

# Виртуальное и материальное цифровое производство – будущее судостроительной отрасли

В последние десять лет в мировой судостроительной индустрии исключительно интенсивными темпами развивались технологии проектирования судов. Одна из самых перспективных тенденций в этой области – широкое внедрение цифровых методов создания проекта, хранения и передачи структурированной цифровой информации на всех этапах жизненного цикла корабля. Новые продукты для автоматизации проектировочного процесса завоевывают рынок и симпатии проектировщиков и конструкторов, в ближайшее время могут быть разработаны абсолютно новые типы судов, основанные на новых приемах, системах и способах проектирования.

При формировании конкретной стратегии информатизации производства необходимо искать баланс между очевидной выгодой от внедрения новых технологий и затратами, которые неизбежны на протяжении всего жизненного цикла. В этом может помочь технико-экономический подход к проектированию. Попытка описать сущность инновационных приемов в проектировании судов и управлении проектами, доступных на сегодняшний день, является задачей данной статьи.

## Виртуальное производство

В настоящее время при проектировании судна выпускается большое количество различных типов документов, но в основном без какого-либо моделирования основных функций судна, например перевозки грузов, распределения пассажиропотоков, процесса технического обслуживания, моделирования безопасных условий плавания и т.п. С каждым новым этапом создания судна в процесс включаются новые группы людей, поэтому возникает проблема эффективной координации их действий. На этапе строительства после разработки РКД начинается подготовка производства, включающая не только планирование работ собственно верфи, но также деятельность многочисленных подрядчиков, субподрядчиков и поставщиков.

Не существует общих для всех инструментов и методов, которые могли бы быть использованы на различных стадиях проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства. Даже в рамках одного этапа множество различных задач решаются без какой-либо связи и координации между собой, в результате

чего возникает большое количество проблем, требующих времени на их устранение, а также материально-технических вложений, приводящим к необоснованным экономическим потерям.

Существует ограниченное число программных продуктов, применяемых на верфях и в проектных КБ судостроительной отрасли. При этом при проектировании различных составляющих корабля, которое осуществляется в разных компаниях, используются разные системы, слабо интегрированные между собой, в результате чего отсутствует единая модель создаваемого продукта. Координация разрозненных усилий занимает много времени и часто бывает малоэффективной, в большинстве случаев реальное продуктивное взаимодействие возможно только на этапе строительства. Как правило, многочисленные ошибки, заложенные на ранних стадиях проектирования, исправляются ценой весьма затратных решений.

Существует ли выход из этого положения? Попробуем ответить на этот вопрос.

## Трехмерное компьютерное моделирование – первый этап виртуального производства

Первый и, наверное, главный инструмент для этого – 3D-моделирование судна (или создание “электронной модели изделия” в терминах ГОСТ 2.052-2006).

Реальная практика в настоящее время на большинстве предприятий такова, что трехмерные компьютерные модели выполняются в основном все еще для выпуска рабочих чертежей. Большая часть моделей, а также техника моделирования являются специфическими для проектирования конструкций корпуса и проектирования систем (3D-прокладка труб, вентиляционных воздуховодов и магистральных кабелей).

Модели судов с полным насыщением еще достаточно редки. К большому сожалению, технология компьютерного 3D-моделирования практически не используется на стадии проектирования корабля. Хотя совершенно очевидно, что 3D-моделирование должно использоваться в соответствии с реальной технологией проектирования, начиная еще с фазы аванпроекта (эскизного проекта), а лучше еще до подписания контракта на проектирование и постройку. Та же самая модель затем должна быть расширена до масштаба реального корабля при выпуске техпроекта (класспроекта), использоваться в процессе вы-

