РАННЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ТРЕХМЕРНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ И E-APPROVAL

Осенью 2004 г. верфь Odense Steel Shipyard Ltd. (OSS) и компания DNV Software (DNVS) начали совместный опытно-конструкторский проект с целью разработать эффективные решения для стадии начального проектирования, основанные на базовых технологиях системы трехмерного проектирования IntelliShip™ компании Intergraph и систем компании DNVS. Эта новая система названа Nauticus Early Design (NED) и представляет собой сдвиг парадигмы в выполнении задачи раннего проектирования. NED обладает тесной интеграцией с системами анализа архитектуры корабля, проверки правил (регистра) и конечно-элементного анализа, с производством чертежей, управляемым правилами, и с передачей данных из модели в последующие системы рабочего проектирования. Эта система встроена в расширенный «Менеджер технологического процесса», дополненный хранилищем данных и соединенный с системой e-Approval. NED обеспечит значительное увеличение производительности и качества проектирования, начиная со стадии раннего проектирования.

Эта статья описывает деловое обоснование разработки системы, востребованные функции, а также краткосрочные и долгосрочные перспективы ее развития. Партнеры совместно разработали некоторые компоненты системы и тесно сотрудничали в течение работы над проектом, заранее понимая, что результат основан на истинных потребностях бизнеса и знании этой отрасли промышленности. В то же время, пристальное внимание было уделено тому, чтобы избежать создания точечного решения для одной конкретной верфи. Начиная с формулировки проекта, в него была заложена коммерческая доступность итогового программного продукта на открытом рынке. NED коммерчески доступен с июня 2005 г.

Введение. Сегодня доступно много эффективных средств, использующихся для проектирования судов, и многие из них основаны на информационных технологиях. Проектировщики судов часто имеют свои собственные излюбленные средства проектирования, и им бывает трудно объяснить, почему одни средства лучше других — они просто лучше. Проектирование судов по-прежнему является скорее искусством, чем наукой, и по-прежнему талант проектировщика является важным и определяющим фактором, отделяющим приемлемое от хорошего. Но любому таланту нужны соответствующие инструменты.

Развитие новых инструментальных средств для стадии раннего проектирования судов началось пару лет назад, когда конкретные проблемы систем проектирования столкнулись с новыми появившимися возможностями. IntelliShip — это система проектирования, основанная на правилах, и ее эффективность является прямым следствием способности пользователя автоматизировать процесс проектирования с помощью встроенных правил. Компания DNVS, которая в течение нескольких десятилетий поставляла программы автоматизации инженерного труда, основанные на правилах, считает технологии IntelliShip логическим шагом в предоставлении систем, основанных на знаниях и интеллекте. Поэтому, как только OSS собралась начать эксплуатацию IntelliShip в качестве своей новой системы трехмерного автоматизированного проектирования судов, и DNVS вместе с OSS включились в разработку IntelliShip, оказалось значительно быстрее совершить следующий логический шаг совместными усилиями. Так и было сделано, объединив некоторые из наиболее критичных систем, чтобы улучшить эффективность совместных операций, получив в результате совершенно новый, основанный на правилах программный продукт, — NED.

Деловое объяснение. В судостроении проектирование является очень важным этапом. Современное судно — сложнейшее сооружение, и невозможно назвать что-либо «самым важным» при обилии достаточно важных факторов. Однако следует признать, что в период проектирования отношение выполнения к стоимости может изменяться в большей степени, чем в любое другое время. Более того, часто возможно улучшить показатели и стоимости, и выполнения на одной и той же стадии оптимизации проекта. Судостроителям это хорошо известно, и именно поэтому для проектирования отводится так много времени и привлекаются наиболее квалифицированные кадры. Внедряя интеллектуальные средства и методы, мы стремимся к тому, чтобы достигнуть улучшенного выполнения проекта, сократить время оборачиваемости и повысить качество изделия.

