

Опыт использования программного комплекса Flow Vision в преподавании курса гидромеханики в Волжской государственной академии водного транспорта

Е.А. Лукина, Е.Ю.Чебан

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

FlowVision – программный комплекс, предназначенный для моделирования течений жидкости и газа. Он успешно используется в работе ряда крупных российских промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций. В 2001 году решением Главного Совета Министерства образования Российской Федерации FlowVision был рекомендован для включения в программу преподавания механики жидкости и газа в ВУЗах России.

В Волжской государственной академии водного транспорта (ВГАВТ) академическая версия программного комплекса FlowVision используется сотрудниками кафедры Теории корабля и экологии судоходства в научно-исследовательских целях с 2004 года. На 2006-2007 учебный год было принято решение об использовании FlowVision в учебном процессе для студентов 3 курса специальности «Кораблестроение» в дисциплине «Гидромеханика».

Преподавание гидромеханики с использованием средств компьютерного моделирования рассматривается с точки зрения различных достигаемых целей, а именно:

- более эффективное обучение разделам курса за счёт наглядности демонстрации гидродинамических явлений и за счёт активного участия студентов в процессе их получения;
- освоение принципов моделирования гидродинамических явлений за счёт прохождения всех шагов алгоритма решения задачи – от постановки до интерпретации результатов; стимуляция к научной деятельности;
- обучение практическим навыкам работы с пакетами вычислительной гидродинамики, которые в последнее время всё шире используются как средство инженерного анализа в работе промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций.

Наиболее эффективной формой применения средств компьютерного моделирования в курсе гидромеханики, по нашему мнению, является проведение лабораторных работ и последующее сравнение полученных в них результатов с теоретическими выводами или с результатами модельного эксперимента.

В компьютерном классе ВГАВТ установлена демонстрационная версия пакета FlowVision, имеющая ограничения по числу ячеек 15 000. Также в учебном процессе решение задач жёстко ограничено по времени. По этим причинам студентам предлагается решать задачи в двумерной постановке.

В разработанной методике знакомство студентов с FlowVision происходит в процессе решения одномерной задачи гидравлики, теоретические и эмпирические соотношения для которой им уже знакомы по материалам предыдущего семестра курса «Гидромеханика». Второй задачей, предлагаемой студентам, является моделирование обтекания крыльцевого профиля потоком несжимаемой вязкой жидкости. Эта задача решается для более глубокого понимания и усвоения сложного материала по теории крыла и пограничного слоя, осваиваемого студентами на 3 курсе.

На первом занятии преподаватель в течение 15 минут знакомит студентов с назначением пакета, его структурой, рассказывая о делении на три модуля - препроцессор, солвер и постпроцессор, а также пользовательским интерфейсом FlowVision. Поскольку основная масса студентов уже владеет стандартными прикладными пакетами платформы Windows (меню, внутренние окна, переключатели), то и при работе со специализированными программами, адаптированными под Windows дополнительных затрат времени на освоение стандартных функций интерфейса не требуется.

Моделирование течения жидкости в расширяющемся канале выполняется за два лабораторных занятия (4 академических часа). На занятии студентам выдаются методические разработки, в которых приведены пошаговые действия для решения задачи. Первым шагом является создание геометрии расчётной области течения. Для этого используется внешняя по отношению к FlowVision программа создания твердотельной геометрии SolidWorks. Как правило, в первый раз на создание типичной геометрии расширяющегося канала студенты

тратят до 20-30 минут с учётом выполнения действий, подготавливающих модель к использованию во FlowVision.

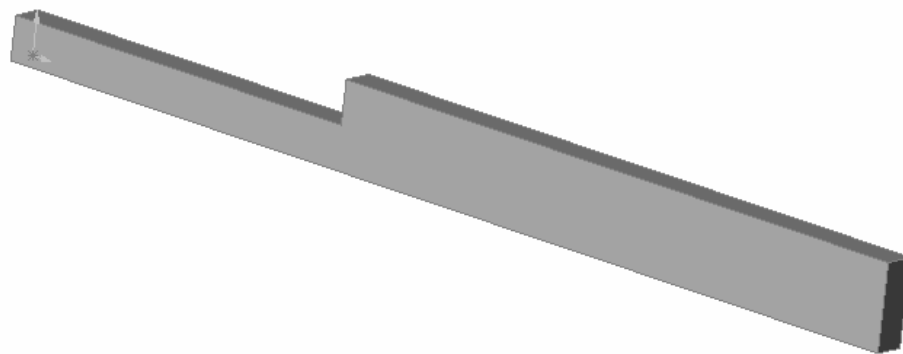


Рис. 1. Создание твердотельной геометрии.