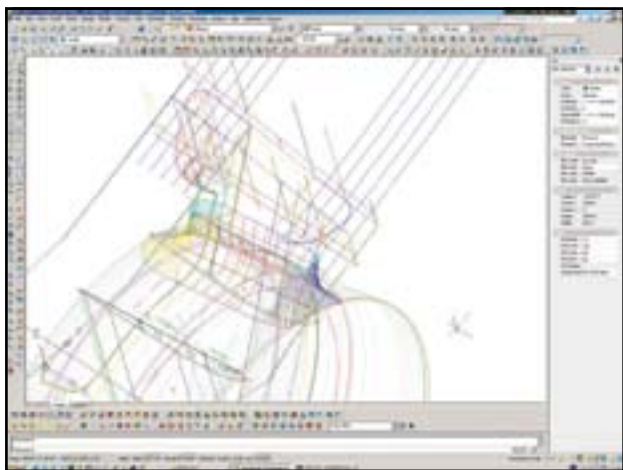


Рис. 1. Первая каркасная модель насадки для винта траулера проекта 50010 (выполнена в 1995 году средствами AutoCAD и AutoCAD Mechanical Desktop)

пуска рабочей конструкторской документации, а затем на заводе-строителе на всех этапах – от конструкторско-технологической проработки производства, строительства и далее на швартовых и ходовых испытаниях.

### Разработка проекта с моделированием виртуальной реальности

В настоящее время предприятиями судостроительной отрасли (не только верфями, но также судоходными компаниями и поставщиками оборудования) изыскиваются возможности повышения эффективности процессов строительства новых судов. Корабелы сосредоточены на поиске внутренних резервов и способов снижения издержек, а также желают применять в своей работе более современные технологии, процессы и инструменты.

Широкое использование консультантов, субподрядчиков и поставщиков – обычное дело в судостроении (чаще пока, конечно, в зарубежном), но это непростой путь. Для заказчика (строителя, судовладельца) определение облика судна на ранней стадии становится очень важным фактором. Типовых документов контракта может быть достаточно для верфи, но когда основные системы и помещения судна отданы “на откуп” подрядчикам, полное и адекватное формирование облика судна на самой ранней стадии становится жизненно необходимой, почти критической задачей. На более поздней стадии строительства координация между группами

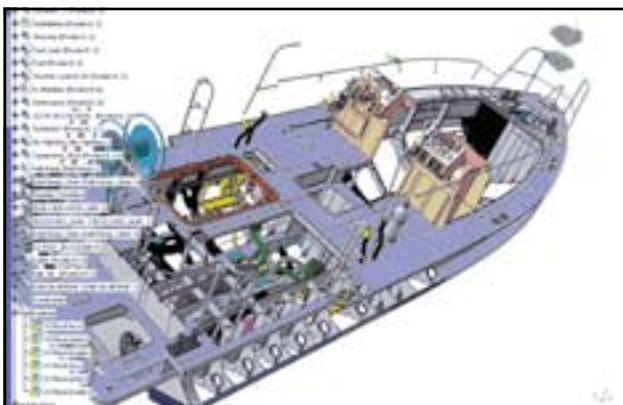


Рис. 2. Установка пультов управления (модель подрядчика “Полар сервис”) в основную модель катера проекта 21770

может быть менее жесткой и затрагивать в основном вопросы соблюдения графика строительства.

Чтобы можно было использовать единую модель судна в процессе разработки, эта модель должна содержать всю необходимую информацию. Фактор времени в общем процессе также играет существенную роль и должен быть включен в качестве одного из элементов в создаваемую модель. То есть сегодня мы должны говорить о виртуальных моделях судов и кораблей в четырехмерном пространстве, где четвертым измерением является время жизненного цикла этих сложнейших изделий. Таким образом, мы приходим к концепции 4D-модели продукта (концепция принадлежит финской компании DeltaMarin). Идею введения 4D-модели надо реализовывать на как можно более ранней стадии, чтобы управление всеми задачами на этапах проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и утилизации сводилось к предсказуемым и понятным для всех участников действиям.

### Реализация идей виртуального производства на предприятии ОАО “ЦС “Звездочка”

Первые 3D-модели отдельных элементов судов на предприятии были подготовлены отделом главного конструктора в 1995 году при конструкторско-технологической подготовке производства проекта 50010 – морозильного траулера (проект ЦКБ “Шхуна”) (рис. 1).

