представлено распределение плотности воздуха вокруг объекта, летящего со скоростью 2.5 км/с на высоте 50 км и имеющего температуру поверхности $T = 0.5$ (отнесенную к температуре адиабатического торможения потока).

Известно, что основные силовые и тепловые нагрузки приходятся на головную часть летательного аппарата. Кроме того, при моделировании гиперзвукового обтекания носка тела на больших высотах в современных исследованиях обнаружен эффект «карбункула» — излом поверхности фронта головной ударной волны вблизи линии торможения (см. рис. 2). При

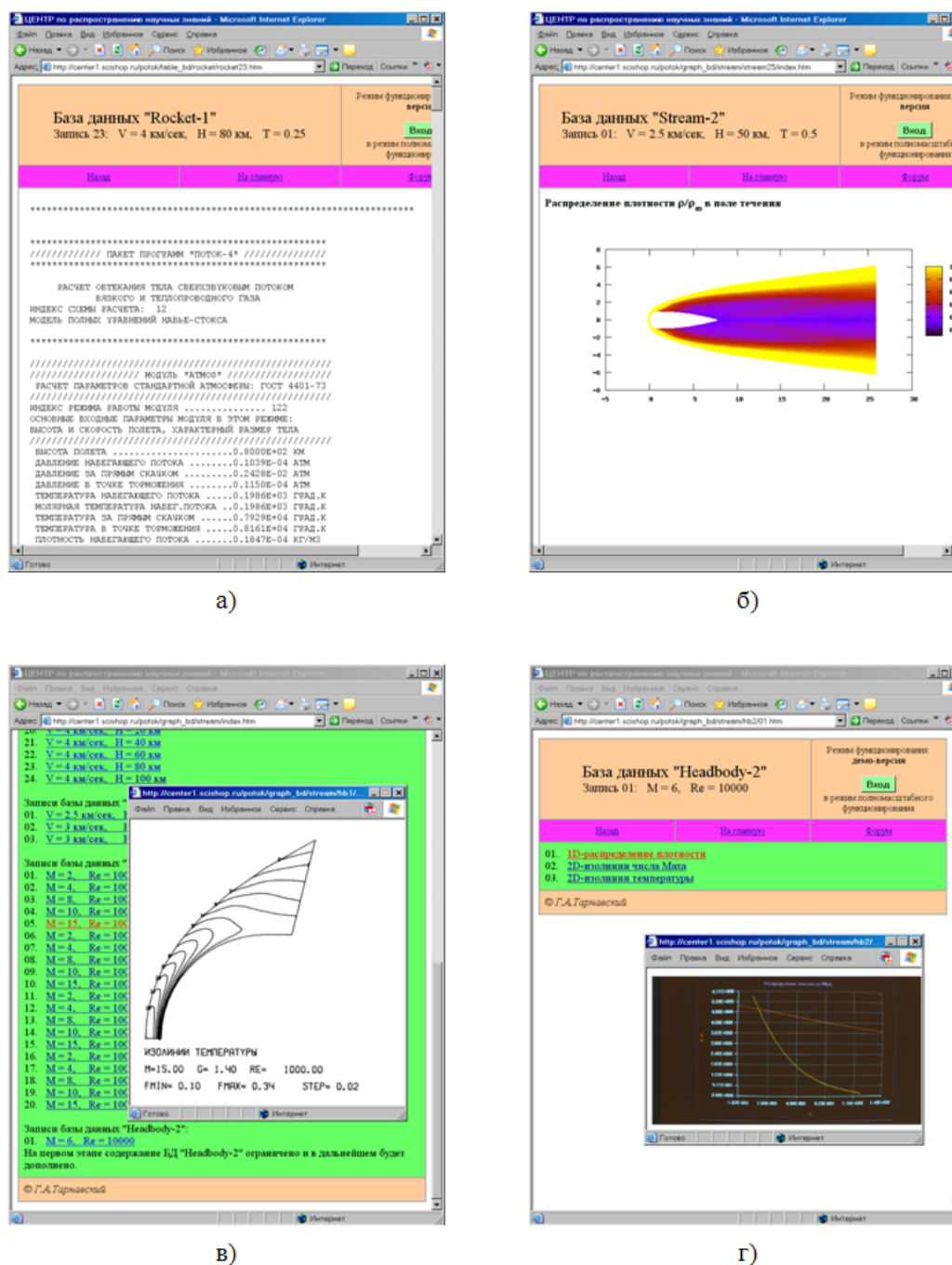


Рис. 7. Страница «Цифровые значения» записи №23 базы данных «Rocket-1» третьего уровня линии «Табличные базы данных» раздела «Поток» (а); страница «Визуализация» записи №01 базы данных «Stream-2» третьего уровня линии «Графические базы данных» раздела «Поток» (б); страница «Визуализация» записи №05 базы данных «Headbody-1» третьего уровня линии «Графические базы данных» раздела «Поток» (в); страница «Визуализация» записи №01 (1D-распределение плотности) базы данных «Headbody-2» четвертого уровня линии «Графические базы данных» раздела «Поток» (г)

объяснении этого эффекта существуют две альтернативные точки зрения — вычислительный эффект или физическая реальность. Исследование этого эффекта затруднено тем обстоятельством, что эксперименты в аэродинамических трубах не могут быть поставлены с полным соответствием параметров как по числам Рейнольдса и Маха, так и по физическим свойствам газовой среды. Полетные эксперименты крайне дороги и технически очень сложны, а вычислительные алгоритмы разных классов методов дают различные результаты (подробнее см. [9]).

