***Введение.***

FLOW-3D - это CFD пакет общего назначения способный моделировать большое разнообразие задач течения жидкости. Хотя специализацией пакета является моделирование течений со свободной поверхностью, но FLOW-3D является превосходной программой для моделирования ограниченных и внутренних течений.

FLOW-3D представляет собой пакет «все включено» …не требующий никаких дополнительных программ. Графический интерфейс пользователя связывает воедино постановку задачи (включая создание/импорт геометрии & генерацию сетки), препроцессинг, решение и обработку результатов, предлагая также несколько полезных утилит, таких как: просмотрщик STL файлов, руководитель решения и средства контроля за ходом расчета.

**Важные отличительные особенности FLOW-3D.**

***Во-первых,*** FLOW-3D для создания сетки использует подход, объединяющий преимущества простой прямоугольной сетки с гибкостью деформированных сеток. Такой подход называется “свободное формирование сетки” потому что сетка и геометрия могут быть свободно изменены независимо друг от друга. Данный механизм исключает трудоемкую задачу генерации адаптивной или конечно-элементной сетки. FLOW-3D использует фиксированную сетку из ортогональных элементов, что упрощает генерацию и обеспечивает многие желательные свойства (например, регулярность улучшает точность, уменьшает требования к памяти, облегчает численную аппроксимацию).

***Во-вторых,*** FLOW-3D включает в себя специальную технику, известную как FAVOR™ (Fractional Area Volume Obstacle Representation) метод, используемую для описания на прямоугольной сетке геометрии произвольной формы. Философия FAVOR™ заключается в том, что численные алгоритмы в методе конечных объемов базируются на информации, включающей только одно значение давления, скорости и температуры для каждого элемента, поэтому было бы нелогично использовать более подробную информацию для описания геометрии. Таким образом, FAVOR™ метод сохраняет простоту прямоугольных элементов при представлении сложных геометрических форм на уровне, совместимом с использованием усредненных характеристик потока по каждому объемному элементу.

***Третья*** важная особенность FLOW-3D, отличающая его от других CFD программ заключается в его методе обработки поверхности текущей жидкости. Данная программа использует специальные численные методы для отслеживания положения поверхностей и для правильного применения на них граничных условий. В FLOW-3D, свободные поверхности моделируются с помощью метода конечных объемов Volume of Fluid ( VOF), впервые предложенного группой ученых из Los Alamos National Laboratory, включавшей основателя Flow Science доктора C. W. Hirt. Некоторые из конкурентных CFD программ заявляют о внедрении VOF метода, хотя реально они используют только один или два из трех фундаментальных ингредиентов, составляющих VOF метод. Потенциальным пользователям CFD программ следует знать, что подобные псевдо-VOF схемы будут часто давать некорректные результаты.FLOW-3D включает все эти ингредиенты, рекомендуемые для успешной обработки свободных поверхностей. Более того, FLOW-3D включает в себя важные улучшения исходного VOF метода для повышения точности граничных условий и отслеживания поверхностей раздела. Данная реализация метода получила название TruVOF.

**Мультиблочные сетки для эффективности и скорости.**

FLOW-3D предлагает мультиблочные сетки, инструментарий, разработанный для повышения гибкости и эффективности технологии конечно-разностных сеток. В стандартной конечно-разностной сетке, локальное измельчение может привести к существенному увеличению общего количества элементов, т.к. линии сетки простираются во всех трех направлениях до границ области. Использование множественных блоков позволяет сделать такие измельчения более локальными и уменьшает требования к компьютерным ресурсам. Многоблочные сетки особенно полезны в так называемых протяженных задачах, где существуют детали мелкие по сравнению с размерами всей области, такие как маленькие препятствия и тонкие каналы. Используя многоблочные сетки, пользователь может связать индивидуальные блоки для создания сетки на всей области и в зонах особого интереса и ограничить общее количество ячеек. Используя ‘вложенный’ блок, пользователь может улучшить разрешение сетки в интересующих местах.

Мультиблочные сетки FLOW-3D являются основой для новой версии распараллеливания вычислений по схеме с распределенной памятью, [FLOW-3D/MP](http://www.flow3d.ru/parallel.htm)TM.

