

УДК 519.6

## СЕРВИСНАЯ СИСТЕМА "СРЕДА3D" ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПЕРЕСЧЕТЕ СЕТОЧНЫХ ВЕЛИЧИН С ОДНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СЕТКИ НА ДРУГУЮ

А. Б. Емельянов  
(ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", г. Саров Нижегородской области)

Созданная в РФЯЦ-ВНИИЭФ сервисная система "Среда3D" является одним из элементов технологии глобальной перестройки пространственной сетки и пересчета величин с одной регулярной сетки на другую. Она предназначена для формирования начальных данных (начальной геометрии и расчетной сетки) при численном решении задач механики сплошной среды по методикам РАМЗЕС-КП, КОРОНА, МРС. В работе приведены функциональные возможности системы "Среда3D" и описаны этапы подготовки начальных данных задачи на основе регулярной сетки.

*Ключевые слова:* перестройка расчетной сетки, пересчет сеточных величин, графический пользовательский интерфейс, данные исходной сетки, разрез-источник, разрез-приемник, регулярная листовая сетка, библиотека ЕФР, формат ЕФР.

### Введение

В математических отделениях российских федеральных ядерных центров ВНИИЭФ и ВНИИТФ применяются методики, предназначенные для численного моделирования физических процессов в сплошных средах, среди которых РАМЗЕС-КП [1], КОРОНА [2], МРС [3]. Технология проведения расчетов допускает поэтапное моделирование, когда результаты расчета по одной методике передаются в другую для продолжения счета. При таком подходе сформировать начальные данные для принимающей методики без вмешательства пользователя практически невозможно. Например, при обмене расчетными данными между методиками, использующими различные типы пространственных сеток, требуются вспомогательные сервисные программы. С одной стороны, с помощью них задаются начальные данные, а с другой, они позволяют учесть особенности подготовки данных для методики и разрешить неоднозначности при их импорте. Одним из таких инструментов является созданная в РФЯЦ-ВНИИЭФ сервисная система "Среда3D" (Средство Редактирования ЕФР [4] Данных), которая позволяет обрабатывать регулярные двумерные сетки и листы

трехмерных разрезов с листовой геометрией. В РФЯЦ-ВНИИТФ существует аналогичная система GeomGrid2 [5].

Сервисная система "Среда3D" представляет собой приложение, которое не требует специальной установки для работы под операционной системой Windows. Система функционирует в однопользовательском режиме и позволяет визуализировать и проводить в интерактивном режиме обработку данных, размеры которых могут существенно превышать доступную оперативную память персонального компьютера (ПК). В 2012 году сервисная система "Среда3D" сдана в опытную эксплуатацию и начиная с этого момента успешно используется при счете задач.

### Условия применения

Сервисная система "Среда3D" используется в технологии глобальной перестройки сетки и пересчета величин с одной сетки на другую [6] в трехмерном случае. Применение этой технологии необходимо как в случае поэтапного моделирования при передаче данных из одной методики в другую, так и в случае невозможности продолжения счета по одной методике, например при

вырождении ячеек расчетной сетки. Для хранения и передачи данных в виде разреза задачи используется формат ЕФР [4].

Под *разрезом задачи* здесь и далее понимается совокупность физических величин на расчетной сетке, характеризующая состояние рассчитываемой системы на определенный момент времени.

Разрез-источник (далее *источник*) формируется передающей методикой. Формирование разреза-приемника (далее *приемник*) происходит в два этапа: сначала формируется сетка приемника, затем на нее пересчитываются физические величины. Сетку приемника формирует система "Среда3D". Пересчет величин с сетки источника на сетку приемника выполняется программой InterVal-3D [7].

Помимо того, что данные для системы "Среда3D" должны быть записаны в формате ЕФР, они должны содержать фрагменты с регулярной листовой структурой: все узлы расчетной сетки с одинаковым индексом по третьему направлению находятся в одной плоскости.

## Основные блоки системы

Сервисная система "Среда3D" состоит из двух основных модулей — формирования начальной геометрии задачи и формирования расчетной сетки, а также вспомогательного модуля, который обеспечивает предварительную обработку данных источника.

