Описание управляющего модуля CVSSCtrl (версия 1.3)

Абакумов М.В.

29 марта 2012 г.

Содержание

| 1 | Структура данных и общее описание | 2 |
|----|--|----|
| 2 | Необходимые файлы | 3 |
| 3 | Основная форма | 4 |
| 4 | Окно визуализации | 6 |
| 5 | Меню окна визуализации | 7 |
| | 5.1 Пункт меню Показать/Убрать | (|
| | 5.2 Пункт меню Увеличить/Уменьшить | 8 |
| | 5.3 Пункт меню Печать | 8 |
| | 5.4 Пункт меню Параметры изображения | 9 |
| | 5.5 Пункт меню Копировать в файл' | 10 |
| | 5.6 Пункт меню 'Установить проекцию' | 10 |
| | 5.7 Пункт меню Вписать в окно | 11 |
| | 5.8 Пункт меню Показать управляющее окно | 11 |
| | 5.9 Пункт меню Контроль начальных данных | 11 |
| | 5.10 Пункт меню Палитра ЗД заливки | 10 |
| | 5.11 Пункт меню Установить фильтр по сосудам | 13 |
| | 5.12 Пункт меню Объемная модель | 13 |
| 6 | Форма редактирования сосуда | 15 |
| 7 | Редактирование сеточных данных на сосуде | 17 |
| 8 | Форма редактирования узла | 18 |
| 9 | Вращение групп узлов, относящихся к части тела | 20 |
| 10 | Коррекция данных основной модели | 22 |
| 11 | Работа с добавочной моделью | 23 |
| 12 | Слияние основной и добавочной модели | 27 |
| 13 | Форма управления солвером CVSS | 28 |
| 14 | Программная реализация взаимодействия | |
| | с солвером CVSS | 32 |
| | 14.1 Доступ к данным | 33 |
| | 14.2 Интерфейсные процедуры и функции | 35 |
| | 14.3 Реализация процесса вычислений | 37 |

1 Структура данных и общее описание

Управляющий модуль CVSS Control (сокращенно CVSSCtrl) предназначен для подготовки данных трехмерного графа сердечно-сосудистой системы с визуальным контролем их корректности и организации двухпотокового процесса, обеспечивающего проведение вычислений с помощью солвера CVSS параллельно с интерактивной визуализацией результатов расчета.

Геометрия пространственного графа сердечно-сосудистой системы описывается **каркасной моделью**, содержащей трехмерные координаты **узлов** и список отрезков, соединяющих узлы, представляющих **сосуды**. Каждому отрезку и узлу приписаны параметры, необходимые для работы солвера, описывающие свойства сосудов и точек их ветвления. Для каждого сосуда хранятся значения сеточных функций **давления** и **скорости**, что позволяет прерывать расчет, редактировать какие-либо параметры модели и продолжать расчет, стартуя с данных сохраненного временного слоя. Имеются также параметры, не используемые в солвере. Полный перечень всех параметров будет приведен далее. Здесь лишь отметим, что для каждого узла и сосуда также хранится целочисленный идентификатор **ID**, а также **дата** и **время** последнего изменения их параметров. К данным модели в целом относится текстовое описание, дата и время ее последнего сохранения на жесткий диск, а также два зарезервированных массива(целый и вещественный) для хранения параметров, относящихся к модели как единому целому. В настоящей момент в этих массивах сохраняется расчетное время и несколько других расчетных параметров.

Узлы и сосуды хранятся в системе в виде **динамических однонаправленных списков**, что позволяет ограничивать количество узлов и сосудов лишь доступным объемом оперативной памяти, а также эффективно осуществлять операции вставки и удаления элементов списков. Система обеспечивает автоматическую нумерацию узлов и сосудов (начиная с единицы). Сосуды задаются парой номеров соединяемых ими узлов (первым указывается меньший номер) и упорядочены по возрастанию первых номеров, а в случае их совпадения, вторых. Наличие нескольких сосудов, задаваемых одинаковой парой, системой не допускается. Такая упорядоченность позволяет эффективно осуществлять автоматический контроль целостности данных модели. Так, например, при удалении узла удаляются сосуды, задаваемые парой, содержащей номер удаленного узла (каскадное удаление). Далее уменьшаются на единицу номера всех узлов, следующих за удаленным, и соответствующие коррективы вносятся в пары, определяющие сосуды. Таким образом осуществляется динамическая нумерация, не требующая контроля со стороны пользователя.

В каждый момент времени в системе активны две каркасные модели: основная и добавочная. Каждая модель может быть пустой, то есть не содержать данных. Добавочная модель как единое целое может произвольно перемещаться в пространстве относительно основной модели. В любой момент можно осуществить слияние двух моделей. При этом данные добавочной модели дополняют основную модель, после чего добавочная модель становится пустой. В ходе слияния отслеживаются совпадающие узлы и сосуды. Узлы считаются совпадающими, если расстояние между ними не превосходит задаваемого значения. Сосуды считаются совпадающими, если их концы являются совпадающими узлами основной и добавочной модели. Узлы или сосуды, совпадающие в основной и добавочной модели, могут иметь различные параметры. Тогда в обновленную основную модель включается набор параметров с более поздним временем последнего изменения. Использование описанного механизма слияния моделей позволяет реализовать следующие возможности: ▷ создание фрагментов модели в локальной системе координат с последующей стыковкой фрагментов с основной моделью;

▷ возможность дублирования повторяющихся фрагментов модели путем их присоединения к основной модели в различных ракурсах;

▷ параллельная разработка различных фрагментов модели несколькими пользователями с последующей стыковкой этих фрагментов в единое целое;

▷ параллельное редактирование параметров узлов и сосудов существующей модели различными пользователями с последующим слиянием, в ходе которого приоритет имеют данные, отредактированные в более поздние моменты времени (репликация). При изначальном разделении "сферы влияния"пользователей конфликтов заведомо не возникнет, и в модели будут аккумулированы результаты совместного редактирования.

Добавочная модель используется также для выделения фрагментов основной модели и их сохранения в отдельную модель. Для этого используется **фильтрация** сосудов основной модели, которая возможна по типу сосуда **Туре**, идентификатору **ID**, а также их комбинациям. С помощью фильтрации выделяется подмножество сосудов, удовлетворяющих соответствующему критерию отбора. Это подмножество может быть перенесено в добавочную модель, которую далее можно сохранить на жесткий диск для последующего использования в качестве самостоятельной модели.

Наряду с каркасной моделью возможно отображение реалистичной **объемной 3D модели** графа сердечно-сосудистой системы. Эта модель, равно как и каркасная, может быть выведена на экран в произвольной проекции, а также с произвольным увеличением ее фрагментов. Принципиально важным является тот факт, что объемная модель генерируется на основе данных каркасной модели и не требует подготовки и ввода каких-либо дополнительных данных. При изменении данных каркасной модели, влияющих на вид объемной модели, объемная модель уничтожается и при необходимости генерируется заново. В процессе редактирования объемная модель позволяет осуществлять визуальный контроль корректности пространственной топологии графа сердечно-сосудистой системы, а также начальных данных на сосудах (сечение, давление, скорость и поток), которые могут отображаться различными цветами в зависимости от своих значений. В ходе расчета аналогично визуализируется расчетное давление в сосудах.

В каждый момент времени в системе активна какая-либо управляющая форма и окно визуализации, в котором отображаются основная и добавочная каркасные модели или основная объемная модель (для добавочной модели объемная модель не генерируется). Окно визуализации позволяет осуществлять масштабирование, скроллинг и смену ракурса (вращение) текущего изображения. Прочие функции зависят от того, какая управляющая форма активна в данный момент, то есть от того, в каком режиме находится система. Так, например, в режиме редактирования основной модели можно выбрать редактируемый узел или сосуд непосредственно на изображении.

2 Необходимые файлы

Комплекс содержит следующие файлы. **Необходимые**, в отсутствие которых функционирование системы невозможно:

- 1. CVSSCtrl.exe исполняемый модуль CVSS Control;
- 2. CVSSMain.dll солвер CVSS;
- 3. Dforrt.dll библиотека Compaq Visual Fortran Run Time.

Некритичные файлы, которые могут быть автоматически созданы системой со значениями по умолчанию:

- 4. **Prefrnc.cfg** пользовательские настройки;
- 5. CVSSPref.cfg параметры солвера;
- 6. ArtPall.cfg палитра цветовой 'заливки' артерий;
- 7. VenPall.cfg палитра цветовой 'заливки' вен.

Система оперирует с файлами, имеющими расширение ***.mdl**, в которых хранятся данные каркасных моделей графов сердечно-сосудистой системы. Формат этих файлов специально разработан для хранения данных каркасных моделей, не является открытым и использует шифрование данных.

3 Основная форма

Перейдем к описанию интерфейса системы. Основная управляющая форма позволяет редактировать основную каркасную модель и осуществлять управление режимами работы системы. В заголовке формы выводится текущее имя файла, в котором хранится редактируемая модель (если изначально модель была считана из файла). Перечислим элементы управления формы (рис.1).

Управляющие кнопки.

▲ – считывание основной модели. При нажатии этой кнопки запускается стандартный диалог открытия файла. По умолчанию считываются файлы *.mdl. Однако для обеспечения совместимости с более ранними версиями комплекса CVSS оставлена возможность импорта данных из текстовых форматов (файлы *.dat 2D и 3D версий), а также импорт текстовых списков узлов и сосудов (файлы *.txt). Имя считанного файла становится текущим и выводится в заголовке формы.

▲ – сохранение основной модели. При нажатии данной кнопки активируется стандартный диалог сохранения файла. Сохранить данные основной модели можно исключительно в новом формате (файлы *.mdl). В качестве имени сохраняемого файла по умолчанию предлагается текущее имя.

🖻 – коррекция данных основной модели (см. п.10).

🗄 – работа с добавочной моделью (см. п.11).

***** – слияние основной и добавочной моделей (см. п.12). После осуществления слияния текущее имя файла становится пустым. Это делается для предотвращения случайной записи результата слияния в файл поверх исходной модели.

очистка основной модели. При нажатии этой кнопки уничтожаются все данные модели, списки узлов и ребер становятся пустыми. Текущее имя файла также становится пустым. Это делается для предотвращения случайной записи пустой модели поверх модели, которая считывалась последней.

ៅ – выход из программы.

Необходимо отметить, что помимо контролируемого пользователем сохранения данных основной модели в файл на жестком диске осуществляется автоматическое сохранение данных текущей основной модели в файл **AutoSave.mdl**. Автоматическое сохранение осуществляется каждые пять минут, однако может вызываться и до истечения этого времени, после операций, связанных со значительными изменениями данных модели. К ним относятся: коррекция данных основной модели, слияние основной и добавочной моделей, а также проведение расчетов, приводящее к изменению значений сеточных функций на каждом сосуде.



Рис. 1: Основная форма

Список сосудов.

Для каждого сосуда указывается пара номеров узлов, которые соединяет сосуд, тип сосуда и принадлежность к артериальной либо венозной части графа. Далее выделенный в списке сосуд будем называть **текущим**. За списком сосудов выводится номер текущего сосуда, и располагаются кнопки редактирования списка сосудов.

- добавление сосуда (см. п.6). При добавлении сосуда его параметры инициализируются данными текущего сосуда.

удаление текущего сосуда.

🖻 – редактирование текущего сосуда (см. п.6).

← просмотр сеточных данных текущего сосуда (см. п.7).

Список узлов.

Для каждого узла основной модели указывается его номер и три пространственные координаты. Далее выделенный в списке узел будем называть **текущим**. За списком узлов выводится номер текущего узла, и располагаются кнопки редактирования списка узлов.

 добавление узла (см. п.8). При добавлении узла его параметры инициализируются данными текущего узла.

- удаление текущего узла.

🖻 – редактирование текущего узла (см. п.8).

хэ – вращение групп узлов, относящихся к части тела (см. п.9).

Текстовое описание основной модели.

В этом поле может содержаться текст произвольной длины, который будет храниться вместе с моделью. Над описанием выводится дата и время последнего сохранения модели. Когда поле является активным, нажатие на **клавишу** '+' расширяет поле на всю область формы, последующее нажатие **клавиши** '-' восстанавливает исходный вид формы. **Двойное нажатие кнопки мыши** в области поля сохраняет текст описания в системный буфер обмена. Передача будет произведена корректно,

если в момент сохранения включена русская раскладка клавиатуры.

Ниже размещаются кнопки вызова форм:

🗏 – управления ЛГД расчетом (см. п.13),

– управления солвером CVSS (см. п.13).

Когда активным (в фокусе ввода) является один из списков (узлов или сосудов), нажатие на **клавишу** '+' увеличивает количество выводимых строк данного списка, последующее нажатие **клавиши** '-' восстанавливает исходный вид формы.

