

FLOWVISION В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ю.М. КОРОЛЬ, *к-т техн. наук, доцент*

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

При подготовке специалистов в высших учебных заведениях технического профиля традиционно изучаются классические курсы гидрогазо- и термодинамики, призванные служить основой для дисциплин определяющих конкретную специализацию. Как правило, изучение этих дисциплин осуществляется на третьем курсе, после того, как студенты получают достаточную подготовку по математике, физике и теоретической механике.

К сожалению, изучение современных методов вычислительной гидродинамики (ВГД или CFD) не входит в учебные планы подавляющего большинства учебных заведений, что совершенно не соответствует потребностям компьютеризированных производств. Поэтому одной из *первых* должна быть решена *задача корректировки учебных планов*. Наиболее эффективным следует считать изучение вычислительной гидродинамики на пятом курсе, поскольку к этому времени студенты приобретают необходимые навыки в использовании САД систем и, что наиболее важно, получают знания по специальным предметам и могут осознанно оценить существующие проблемы и область применения методов вычислительной гидродинамики.

Вторая, не менее важная задача – это *выбор подходящего CFD пакета программ*, ибо необходимый лекционный материал по методам ВГД должен органично сочетаться с практическими, или лабораторными занятиями. Уникальные возможности, предоставляемые компанией «Тесис», делают разработанный ею программный продукт FlowVision весьма привлекательным для научных, проектных и учебных организаций. Это – *во-первых*, весьма широкий спектр решаемых задач, позволяющий использовать его в разных областях народного хозяйства; *во-вторых*, проверенной многими пользователями адекватности численных моделей физическим явлениям; *в-третьих*, гибкой ценовой политикой компании и, *в-четвертых*, наличием развитой системы технической помощи и сопровождающей документации с широким спектром примеров в учебном пособии.

Третья, самая важная задача состоит в организации учебного процесса. Минимальный курс лекций по ВГД должен быть не менее 36 часов и 18 часов лабораторных занятий. На лекциях студенты получают необходимые знания по основным методам ВГД, осваивают терминологию и принципы построения численных решений краевых задач гидрогазо- и термодинамики. Для более детального знакомства с методами ВГД и подготовки конспекта лекций можно рекомендовать [1-4, 6-15], особо выделив по полноте изложения монографии К. Флетчера [6] и Т. Дж. Чанга [11].

На лабораторных занятиях студенты приобретают навыки и умения работы с конкретным CFD пакетом. Задание на лабораторную работу должно быть по возможности простым, иметь четкий прикладной характер специализации и в обязательном порядке содержать элементы научного исследования. Например, исследовать зависимость коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления крыла бесконечного размаха с профилем NASA0021 от угла атаки, сравнить с данными физического эксперимента и оценить влияние на ГДХ 3% интерцептора и твердой стенки. Решение такой задачи возможно даже в демоверсии FlowVision и состоит из следующих этапов:

1) В пакете твердотельного моделирования (например, Solid Works) создается параллелепипед (бюкс), имитирующий окружающую крыло жидкость. Размеры бюкса должны быть выбраны таким образом, чтобы исключить влияние ограниченности объема на картину обтекания. Для рассматриваемой задачи бюкс может иметь размеры 10×4×1 хорд профиля и сохраняется в формате STL.

2) В том же пакете создается твердотельная модель крыла с удлинением 1,1 хорды и сохраняется в формате STL.

3) На основе созданного бюкса в пакете Flow Vision создается проект и выполняются стандартные действия по выбору модели (несжимаемая жидкость), заданию физических параметров и параметров метода.

4) При помощи инструмента препроцессора «фильтры» модель крыла помещается в расчетную область (бюкс) с задаваемыми линейными координатами и углом атаки.

5) Расставляются граничные условия: «вход» с заданной нормальной скоростью на грани бюкса перед крылом; «свободный выход» – сверху, снизу и сзади крыла; «симметрия» на боковых гранях перпендикулярных размаху; «стенка» – на крыле. Генерируется начальная сетка.

7) В постпроцессоре создается два слоя «давление» – «заливка на плоскости» перпендикулярной к размаху и «характеристики» на крыле.

8) Расчет выполняется для различных углов атаки. Критерием сходимости могут служить величины выводимых программой невязок, а также поведение силы сопротивления и подъемной силы во времени (достижение установившегося режима).