В связи с этим в ИВК «Поток» созданы специализированные БД «Headbody-1» и «Headbody-2», в которых размещена подробная информация об аэродинамике обтекания сферически закругленного носка объекта. В этих БД хранится таблично-графическая информация как в 2D-формате (например, изолинии температур, см. рис. 7в), так и в 1D-формате (аэродинамические характеристики потока на поверхности объекта, в частности, распределение давления, см. рис. 7г).

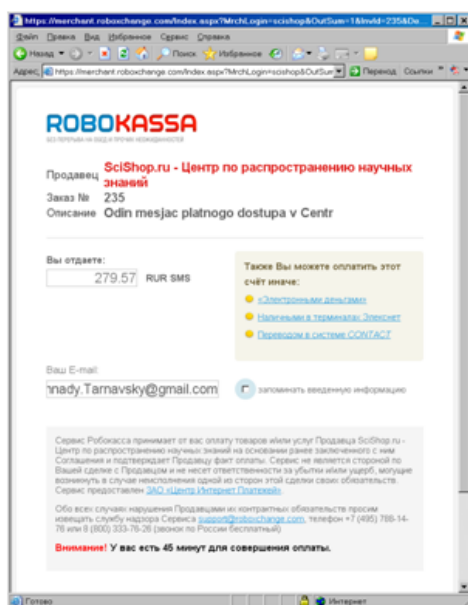
Кратко проанализируем организационные аспекты облачных вычислений в рассматриваемом вопросе. Главной сущностью концепции Cloud Computing и ее основных технологий IaaS, SaaS и WaaS — «Инфраструктура, программное обеспечение и рабочее место как услуга», а так же технологии DaaS («Данные как услуга», практика применения которой на портале SciShop.ru представлена в данном разделе) — является замена юридической формы пользования программным продуктом — «аренда вместо покупки». Это означает следующее.

Информационно-вычислительные комплексы и входящие в них табличные и графические базы данных могут быть использованы как безвозмездно (демо-версии), так и на коммерческой основе. Доступ в режим полномасштабного функционирования Центра осуществляется после регистрации посетителя в специализированной «книге учета» (рис. 4г) и внесения им абонентской платы через электронные платежные системы.