То, что было реализовано в первой версии программы, оказалось далеким от того, что могло быть и должно было быть сделано. Разработка программы была основана на прагматизме, детальном обдумывании и пошаговом подходе, по-прежнему оставляя программу достаточно универсальной. Было важно убедиться в том, чтобы как можно

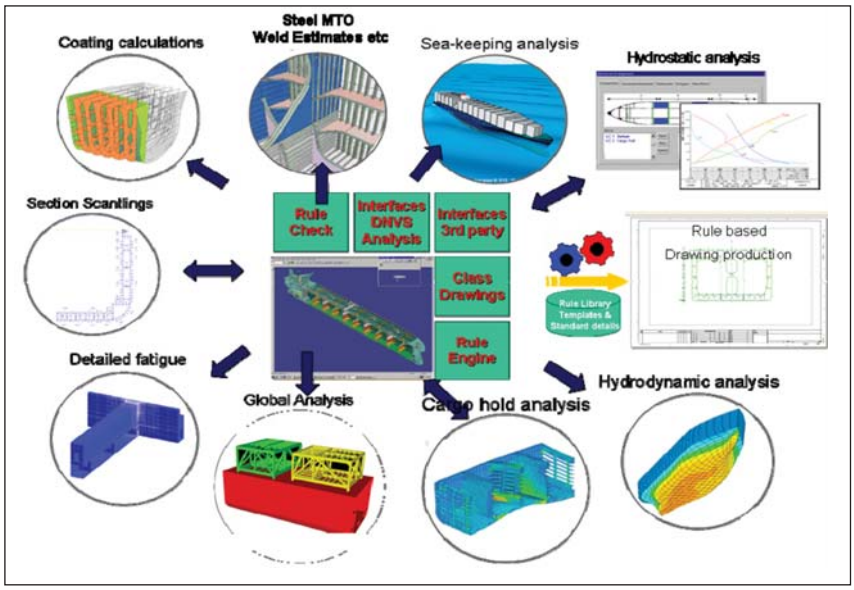

Рис. 1. **Общая модель для всех задач раннего проектирования**

больше приложений можно было надстроить на базе найденного решения. Внимание разработчиков было сфокусировано на том, что они считали идеальным процессом, в то же время допуская, что следование любой концепции требует таких простых вещей, как дисциплина. Это означает, что в систему, уже имеющую в своем ядре множество расширенных методов, вошли управление потоком заданий и списки заданий.

Поток заданий, средства и процесс. Мы помнили об общепринятых процедурах, цель которых — удовлетворить судостроение в целом. Судно могло быть танкером, контейнеровозом, фрегатом или кораблем любого хорошо известного типа.

Фундаментальными функциями являются: создание обводов корпуса, создание внутренних конструкций, разбивка на отсеки, проверка соответствия правилам регистра, оценка прочности, документирование проекта корпуса с помощью чертежей регистра.

Фундаментальный критерий системы состоит в том, что трехмерная модель должна быть универсальной, используемой для всех задач проектирования. Ограничения различных программных средств, доступных на сегодняшний день, заставляют проектировщика судна создавать и поддерживать множество разных моделей для разных целей: анализа прочности; гидростатического анализа; для проектной документации и генерации данных для станков с ЧПУ и т. д.

При работе с единой трехмерной моделью в ней будет накапливаться информация от всех стадий проектирования и в итоге она будет готова для обеспечения заключительной стадии — постройки. Процесс проектирования изменится таким образом, что единая модель будет обогащаться и усовершенствоваться на каждом шаге по пути к конечной модели для постройки судна.

Мы создали нашу систему так, что она использует или обеспечивает интеграцию с другими системами. Из наиболее важных можно упомянуть IntelliShip, Nauticus Hull, Napa, Tribon Initial Design и BRIX Workflow.