4 Окно визуализации

Как уже отмечалось, функции окна визуализации зависят от режима, в котором система находится в текущий момент времени. Здесь опишем функции, общие для всех режимов, а также функции, доступные в режиме редактирования основной модели.



Рис. 2: Окно визуализации

В окне визуализации выводится основная и добавочная каркасные модели или основная объемная 3D модель. Когда окно визуализации является активным, нажатие на клавишу '+' приводит к увеличению изображения, а нажатие клавишу '-' к его уменьшению. Уменьшение изображения возможно, если оно не вписывается в окно целиком. В этом случае также доступен скроллинг изображения, который осуществляется либо с помощью перемещения мышью указателей полос прокрутки, либо путем нажатия клавиш '-','-','','',''. Еще одной возможностью получить в окне увеличенное изображения фрагмента модели является его выделение (рис.2) путем нажатия клавиши Alt совместно с левой кнопкой мыши. Дальнейшее перемещение указателя мыши приводит к выделению прямоугольного фрагмента изображения (рис.2), который при отпускании кнопки мыши растягивается на всю область окна. Вернуть изображение в исходное состояние, в котором изображение целиком вписано в окно, можно воспользовавшись пунктом контекстного меню 'Вписать в окно' или нажав комбинацию клавиш быстрого доступа к этому пункту меню Ctrl+W. В режиме редактирования модели (активной является основная форма) при **однократном нажатии левой кнопки мыши** цветом выделяется ближайший к указателю мыши сосуд, если в основной форме активным является список сосудов, либо узел, если в основной форме активным является список узлов.

Если после нажатия левой кнопки мыши не перемещать указатель мыши, рядом с указателем будет выведена справка, содержащая все параметры сосуда или узла соответственно. В момент нажатия левой кнопки мыши кнопки мыши в заголовке окна визуализации выводятся координаты точки (в плоскости проекции), соответствующие положению указателя мыши. При отпускании кнопки мыши в заголовке окна выводится наименование сосуда, если отмечен сосуд, либо восстанавливается предыдущий заголовок.

При **двукратном нажатии левой кнопки мыши** также выделяется ближайший к указателю мыши сосуд, если в основной форме активным является список сосудов, либо узел, если в основной форме активным является список узлов. После этого вызывается диалог редактирования параметров выделенного сосуда или узла соответственно.

Если при **двукратном нажатии левой кнопки мыши** одновременно удерживается клавиша **Ctrl**, и при этом ракурс изображения соответствует одной из плановых проекций (см. п.5.6), вызывается диалог добавления узла (см. п.8). В качестве двух координат узла берутся координаты точки в плоскости плановой проекции, соответствующие положению указателя мыши. Третья координата и прочие параметры узла устанавливаются равными параметрам узла, отмеченного в списке узлов последним. Если текущая проекция не является плановой, будет выведено сообщение о некорректности производимых действий.

Если при **двукратном нажатии левой кнопки мыши** одновременно удерживается клавиша **Shift**, и при этом выделенным является какой либо узел, вызывается диалог добавления сосуда (см. п.6). В качестве начала сосуда проставляется номер выделенного узла, а в качестве конца – номер узла, ближайшего к указателю мыши. Прочие параметры сосуда устанавливаются равными параметрам сосуда, отмеченного в списке сосудов последним.

Описанные возможности позволяют создавать простые (как правило, плоские) графы без ручного ввода координат узлов и номеров узлов, соединяемых сосудами, под визуальным контролем. При этом удобно выводить в окне визуализации изображение узлов (см. п.5.1).

5 Меню окна визуализации

Остановимся подробнее на контекстном меню окна визуализации. Это меню вызывается нажатием **правой кнопки мыши**, когда ее указатель находится в рабочей области окна. Некоторые (часто используемые) пункты меню могут быть вызваны путем нажатия комбинаций **клавиш быстрого доступа**, которые указаны в самом меню справа от соответствующих им пунктов (рис.3).

5.1 Пункт меню 'Показать/Убрать'

Пункт '**Показать/Убрать**' открывает подменю (рис.3), в котором можно выбрать элементы изображения, подлежащие выводу в окно визуализации. Если элементы вы-

| Показать/Убрать Увеличить/Уменьшить Печать Параметры изображения Копировать в файл | | * • | Фильтр по сосудам • Сетку Номера узлов • Оси координат Узлы | Alt+F Alt+G Alt+N Alt+A Alt+1 |
|---|----------------------------|-----|---|---|
| Установить проекцию Вписать в окно Показать управляющее окно Контроль начальных данных | Ctrl+R Ctrl+W Ctrl+U | | Сосуды Четырехугольники Сосуды с текущим Тур Сосуды с текущим ID | Alt+2 Alt+4 e Alt+T Alt+I |
| Палитра 3D заливки артерий Палитра 3D заливки вен Установить фильтр по сосудам Обьемная модель | Ctrl+F Ctrl+V | | Увеличить узлы F1 Уменьшить узлы Sh Увеличить отступ F2 Уменьшить отступ Sh | ift+F1 ift+F2 |

Рис. 3: Контекстное меню

водятся, левее соответствующего пункта меню появляется **метка**, в противном случае пункт меню не помечен.

Пункт **'Фильтр по сосудам'** осуществляет переключение между отображением всех сосудов основной модели и только тех сосудов, которые соответствуют заданному в текущий момент фильтру. Это единственный пункт данного подменю, который влияет как на отображение каркасных моделей, так и на отображение основной объемной модели.

Следующие пункты меню влияют только на отображение каркасных моделей и позволяют включать либо отключать изображение **масштабной сетки**, **номеров узлов**, **осей координат**, **узлов**, **сосудов** и **четырехугольников** объемной модели (если она была сгенерирована ранее (см. п.5.12)).

| Границы печатного поля (мм) Левая 25 Верхняя 25 Правая 20 Нижняя 25 | + Установкі В | и печати 🔀 |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Правая 25 Верхняя 25 Правая 20 Нижняя 25 | Границы печи | атного поля (ММ) |
| | Левая 25 Правая 20 | Верхняя 25 Нижняя 25 |

Рис. 4: Печать

Два оставшихся пункта меню позволяют выделять цветом все сосуды основной модели с тем же типом и/или идентификатором ID, что и у текущего (выделенного в настоящий момент) сосуда.

5.2 Пункт меню 'Увеличить/Уменьшить'

Пункт 'Увеличить/Уменьшить' активирует подменю (рис.3), в котором можно увеличить либо уменьшить размер квадратов, которыми отображаются узлы каркасных моделей. При этом, чтобы размер на экране изменился, может потребоваться несколько нажатий. Это связано с пиксельной структурой экранного изображения. Чем выше разрешение устройства вывода (экрана или принтера), тем более

плавно будет изменяться размер. В этом же подменю можно увеличить или уменьшить отступ от границ окна визуализации при вписывании изображения в границы рабочей области.

5.3 Пункт меню 'Печать'

Пункт '**Печать**' позволяет открыть диалог печати (рис.4). Вверху находится кнопка, которая позволяет вызвать стандартное окно настройки печати операционной системы.

Это дает возможность выбрать текущий принтер, ориентацию листа бумаги и т.п. Ниже расположены поля для редактирования размеров отступов от границ листа при печати.

Следует отметить, что система не осуществляет вывод на принтер копии экрана. Фактически осуществляется прорисовка изображения в заданную область на листе бумаги с использованием всего разрешения печатающего устройства. Заметим, что в современных печатающих устройствах это разрешение весьма высокое. В этой связи при печати объемной модели, которое предполагает генерацию (средствами OpenGL) и непосредственный вывод на устройство пиксельной матрицы высокой размерности, для печати может потребоваться весьма существенное время. Чтобы избежать таких временных затрат, можно сначала сохранить объемное изображение в графический файл (см. п.5.5) с меньшим, но достаточным разрешением, а уже потом распечатать его на принтере.

5.4 Пункт меню 'Параметры изображения'

| 🛨 Параметры изображения | × |
|---|-------|
| | |
| Цвета | |
| Фон | • |
| Фон 3D модели | |
| Рамка | |
| Наименования осей | |
| Сетка | |
| Выделенный объект | |
| Артериальные сосуды | |
| Венозные сосуды | |
| Номера излов | |
| Узлы Отипа | |
| Узлы 1 типа | |
| Узлы 2 типа Автор, осочи и добора, графа | - |
| Jamen Bilginshinnash mawa | |
| Разрешение BitMap, ширина | 1600 |
| Разрешение BitMap, высота | 1200 |
| Компрессия Јред | 100 |
| Отступ от границ окна (мм) | 8 |
| Увеличение узлов | 1 |
| Точность сравнения координат | 0.005 |
| Число точек на сечение сосуда 3D | 16 |
| Минимум секций сосуда 3D | 1 |
| Число секций на круглый сосуд 3D | 48 |
| Зеркальность (0128) | 64 |
| -1 | -1 |

Рис. 5: Параметры изображения

Пункт '**Параметры изображения**' открывает диалог (рис.5), позволяющий изменить параметры, влияющие на изображение каркасной и объемной моделей.

Управляющие кнопки:

 выбрать цвет для элемента изображения, выделенного в списке;

 изменить все параметры, включая цвета
 элементов изображения, на значения по умолчанию;

— установить черно-белую палитру цветов для всех элементов изображения. Это может оказаться удобным, если необходимо осуществить печать на черно-белом принтере.

Далее расположены **поля ввода** следующих параметров.

▷ Разрешение графических файлов (в пикселях).

▷ Компрессия при сжатии в формате Јред (в процентах, 100 – максимальное качество и размер файла).

Эти значения используются при сохранении изображения, видимого в окне визуализации, в графические файлы.

▷ Отступ от границ окна (мм).

▷ Размер узлов (доля от стандартного размера).

Эти параметры можно изменить и непосред-

ственно в контекстном меню (рис.3).

▷ Точность сравнения координат – максимальное значение модуля разности соответствующих координат двух узлов, при котором узлы считаются совпадающими. Следующие параметры определяют качество и сложность (количество узлов и треугольников) генерируемой объемной 3D модели.

ь **Число точек**, аппроксимирующих границу кругового сечения сосуда.

Минимальное количество секций сосуда. Это значение влияет на количество секций всех сосудов, которое пропорционально их кривизне. Минимальное значение будет выбираться для прямолинейных сосудов.

⊳ Количество секций сосудов, кривизна которых равна кривизне окружности.

⊳ **Интенсивность** (0..128) **эффекта зеркальности** при отображении объемных сосудов.

Здесь и во всех прочих управляющих формах, вносящих те или иные изменения в данные системы, присутствуют **управляющие кнопки**:

🕺 – закрыть форму и сохранить внесенные изменения;

🕺 – закрыть форму и отменить внесенные изменения.

5.5 Пункт меню 'Копировать в файл'



При выборе пункта меню 'Копировать в файл' изображение, видимое в окне визуализации, прорисовывается в графический файл, местоположение, тип и имя которого выбирается в открывающемся диалоге. Разрешение и компрессия (для формата Jpeg) графического файла устанавливается в форме 'Параметры изображения' (рис.5). При отображении в файл объемной модели доступны только форматы BitMap и Jpeg.

5.6 Пункт меню 'Установить проекцию'

Пункт меню 'Установить проекцию' вызывает управляющее окно (рис.6), позволяющее изменять проекцию трехмерного изображения. Вверху этого окна выводится изображение системы координат, позволяющее определить текущую проекцию.

Далее расположены **кнопки**, изменяющие текущее значение **угла поворота**:

 $\triangleright \pi/2$ – установить угол равным $\pi/2$;

 $> \pi/64$ – установить угол равным $\pi/64$;

 $\triangleright \varphi/2$ – уменьшить угол вдвое;

 $\triangleright \varphi \ast 2$ – увеличить угол вдвое.

Ниже размещаются **кнопки**, осуществляющие **поворот изображения** на текущий угол. Поворот осуществляется в сторону (для наблюдателя), указанную стрелкой на кнопке: вверх, вниз, влево, вправо, по часовой стрелке и против часовой стрелки соответственно.

Рис. 6: ХҮΖ

Имеются также **кнопки**, позволяющие установить одну из **проекций**: изометрическую (XYZ), а также одну из плановых (XY,YZ или

ZX). Если установлена **метка 'В масштабе'** при вращении изображение прорисовывается в едином, не зависящим от выбора проекции, масштабе. Если же эта метка не установлена, масштаб от проекции к проекции может изменяться для максимального использования разрешения окна визуализации.

