

# Применение системы инженерного анализа FlowVision для решения прикладных задач гидродинамики судна

Борис Станков, Андрей Печенюк

Решение прикладных задач гидродинамики судна имеет большое практическое значение при проектировании кораблей и судов, разработке проектов их модернизации и переоборудования. Классические задачи гидродинамики судна — получение буксировочных характеристик корпуса, гидродинамических характеристик движителя, отработка взаимодействия корпуса и движительного комплекса — содержат в себе проявления многообразных физических явлений и весьма сложны для теоретического изучения. Вероятно, по этим причинам основные методики решения таких задач в отечественной и зарубежной судостроительной промышленности развивались как расчетно-экспериментальные, базирующиеся на схемах частичного моделирования.

Развитие систем автоматизации проектирования (САПР) и систем инженерного анализа (СИА), реализующих численные методы решения уравнений движения вязкой жидкости, открыло новое направление в подходах к изучению задач гидродинамики судна. Долгое время это направление не ассоциировалось с возможностью получения практических результатов как из-за математических сложностей, так и по причине недостаточной производительности компьютеров. Сегодня эта проблема решается, но лишь за счет применения ведущих СИА, число которых на мировом рынке невелико.

Опыт использования СИА FlowVision и практическими результатами, достигнутыми с ее помощью в решении задач гидродинамики судна, авторы хотели бы поделиться с читателями.

СИА FlowVision в свое время была выбрана в качестве составляющей автоматизированной схемы создания качественных проектов судов, включающей также другой российский программный продукт — САПР T-FLEX CAD. Поэтому некоторые аспекты применения FlowVision рассмотрены с учетом особенностей параметрических моделей геометрии объектов гидродинамического анализа, созданных с помощью САПР T-FLEX CAD.

Численное моделирование обтекания корпусов морских судов с помощью комплексов гидродинамического анализа в настоящее время приобретает практическое значение в задачах проектирования судна. Получение полной картины потока, обтекающего корпус, на ранних стадиях его проектирования позволяет качественно решать задачи оптимизации формы корпуса и конфигурации выступающих частей; изучения условий работы движителей, рулевых и подруливающих устройств; нахождения характеристик ходовой посадки быстроходных судов; определения мощности энергетической установки судна.

Совершенно очевидно, что все перечисленные преимущества методов вычислительной гидромеханики могут быть в полной мере реализованы только при хорошей согласованности полученных результатов с наиболее надежными экспериментальными и теоретическими данными. Тестовые расчеты обтекания корпусов судов различного типа, выполненные специалистами Digital Marine Technology (DMT) в СИА FlowVision, продемонстрировали результаты, сопоставимые с экспериментальными показателя-

ми, полученными в лучших гидродинамических лабораториях мира.

К примеру, результаты расчетов и эксперимента по крупнотоннажному скоростному контейнерному судну представлены на рис. 1. Выполнение численных исследований и подробное изучение полученных результатов оказалось возможным благодаря опубликованной в Интернете информации о выполненных в Корейском исследовательском институте корабля и океанотехники (Korea Research Institute for Ships and Ocean Engineering) буксировочных испытаниях модели контейнерного судна. Испытания проводились в рамках разработки проекта перспективного судна для тихоокеанских контейнерных линий (KCS).

Опытный бассейн Корейского исследовательского института ко-

## Борис Станков

Директор компании Digital Marine Technology.

## Андрей Печенюк

Руководитель отдела вычислительной гидродинамики судна компании Digital Marine Technology.

рабля и океанотехники имеет размеры чаши 220×16×7 м, позволяет производить буксировку со скоростью до 6 м/с и оборудован современной измерительной аппаратурой. Учитывая также, что рассматриваемое судно имеет классические для судов этого типа обводы корпуса, которые хорошо изучены, экспериментальные данные можно считать вполне надежными.

