

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.9

А.М. Крот¹, Е.Б. Минервина¹, П.П. Ткачева², В.А. Балдин¹, А.А. Калиновский¹**ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЯХ ГИДРОТРАНСМИССИОННЫХ СИСТЕМ**

Рассматриваются основные проблемы, возникающие при создании расчетных сеток и численном моделировании гидродинамических процессов в проточных частях гидротрансмиссионных систем с помощью современных компьютерных технологий. Исследуются вопросы компьютерного моделирования гидродинамических потоков при вращении колеса гидротрансформатора и особенности использования программного комплекса STAR-CD для вычислений на суперкомпьютере СКИФ-К1000.

Введение

Современные условия развития мировой экономики вызвали радикальную переориентацию сфер моделирования и конструирования сложных технических систем, в основе функционирования которых лежат реальные физические процессы. Преобладавшие ранее громоздкие энергозатратные испытательные стенды все чаще заменяются методиками виртуальных испытаний на основе новых информационных технологий, позволяющих проводить виртуальное моделирование физических процессов, с дальнейшим использованием полученных данных при разработке сложных технических конструкций для промышленности, и прежде всего машиностроения. Высокая эффективность применения в промышленности подобных компьютерных технологий позволяет, с одной стороны, уменьшить затраты на разработку той или иной модели, с другой – получить наиболее точную картину протекающих процессов [1–10].

Для разработки высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции в области машиностроения необходимо использование перспективных компьютерных технологий, обеспечивающих информационную интеграцию и системную поддержку жизненного цикла продукции, – так называемых CALS-технологий. Основу CALS-технологий составляют CAD, CAE, CAM, PDM-технологии, для которых характерен новый интегрированный подход, получивший название «параллельное проектирование». В основе этой технологии лежит идея совмещенного во времени компьютерного проектирования изделия (CAD), выполнения многовариантных инженерных расчетов (CAE, компьютерный инжиниринг – наукоемкая составляющая CALS-технологий) и технологической подготовки производства (CAM), что позволяет использовать проектные данные, начиная с самых ранних стадий проектирования и инженерного анализа одновременно различными группами специалистов [11–13].

Гидромеханические передачи (ГМП) относятся к наиболее важным элементам машин, которые обеспечивают ее тягодинамические характеристики. К основным элементам схемы ГМП относятся гидродинамический трансформатор (ГТ) и его гидравлическая система питания, коробка передач (КП) с переключением под нагрузкой и система управления КП [14]. Машинами, на которых целесообразно использование ГМП, являются прежде всего погрузчики, бульдозеры, скреперы и автогрейдеры. Диапазон мощности этих машин достаточно широкий – от 30 до 1000 кВт. Принимая во внимание, что принципиальная схема существующих ГМП и ее основные элементы не могут в полной мере удовлетворить современным требованиям технического уровня, проводится комплекс исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических и доводочно-испытательских работ по отработке базовых элементов и систем перспективных ГМП (в частности, элементов гидравлической системы). Решение подобной задачи невозможно без применения новых информационных технологий и использования в связи с этим современных программных комплексов.

Одной из важнейших областей, где до недавнего времени не были задействованы САЕ-технологии, является исследование гидродинамических процессов в рабочих органах дорожных машин (в частности, гидротрансформаторов), проектируемых и выпускаемых ОАО «Амкодор». Проведение гидродинамического анализа возможно с помощью систем вычислительной аэрогидродинамики (CFD-систем типа STAR-CD, CFX, Fluent). Внедрение CFD-систем в ОАО «Амкодор» реализуется благодаря совместному с Объединенным институтом проблем информатики Национальной академии наук Беларуси договору № ЗСТ/05-212-1 по заданию ПР1.1.02 «Компьютерное моделирование на основе пакета STAR-CD гидродинамических потоков в проточных частях гидротрансмиссионных систем» программы «Триада» Союзного государства.

Настоящая статья посвящена рассмотрению подходов к созданию расчетных объемных конечно-элементных сеток проточных частей гидротрансмиссионных систем и исследованию проблем, связанных с построением по геометрическим 3D-моделям объемных расчетных сеток, а также компьютерному моделированию гидродинамических процессов средствами программного комплекса STAR-CD.

1. Реализация генерации конечно-элементных сеток проточных частей гидротрансформатора в STAR-CD посредством импорта поверхностных сеток в формате nas. из системы Unigraphics

Рассмотрим проблемы импорта 3D-модели проточных частей гидротрансформатора посредством сеточного генератора Pro*am пакета STAR-CD из системы Unigraphics в формате Nastran (*.nas). При попытке импортировать посредством Pro*am файл bulk.nas в формате Nastran было получено сообщение об ошибке: 29 871-й элемент имеет неправильное число узлов, что не соответствует стандартам программы. Из-за этой ошибки импорт файла был прерван системой Pro*am автоматически.

Существует несколько путей исправления данной ситуации [7]. Во-первых, можно еще раз воссоздать данный файл в формате Nastran с применением подходящего конвертора. Во-вторых, есть возможность попробовать произвести импорт данного файла посредством системы PROSTAR пакета STAR-CD (рис. 1, а).