Простой генерации точных результатов всегда недостаточно требуется возможность просмотра их для понимания и интерпретации. И всегда есть кто-то—заказчик, клиент, начальник—кому требуется ясная графическая демонстрация результатов моделирования. В FLOW-3D есть FlowVu, мощная OpenGL-программа визуализации, предоставляющая Вам простые в использовании средста отображения результатов моделирования, создания анимации и картинок для презентаций и отчетов.

Кроме того, результаты, полученные в FLOW-3D , могут быть прочитаны и обработаны в специализированных программах визуализации [Fieldview](http://www.flow3d.ru/../http:/www.ilight.com/)TM фирмы Intelligent Light или [Ensight](http://www.flow3d.ru/../http:/www.ceinti.com/)TM фирмы CEI, Inc.

**Приложения.**

FLOW-3D включает множество моделей и инструментов, позволяющих пользователю взяться за решение многих сложных физических задач.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Благодаря этому, FLOW-3D может быть использован в широком спектре промышленных приложений. | | |
| 1. [Авиакосмос](http://www.flow3d.ru/appl/aero.htm) |
| 1. [Литьё](http://www.flow3d.ru/appl/cast.htm) |
| 1. [Покрытия](http://www.flow3d.ru/appl/coat.htm) |
| 1. [Потребительские товары](http://www.flow3d.ru/appl/prod.htm) |
| 1. [Струйные принтеры](http://www.flow3d.ru/appl/inkj.htm) |
| 1. [Судостроение](http://www.flow3d.ru/appl/mari.htm) |
| 1. [MEMS](http://www.flow3d.ru/appl/mems.htm) |
| 1. [Гидротехника и окружающая среда](http://www.flow3d.ru/appl/watereng.htm) |

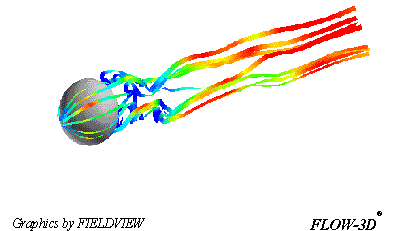
**Примеры для авиакосмоса.**

Управление движением ракетного топлива (т.е. плескание) - ключ к успешному созданию конструкции топливной системы летательного аппарата. Возможности FLOW-3D по моделированию свободной поверхности сопряженных со специальными физическими моделями (например, поверхностное натяжение, неинерциальные системы координат, связанная динамика твердого тела) превратили данную программу в обязательный инструмент конструкторов авиационной и космической техники, начиная с 1985 года.

|  |
| --- |
| * [Обтекание Сферы](http://www.flow3d.ru/appl/sphere.htm) |
| * [Плескание топлива](http://www.flow3d.ru/appl/slosh.htm) |
| * [Сопло Лаваля](http://www.flow3d.ru/appl/laval.htm) |
| * [Сопло Лаваля с кавитацией](http://www.flow3d.ru/appl/lavalcavitation.htm) |
| * [Наддув баков с жидким водородом](http://www.flow3d.ru/appl/tpress.htm) |
| * [Сверхзвуковой реактивный двигатель](http://www.flow3d.ru/appl/jengine.htm) |

***Обтекание сферы:***

Используемый в FLOW-3D FAVOR-метод (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) описания геометрии твердого тела, позволяет пользователям моделировать задачи обтекания препятствий без обращения к сложным алгоритмам построения сеток. В данном случае моделирование было выполнено на однородной прямоугольной сетке. Однородность сетки помогла сохранить точность, а FAVOR-метод обеспечил быстрое, за несколько минут, решение задачи.<http://www.flow3d.ru/cfd-101/favor.htm>



***Плескание жидкости:***

Информация о движения жидкого топлива в баках ракет очень важно для правильного понимания различных аспектов работы систем питания и повышения их эффективности. На движение топлива влияют самые разные факторы, такие как выталкивание жидкости, вентиляция газов и герметизация. В некоторых случаях важно знать и силы давления со стороны самого топлива, в особенности, когда масса жидкости составляет значимую часть от общей массы ракеты.