**Модуль формирования начальной геометрии задачи.** Под начальной геометрией подразумевается совокупность замкнутых контуров, образующих границы математических областей. Создание математических областей осуществляется в интерактивном режиме с одновременной визуализацией источника.

**Модуль формирования расчетной сетки.** Выполняется генерация новой расчетной разностной сетки, на которую будет произведен пересчет сеточных величин источника. Помимо этого, данный модуль формирует набор контекстно-зависимых файлов в формате принимающей методики, которые необходимы для старта или продолжения счета.

**Модуль предварительной обработки данных источника.** Этот модуль создан с целью устранения двух ограничений: на размер доступной оперативной памяти ПК при работе

с большим объемом данных разреза задачи и на скорость их отображения. Ограничения сняты за счет использования дискового пространства ПК. Модуль состоит из программных блоков *выборки, обработки и записи* информации.

Выборка необходимой информации заключается в отборе частей источника, которые нужны для подготовки начальных данных. Например, из разреза выбираются только те соседние ячейки, в которых хранятся разные вещества. После выборки проводится разбиение сформированных данных по блокам, которые помещаются в оперативную память.

Обработка информации предполагает восстановление контактной границы раздела веществ, если есть смешанные ячейки.

Запись и чтение данных выполняются из одного буфера, в котором после предварительной обработки располагаются различные типы массивов данных источника. Это сокращает время размещения данных в оперативной памяти с накопителя и обратно.

## Пользовательский интерфейс

Приложение "Среда3D" выполняется в однопроцессорном режиме под управлением операционной системы Windows, счетные алгоритмы реализованы на языке C++, визуализация данных осуществляется с использованием библиотеки OpenGL [8].

Пользовательский интерфейс "Среда3D" состоит из окна для визуализации разреза, элементов панели инструментов, связанных с набором диалоговых окон. Диалоговые окна выполняют информационные функции, служат для визуализации различных данных, и с их помощью можно формировать массивы данных. В окне для визуализации отображаются данные источника. На рис. 1 показан общий вид пользовательского интерфейса сервисной системы.

## Функциональные возможности системы

- Сервисная система "Среда3D" позволяет:
- контролировать корректность данных источника для использования их в конкретной методике;
  - формировать начальную геометрию в виде замкнутых контуров для приемника на основании:
    - данных источника;