В связи с тем что в модели имелись разрывы (рис. 1, б) и элементы с несоответствующим числом узлов, было принято решение найти их и исправить. Для этого были пронумерованы все имеющиеся ячейки (элементы) этой модели. После выявления и исправления данной погрешности была осуществлена передача данных из системы PROSTAR в систему Pro*am.

Посредством сеточного генератора Pro*am была произведена проверка данной 3D-модели, по результатам которой были выявлены 153 бракованные ячейки (среди них самопересекающиеся ячейки, ячейки с открытыми гранями и т. д.). Все они были исправлены средствами сеточного генератора Pro*am, после чего была построена новая поверхностная сеточная структура с размером ячейки, равным двум. В целом новая поверхность подобна первоначальной, за исключением того, что теперь она не имеет бракованных ячеек. На заключительном этапе формирования поверхностной 3D-модели проточных частей гидротрансформатора в системе Pro*am пакета STAR-CD зададим основные линии, характерные для данной модели. Особенности конструкции представлены в качестве основных линий (ребер) на рис. 1, в.

Новое поверхностное представление проточных частей гидротрансмиссионных систем представлено на рис. 1, а (голубым цветом отмечены ячейки входа и выхода). Новая поверхностная 3D-модель проточных частей гидротрансформатора теперь состоит из 205 312 ячеек

Для создания корректной для счета внутренней объемной сетки было предпринято несколько попыток. Более 80 сеток оказались непригодными вследствие наличия в них многих проблемных зон. Поскольку пакет STAR-CD относится к программным комплексам повышенной вычислительной точности, расчетная сетка даже с одной проблемной зоной, как правило, не работает. Было принято единственное, на наш взгляд, правильное решение в данной ситуации: создать объемную конечно-элементную расчетную сетку проточных частей гидротрансформатора в декартовой системе координат с наименее возможным количеством ошибок, пе-

редать данную сетку в систему PROSTAR пакета STAR-CD и постараться ликвидировать оставшиеся проблемные моменты средствами этой системы.

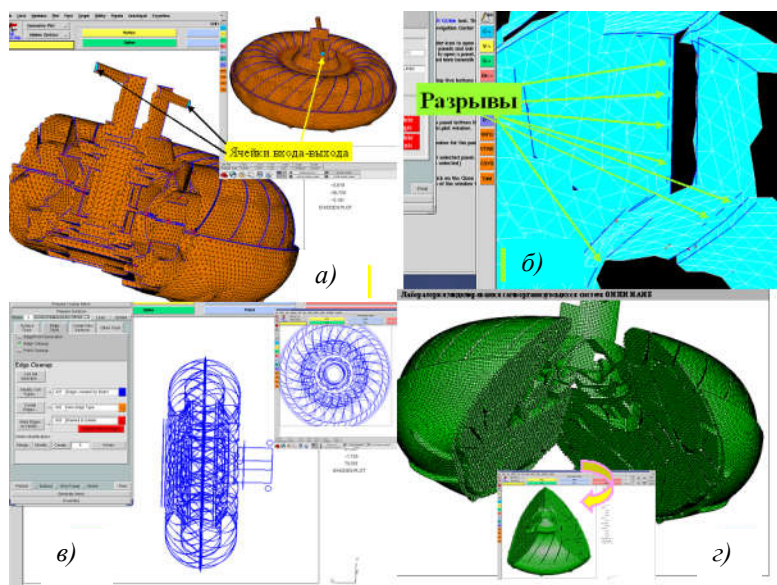


Рис. 1. Реализация генерации конечно-элементных сеток проточных частей гидротрансформатора в STAR-CD посредством импорта поверхностных сеток в формате nas. из системы Unigraphics

Была получена внутренняя объемная сетка (рис. 1, *г*), состоящая из ячеек типа CDX HEXA (это один из наиболее оптимальных типов сетки для данного качества первоначальной импортируемой геометрии и сложности конструкции [7]). Затраты чисто машинного времени на генерацию данной сетки составили 1 ч 48 мин 18 с, объем машинной памяти для этого же действия составил 718,4 МБ.

2. Создание объемных конечно-элементных вращающихся сеток проточных частей гидротрансформатора ТГД-340А (модифицированная модель) в цилиндрической системе координат

Проблемы построения данной расчетной сетки в цилиндрической системе координат связаны, прежде всего, с особенностями конструкции. С целью создания корректной для расчетов внутренней вращающейся объемной сетки проточных частей гидротрансформатора в цилиндрической системе координат было принято решение о дополнительной модификации САД-моделей внутренних поверхностных сеток проточных частей гидротрансформатора. Для редуцирования 3D-модели (с целью ускорения расчетов и устранения несущественных конструктивных особенностей) было принято решение об удалении из данной САД-модели всех частей и узлов гидротрансформатора, не участвующих непосредственно во вращении и не влияющих на процесс вращения (новая поверхность и основные ребра показаны на рис. 2, *а, б*).