Собственно цифровое производство на предприятии началось с применения машин тепловой резки (МТР) “Кристалл” с ЧПУ (в 1978 году), которое требовало от инженеров предприятия преобразования бумажных чертежей, получаемых от КБ (в то время чертежи передавались предприятию только в бумажном виде), в электронные образы деталей в форме плоских замкнутых полилиний формата .dxf. Кроме того, от инженеров требовались данные по изготовлению каркасов и шаблонов для контроля за гибкой судовых листов. Вот тут-то и понадобилась трехмерная модель.

Долгое время (с 1994 по 2002 год) на предприятии основными средствами проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства были пакеты AutoCAD и AutoCAD Mechanical Desktop, и только с 2003 года официально “в бой вступила” САПР CATIA (разработчик Dassault Systemes). Примеры моделирования судов в САПР CATIA приведены на рис. 2, 3.

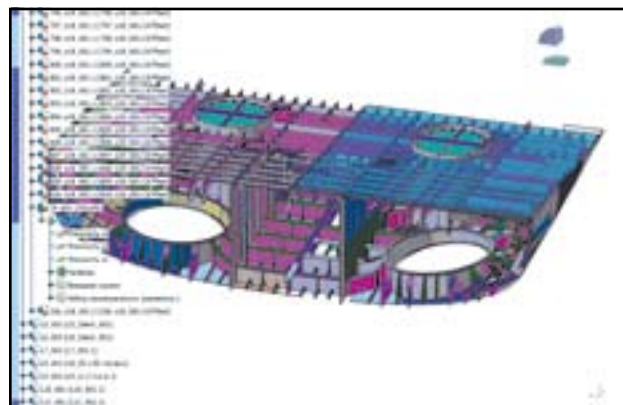


Рис. 3. 3D-модель кормовой секции морского транспортного судна

В силу объективных причин задачи проектирования и изготовления изделий судостроения не могут быть решены средствами какой-либо отдельно взятой САПР. Поэтому весьма актуальным, на наш взгляд, является вопрос взаимодействия специализированных систем разного уровня (автор принципиально придерживается идеи гетерогенных САПР).

Несмотря на огромные возможности САПР CATIA в 2004 году, готовясь запустить в производство стометровое судно (проект 20180 ЦКБ "Алмаз"), наше предприятие приобрело и освоило программный комплекс ShipModel (ПК SM) (разработчик Ю. И. Платонов, компания CSoft – Бюро ESG). Основное назначение ПК SM – моделировать и обрабатывать конструкции судов. Под обработкой в данном случае понимается формирование данных (чертежей, технологических документов и т.п.), необходимых для изготовления судна. ПК SM дает возможность пользователю оперативно формировать теоретическую 3D-модель с помощью методов, традиционно используемых в судостроении (с применением судостроительных терминов и понятий). Особенно эффективно проектирование моделей – выступающих частей, обтекателей, якорных клюзов, литых кронштейнов и других корпусных конструкций и изделий машиностроительной части. Интерфейсные возможности ПК SM обеспечивают передачу моделей, разработанных средствами других систем (например CATIA), и их преобразование в нужный для последующего конструирования вид. Разработка конструкторской документации в этом случае производится уже на основе структурированных теоретических 3D-моделей, что положительно влияет на скорость и качество конструкторской проработки.

На сегодняшний день с помощью ПК SM, без какой-либо адаптации продукта, в проектно-конструкторских подразделениях, занимающихся проектированием и изготовлением корпуса, решаются следующие задачи:

- ▶ 3D-моделирование отдельных корпусных конструкций сложной геометрии (выступающих частей, обтекателей и т.п.);
- ▶ трассировка пазов, стыков, линий притыкания – палуб, платформ, набора и т.п.;
- ▶ проверка возможности размещения деталей листового проката в габариты заказанного материала;
- ▶ раскладка пластин резинового покрытия на наружной обшивке;
- ▶ разработка основных конструктивных сечений;
- ▶ разработка сопутствующей проектно-конструкторской документации (чертежей "Практический корпус", "Растяжка наружной обшивки (НО)" и т.п.).

