

“FLOW-3D in designing hydraulic systems for heavy machinery,” (in Russian)
Y.Darsht, K.Kuvanov, A.Puzanov, I,Kholkin
SAPR I Grafika (CAD and Graphics), 8, 2000, pp 50-55.

FLOW-3D в проектировании машиностроительной гидравлики

Я. Даршт, К. Куванов,
А. Пузанов, И. Холкин

Машиностроительная гидравлика является современной отраслью машиностроения. Но до настоящего времени процесс проектирования гидравлики на 99% опирался на эксперимент. Во многом такое положение сохраняется и сегодня, однако дальнейшее повышение качества проектирования при одновременном сокращении сроков возможно только при использовании современных компьютерных технологий.

Два ведущих предприятий России в области гидромашиностроения — ОАО «СКБ ПА» и ОАО «КЭМЗ» (г. Ковров) в период 1997-2000 годов предприняли усилия по переносу центра тяжести в проектировании с натурального экспериментирования на модельные исследования. Это стало возможным вследствие приобретения новых программных продуктов, в частности пакета FLOW-3D (Flow Science, Inc., www.flow3d.com; рис. 1), позволяющего моделировать гидродинамические течения на уровне, близком к элементарному. При таком подходе удается одновременно охватывать как микро-, так и макропроцессы.

FLOW-3D — современный программный продукт для анализа динамики жидкости и газа, включая тепловые эффекты. Он применяется для математического моделирования ограниченных течений жидкости и течений со свободной поверхностью при турбулентном и ламинарном режимах, а также газов в дозвуковом и сверхзвуковом режимах.

Для описания объема моделирования FLOW-3D использует сетку в декартовых или цилиндрических координатах. Сложная геометрия моделируется с использованием метода FAVOR, где препятствия и перегородки заключаются в ортогональную сетку. Данный метод допускает независимое определение сетки и геометрии, то есть геометрия может быть изменена без повторного определения сетки.

Мощный генератор сетки FLOW-3D прост в применении и способен создавать сложные сетки. Так как сетка

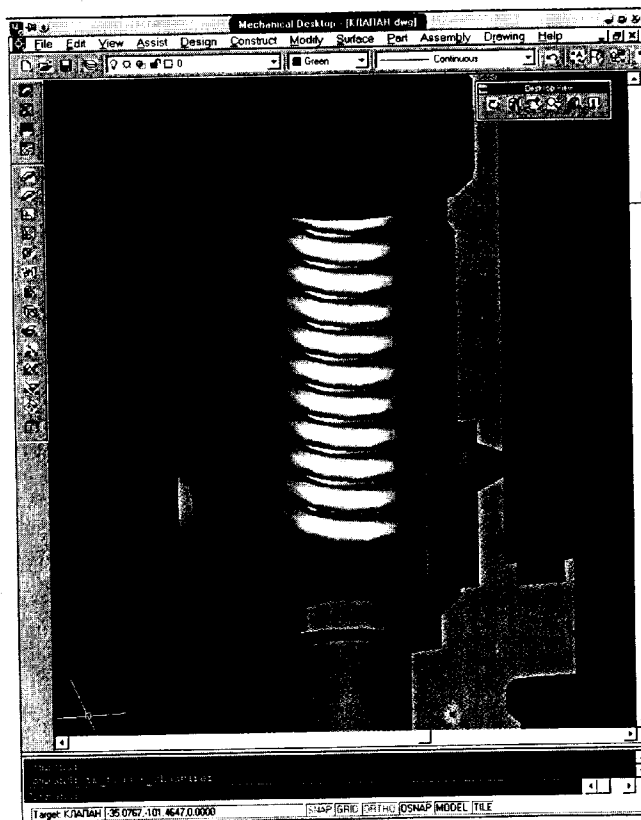


Рис. 2. Модель клапана, выполненная в программе Mechanical Desktop

определяется независимо для каждой из трех ортогональных координат, пользователь как минимум должен задать граничные координаты сетки и число ячеек в каждом направлении. Для более сложной сетки могут быть определены промежуточные плоскости сетки, а также размер ячеек в определенных местах или количество ячеек между двумя точками. Промежуточные точки используются в основном для определения мест более высокой разрешающей способности. Примером использования промежуточных точек может служить модель внешнего течения, когда высокая разрешающая способность требуется вблизи интересующего объекта, с сеткой, расширяющейся от объекта.