На втором академическом часе первого занятия студенты импортируют созданную расчётную область во FlowVision и начинают работу с препроцессором. Под руководством преподавателя и с использованием методической разработки они выбирают расчётную модель (используемые уравнения), физические параметры (с начальными условиями), задают граничные условия задачи, параметры расчётной сетки (включая её адаптацию к геометрии) и параметры численного метода. Решения по выбору расчётной модели, расстановке типов граничных условий и физических параметров задачи студенты 3 курса принимают осмысленно, так как к моменту проведения лабораторной работы необходимый теоретический материал курса «Гидромеханика» уже прочитан в ходе лекционных занятий. Необходимо также заметить, что основное внимание при постановке этого курса уделяется решению инженерных задач, поэтому при принятии решения о выборе тех или иных параметров моделирования студенты ориентируются на физическую сущность гидродинамических процессов.

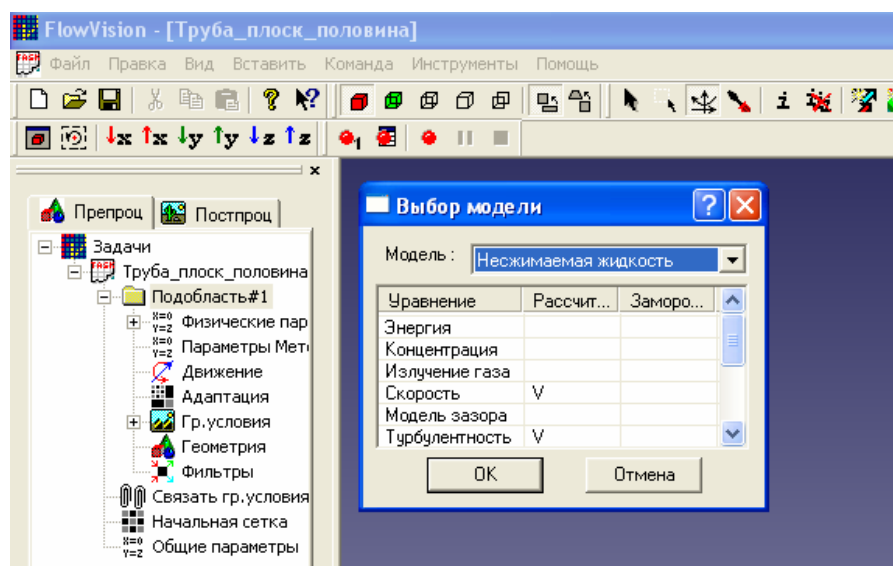


Рис. 2. Задание расчётной модели.