Результаты расчета представлены на рис.1 в виде картин распределения давления для рассматриваемых трех случаев, а так же графика зависимости коэффициентов подъемной силы и силы сопротивления от угла атаки. На графике сплошными линиями показаны результаты физического эксперимента, а точками – численного. Для случая безграничной жидкости совпадение можно считать вполне удовлетворительным. Для угла атаки 10 градусов приведены результаты влияния интерцептора и стенки-экрана.

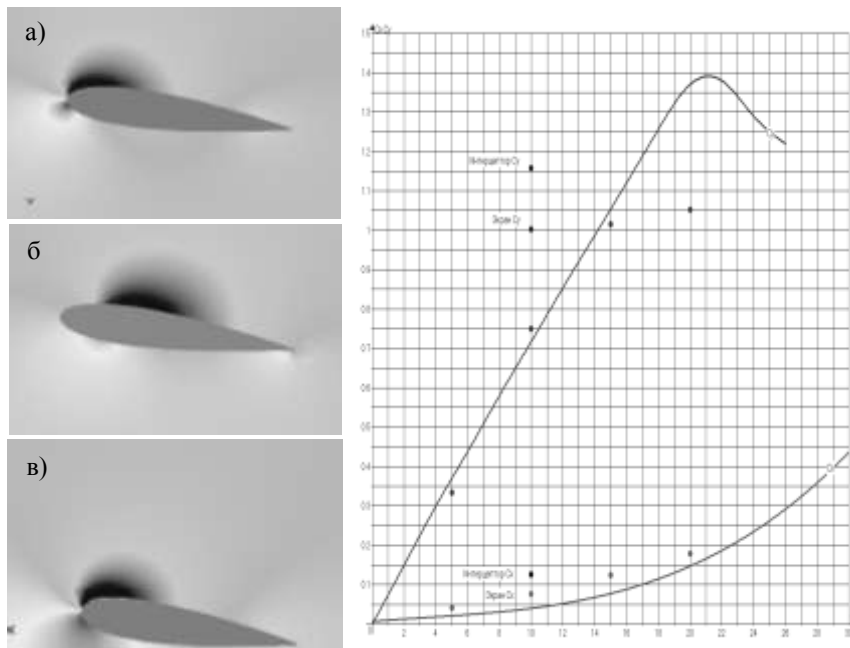


Рис. 1. Распределение давления и гидродинамические характеристики $C_x(\alpha)$ и $C_y(\alpha)$ при обтекании профиля NASA0021 а) в безграничной жидкости; б) в безграничной жидкости с 3% интерцептором; в) вблизи экрана

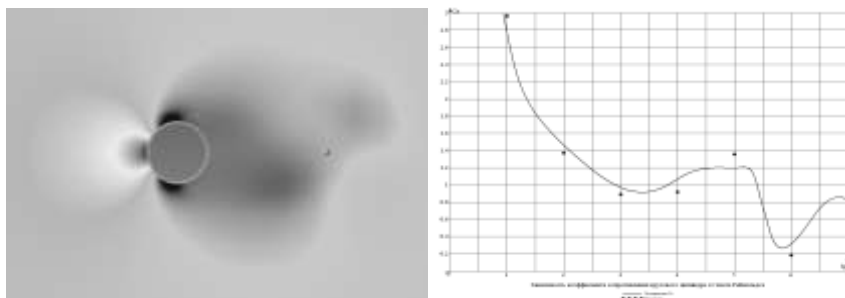


Рис.2. Распределение давления и зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса при обтекании кругового цилиндра

На рис. 2 показаны результаты численного моделирования обтекания кругового цилиндра, причем на графике сплошной линией снова обозначены результаты физического, а точками – численного экспериментов.

Решение подобного рода задач преследует две цели: первая это приобретение навыков в постановке и решении задач в среде FlowVision; вторая – тестирование комплекса и исследование его возможностей.

Дальнейшее использование приобретенных навыков планируется в рамках дипломных проектов и магистерских диссертаций.

Перейдем теперь к вопросу об использовании FlowVision в научных исследованиях магистрантов, аспирантов и преподавателей ВУЗов. Поскольку чаще всего результат научных исследований целиком и полностью определяется квалификацией и опытом научного руководителя, то на первый план выходит проблема освоения комплекса FlowVision преподавателями ВУЗа. При этом FlowVision должен рассматриваться как надежный инструмент научных исследований, а не средство автоматизации инженерных расчетов.