Решение перечисленных задач значительно упрощает процедуру передачи 3D-моделей и проектно-конструкторской документации заказчику.

Реализация этих задач базовыми средствами САПР CATIA затруднена по следующим причинам:

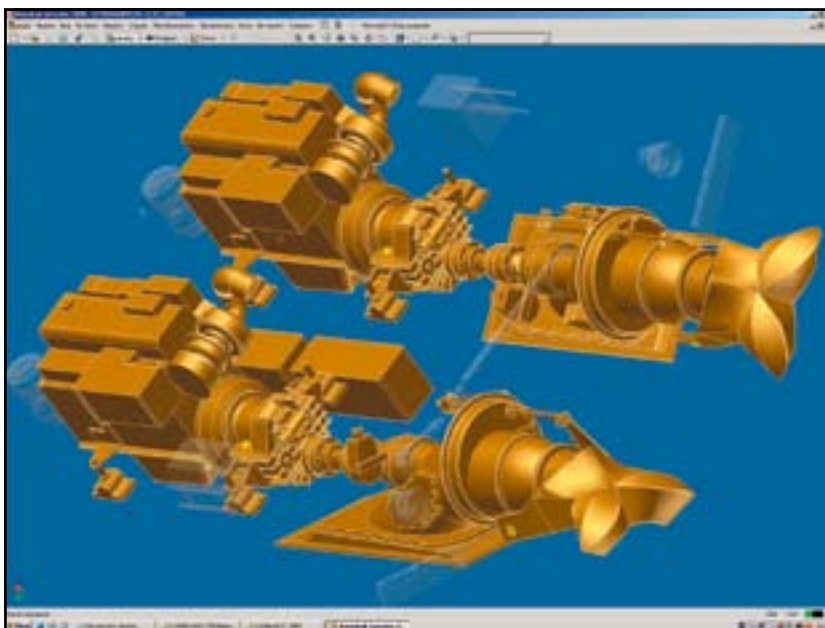


Рис. 4. Виртуальная проверка возможности монтажа ГД с водометом

- ▶ в CATIA отсутствуют программные средства работы с растяжкой НО, что вызывает "дискомфорт" у пользователя, привыкшего к традиционным методам проектирования НО;

- ▶ процедуры формирования развертки фрагментов НО и прямого/обратного отображения в CATIA достаточно сложны. Проектирование НО базируется на каркасных моделях, в то время как методология моделирования CATIA ориентирована на работу с твердотельными и поверхностными моделями (каркасные модели CATIA структурированы в меньшей степени).

Таким образом, применение программных средств ПК SM совместно с CATIA на предприятии явилось оптимальным решением.

К слову сказать, продукты компании Autodesk исправно служат предприятию в виде AutoCAD и Autodesk Inventor 2009 и по сей день (рис. 4).

На предприятии (как и на большинстве верфей и КБ России) трехмерные модели используются пока только для выпуска рабочих чертежей. Большая часть моделей строится на этапе проектирования конструкций корпуса и частично при проектировании систем (3D-прокладка труб, вентиляционных воздуховодов), хотя специалисты

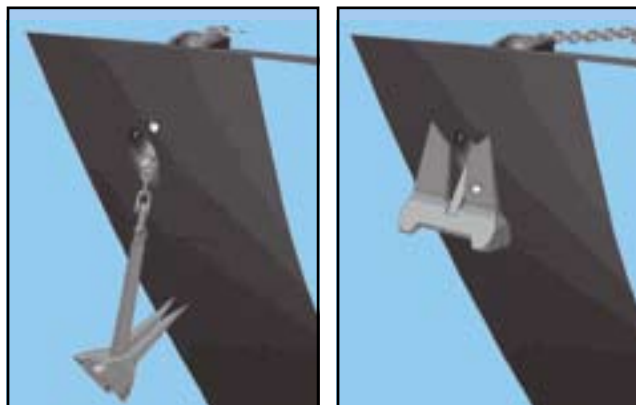


Рис. 5. Динамическое моделирование процесса подъема якоря в САПР Autodesk Inventor Professional

предприятия и понимают, что основной задачей модели является визуализация дизайна интерьера судна и общественных помещений. Это позволит любому участнику совещаний по проекту наглядно представить различные специфические элементы, например расположение оборудования в машинном отделении, каналы вентиляции и т.п. Пример первой попытки использования САПР для моделирования динамических процессов на предприятии – динамическое моделирование подъема якоря на морском транспортном судне (рис. 5).