Корпус судна в расчетах представлен точной геометрической моделью, созданной корейскими

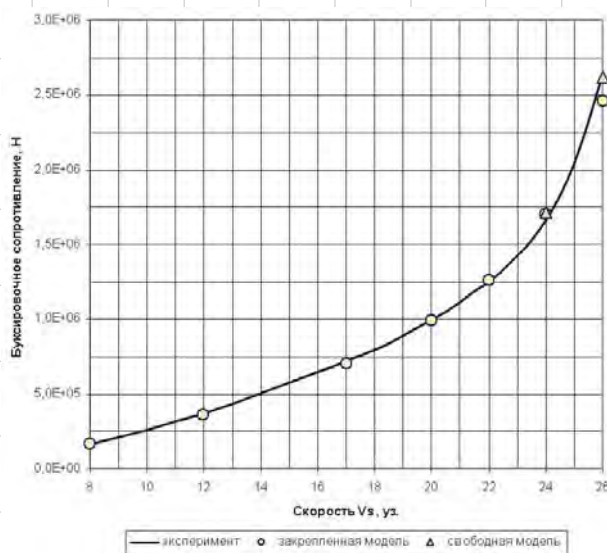


Рис. 1. Результаты расчетов FlowVision и эксперимента по контейнерному судну KCS

специалистами и опубликованной в Интернете вместе с результатами модельного эксперимента. Моделирование корпуса в используемом численном методе имеет важную особенность: возможно его движение относительно системы координат расчетной области и начальной сетки (технология фильтра подвижного тела), что позволяет моделировать свободную посадку при буксировке. Разница в буксировочном сопротивлении для свободной посадки и жесткого закрепления модели в гидростатическом положении, однако, оказывается значительной лишь при достаточно больших числах Фруда. Поэтому в целях экономии вычислительных ресурсов целесообразно моделировать свободную посадку лишь там, где это действительно необходимо.

Для закрепленной модели хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных наблюдается вплоть до 24 узлов ( $Fr = 0,26$ ). Лишь при 26 узлах ( $Fr = 0,28$ ) закрепленная модель в расчетах имеет заметно более низкое сопротивление, чем модель со свободной посадкой.

Данные, полученные при изучении волновой системы судна в ходе модельного эксперимента и численных расчетов, представлены на рис. 2 и 3 в графической форме, избранной корейскими специалистами при оформлении экспериментальных результатов.

Примером использования CИА FlowVision в практических целях является отработка обводов судна смешанного плавания дедвейтом около 6750 т. Традиционный способ решения такой задачи связан с проведением ряда модельных экспериментов в опытном бассейне с целью отработки обводов корпуса и взаимодействия элементов движительно-рулевого комплекса. Однако из-за предельно коротких сроков проектирования в большинстве проектов судов ограниченного района плавания, разрабатываемых сегодня в нашей стране, результаты модельных экспериментов не используются, хотя зачастую необходимость в этом гораздо больше, чем в проектах океанских лайнеров. Как известно, в советском торговом флоте грузовые суда ограниченного района плавания строились в основном крупными сериями, а проработка их ходовых качеств выполнялась на основе анализа результатов многочисленных модельных экспериментов. Как следствие, продуманность обводов корпуса и элементов движительно-рулевого комплекса судов советских проектов до сих пор является эталоном для специалистов.

В настоящее время модельные испытания в рамках проекта если и проводятся, то лишь для проверки достижения судом контрактных ходовых качеств. К сожалению, серии модельных испытаний с целью оптимизации геометрии судна сегодня практически не выполняются из-за сжатых сроков.

Выход из сложившейся ситуации специалисты DMT видят в выполнении необходимых

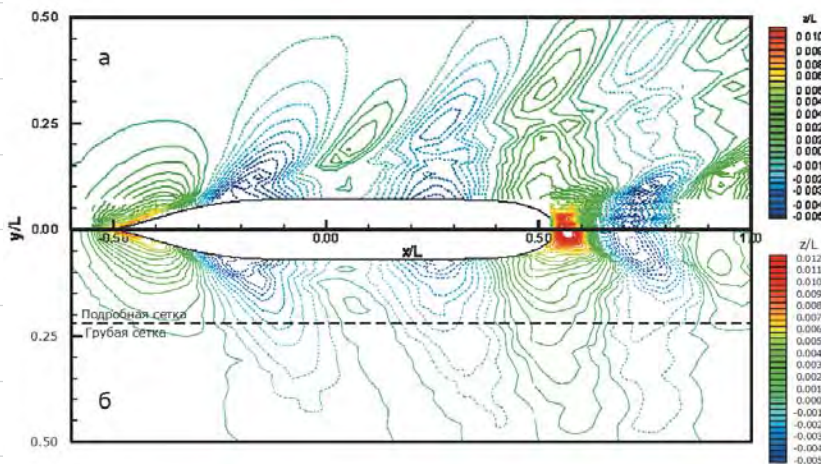


Рис. 2. Линии равных уровней свободной поверхности по данным:  
а — эксперимента при  $Fr = 0,26$ ,  $Re = 1,4e^7$ ;  
б — численного расчета при  $Fr = 0,26$ ,  $Re = 2,8e^9$