В цилиндрических координатах ось Z является вращающейся осью системы, X становится радиальной координатой, а Y представляет азимутальный угол.

FLOW-3D позволяет рассчитывать как плоские, так и объемные модели потока. Для определения областей потока и препятствий в вычислительной сетке система поддерживает пять методов.

Первый метод — конструктор твердого тела FLOW-3D. Он базируется на таких примитивах, как блоки,

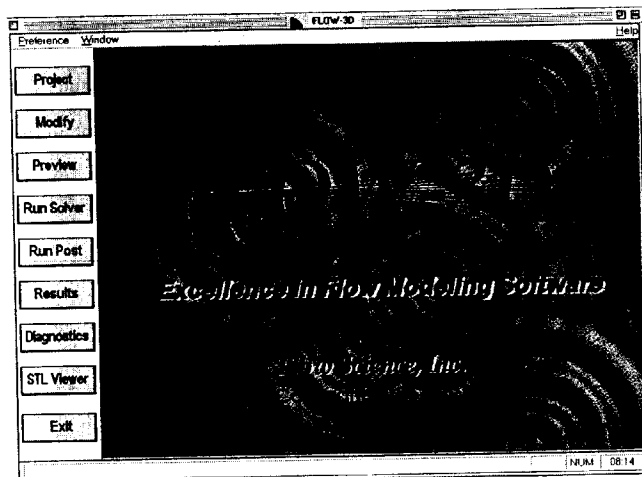


Рис. 1. Программа FLOW-3D

Основные элементы гидростатического привода дорожно-строительной машины.

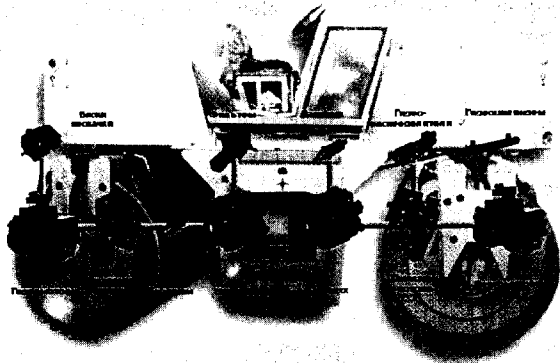


Рис. 3. Элементы гидростатического привода дорожного вибрационного катка

сферы, конусы, цилиндры и другие квадратичные формы, и является частью препроцессора. Данный метод может быть легко использован для создания большинства геометрий.

Второй метод описания области заключается в простом чтении файла с данными в дробных долях поверхностей/объемов, которые были сгенерированы в предыдущем расчете или с помощью другой программы.

Третий метод может быть использован для особо сложных форм. Данные, читаемые во FLOW-3D, должны быть представлены в формате, разработанном для программы I-DEAS.

Четвертый метод известен как стереолитография, или stl-формат. Stl-файлы используются в качестве входных для полностью автоматизированного и быстрого ввода геометрии объектов моделирования. Геометрия моделируемого объекта может быть подготовлена практически в любой системе трехмерного проектирования, например в системе Mechanical Desktop (Autodesk, Inc.).

Пятый метод может быть использован для считывания исходных данных, представленных в формате системы ANSYS.

Для определения препятствий можно использовать как отдельно взятый метод, так и их комбинацию.

Программа FLOW-3D состоит из четырех отдельных подпрограмм: препроцессора, главного процессора, постпроцессора и графического пакета.

Препроцессор переводит входные параметры в полную численную модель начальных и граничных условий для главного процессора, упрощая тем самым работу пользователя по окончательной постановке задачи. Препроцессор инициализирует свойства сплошной среды, начальные и граничные условия, устанавливает численные значения переменных, генерирует твердые тела и перегородки. Все исходные данные, определенные пользователем, читаются препроцессором в формате namelist. Некоторые исходные параметры имеют значение, определенное по умолчанию, тем самым позволяя пользователю определять только те данные, которые необходимы для решения конкретной задачи. Препроцессор производит логический контроль входных данных и, если это необходимо, предупреждает пользователя о некорректной постановке задачи.

Главный процессор включает в себя алгоритмы генерации численных решений в широком спектре физических условий. Кроме того, главный процессор контролирует величины критерия сходимости и временного шага; тем самым достигается наилучшая скорость и точность решения поставленной задачи.