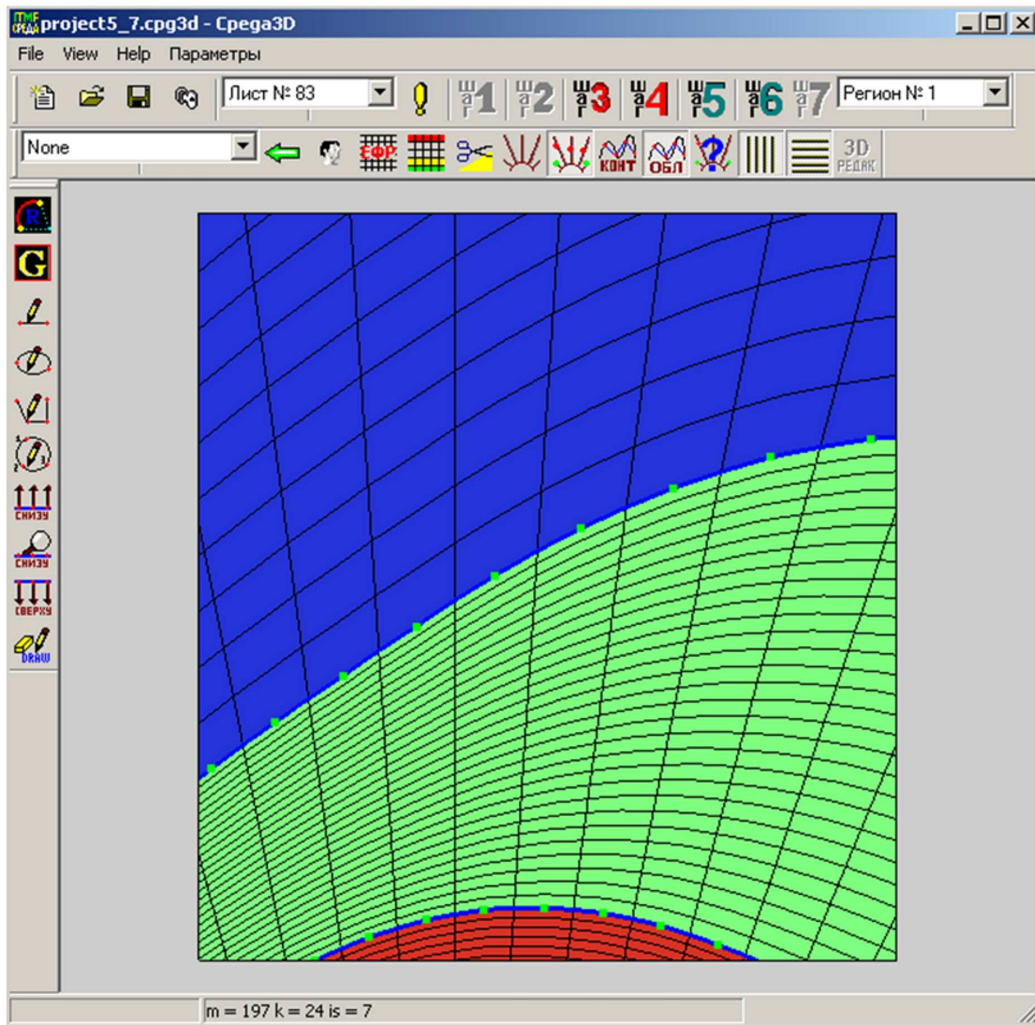


Рис. 1. Общий вид пользовательского интерфейса системы "Среда3D" с визуализацией расчетной сетки источника

- геометрических объектов, созданных аналитическим или графическим способом;
- геометрических объектов, загруженных из файлов;
- формировать математические области и строить в них расчетные сетки;
- задавать значения расчетных величин, граничные условия и т. д.
- сохранять результаты в различных форматах, включая ЕФР [4], а также форматы методик РАМЗЕС-КП, КОРОНА, МРС.

**Контроль данных источника.** В технологической цепочке глобальной перестройки сетки и пересчета сеточных величин система "Среда3D" является первым применяемым инструментом. Опыт показал необходимость внедрения

в нее алгоритмов первоначальной проверки корректности данных источника с точки зрения их использования принимающей методикой.

**Формирование начальной геометрии.** Формирование начальной геометрии является основной функцией системы "Среда3D". Начальная геометрия может быть построена, исходя из уже существующей геометрии, заданной через интерфейс, или на основе распределения веществ в источнике.

Задание геометрии графическим способом выполняется с помощью пользовательского интерфейса, аналогичного интерфейсу простейших графических редакторов, которые присутствуют в любой операционной системе. При задании геометрии аналитическим способом используется интерфейс, знакомый пользователям по дру-

гим визуальным редактором, созданным в математическом отделении РФЯЦ-ВНИИЭФ. Помимо этого, можно воспользоваться импортом готовых геометрических объектов.

Рассмотрим более подробно случай, когда для построения начальной геометрии используются массивы координат пространственной сетки источника и сеточный массив веществ.

Если в ячейке сетки находится более одного вещества, она считается смешанной. В формате ЕФР для вещества в смешанной ячейке предусмотрено представление в виде объемной и массовой концентраций. Если в разрезе присутствуют смешанные ячейки, то используется алгоритм восстановления контактной границы раздела веществ по концентрациям. Алгоритм основан на методе Янгса [9], модификация которого на случай неортогональных сеток была предложена В. Я. Урмом. Фрагмент построенной расчетной сетки для модели со смешанными ячейками приведен на рис. 2 (см. также цветную вкладку).