Обычно создание проекта в Flow Vision состоит из нескольких этапов, а именно:

- создание области расчета;
- задание математической модели;
- задание физических параметров модели и параметров метода расчета
- задание граничных условий;
- задание начальной расчетной сетки;
- задание глобальных параметров;
- запуск варианта проекта на расчет;
- оценка сходимости;
- визуализация, анализ и сохранение результатов расчета.

При решении задач внешнего обтекания возникают следующие проблемы:

- создание твердотельных моделей обтекаемых тел;
- адекватность физического и численного экспериментов;
- выбор размеров бокса;

- учет начальной турбулентности набегающего потока;
- устойчивость вычислительного алгоритма;
- оценка сходимости;
- учет подвижности обтекаемых объектов.

При решении задач ходкости и управляемости судов возникает необходимость в создании твердотельных моделей корпусов и гребных винтов, задаваемых, как правило, так называемыми теоретическими чертежами. Если для корпуса судна проблема состоит только во вводе большого числа точек шпангоутных контуров, то для гребных винтов ввиду их сложной геометрии требуется создание специальной программы. На рис. 3 показаны корпуса двух судов и подводного аппарата созданные при помощи программы Solid Works, а на рис. 4 – твердотельные модели гребных винтов, для построения которых использованы данные, полученные при помощи разработанной автором и аспирантом Рудько О.Н. программы GSP[5].