Исходя из опыта реализации идеи цифрового производства на предприятии и учетом опыта зарубежных компаний уже сегодня можно сделать некоторые выводы о преимуществах работы с цифровой моделью:

- ▶ количество требуемых человеко-часов для подготовки виртуальной модели не больше, чем для подготовки типовых чертежей общего расположения. При необходимости чертежи могут быть получены прямо из 3D-модели;
- ▶ визуальное представление любой новой конструкции корабля, помещения или расположения оборудования проще и эффективнее, чем при использовании чертежей, фотореалистических изображений или даже анимированных моделей;
- ▶ судно может быть спроецировано на экран в большом масштабе, что упрощает проведение презентаций и совещаний с заказчиком, руководством верфи, строителями, консультантами, субподрядчиками и пр.;
- ▶ возможен “облет” и “обход” виртуального судна (например с использованием стандартных модулей CATIA) с predetermined маршрутом и помещениями или в соответствии с ходом обсуждения на совещании. Одновременно могут отображаться различные варианты проекта;
- ▶ изменения в модели (например изменения цветов, освещения, мебели, так же как расположения конструкций, оборудования и пр.) могут производиться прямо во время совещания;
- ▶ в виртуальной модели может быть проверена функциональность помещений (проверка работы накатной палубы, исследование пассажиропотока или любого вида грузовых операций, моделирование спасательных операций, управления погрузкой-разгрузкой багажа, управления процессами на камбузе, операций по обслуживанию пассажиров и пр.) (рис. 6);
- ▶ модель также может быть связана с программой для виртуального моделирования навигации, с моделью любой гавани вместе с математическим описанием характеристик маневрирования судна;
- ▶ одна и та же модель корабля может использоваться для вычисления необходимых параметров проекта, напри-



Рис. 6. Моделирование на ранней стадии процесса обслуживания ТРК на понтоне-заправке

мер площадей, объемов, масс, центра тяжести, материалов и, конечно, цены;

- ▶ модели легко могут быть переданы по запросу подрядчикам и поставщикам, что позволит минимизировать издержки, связанные с подготовкой к подписанию контракта, а также на этапе строительства судна.

Подробная, хорошо определенная виртуальная модель корабля в качестве контрактного документа для постройки позволяет немедленно после подписания контракта начать координацию всех вовлеченных в проект организаций, собственно проектирование корабля и организацию снабжения и планирования.

Та же самая модель может быть использована для проектирования и в качестве основы для архитектурного дизайна, составления спецификации по запросу (или ее части), а также для разработки технологии постройки на верфи (рис. 7). Ее использо-