Постпроцессор позволяет легко просматривать промежуточные и окончательные результаты вычислений и манипулировать ими. Математическая модель в главном процессоре строится по принципу модели с переменной структурой, так что части уравнений, описывающие различные физические эффекты, вызываются только тогда, когда эти эффекты включены в решаемую задачу. Во время работы главный процессор выдает различную информацию о ходе расчета. Эта информация может применяться для построения различных графических диаграмм, а также использоваться как начальные условия для новых последующих вычислений. В этом случае большинство физических параметров может быть переопределено, что дает пользователю существенную гибкость в решении задачи.

Программа FLOW-3D включает различные математические модели потоков: нестационарные одно-, двух- или трехмерные уравнения Навье-Стокса в декартовых или цилиндрических системах координат; модели сжимаемых и несжимаемых жидкостей; модель распространения звуковых волн; модель обтекания твердых тел; модель свободных и ограниченных течений; различные модели турбулентности; модель течения двухкомпонентной смеси с (без) поверхностью раздела; не-Ньютоновы жидкости и многое другое.

Постпроцессор, используя ранее полученные данные, генерирует различные графические диаграммы. Векторные и контурные диаграммы строятся в заданных видах и разрезах физического пространства. Постпроцессор имеет широкие цветовые возможности для отображения различных эффектов. Графики строятся для визуализации временной эволюции локальных и интегральных величин: компонентов скоростей, давлений, температур, сил и моментов, плотностей, концентраций энергии и т.д.

Постпроцессор может записывать данные вычислений в специальные файлы для ввода в иные программные пакеты, например для

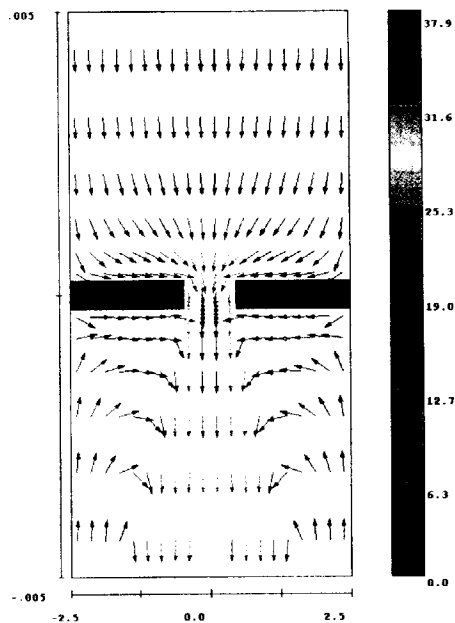


Рис. 4. Распределение скоростей жидкости по осевому сечению дросселя

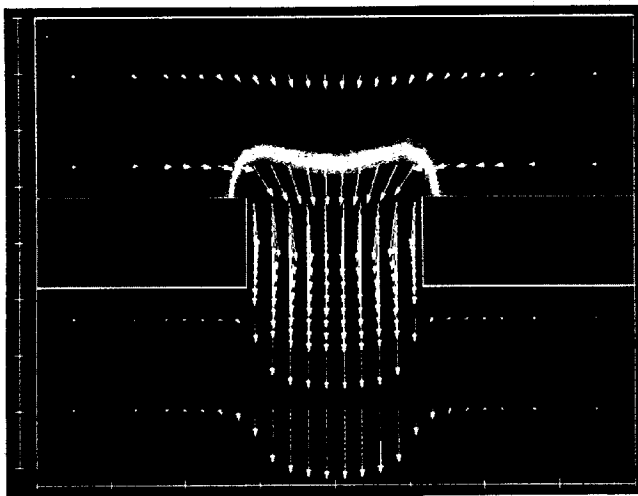


Рис. 5. Распределение давления жидкости во внутреннем канале дросселя

моделирования динамики твердых тел или структурного анализа.

Графический пакет предназначен для визуализации результатов моделирования. Пакет способен отображать графики различных временных функций, двумерные и трехмерные диаграммы в сером или цветном изображении, а также создавать данные необходимые для анимации.

Круг решаемых с помощью пакета FLOW-3D задач весьма широк. Решение каждого класса задач требует адаптации пакета к конкретной специфике.

Предприятия ОАО «СКБ ПА» и ОАО «КЭМЗ» специализируются на проектировании и производстве комплексных гидравлических приводных систем. Область использования этих систем обширна: летательные аппараты, суда, наземный транспорт, станки и манипуляторы, энергетика, металлургия и т.д.