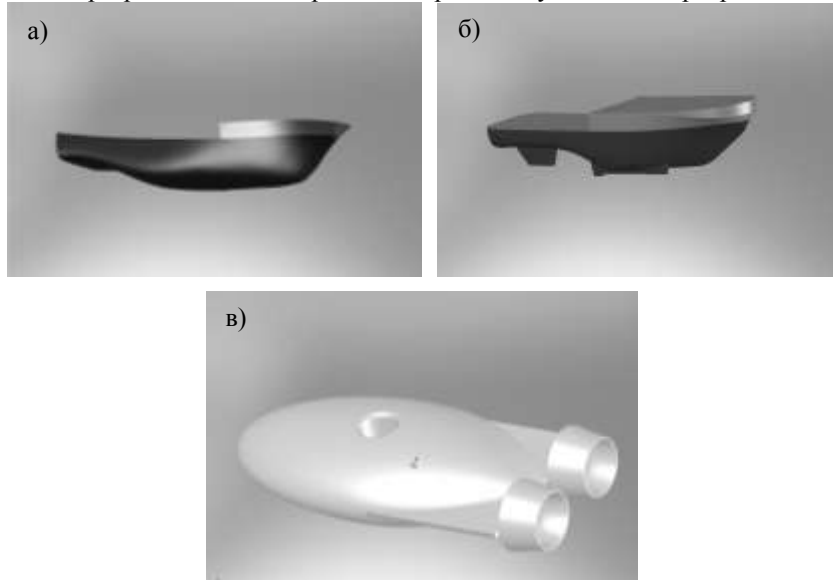


Рис.3. Корпус а) катера бонопостановщика; б) буксира; в) подводного аппарата

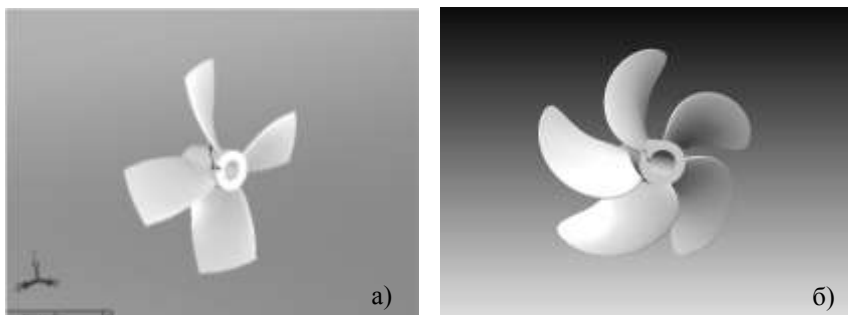


Рис. 4. Твердотельные модели гребных винтов серии а) Каплан; б) КР

Моделирование обтекания корпуса судна в среде Flow Vision осуществляется с использованием модели «свободная поверхность», причем корпус судна помещается в расчетную область (бокс) при помощи фильтра «подвижное тело». В процессе расчетов под действием гидродинамических сил судно может дифферентоваться, иметь вертикальные перемещения (что соответствует реальному поведению судна, однако снижает вычислительную эффективность, увеличивая время расчета) или может быть лишено такой возможности, что повышает вычислительную эффективность, но вносит в результаты погрешность, которую нужно оценить в процессе численных экспериментов. На рис. 5 приведен вид окна Flow Vision с расчетной областью и судном. В силу симметрии течения относительно диаметральной плоскости в расчетную область помещается только половина корпуса.

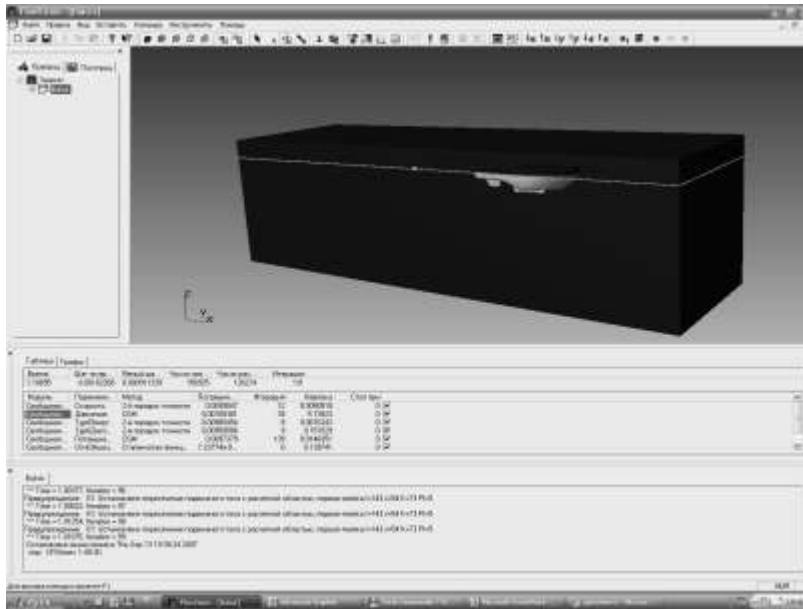
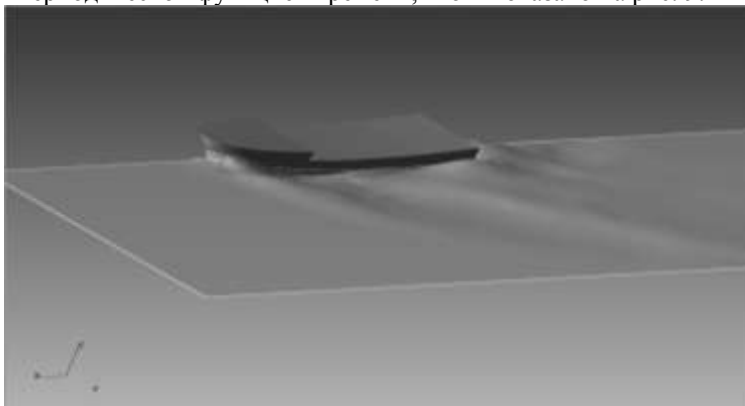


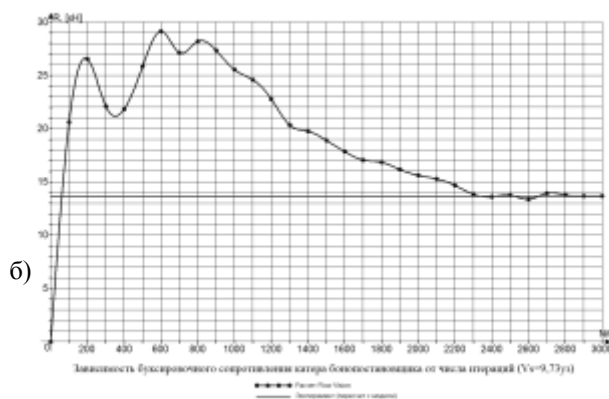
Рис. 5 Окно программы Flow Vision при моделировании обтекания корпуса буксира

На рис. 6 и 7 показаны волновая картина при обтекании катера бонопостановщика и результаты моделирования в виде зависимостей буксировочного сопротивления от времени при постоянной скорости (характеризует сходимость вычислительного процесса) и буксировочного сопротивления от скорости в сравнении с физическим экспериментом (характеризует адекватность модели физическому явлению).