5.7 Пункт меню 'Вписать в окно'

При активации пункта меню 'Вписать в окно' масштаб изображения изменяется таким образом, что при максимально возможном увеличении изображение размещается в окне полностью. При этом текущая проекция изображения не изменяется. Этот пункт меню можно вызвать с помощью комбинации клавиш *Ctrl+W*.

5.8 Пункт меню 'Показать управляющее окно'

При выборе пункта меню 'Показать управляющее окно' управляющая форма помещается на первый план относительно других окон приложения. Это может оказаться удобным, например, когда окно визуализации раскрыто на весь экран, закрывая при этом управляющую форму, и имеется необходимость осуществить какие-либо операции редактирования текущей модели. Этот пункт меню можно вызвать с помощью комбинации клавиш *Ctrl+U*.

5.9 Пункт меню 'Контроль начальных данных'



Рис. 7: Контроль ...

Пункт меню **'Контроль начальных данных'** открывает диалог (рис.7), позволяющий в режиме вывода объемной модели отображать цветом значения начальных данных, заданных на каждом сосуде артериальной и венозной части. При этом для артериальной и венозной части используются различная шкала и палитра отображения.

При помощи переключателя **'Отображать'** можно выбрать режим отображения одного из начальных параметров сосудов:

- ⊳ *PInit* давления;
- ⊳ **SInit** сечения;
- ▷ UInit скорости;
- *⊳ QInit* расхода.

При этом поля, расположенные выше, инициализируются минимальными и максимальными значениями выбранного параметра по артериальной (*AMin*, *AMax*) и венозной (*VMin*, *VMax*) частям всего графа системы. Эти значения, которые далее можно изменять вручную, определяют линейную шкалу изменения цветов палитры.

Помимо непосредственного изменения максимумов и минимумов шкалы палитры на изображение можно влиять с помощью использования полос прокрутки **'Отступы от Min и Max'**, которые задают отступы (в процентах) от соответствующих значений максимума и минимума при формировании шкалы палитры. С помощью изменения указанных отступов можно сделать более контрастными перепады цвета при отображении близких по значению начальных параметров сосудов.

5.10 Пункт меню 'Палитра 3D заливки ...'

Как уже отмечалось, для контроля начальных данных, а также для отображения цветом результатов расчета на объемной модели используются различные палитры для

артериальной и венозной части графа системы. Это обусловлено тем, что в артериальной и венозной части характерные диапазоны параметров существенно различаются.

| 🕂 Устано | вка п | алитр | əl | | | x |
|-----------|------------|-------|-----|-------|------|---|
| Операции | Выхо, | д | | | | |
| | - | Nº. | Red | Green | Blue | • |
| | | 1 | 255 | 255 | 255 | |
| | | 2 | 254 | 254 | 254 | |
| | | 3 | 253 | 253 | 253 | |
| | | 4 | 252 | 252 | 252 | |
| | | 5 | 251 | 251 | 251 | |
| | | 6 | 250 | 250 | 250 | |
| | | 7 | 249 | 249 | 249 | |
| | | 8 | 248 | 248 | 248 | |
| | | 9 | 247 | 247 | 247 | |
| | | 10 | 246 | 246 | 246 | |
| | | 11 | 245 | 245 | 245 | |
| | | 12 | 244 | 244 | 244 | |
| | | 13 | 243 | 243 | 243 | |
| | | 14 | 242 | 242 | 242 | |
| | | 15 | 241 | 241 | 241 | |
| | | 16 | 240 | 240 | 240 | |
| | | 17 | 239 | 239 | 239 | |
| | | 18 | 238 | 238 | 238 | |
| | | 19 | 237 | 237 | 237 | |
| | | 20 | 236 | 236 | 236 | |
| | | 21 | 235 | 235 | 235 | |
| | | 22 | 234 | 234 | 234 | |
| | | 23 | 233 | 233 | 233 | |
| | | 24 | 232 | 232 | 232 | |
| 4 | | 25 | 231 | 231 | 231 | |
| | | 26 | 230 | 230 | 230 | |
| | | 27 | 229 | 229 | 229 | |
| | | 28 | 228 | 228 | 228 | |
| | - | 29 | 227 | 227 | 227 | |
| | | 30 | 226 | 226 | 226 | |
| г рина ли | нии - 2 | 31 | 225 | 225 | 225 | |
| 1.1.1.1 | 1 | 32 | 224 | 224 | 224 | - |

Рис. 8: Редактор палитры

Пункты меню 'Палитра 3D заливки артерий' и 'Палитра 3D заливки вен' позволяют изменить соответствующие цветовые палитры. При активации любого из этих пунктов открывается редактор палитры (рис.8).

Основным элементом редактора является таблица цветов, в каждой строке которой располагаются значения (от 0 до 255) RGB (красный, зеленый, голубой) составляющих цвета с соответствующим номером. Слева выводится цветовая шкала, определяемая текущими данными таблицы. Каждый цвет палитры представляется линией, толщину которой можно менять с помощью полосы прокрутки, расположенной под цветовой шкалой.

Значительно ускорить ввод данных палитры позволяет возможность заполнения диапазона любого столбца значениями, распределенными по линейному закону между начальным и конечным значениями диапазона. Для этого при нажатой клавише 'Shift' достаточно с помощью клавиш '↑','↓' выделить требуемый диапазон любого столбца, после чего воспользоваться пунктом меню 'Операции':'Расставить линейно' или нажать комбинацию клавиш быстрого доступа 'Ctrl+L'. Так, например, для установки палитры из 256 градаций белого цвета (рис.8) достаточно в первой строке ввести тройку (255,255,255), а в последней (0,0,0). Далее выделить первый столбец целиком и нажать клавишу '*Ctrl+L*', после чего повторить данную операцию с двумя оставшимися столбцами.

В меню 'Операции' также доступны следующие команды (клавиши быстрого доступа указаны непосредственно в меню).

- ⊳ 'Вставить строку' вставить строку перед текущей строкой таблицы.
- ⊳ **'Удалить строку'** удалить текущую строку.
- ⊳ **'Показать пример'** вывести окно с тестовым примером цветовой заливки.
- ⊳ 'Палитра по умолчанию' установить контрастную палитру.
- ⊳ **'Сохранить'** сохранить текущую палитру в файл.
- ▷ 'Загрузить' загрузить палитру из файла.
- ⊳ 'Загрузить из текстового файла' загрузить палитру из текстового файла.

Цвета палитры, созданной пользователем, сохраняются в файлы внутреннего формата с расширением ***. ра**. Однако палитру можно экспортировать и из текстового файла, в котором в строках содержатся разделенные пробелом RGB составляющие цветов.

5.11 Пункт меню 'Установить фильтр по сосудам'



Рис. 9: Фильтр по сосудам

Пункт меню 'Установить фильтр по сосудам' запускает диалог (рис.9), позволяющий задать подмножество сосудов, подлежащее отображению. В указанное подмножество войдут все сосуды, за исключением тех, которые имеют тип **Туре или** идентификатор **ID** из заданных в диалоге списков скрытых сосудов.

Фильтрация позволяет 'разгрузить' изображение за счет вывода только тех сосудов, которые удовлетворяют заданному критерию отбора. Кроме того, механизм фильтрации позволяет выделить из текущей модели подмножество сосудов, которое можно сохранить в качестве самостоятельной модели (см. п.11). Это, в частности, позволяет разбить модель на независимые фрагменты для их последующего редактирования отдельно друг от друга. В последствии эти фрагменты могут быть вновь вставлены в исходную модель, причем соответствующие данные исходной модели будут замещены отредактированными данными с более поздним временем изменения (см. п.12).

Диалог 'Фильтр по сосудам' (рис.9) содержит две пары списков, соответствующих наборам типов Туре и идентификаторов ID сосудов текущей модели. Каждая пара состоит из списка отображаемых и скрытых элементов. При первичном запуске диалога списки отображаемых элементов заполняются соответственно всеми типами Туре и идентификаторами ID, которые встречаются у сосудов текущей модели. Это соответствует

пустому множеству скрытых сосудов.

Каждая пара списков снабжена управляющими кнопками:

- перенос выделенного элемента из списка отображаемых в список скрытых;
- леренос всех элементов из списка отображаемых в список скрытых;
- перенос выделенного элемента из списка скрытых в список отображаемых;
- 🕊 перенос всех элементов из списка скрытых в список отображаемых.

С помощью этих кнопок можно формировать нужные подмножества скрытых сосудов.

Иногда бывает удобно отобразить только те сосуды, которые аналогичны текущему, то есть имеют совпадающие с ним тип **Туре** и идентификатор **ID**. Для реализации этой возможности служит **управляющая кнопка**:

🖻 – установить фильтр по текущему сосуду.

В результате нажатия на данную кнопку сформируется фильтр, содержащий в списках отображаемых по одному элементу: **Туре** и **ID** текущего сосуда. Все прочие значения **Туре** и **ID** попадут в списки скрытых элементов.

5.12 Пункт меню 'Объемная модель'

При выборе пункта меню 'Объемная модель' отображение каркасной модели в окне визуализации меняется на отображение объемной 3D модели (рис.10) и, наоборот, в случае, если пункт меню активирован в режиме отображения объемной модели. Для активации этого пункта меню доступна клавиша быстрого доступа *Ctrl+'V'*. При этом, если объемная модель ранее не была создана, произойдет ее **автоматическое формирование** по данным каркасной модели. По этой причине возможна небольшая задержка при смене изображения.



Рис. 10: Окно визуализации (объемная модель)

Необходимо отметить, что при любой операции с каркасной моделью, которая может привести к изменениям объемной модели, данные объемной модели обнуляются, и окно визуализации автоматически переключается на режим отображения каркасной модели. Тем самым, при дальнейшей смене режима на отображение объемной модели вновь произойдет ее формирование.

Здесь уместно коротко остановиться на алгоритме формирования объемной модели по данным каркасной модели.

На первом этапе построения объемной модели осуществляется сглаживание сочленений сосудов за счет замены отрезков, представляющих их в каркасной модели, на кривые Безье четвертого порядка. Параметры кривых Безье выбираются таким образом, чтобы примыкающие друг к другу сосуды совместно образовывали гладкую кривую. Также на этом этапе ранее постоянные для каждого сосуда толщины перераспределяются по линейному закону вдоль длины сосуда с тем расчетом, чтобы соответствующие значения совпадали в узлах сопряжения. Если в узле ветвления сходятся более чем два сосуда, гладкому сопряжению подлежат более толстые сосуды, что обеспечивает адекватное представление магистральных артерий и вен в объемной модели. Толщину сосуда объемной модели определяет параметр **VisRad**, который, как правило, соответствует начальному сечению сосуда **SInit**, но может меняться и независимо (см. п.6).

На следующем этапе осуществляется анализ кривизны каждого сосуда сглаженной каркасной модели. В результате образующая сосуда покрывается неравномерной сеткой, узлы которой расположены равномерно по кривизне образующей. Цель данного этапа состоит в определении количества и положения секций цилиндрической оболочки сосуда. Такой анализ позволяет минимизировать сложность (количество узлов и четырехугольников) объемной модели без потери качества ее визуального восприятия. На количество узлов сетки влияют следующие параметры (см. п.5.4): *минимальное количество секций* сосуда и *количество секций* сосудов, кривизна которых равна кривизне *окружности*. Первый параметр ограничивает минимальное количество секций сосуда для того, чтобы на любом (в том числе и прямолинейном) сосуде имелась возможность осуществить интерполяцию расчетных данных на отдельные секции для получения цветового представления распределения сеточных функций вдоль сосуда. Второй параметр фактически определяет коэффициент пропорциональности между кривизной сосуда и количеством его секций.

На заключительном этапе генерируются узлы и связующие четырехугольники объемной модели. Для этого вдоль окружности с центром в каждом узле построенной ранее на каждом сосуде неравномерной сетки генерируются узлы цилиндрической оболочки. Радиус окружности определяется толщиной сосуда в соответствующей точке. Расположение узлов на окружностях выбирается таким образом, чтобы связующие четырехугольники цилиндрической оболочки были близки к прямоугольникам, а на стыках сосудов соответствующие узлы совпадали. Дополнительно к координатам узлов цилиндрических оболочек вычисляются координаты нормалей к поверхности оболочки в узлах.

В результате работы описанных алгоритмов по данным каркасной модели генерируется набор трехмерных координат узлов и нормалей к поверхности объемной модели в совокупности с набором связующих эти узлы четырехугольников. Этот набор данных позволяет осуществлять отображение поверхности объемной модели с расчетом ее освещенности средствами OpenGL. Необходимо заметить, что выбор в качестве примитивов четырехугольников вместо треугольников минимизирует передачу данных по конвейеру OpenGL и приводит (как показали тесты) к существенному ускорению прорисовки объемной модели.

