

Применение модуля Dynamic Simulation для решения задач судостроения

В практике проектирования все чаще, уже на самых ранних его стадиях, перед инженером встает вопрос о работоспособности механизма в целом, причем не только с точки зрения обеспечения прочности отдельных его частей, но и взаимодействия частей и узлов друг с другом в процессе работы, а также возникающих при этом сил, скоростей, ускорений, моментов и т.п.

Сейчас в помощь инженеру, появляются новые, все более совершенные инструменты проектирования. Одним из таких мощных инструментов трехмерного моделирования и разностороннего анализа проектируемых конструкций и механизмов является Autodesk Inventor Professional, о котором уже шла речь в статье данного авторского коллектива, опубликованной в REM № 3, 2007, где освещались вопросы использования расчетного модуля Autodesk Inventor Professional для расчета прочности конструкции буксирного гака развездного катера.

Как отмечалось ранее, вопросами прочности не ограничивается круг задач современного инженера, ему необходимо дополнительно иметь инструмент анализа динамических систем. В решении этих вопросов также может оказать помощь Autodesk Inventor Professional, в котором имеется модуль динамического анализа. Именно о работе с данным модулем и пойдет речь в данной статье.

В области судостроения и проектирования судов заслуживает отдельного внимания вопрос проектирования и постройки якорного устройства. Проблема состоит в сложности моделирования процесса подъема и отдачи якоря – прилегания лап якоря в поднятом состоянии, способности якоря самостоятельно опускаться при его отдаче, предотвращения заклинивания якоря при его подъеме и т.п.

В настоящее время отраслевыми (судоостроительными) требованиями, стандартом ОСТ 5Р.2049-2000 – “Макеты якорных устройств. Правила изготовления и приемки” определено, что до физического (материального) изготовления якорного устройства судна требуется выполнить масштабный макет якорного устройства (используется, как правило, древесина, листовая сталь, якорная цепь, якорь в соответствующем масштабе).

Для решения этой задачи заводское бюро отдела главного конструктора вынуждено выпускать около 15 чертежей (форматом от А3 до А1) деталей макета якорного устройства, и, соответственно, предприятие-строитель судна тратит весьма большие средства на

изготовление масштабного макета и отработку на нем элементов якорного устройства.

На примере моделирования подъема якоря, выполненного конструкторами ФГУП “ЦС “Звездочка” рассмотрим возможности и основные принципы работы с модулем Dynamic Simulation, входящим в состав Autodesk Inventor Professional.

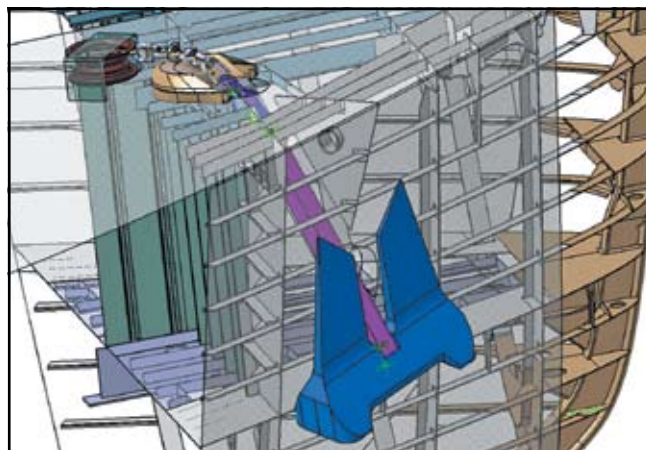


Рис. 1. Импортированная модель якоря, клюза и корпусных конструкций

Прежде всего необходимо выполнить построение трехмерной модели якорного клюза с участком бортовой обшивки и палубы, самого якоря и звеньев якорной цепи. В нашем случае построение данных моделей было выполнено с использованием САПР CATIA и импортировано через формат STEP в Autodesk Inventor (рис. 1), что свидетельствует о хорошей связи между САПР различного уровня и разных производителей.