На анимации приведены результаты трехмерного анализа плескания топлива в баке. Возможность таких расчетов обеспечивает используемый во FLOW-3D VOF-метод (Volume-of-Fluid) описания свободной поверхности. Дополнительные физические модели позволяют использовать неинерционную систему координат и включить динамику связанного твердого тела

**Примеры для литья.**

Дефекты в отливках отнимают время и деньги. Используемый обычно метод проб и ошибок крайне тормозит. Существует много способов сэкономить время и деньги в процессе проектирования, если использовать FLOW-3D. Измените вашу литниково-питающую систему для обеспечения полного заполнения. Оптимизируйте профиль пресс-цилиндра для уменьшения вероятности замешивания воздуха или неполного заполнения. Установите каналы охлаждения, прибыли и подберите температуры в зависимости от того как отливка усаживается при затвердевании.

FLOW-3D содержит широкий спектр физических моделей, разработанных специально для литейных целей. Эти специальные модели включают алгоритмы для литья по газифицируемым моделям, неньютоновы жидкости, термоциклирование форм. Если Вы хотите улучшить качество отливок, то Вам необходим пакет программ FLOW-3D.

|  |
| --- |
| * [Замешивание воздуха при заливке](http://www.flow3d.ru/appl/airentraincasting.htm) |
| * [Ликвация](http://www.flow3d.ru/appl/segreg.htm) |
| * [Непрерывное литье](http://www.flow3d.ru/appl/tundish.htm) |
| * [Прогноз микропористости](http://www.flow3d.ru/appl/microporosity.htm) |
| * [Заливка](http://www.flow3d.ru/appl/filling.htm) |
| * [Фильтры](http://www.flow3d.ru/appl/filters.htm) |
| * [Литье под давлением](http://www.flow3d.ru/appl/housing.htm) |
| * [Литье по газифицируемым моделям](http://www.flow3d.ru/appl/lfoam.htm) |
| * [Дутье стержневых ящиков](http://www.flow3d.ru/appl/sandcore.htm) |
| * [Тиксотропное литье](http://www.flow3d.ru/appl/ssmp.htm) |
| * [Пресс-цилиндр](http://www.flow3d.ru/appl/shotsleeve.htm) |
| * [Кристаллизационная усадка](http://www.flow3d.ru/appl/shrink.htm) |
| * [Термоциклы пресс-форм](http://www.flow3d.ru/appl/diecycl.htm) |
| * [Поворотная заливка](http://www.flow3d.ru/appl/tiltpour.htm) |

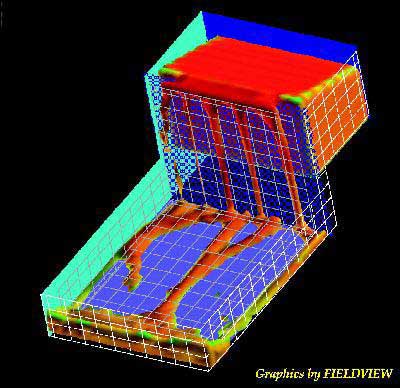
***Ликвации в бинарных сплавах:***

Ликвации могут наблюдаться в отливках, если при затвердевании имеют место значительный диффузионный и конвекционный перенос массы (например, в крупногабаритных стальных отливках).

Модель ликваций FLOW-3D была разработана для бинарных систем и включает эффекты плавучести в растворах. Рисунок иллюстрирует структуру потоков всплывающих масс в стальной (0.42% C) отливке с теплоизолированной верхней границей (выделение углерода показано цветом: области, обогащенные углеродом закрашены красным). Жидкий металл обогащен углеродом вследствие выделения углерода на границе раздела твердое/жидкое (коэффициент разделения 0.19). Вызванные тепловой и растворной конвекцией потоки приводят к повышенной концентрации углерода в верхней области отливки.

***Поворотная заливка:***

Поворотная заливка может использоваться для обеспечения спокойного режима заполнения. На рисунке представлено заполнение расплавом (горячему соответствует красный) формы тонкостенной отливки. Для описания движения формы (меняющийся угол поворота) была использована модель неинерциальной системы координат FLOW-3D.