6 Форма редактирования сосуда

При добавлении и редактировании сосуда (см. п.3) вызывается диалог (рис.11), осуществляющий ввод и изменение данных сосуда, а также, что немаловажно, группы сосудов, определяемой типом **Туре** и(или) идентификатором **ID** текущего сосуда. Следует отметить, что при добавлении сосуда поля диалога инициализируются значениями параметров сосуда, который отмечен в списке сосудов основной формы. Этим можно воспользоваться для минимизации ручного ввода параметров.

В верхней части диалога выводятся **дата** и **время** последнего изменения параметров сосуда. Эти значения для каждого сосуда генерируются по системному таймеру и сохраняются автоматически при каждом изменении его параметров (ручная коррекция не предусмотрена). При добавлении сосуда (до момента его сохранения) эти значения не определены.

| + Сосуд №3 × | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|--|--|----------|--|
| 14.06.2011 18:23:53 | | | | | |
| PBeg | 3 | | | | |
| PEnd | 4 | | | | |
| Туре Г | 50 | | | | |
| Xcent | -0.6 | | | | |
| Ycent | 132.5 | | | | |
| Zcent | 16.44 | | | | |
| ТуреАV 🔲 | 1 | | | | |
| Grid 🗌 | 5 | | | | |
| Name | Arcus aortae. Д | | | | |
| Plnit 🔽 | 100 | | | | |
| Ulnit 🔽 | 16.23 | | | | |
| QInit 🔽 | 79.674 | | | | |
| SInit 🗔 | 5 | | | | |
| Leng T | 1.8827 | | | | |
| CosZ 🗆 | -0.73301 | | | | |
| SMin 🗌 | 3.9272 | | | | |
| SMax 🕅 | 5.8908 | | | | |
| PMin 🗌 | 40 | | | | |
| PMax 🕅 | 120 | | | | |
| KapaMin 🥅 | 0.8 | | | | |
| KapaMax 🗔 | 1.2 | | | | |
| QDir 1 VisRad 	☐ 1.25 | | | | | |
| | | | | ID 🔽 100 | |
| Для всех сосудов ↓ С текущим Туре | | | | | |
| ј♥ стекущим | | | | | |
| 🚽 🛃 Измен | ить данные | | | | |
| + | 1 41 | | | | |

Далее располагаются **поля ввода параметров** сосуда. Важно отметить, что все размерные параметры хранятся в системе в **размерных единицах**.

⊳ **PBeg** – номер начального узла сосуда.

⊳ **PEnd** – номер конечного узла сосуда.

Эти поля нельзя изменить при редактировании сосуда, поскольку изменение этих номеров равносильно удалению и созданию нового сосуда. При добавлении сосуда порядок, в котором перечисляются эти номера, не имеет значения, т.к. нужный порядок будет установлен системой автоматически при сохранении сосуда.

▷ *Туре* – целочисленный тип сосуда.

▷ Xcent – координата Х середины отрезка, представляющего сосуд.

▷ Ycent – координата Y середины отрезка, представляющего сосуд.

▷ Zcent – координата Z середины отрезка, представляющего сосуд.

Эти поля фактически не используются в системе, однако они оставлены для обеспечения совместимости с более ранними версиями солвера CVSS. Посредством **двойного нажатия левой кнопки мыши** эти значения могут быть вычислены по координатам начального и конечного узлов.

▷ *TypeAV* – тип принадлежности сосуда к артериальной либо венозной части графа (1 – артерия, 2 – вена).

⊳ Grid – количество ячеек разностной сетки на сосуде.

⊳ *Name* – медицинское наименование сосуда.

⊳ *PInit* – начальное давление на сосуде.

▷ **UInit** – начальная скорость на сосуде.

⊳ **QInit** – начальный расход на сосуде.

⊳ *SInit* – начальное сечение на сосуде.

Отметим, что три последние величины не являются независимыми. Любая из них может быть вычислена по двум остальным. **Двойне нажатие левой кнопки мыши** в любом из этих полей приводит к такому пересчету.

⊳ *Leng* – длина сосуда.

Рис. 11: Сосуды

⊳ **CosZ** – косинус угла наклона сосуда с осью Z.

Посредством **двойного нажатия левой кнопки мыши** два последних значения могут быть вычислены по координатам начального и конечного узлов.

⊳ **SMin** – минимальное сечение сосуда.

⊳ **SMax** – максимальное сечение сосуда.

Посредством **двойного нажатия левой кнопки мыши** на соответствующих полях два последних значения могут быть вычислены по величинам **SInit**, **KapaMin** или **KapaMax**.

⊳ *PMin* – минимальное давление на сосуде.

⊳ *РМах* – максимальное давление на сосуде.

▷ *КараМіп* – коэффициент, характеризующий предельное уменьшение сечения сосуда.

⊳ *КараМах* – коэффициент, характеризующий предельное увеличение сечения сосуда.

▷ **QDir** – целочисленный коэффициент, характеризующий течение по сосуду от сердца (1 – течение от сердца соответствует направлению от конца сосуда с меньшим номером к концу с большим номером, -1 – в противном случае).

Параметр **QDir** используется при расчете стационарного течения на графе, в котором потоки в узлах ветвления делятся пропорционально сечениям сосудов.

▷ VisRad – радиус сосуда, используемый при генерации объемной модели.

Посредством **двойного нажатия левой кнопки мыши** этот параметр может быть вычислен по значению **SInit**.

▷ ID – целочисленный идентификатор сосуда, который может быть использован при групповом изменении данных сосудов и при фильтрации изображения (см. п.5.11).

Остановимся на групповых операциях изменения параметров сосудов более подробно. Около некоторых полей ввода параметров сосуда размещены **метки** (рис.11). Метками снабжены те параметры, которые могут быть изменены у группы сосудов. Параметры, не снабженные метками, либо нецелесообразно, либо некорректно изменять сразу у нескольких сосудов. Путем проставления меток можно указать параметры, подлежащие изменению у группы сосудов. В указанную группу могут быть включены сосуды со значениями типа **Туре** и(или) идентификатора **ID**, равными соответствующим значениям текущего сосуда. Для указания сосудов, включенных в группу, служат метки 'Для всех сосудов':

▷ 'С текущим Туре';

⊳ 'С текущим ID'.

Для изменения выбранных параметров указанной группы сосудов служит кнопка

🖹 – 'Изменить данные'.

При нажатии этой кнопки система осуществит запрос подтверждения групповой операции во избежание ошибочного изменения данных.

Здесь описана не единственная возможность осуществления групповых операций изменения параметров сосудов. Далее (см. п.10) будут описаны возможные операции изменения параметров на всех сосудах и узлах графа.

7 Редактирование сеточных данных на сосуде

При нажатии кнопки '**Просмотр сеточных данных сосуда**' в основной форме (см. п.3) вызывается диалог (рис.12), позволяющий посмотреть графики сеточных функций давления и скорости на выбранном сосуде. На этапе создания нового сосуда эти сеточные функции инициализируются постоянными значениями равными параметрам **PInit** и **UInit** соответственно (если корректно заданы параметры сосуда **Leng** и **Grid**). После проведения расчета для каждого сосуда сохраняются указанные сеточные функции на момент времени окончания расчета.

Значения сеточных функций на сосуде можно изменить вручную на значения, распределенные вдоль сосуда по линейному закону. Для этого достсточно заполнить поля ввода 'Линейный профиль':

▷ **PLeft** – значение давления на левом краю сосуда;



Рис. 12: Сеточные данные сосуда

- ▷ **PRight** значение давления на правом краю сосуда;
- ▷ **ULeft** значение скорости на левом краю сосуда;
- ⊳ **URight** значение скорости на правом краю сосуда.

При нажатии кнопки

🖹 – 'Установить'

будут установлены соответствующие заполненным полям значения сеточных функций.

8 Форма редактирования узла

При добавлении и редактировании узла (см. п.3) вызывается диалог (рис.13), осуществляющий ввод и изменение данных узла, а также группы узлов, определяемой типом **Туре** и(или) идентификатором **ID** текущего узла. При добавлении узла поля диалога инициализируются значениями параметров узла, который отмечен в списке узлов основной формы.

В верхней части диалога выводятся **дата** и **время** последнего изменения параметров узла, генерируемые по системному таймеру и сохраняемые автоматически при каждом изменении его параметров. При добавлении узла (до момента его сохранения) эти значения не определены. Далее располагаются **поля ввода параметров** узла. Важно отметить, что все размерные параметры хранятся в системе в **размерных единицах**.



Рис. 13: Узлы

- ⊳ **X** координата узла X.
- ▷ Y координата узла Y.
- ⊳ **Z** координата узла Z.
- ▷ *Туре* тип узла (0 граничный узел, 1 узел ветвления, 2 – ткань).
 - ⊳ **ТуреВР** принадлежность к определенной части тела:

21(22) – правое(левое) бедро; 31(32) – правая(левая) голень; 41(42) – правая(левая) стопа; 51(52) – правое(левое) предплечье; 61(62) – правый(левый) локоть; 71(72) – правая(левая) кисть; 81,82 – шея; 90,91,92 – голова.

СептВР – центр вращения соответствующей части тела (0 – для узлов, не являющихся центрами вращения, либо одно из значений предыдущего перечня).

Два последних параметра используются для изменения топологии графа, соответствующего повороту части тела относительно ее центра вращения (см. п.9). Например, для поднятия правой руки необходимо осуществить преобразование координат узлов, помеченных параметрами **ТуреВР** равными 51,61,71, соответствующее повороту в заданной плоскости относительно узла, помеченного параметром **CentBP** равным 51. Центров вращения для каждой части тела может быть несколько. В этом случае в качестве координат составного центра вращения берется среднее арифметическое координат этих узлов. Фактически центр вращения (простой или составной) задает положение соответствующего сустава.

▷ Diff – коэффициент диффузии. Параметр актуален только для тканей, то есть узлов с типом Type=2.

▷ Prizn – признак узла. Параметр актуален только для граничных узлов, то есть узлов с типом Type=0. Его возможные значения:

1 – в данном узле задан поток как функция времени (входной или выходной);

- 2 задано давление как функция времени;
- 3 производная потока по пространственной координате в узле равна нулю;
- 4 производная давления по пространственной координате в узле равна нулю;
- 5 граничный узел является почкой;
- 6 граничный узел является сердцем (с уравнением для потока);
- 7 граничный узел является сердцем (с уравнением для давления).

⊳ *QTop* – максимальное значение потока в *граничном* узле за время систолы, если значение признака *Prizn*=1.

▷ **QBot** – минимальное значение потока в **граничном** узле за время систолы, если значение признака **Prizn=1**.

▷ *PTop* – максимальное значение давления в *граничном* узле за время систолы, если значение признака *Prizn=2*.

▷ **PBot** – минимальное значение давления в **граничном** узле за время систолы, если значение признака **Prizn=2**.

▷ Arg1... Arg9 – параметры различных моделей граничных узлов. Назначения этих параметров определяется выбранной моделью граничного узла, то есть значением признака Prizn. Как правило, значащими являются лишь несколько первых параметров, остальные запасены с расчетом на дальнейшее развитие солвера CVSS.



Рис. 14: Вращение

▷ **Name** – наименование узла. Поскольку медицинские наименования скорее характерны для сосудов, применительно к узлам данное поле предусмотрено для произвольных текстовых комментариев.

▷ ID – целочисленный идентификатор узла, который может быть использован при групповом изменении данных узлов.

Метками снабжены те параметры (рис.13), которые могут быть изменены у группы узлов. В указанную группу могут быть включены узлы со значениями типа **Туре** и(или) идентификатора **ID**, равными соответствующим значениям текущего узла. Для указания узлов, включенных в группу, служат метки '**Для всех узлов**':

- ⊳ 'С текущим Туре';
- ⊳ 'С текущим ID'.

Для изменения выбранных параметров указанной группы узлов служит кнопка

🖹 – 'Изменить данные'.

При нажатии этой кнопки система осуществит запрос подтверждения групповой операции во избежание ошибочного изменения данных.

9 Вращение групп узлов, относящихся к части тела

При нажатии кнопки '**Вращение групп узлов, относящихся к части тела**' в основной форме (см. п.3) вызывается диалог (рис.14), позволяющий осуществлять вращение группы узлов, относящихся к указанной части тела, относительно соответствующего центра вращения.

Необходимо отметить, что имеет место иерархическое объединение узлов по принадлежности к части тела. Так, если соответствующая метка (см. п.8) указывает на принадлежность узла к правой стопе, координаты этого узла будут также меняться при вращении правой голени, а координаты узлов правой стопы и правой голени будут преобразованы при вращении правого бедра. Это позволяет с помощью вращений групп узлов изменить граф соответственно произвольному положению тела человека (рис.15).