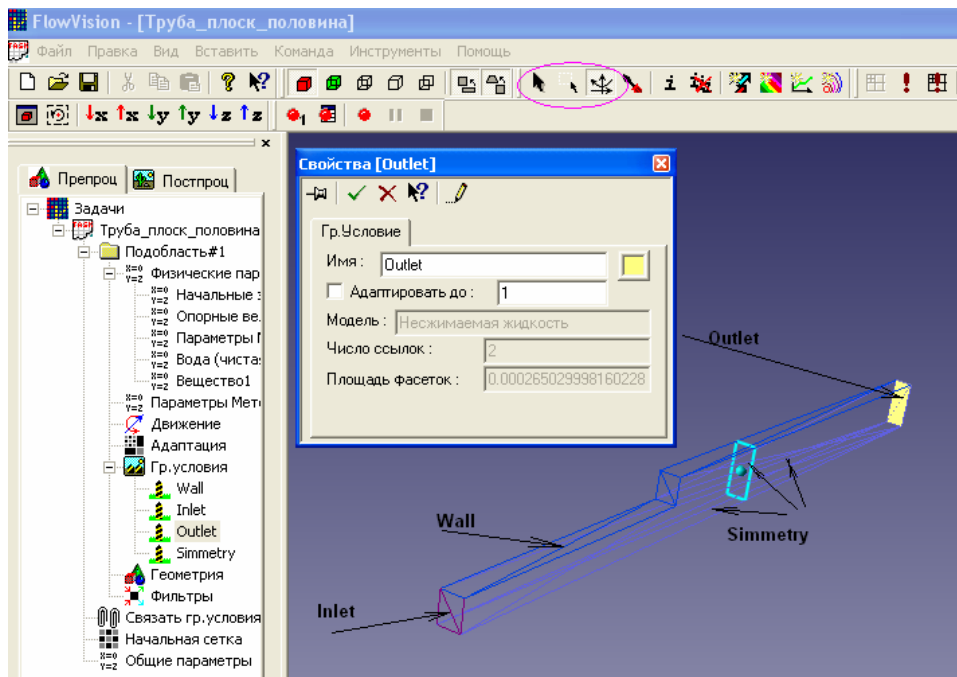


Рис. 3. Задание граничных условий.

Такой элемент вычислительной гидродинамики как построение пространственных сеток является важным элементом решения даже простых учебных задач. При построении сетки преподаватель обращает внимание студентов, что качество моделирования зависит от сгущения сетки в районе изменения сечения расчётной области или вблизи границ, но в то же время это не должно привести к слишком большим тратам вычислительных ресурсов в силу ограничения числа ячеек и расчётного времени. Из параметров численных методов основное внимание уделяется максимальному шагу по времени для регулирования времени счёта.

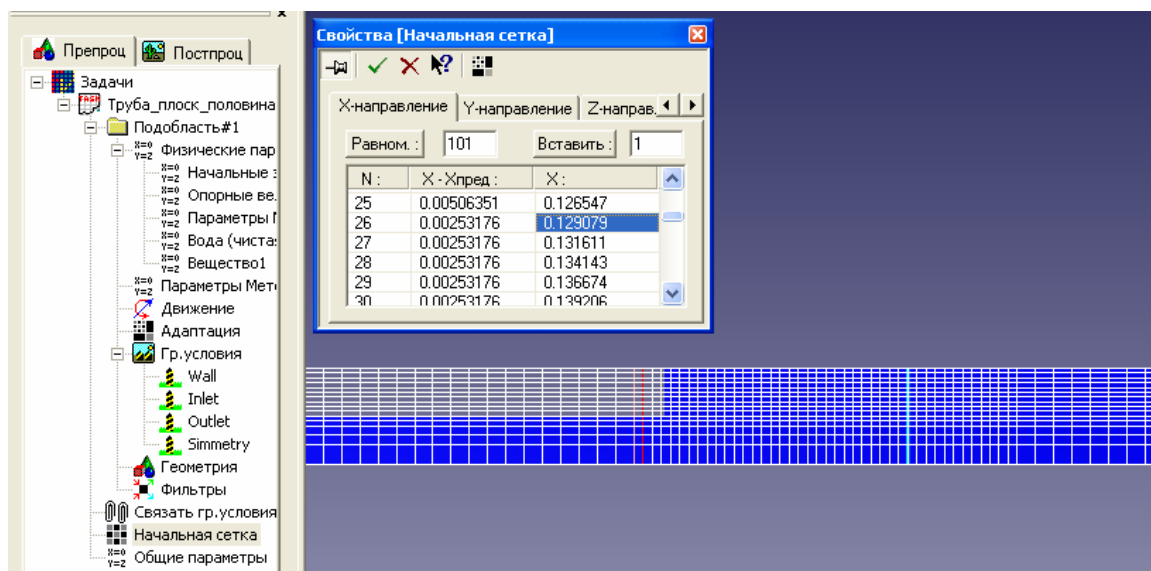


Рис. 4. Расчётная сетка по длине канала.

В конце первого занятия студенты запускают задачу на счёт, и солвер генерирует сетку и начинает выполнять итерационный расчёт.

На следующем занятии студенты при наличии нескольких выполненных итераций начинают работу с постпроцессором. В задаче течения жидкости в расширяющемся канале прямоугольного сечения они проводят визуализацию векторного поля скоростей по длине канала, визуализацию соответствующего ему поля давлений, представленного цветовой заливкой, определяют интегральные характеристики давления P_0 и P_1 по двум сечениям по-

тока до и после расширения. Дополнительно успевающие студенты строят профиль скорости по сечениям потока. Как правило, на этом занятии действия в постпроцессоре занимают до 50-60 минут.