**Примеры покрытий.**

Оптимизация процессов покрытия может быть сложной из-за малого масштаба движения жидкости и влияния таких эффектов, как адгезия и поверхностное натяжение. Компьютерное моделирование предоставляет удобный способ анализа этих процессов без необходимости прибегать к дорогостоящим лабораторным исследованиям.

|  |
| --- |
| * [Линия контакта на неровной поверхности](http://www.flow3d.ru/appl/contactline.htm) |
| * [Покрытие завесой](http://www.flow3d.ru/appl/curtcoat.htm) |
| * [Покрытие погружением](http://www.flow3d.ru/appl/coating.htm) |
| * [Впитывание капли](http://www.flow3d.ru/appl/dropabsorb.htm) |
| * [Подтеки на жидком слое](http://www.flow3d.ru/appl/coatingfingering.htm) |
| * [Mногослойное покрытие скольжением](http://www.flow3d.ru/appl/multicoat.htm) |
| * [Решение проблемы подвижной линии контакта](http://www.flow3d.ru/appl/contresolution.htm) |
| * [Образование разрывов](http://www.flow3d.ru/appl/rivulet.htm) |
| * [Покрытие скольжением](http://www.flow3d.ru/appl/trcoating.htm) |
| * [Щелевое покрытие](http://www.flow3d.ru/appl/slotcoating.htm) |
| * [Старт щелевого покрытия](http://www.flow3d.ru/appl/wetcoating.htm) |
| * [Двухслойное щелевое покрытие](http://www.flow3d.ru/appl/twolayerslotcoating.htm) |
| * [Скатывание воды с утки](http://www.flow3d.ru/appl/duckback.htm) |

***Контактная линия на неровной поверхности:***

L.M. Hocking в своей работе [”A moving fluid interface on a rough surface”, J. Fluid Mech., 76, 801, (1976)] предположил, что контактная линия может перемещаться по твердой поверхности, потому что микроскопические неровности индуцируют такую структуру потока, которая с макроскопической точки зрения может быть интерпретирована как "скорость скольжения". Компьютерное исследование данной гипотезы легко выполнимо с помощью FLOW-3D. Выбранный тест включает двухмерную твердую поверхность с системой поперечных регулярно размещенных прямоугольных прорезей. Прорези имеют глубину 2mm и ширину 10mm, размещены с шагом 10mm. Данные размеры типичны для царапин на относительно гладкой поверхности. Статический контактный угол назначен равным 60°. Рабочая жидкость - вода. Тест заключается в размещении этой неровной поверхности на дне канала высотой 15mm и движении воды по каналу со средней скоростью 30cm/s.

На приведенной картинке ясно видно, что контактная линия на шероховатой границе цепляется за ребро прорези и остается там до тех пор, пока динамический контактный угол не превысит 60+90=150°, не опускаясь до этого момента внутрь прорези. Но по достижении данного значения сила адгезии к стенке тянущая жидкость вниз по боковой стенке прорези становится больше поверхностного Утверждение Hocking, что микроскопические помехи могут быть интепретированы как разновидность скорости скольжения с макроскопической точки зрения подтвержается расчетным полем скоростей. Это показано на графике, описывающем распределение горизонтальной скорости в слое элементов непосредственно над поверхностью. При измельчении сетки скорости над участками поверхности стремится к нулю, но над прорезями остается отличной от нуля. Осреднение этой скорости по множеству пазов дает ненулевую горизонтальную скорость, которая может быть интерпретирована как действительное скольжение.

|  |
| --- |
|  |

Изменение тангенциальной скорости вдоль твердой поверхности натяжения, тянущего жидкость вверх, и контактная линия быстро пересекает прорезь.

***С утки вода:***

Считается, что утка имеет совершенное средство, отталкивающее воду. Классическая работа, выполненная A.B.D. Cassie и S. Baxter (Trans. Faraday Soc. 40, 1546, 1944), объясняет что утка достигает этого особой микроструктурой оперения, а не каким-либо химическим покрытием. Перо утки состоит из бородок по обе стороны от ствола. Вдоль бородок с обеих сторон тянутся тонкие волоски, которые имеют желобки с одной стороны и крючки с другой. Такое расположение позволяет зацепление волосков соседних бородок, чтобы соединить их для образования связной структуры.  
Структура бородок и волосков имеет обширную долю открытого пространства. Диаметр волосков составляет около 8μм, но расстояние меду соседними параллельными волосками равно примерно 5 диаметрам, по осям. Эксперименты показывают, что угол смачивания материала пера водой составляет около 100°. Комбинация несмачивания и регулярной микроструктуры приводит к скатыванию воды, помещенной на перо, без проникновения в него. Моделирование в FLOW-3D объясняет, как это происходит.