Рис. 15: Окно визуализации (вращение частей тела)

В верхней части диалога расположены метки, позволяющие указать **сторону** (правая, левая) и **часть тела** (шея, голова, бедро, предплечье, голень, локоть, стопа, кисть), содержащую узлы, подлежащие вращению.

Далее расположены кнопки изменяющие текущее значение угла поворота:

- $\triangleright \pi/2$ установить угол равным $\pi/2$;
- $\triangleright \pi/64$ установить угол равным $\pi/64;$
- ⊳ $\varphi/2$ уменьшить угол вдвое;
- $\rhd \varphi \ast 2$ увеличить угол вдвое.

Ниже размещаются **кнопки**, осуществляющие **поворот** группы узлов, принадлежащей выбранной части тела, на текущий угол. Поворот осуществляется в сторону (для наблюдателя), указанную стрелкой на кнопке: вверх, вниз, влево, вправо, по часовой стрелке и против часовой стрелки соответственно. Следует отметить, что эти направления носят условный характер, поскольку соответствуют ситуации, когда трехмерный граф представляет сердечно-сосудистую систему человека, фронтальное изображение которого является проекцией на плоскость ХҮ. При этом также предполагается, что корректно заданы параметры узлов **ТуреВР** и **CentBP** (см. п.8), определяющие принадлежность узлов к части тела и соответствующие центры вращения. Если для узла не определен параметр **ТуреВР**, то есть введено значение, не содержащееся в перечне (см. п.8), операции вращения не будут оказывать никакого влияния на координаты такого узла. Также не будут изменяться координаты узлов, принадлежащие одной части тела, если не определен соответствующий центр вращения.

Управляющая кнопка

№ – **вернуться к исходному состоянию** осуществляет отмену всех сделанных операций вращения.

10 Коррекция данных основной модели



| Рис. | 16: | Коррекция |
|------|-----|-----------|
|------|-----|-----------|

При нажатии кнопки 'Коррекция данных основной модели' в основной форме (см. п.3) вызывается диалог (рис.16), позволяющий осуществить некоторые групповые операции коррекции данных графа основной модели. Эта управляющая форма позволяет, в частности, осуществить расчеты тех параметров узлов и сосудов графа, которые можно вычислить по другим параметрам. Указанная возможность позволяет не вводить вручную некоторые зависимые параметров узлов и сосудов при их добавлении и редактировании.

Форма содержит **управляющие кнопки** вызова следующих процедур:

№ – 'Коррекция топологии'. Коррекция топологии может оказаться необходима, если основной модели загружена из файлов данных старых версий комплекса CVSS. В этом случае модель может содержать совпадающие узлы и сосуды, а список сосудов может оказаться неупорядоченным. После коррекции все перечисленные дефекты набора данных модели будут устранены.

П – **'Коррекция типов вершин'**. При нажатии этой кнопки осуществляется анализ сосудов, исходящих из каждого узла графа, после чего корректируются типы узлов **Туре** (см. п.8). Если из узла исходит только один сосуд, то узел считается граничным, если два сосуда разного типа (артериальный и венозный), то узел считается тканью, в противном случае узел считается обычным узлом ветвления.

Рассчитать стационарные QInit и UInit'. При нажатии этой кнопки осуществляется попытка расчета стационарного течения на графе. Это возможно, если в соот-

ветствующих граничных узлах заданы входные потоки, и корректно заданы значения параметра **QDir** на каждом сосуде (см. п.6). В противном случае системой выдается сообщение об ошибке, при этом указываются номера узлов, в которых значения параметра **QDir** на исходящих сосудах заданы заведомо некорректно. В случае успешного расчета на всех сосудах будут изменены значения параметров **QInit** и **UInit**, соответствующие стационарному течению, в котором в каждом узле ветвления потоки разделяются пропорционально сечениям исходящих сосудов. Расчет коэффициентов диффузии'. При нажатии этой кнопки осуществляется расчет коэффициентов диффузии на тканях, по значениям давления *PInit* на входящей артерии и выходящей вене, а также потока *QInit* на входящей артерии.

В – 'Вычислить объем'. При нажатии этой кнопки по значениям сечений SInit и длин сосудов Leng графа рассчитывается суммарный объем системы.

Ниже расположены метки '**Пересчет**', с помощью которых можно выбрать, какой из параметров **UInit**, **QInit** или **SInit** необходимо вычислить по двум остальным на подмножестве сосудов, определяемом далее.

Метки '**Вычислить**' позволяют указать параметры сосудов, которые необходимо вычислить по координатам узлов или другим параметрам сосудов:

⊳ 'Центры сосудов (Cent)';

⊳ 'Длины сосудов (Leng)';

⊳ 'Косинусы с осью Z (CosZ)';

▷ 'SMin и SMax по SInit'. Предполагается, что на сосудах заданы параметры КараМin и КараМax (см. п.6).

| 🕂 Добавле | ение мо | одели | x | | |
|--|---------|------------------------------------|----------|--|------------------------|
| Преобразования Узлы | | | | | |
| Растяжения Х 1 У 1 2 0 х т 2 0 х т 3 0 х т | | | | | |
| Сдвиг × 5.8974 Y 130.76 Z 0 | 4 | Hanpas. OZx 0 OZy 0 OZz 1 | ление ОΖ | | |
| Перемещения | | | | | |
| 📩 Стыковать по 3 узлам 🚰 Совместить 2 узла | | | | | |
| | | | | | Направление по 2 узлам |
| | | -1 | -1 | | |

Рис. 17: Добавление модели

Метки 'Ограничить вычисления' позволяют указать, что необходимо произвести вычисления отмеченных выше параметров только для сосудов, имеющих тот же тип **Туре** и(или) идентификатор **ID**, что и у текущего сосуда. Если ни одна из меток не проставлена, вычисления будут проводиться для всех сосудов основной модели.

Для запуска процесса вычисления отмеченных параметров служит '**Кнопка**'

🖹 – 'Изменить данные'

Ниже расположена кнопка

При нажатии этой кнопки значения сеточных функции давления и скорости на каждом сосуде изменяются на начальные значения **PInit**, **UInit**, а расчетное время устанавливается равным нулю.

11 Работа с добавочной моделью

При нажатии кнопки **'Работа с добавочной моделью'** в основной форме (см. п.3) вызывается диалог (рис.17), позволяющий считать из файла или сформировать на основе фильтра (см. п.5.11) добавочную модель, после чего сориентировать ее в пространстве для последующего слияния с основной моделью.

Вверху формы расположены управляющие кнопки:

📤 – загрузка добавочной модели из файла.

Г – создать добавочную модель на основе фильтра.При нажатии этой кнопки отфильтрованные сосуды (см. п.5.11) и содержащие их узлы основной модели образуют новую добавочную модель. ← показать изменения. При нажатии этой кнопки после изменения параметров перемещения добавочной модели в окне визуализации отображается новое положение добавочной модели в пространстве.

🛛 – очистка добавочной модели.

В группе полей 'Растяжения' задаются коэффициенты 'X', 'Y', 'Z' на которые умножаются соответствующие координаты узлов добавочной модели (по умолчанию все коэффициенты равны 1). Если эти коэффициенты совпадают и отличны от единицы, добавочная модель пропорционально увеличивается или уменьшается в размерах. Это позволяет, например, варьировать размеры графа сердечно-сосудистой системы для людей различного роста. Еще одной важной возможностью является задание в качестве одного из коэффициентов значения равного -1, что соответствует зеркальному отражению координат узлов относительно выбранной оси. Это позволяет, например, из набора сосудов левой руки сформировать набор сосудов правой руки.

В группе полей '**Повороты**' задаются углы поворота '**1**', '**2**', '**3**' относительно выбранной оси координат. В каждом поле можно задать произвольный угол и ось вращения Х,Ү или Z (*, если вращение не производится). Всего полей три, поскольку любую ориентацию модели в пространстве можно получить, осуществив максимум три поворота относительно осей координат. Имеются в виду оси координат, в которых заданы координаты узлов основной модели. Изначально, до преобразований, в той же системе координат считаются заданными и узлы добавочной модели. Окончательное положение в пространстве определяется сдвигом, о котором речь пойдет чуть позже.



Рис. 18: Стыковка

Иногда удобнее задавать ориентацию в пространстве не последовательностью поворотов относительно осей координат, а несколько иначе. Можно выбрать произвольную ось координат добавочной модели (в программе в качестве таковой выбрана ось Z), и указать ее новое направление вдоль заданного вектора в системе координат основной модели. Для окончательного определения ориентации в пространстве достаточно осуществить поворот добавочной модели вокруг той же оси в ее новом положении. Необходимо отметить, что две этих операции можно выполнять и в обратной последовательности. Для осуществления такого способа изменения ориентации достаточно задать угол поворота вокруг оси Z и новое направление этой оси, заполнив значения 'OZx', 'OZy', 'OZz' в группе полей 'Направление OZ'.

Последняя группа полей '*Сдвиг*' позволяет задать произвольные координаты '**X**', '**Y**', '**Z**' вектора сдвига, вдоль которого можно осуществить параллельный перенос добавочной модели.

Напомним, что после редактирования параметров, изменяющих положение добавочной модели в пространстве, для их активации необходимо нажать кнопку

≪ – показать изменения. После нажатия этой кнопки осуществляется контроль корректности введенных параметров, после чего новое положение добавочной модели отображается в окне визуализации.

Дополнительной возможностью задать ориентацию добавочной модели в пространстве является использование управляющих кнопок:

📥 – стыковка по 3 узлам;

🗗 – совместить 2 узла;

направление по 2 узлам.

Остановимся на функциях этих кнопок более подробно. Если известно, что нужное положение добавочной модели в пространстве будет достигнуто, если совместить три ее узла, не лежащие на одной прямой, с тремя соответствующими узлами основной модели, достаточно указать соответствие между номерами таких узлов в основной и добавочной модели. При этом соответствующие узлы должны образовывать равные треугольники в основной и добавочной моделях. При нажатии кнопки 'Стыковка по 3 узлам' выводится диалог, который позволяет задать такое соответствие (рис.18). В этом диалоге вводятся номера '№1', '№2', '№2' соответствующих узлов основной и добавочной моделей, а также точность при сравнении координат вершин соответствующих треугольников на совпадение после поворота добавочной модели. Если заданная точность достигается, осуществляется изменение положения добавочной модели в пространстве.

| t, | F. | - 🛛 | | |
|--------|----------|----------|----------|---|
| Треобр | азовани: | я Узлы | 1 | |
| Узлы | основно | й модели | <u>'</u> | |
| Nº. | X | Y | Z | |
| 1 | 1 | 127 | 18.6 | |
| 2 | 1.3 | 128.5 | 18 | |
| 3 | 1.6 | 129.5 | 17 | |
| 4 | 0.5 | 129.8 | 16.5 | |
| 5 | -1 | 129.5 | 16.3 | |
| e. | .л | 129.2 | 16.2 | - |
| Узлы | добавочн | юй модел | и | |
| N≗ | X | Y | Z | |
| 1 | 1 | 127 | 18.6 | |
| 2 | 1.3 | 128.5 | 18 | |
| 3 | 1.6 | 129.5 | 17 | |
| 4 | 0.5 | 129.8 | 16.5 | |
| 5 | -1 | 129.5 | 16.3 | |
| a | .л | 129.2 | 16.2 | - |
| | | | | |

Рис. 19: Добавление модели

Перед заданием указанного соответствия бывает полезным вывести в окне визуализации номера узлов и сами узлы основной и добавочной моделей в окне визуализации (см. п.5.1). Кроме того, можно посмотреть координаты узлов основной и добавочной моделей в соответствующих списках, размещенных во вкладке **'Узлы'** (рис.19).

Для использования механизма стыковки по трем узлам в основной модели можно заранее запасти фиктивные (не имеющие исходящих сосудов) узлы, к которым впоследствии можно пристыковать добавочную модель. При последующем слиянии основной и добавочной моделей эти узлы будут замещены узлами добавочной модели. При этом в качестве актуальных будут выбраны параметры тех узлов, которые редактировались в более поздний момент времени.

При нажатии кнопки 'Совместить 2 узла' координаты вектора сдвига рассчитываются таким образом, чтобы совместить узлы основной и добавочной моделей с заданными номерами. Для задания соответствия номеров здесь также выводится диалог (рис.18), в котором доступны только поля '№1' для основной и добавочной моделей.