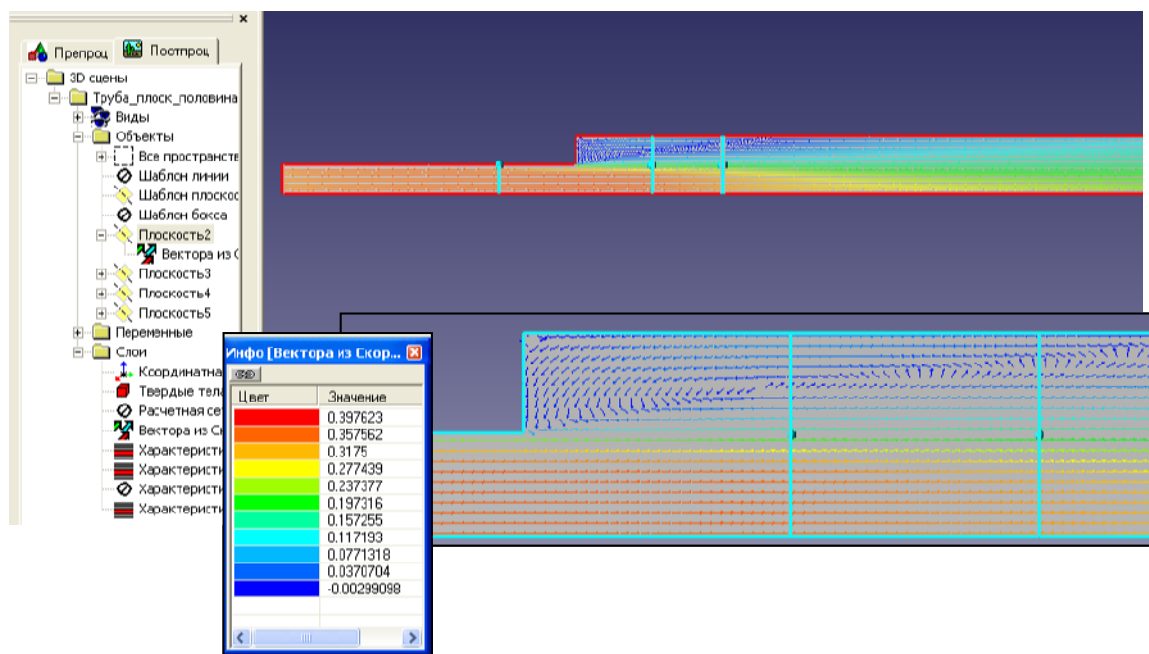


Рис. 5. Визуализация поля скоростей в расширяющемся канале.

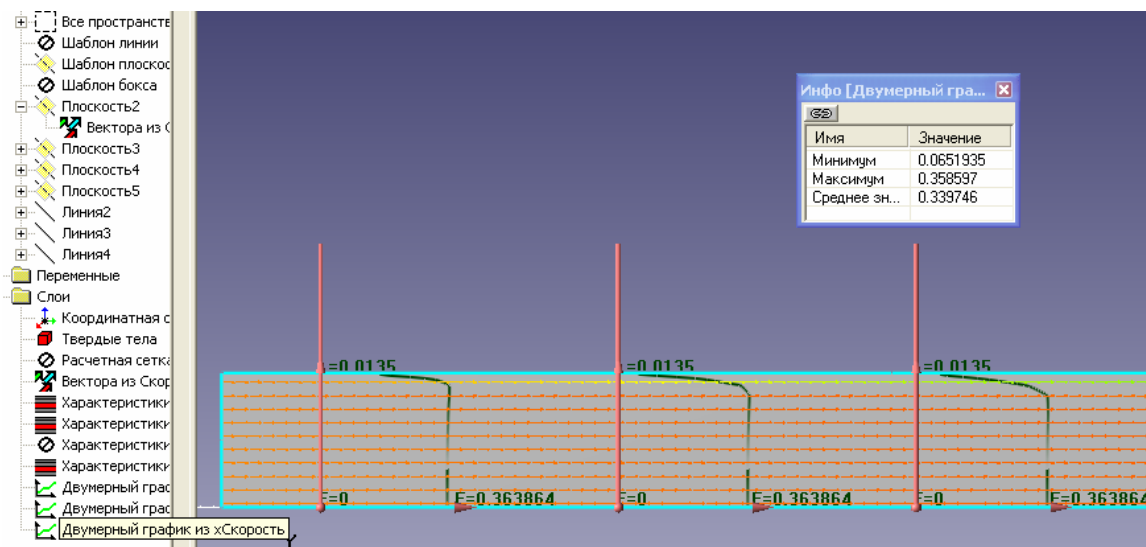


Рис. 6. Визуализация профиля скорости.