На рисунке представлено поперечное сечение набора параллельных волосков диаметром 8μм. Расстояние между ними равно 40 μм. Вода течет со средней скоростью 30см/s. Верхняя граница есть плоскость симметрии. По мере продвижения фронта жидкости слева направо на опверхности волосков образуются контактные линии. Эти контактные линии остаются выше экваторов волосков. Вода не проникает в пространство между волосками, но скользит по верхним поверхностям. Поскольку смоченная поверхность твердых волосков мала по сравнению со свободной поверхностью воды, то вода легко движется поверх волосков, что объясняет выражение “как с гуся вода”

**Потребительские товары.**

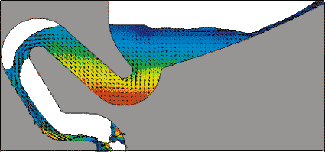
Течение со свободной поверхностью часто встречается в конструкциях потребительских товаров и при их изготовлении. Например, ежедневно заполняется масса бутылок. Правильное с точки зрения отходов проектирование такого процесса принесет огромную экономию.

Возможности FLOW-3D по моделированию течений со свободной поверхностью позволяет легко и быстро оптимизировать процессы заполнения. Программа может быть также использована при проектировании форсунок и многих других предметов домашнего быта.

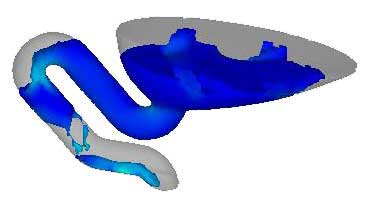
|  |
| --- |
| * [Капиллярное всасывание](http://www.flow3d.ru/appl/capabsorb.htm) |
| * [Капля на наклонной поверхности](http://www.flow3d.ru/appl/shallowwater.htm) |
| * [Поглощение капли](http://www.flow3d.ru/appl/dropabsorb.htm) |
| * [Упругие напряжения](http://www.flow3d.ru/appl/elasstress.htm) |
| * [Масляный фильтр](http://www.flow3d.ru/appl/filter.htm) |
| * [Разделение нефте-водяной дисперсии](http://www.flow3d.ru/appl/oilwater.htm) |
| * [Вихревая форсунка](http://www.flow3d.ru/appl/swirl.htm) |
| * [Смыв унитаза](http://www.flow3d.ru/appl/toilet.htm) |
| * [Ненасыщенная пористая среда](http://www.flow3d.ru/appl/unsatporo.htm) |

***Моделирование слива унитаза:***

Когда-нибудь задумывались, как работают унитазы? Они действительно бывают достаточно сложные. При нажатии ручки вода начинает заполнять чашу. Когда уровень жидкости в чаше превысит высоту сифона (за чашей), начинается течение типа водослива. Когда поток станет достаточно сильным, в верхней части сифона образуется пузырь, создающий перелив. В это момент сифонирование выталкивает воду из чаши и происходит смывание.



2-D вид по сечению модели. Цвет представляет давление.



3-D вид по сечению модели. Цвет представляет давление.

**Струйные принтеры.**

Несмотря на продолжающееся движение к "безбумажному" миру, рынок по-прежнему жаждет простых, дешевых струйных принтеров, с все большими запросами на высокое качество печати. Взрыв продаж цифровых фотоаппаратов сопровождается тем, что все больше и больше портебителей жотят иметь дома возможность высококачественной печати. Этим подгоняется спрос на более качественную печать с более высоким разрешением, который в свою очередь побуждает производителей принтеров к созданию лучших путей удовлетворения пользовательских требований посредством необычных конструктивных решений.