Иногда бывает удобным задать новое направление оси Z добавочной модели вдоль вектора, соединяющего два узла основной модели. Для этого служит кнопка

'Направление по 2 узлам'. При нажатии этой кнопки вновь выводится диалог (рис.18), в котором можно указать номера '**№1**', '**№2**' нужных узлов основной модели. После определения этих номеров пересчитываются значения '**ОZx**', '**ОZy**', '**ОZz**' в группе полей 'Направление О**Z**'.

Вектор сдвига также можно задавать путем непосредственного перемещения добавочной модели в окне визуализации с помощью указателя мыши. Для этого в одной из плановых проекций (см. п.5.6) достаточно осуществить **двойное нажатие левой кноп**ки мыши. При этом вектор сдвига рассчитывается таким образом, чтобы при перемещении добавочной модели **опорный (стыковочный)** узел совпал с текущим положением указателя мыши на изображении. Опорный узел добавочной модели всегда выделяется на ее изображении (рис.20) и изначально имеет номер равный 1. Опорный узел всегда можно изменить, выделив его в списке узлов добавочной модели во вкладке 'Узлы' (рис.19). В каждой плановой проекции изменению подлежат только две координаты вектора сдвига, поэтому для указания положения опорного узла в пространстве необходимо установить его положение в двух различных плановых проекциях. Поскольку окно визуализации допускает существенное увеличение изображения (см. п.4), положение опорного узла можно корректировать указателем мыши с достаточной степенью точности, в том числе совмещая его с каким-либо узлом основной модели.



Рис. 20: Окно визуализации (основная и добавочная модели)

Важно отметить, что перемещения добавочной модели в пространстве можно осуществлять и в том случае, когда основная модель пуста, то есть не содержит узлов и сосудов. Это позволяет произвольно перемещать созданные модели в пространстве и сохранять их в качестве новых моделей. Указанный механизм позволяет собирать сложные модели из фрагментов, создавая эти фрагменты независимо.

Поясним сказанное выше на примере. Пусть в произвольной системе координат создан и сохранен на жесткий диск фрагмент, содержащий систему сосудов правой руки. Очистим основную модель, то есть сделаем ее пустой (см. п.3), после чего считаем сохраненный фрагмент в качестве добавочной модели в режиме добавления. Разместим добавочную модель в пространстве в нужном положении, соответствующем лежащему в плоскости XY телу человека, где ось Y является осью симметрии, то есть направлена вдоль позвоночника. Используя слияние (см. п.12), перенесем преобразованную добавочную модель в основную, после чего сохраним ее на диск под другим именем. Вернемся в режим добавления и считаем в качестве добавочной модель, сохраненную последней. В этот момент основная и добавочная модель идентичны. Изменим коэффициент растяжения относительно оси X на -1. При этом (рис.20) система сосудов добавочной модели будет соответствовать системе сосудов левой руки и автоматически займет нужное положение в пространстве. После слияния получится модель, объединяющая сосуды правой и левой руки. Аналогично можно сформировать модель, объединяющую системы сосудов правой и левой ноги, после чего состыковать ее с моделью, содержащей сосуды рук, и так далее.

12 Слияние основной и добавочной модели

При нажатии кнопки 'Слияние основной и добавочной модели' в основной форме (см. п.3) запускается процедура объединения данных основной и добавочной моделей. При этом, если добавочная модель является пустой, то есть не содержит узлов и сосудов, основная модель не меняется.

Когда добавочная модель не являются пустой, процедура более содержательна. Необходимо дополнить основную модель данными добавочной, исключив совпадающие узлы и сосуды. Напомним, что совпадающими считаются узлы, соответствующие координаты которых отличаются не более, чем на значение, заданное параметром '**Точность сравнения координат**' (см. п.5.4). Сосуды считаются совпадающими, если у них совпадают номера начального и конечного узлов соответственно. Далее будем называть их начальный и конечный номера. Начальным всегда считается меньший номер.

На первом этапе список узлов основной модели дополняется узлами добавочной модели. Если добавляемый узел не совпадает с узлами, уже содержащимися в списке, он записывается в конец списка. В противном случае параметры добавляемого узла замещают параметры существующего узла, если существующий узел редактировался раньше добавляемого. По окончании этого процесса всем узлам добавочной модели ставятся в соответствие их номера в расширенном списке узлов основной модели. В соответствии с этой нумерацией корректируются начальный и конечный номера сосудов добавочной модели. При необходимости эти номера меняются местами, если начальный номер больше конечного.

На втором этапе список сосудов основной модели дополняется скорректированными сосудами добавочной модели. Напомним, что список сосудов является упорядоченным по возрастанию начальных номеров, а при их совпадении – по возрастанию конечных. Если добавляемый сосуд не совпадает с сосудами, уже содержащимися в списке, он записывается в соответствующее по порядку место списка. В противном случае параметры добавляемого сосуда замещают параметры существующего сосуда, если существующий сосуд редактировался раньше добавляемого.

В ходе описанного алгоритма формируется расширенная основная модель, в которой не изменились только номера (но не параметры) узлов исходной основной модели. После этого добавочная модель очищается, то есть становится пустой.

Заметим, что, если исходная основная модель была пустой, процедура слияния приводит к переносу добавочной модели в основную с коррекцией данных, то есть с удалением совпадающих узлов и сосудов, а также упорядочиванием списка сосудов. Это и делается при коррекции топологии основной модели (см. п.10).



Рис. 21: Солвер CVSS

Механизм слияния также используется для сохранения фрагмента основной модели, полученного на основе фильтрации сосудов (см. п.5.11), в качестве новой модели. Для этого необходимо сформировать добавочную модель на основе фильтра (см. п.11). Далее нужно очистить основную модель и осуществить слияние. При необходимости полученную таким образом новую основную модель можно сохранить в файл на жестком диске (см. п.3). Напомним, что всякий раз после слияния моделей или очистки основной модели сбрасывается имя текущего файла модели. Это позволяет избежать случайной записи фрагмента основной модели поверх самой модели.

13 Форма управления солвером CVSS

При нажатии кнопки 'Вычисления CVSS' в основной форме (см. п.3) вызывается форма управления солвером CVSS (рис.21). Управляющие элементы формы позволяют запустить расчет по данным текущей основной модели в виде отдельного потока. Тем самым система работает в многопотоковом (multithread) режиме, в котором обслуживание интерфейса производится в одном потоке, а вычисления – в другом. В результате система сохраняет возможность реакции на действия пользователя в ходе вычислений, а также осуществляет визуализацию результатов расчета параллельно с самим расчетом. Отметим, что на многопроцессорных системах различные потоки могут выполняться на различных процессорах одновременно, что увеличивает быстродействие.

Возможно два варианта запуска расчета с помощью следующих управляющих кнопок.

Продолжить вычисления'. Как уже отмечалось, данные основной модели содержат сеточные функции давления и скорости, приписанные к каждому сосуду, а также расчетное время, на момент которого был остановлен по-

следний проводившийся расчет. Расчетное время выводится в поле '**Время**:'. В случае продолжения вычислений эти данные передаются в солвер CVSS, после чего расчет возобновляется с указанного момента расчетного времени. Заметим, что возобновление расчета возможно даже, если после предыдущего расчета менялась топология графа (например, удалялись или добавлялись сосуды). Если на текущей основной модели ранее не проводилось расчетов или их результаты не были сохранены, этот вариант запуска эквивалентен следующему варианту.

- 'Начать заново'. При нажатии этой кнопки вычисления стартуют с нулевого расчетного времени. При этом значения сеточного давления и скорости на каждом сосуде инициализируются постоянными значениями PInit, UInit, заданными на сосудах ранее, при их добавлении или редактировании. Отметим, что при запуске расчета часть управляющих элементов формы, функции которых не корректно использовать в процессе вычислений, блокируется. Однако полностью доступными являются все функции окна визуализации (см. п.4). То есть в ходе расчета можно изменять проекцию, увеличивать фрагменты изображения, устанавливать фильтр по сосудам, переключаться между режимами отображения каркасной и объемной 3D модели и т.п.

Расчет может быть остановлен в любой момент путем нажатия кнопки

- 'Остановить расчет'. При этом остановка расчета не производится мгновенно. Система ожидает завершения цикла итераций и полного окончания текущего шага по времени.

Остановка расчета может произойти и без непосредственной команды пользователя, если достигнуто расчетное время заданное в поле '**Время** <', или возникла ошибка при работе солвера CVSS. Код ошибки будет выдан в соответствующем сообщении. В случае возникновения ошибки полезным может оказаться сохранение основных расчетных данных в текстовый файл. Для этого служит управляющая кнопка

Записать output.###'. Традиционно отладочные файлы именуются 'output.001', 'output.002' и т.д., однако могут быть заданы и произвольные имена.

Формат отладочного файла допускает его редактирование, после которого можно загрузить исправленные данные и попытаться продолжить расчет. Для этого достаточно считать отредактированный файл, нажав на кнопку

🏝 – 'Считать output.###'.

Как в ходе вычислений, так и в случае их приостановки при **двойном нажатии левой кнопки мыши** в окне визуализации (см. п.4) в отдельном окне выводятся графики распределения сеточных параметров (рис.22) на сосуде, ближайшем к указателю мыши. В заголовке открывающегося окна указывается номер сосуда, пара номеров начального и конечного узла сосуда и его наименование. Выводятся графики давления **P**, скорости **U**, сечения **S** и потока **Q** вдоль сосуда на текущий момент времени. Для этого в списке, расположенном слева вверху окна, необходимо выбрать элемент '**График**'. Также возможно отображение тех же параметров в режиме временной развертки, для чего необходимо выбрать элемент '**Развертка**'. В режиме временной развертки выводятся значения параметров сосуда на последовательные моменты времени в узле сетки, заданном в поле '**Узел**:'. При этом в поле '**Шагов**:' указывается максимальное количество последовательных шагов по времени, представленных на графиках одновременно. Рядом с управляющими элементами выводится метка, цвет которой меняется в зависимости от соответствия текущего расчетного времени систоле или диастоле.

В ходе вычислений графики во всех открытых окнах обновляются с каждым шагом по времени. Количество таких окон не ограничено, поэтому возникает необходимость переходить от окна к окну, выводя требуемое окно на передний план. Для этого в форме предусмотрен элемент управления 'Графики' (рис.21), содержащий список всех открытых окон. В качестве элемента списка выводится номер соответствующего сосуда, пара номеров начального и конечного узла сосуда и его наименование. При выборе элемента списка на передний план выводится окно с графиками сеточных параметров выделенного сосуда. В режиме остановки вычислений можно очистить список открытых окон, для этого служит кнопка:

🗹 – 'Убрать все окна'.

Группа элементов **'Отображение 3D'** позволяет управлять визуализацией результатов расчета на объемной 3D модели (см. п.5.12) графа сердечно-сосудистой системы. Визуализация осуществляется путем цветовой заливки сосудов в соответствии со значе-



Рис. 22: Графики параметров сосуда

ниями сеточных функций давления . Палитра цветовой заливки и соответствующая ей шкала различны для артериальной и венозной частей графа. Это обусловлено тем, что характерные значения давления существенно различаются для артерий и вен. Как уже отмечалось, цвета артериальной и венозной палитры можно менять (см. п.5.10).

В ходе расчета текущие значения минимального и максимального сеточного давления на артериальной и венозной частях графа автоматически заполняют соответствующие поля **PAMin**, **PAMax** и **PVMin**, **PVMax** соответственно. Эти значения определяют линейную шкалу изменения цветов артериальной и венозной палитры. Расположенные выше полосы прокрутки '**Отступы от Min и Max в** %' задают отступы (в процентах) от значений максимума и минимума при формировании шкалы палитры. Это дает возможность более контрастно отобразить перепады давления на соответствующих диапазонах. Отметим, что эти управляющие элементы могут функционировать непосредственно в ходе расчета.

Значения **PAMin**, **PAMax** и **PVMin**, **PVMax** можно зафиксировать. Для этого достаточно установить метку **Зафиксировать Min и Max'**, после чего указанные значения можно редактировать вручную. Заметим, что данная операция недоступна в ходе расчета, и для ее осуществления необходимо остановить вычисления. После установки фиксированных значений можно продолжить расчет.

Когда не ведутся вычисления, можно изменить параметры солвера CVSS. Редактирование параметров осуществляется путем нажатия управляющей кнопки

🖻 – 'Параметры расчета'.