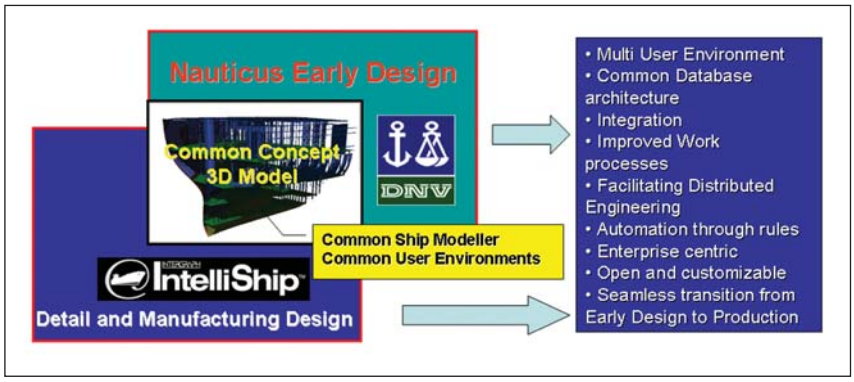

Рис. 2. **Распределение функций Nauticus Early Design и IntelliShip**

Решение. Одна общая концептуальная модель. Целью развития и фундаментальной концепцией в NED является использование одной общей концептуальной модели судна для всех задач раннего проектирования, начиная с создания геометрической модели, использования ее для проверки правил и оценки прочности, гидростатического анализа и анализа остойчивости, а также для других задач, связанных с архитектурой судна, упрощения выпуска чертежей для регистра на основании правил, получения отчетов по нагрузке судна и оценки стоимостных затрат.

Среда трехмерного моделирования системы NED. Система включает существенные и лицензированные компоненты из IntelliShip. Это означает, что концептуальную модель, построенную в NED, можно полностью использовать в системе IntelliShip на более поздних стадиях детального и заводского проектирования без каких-либо потерь данных, выигрывая тем самым от использования таких особенностей IntelliShip, как реальная многопользовательская среда, распределенное проектирование в сетях WAN (Wide Area Network), автоматизация проектирования с помощью улучшенных механизмов проверки правил и т. д. Этими компонентами являются: Common — средства общего назначения и просмотр приложений; Project Management — средства создания и управления проектом; Ref Data Management — управление справочниками; Reference Planes — средства для создания и управления плоскостями привязки; Molded Forms — моделирование теоретических поверхностей и системы конструкций; Compartmentation — моделирование отсеков; Planning — планирование постройки; Equipment Modelling — моделирование оборудования и мебели; Reporting — создание отчетов; Drawing Generation — создание и управление генерацией чертежей, эта функция расширена средой генерации чертежей для регистра.

IntelliShip является наиболее совершенным программным обеспечением для проектирования в судостроении из числа программ, предлагавшихся в течение последних 20 лет. Оно характеризуется централизованным хранением данных, управляется определенными правилами планирования процессов проектирования — это решение, сохраняю-

щее уже наработанные данные и повышающее эффективность их использования. IntelliShip, обеспечивая всеми необходимыми данными для проектирования и постройки судна, обладает всем, чтобы стать краеугольным камнем для проектирования, постройки и управления в судостроительной отрасли следующего поколения. Оно обеспечит судостроителей теми возможностями, которые нужны для того, чтобы достичь и удержаться на передовых рубежах в этой очень конкурентоспособной отрасли промышленности.

Ключевые функции. IntelliShip предлагает судостроителям конкурентоспособное преимущество, обеспечивая следующие ключевые функции: среда для параллельного проектирования по всем специализациям; беспрецедентная простота в использовании, дружественный к пользователю и оконный пользовательский интерфейс; сокращенные графики проектов; глобальная параллельная разработка; автоматизированные рисунки и отчеты; решения, интегрированные с другими программами компании Intergraph, приложениями DNVS и вашими собственными приложениями; управление использованием знаний, накапливание новых и уже существующих знаний о проектировании для того, чтобы его можно было сохранить и многократно использовать в будущем.

Compartmentation™ (деление на отсеки). Важной особенностью раннего проектирования является деление на отсеки, которое обуславливает множество таких функций, как задание комбинаций нагрузок, задание нагрузок для проверки прочности, исследования остойчивости (в том числе аварийной), протечек, определение опасных областей и зон безопасности и т. д. Предусмотрено два метода деления на отсеки, — группа ручных методов, которые включают ряд функций для того, чтобы определить салоны, и полностью автоматический метод.

Функции деления на отсеки в программе IntelliShip были разработаны в тесном сотрудничестве разработчиков компаний DNVS и Intergraph, определены и проверены вместе с пользователями различных специализаций на верфи OSS.

NED использует Compartmentation подобно тому, как это делается в Sections Scantlings и в системах конечно-элементного анализа. Как часть NED, IntelliShip может также получать данные по отсекам от систем гидростатического анализа других разработчиков, например таких, как NAPA.