Процесс формирования волновой системы буксира показан на рис. 8. Поскольку обтекание буксира в силу особенностей его корпуса сопровождается интенсивными отрывными явлениями, то, во-первых, количество итераций должно быть достаточно большим, а, во-вторых, с течением времени буксировочное сопротивление будет периодической функцией времени, что и показано на рис. 9.



а)



б)

Рис. 6 Результаты моделирования обтекания катера бонопостановщика в среде Flow Vision
а) картина волнообразования; б) зависимость буксировочного сопротивления от числа итераций

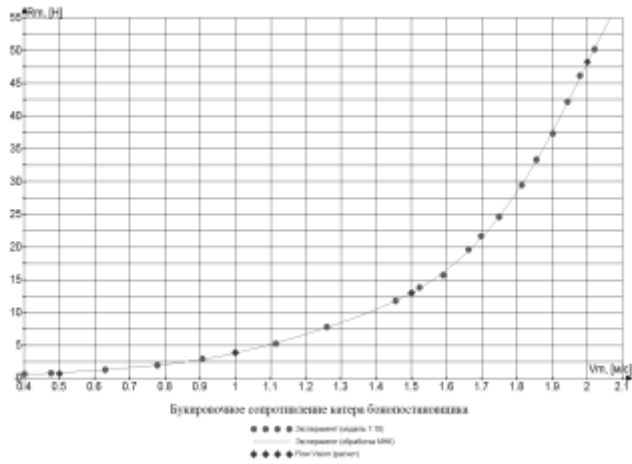


Рис. 7 Сравнение физического и численного экспериментов для модели катера бонопостановщика

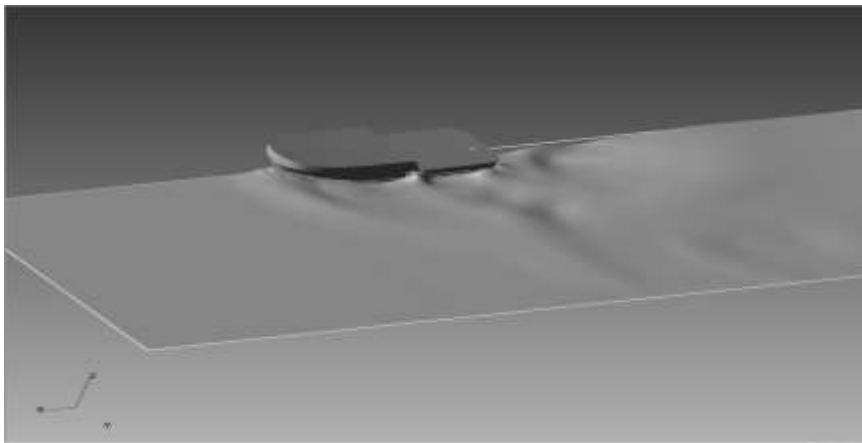


Рис. 8 Картина волнообразования при моделировании буксировочных испытаний буксира

