

Рис. 1. 3D модель осевого насоса, разработанного в Autodesk Inventor

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАСОСОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ CFDESIGN

С момента основания в 1992 году деятельность компании Blue Ridge Numerics (США) заключается в разработке доступного по цене и простого в использовании программного обеспечения CFdesign, предназначенного для анализа потока и теплопередачи. В основе CFdesign лежит метод конечных элементов для моделирования ламинарных и турбулентных течений жидкости и газа с расчетом процессов теплообмена. Программный пакет CFdesign в первую очередь ориентирован на инженеров-конструкторов, занимающихся разработкой изделий для серийного производства.

В сотрудничестве с производителями оборудования и конструкторами-машиностроителями Blue Ridge Numerics достигла успешного опыта в расчетах насосов, компрессоров, вентиляторов, турбин, трубопроводной арматуры при помощи CFdesign.

Blue Ridge Numerics имеет представительства в Азии, Европе и Северной Америке. Программное обеспечение CFdesign является системой класса Upfront CFD<sup>1</sup> для решения задач тепломассообмена, требующих совместного анализа потока и теплопередачи на ранних этапах проектирования.

<sup>1</sup> Upfront - дословный перевод с англ. «с упреждением, впереди», Computational Fluid Dynamics, CFD - «вычислительная гидродинамика» – прим. ред.

## Возможности CFdesign для расчета насосов

Вся история конструирования насосов — это постоянное повышение эффективности, увеличение производительности и рабочего диапазона их эксплуатации. Для этого проводятся эксперименты на стендах, создаются корпуса и рабочие колеса с целью выбора оптимального варианта конструкции. Часто создается большое число физических прототипов, пока бюджет проекта не потребует окончательного варианта исполнения для запуска в производство.

Почти все новые конструкции насосов имеют сложную геометрию, разработанную в системах трехмерного моделирования (CAD). CFdesign разрабатывался как рабочий инструмент инженера для исследования новых конструкций насосов. CFdesign обеспечивает расчет потока и рабочих характеристик насоса с самого начала конструирования. Конечно, CFdesign полностью не заменяет эксперимент, но позволяет значительно сократить число опытных образцов и уменьшить время поиска оптимальной конструкции насоса.

Процесс расчета насоса с использованием CFdesign начинается с построения геометрии в CAD-системе (рис. 1, 2, 3). CFdesign интегрирован в интерфейс многих популярных систем трехмерного моделирования — Autodesk Inventor, SolidWorks, Pro/ENGINEER, Siemens NX, CATIA, Solid Edge. Специалисты, работающие в других системах (например, КОМПАС-3D, T-FLEX) для импорта геометрии могут использовать универсальные форматы Parasolid и ACIS.

Геометрия импортируется в CFdesign, для замкнутых областей автоматически строятся объемы, задаются необходимые граничные условия — противодавление, напор (давление), подача (расход), температура. Граничные условия назначаются непосредственно на поверхности и объемы CAD-модели. Простота использования CFdesign достигается за счет пользовательского интерфейса, содержащего большое количество стандартных элементов, характерных для CAD-систем — меню, панели