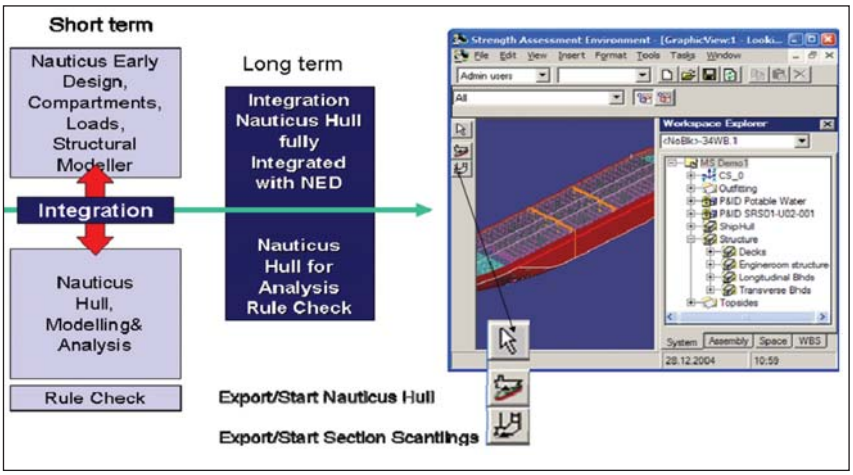

Рис. 3. **Развитие Nauticus Early Design, интеграция автоматизированного проектирования (CAD) и автоматизации инженерного труда (CAE)**

Развитие NED и интеграция с системами DNVS. Системы проверки прочности и проверки правил компании DNVS встроены в IntelliShip как отдельные пользовательские среды. Это означает, что пользователь получает доступ к требуемым функциям непосредственно через панели инструментов в среде моделирования IntelliShip.

Проверку правильности целей проектирования можно выполнить непосредственно из самой системы, где информационный поток лучше спланирован, а часть автоматизации инженерного труда упрощена.

Текущая версия NED (V5) имеет интерфейс с приложениями Nauticus Hull в обоих направлениях, при этом подразумевается, что необходимые идеализация и построение сетки, предшествующие анализу, выполняются в Nauticus Hull.

Следующие версии будут работать в более тесной увязке с моделью изделия, где CAE-модель будет истинным подмножеством CAD-модели. Подразумеваемые процессы идеализации, требующие преобразования трехмерной модели проекта для приведения ее в соответствие с CAE-моделью, вызванного значительным различием целей и поведения моделей, являются сложными, поскольку варианты конфигураций корпуса могут существенно варьироваться.

Привязка к специализированным средствам CAE/МКЭ анализа была слабой, часто требовала разных моделей для этой цели. Для того, чтобы модель анализа была способна извлечь выгоду из работы, вложенной в CAD-модель, следует применить несколько преобразований. Если при изготовлении деталей судна и при генерации чертежей особый упор делается на высокую степень детализации, то модель анализа наоборот должна иметь упрощенное представление данных, чтобы облегчить генерацию сетки для конечно-элементного анализа. Процесс идеализации (модели) являет-

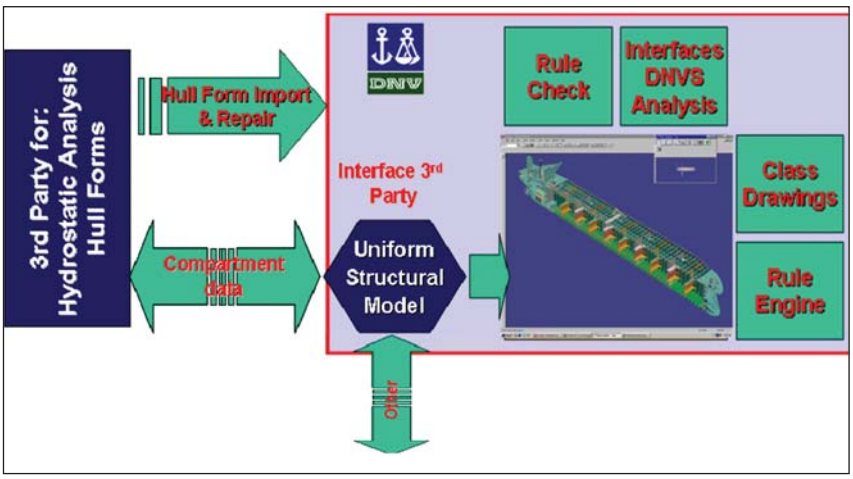

Рис. 4. **Взаимодействие Nauticus Early Design с системами сторонних разработчиков**