В результате получаем сборку, состоящую из всех необходимых для расчета компонентов. Однако недостатком импортированных моделей является нарушение всех связей в сборке, что влечет за собой необходимость повторного их наложения в Autodesk Inventor и может затруднить обработку полученной модели в контексте сборки (перемещение деталей и т.п.). Отметим, что при создании начальных и граничных условий в модуле Dynamic Simulation, вне зависимости от наличия существующих в результате создания модели связей, существует необходимость назначения новых связей либо импортирования связей из сборки.

Следует обратить внимание на тот факт, что модуль Dynamic Simulation очень чувствителен к ресурсам используемой компьютерной техники, а именно к мощности

процессора и объему оперативной памяти (не менее 1 Гб, рекомендуется 2-4 Гб). Здесь многое зависит от количества элементов и связей, принятых к расчету. Рекомендуется перед началом работы выполнить анализ и оптимизацию рассчитываемой модели с целью определения необходимого, но достаточного количества элементов, либо для расчета использовать наиболее производительную вычислительную технику, что, однако, не освобождает инженера от решения вопроса оптимизации задачи.

После импортирования модели в модуле Dynamic Simulation все детали, как уже отмечалось ранее, не имеют связей между собой, и все они находятся в разряде закрепленных (зафиксированных).

Для того чтобы определить характер взаимодействия элементов между собой, в модуле расчета динамики имеется ряд специализированных типов связей с различным набором степеней свободы взаимодействующих деталей (описание типов связей выходит за рамки данной статьи). В нашем случае в основном использовались следующие типы связей: вращающаяся (для связей лап якоря со штоком и штока со скобой, рис. 2), свободная (для освобождения звеньев цепи), 3D-контакт (для наложения взаимодействия освобожденных звеньев цепи между собой и с корпусными конструкциями, рис. 3). Указанный набор связей принят не случайно. Такой подход объясняется стремлением наиболее точно смоделировать особенности подъема якоря, давая динамической системе максимально возможную свободу и не накладывая искусственных ограничений, влияющих на достоверность результата. Но нельзя забывать, что при этом в погоне за точностью и реалистичностью моделирования приходится расплачиваться большим временем расчета.

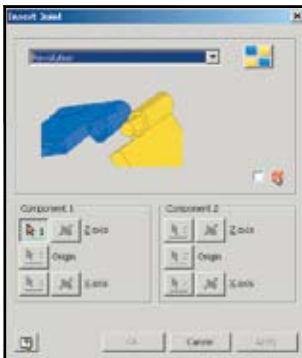


Рис. 2. Наложение связей (вращающейся)



Рис. 3. Наложение связей (3D-контакт)

В закрепленном виде остаются только корпусные конструкции.

Моделирование веса якоря было выполнено с помощью функции "гравитация", то есть было задано значение коэффициента ускорения свободного падения и его направление (направление вектора действия гравитационных сил, заданного по умолчанию, может не совпадать с требуемым для расчета). Теперь, если перейти в режим симуляции, не ограниченный в перемещении якорь вместе с цепью начнет двигаться в направлении действия гравитационной силы, при этом все элементы будут взаимодействовать друг с другом в соответствии с заданными связями.

Далее, наложив связи и задав вес элементов, задаем силу тяги цепи (сила, с которой осуществляется подъем