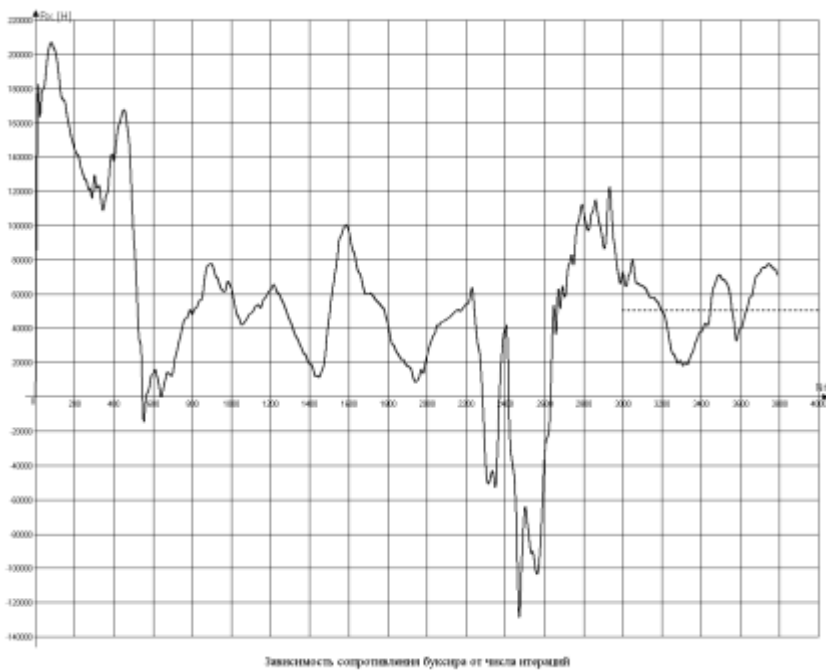


Рис. 9. Зависимость буксировочного сопротивления буксира от числа итераций

При моделировании обтекания подводных аппаратов используется модель «несжимаемая жидкость» и силу симметрии в расчетную область так же помещается только половина корпуса (см. рис. 10).

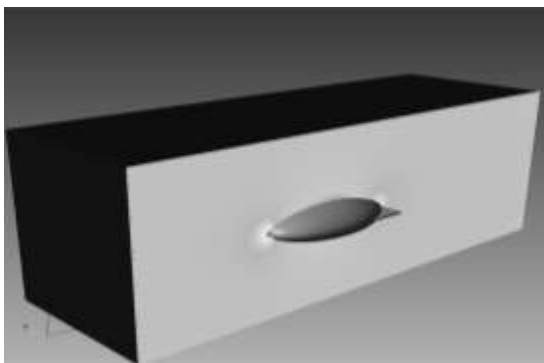


Рис. 10. Корпус и поле давлений подводного аппарата в расчетной области

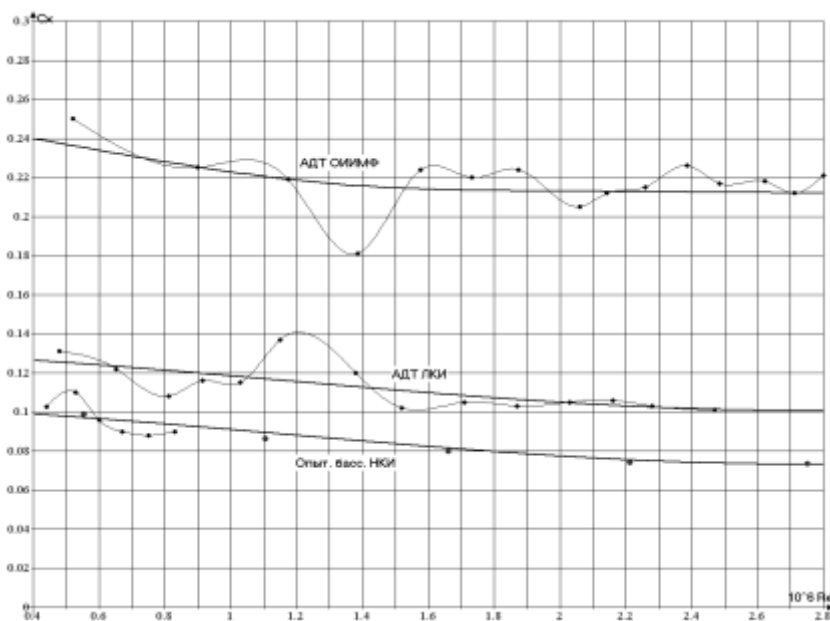


Рис. 11. Результаты физических и численных экспериментов по определению буксировочного сопротивления подводного аппарата

На рис.11 показана зависимость коэффициентов сопротивления аппарата от числа Рейнольдса, полученная в опытном бассейне НКИ и аэродинамических трубах ЛКИ и ОИИМФ (волнистые кривые). Там же плавными линиями изображены результаты осреднения, а на нижней кривой точками – результаты расчета во Flow Vision. Существенное различие в осредненных зависимостях объясняется, по-видимому, влиянием степени турбулентности набегающего потока и представляет собой серьезную научную проблему, требующую как физического, так и численного дополнительного исследования.