Единственным подходящим вариантом для создания конечно-элементных вращающихся сеток проточных частей гидротрансформатора ТГД-340А (модифицированная модель) является использование классификационной расчетной сетки (Classification Mesh) в цилиндрической системе координат с последующей обработкой ее посредством генератора традиционной сетки (Custom Mesh). Объемная конечно-элементная расчетная сетка в цилиндрической системе координат состоит из криволинейных цилиндрических ячеек, образованных концентрическими координатными поверхностями в цилиндрической системе координат. В связи с тем что осью вращения является ось Oz , она должна быть расположена соответственно таким же образом, как в реальной модели гидротрансформатора ТГД-340А расположен вал турбины. Другими словами, необходимо произвести замену существующей системы координат на новую (дополнительную) систему координат. С этой целью создадим дополнительную (четвертую) систему

координат, для чего сдвинем ось Ox на 90^0 . На первом этапе синтезируем цилиндрическую заготовку расчетной сетки с использованием ячеек заранее определенного размера.

В такой сетке каждая ячейка классифицируется согласно ее местоположению относительно геометрической поверхности 3D-модели. Для данного случая цилиндрическая заготовка расчетной сетки будет иметь четыре различных типа ячеек. Ячейки, полностью лежащие вне поверхности, определяются типом 1. Ячейки типа 2 – это ячейки, полностью попадающие внутрь объема, ограниченного поверхностью. Ячейки типа 3 имеют вершины как внутри объема, так и снаружи, но при этом они не пересекаются. Все остальные ячейки пересечения характеризуются типом 4. Различные цвета в классификационной сетке указывают разные типы ячеек, определенные посредством программы. На рис. 2, в показано сечение внутренней области, на котором видны особенности классификации внутренней части модели.

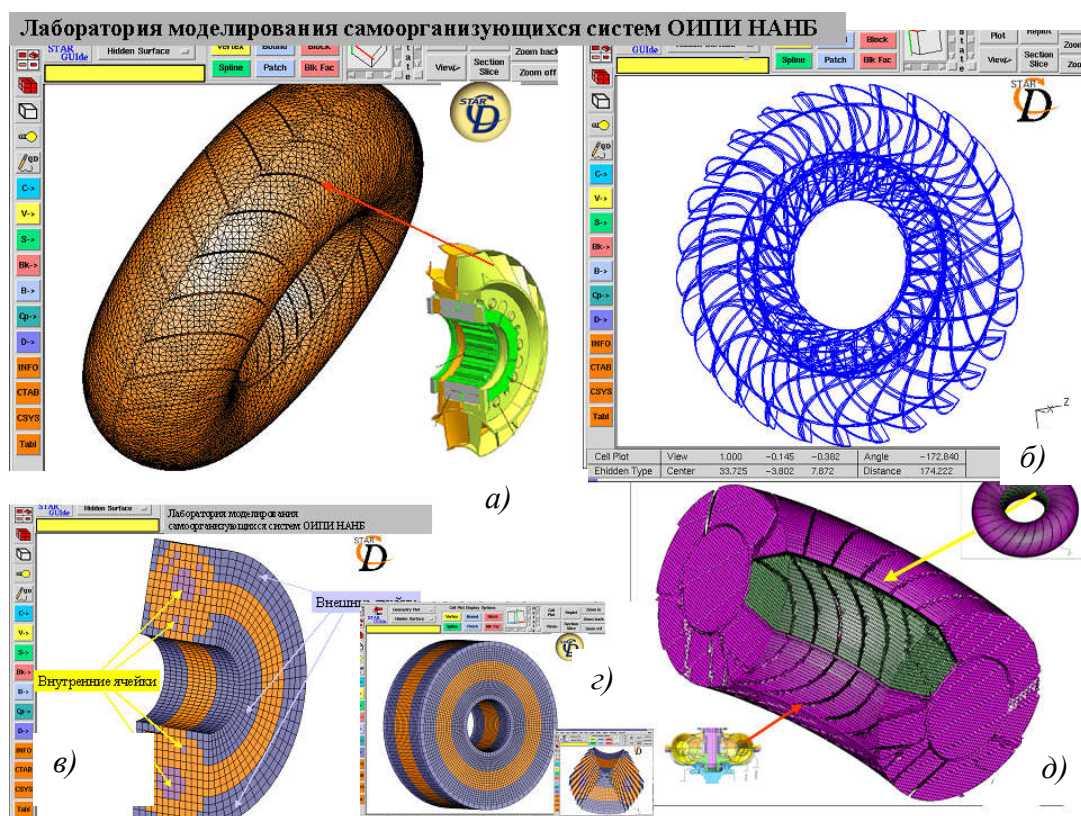


Рис. 2. Создание объемных конечно-элементных вращающихся сеток проточных частей гидротрансформатора ТГД-340А (модифицированная модель) в цилиндрической системе координат

На последующем этапе произведем классификацию при помощи традиционной сетки. На рис. 2, г представлен результат обработки конечно-элементной модели посредством генератора традиционной сетки.