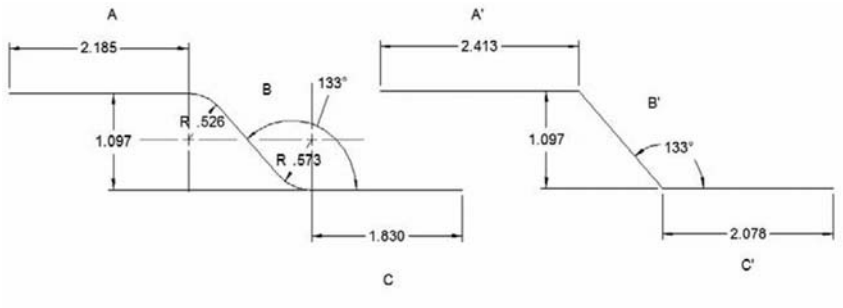

Рис. 5. **Переобозначение детали рифленой переборки**

ся полуавтоматическим с адекватной поддержкой для того, чтобы разгрузить пользователя.

Процесс идеализации основан на трех основных приемах, обеспечивающих преобразование трехмерной модели проекта в CAE-модель, а именно: *толерантная топология/толерантное сшивание* — замена элементов конструкции, которые с некоторым допуском следует огрубить для того, чтобы повлиять на качество модели анализа и гарантировать последовательную генерацию сетки (сшивание); технические швы — они вводятся в модель для того, чтобы обеспечить алгоритмы генерации сетки направляющими линиями; швы будут обычно применяться для уменьшения количества вогнутых поверхностей с целью улучшения качества всей сетки; *правила CAD/CAE и переобозначение* — используются для преобразований модели, которые превышают толерантный допуск топологии или требуют более частных изменений модели типа сдвига конструкций или удаления мелких деталей.

Идеализация связана не только с геометрией. Нагрузки и граничные условия непосредственно определяются в моделях конечно-элементного анализа, исходя из интеграции правил регистра, разбиения на отсеки, водоизмещения и нагрузок, определенных в концептуальной модели. NED можно интегрировать с программным обеспечением гидродинамических расчетов, которое вычислит нагрузки, исходя из концептуальной модели.

Взаимодействие с системами сторонних разработчиков. Возможность интеграции NED с главными участниками раннего проектирования, такими как проектировщики судна, эксперты регистров и по конечно-элементному анализу и другие, разительно отличает его от того, как сейчас происходит взаимодействие верфей и конструкторских бюро.

NED работает с системами других компаний для импорта обводов корпуса, систем гидростатического анализа и др. Даже если полная эффективность проектирования в IntelliShip будет достигнута на стадии детального проектирования, по мере необходимости будут сформированы интерфейсы к другим системам трехмерного автоматизированного проектирования. Поэтому одной из важных особенностей NED является однородная структурная модель (Uniform Structural Model — USM), формирующая эффективные средства импорта — экспорта на основе XML. Интерфейс из системы NAPA для определений отсеков основан на этой модели, отображается в собственную модель NAPA и использует стандарт ISO STEP AP216 в качестве главного источника для данных об атрибутах отсеков.