После создания необходимых слоёв визуализации студенты продолжают счёт до полного установления картины течения. По окончании работы результаты расчетов вместе с визуализацией сохраняются для создания отчёта. Отчёт каждого студента должен содержать описание и анализ картины течения и поля давлений в канале при установившемся течении. Также выполняется вычисление потери полного давления $\Delta P = P_0 - P_1$ и сравнение расчётной величины со значением, вычисленным по формуле

$$\Delta P_{теор} = \frac{\rho U_0}{2} (1 - F_0 / F_1)^2,$$

где:

U_0 - скорость во входном сечении потока, м/с;

F_0, F_1 - площади сечений канала до и после расширения, м²;

ρ - плотность жидкости, кг/м³.

Оформление отчёта студенты выполняют самостоятельно, используя полученные результаты, записанные в аудитории на электронные носители.

Решение второй задачи – исследование обтекание крыльевого профиля с использованием программного комплекса FlowVision, начинается после выполнения студентами лабораторной работы по определению гидродинамических характеристик крыльевого профиля по результатам его буксировки в опытовом бассейне.

Моделирование обтекания крыла проводится также в течение двух лабораторных занятий или четырёх академических часов. Задача решается в двумерной постановке. Студенты получают индивидуальные варианты, отличающиеся комбинацией скорости обтекания и угла атаки профиля. В целях сокращения времени варианты геометрии расчётной области течения выдаются преподавателем в виде файлов формата .stl, заданных в программе SolidWorks. Студентам также выдаются методические разработки, содержащие пошаговые действия для решения этой задачи.

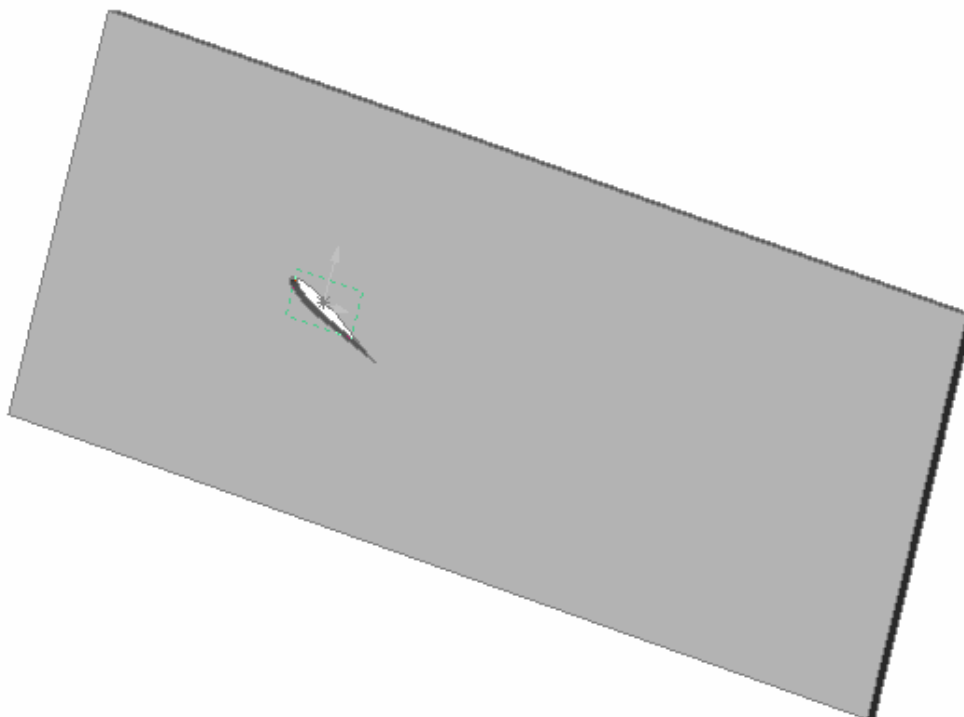


Рис. 7. Твёрдотельная геометрия расчётной области к задаче обтекания крыльевого профиля в плоской постановке.