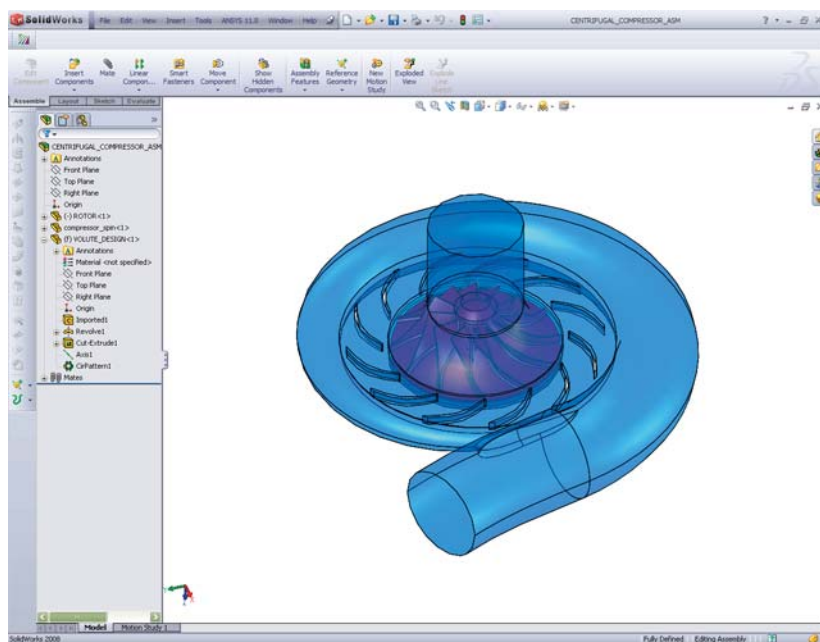


Рис. 2. 3D модель центробежного компрессора в SolidWorks

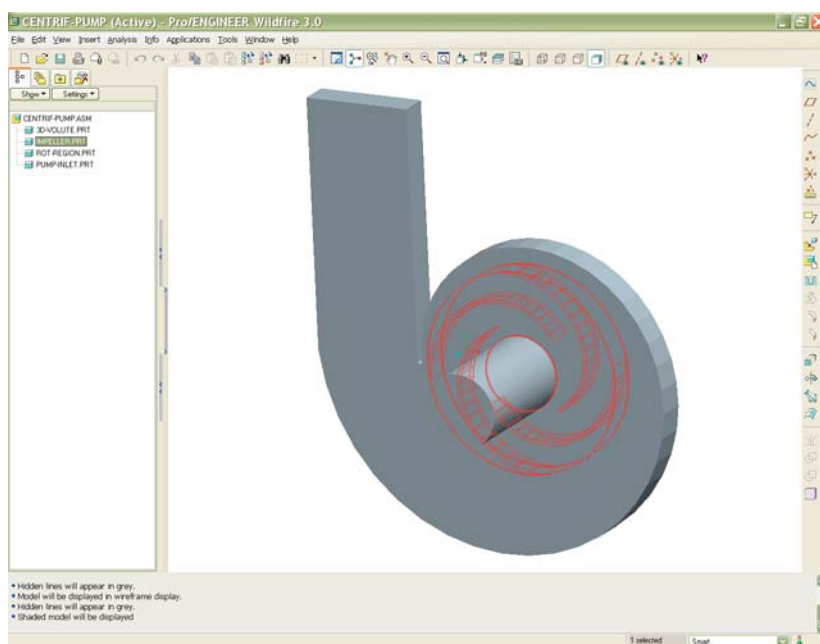


Рис. 3. 3D модель центробежного насоса в Pro/ENGINEER

инструментов, дерево деталей, информационные панели, рабочие окна. В интерфейсе реализованы алгоритмы работы с моделью, характерные для CAD-систем. CFdesign наследует информацию CAD-модели — ориентацию, цвет и текстуры деталей, задний фон, названия деталей, свойства материалов. Существует возможность настройки

манипуляторов (мыши, клавиатуры) для работы с расчетной моделью в CFdesign, идентичной с CAD. Применение глубокой ассоциативности позволяет CFdesign конкурировать с расчетными системами, встроенными в CAD (рис. 4).

Точность результатов для программ, основанных на методе конечных элементов, зависит от качества конечноэлементной сетки. Сеточный генератор CFdesign в автомати-