Такое широкое распространение гидравлических приводов связано с их фундаментальными свойствами, которые, в свою очередь, определяются свойствами жидкости — рабочего тела гидропривода (текучестью, практической несжимаемостью и др.). Современный гидравлический привод характеризуется большой удельной мощностью, малыми габаритами и весом, высоким быстродействием, точностью, бесступенчатым регулированием скорости исполнительных органов.

Комплексный гидростатический привод высокого давления включает в себя большое количество разнородных гидравлических машин, элементов гидроавтоматики, гидроарматуры. Некоторое представление о наборе элементов, входящих в гидропривод, можно получить из рис. 3.

Укрупненно все элементы гидропривода для удобства моделирования могут быть разбиты на несколько групп:

- гидравлические сопротивления (диссипаторы гидравлической энергии);
- устройства гидроавтоматики (регуляторы параметров потока жидкости);
- гидравлические емкости и индуктивности (интеграторы потоков и давлений);
- гидронасосы, гидромоторы, гидроцилиндры (гидромеханические и механогидравлические преобразователи);

Моделирование гидравлических сопротивлений

Фундаментальным процессом, встречающимся в любом реальном гидравлическом устройстве, является рассеяние энергии при деформации потока жидкости в канале.

Эталоном качества моделирования этого процесса в любом гидроаппарате может служить моделирование течения жидкости через дроссельную шайбу. Сама по себе дроссельная шайба также используется в различных устройствах гидроавтоматики.

На рис. 4-8 представлены результаты моделирования течения маловязкой жидкости через дроссельную шайбу.

Как видно из рис. 4, перед дроссельной шайбой происходит торможение жидкости, а вектор скорости направлен к оси потока. В результате происходит сужение потока, его ускорение и резкое снижение давления. При внезапном расширении возникает вихреобразное движение жидкости, скорость потока падает, и возникает интенсивное рассеяние энергии потока (рис. 5). При этом давление практически не восстанавливается.

Ядро струи жидкости имеет трапециевидную геометрию, и эпюра скорости носит параболический характер.

Из рис. 6 видно, что максимальная турбулизация потока и диссипация энергии связаны между собой сложной зависимостью: турбулизация потока имеет место в ядре струи, а наибольшая потеря энергии происходит на краях и в канале дросселя.

Обобщенные характеристики дросселя представлены на рис. 7 в виде двух зависимостей: расходно-перепадной и коэффициента расхода как функции от числа Рейнольдса. Данные характеристики полностью совпадают с экспериментальными зависимостями.

Для статических и динамических моделей различных гидроустройств используются зависимости вышеуказанных параметров от вязкости жидкости, шероховатости канала, наличия газосодержания в жидкости и т.д.

На рис. 8 представлена аналогичная модель течения жидкости в трубопроводе и местном сопротивлении кон-