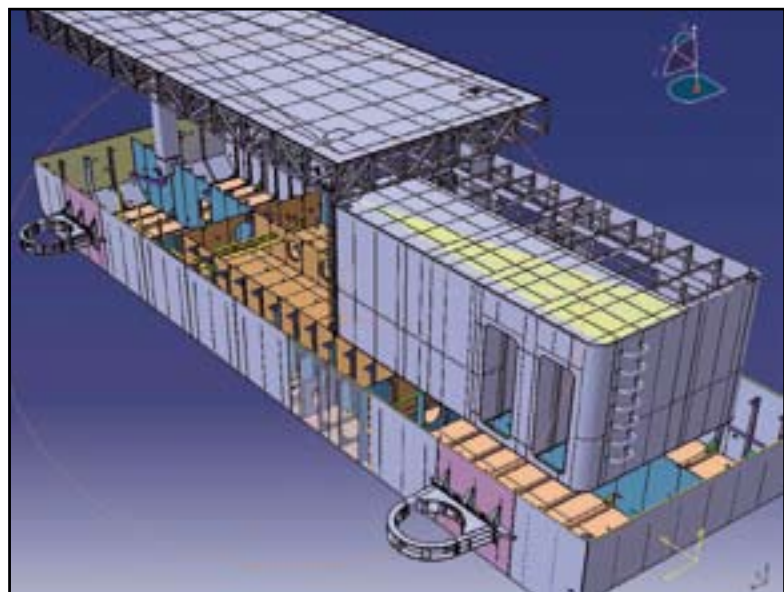


Рис. 7. Использование 3D-модели судна для определения последовательности объемной сборки судна (проект: стоечное судно – понтон-заправка)

вание уменьшает риск коррективы документации и снижает трудоемкость, экономит материальные ресурсы и время реализации проекта.

Класспроект (техпроект) корабля может быть выполнен в той же модели с учетом требований классификационного общества к конструкции корпуса корабля. В модели создаются принципиальные схемы систем, включая характеристики систем и оборудования, а также производится необходимое резервирование места для каналов вентиляции, трубопроводов и кабельных трасс. После того как модель насыщена трубами систем корабля, каналами вентиляции, кабельными трассами и основным оборудованием, она служит основой для строительства корабля, планирования производства составных (сборочных) изделий и выпуска рабочей конструкторской документации.

### **Этап виртуального производства – моделирование технологических процессов**

Созданные виртуальные модели судов могут быть использованы в качестве основы для моделирования различных технологических процессов, таких как погрузка-разгрузка, спасательные операции и многие другие, необходимые при проектировании и строительстве различных типов судов и кораблей.

Первоначально желательно смоделировать верфь и технологию блочной сборки, далее стадию постройки судна в сухом доке и этап достройки и т.д. При этом можно проверить критические этапы, наличие рабочих площадей, материалопотоки и пр. (рис. 8).

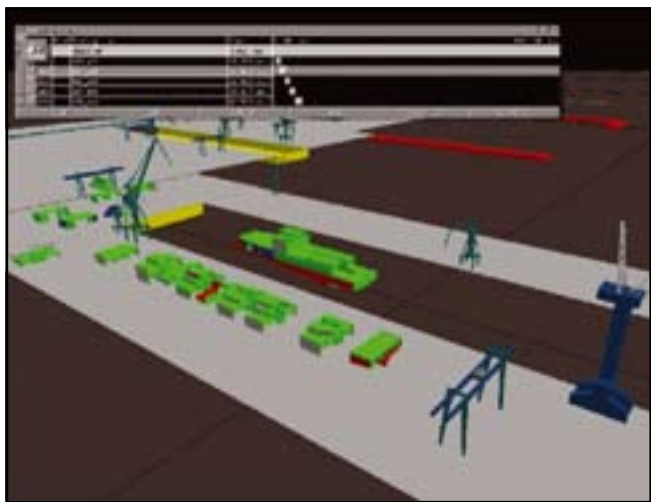


Рис. 8. Виртуальное моделирование верфи Hellenic Shipyards в Греции, выполненное компанией DeltaMarin средствами DELMIA

При проектировании нового судна очень важное значение имеет моделирование спасательных операций, план проведения которых должен быть разработан в соответствии с требованиями Международной Морской Организации (International Maritime Organisation, IMO) как минимум для процесса эвакуации пассажиров. В настоящее время стандартных инструментов для этого не существует. Однако созданная виртуальная модель судна делает возможным моделирование различных вариантов процесса эвакуации

пассажиров и определение связанных с этим процессом возможных проблем.