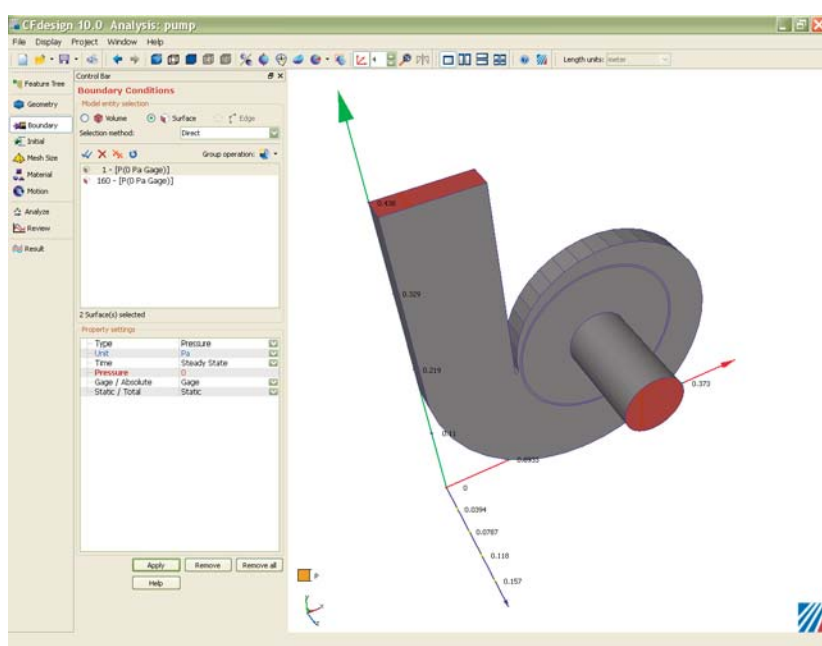


Рис. 4. Интерфейс CFdesign. Назначение граничных условий на CAD-модель центробежного насоса в CFdesign

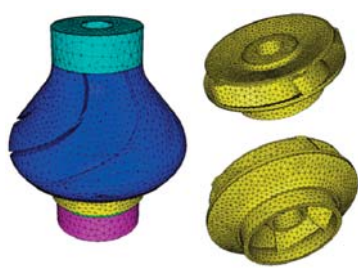


Рис. 5. Конечноэлементная сетка из тетраэдров для рабочих колес центробежных насосов

ческом режиме строит конечно-элементную сетку из тетраэдров и призм (для пограничного слоя) с учетом свойств геометрии и лопаток рабочего колеса насоса (рис. 5). Сетку можно настроить и в ручном режиме, задав размеры элементов для объемов и поверхностей или определив число узлов.

Материалы рабочей модели можно взять из библиотеки материалов CFdesign или создать собственные. Их свойства (плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность) можно задавать в виде постоянных значений или в зависимости от другой величины (температуры, давления). При задании свойств табличным способом для получения значений применяются различные виды интерполяции — линейная, полиномиальная.

CFdesign позволяет моделировать различные типы движения — линейное, угловое, комбинированное, качение. Движение элементов конструкции может быть вызвано потоком (например, вращение лопаток турбины) или создавать поток (вращение рабочего колеса насоса). На рис. 6 представлен диалог настройки области вращения (рабочего колеса), который позволяет задать частоту вращения, ведущий момент или свободное движение.

После настройки расчетной модели насоса (задание граничных условий, настройка конечноэлементной сетки, определение свойств материалов и минимальной настройки решателя) инженер приступает к численному эксперименту. CFdesign полностью рассчитывает устройство, моделирует движение элементов конструкции и поток среды внутри проточной части, получает распределения величин (поля давлений, абсолютных и относительных скоростей, уровня турбулентности, температур), изменение момента во времени. Результаты можно анализировать с первой итерации в процессе проведения расчета (рис. 7).

Всесторонне изучать поток помогают инструменты CFdesign для анализа результатов — графики (рис. 8), линии тока (трассировка проточной части, рис. 9), разрезы (сечения) для изучения структуры потока (рис. 10).

По результатам, полученным в CFdesign, вносятся изменения в первоначальный вариант конструкции насоса и рассчитываются виртуальные прототипы. Затем проводят сравнение параметра за параметром в одной среде для поиска оптимального варианта конструкции, получают рабочие характеристики и рассчитывают силы на поверхностях элементов конструкции при помощи CFdesign (рис. 11, 12, 13).