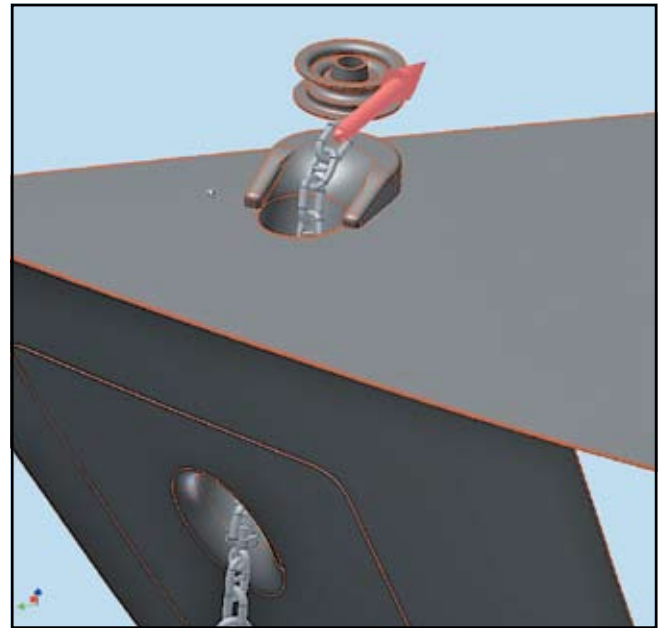


Рис. 4. Задание силы и направления подъема якоря (получаемую из заранее известных параметров лебедки подъемного механизма (рис. 4). Причем сила может быть как постоянно направленной, так и связанная с элементом, к которому она приложена (с изменением положения элемента будет меняться направление действия силы). При этом силы могут также быть не постоянными по своему значению и скорости изменения.

Помимо силы подъема важное значение для выполнения динамических расчетов имеет скорость движения элементов системы. Модуль Dynamic Simulation дает возможность задавать скорость элементов механизма (начальную, текущую, постоянную, переменную – меняющуюся по разным законам). В нашем примере, поскольку нам приходится ограничить количество элементов динамической системы, мы должны дополнительно задать начальную скорость движения якоря и цепи, чтобы смоделировать установившееся движение и, соответственно, скорость подъема якоря.

Задание скорости осуществляется для отдельных элементов через изменение их свойств, при этом существует возможность задавать ограничения и дополнительные характеристики (скорость вращения, возможные перемещения и т.п.) для уже наложенных связей (рис. 5). Для дан-

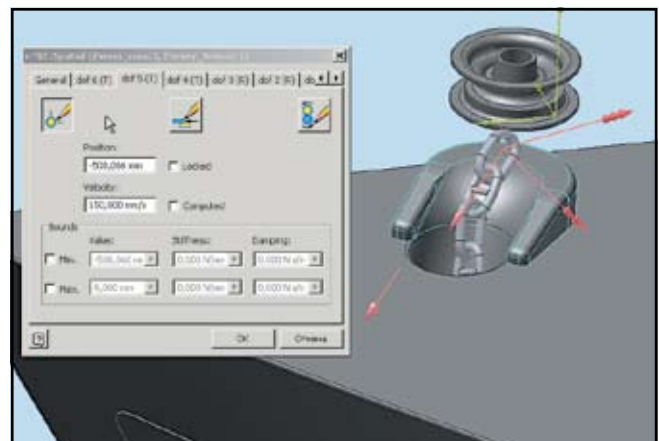


Рис. 5. Задание начальной скорости подъема якоря (движения элемента)

ного расчета была задана скорость перемещения звена цепи, к которому была приложена поднимающая сила, как для элемента, определяющего движение всей системы и сообщающего движение посредством наложенных связей всем элементам системы. Таким образом, приложенная сила подъема призвана преодолеть силу тяжести, действующую на якорь и цепь, а скорость перемещения головного звена – задать динамику данного процесса.

Хочется дополнительно отметить, что при создании модели динамической системы требуется тщательно продумать такие моменты, как: обеспечение контакта всех элементов, то есть устранение зазоров между ними, учет динамики и инерции. В противном случае при расчете, после задания силы и скорости, ввиду получающегося рывка могут быть нарушены связи. Может произойти разрыв связей и даже элементов, поскольку расчет имеет свой шаг по времени и при попадании события (рывка) в промежуток между рассчитываемыми периодами, может нарушиться целостность элемента (связи, контакта), в итоге результаты расчета будут некорректными.

После ввода всех исходных данных можно переходить к симуляции.

Инженеру при выполнении расчетов дается возможность указать длительность расчетного периода, то есть время в натуральных единицах (секундах), которое будет моделироваться (указание значения “1 секунда” говорит о том, что будет симулироваться 1 секунда поведения динамической системы), и количество шагов расчета на данном отрезке времени. В процессе расчета можно изменять время симуляции, правда, только в большую сторону (если в течение выбранного ранее промежутка расчетного времени не был получен ожидаемый результат), останавливать расчет, просматривать и при необходимости либо закончить его, либо возобновить с места остановки.