На основе генератора традиционной сетки была синтезирована объемная расчетная сетка для конечно-элементной модифицированной модели проточных частей гидротрансформатора ТГД-340А в цилиндрической системе координат (рис. 2, д).

3. Верификация работоспособности конечно-элементных объемных расчетных сеток проточных частей гидротрансформатора в декартовой системе координат посредством компьютерного моделирования и их модификации

Расчет динамических характеристик жидкостного потока внутри гидротрансформатора основан на его компьютерном моделировании на основе синтезированной сеточной структуры посредством программного комплекса STAR-CD. Прежде чем использовать решатель STAR-CD, необходимо провести несколько подготовительных этапов. Первый этап состоит в проверке ра-

ботоспособности объемных расчетных сеток, построенных для проточных частей исследуемого изделия с помощью генератора системы Pro*am, с точки зрения возможности проведения на них численного моделирования. Проверка работоспособности объемных расчетных сеток включает определение расположения границ на исследуемой модели и общую проверку модели. Процесс определения границ на модели и общей ее проверки подробно описан в работах [8, 10].

Объемная расчетная сетка проточной части гидротрансформатора, сгенерированная посредством Pro*am STAR-CD в декартовой системе координат, показана на рис. 1, *з*. Целью данного раздела является проверка работоспособности этой расчетной сетки. На рис. 3, *а* представлена модель, соответствующая проточной части гидротрансформатора, а также обозначены граничные области входа и выхода.

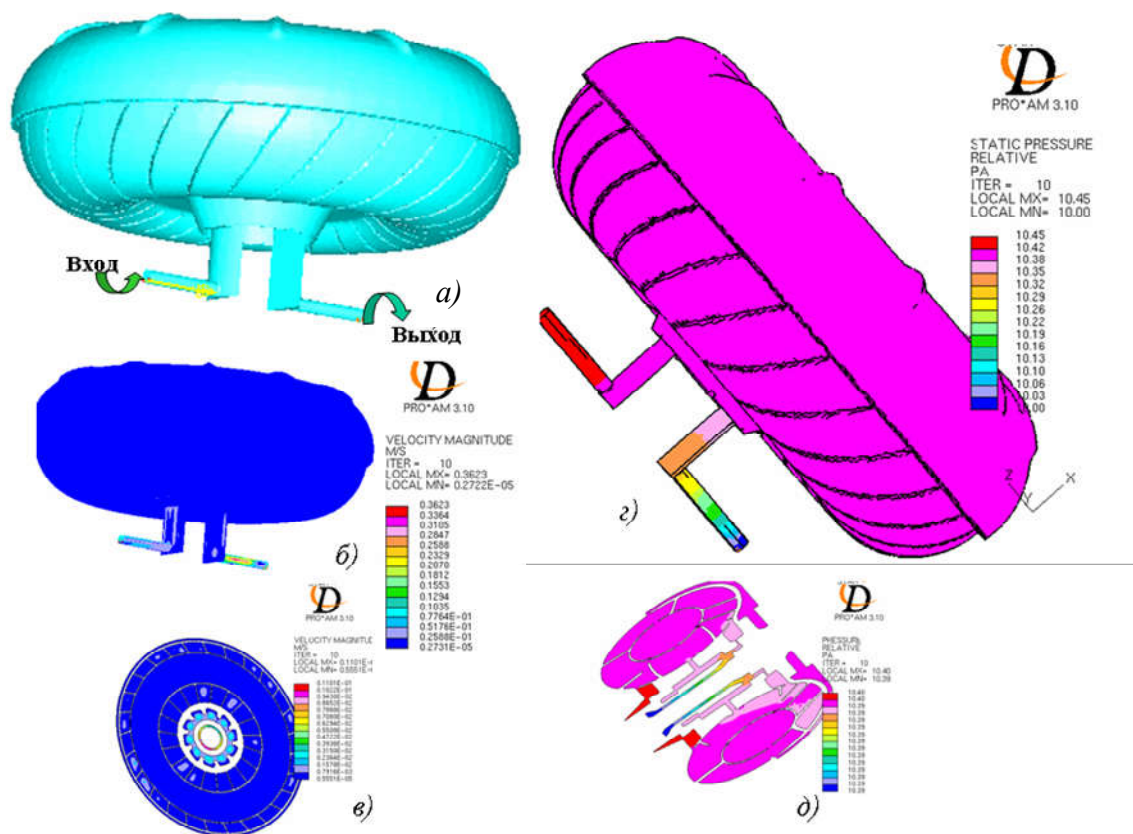


Рис. 3. Реализация процесса верификации конечно-элементной расчетной сетки проточных частей гидротрансформатора: *а)* конечно-элементная модель проточных частей гидротрансформатора; *б)* распределение поля скоростей внутри гидротрансформатора после проведения численного моделирования на основе STAR-CD; *в)* сечение трехмерного изображения распределения поля скоростей; *г)* картина распределения давления после проведения численного моделирования на основе STAR-CD; *д)* сечение трехмерного изображения распределения давления

Несмотря на то что в системе Pro*am при построении объемной расчетной сетки проводился этап проверки конечно-элементной модели, прежде чем использовать решатель STAR-CD для моделирования гидродинамических процессов в проточной части исследуемого изделия, следует выполнить всестороннюю проверку модели средствами пакета STAR-CD.