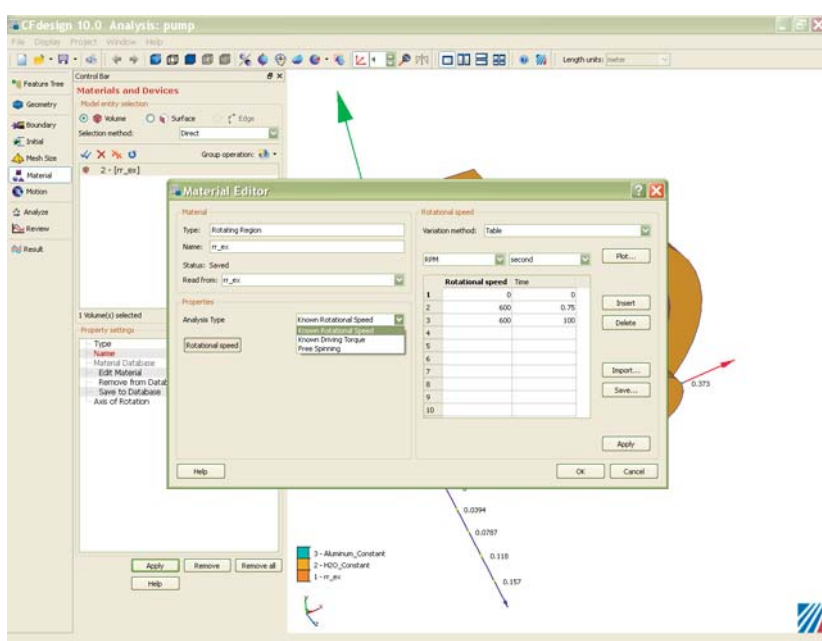


Рис. 6. Диалог настройки области вращения (рабочего колеса) в CFdesign

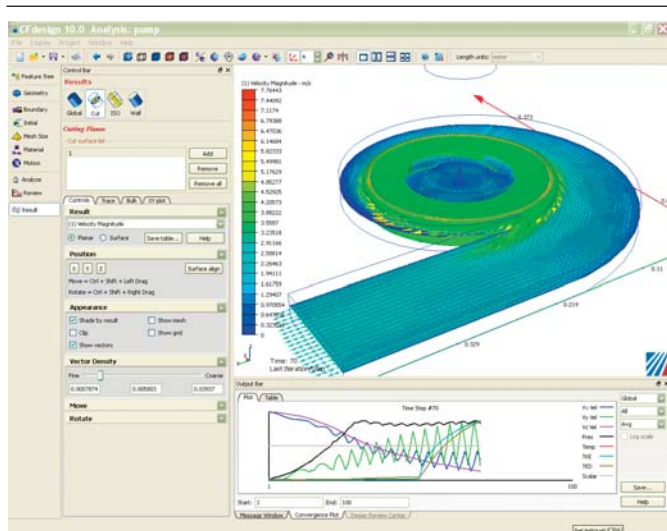


Рис. 7. Анализ результатов во время расчета. Визуализация потока и вывод распределения давления и скорости в CFdesign

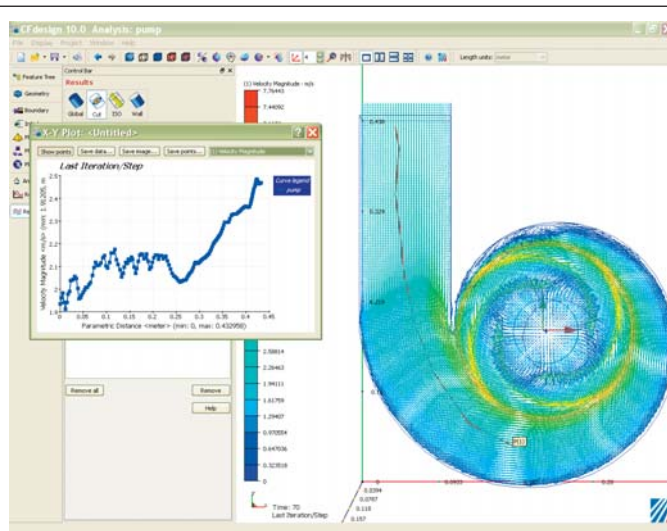


Рис. 8. Построение графиков (распределения скорости, давления, температуры и других величин) для выбранной секущей поверхности при помощи CFdesign