Полная виртуальная 4D-модель продукта, включающая конструкции, трубопроводы, каналы вентиляции, кабельные трассы и основные компоненты, на стадии основного проектирования разделяется на секции, блоки и строительные монтажные районы. Становится доступной виртуальная модель верфи со всеми производственными линиями, кранами, достроечными зонами и пр. (рис. 9). На основе этих моделей процесс постройки легко моделируется. Различные варианты решений могут быть показаны в прозрачном режиме. Все задействованные в общем проекте группы могут быстро понять процесс в целом и их собственный вклад в него. Достройки блоков, необходимое пространство для достройки, использование модульных конструкций и поставка "под ключ" (имеется ввиду передача изготовления части судна субподрядчику) может быть легко продемонстрирована.

### **Управление временными параметрами проекта**

Для успешного завершения проекта необходимо правильное управление, учитывающее затраты и график постройки на основе соглашений и технических спецификаций. Управление проектом имеет чрезвычайно важное значение. Недостаточно просто знать, где и почему были совершены ошибки, необходимо прогнозировать риски и проблемы, чтобы зарезервировать ресурсы для их устранения.

### **Затраты на управление проектом**

Отправной точкой для любой задачи управления проектом является определение количества времени, необходимого для успешной работы с полным проектом. Управление включает в себя работу управляющего проектом, его помощников, секретаря, а также проведение совещаний, необходимых для каждой специализации или задачи. Это большая часть полной работы по управлению, и не следует о ней забывать, если хотите сократить расходы в дальнейшем. В зависимости от объема работ, а также типа и размера судна количество времени на управление достаточно сильно различается.

### **Обеспечение качества**

Основой для эффективного управления проектом, так же как и для управления всей компанией, является система обеспечения качества, построенная на основе непрерывного процесса развития. Управление проектом на базе управления качеством начинается с действий высшего руководства компании, которое принимает на себя конкретные обязательства и тем самым демонстрирует, что забота о качестве является реальным инструментом управления.

### **Система хранения данных**

При разработке проекта создаются тысячи документов, содержащих огромное количество данных и

требующих времени для их поиска. Некоторые документы существуют только в электронном виде, другие – в виде бумажных копий. Для управления таким объемом разнородной информации необходима соответствующая система хранения данных, в качестве которой целесообразно использовать систему электронного технического документооборота.

Рекомендуется на ранней стадии определять возможные риски и потенциальные проблемы, которые могут возникнуть при разработке нового проекта, такие как новые правила и их интерпретация, пропущенные или задержанные данные, длительное время обратной связи, нехватка необходимых ресурсов, новые технические решения и конфигурации, отсутствие оборудования и пр. Возможные действия по устранению проблем должны быть продуманы заранее.

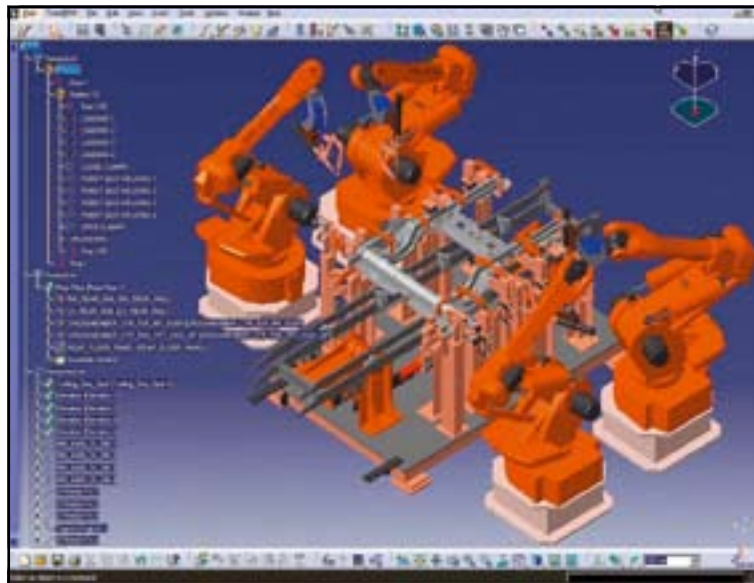


Рис. 9. Пример моделирования сборочной линии (иллюстрация Dassault Systemes)