Для формирования геометрии области используются границы раздела веществ, которые совпадают с ребрами и гранями расчетной сетки ячеек с одним веществом, и восстановленные границы раздела веществ в смешанных ячейках.

Алгоритмы, по которым формируются контуры в системе "Среда3D", основываются на принципе *сканирующих лучей*, предложенном А. В. Волгиным. Каждый луч выходит из точки в пространстве, которая задается пользовате-

лем. Пересекая геометрию разреза, луч разбивается на отрезки, на концах которых происходят события (например, смена вещества). Если событие выделить как условие для сканирующих лучей, то совокупность лучей оставит за собой контур с вершинами, в которых это событие произошло. На рис. 3 (см. также цветную вкладку) показан пример найденного контура раздела веществ (на цветном рисунке отмечен синим цветом).

Имеется основной набор событий для сканирующих лучей, отраженный на рис. 3 в выпадающем списке *Тип границы* диалогового окна *Задание контуров*:

- пересечение с границей веществ;
- пересечение с геометрическим объектом;
- пересечение с границами математических областей источника;
- выход за внешние границы геометрии источника и др.

Событие или набор событий с дополнительными условиями для сканирующих лучей задается пользователем в диалоговом окне. Если на пути прохождения сканирующего луча в какой-либо зоне пространства заданное событие не произойдет, то контур будет иметь разрывы. В трехмерных моделях сечения в разных плоскостях зачастую имеют неоднородный характер распределения веществ. В этом случае заданное

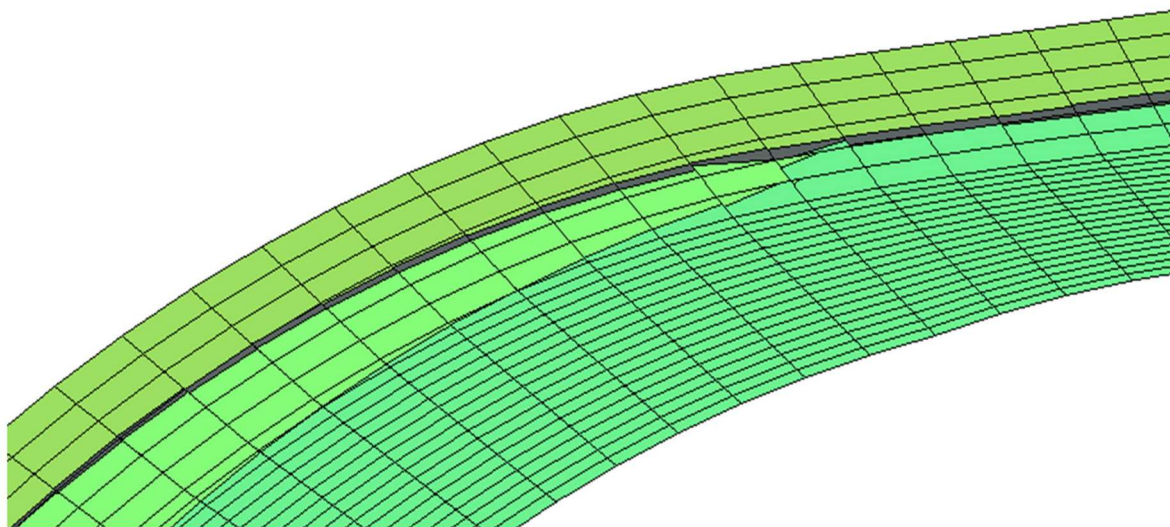


Рис. 2. Фрагмент расчетной сетки с границами в смешанных ячейках, восстановленными по алгоритму, реализованному в системе "Среда3D"