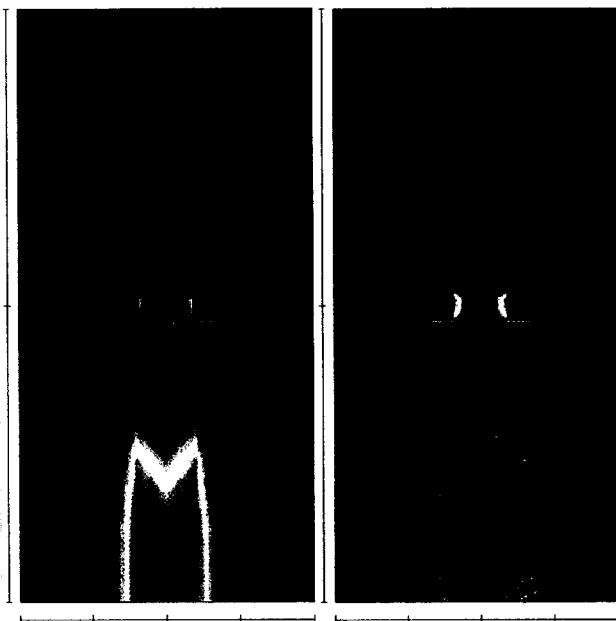


Рис. 6. Турбулентная энергия и диссипация энергии в дросселе

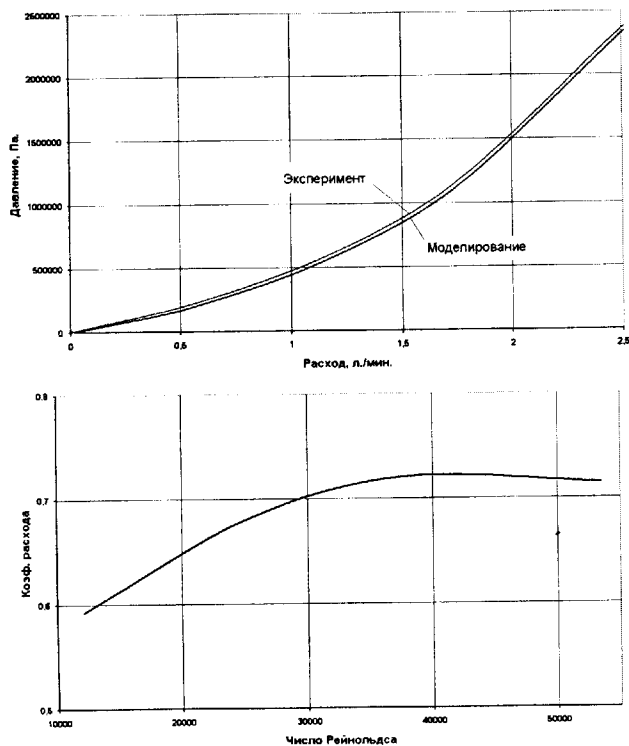


Рис. 7. Расходно-перепадная характеристика и функция зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса

фузорно-диффузорного типа. При выбранных для расчета параметрах эпюра скорости в трубопроводе имеет трапецеидальный вид; градиент изменения скорости у стенки достигает максимума, но в целом коэффициент неравномерности скорости по сечению канала близок к единице.

В конфузорно-диффузорном сопротивлении, по сравнению с дроссельной шайбой, вихреобразование минимальное. Наименьшее давление присутствует в узкой части потока, затем давление частично восстанавливается.

При адаптации пакета FLOW-3D для целей моделирования машиностроительной гидравлики высокого давления в статике и динамике в широком диапазоне температур, работающей на минеральных и синтетических маслах, ставилась задача учета свойств жидкости, характера поверхности каналов, наличия содержания газа в системе и т.д.

Аналогичные процессы имеют место во всех гидравлических устройствах.

Моделирование устройств гидроавтоматики

Концепция расчетного комплекса для моделирования различных устройств гидроавтоматики, в котором использована программа FLOW-3D (трехмерная модель потока), графически представлена на рис. 9.

Подробная трехмерная модель, описывающая физические свойства жидкости, используется для расчета коэффициентов, как это показано выше на примере дроссельной шайбы. Такая модель получается весьма сложной, и расчет с ее помощью каждой режимной точки требует больших затрат машинного времени. Поэтому назначение трехмерной модели целесообразно ограничить определением точных значений коэффициентов (коэффициента расхо-

да μ_0 , коэффициента динамической силы ξ_0 , коэффициента полной силы ψ_0 , действующей со стороны жидкости на затвор гидроаппарата, коэффициента относительных потерь напора вдоль линии тока ζ_0) для основного режима работы гидроаппарата.

Полученные в трехмерной модели потока значения коэффициентов используются для описания гидродинамических

процессов в упрощенной одномерной модели, которая реализуется средствами других пакетов (динамического моделирования SIAM, Matlab/Simulink и т.п.). При этом рассчитываются основные параметры потока и серии коэффициентов μ , ξ , ψ , $\zeta(l)$ для разных режимов, то есть для разных сочетаний таких параметров, как величины входного и выходного давлений, высоты подъема затвора, газосодержания в жидкости и др.

Достоинство одномерной модели заключается в том, что она позволяет оперативно выполнять большое количество расчетов — проводить модельные исследования.

Одномерные модели предназначены для получения серий зависимостей коэффициентов расхода и коэффициентов сил, действующих со стороны жидкости на затворы гидроаппаратов от режимных и других параметров в широком диапазоне при приемлемой точности.

Располагая зависимостями для коэффициентов сил, коэффициентов расхода по известным уравнениям и алгоритмам, можно рассчитывать статические и динамические характеристики гидроаппаратов в соответствующих моделях.