## Материальное цифровое производство

Ниже приведен неполный перечень работ верфи с использованием данных электронной модели изделия (разумеется, на верфи должны быть станки с ЧПУ, на которые можно передавать цифровые данные):

- ▶ получение цифровой информации по описанию геометрии составных деталей корпуса для их производства на машинах тепловой резки (МТР) с ЧПУ;
- ▶ использование цифровой информации по описанию геометрии обводов корпуса судна для передачи ее в ЧПУ листогибочного пресса и сварочного автомата;
- ▶ использование трубогибочных станков с ЧПУ для производства гнутых труб, выполненных на основе 3D-модели пространственной прокладки труб систем судна;
- ▶ выполнение достроечных работ (раскрой резины, листов изоляции, изготовление зашивок, мебели и пр.);
- ▶ выполнение демонтажно-монтажных работ при замене оборудования или при ремонте судна (проверка на ремонтпригодность);
- ▶ изготовление построечной и ремонтной оснастки;
- ▶ выпуск отчетной документации;
- ▶ проверка на безопасность условий работы с механизмами и устройствами;
- ▶ подготовка сдаточной команды на период ходовых и швартовных испытаний судна;
- ▶ создание технологии строительства судна, как в целом, так и для отдельных частей (размещение производства судна на конкретных строительных площадках верфи);
- ▶ участие в тендерах, демонстрация преимуществ верфи потенциальному заказчику;
- ▶ замена материального (вещественного) макетирования на виртуальное, создание виртуальных

макетов для тренинга персонала верфи и персонала заказчика;

- ▶ организация перевода судна с твердого основания на воду.

## Заключение

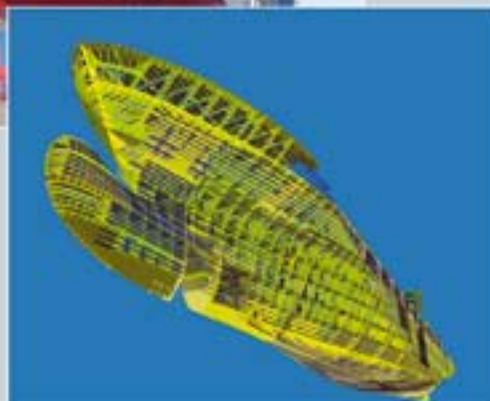
Современный качественный скачок в информационном развитии сравним с тем, что произошло в отрасли при переходе от черчения вручную к выполнению чертежей сначала в CAD-приложениях, а затем в 3D CAD-приложениях примерно 15-20 лет назад.

Из западной практики известно, что сегодня процесс проектирования пассажирского круизного судна занимает порядка 100 000 человеко-часов. В денежном эквиваленте это составляет порядка 5-10 миллионов долларов. Использование виртуальной модели продукта, начиная с первой стадии проектирования, приносит большую выгоду, учитывая, что на процесс проектирования приходится порядка 10 % полной стоимости постройки и что эффект сокращения расходов распространяется на весь процесс постройки, а не только на стадию проектирования.

При использовании технологии 4D-моделирования корабля общая экономия времени при постройке судна может составлять от двух до шести месяцев в зависимости от типа судна, верфи, заказчика и принятой технологии постройки.

Таким образом, виртуальная цифровая модель, управление временными факторами (технология управлением проектом) и материальное цифровое производство процесса создания корабля – это будущее судостроительной отрасли.

**А. Н. Давидович,**  
заместитель главного конструктора,  
ОАО "ЦС "Звездочка"



**Решения компании  
CSoft - Бюро ESG  
для судостроительной  
отрасли**

Разработчик проекта:  
Shanghai Design Associates, China  
Проект выполнен при помощи  
ShipConstructor

- ▶ **AutoCAD**
- ▶ **Autodesk Inventor**
- ▶ **Autodesk Alias Design**
- ▶ **ShipConstructor**
- ▶ **ShipModel**

Санкт-Петербург, ул. Белоостровская 28  
т. (812) 496-6929, ф. (812) 496-5272  
Email: [esg@csoft.spb.ru](mailto:esg@csoft.spb.ru)