Всесторонняя проверка конечно-элементной модели исследует совместимость ячеек модели и подтверждает отсутствие ошибок, чтобы убедиться в возможности выполнения численного моделирования. Проверка конечно-элементной модели включает в себя верификацию установки модели и общую проверку. Результат проверки конечно-элементной модели проточной части гидротрансформатора (рис. 3, *а*), показал, что существует 391 ошибка и, следовательно, проведение процесса численного моделирования невозможно.

Анализ выявленных ошибок показал, что существует восемь типов различных ошибок: в частности, имеются ячейки, поверхности которых некорректно приписаны к парам, поверхности пар недостаточно закрыты, произвольные пары имеют частичную границу и т. п. В этой ситуации необходимо выполнить исправление имеющихся ошибок, чтобы получить возможность проведения численного моделирования. Эта задача была решена с помощью средств Tools системы Pro*am.

4. Расчет динамических характеристик слабого потока жидкости в проточной части гидротрансформатора на основе программного комплекса STAR-CD

После завершения проверки конечно-элементной модели проточной части гидротрансформатора необходимо определить условия на созданных границах. В качестве этих условий при компьютерном моделировании гидродинамического потока внутри проточной части гидротрансформатора были выбраны значение скорости потока v_{in} на границе входа (0,1 м/с), а также значение давления p_{out} (10 Па) на границе выхода. Однако процесс численного моделирования был снова остановлен из-за присутствия 22 ошибок. Эти ошибки связаны с проблемами парных ячеек (couples, типы 61 и 106) и ошибками геометрии (тип 60). Процесс модификации некачественных ячеек был выполнен вручную на основе средств Tools системы Pro*am.

Следующая попытка запустить решатель STAR-CD повлекла за собой сообщение о недостаточном объеме памяти и выявила наличие пяти дефектных ячеек. После увеличения объема памяти было принято решение об удалении пяти некачественных ячеек. В результате этих действий объемная конечно-элементная модель проточной части гидротрансформатора была модифицирована и окончательно подготовлена к счету на основе программного комплекса STAR-CD.

После успешного проведения численного моделирования результаты счета были помещены в pst.файл. Результаты численного моделирования по распределению поля скоростей и давлению представлены на рис. 3, б и 3, г соответственно. Из рис. 3, б видно, что скорость на входной границе почти полностью соответствует заданной и равняется 0,1 м/с (темно-зеленый цвет) и 0,077 м/с (голубой цвет).

Рис. 3, г отражает результат компьютерного моделирования гидродинамического потока внутри проточных частей гидротрансформатора по давлению. Из рисунка видно, что давление на выходной границе полностью соответствует заданному в эксперименте и равняется 10 Па (синий цвет). Анализируя данные по давлению, можно сделать вывод, что давление в проточных частях гидротрансформатора меняется незначительно и колеблется от 10 до 10,45 Па. Для более тщательного изучения процессов, происходящих в проточных частях гидротрансформатора, были проведены сечения трехмерных изображений, представляющих распределения полей скоростей и давлений плоскостями (рис. 3, в и 3, д соответственно).

Таким образом, после проведения численного моделирования на основе программного комплекса STAR-CD можно сделать вывод, что объемная расчетная сетка для проточных частей гидротрансформатора, полученная с помощью Pro*am в декартовой системе координат, является работоспособной после выполнения процедур модификации конечно-элементной модели.

5. Компьютерное моделирование гидродинамических потоков в установившемся (стационарном) режиме внутри гидротрансформатора

Следующим этапом стало моделирование процесса вращения колес гидротрансформатора. Камеру гидротрансформатора можно было считать замкнутой благодаря небольшой величине объема жидкости, протекающего через нее в единицу времени, по сравнению с объемом, заключенным внутри камеры. В качестве среды, заполняющей рабочее пространство, рассматривалось масло. В результате было промоделировано стационарное течение, возникающее при вращении всех четырех колес в одну сторону с частотой 0,01 об/мин. Небольшая частота выбиралась для большей наглядности и лучшей интерпретируемости полученных результатов. С учетом низкой скорости вращения жидкость считалась несжимаемой, а течение ламинарным.

На рис. 4, *а* видны области повышенного давления перед лопатками и пониженного позади них, что соответствует ожидаемой картине течения. Кроме того, из рис. 4, *а* и 4, *б* можно видеть, что, несмотря на простоту картины распределения поля давлений, скорости распределены довольно сложным и нетривиальным образом. Рис. 4, *в* и 4, *г* изображают распределения полей давлений в двух взаимно перпендикулярных сечениях конструкции.