Основной проблемой внутренних задач, кроме указанных выше, является корректность постановки, заключающаяся в правильном задании начальных и граничных условий. Так, например, при решении задачи о ламинарном движении жидкости в круглой цилиндрической трубе задание на входе в трубу нормальной равномерно распределенной по поперечному сечению скорости не соответствует физике явления и приводит к тому, что на некотором начальном участке трубы происходит видоизменение эпюры скорости (см. рис. 12а). По-видимому более корректным для данной задачи будет задание перепада давления между входным и выходным сечениями, в результате чего уже не возникает трансформация эпюры скорости (см. рис. 12б).

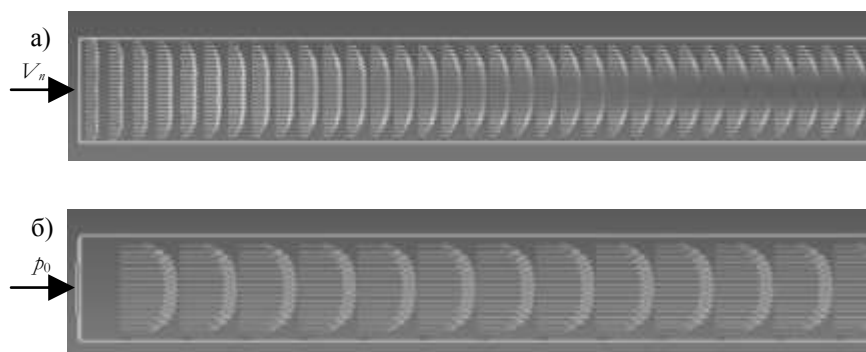


Рис. 12. Влияние граничных условий на трансформацию эпюры скорости

В заключение отметим, что программный комплекс Flow Vision является мощным современным средством исследования сложных процессов движения жидкостей и газов, распространения тепла, а также ряда других задач, описываемых системами дифференциальных уравнений в частных производных. Возможность получения не только интегральных, но и дифференциальных характеристик течения таких, как поле скорости, давлений, температур, линий тока, траекторий существенно расширяет возможности исследований и позволяет если не отказаться полностью, то, во всяком случае, существенно сократить объемы дорогостоящих физических экспериментов.

Литература

1. *Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М.: Мир, 1990, т.1, 385с., т.2, 337с.
2. *Белов И.А., Исаев С.А., Коробков В.А.* Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости. – Л.: Судостроение, 1989, 253с.
3. *Глиманов А.Н.* Методы адаптивных сеток в задачах газовой динамики. – М.: Наука, Физматлит, 2000, 248с.
4. *Иевлев В.М.* Численное моделирование турбулентных течений. – М.: Наука, 1990, 215с.
5. *Король Ю.М., Рудько О.Н.* Автоматизированная генерация данных для построения тердотельных моделей гребных винтов. //Збірник наукових праць. – Миколаїв: НУК, 2008, №1(405), с.12-20.
6. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкости. – М.: Мир, 1991, т1, 502с., т.2, 552с.
7. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980, 612с.
8. *Самарский А.А., Попов Ю.П.* Разностные методы решения задач газовой динамики. – М.: Наука, 1992, 423с.
9. *Anderson J.D.* Computational fluid dynamics. The basics with applications. – New York: McGraw- Hill Inc., 1995, 563p.
10. *Bates P.D., Lane S.N., Ferguson R.I.* Computational fluid dynamics. Applications in environmental hydraulics. – The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO198SQ, England: John Wiley & Sons Ltd., 2005, 437p.
11. *Chung T.J.* Computational fluid dynamics. – Cambridge: Cambridge university press, 2002, 1022p.
12. *Ferziger J.H., Perić M.* Computational methods for fluid dynamics. – New York: Springer, 2002, 431p.
13. *Lomax H., Pulliam T.H., Zingg D.W.* Fundamentals of computational fluid dynamics. – New York, 1999, 267p.
14. *Versteeg H.K., Malalasekera W.* An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. – London: Longman scientific & Technical, 1995, 267p.
15. *Wesseling P.* Principles computational fluid dynamics. – Heidelberg: Springer, 2001, 652p.
16. *Wilcox D.C.* Turbulence modeling for CFD. – Glendale: DCW Industries, Inc., 1993, 477p.