Пример характеристик,

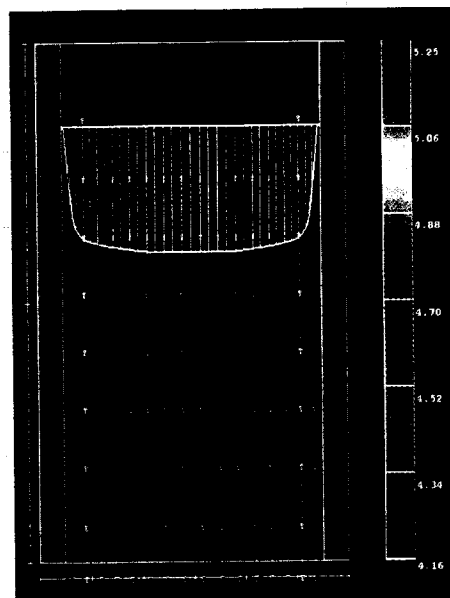


Рис. 8. Течение маловязкой жидкости через трубопровод и конфузорно-диффузорное сопротивление

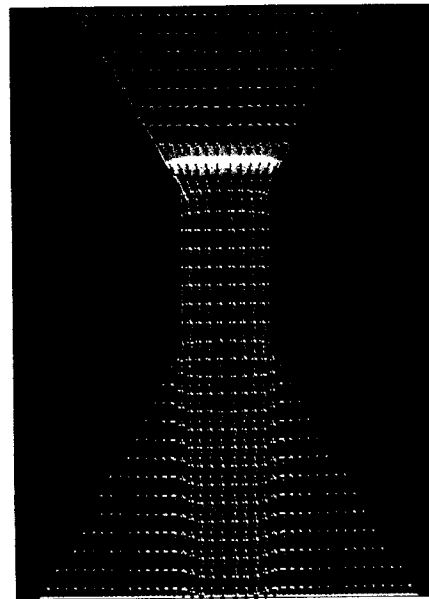


Рис. 9. Расчетный комплекс

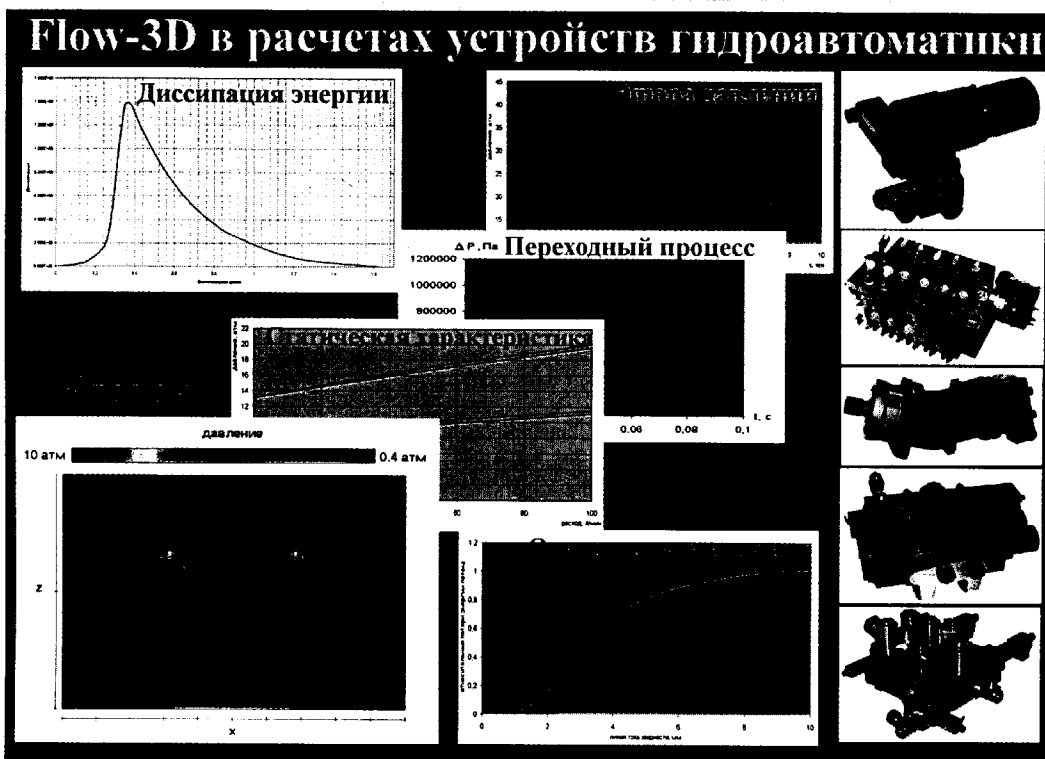


Рис. 10. Расчет течения жидкости через клапан и характеристики, выполненные в различных моделях гидроаппаратов

рассчитываемых с помощью комплекса, приведен на рис. 10 (применительно к клапану).