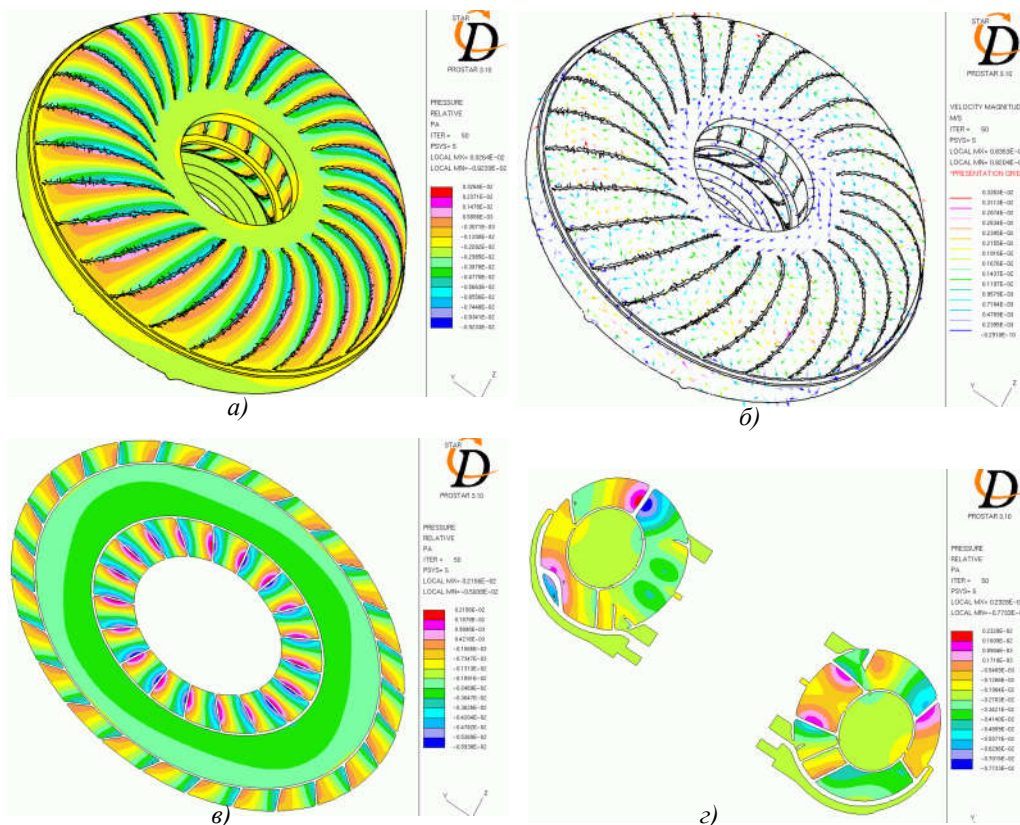


Рис. 4. Результаты моделирования стационарного течения, возникающего при вращении колес гидротрансформатора: *а*) распределение поля давлений; *б*) поля скоростей в векторном виде; *в*) поля давлений в продольном и *г*) поперечном сечениях расчетной сетки

6. Компьютерное моделирование нестационарных гидродинамических потоков, возникающих при вращении колеса гидротрансформатора

Для моделирования процесса вращения использовалась конечно-элементная расчетная сетка, изображенная на рис. 2, *д*. Частота вращения составляла 10 об/мин и задавалась на одной из стенок колеса, обозначенной на рис. 5, *а* оранжевым цветом. Скорость вращения была выбрана небольшой для уменьшения времени счета. Поэтому сплошную среду (масло) можно было считать несжимаемой, а турбулентность не учитывать.

В результате было промоделировано нестационарное течение вязкого масла, возникающее при вращении одного из реакторных колес гидротрансформатора. Полученные в результате моделирования распределения поля скоростей показаны на рис. 5. Полученное скалярное поле давлений представляет из себя почти равномерное распределение, что связано, по видимому, с геометрическими особенностями расчетной сетки.

На рис. 5, *б* приведено распределение поля скоростей в отдельной части модели. На нем, а также на рис. 5, *в* и 5, *г*, в частности, видно, что наибольшая скорость (красный цвет) достигается вблизи границы, на которой задавалась частота вращения. Кроме того, можно заметить отсутствие движения в области, соответствующей второму реакторному колесу (римская цифра II на рис. 5, *г*), которое, хотя и является соседним с вращающимся колесом, но отделено от остальной части конструкции, так как целью данной работы было принципиальное моделирование процесса вращения колеса гидротрансформатора.