Производители струйных принтеров во всем мире используют FLOW-3D для улучшения характеристик своих принтеров. Они используют FLOW-3D для изучения того, как форма, размер и скорость испускаемой капли зависит от таких параметров, как импульс управляющего давления, форма форсунки, коэффициент поверхностного натяжения и многое другое.

|  |
| --- |
| * [Пузырьковые струи](http://www.flow3d.ru/appl/modelbubble.htm) |
| * [Непрерывная струя](http://www.flow3d.ru/appl/continkjet.htm) |
| * [Впитывание капли](http://www.flow3d.ru/appl/dropabsorb.htm) |
| * [Струи, управляемые давлением](http://www.flow3d.ru/appl/pressdriven.htm) |
| * [Струи, управляемые поршнем](http://www.flow3d.ru/appl/pistondriven.htm) |
| * [Струи, индуцированные звуком](http://www.flow3d.ru/appl/acousticjets.htm) |

**Судостроение.**

Контроль плескания жидкости в танках судов может оказать критичным для безопасности управляющих ими людей. Уже много лет FLOW-3D используется для проектирования систем перегородок с целью уменьшения плескания жидкого груза. Программа также использовалась при прототипировании мультикорпусных танкеров и для расчетов старта и торможения.

Сотрудник Flow Science произвел моделирование подвесного мотора лодки с использованием модели FLOW-3D

Это судно, движущееся со скоростью 50 миль/час, создает сильную кильватерную волну. Моделирование точно предсказывает характер линии установившейся волны и форму хвостового гребня за судном. Также могут быть рассчитаны и силы, действующие на судно. Цветом на рисунке представлена относительная скорости воды.

**MEMS.**

Микроэлектромеханические системы (MEMS) - это быстро развивающаяся технология производства миниатюрных устройств, использующя технологические процессы подобные тем, которые используются в производстве интегральных схем. MEMS технологии дают способ интеграции механических, жидкостных, оптических и электронных функциональных возможностей в очень маленьких устройствах размером от 0,1 микрона до 1 мм. MEMS устройства имеют два важных преимущества над обычными аналогами. Во-первых, как и интегральные схемы, они могут выпускаться крупными сериями, что существенно снижает себестоимость продукции. Во-вторых, они могут быть напрямую включены в интегральные схемы, что позволяет создавать более сложные, по сранению с другими технологиями, системы.

Однако, как и в любом другом производстве, процесс проектирования MEMS может быть достаточно дорогим, т.к. ученые и инженеры многократно проектируют, изготавливают, испытывают и заново перепроектируют устройство для оптимизауции его характеристик. Компьютеное моделирование обеспечивает количественный анализ и важное понимание по таким дисциплинам, как электроника, механика, химия, теплоперенос и гидромеханика. Использование FLOW-3D для моделирования позволяет существенно снизить затраты на проектирование и производство.Ниже приведены примеры областей, в которых пользователи FLOW-3D добились большого прогресса:

|  |
| --- |
| * [Капиллярное всасывание](http://www.flow3d.ru/appl/capabsorb.htm) |
| * [Капиллярное заполнение микроканалов](http://www.flow3d.ru/appl/capillaryfilling.htm) |
| * [Диэлектрофорез](http://www.flow3d.ru/appl/modeldie.htm) |
| * [Электроосмос](http://www.flow3d.ru/appl/eo.htm) |
| * [Оптический переключатель](http://www.flow3d.ru/appl/optswitch.htm) |
| * [Термокапиллярный переключатель](http://www.flow3d.ru/appl/thermocapillary.htm) |

**Гидротехника и окружающая среда.**

Время от времени каждый, кто интересуется гидравликой, мечтает об инструменте для исследования сложных течений со свободной поверхностью, не требующем работы шваброй. Эксперименты в лабораторном канале могут быть тяжелы в постановке, дороги в исполнении и трудны в повторении. Зато использование FLOW-3D в качестве "компьютерного" канала свободно от подобных изъянов.