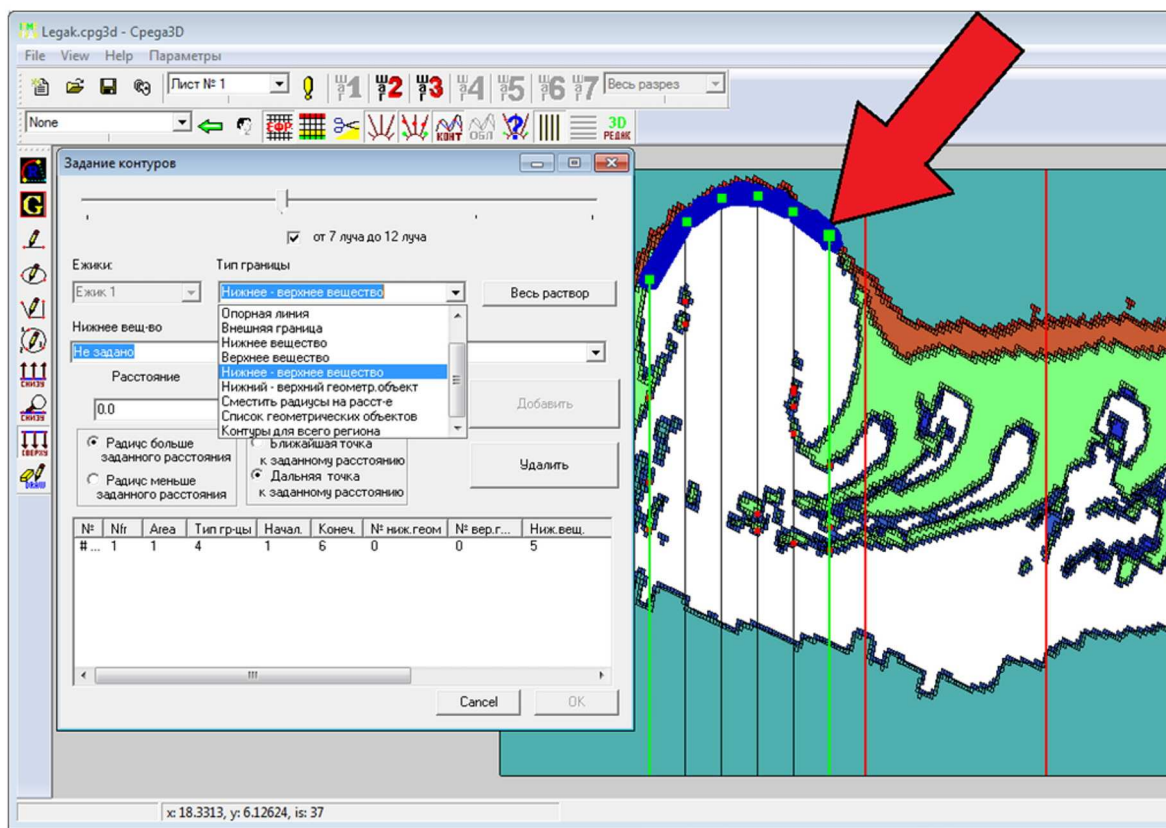


Рис. 3. Задание условия пересечения для поиска отрезка контура

событие на пути сканирующих лучей в одном сечении может происходить, а в другом — нет.

Разрывы искомого контура — основная и частая проблема при формировании начальной геометрии на основе данных источника. В системе "Среда3D" разработаны алгоритмы диагностики разрывов и их устранения.

Алгоритмы восстановления непрерывности контура в местах его разрыва в подавляющем большинстве случаев решают эту задачу. Но есть ситуации с разрывами контура, которые не имеют однозначного решения и для выбора алгоритмов требуют вмешательства пользователя. На рис. 4 показано диалоговое окно, с помощью которого пользователь может устранить разрыв искомого контура.

**Формирование счетных областей.** Конечным результатом формирования начальной геометрии являются координаты поверхности, которые в листе источника определяют замкнутые контуры. Каждый такой контур определяет границы области, внутри которой будет строиться сетка приемника.

**Построение расчетной сетки.** В системе "Среда3D" заложена контекстная зависимость от методики, для которой строится сетка. Для этого используется технология подключаемых модулей. По умолчанию используется модуль построения сетки с лучевой структурой.

Для каждой методики существует свое диалоговое окно для задания параметров сетки. Построение расчетной сетки осуществляется в программном модуле выбранной методики. То есть для каждой методики генератор расчетной сетки помещен в отдельный модуль. На данный момент в систему "Среда3D" включено два модуля построения сетки: для методик РАМЗЕС-КП и КОРОНА.