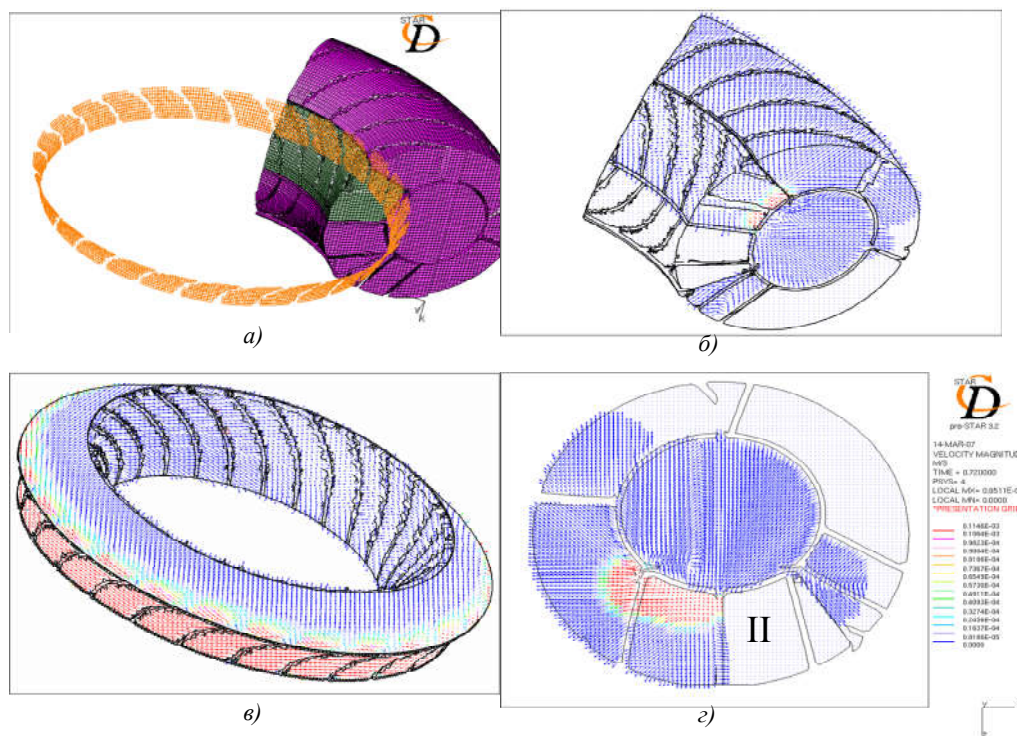


Рис. 5. Граничные условия и результаты моделирования процесса вращения колеса гидротрансформатора: а) граница, на которой задавалась частота вращения реакторного колеса; б) распределение поля скоростей в части расчетной сетки; в) в области вращающегося колеса; г) в поперечном сечении сетки

7. Особенности использования программного комплекса STAR-CD (версия 3.26) для проведения вычислений как на персональном компьютере, так и на суперкомпьютере СКИФ

В приобретенной версии STAR-CD 3.26 была обнаружена ошибка в пусковом shell-скрипте решателя STAR. Так, при запуске вычислений выдавалось следующее сообщение:

```
.../3.26/STAR/3.26.000/linux64_2.4-pgf90_5.2-glibc_2.2.5-dso/bin/star: line 4331: unexpected EOF while looking for matching ``'
```

```
.../3.26/STAR/3.26.000/linux64_2.4-pgf90_5.2-glibc_2.2.5-dso/bin/star: line 4345: syntax error: unexpected end of file
```

Проблема была найдена в функции `check_resource()` скрипта `star`. Следующий diff-файл позволил исправить ошибку:

```
$ diff star star.orig
1171,1172c1171
< #MMEEXEC=`RSRH $PNP_MMHOST $STARDIR/etc/starenv -run "$STARINI" / "ls -l
\\\"$PNP_MMEEXEC 2>&1 | tail -1 | grep -v "No such file"
<MMEEXEC=`RSRH $PNP_MMHOST $STARDIR/etc/starenv -run "$STARINI" / "ls -l \\\"echo
\\\"$PNP_MMEEXEC\"\" 2>&1 | tail -1 | grep -v "No such file"
---
>MMEEXEC=`RSRH $PNP_MMHOST $STARDIR/etc/starenv -run "$STARINI" / "ls -l
\\\"$PNP_MMEEXEC 2>&1 | tail -1 | grep -v "No such file"
```

Работа с пакетом STAR-CD на суперкомпьютерном комплексе «СКИФ» может быть организована с использованием системы управления заданиями (Portable Batch System – PBS) двумя способами:

- в режиме пакетного выполнения (batch-режим);
- в интерактивном режиме.

При работе с программным комплексом STAR-CD на суперкомпьютере СКИФ первый режим имеет смысл использовать при запуске больших задач на счет с использованием параллельного решателя STAR. Для удобства работы в пакетном режиме и запуска счета в нем был написан скрипт на *SHELL rrun.sh*. Данный скрипт по умолчанию при запуске генерирует пусковой *batch*-файл в текущей директории исходя из конфигурации, прописываемой в файле *\$CFG*. Скрипт может принимать следующие входные параметры:

- d* – удалить все *output*-файлы, генерируемые системой *PBS*;
- m* – генерировать *PBS*-скрипт для запуска в многопроцессорном режиме счета (число узлов и группа *PBS* указываются в файле конфигурации *\$CFG*);
- s* – генерировать *PBS*-скрипт для запуска однопроцессорной версии решателя;
- r* – поставить задачу в очередь на счет;
- h* – краткая справка по командам.

Скрипт может принимать несколько параметров на вход (через пробел), что позволяет сразу генерировать *PBS*-файл и ставить задачу в очередь одной командой `rrun.sh m s`.