## Преимущества применения CFdesign

CFdesign позволяет рассчитывать центробежные, осевые, винтовые, поршневые (плунжерные), лопастные, шестеренные, диафрагменные (мембранные) насосы. Функциональные возможности CFdesign:

- ◆ совместимость с популярными системами трехмерного моделирования;
- ◆ автоматическое построение конечноэлементной сетки;
- ◆ большой выбор физических моделей и материалов;
- ◆ высокая скорость вычислений на ПК;

- ◆ коллективная работа над проектами;
- ◆ многофункциональная система анализа результатов и подготовки отчетов.

Применение CFdesign для расчета позволит разрабатывать уникальные конструкции, уменьшить число опытных образцов, повысить эффективность насосов. Некоторые характерные задачи, которые можно решить в CFdesign:

- ◆ улучшить гидравлические характеристики насосов (увеличить напор, подачу, КПД);

- ◆ уменьшить влияние эрозии (повысить износостойкость элементов конструкции);

- ◆ минимизировать вибрацию (улучшить акустические характеристики);

- ◆ минимизировать неорганизованные утечки рабочей среды;

- ◆ предотвратить кавитацию;

- ◆ уменьшить потери давления;

- ◆ изучить движение среды в проблемных зонах (сужение проходного сечения, межлопаточный канал);

- ◆ определить локальный перепад давления;

- ◆ сравнить несколько вариантов расчета;

Рис. 9. Расчет погружного центробежного насоса в CFdesign. Моделирование движения частиц с учетом влияния силы тяжести

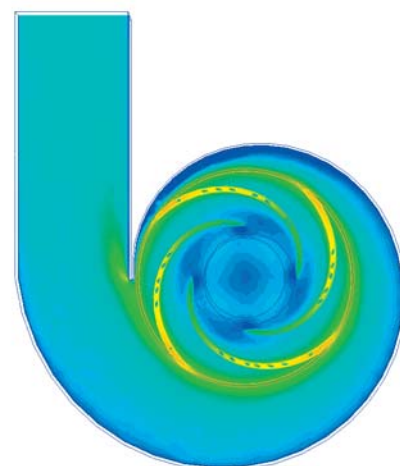
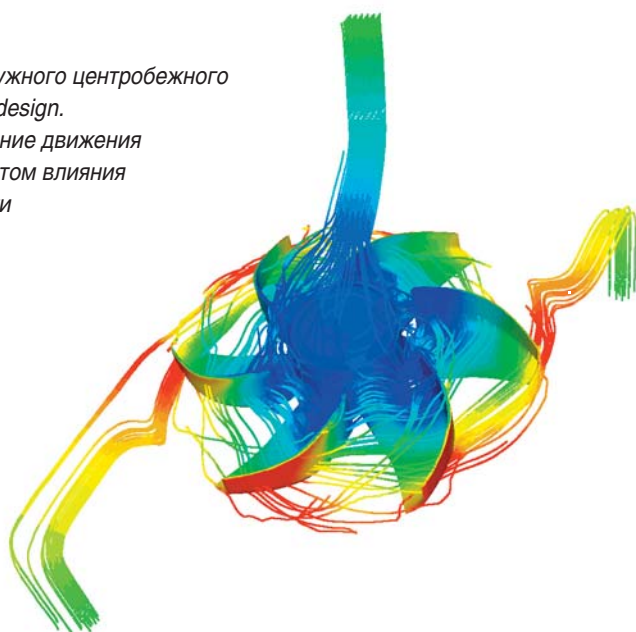


Рис. 10. Распределение скорости в проточной части центробежного насоса при помощи CFdesign