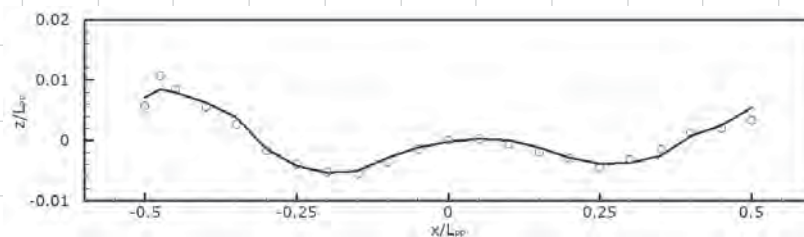


Рис. 3. Волновой профиль  
○ — эксперимент при  $Fr = 0,26$ ,  $Re = 1,4e^7$ ;  
— численный расчет при  $Fr = 0,26$ ,  $Re = 2,8e^9$

проработок на базе современных методов вычислительной гидродинамики. В этом случае можно получать не только величину сопротивления, но и картины распределения физических величин в потоке и по поверхности корпуса (рис. 4), что способствует более быстрому

поиску эффективных путей улучшения гидродинамических качеств, что влияет на качество и быстроту выполнения работ. В результате удалось сократить время разработки теоретического чертежа до 20 календарных дней, по истечении которых были получены и переда-

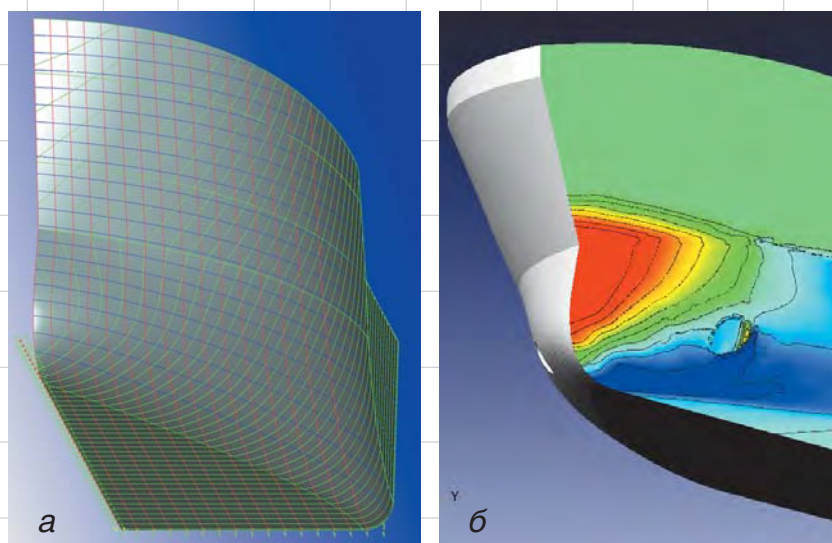


Рис. 4. Носовая оконечность судна:  
а — модель теоретической поверхности (T-Flex CAD);  
б — распределение динамического давления (FlowVision)



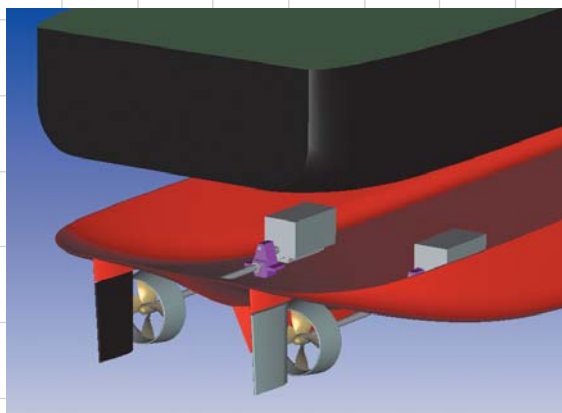


Рис. 5. Трехмерная модель компоновки движительно-рулевого комплекса (T-FLEX CAD) и самоходная модель судна ограниченного плавания, выполненная ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова

ны в распоряжение генерального проектанта форма корпуса с учетом ее гидродинамической оптимизации, согласованная конфигурация выступающих частей и элементов движительно-рулевого комплекса, расчетные данные о буксировочном сопротивлении судна в интересующем диапазоне скоростей и прогноз скорости хода. В дальнейшем эти данные были уточнены и использованы для прогнозных расчетов ходовых качеств судна в балласте и грузу.