При работе с препроцессором студенты закрепляют алгоритм моделирования гидродинамических явлений выбором расчётной модели, расстановкой граничных условий и заданием физических параметров процесса. Обращается внимание на особенности задания граничных условий при решении внешней задачи обтекания твёрдого тела. Создание расчётной сетки при решении второй задачи усложняется. Кроме сгущения равномерной сетки вручную в районе расположения профиля, в этой области вводится адаптация второго уровня с помощью фильтра, то есть измельчается часть расчётной области над верхней частью профиля и в зоне ожидаемого гидродинамического следа. Дополнительно вводится адаптация третьего уровня по поверхности профиля.

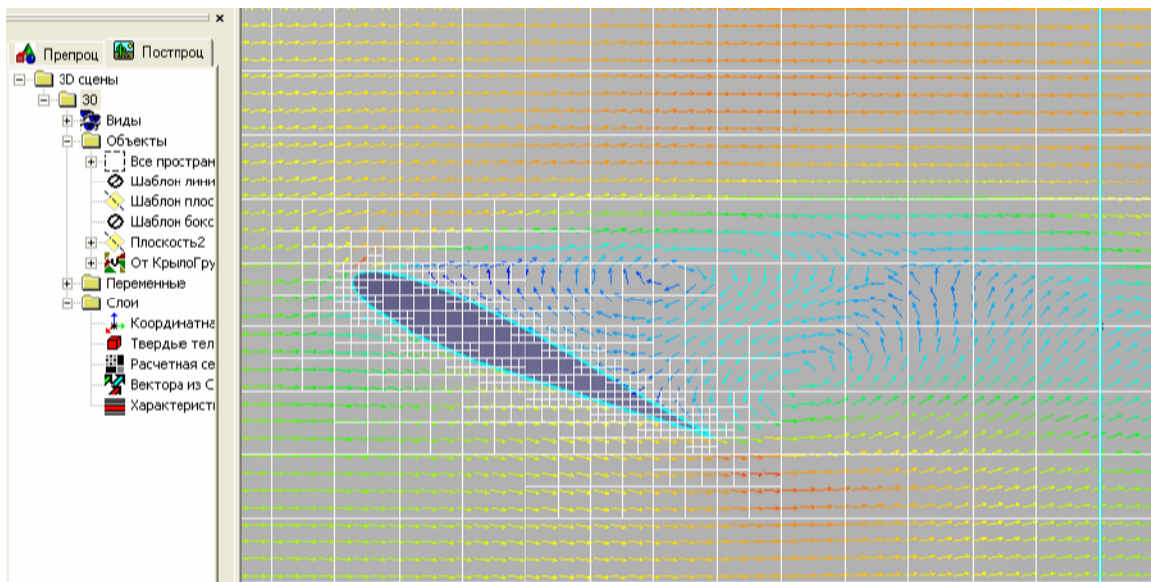


Рис. 8. Сетка и поле скоростей для задачи обтекания крыльцевого профиля.

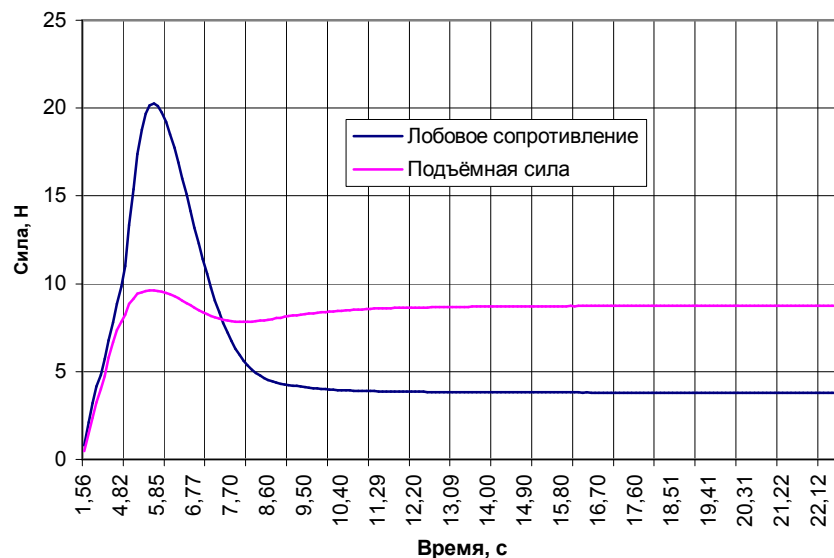
Начать работу с постпроцессором в данной задаче студенты успевают уже в конце первого занятия после проведения первых нескольких итераций счёта. Для визуализации создаётся слой векторного поля скоростей. При решении второй задачи следует отметить более уверенную работу практически всех студентов со знакомыми операциями пре- и в постпроцессоре. Поле давлений в расчётной области студентам предлагается представить теперь в виде изолиний, а не заливок, обращая внимание на значительную экономию вычислительных ресурсов.