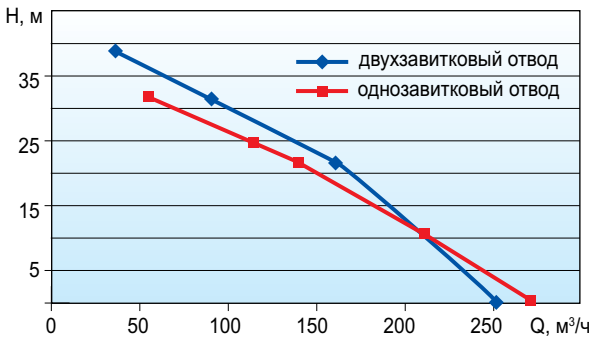


Рис. 11. Напорная характеристика H(Q) для двух вариантов центробежного насоса с двухзавитковым и однозавитковым отводом

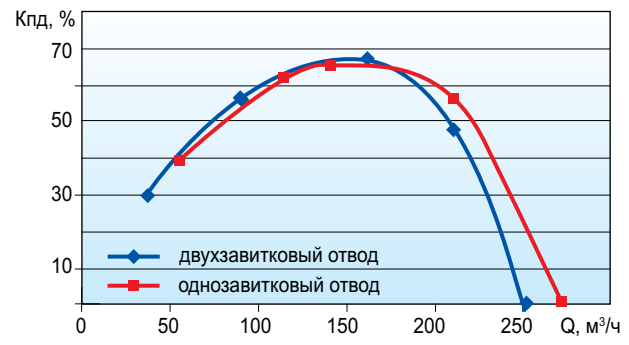


Рис. 12. КПД насоса для двух исполнений

- ◆ смоделировать движение элементов конструкции (рабочих колес, плунжеров, лопастей, винтов);
- ◆ вычислить силы и давления на стенках проточной части;
- ◆ рассчитать изменение момента во времени;
- ◆ провести оптимизацию проточной части и рабочих колес;
- ◆ передать данные (давление и температуру) для анализа напря-

женно-деформированного состояния в прочностные коды — ANSYS, Abaqus, COSMOS, Mechanica и Nastran.

CFdesign подходит для широкого круга пользователей от начинающих до опытных и для тех, кому время от времени приходится анализировать поток и теплопередачу проектируемых изделий. приме-

нение CFdesign в технической подготовке производства насосов, компрессоров, трубопроводной арматуры позволяет заменить изготовление и испытание опытных образцов на исследование цифровых прототипов новых изделий, снизить издержки и быстрее вывести качественную продукцию на рынок.



[www.cfdesign.org](http://www.cfdesign.org)

1	<b>CFdesign Wall Calculator Results - Project: pump</b>			
2				
3	<b>Wall Results for Analysis: двухзавитковый отвод</b>			
4	Summary			
5	-----			
6	Total area	0.1559	m^2	
7	TOTAL FX	227.3406	N	
8	TOTAL FY	117.0737	N	
9	TOTAL FZ	2793.1538	N	
10	Center of Force about X-Axis (Y-Z)	0.018379	0.014874	
11	Center of Force about Y-Axis (X-Z)	0.015767	0.017596	
12	Center of Force about Z-Axis (X-Y)	-0.131743	0.049828	
13				
14	<b>Wall Results for Analysis: однозавитковый отвод</b>			
15	Summary			
16	-----			
17	Total area	0.1550	m^2	
18	TOTAL FX	488.6145	N	
19	TOTAL FY	214,7877	N	
20	TOTAL FZ	3129,2178	N	
21	Center of Force about X-Axis (Y-Z)	0.019883	0.034454	
22	Center of Force about Y-Axis (X-Z)	0.017968	0.014362	
23	Center of Force about Z-Axis (X-Y)	-0.098934	0.039018	

Рис. 13. CFdesign автоматически рассчитывает силы, действующие на рабочее колесо.

Применение двухзавиткового отвода позволило снизить радиальную нагрузку на вал двигателя