На последующих этапах разработки проекта в большом опытном бассейне ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова под руководством проф. Г.И.Каневского были выполнены буксировочные и самоходные испытания модели судна с целью проверки проектных ре-

шений и определения ходовых качеств. На рис. 5 показаны трехмерная компьютерная модель компоновки пропульсивного комплекса, разработанная специалистами DMT с помощью T-FLEX CAD, и фотографии самоходной модели.

После завершения работ, связанных с проектированием ходовых качеств судна, весьма интересно было сопоставить результаты модельных испытаний и численных расчетов. Для основной гидродинамической характеристики корпуса — буксировочного сопротивления — сравнение приведено в таблице. В графе 1 таблицы указана скорость судна в узлах, в графе 2 — полное сопротивление судна по данным ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, в графе 3 — сопротивление по дан-

ным DMT. Из таблицы видно, что различия в результатах весьма незначительны и не превышают погрешностей эксперимента в современных гидродинамических лабораториях, оборудованных крупными бассейнами.

Для прогнозирования ходовых качеств судов, помимо точного

определения буксировочного сопротивления, необходимо также получить коэффициенты взаимодействия движителей и корпуса судна, спроектировать движители и получить их гидродинамические характеристики. Учет составляющих взаимодействия численными методами может быть осуществ-

Результаты модельных испытаний и численных расчетов буксировочного сопротивления

Vs, узл.	Полное сопротивление Rt, кН	
	ЦНИИ им. А.Н.Крылова	DMT
1	2	3
8,0	75,3	74,56
9,5	107,5	111,04
10,5	137,2	138,94
11,5	179,2	177,03
12,5	234,3	234,84

НОВОСТИ

**Autodesk сообщает**

2 ноября в представительстве Autodesk в странах СНГ и России пополнение: к работе приступил директор направления «Машиностроение» Павел Брук. Команда Autodesk в СНГ стала еще сильнее. С его приходом компания Autodesk рассчитывает серьезно повысить успешность и прибыльность бизнеса партнеров по машиностроению, увеличить объем продаж и долю Autodesk на рынке машиностроения в странах СНГ. Опыт, знания и настрой на победу г-на Брука являются гарантией будущего успеха. Его компетенцией станет укрепление и развитие партнерской сети Autodesk в области решений для машиностроения и поддержка партнеров по продажам решений Autodesk ключевым заказчикам в этой области.

Павел Брук — выпускник факультета «Проектирование летательных аппаратов» Московского авиационного института. У него десятилетний опыт работы в области продвижения и продаж систем CAD/CAM/CAE, управления проектами и жизненным циклом продуктов. На протяжении десяти лет г-н Брук работал в компании UGS: сначала в качестве старшего инженера, затем менеджера по продуктам, потом директора направления PLM и, наконец, директора по продажам PLM-решений. Кроме развития продаж, он занимался и конкретными проектами по машиностроению в России и Европе. Павел пришел в Autodesk из компании Intel, в которой он отвечал за развитие бизнеса программных средств на развивающихся рынках Европы, Ближнего Востока и Африки.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ



ВНЕДРЕНИЕ  
СОПРОВОЖДЕНИЕ  
КОНСАЛТИНГ

АКУСТИКА

ПРОЧНОСТЬ

АЭРОДИНАМИКА

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ  
ДАВЛЕНИЕМ

127083, Москва, ул. Юннатов 18, оф. 701-708  
Тел/факс: (095) 612-44-22, 612-42-62  
www.tesis.com.ru info@tesis.com.ru