Наиболее важным представляется выполнение расчета во FLOW-3D для определения сил, действующих со стороны потока жидкости на запорно-регулирующие элементы (ЗРЭ) пропорциональных распределителей. Эти расчеты позволяют выполнить конструкцию ЗРЭ таким образом, чтобы достигалась гидростатическая и гидродинамическая скомпенсированность сил, действующих на ЗРЭ, что, в свою очередь, обеспечивает высокие динамические свойства распределителей.

Проливка корпусных каналов устройств ГА на этапе проектирования позволила снизить непроизводительные потери напора в изделиях ОАО «СКБ ПА» и повысить энергетические характеристики гидросистем в целом.

Моделирование гидромашин

Гидромашины являются наиболее сложными для моделирования элементами. Во-первых, это высоконагруженные силовые установки, преобразующие механическую энергию в гидравлическую и обратно, во-вторых, это устройства автоматического регулирования, в-третьих, насосы являются комплексом элементов, находящихся в сложном взаимодействии друг с другом и с другими элементами привода.

Круг расчетов, выполняемых с помощью моделей гидромашин, охватывает самые разные характеристики: статические, динамические, энергетические, прочностные, акустические, температурные, характеристики надежности и др.

Связь всех характеристик между собой и с конструкцией гидромашин осуществляется через характе-

ристику рабочего процесса — индикаторную диаграмму, ИД (аналог характеристики «Цикл Карно» для двигателей внутреннего сгорания). Совокупность моделей ИД для всех поршней составляет базовую модель гидромашин. Базовая модель, оснащенная дополнительными процедурами, которые выбираются для решения задачи с конкретной спецификой (например, расчет энергетических характеристик), преобразуются в производную модель соответствующей группы. Степень детализации модели гидромашин связана с детализацией (уровнем) модели ИД. Уровень модели гидромашин определяется последовательным ко-

личеством вложений подструктур. Общая структура моделей гидромашин приведена на рис. 11.

Основу модели ИД составляют описание кинематики насоса, уравнения неразрывности потока в поршневой камере и характеристики расходов через зазоры, точные значения которых рассчитываются во FLOW-3D. На рис. 12 показаны основные зазоры в гидромашине. Здесь же приведен пример расчета течения жидкости через гидростатическую опору.

Гидростатическая опора проектируется таким образом, чтобы поршень под действием давлений с двух сторон оказался во «взвешенном» состоянии, исключающем отрыв поршня от опоры, с одной стороны, и «металлический» контакт — с другой. Оптимум по зазору должен составлять 10-15 мкм. Причем эта величина должна автоматически поддерживаться при мгновенном изменении на-