Для нашей модели (для полного ее обсчета, включая затягивание якоря в якорный клюз) потребовалось приблизительно 7 расчетных секунд. При выполнении расчета на неспециализированном компьютере со следующими характеристиками: Pentium 4 (3,2 ГГц), 1 Гб ОЗУ, ОС Windows XP Pro, фактическое его время составило порядка 80 часов непрерывной работы. К сожалению, модуль Dynamic Simulation из пакета Autodesk Inventor 11 Professional, в котором выполнялся расчет, не предусматривает возможности сохранения промежуточного состояния расчета и его возобновления после перезагрузки (выключения/включения) компьютера.

Результаты расчета можно просмотреть в табличном представлении и в виде графиков, отражающих различные характеристики динамической системы (скорости, ускорения, силы, моменты), изменяющиеся во времени, которые могут быть импортированы в MS Excel. Результаты взаимодействия элементов модели могут быть использованы для расчета прочности в расчетном модуле Autodesk Inventor, они могут быть также импортированы в видеоролик для демонстрации и анализа. Несколько кадров сделанного нами ролика приведены на рис. 6а – 6г.

В заключение необходимо отметить преимущества применения электронного моделирования и, в частности, системы Autodesk Inventor Professional с модулем

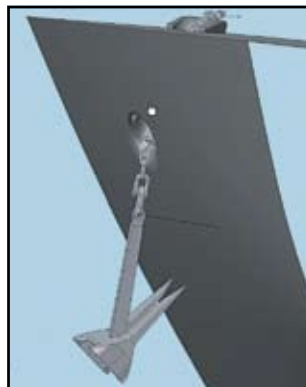


Рис. 6а

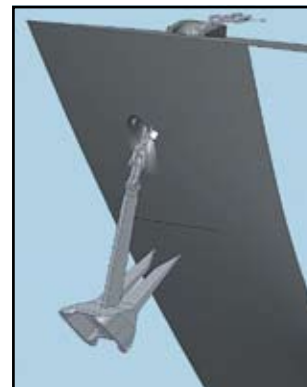


Рис. 6б



Рис. 6в

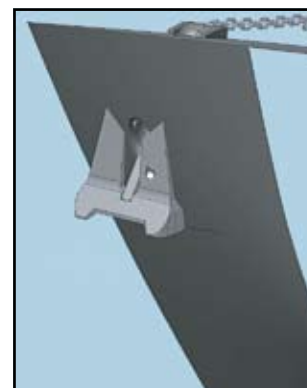


Рис. 6г

Dynamic Simulation перед использованием традиционных и устаревших методов натурного и масштабного моделирования и макетирования.

При использовании натурного или масштабного моделирования необходимо изготовление всех элементов конструкции (чаще всего из дерева и фанеры), что требует существенных затрат времени и ресурсов (материалов, использования станков и оборудования), а также наличия высококвалифицированных рабочих, при этом не следует забывать, что может понадобиться выполнение нескольких приближений, то есть переделка макета и изменение конструкции в соответствии с данными предыдущего моделирования при получении неудовлетворительных результатов (уточнение и улучшение). Если дополнительно учесть то обстоятельство, что макетирование конкретной конструкции уникально и однажды созданный макет больше не может быть использован и подлежит утилизации, то очевидно, что при натурном макетировании совокупные затраты оказываются весьма и весьма велики. Их величина может составлять более \$10 000 на одно судно.

При использовании же электронного моделирования работы выполняются, в основном, одним инженером на одном компьютеризированном рабочем месте с затратами времени на 50-70 % меньшими, чем при натурном или масштабном макетировании, при этом никаких других материальных ресурсов (кроме электроэнергии) не требуется.

**А. Н. Давидович, заместитель главного конструктора,
Д. И. Рябокоть, инженер-конструктор –
руководитель проектной группы,
ФГУП “ЦС “Звездочка”**