Целью второй работы является не только анализ картины течения, но и получение гидродинамических характеристик профиля – коэффициента подъёмной силы C_x и коэффициента силы лобового сопротивления C_y . Для этого студенты осваивают новую форму представления результатов расчётов – определение расчет интегральных характеристик давления по поверхности крыльцевого профиля и их автоматическая запись в файл во время счёта. Затем производится импорт и обработка этих данных в пакете прикладных программ Microsoft Excel. Таким образом, студенты осваивают комплексное использование средств инженерного анализа. В файле программы Excel по импортированным данным они строят график изменения характеристик – силы лобового сопротивления и подъёмной силы с течением времени. С его помощью, обновляя данные, студенты самостоятельно определяют, когда течение уже можно считать установившимся и оценить значение силы лобового сопротивления и подъёмной силы для своего варианта расчёта.

По второй работе студенты сформируют уже более полный отчёт о работе. В нём должны быть отражены цели выполняемой работы, постановка задачи (исходная геометрия, расчётная модель жидкости, начальные и граничные условия), представление результатов (картины поля скоростей и давлений с анализом их соответствия физическим процессам течения жидкости, характерным для заданного угла атаки), а также выполнена аналитическая часть работы.

Аналитическая часть должна содержать графическое представление интегральных силовых характеристик, полученных в результате расчёта. Пример графика приведён на рисунке 9.

Угол атаки 5 градусов



Подъемная сила $R_y = 8,74 \text{ Н}$; Лобовое сопротивление $R_x = 3,8 \text{ Н}$.

Рис. 9. Результаты обработки расчётов в формате .xls.

Далее вычисляются коэффициенты C_x и C_y в соответствии с квадратичным законом сопротивления и согласно данным проводимого вычислительного эксперимента по выражениям:

$$C_x = \frac{2 \cdot R_x}{\rho \cdot U_0^2 \cdot l \cdot b}; \quad C_y = \frac{2 \cdot R_y}{\rho \cdot U_0^2 \cdot l \cdot b},$$

где:

R_x ; R_y – полученные расчётные осреднённые значения лобового сопротивления и подъемной силы соответственно, Н;

U_0 – заданное значение скорости набегающего потока, м/с;

ρ – плотность жидкости, принятая в расчёте, $\text{м}^3/\text{с}$;

b – хорда крыла, м;

l – размер расчётной области по размаху крыла, м.

Затем студенты наносят полученные значения коэффициентов C_x и C_y на силовую диаграмму, построенную по результатам модельного эксперимента в опытовом бассейне и объясняют отклонение расчётных значений коэффициентов C_x и C_y от экспериментальной силовой диаграммы.

Таким образом, применение в учебном процессе программного комплекса FlowVision позволяет значительно улучшить качество усвоения материала за счёт наглядности, активной роли студента в получении решения, сопоставлении результатов с теорией и модельным экспериментом. Также FlowVision позволяет студентам наряду с традиционными подходами к решению гидродинамических задач (теоретический анализ и экспериментальное исследование) использовать труднодоступное ранее численное моделирование, которое всё шире используется в настоящее время в связи с распространением в инженерной среде пакетов прикладных программ для гидродинамического анализа.

Авторы выражают благодарность сотрудникам компании «Тесис» за научную и техническую поддержку, а также коллегам из Московского Физико-технического института, чьи методические пособия были использованы при разработке методики.

Литература

1. Т.В. Кондранин, Б.К. Ткаченко, М.В. Березникова, А.В. Евдокимов, А.П. Зуев Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие — М.: МФТИ, 2005. — 104 с.