Эксперименты при компьютерном моделировании могут быть подготовлены в течение нескольких минут , а решение большинства задач течений со свободной поверхностью может быть получено за несколько часов. Кроме того, результаты численного анализа оказываются точными при сравнении с теоретическими и экспериментальными исследованиями. Это подтверждается даже прим оделировании прерывистых и быстро меняющихся течений (например, течение через слив или развитие гилравлического прыжка).

|  |
| --- |
| * [Захват воздуха в гидравлическом прыжке](http://www.flow3d.ru/appl/hydrajump.htm) |
| * [Захват воздуха в водосливе](http://www.flow3d.ru/appl/airentrain.htm) |
| * [Опора моста](http://www.flow3d.ru/appl/bridge.htm) |
| * [Сифон с колоколом](http://www.flow3d.ru/appl/siphon.htm) |
| * [Круглый слив](http://www.flow3d.ru/appl/circweir.htm) |
| * [Отстойник](http://www.flow3d.ru/appl/cwell.htm) |
| * [Разрушение дамбы](http://www.flow3d.ru/appl/dambreach.htm) |
| * [Течение по шероховатой поверхности](http://www.flow3d.ru/appl/roughflow.htm) |
| * [Течение через порог](http://www.flow3d.ru/appl/flowstep.htm) |
| * [Управление гидравлическим прыжком](http://www.flow3d.ru/appl/hdrjump.htm) |
| * [Канал Паршоля](http://www.flow3d.ru/appl/flume.htm) |
| * [Эрозия](http://www.flow3d.ru/appl/scour.htm) |
| * [Раздeление нефте-водяной дисперсии](http://www.flow3d.ru/appl/oilwater.htm) |
| * [Течение на мелководье](http://www.flow3d.ru/appl/shallowhydraulics.htm) |
| * [Береговая волна](http://www.flow3d.ru/appl/wave.htm) |
| * [Ворота шлюза](http://www.flow3d.ru/appl/sluice.htm) |
| * [Течение через слив](http://www.flow3d.ru/appl/weir.htm) |

***Замешивание воздуха в гидравлическом прыжке:***

Гидравлические прыжки наблюдаются во многих случаях открытого течения. Они особенно полезны для увеличения потерь напора с целью уменьшения эрозии или других эффектов сысокоскоростных течений.Фронт гидравлического прыжка чрезвычайно нестабилен и поэтому способен захватить большое количество воздуха. В данном примере гидравлический прыжок образуется ниже ворот шлюза. Уровень воды в верхнем бьефе имеет высоту 0.574m, а в нижнем 0.25m. Дно имеет ступень высотой 0.09m расположенную в 1.2m ниже ворот, помогающую, поймать прыжок. Число Froude для выходящего из ворот потока равно Fr=3.98.



Расхождение с данными эксперимента Rajaratnam [“Hydraulic Design Considerations,” ed. by Ian R. Wood, IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, 1991] составляет менее 7%. Учитывая нестабильность течения, следует признать высокой корреляцию рассчетных и экспериментальных данных.

***Захват воздуха в водосливе:***

Замешивание воздуха через поверхность текущей воды важно для поддержания роста микроорганизмов на предприятиях по очистке воды и обеспечения здоровых рыбных популяций. В некоторых гидравлических системах замешивание воздуха используется также для уменьшения вероятности кавитационных повреждений.

Воздух замешивается в воду , когда турбуленция жидкости на поверхности достаточно интенсивная. В частности турбуленция может быть достаточно сильной для преодоления стабилизирующих эффектов гравитации и поверхностного натяжения. Будучи замешанным, воздух вызывает увеличение объема жидкости и изменяет усредненное значение ее плотности.

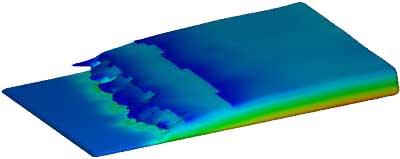
Моделируемый водослив имеет горизонтальную протяженность 12.5 m. Уровень воды в верхнем бьефе задан величиной 1 m над гребнем водослива. Шероховатость поверхности водослива задана по бетону. При моделировании использована RNG модель турбуленции, хотя и k-epsilon модель дает близкие результаты.

Расчет выполнялся до выхода на установившийся режим. Левый рисунок показывает возрастание турбулентной кинетической энергии в пограничном слое. Это происходит примерно на протяжении двух третей пути по водосливу. В данной точке воздух захватывается и уносится турбуленцией в водную массу, правый рисунок. Приведенная таблица показывает сравнение расчетных значений объемной доли воздуха с экспериментальными данными, полученными на водопаде св. Антония в лаборатории гидравлики Миннесотского университета учеными L.G. Straub и A.G. Anderson в 1958 году. Хорошо соответствуют этим данным материалы I.R. Wood в монографии международной ассоциации гидравлических исследований “Hydraulic Design Considerations”, опубликованной в Роттердаме в 1991 году. Экспериментальные данные были обработаны по приведенной в этой работе формуле, дающей объемную долю замешанного воздуха как функцию нормированного расстояния от поверхности водослива.