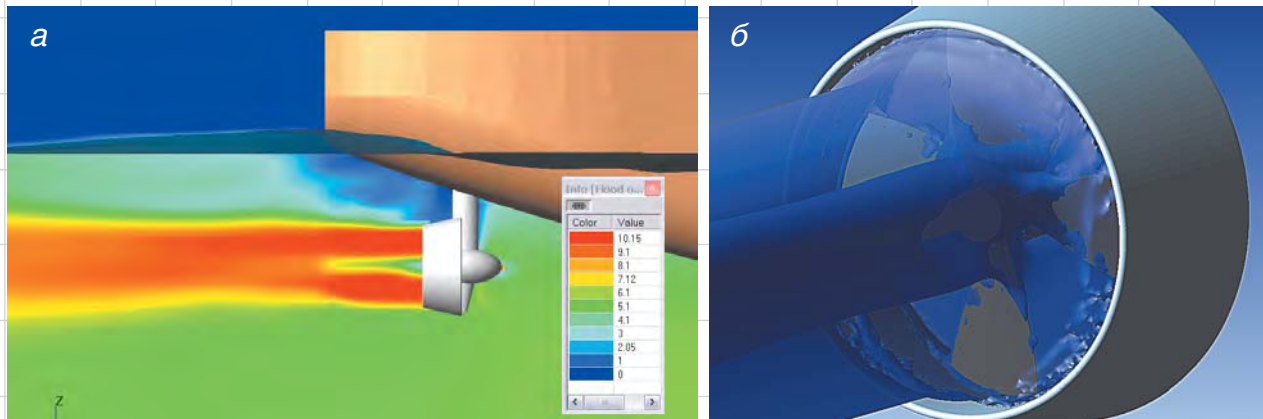


Рис. 6. Моделирование взаимодействия судовых движителей с корпусом судна численными методами: а — упрощенная модель ГВ в насадке; б — точная модель

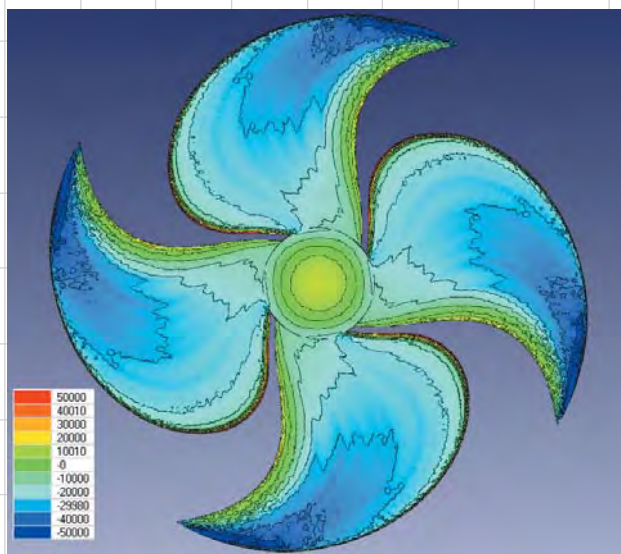


Рис. 7. Распределение давления по поверхности гребного винта М4-75 при относительной поступи 0,7 (FlowVision)

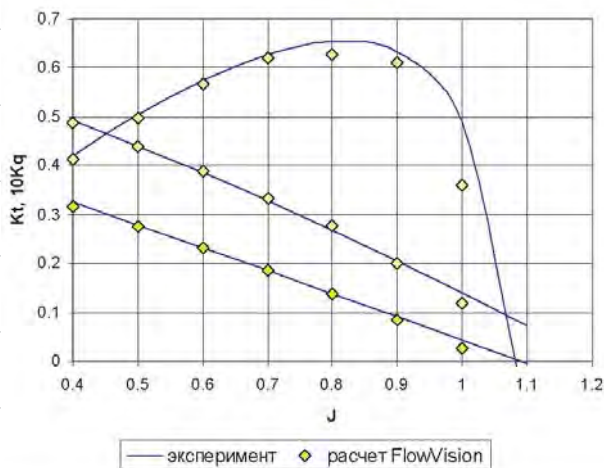


Рис. 8. Сопоставление кривых действия гребного винта М4-75, полученных путем расчета и эксперимента

лен с помощью FlowVision путем совместного расчета обтекания корпуса потоком, обусловленным его буксировкой, и потоком, обусловленным работой движителя, который создается с помощью уп-

рощенной (рис. 6а) или точной (рис. 6б) модели последнего. Такая методика очень близка к самоходным испытаниям «в жесткой заправке». Засасывающая сила определяется при этом непосредствен-

но как часть сопротивления судна. Применение методики сопровождается значительными сложностями постановки расчетов, но предоставляет подробную информацию о физических особенностях взаимодействия элементов пропульсивной системы, которая очень полезна для их оптимизации.