При нажатии это кнопки выводится диалог (рис.23), содержащий поля для редактирования следующих параметров солвера (в скобках указаны значения по умолчанию):

▷ *TauRazm*(0.01) – шаг по времени;

| 🕂 Параметр | ры расчетов 🗴 |
|------------|---------------|
| | |
| TauRazm | 0.01 |
| D D | 0.04 |

| RnuRazm | 0.04 |
|----------------|--------|
| betta | 1 |
| alfa | -1 |
| RoRazm | 1 |
| sigma1 | 1 |
| sigma2 | 1 |
| sigma3 | 1 |
| sigma4 | 1 |
| epsilon_newton | 0.0001 |
| a_koef | 0 |
| b_koef | 0 |
| c_koef | 0 |
| teta_S | 2 |
| alambda1 | 0 |
| alambda2 | 0 |
| alambda3 | 0 |
| alambda4 | 0 |
| GRazm | 0 |
| d_koef | 0 |
| sgc | 1 |
| a_muln | 0.01 |
| a_lambin | 0 |
| t_cur | 0 |
| ip_bernoulli | 0 |
| max_n_iter | 100 |
| iv_type | 2 |
| i_method | 1 |
| i_continue | 0 |
| i_constat | 0 |
| lcon | 1 |
| | |



▷ *RnuRazm*(0.04) – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

▷ **betta**(1) – степень функции *u* в аппроксимации силы трения;

▷ alfa(-1) – степень функции *s* в аппроксимации силы трения;

▷ **RoRazm**(1) – плотность;

▷ sigma1(1), sigma2(1), sigma3(1), sigma4(1) – веса разностной схемы;

▷ epsilon_newton(0.0001) – точность итерационного метода;

▷ a_koef(0), b_koef(0), c_koef(0), d_koef(0) – параметры искусственной вязкости в аппроксимации уравнения неразрывности и движения ;

▷ *teta_S*(2) – параметр в процедуре расчета начальных данных;

▷ alambda1(0), alambda2(0), alambda3(0), alambda4(0) – параметры при коэффициентах искусственной дисперсии в аппроксимации уравнения неразрывности и движения;

⊳ **GRazm**(0) – ускорение свободного падения;

⊳ *sgc*(1) – вес в схеме переноса вещества;

▷ a_muln(0.01) – коэффициент диффузии в модели переноса;

⊳ *a_lambln*(0) – параметр модели переноса вещества;

▷ *t_cur*(0) – время начала расчета;

▷ *ip_bernoulli*(0) – параметр, с помощью которого выбираются условия сопряжения в узлах ветвления: 0 – условие равенства давлений в приграничных к узлу точках разностной сетки, 1 – условие сохранения интеграла Бернулли в приграничных к узлу точках разностной сетки;

▷ max_n_iter(100) – максимальное число итераций по методу Ньютона;

▶ iv_type(2) – не используется;

⊳ i_method(1) – расчетная схема: 1 – схема с центральной разностью, 2 - усредненная схема;

⊳ *i_continue*(0) – признак продолжения расчета;

⊳ *i_constat*(0) – продолжение расчета с концентрациями;

⊳ *lcon*(1) – количество веществ.

Необходимо обратить внимание, что параметры **TauRazm**, **RnuRazm**, **RoRazm** и **GRazm** являются размерными. По принятому соглашению их необходимо задавать **в размерных единицах**, равно как и все прочие размерные параметры узлов и сосудов в управляющем модуле. Солвер CVSS оперирует обезразмеренными величинами. По

этой причине все данные текущей модели обезразмериваются. В случае последующего изменения указанных параметров об их обезразмеривании необходимо позаботиться отдельно. Для этого в интерфейсном модуле солвера предусмотрена соответствующая процедура (см. п.14.2).

Значения параметров по умолчанию, указанные в предыдущем перечне в скобках, определены непосредственно в коде солвера CVSS (см. п.14.1). Эти значения могут быть в любой момент восстановлены путем нажатия управляющей кнопки

☑ – установить значения по умолчанию. Заметим, что в случае изменения значений по умолчанию, система будет хранить новые значения до их следующего изменения даже после перезапусков программы.

Необходимо также отметить, что не все указанные выше параметры используются в актуальной на настоящее время версии солвера CVSS.

Выход из формы управления солвером CVSS возможен в двух вариантах:

🕺 – закрыть форму и сохранить текущие расчетные данные в основной модели;

закрыть форму и не сохранять текущие расчетные данные в основной модели. В этом случае результаты вычислений (если они велись) будут аннулированы, а в основной модели останутся те расчетные данные, которые она содержала до открытия управляющей формы.

При нажатии кнопки **'Вычисления ЛГД'** в основной форме (см. п.3) вызывается форма, управляющая расчетами в линейном приближении, функции которой аналогичны описанным в этом пункте.

14 Программная реализация взаимодействия с солвером CVSS

Одним из достоинств комплекса является относительная программная независимость управляющего модуля CVSSCtrl от солвера CVSS, которые написаны на языках Object Pascal и Fortran соответственно. Это позволяет сочетать несомненное удобство среды Delphi для программирования интерфейса и достоинства современных оптимизирующих компиляторов языка Fortran.

Солвер CVSS компилируется в виде динамически загружаемой библиотеки (Dynamic Link Library или сокращенно DLL) **CVSSMain.dll**. В настоящее время в состав солвера входят следующие программные модули:

1. CVSSMain.for – интерфейсный модуль;

- 2. common1.f описания common блоков данных;
- 3. *step9.for* реализация временного шага;
- 4. step_con.for реализация временного шага для нескольких веществ;
- 5. sya12.for процедура обращения матрицы;.
- 6. vidstep12.for подготовка данных для моделей сердца и почки;
- 7. videocul2.for реализация временного шага с учетом моделей сердца и почки.

Названия и содержательная часть двух последних программных модулей, видимо, будут изменены, поскольку эти модули редуцированы из предыдущей версии комплекса, в которой интерфейсная и вычислительная часть не были разделены.

Для создания DLL достаточно осуществить компиляцию со следующим набором параметров. ⊳ Для компилятора Compaq Visual Fortran Optimizing Compiler 6.6:

df /fast /assume:buffered_io /dll CVSSMain.for step9.for step_con.for sya12.for videocu12.for vidstep12.for

⊳ Для компилятора Intel(R) Visual Fortran Compiler Professional 11.1:

ifort /fast /Qparallel /align:dcommons /assume:buffered_io /dll CVSSMain.for step9.for step_con.for sya12.for videocu12.for vidstep12.for

Назначение опций компилятора можно уточнить, вызвав справку с помощью соответствующих команд: df /help или ifort /help.

Можно вносить любые изменения в код перечисленных программных модулей за исключением двух первых. В первом нельзя изменять описание и назначение существующих функций и процедур, при этом можно редактировать их код и добавлять новые функции и процедуры. Во втором нельзя изменять описание существующих **соттоп** - блоков, при этом можно добавлять новые. Кроме того, нигде **нельзя использовать опе-**рации ввода-вывода на экран, включая команду pause. Если эти требования выполняются, после модификации солвера достаточно скомпилировать новую версию библиотеки CVSSMain.dll, и не требуется вносить никаких изменений в управляющий модуль CVSSCtrl.exe.

Для организации управления солвером необходимо обеспечить прямой доступ управляющего модуля к данным **common** - блоков, описанным в файле common1.f, а также к небольшому количеству процедур и функций верхнего уровня библиотеки CVSSMain.dll. Именно для этого и предназначен интерфейсный программный модуль CVSSMain.for, реализацию которого обсудим далее.

14.1 Доступ к данным

При запуске управляющего модуля CVSSCtrl.exe библиотека солвера CVSSMain.dll автоматически загружается, и в оперативной памяти размещаются данные **common** - блоков, описанные в файле common1.f:

```
parameter(nmax=2100,mmax=2100,maxdeg=7,mmaxj=20000,mmaxvar=90000)
parameter(maxcon=3, jmaxcon=6000)
common /links/ nlinks,linkbeg(nmax),linkend(nmax),linkseg(nmax),
xlink(nmax),ylink(nmax),linktype(nmax)
```

С д

добавлен для обработки ошибок

common /Errors/ iErrorCode

С добавлен для единообразного обезразмеривания common /Init2Razm/ RnuRazm,RoRazm,TauRazm,GRazm

Здесь нет необходимости приводить полный перечень common - блоков, описанных в этом файле, достаточно продемонстрировать реализацию доступа к данным одного из них, например, первого. В интерфейсном модуле CVSSMain.for для получения фактического адреса размещения этого блока в оперативной памяти описана следующая функция: Function ilinksPtr() !DEC\$ ATTRIBUTES STDCALL,REFERENCE,DLLEXPORT::ilinksptr Common /links/ FirstVar ilinksPtr=Loc(FirstVar) Return End

Эта функция возвращает в качестве значения адрес первой переменной блока /links/, то есть его начала. Здесь директива !DEC\$ должна размещаться в строке с первой позиции, STDCALL предписывает стандартное соглашение о передаче параметров (если они есть), REFERENCE указывает на то, что параметры передаются по ссылке, DLLEXPORT::ilinksptr (здесь регистр имеет значение!) означает, что функция экспортируется в DLL под именем ilinksptr.

В Object Pascal необходимо повторно описать структуру данных этого блока и получить его фактический адрес. Для этого в соответствующем интерфейсном программном модуле (CVSS_DLL.pas) содержится следующий код:

```
unit CVSS DLL;
interface
const
   nmax=2100;
type
   TCVSSReal = Double;
   TCVSSInteger = LongInt;
   TNMaxReals = array [1..nmax] of TCVSSReal;
   TNMaxIntegers = array [1..nmax] of TCVSSInteger;
   TComonLinks = record
       nlinks: TCVSSInteger:
       linkbeg:TNMaxIntegers;
       linkend:TNMaxIntegers;
       linkseg:TNMaxIntegers;
       xlink:TNMaxReals;
       ylink:TNMaxReals;
       linktype:TNMaxIntegers;
   end:
   PComonLinks=<sup>^</sup>TComonLinks;
   function iLinksPtr:PComonLinks; external 'CVSSMain.dll' name 'ilinksptr';
var
   PLinks:PComonLinks;
implementation
initialization
   PLinks:=iLinksPtr:
end.
```

Здесь сначала описываются типы переменных и массивов, содержащихся в блоке, а потом и сама структура блока. Важно представлять, что в Object Pascal подобное описание структуры предполагает размещение ее полей с выравниванием по границе машинного слова. Поэтому подобный вариант размещения данных **common** - блоков в случае необходимости нужно указать и при компиляции библиотеки CVSSMain.dll. Например, для Intel(R) Fortran 11.1 эту опцию необходимо указывать: /align:dcommons (см. п.14). Далее описывается функция iLinksPtr, как внешняя функция из библиотеки CVSSMain.dll с экспортируемым именем 'ilinksptr' (здесь регистр имеет значение!). В качестве типа результата этой функции приписывается ссылка на объявленную ранее структуру. Далее объявляется переменная PLinks того же типа, в которой будет содержаться фактический адрес блока. В секции инициализации этой переменной присваивается значение, возвращаемое функцией iLinksPtr. Заметим, что при наличии ссылки на DLL в коде программы Object Pascal на этапе запуска программы эта DLL загружается в память до момента выполнения прочих действий. Поэтому на этапе выполнения кода секции инициализации CVSSMain.dll будет уже загружена. После инициализации переменной PLinks для прямого доступа, например, к 5 элементу массива xlink блока /links/ достаточно написать PLinks^.xlink[5].

Аналогично осуществляется доступ ко всем прочим **common** - блокам, описанным в файле common1.f.

Еще одной структурной единицей программного модуля CVSSMain.for, которую здесь целесообразно упомянуть, является блок данных **Defaults**, в котором параметрам солвера присваиваются значения по умолчанию.

Block Data Defaults implicit real*8 (a-h,o-z), integer*4 (i-n) include'common1.f' Data tm,um,pm /1.0,10.0,100.0/ Data TauRazm /1.0E-2/ ... Data lcon /1/ End

Большинство из этих значений можно изменять в управляющем модуле (см. п.13), однако некоторые, например, базисные размерные множители **tm**,**um**,**pm**, изменять нет необходимости.

14.2 Интерфейсные процедуры и функции

Хотя в управляющем модуле и обеспечен полный доступ к данным солвера (см. п.14.1), для облегчения последующих модификаций комплекса прямой доступ используется в минимальной степени. Без него не обойтись лишь при инициализации данных графа системы в common - блоках солвера и установке параметров солвера (см. п.13). Во всех остальных случаях используются процедуры и функции интерфейсного программного модуля CVSSMain.for, которые для управляющего модуля в каком-то смысле абстрактны, то есть имеют определенное функциональное назначение, но при этом их конкретная реализация не существенна. Это позволяет проводить существенные модификации солвера, не затрагивая схему взаимодействия с управляющим модулем. Далее приведем описание этих процедур и функций. Заметим, что названия процедур и функций, которые имелись в предыдущей версии солвера, оставлены без изменений.

Процедура InitRazmer осуществляет вычисления постоянных обезразмеривания по базисным размерным множителям tm,um,pm.