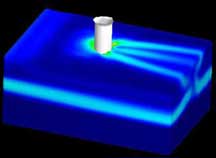
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Расстояние | Доля воздуха(эксперимент) | Доля воздуха(расчёт) |
| 0.095 | 0.395 | 0.429 |
| 0.38 | 0.483 | 0.486 |
| 0.76 | 0.747 | 0.703 |
| 0.95 | 0.875 | 0.857 |

***Ворота шлюза:***

Гидравлический прыжок наблюдается, когда движение потока через шлюз свободно и на нижнем бьефе имеется достаточная глубина воды. На приведенном рисунке течение ниже шлюза сверхкритическое (Fr >1). Следующей глубиной потока было выбран нижний бьеф. Это вызвало прыжок сразу за шлюзом. Жидкость окрашена по скорости вниз по течению. Окрашена только часть области.



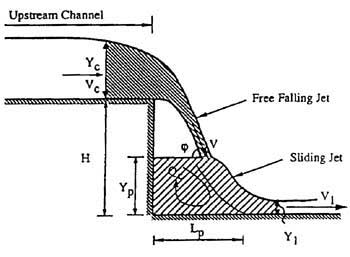
***Эрозия: размыв грунта вокруг опоры:***

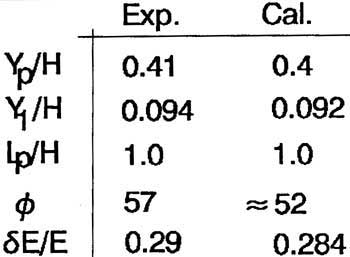


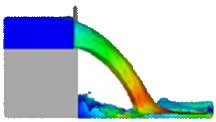
Эрозия около гидротехнических конструкций может привести к значительным разрушениям и представляет риск для безопасности. Для оценки скорости и объема размыва обычно применяются эмпирические методы, часто с ограниченным успехом.Данный пример показывает, что FLOW-3D может предсказывать значение локального размыва вокруг конструкций гидротехнических сооружений. Обратите внимание на яму, непосредственно окружающую опору; причем яма глубже на тех сторонах опоры, по касательной к которым течет поток. Именно здесь жидкость ускоряется около опоры, увеличивая локальные напряжения сдвига. К тому же, на передней кромке опоры образуется вожоворот, увеличивающий яму. На задней кромке опоры в течении образуется застойная зона, здесь напряжения сдвига уменьшаются, и баланс между размывом и осаждением приводит к уменьшению чистой эрозии.

***Течение через порог:***

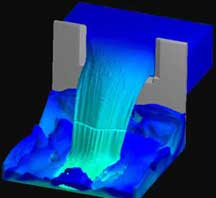
Для инженеров и исследователей представляют интерес потери энергии при прохождении порога потоком со свободной поверхностью. Приведенная ниже таблица содержит сравнение экспериментальных и расчетных данных для одного и того же сценария. Прекрасное согласование результатов подтверждает мощь VOF-метода (Volume-of-Fluid), используемого во FLOW-3D. Скорость счета впечатляет еще больше: численное моделирование заняло всего около 30 минут на PC.



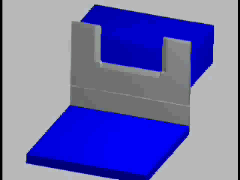




***Течение через слив:***



"Слив может быть определен как сооружение поперек открытого канала, через которое будет переливаться поток. Сливы представляют собой один из самых старых и наиболее простых устройств для нормирования течения воды в каналах и канавах" Water Measurement Manual, U.S. Bureau of Reclamation, 1984.



На рисунке изображено течение через слив прямоугольной формы (окрашено по значению скорости вниз по потоку). Данный тип моделирования возможен благодаря используемому в FLOW-3D VOF-методу (volume-of-fluid).