Проектирование движителей, в частности судовых гребных винтов, также может быть осуществлено с помощью методов, аналогичных тем, что применяются в DMT для проектирования корпусов. Точность результатов определения гидродинамических характеристик подтверждается вы-

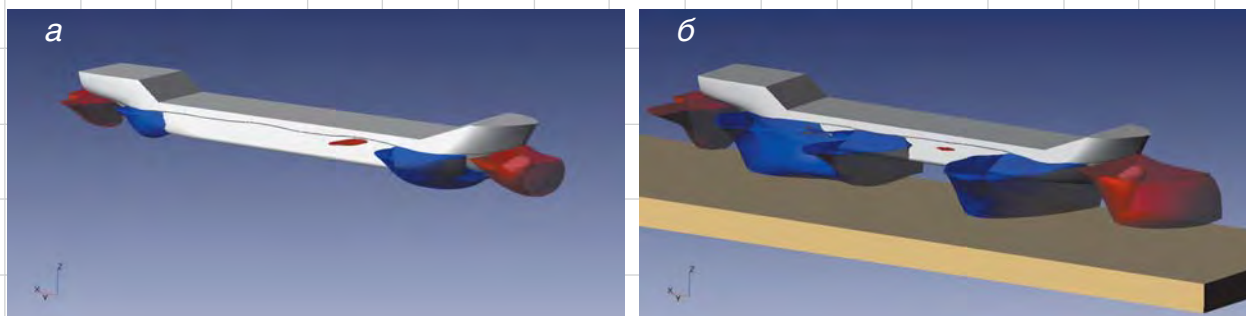


Рис. 9. Изоповерхность динамического давления 2500 Па (синим цветом показано отрицательное давление, красным — положительное): а — глубокая вода  $H/T = \infty$ ; б — мелководье  $H/T = 2$