Для работы в интерактивном режиме с пакетом STAR-CD на одном из узлов кластера достаточно использовать опцию '-I' команды *qsub*. Следует отметить, что при работе в интерактивном режиме с программным комплексом требуется передача довольно большого потока графической информации, в связи с чем появляются некоторые задержки реакции графического интерфейса на действия пользователя (особенно в случае загрузки кластера). В этой связи имеет смысл использовать флаг *-C* в команде *ssh* при организации удаленного доступа на кластер, что позволит сжимать трафик передаваемой информации.

При расчете моделей, имеющих подвижные части в своей конструкции (например, вращающегося колеса гидротрансформатора), пакет STAR-CD запускает отдельный процесс, отвечающий за изменение объемной сетки модели, причем требует для этого лицензию на одно рабочее место. Таким образом, если необходимо запустить решение задачи на *n* процессорах, то понадобится лицензия на *n+1* рабочих мест.

Заключение

Сложность задачи проектирования гидротрансформаторов заключается в том, что требуемые характеристики (КПД, энергоемкость, коэффициент трансформации) имеют жесткую зависимость от формы и расположения криволинейных поверхностей колес гидротрансформатора, подбор которых осуществляется очень затратным экспериментальным путем [14]. В настоящей статье представлены исследования, связанные с усовершенствованием трехмерной конструкции гидротрансформатора на основе его виртуальной модели. Рассмотрены проблемы генерации конечно-элементных расчетных сеток проточных частей гидротрансформатора и выполнена проверка работоспособности этих сеток с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе STAR-CD.

Список литературы

1. CD adapco DYMAMICS. – 2004. – Vol. 23.
2. CD-adapco, USA [Electronic resource]. – Mode of access: [http:// www.cd-adapco.com](http://www.cd-adapco.com). – Date of access: 16.07.2007.
3. CAD/CAM/CAE Observer. – 2005. – № 2 (20).
4. CAD/CAM/CAE Observer. – 2005. – № 3 (21).
5. Басов, К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов; под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
6. Крот, А.М. Разработка и исследование моделей сложных динамических систем на основе методов вход-выходных представлений и пространства состояний / А.М. Крот // Информатика. – 2004. – № 4. – С. 95–108.
7. Ткачева, П.П. Компьютерная технология синтеза расчетных сеток в программном комплексе STAR-CD для моделирования аэродинамических потоков в рабочей камере турбокомпрессора / П.П. Ткачева // Информатика. – 2005. – № 2 (6). – С. 5–14.

8. Минервина, Е.Б. Компьютерное моделирование аэродинамических потоков в рабочей камере турбокомпрессора с использованием программного комплекса STAR-CD / Е.Б. Минервина // Информатика. – 2005. – № 2 (6). – С. 15–24.
9. Numerical simulation on the basis of STAR-CD software package of aerodynamical flows in order to reveal shock waves into a turbocompressor / V.A. Baldin [at al.] // II International Scientific and Technical Conference «Aero Engines of XXI Century». – Moscow: CIAM, 2005. – P. 339–340.
10. Исследование плоских ударных волн в турбокомпрессоре на основе аэродинамического компьютерного моделирования в программном пакете STAR-CD / В.А. Балдин [и др.] // Информатика. – 2005. – № 4. – С. 5–12.
11. Проблемы компьютерного моделирования аэродинамических процессов в транспортирующих органах кормоуборочных комбайнов / А.М. Крот [и др.] // Информатика. – 2006. – № 3 (11). – С. 80–90.
12. Пигенко, В.А. Применение современных компьютерных технологий при проектировании сельскохозяйственной техники / В.А. Пигенко, А.Н. Вырский, Ю.В. Чупрынин // Сборник докладов Междунар. науч.-практ. конф. «Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития». – Гомель, 2007. – С. 168–175.
13. Синтез подвижных конечно-элементных расчетных сеток и моделирование процесса вращения ротора ускорителя выброса кормоуборочного комбайна КВК-800 / А.М. Крот [и др.] // Сборник докладов Междунар. науч.-практ. конф. «Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития». – Гомель, 2007. – С. 210–214.
14. Антонов, А.С. Гидромеханические и электромеханические передачи транспортных и тяговых машин (теория, основы проектирования, конструкция и расчет) / А.С. Антонов, Е.И. Магидович, И.С. Новохатько. – М.-Л.: Гос. науч.-техн. изд-во маш. лит., 1963. – 351 с.

Поступила 31.08.07

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: alxkrot@newman.bas-net.by

²Белорусский государственный университет,
Минск, пр. Независимости, 4

A.M. Krot, H.B. Minervina, P.P. Tkachova, V.A. Baldin, A.A. Kalinovsky

**COMPUTING MECHES DESIGN AND HYDRODYNAMIC PROCESSES
COMPUTATIONAL MODELING
IN SETTING PARTS OF HYDROTRANSMISSION SYSTEMS**

Problems related to computation meshes creating and hydrodynamic processes numerical modeling for setting parts of hydrotransmission systems are considered. Questions of computer modeling the hydrodynamic flows while fluid converter rotation are investigated and details of using STAR-CD software with SKIF supercomputer are discussed.