**Задание дополнительных параметров.** По умолчанию в качестве дополнительных параметров задаются источник, табличные данные и другие стандартные величины: фоновые значения температуры, энергии и т. п. Задание граничных условий выполняется пользователем в интерактивном режиме на границах сформированных счетных областей.

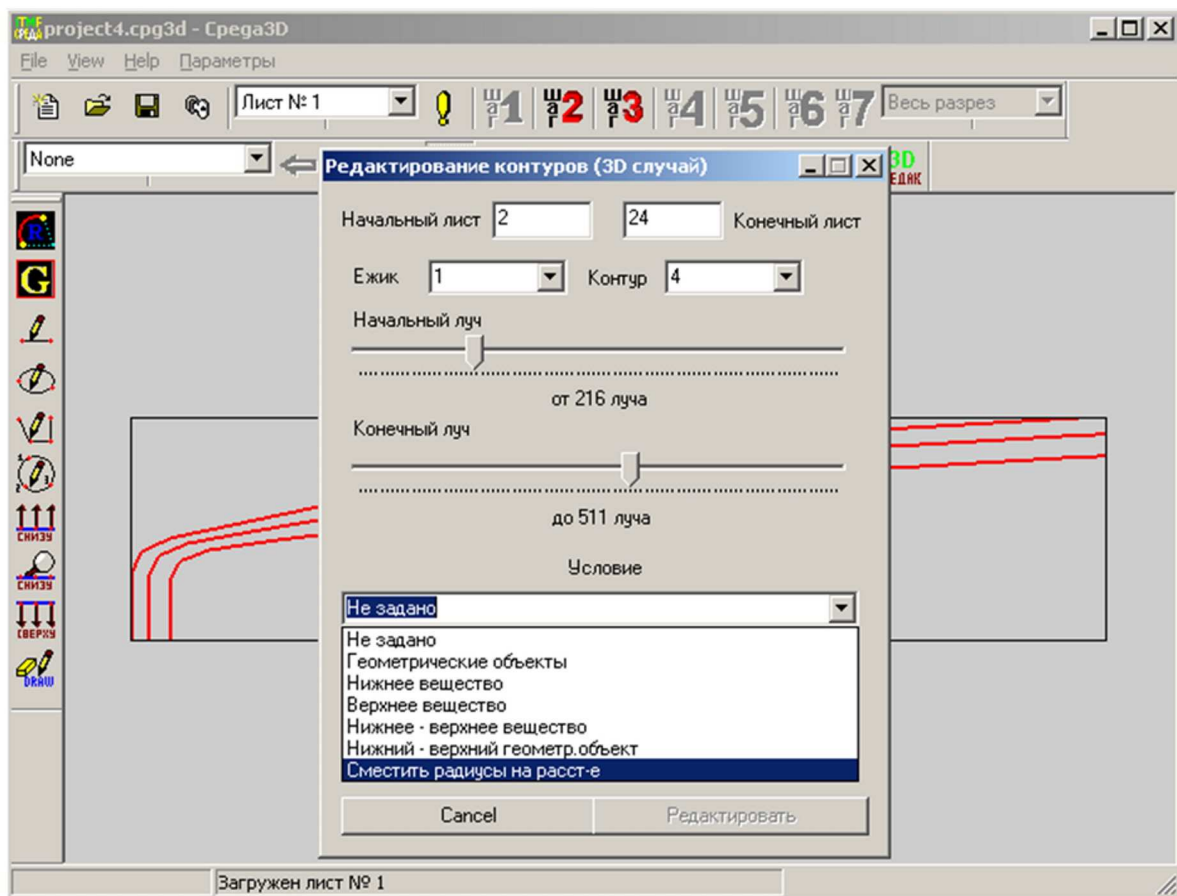


Рис. 4. Локальная корректировка разрывов контура

**Сохранение данных.** Каждая методика имеет набор двоичных и текстовых данных, который является для нее входной информацией и необходим для старта или продолжения счета. Такой набор файлов создается в зависимости от принимающей методики. Координаты сформированной сетки приемника записываются по единым для всех методик правилам в формате ЕФР.