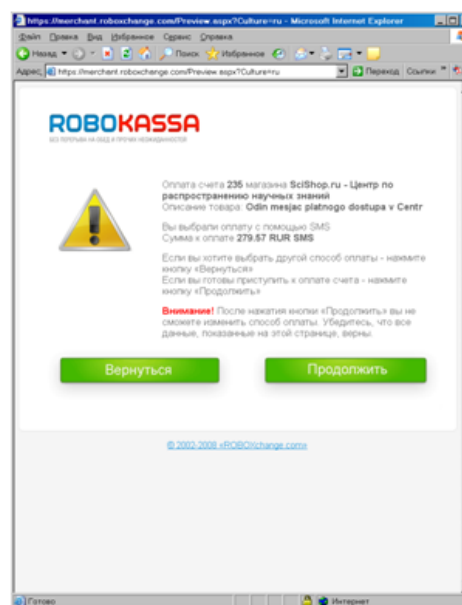
Подчеркнем, что режим полномасштабного функционирования предоставляет клиенту возможность получения доступа к существенно большему объему информации, хранящейся в ТБД и ГБД. В соответствии с особыми формами технологии DaaS приняты специальные меры против несанкционированного доступа к файлам записей ТБД и ГБД. Отметим, что незначительность абонентской платы (поскольку проект на данном этапе является в большей степени исследовательским, нежели коммерческим) делает нецелесообразным организацию взлома архивов ИВК «Поток». Применение для внесения платежей различных электронных систем, от WebMoney до сотовой телефонии, предоставляет посетителю сайта услугу по минимизации времени проведения всего платежного цикла от регистрации до входа в режим полномасштабного функционирования.

Рис. 8а-8г иллюстрируют маршрут проведения абоненткой платы по системе SMS, одной из самых мобильных и используемых в настоящее время систем. Здесь показаны только 4 ключевые позиции (4 страницы сайта) маршрута на данной SMS-линии раздела «Регистрация посетителей и получение платного доступа в Центр». Помимо этих позиций существует еще 6 других страниц (уровней), которые последовательно проходит клиент, например, выбор валюты, в которой производится оплата, указание страны и оператора сотовой связи и т.п. Прохождение маршрута поддерживается ясностью запросов и не вызывает никаких затруднений у клиента.

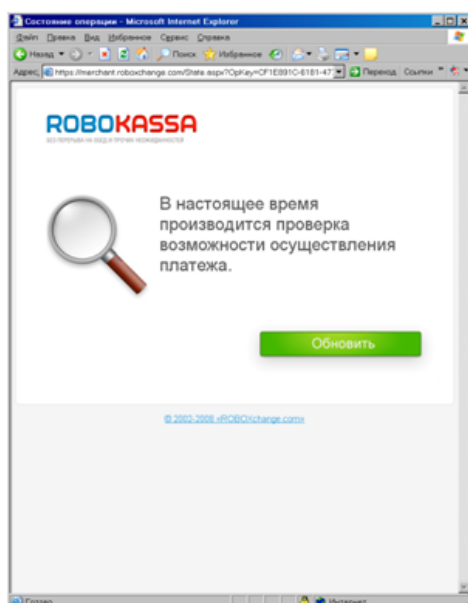
В заключение авторы настоящей работы выражают сдержанный оптимизм и надежду на востребованность сервисов Центра компьютерного моделирования, предоставляющих доступ к базам данных информационно-вычислительного комплекса «Поток», в которых хранятся результаты расчетов аэродинамики высокоскоростного полета, проводившихся в течение длительного времени, в том числе с применением суперкомпьютера.