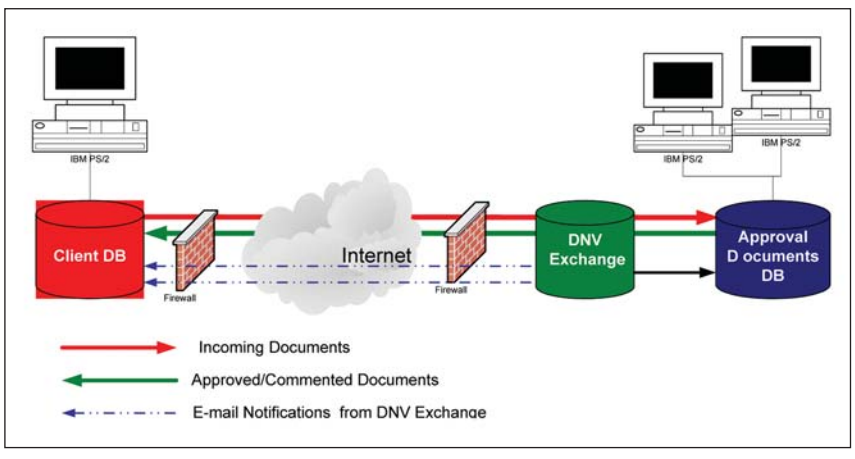

Рис. 6. **Конфигурация системы e-approval**

Применение правил. В настоящее время система проверки правил NED основана на правилах DNVS, но система продолжает развиваться для того, чтобы допустить встраивание и набор по правилам других регистрационных обществ. Это будет сделано путем расчленения части правил системы NED и создания специализированных механизмов правил и редакторов правил.

Система включает средства для создания библиотек правил. Редактор правил высокого уровня позволяет человеку, ответственному за их написание, сосредоточиться на деловой логике, содержащейся в этих правилах, вместо того, чтобы тратить время на выражение правил в специализированном языке программирования, подобном Visual Basic.

Правила хранятся в одной или нескольких базах, которые можно преобразовать в специализированный язык программирования с помощью (кодо-) генератора правил. Сгенерированный код можно скомпилировать в библиотеки правил, к которым будет обращаться NED. Среда правил также включает интерфейс IntelliShip для запроса необходимых данных.

Помимо участия в проверке информации регистрационного общества, механизм правил будет необходим для преобразований трехмерной концептуальной/детализированной CAD-модели в CAE-модель. Преобразования, которые превышают допуски толерантной топологии или требуют более конкретных изменений модели, таких как смещение конструкций или удаление подробностей, можно реализовать путем определения явных правил. Можно создать дополнительную (теневую) конструкцию, которая является смещением или преобразована из исходной. Переобозначения обычно используются в плоских деталях, когда соответствие между детальной заводской моделью и грубой проектной моделью можно определить в NED.

Преимущества для создания чертежей. Когда внутренние конструкции, такие как палубы, переборки и ребра жесткости, помещаются в трехмерную модель на этапе раннего проектирования, тогда детальные чертежи для регистра и планиро-

вания можно получить в начале этого процесса. Любые изменения, полученные от регистрационного общества или из других контролирующих организаций, можно тогда ввести заблаговременно, уменьшая тем самым воздействие на стоимость и график постройки.

При автоматизации получения чертежей из модели имеется также возможность автоматизированного создания таких элементов, как, например, подрезка концов профилей, вырезы в листах, кницы и др. Это значительно уменьшит трудоемкость разработки чертежей и позволит получить их для регистра значительно раньше, чем при использовании традиционных средств. Система основана на программе SmartSketch и технологии RAD 2D компании Intergraph, но также сможет сгенерировать файлы форматов AutoCAD и Microstation.

E-approval. Горы чертежей и документов медленно проходят все согласования. Это знакомая ситуация, с которой сталкиваются верфи, судовладельцы и операторы в течение планирования, проектирования и постройки судов и которая затягивает сроки сдачи судна. Следовательно, для эффективной работы служб нужны передовые информационные решения, поэтому DNVS и представляет e-approval.

Через защищенную службу сети DNV Exchange верфи и проектировщики могут пересылать и получать документацию по сети Интернет. С помощью e-approval чертежи, результаты расчетов и сопроводительные письма поступают на сервер DNV Exchange. Затем DNVS утвердит документацию электронным образом, сделает корректуру, поставит печати на чертежи и выгрузит утвержденную документацию обратно на DNV Exchange вместе с необходимым утверждением.

Передача конфиденциальной документации по незащищенным сетям создает угрозу. Поэтому, служба e-approval разработана в соответствии со стандартом высокой степени защиты. Доступ по имени пользователя и паролю, сетевые экраны, защищающие серверы, расположенные в защищенных областях, зашифрованная передача файлов и антивирусная защита — это лишь некоторые из средств, которые обеспечат конфиденциальность информации.