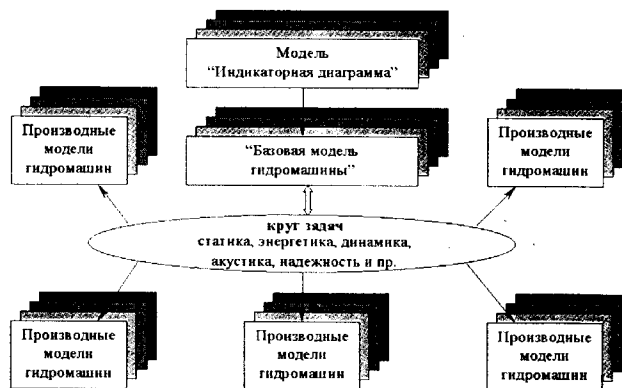


Рис. 11. Система моделей гидромашин

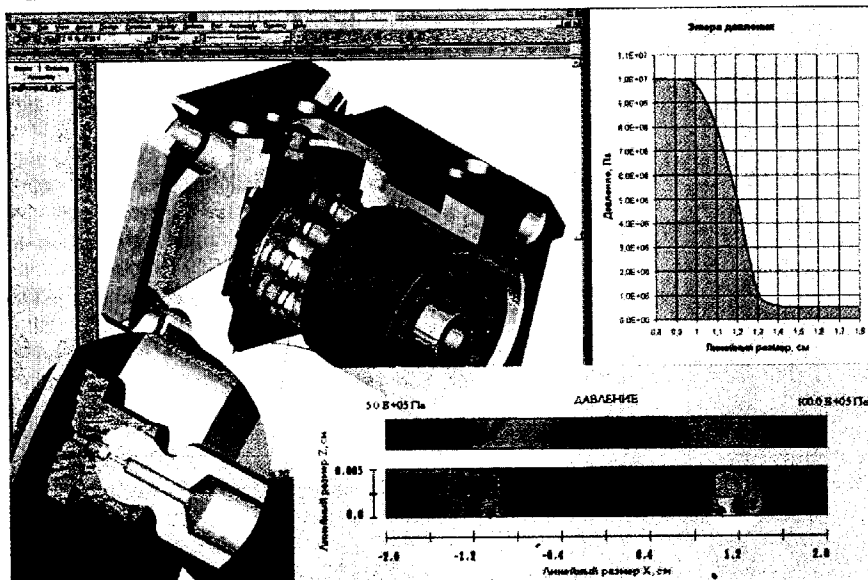


Рис. 12. Применение FLOW-3D в моделировании динамики гидромашин

грузок и скоростей. В этом случае расчет требуемой точности может быть выполнен только с использованием программы, моделирующей микро- и макропроцесс одновременно. Результатом моделирования во FLOW-3D является эпюра давлений (рис. 12) в масляном слое зазора, интеграл этих давлений по поверхности и рекомендации по ширине, длине и высоте зазора.

Аналогичные задачи решаются для других пар трения: распределитель-блок цилиндров и поршень-блок цилиндров, что и позволяет рассчитывать необходимые характеристики гидромашин, например характеристику ИД (рис. 13).

Заключение

На предприятиях ОАО «СКБ ПА» и ОАО «КЭМЗ» разработана технология расчета машиностроительной гидравлики, основанная на использовании комплекса программ для выполнения динамических исследований, прочно-

стных расчетов, конструирования и анализа гидродинамических процессов. В основу комплекса положено использование программного продукта FLOW-3D, который позволяет заменить натурное экспериментирование модельной «проливкой» гидроустройств.

В процессе разработки расчетного комплекса машиностроительной гидравлики FLOW-3D сориентирован на расчет гидродинамических эффектов, возникающих при высоких давлениях (10-60 МПа), широком диапазоне температур при содержании газа в жидкости и различной ее вязкости.

Использование комплекса позволило реализовать системный подход в проектировании машиностроительной гидравлики, провести весь спектр необходимых технических расчетов, выполнять научные исследования.

Круг задач, решаемых средствами программы FLOW-3D, не ограничивается гидростатическим приводом.

На предприятиях имеется опыт использования этой программы для расчета газодинамических эффектов, ветровых нагрузок и жидкостной измерительной техники.

Результатом внедрения комплекса на предприятиях ОАО «СКБ ПА» и ОАО «КЭМЗ» явилось значительное сокращение сроков проектирования гидромашин, устройств гидроавтоматики и гидроприводов в целом, удешевление процесса проектирования, повышение качества разработок. ➤

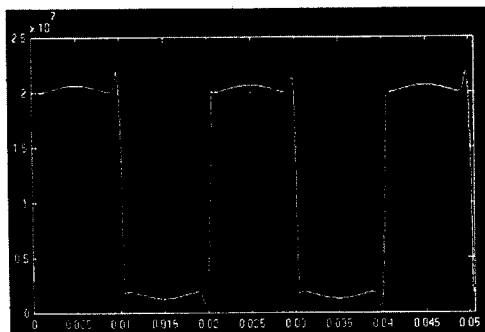


Рис. 13. Индикаторная диаграмма аксиально-поршневого насоса, развернутая во времени

KYOCERA
mita

Со времен Римской Империи люди работают с документами...



Но только сейчас они получили то, о чем могли лишь мечтать целых два тысячелетия.

Только Kyocera MITA лидер в производстве цифровых инженерных машин!

Официальный дистрибьютор Kyocera MITA в России

BKL Limited

ОТДЕЛ ПРЯМЫХ ПРОДАЖ: (095) 158-0682
ОТДЕЛ ДИЛЕРСКИХ ПРОДАЖ: (095) 158-0871
СЕРВИСНАЯ СЛУЖБА: (095) 158-0243
ф а к с : (095) 158-9569
e-mail: info@mita.ru