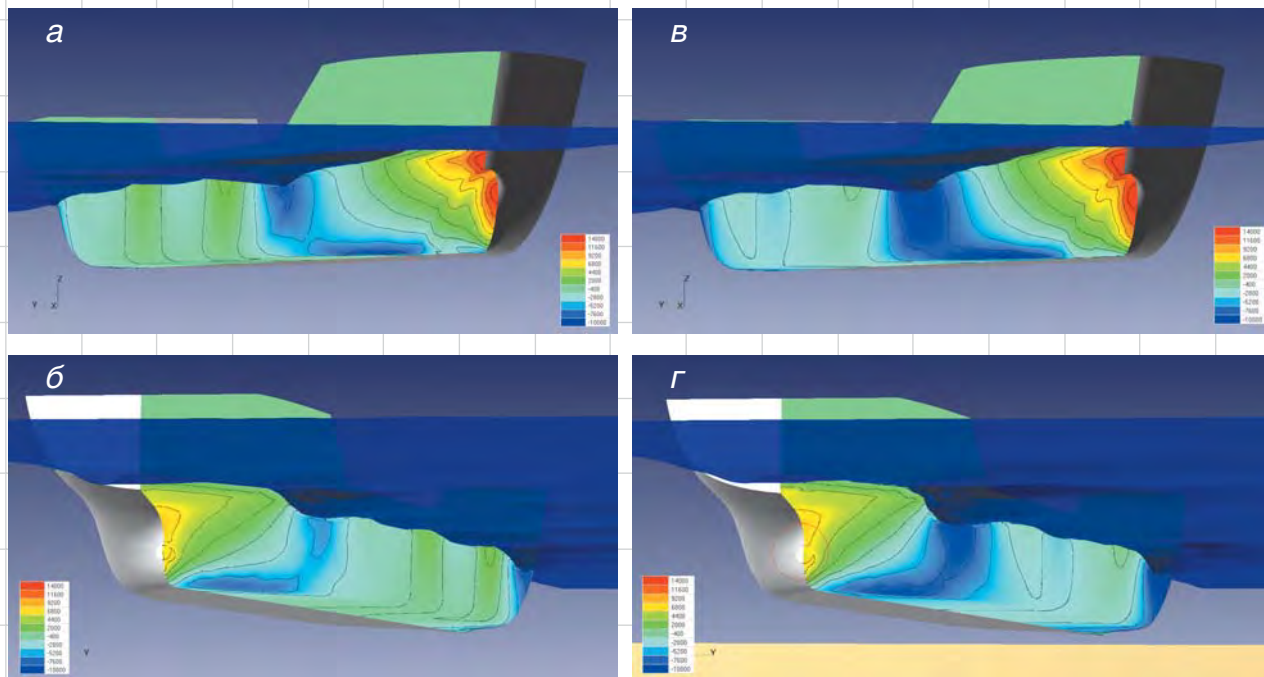


Рис. 10. Распределение динамического давления по корпусу судна:  
а, б — глубокая вода  $H/T = \infty$ ; в, г — мелководье  $H/T = 2$

полненными тестовыми расчетами. В качестве примера может служить расчет гребного винта серии М4-75, испытания которого были в свое время выполнены и тщательно выверены в кавитационных трубах ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. Распределение давления по поверхности гребного винта, полученное по результатам расчета при относительной поступи 0,7, представлено на рис. 7. Сопоставление результатов расчетов FlowVision и эксперимен-

та представлено на рис. 8, где построены безразмерные кривые действия гребного винта.

Из приведенных примеров специалист по гидродинамике судна может сделать вывод, что при тщательно разработанной методологии основные задачи ходкости сегодня можно решать с помощью реализованных в мощном комплексе гидродинамического анализа численных методов, точность которых можно считать вполне удовлетворительной для прак-

тических целей. По мере развития численных методик и компьютерной техники, видимо, появится возможность решать и более сложные задачи, включающие нестационарные явления, что необходимо в практической гидродинамике судна. Метод решения одной из таких задач — моделирования движения судна на мелководье — разработан специалистами DMT, и уже получены результаты численных расчетов (рис. 9 и 10). ▶

НОВОСТИ

**Использование PLM- и ERP-решений на единой платформе на Торжокском вагоностроительном заводе**

На Торжокском вагоностроительном заводе (ОАО «ТорВЗ») внедрена система управления инженерными данными Arrius-PDM на платформе «1С:Предприятие 8.0». Эта конфигурация дополнила систему «1С:Управление производственным предприятием 8.0» в области конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Таким образом, осуществлена комплексная автоматизация машиностроительного предприятия на единой платформе, включающей контуры КТПП, управления и учета. Благодаря этому достигнуты улучшение качества изделия, сокращение затрат на его создание и ускорение запуска в серийное производство как новых видов изделия, так и модификаций уже имеющихся.

Завод создан в 1916 году — это одно из крупнейших предприятий г.Торжка Тверской области. ОАО «ТорВЗ» изготавливает преимущественно вагоны электропоездов, численность работающих — 1150 человек. На предприятии используются гибкие технологические процессы, позволяющие в короткие сроки готовить производство под выпуск новой техники, переходить с одной базовой модели на другую.

Для управления деятельностью предприятия и учета финансово-хозяйственной деятельности используется система «1С:Управление производственным предприятием» на платформе «1С:Предприятие 8.0».

Руководство предприятия, понимая всю важность не только первого запуска системы ERP, но и ее дальнейшей правильной работы, сосредоточило свои усилия на объединении конструктор-

ских и технологов в общую информационную систему. Ведь точность работы ERP-системы зависит от точности первичных данных, которые как раз и формируются на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

Перед службой ИТ была поставлена задача перехода к системе согласованной разработки и изготовления изделий между конструкторскими, технологическими, плановыми и производственными службами. Система должна функционировать в рамках единой среды управления проектом, версиями, данными и документацией по изделиям. Для решения данной задачи в среде «1С:Предприятие 8.0» и внедрена система управления инженерными данными Arrius-PDM, разработанная компанией APPIUS.

При управлении технологическими данными хранение этих данных в Arrius-PDM изначально предполагает максимальную типизацию технологических процессов, причем не только описанную в государственном стандарте, но и позволяющую создавать обобщенные укрупненные технологические процессы, что, безусловно, важно в изделиях, для которых подробное описание технологии изготовления не требуется.

Комплексная автоматизация предприятия позволяет улучшить качество изделия, сократить затраты на его создание и ускорить запуск в серийное производство как новых видов изделия, так и модификаций уже имеющихся. В конфигурации «1С:Управление производственным предприятием» в автоматизированном режиме формируются технологические маршруты изготовления деталей и изделий.