### Заключение

В рамках технологии глобальной перестройки пространственной сетки и пересчета физических величин с одной расчетной сетки на другую [6] в РФЯЦ-ВНИИЭФ создана сервисная система "Среда3D". Система является одним из элементов данной технологии и позволяет выполнять подготовку начальных данных (начальной геометрии и сетки) для пересчета величин при использовании методик, моделирующих процессы

механики сплошной среды на регулярных листовых сетках.

Сервисная система "Среда3D" прошла стадии формирования требований, проектирования, реализации, тестирования и внедрения. С 2010 года программа используется в математическом отделении РФЯЦ-ВНИИЭФ в методиках РАМЗЕС-КП [2], КОРОНА [3] и МРС [4].

### Список литературы

1. Софронов И. Д., Воронин Б. Л., Скрыпник С. И. и др. Методика и комплексы программ РАМЗЕС, РАМЗЕС-КП // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 1999. Вып. 4. С. 27–31.
2. Ляпин В. В., Королёв Р. А., Ветчинников А. В. Метод распараллеливания с применением двумерной декомпозиции расчет-

- ной сетки для численного решения двумерного уравнения теплопроводности по методике КОРОНА-2D // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2014. Вып. 2. С. 69–77.
3. Дерюгин Ю. Н., Полищук С. Н., Тихомиров Б. П. Расчет лучистой теплопроводности в методике MPC с использованием неточных методов Ньютона // XV Межд. семинар "Супервычисления и математическое моделирование". Тез. докл. Саров, 13 октября – 17 октября 2013 г. С. 34–36.
  4. Волгин А. В., Красов А. В., Кузнецов М. В. Библиотека EFR для универсального представления расчетных данных // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2007. Вып. 11. С. 130–135.
  5. Беломестных О. В., Гагарин С. В., Могиленский Д. В. и др. Унифицированная система GeomGrid2 для обеспечения препроцессинга двумерных задач математического моделирования // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2015. Вып. 2. С. 59–68.
  6. Тарасов В. И., Козуб А. Г., Сырова И. В. и др. Технология глобальной перестройки пространственной сетки и пересчета сеточных величин на примере двумерных расчетов по методике КОРОНА // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2011. Вып. 2. С. 70–77.
  7. Чухманов Н. В., Тарасов В. И., Сырова И. В. Программа InterVal-3D для передачи газодинамических величин с одной произвольной трехмерной расчетной сетки на другую // Университетский научный журнал. 2013. Вып. 5. С. 157–163.
  8. Ву М., Девис Т., Нейдер Дж., Шрайнер Д. OpenGL. Руководство по программированию. 4-е изд. С-Пб.: Питер, 2006.
  9. Youngs D. L. Time dependant multi-material flow with large distortion // Numerical Method for Fluid Dynamics / Ed. by K. W. Morton and J. Gh. Bains. London, New York: Academic Press, 1982.

Статья поступила в редакцию 19.05.17.

"SREDA3D" SERVICE SYSTEM TO FORM INITIAL DATA WHEN RECALCULATION MESH VALUES FROM ONE REGULAR MESH INTO ANOTHER / Emelianov A. B. (FSUE "RFNC-VNIIEF", Sarov, Nizhny Novgorod region)

"Sreda3D" service system created in RFNC-VNIIEF is one the technology components of global re-gridding and re-computation of values from one regular grid to another. It is designed to form initial data (initial geometry and computational grid) when doing numerical solution of continuum mechanics problems using such methods as RAMZES-KP, KORONA, and MPC. The work describes functional capabilities of "Sreda3D" system and shows the stages of the initial data preparation for the problem on the basis of a regular mesh.

*Keywords:* re-gridding, recalculations of mesh values, graphic user's interface, initial mesh data, cutset-source, cutset-receiver, regular leaf-like mesh, EFR library, EFR format.

---