Subroutine InitRazmer()

Эта процедура вызывается однократно при запуске комплекса. Здесь и далее, где это не вызовет недоразумений, будем приводить только заголовок процедуры или функции без строки экспорта.

Процедура AfterInit осуществляет подготовку вспомогательных данных солвера после инициализации первичных данных графа.

Subroutine AfterInit()

В настоящее время здесь осуществляется установка индексов сегментов данных сосудов в массиве **y**, то есть заполняется массив **linkseg**, вычисляется реальная размерность **maxj** массива **y**, а также заполняется массив **idotseg** индексов сегментов сплошной нумерации сетки. После этого заполняются массивы **nodedeg** и **nodelinks**, содержащие степени (количество исходящих сосудов) и номера исходящих сосудов соответственно. Эту процедуру можно дополнить кодом, осуществляющим прочие подготовительные операции.

Процедура **ExeRazmer** осуществляет обезразмеривание всех размерных параметров графа и солвера.

Subroutine ExeRazmer()

Эта процедура вызывается всякий раз после заполнения массивов и параметров солвера размерными данными основной модели.

Процедура ExeRazmerInit2 осуществляет обезразмеривание параметров солвера TauRazm, RnuRazm, RoRazm и GRazm.

Subroutine ExeRazmerInit2()

Эта процедура вызывается при изменении указанных параметров в управляющем модуле (см. п.13).

Процедура InitLinkPU инициализирует сеточные функции давления и скорости на сосуде с номером iLink постоянными значениями Plnit, Ulnit.

Subroutine InitLinkPU(iLink,PInit,UInit)

IDEC\$ ATTRIBUTES STDCALL, REFERENCE, DLLEXPORT::initlinkpu

Здесь Plnit, Ulnit считаются размерными величинами, поэтому перед занесением в соответствующие массивы солвера эти значения обезразмериваются.

Поскольку предыдущая процедура является первой упомянутой в тексте процедурой с параметрами, целесообразно указать соответствующее ей описание в интерфейсном модуле Object Pascal.

type

procedure InitLinkPU(var iLink:TCVSSInteger; var InitP,InitU:TCVSSReal); stdcall; external 'CVSSMain.dll' name 'initlinkpu';

Здесь служебное слово var предписывает передачу параметров по ссылке.

Процедура SetLinkDotPU устанавливает значения сеточных функций давления и скорости в узле сетки с номером iDot сосуда с номером iLink равными PVal, UVal.

Subroutine SetLinkDotPU(iLink,iDot,PVal,UVal)

Здесь PVal, UVal считаются размерными величинами, поэтому перед занесением в соответствующие массивы солвера эти значения обезразмериваются.

Процедура **PrepareSteps** предназначена осуществлять дополнительные подготовительные действия непосредственно перед серией последовательных шагов по времени, то есть после подготовки всех входных данных. Параметр i**Continue=0** является признаком начала нового расчета, при других значениях этого параметра считается, что будет продолжен прерванный ранее расчет.

Subroutine PrepareSteps(iContinue)

В настоящее время в этой процедуре осуществляется настройка параметров тестовых моделей сердца и почки перед началом серии шагов по времени.

Процедура MakeStep осуществляет переход с текущего временного слоя на следующий, то есть делает один шаг по времени.

Subroutine MakeStep()

Перечисленных выше процедур достаточно, чтобы осуществлять управление расчетом, однако для обработки его результатов используются еще несколько функций:

Function GetP(iLink,iDot) Function GetU(iLink,iDot) Function GetS(iLink,iDot) Function GetQ(iLink,iDot) Function GetTime()

Первые четыре возвращают размерные значения давления, скорости, сечения и потока в узле сетки с номером iDot сосуда с номером iLink. Последняя функция возвращает текущее расчетное время также в размерных единицах.

Помимо перечисленных, интерфейсный программный модуль CVSSMain.for содержит еще несколько процедур, которые оставлены для отладки комплекса. Так, например, процедура **Output** сохраняет в текстовый файл с именем **Name** значения сеточных функций на всех сосудах и некоторые другие расчетные параметры. Код этой процедуры можно дополнять выводом произвольной отладочной информации.

subroutine Output (Name)

!DEC\$ ATTRIBUTES STDCALL,REFERENCE,DLLEXPORT::output character*12 Name !DEC\$ ATTRIBUTES REFERENCE::Name

В описании процедуры отдельно необходимо указать, что символьная строка **Name** передается по ссылке.

В Object Pascal корректным является следующее описание этой процедуры.

type procedure Output(FileName:PChar); stdcall; external 'CVSSMain.dll' name 'output';

14.3 Реализация процесса вычислений

В этом пункте опишем алгоритм, реализующий процесс вычислений на графе сердечнососудистой системы, заданном основной моделью.

На этапе запуска управляющего модуля CVSSCtrl единожды выполняется процедура расчета множителей обезразмеривания InitRazmer.

При открытии формы управления солвером CVSS (см. п.13) осуществляется проверка корректности основной модели. В частности, проверяется отсутствие изолированных узлов и корректность установленных типов узлов. Если проверка не выявила наличие некорректных данных, осуществляется заполнение **common** - блоков солвера данными основной модели. Здесь используется прямой доступ к **common** - блокам. Инициализируются значения следующих переменных и массивов: mnodes, xnod, ynod, diffus, nodeprizn, q_top, q_bot, p_top, p_bot, arg_1, arg_2, arg_3, arg_4, arg_5; nlinks, linkbeg, linkend, linktype, xlink, ylink, linkjmax, qinit, sinit alenth, cosz, smin, smax, pmin, pmax, akap_min, akap_max.

Далее последовательно выполняются процедуры AfterInit и ExeRazmer, назначение которых описано ранее (см. п.14.2). Напомним, что всякий раз после изменении параметров солвера в форме управления (см. п.13) исполняется процедура ExeRazmerInit2.

На следующем этапе обнуляется код ошибки iErrorCode=0. Здесь целесообразно упомянуть о модификациях, внесенных в код солвера. После вызова каждой вложенной процедуры добавлена команда:

subroutine step

```
...
call control_linkbeg_linkend
if (iErrorCode.NE.0) Return
...
end
```

Во вложенных процедурах, там, где раньше сообщение об ошибке выводилось на экран, устанавливается код ошибки и осуществляется выход из процедуры:

```
subroutine control_linkbeg_linkend
...
if (linkbeg(n_k).ge.linkend(n_k)) then
    iErrorCode=1
    if (iErrorCode.NE.0) Return
endif
...
end
```

Таким образом, при возникновении ошибок, обрабатываемых солвером, осуществляется выход из процедуры перехода на следующий временной слой, а в переменной **iErrorCode** возвращается код ошибки.

Процесс подготовки к расчетам завершается переносом расчетных данных, сохраненных в основной модели в common - блоки солвера. Для этого используется функция интерфейсного модуля SetLinkDotPU. Как уже отмечалось, в основной модели также хранятся два массива (целый и вещественный). Эти массивы предназначены для хранения расчетных данных, независимых от параметров графа и сеточных функций на сосудах. К ним заведомо относится расчетное время. В настоящий момент наряду с расчетным временем сохраняются параметры, относящиеся к тестовым моделям сердца и почки. Итак, устанавливаются следующие значения: t, v_init, t_cur, p_kidney.

После установки этих параметров запускается процедура **PrepareSteps(1)**, где в качестве параметра передается признак продолжения расчета.

После осуществления указанных действий все готово к продолжению вычислений. Сразу отметим, что начало вычислений заново сводится к их продолжению, если предварительно сеточные функции инициализируются значениями Plnit, Ulnit путем вызовов процедуры InitLinkPU, обнуляются переменные t, v_init, t_cur, p_kidney и запускается процедура PrepareSteps(0) с параметром, соответствующим началу расчета. Начало и продолжение расчета и вовсе эквивалентны, если расчетов на текущей модели ранее не проводилось. Поэтому далее опишем процесс возобновления расчета.

При нажатии соответствующей кнопки управляющей формы (см. п.13) процесс вычислений запускается в виде отдельного потока. Поток, в котором при этом функционирует управляющий модуль, будем называть основным. Действия, которые осуществляются в отдельном потоке, достаточно просты, если оставить за кадром вопросы разрешения возможных конфликтов между потоками. В бесконечном цикле вызывается процедура MakeStep. Это цикл завершается, если после выполнения MakeStep значение iErrorCode отлично от нуля, либо если из основного потока поступила команда завершить отдельный поток. Такая команда поступает либо в результате прерывания расчета пользователем, либо при достижении заданного расчетного времени. После завершения каждого вызова MakeStep вызывается процедура основного потока, которая предназначена для обработки результатов очередного временного шага. Эта процедура обновляет графики сеточных функций на сосудах, осуществляет цветовую заливку объемной модели, выводит текущее время и т.п. При этом используются функции GetP, GetU, GetS, GetQ и GetTime. Еще раз отметим, что основной поток активен не только в ходе работы указанной процедуры, что позволяет осуществлять управляющие действия параллельно с процессом вычислений MakeStep.

При выходе из формы управления расчетом с сохранением его результатов (см. п.13) функции GetP и GetU используются для занесения новых значений в сеточные данные сосудов основной модели. После этого в дополнительном массиве сохраняются значения t, v_init, t_cur, p_kidney.

Предметный указатель

Автосохранение, 4 Выход без сохранения изменений, 10, 32 из программы, 4 с сохранением изменений, 10, 32 Изображение, 6 графиков, 17, 29 давление на сосудах, 30 каркасной модели, 6, 13 копировать в файл, 10 масштабирование, 6, 11 начальных данных, 11 номеров узлов, 8 объемной модели, 6, 13 проекция, 10 с учетом фильтра, 8 сосудов с Туре и ID, 8 узлов, 8 Коррекция, 4, 22 коэффициентов диффузии, 23 параметров сосудов, 23 расчет стационара, 22 типов узлов, 22 топологии, 22 Модели репликация, 3 слияние, 2, 4, 27 стыковка, 24, 25 Модель выделение фрагмента, 23, 26, 28 вычисление объема, 23 добавочная, 2, 23, 27 каркасная, 2, 4 коррекция, 22 масштабирование, 24 объемная, 3, 14 основная, 2, 4 перемещение, 24 Окно визуализации, 6 вывода графиков, 17, 29 Параметры

изображения, 9 коррекция, 22 объемной модели, 10, 15 солвера CVSS, 31, 35 сосуда, 7, 15, 17 узла, 7, 18 Положение тела данные, 19 изменение, 21, 26 Проекция, 10 изменение, 10 изометрия, 10 плановая, 7, 10, 25 Пункт меню, 7 'Вписать в окно', 11 'Контроль начальных данных', 11 'Копировать в файл', 10 'Объемная модель', 13 'Палитра 3D заливки артерий', 11 'Палитра 3D заливки вен', 11 'Параметры изображения', 9 'Печать', 8 'Показать управляющее окно', 11 'Показать/Убрать', 7 'Увеличить/Уменьшить', 8 'Установить проекцию', 10 'Установить фильтр по сосудам', 13 Солвер CVSS ЛГД расчеты, 32 внесение изменений, 33 доступ к данным, 33 интерфейсные процедуры, 35 интерфейсный модуль, 33, 35 компиляция, 32 обработка ошибок, 38 параметры, 30, 35 программные модули, 32 процесс вычислений, 37 управление, 28 Сосуд выделение, 5, 7 добавление, 5, 7 параметры, 15 редактирование, 5, 7, 15 сеточные данные, 5, 17, 29

удаление, 5 Сосуды редактирование групп, 17, 23 сеточные данные, 28, 32 совпадающие, 2, 27 фильтр, 8, 13, 23 Узел выделение, 5, 7 добавление, 5, 7 опорный (стыковочный), 25 параметры, 18 редактирование, 5, 7, 18 удаление, 5 Узлы вращение групп, 20 редактирование групп, 20, 22 совпадающие, 2, 27 стыковка, 24, 26 Файлы автосохранения, 4 графические, 9, 10 данных, 4 исходные солвера, 32 комплекса CVSS, 3 отладочные, 29, 37 палитры, 12 Фильтр по сосудам, 8, 13, 23 Форма, 3 'XYZ' (проекция), 10 'Вращение', 20 'Вычисления', 28 'Графики', 29 'Добавление модели', 23 'Коррекция модели', 22 'Модель' (основная), 4 'Начальные данные', 11 'Параметры изображения', 9 'Параметры расчетов', 31 'Печать', 8 'Сеточные данные сосуда', 17 'Сосуд', 15 'Стыковка по узлам', 25 'Узел', 18 'Установка палитры', 12 'Фильтр по сосудам', 13