Предполагается, что использование e-approval принесет следующие выгоды: ускорение обмена информацией вызовет сокращение

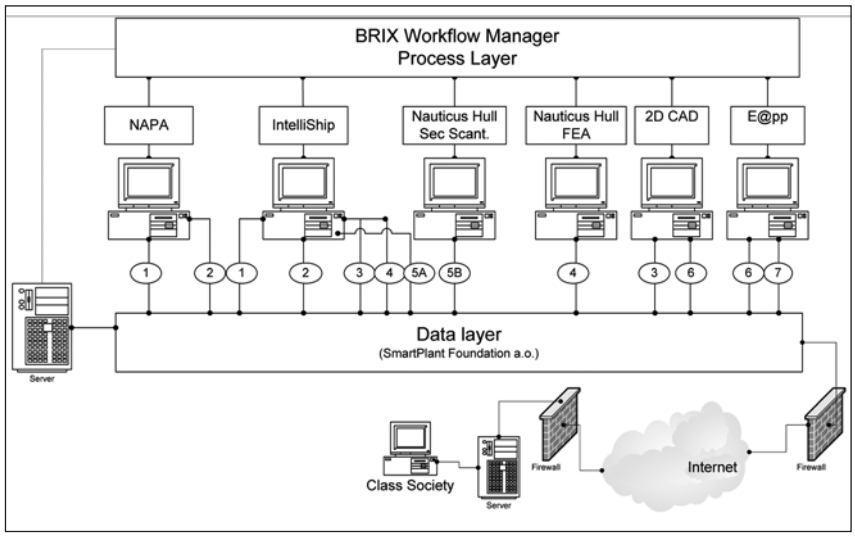

Рис. 7. **Конфигурация системы Nauticus Early Design**

времени проектирования; легкий доступ и просмотр документации; расходы на бумагу и пересылку почтой сведены практически к нулю; эффективная связь между DNVS и клиентом; параллельное рассмотрение и комментирование; электронная корректура; полное отслеживание истории конкретного документа.

Эти выгоды могут внести вклад в уменьшение времени доставки комплектующих и постройки судна. Пользователи будут иметь непрерывный доступ к состоянию документов и смогут получать утвержденную документацию. Это облегчит связь между различными участниками проекта и улучшит процесс планирования.

Система. Различные компоненты NED сконфигурированы в среде BRIX™ Workflow компании DNVS. Хранилище информации, в котором будет происходить обмен всеми данными, будет содержать историю развития реального проекта. В интересах верфи OSS этим хранилищем будет SmartPlant™ Foundation компании Intergraph.

Связь с регистрационными обществами будет осуществляться службами e-approval, используя в первую очередь решения компании DNVS. Служба e-approval рассматривается как первый шаг в разработке полностью электронного обмена информацией с регистрационным обществом ; следующим очевидным шагом должна стать эксплуатация возможностей обмена трехмерными моделями.

Как было замечено во время разработки системы, это решение для раннего проектирования изменит деловые процессы на верфи, которые в свою очередь должны быть задокументированы, проверены и быть хорошо управляемыми в реальных проектах. BRIX™ Workflow облегчает эти «программные» процессы, продолжая контролировать взаимодействия между пользователями и приложениями, регистрируя полную хронологию событий и данных.

Заключение. Совместная работа по разработке программного обеспечения между OSS и DNVS приближается к завершению первой стадии, и эти решения будут использоваться в одном из ближайших коммерческих проектов. Версия 5 системы NED была выпущена в июне 2005 г. и доступна для первых пользователей. Приложения системы используют единую модель. Опираясь на базу данных такой модели в IntelliShip, DNVS начал объединение нескольких приложений, взаимодействующих с этой моделью. Главное внимание сфокусировано на интерфейсах для проверки прочности, создания чертежей для регистра и программе e-approval, которые применяются на этапах раннего проектирования.

OSS стоит на пороге использования этих новых функций и, исходя из результатов тестирования, понимает, что та интеграция, которую представляет NED, изменит методы выполнения проектных работ и принесет выигрыш в производительности и качестве.

По материалам доклада Torben Andersen (Odense Steel Shipyard Ltd., Дания), Jorgen Piene (DNV Software, Норвегия)на International Conference on Computer Application in Shipbuilding (ICCAS 2005) в Пусане, Южная Корея.