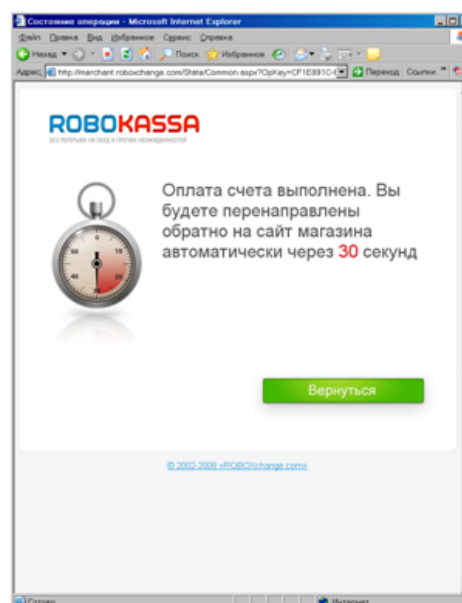
а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Базовая страница «Вход в систему Robokassa и выбор способа оплаты (платежной системы — RUR SMS сотовой телефонии)» сегмента «Получение платного доступа в Центр» (третий уровень линии «Регистрация посетителей») (а); страница «Подтверждение выбора способа оплаты (электронная платежная система RUR SMS сотовой телефонии) в системе «Robokassa» сегмента «Получение платного доступа в Центр» (четвертый уровень линии «Регистрация посетителей») (б); страница «Установление связи с выбранной платежной системой SMS сотовой телефонии» сегмента «Получение платного доступа в Центр» (пятый уровень линии «Регистрация посетителей») (в); страница «Возврат из системы SMS сотовой телефонии в систему «Robokassa» сегмента «Получение платного доступа в Центр» (десятый уровень линии «Регистрация посетителей») (г)

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направление информационных технологий Cloud Computing является весьма перспективным направлением дистрибуции знаний. В статье кратко рассмотрены некоторые аспекты использования облачных технологий «Инфраструктура, программное обеспечение, данные и рабочее место как услуга», примененных для организации функционирования информационно-вычислительного комплекса «Поток» Центра компьютерного моделирования SciShop.ru.

В заключение особо подчеркнем, что **проект Центра компьютерного моделирования не имеет принципиальных ограничений ни на расширение контента новыми информационно-вычислительными комплексами, ни на совершенствование пользовательских сервисов, ни на расширение функциональных возможностей этого Web-ресурса.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарнавский Г.А., Алиев А.В., Анищик В.С., Тарнавский А.Г., Жибинов С.Б., Чесноков С.С. Информационные технологии и проблемы создания Центра компьютерного моделирования в Интернете. *Информационные технологии*. 2009. №8. стр. 68-73.
2. Алиев А.В., Тарнавский Г.А. Применение технологий SaaS и DFC направления Cloud Computing при разработке Центра компьютерного моделирования SciShop.ru. *Информационные процессы* (электронный научный журнал). 2009. №4. стр. 262-272. <http://www.jip.ru/2009/262-272-2009.pdf>
3. Тарнавский Г.А. Дистанционное компьютерное моделирование ударно-волновых структур в гиперзвуковых потоках газа: технология облачных вычислений «Рабочее место как услуга». *Вычислительные методы и программирование*. 2010. Т.11, раздел 2. стр. 1-25.
4. Тарнавский Г.А., Тарнавский А.Г., Гилев К.В. Информационно-вычислительный Интернет-центр «Аэромеханика». Первая линия: программный комплекс «Удар» // *Вычислительные методы и программирование*. 2005. Т.6. №1. стр. 27-48.
5. Тарнавский Г.А., Алиев А.В., Тарнавский А.Г. Компьютерное моделирование в аэромеханике: программный комплекс «Поток-5». *Авиакосмическая техника и технология*. 2007. №4. стр. 27-38.
6. Алиев А.В., Тарнавский Г.А. Иерархический SPH-метод для математического моделирования в гравитационной газовой динамике. *Сибирские электронные математические известия*. 2007. Т.4. стр. 376-434.
7. Тарнавский Г.А., Анищик В.С. Инструментарий NanoMod компьютерной поддержки проектирования наноструктурированных полупроводниковых материалов. *Вычислительные методы и программирование*. 2009. Т.10. Раздел 2. стр. 34-50
8. Жибинов С.Б., Тарнавский Г.А. Центр компьютерного моделирования в Интернете: проблемы авторского права и интеллектуальной собственности контента. *Исследовано в России*. 2009. Т.12. №073. стр. 953-967. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/073.pdf>
9. Тарнавский Г.А., Алиев А.В. Особенности аэродинамики высокоскоростного полета: компьютерное моделирование гиперзвукового обтекания головной части объекта. *Вычислительные методы и программирование*. 2008. Т.9. №2. стр. 371-394.