

Использование расчетного модуля Autodesk Inventor при проектировании машиностроительных изделий в судостроении

Трехмерное моделирование стало общепринятым методом при разработке изделий и систем во многих отраслях промышленности. Медленно, но неуклонно 3D-технология внедряется и на предприятиях судостроительной отрасли. Ее применение дает убедительный экономический эффект. При проектировании в 3D ошибки могут быть найдены и исправлены прежде, чем изделие дойдет до производства. Раннее диагностирование на компьютере таких проблем, как неправильные размеры, неправильный выбор марки материалов, пересечения деталей, недоступные для обслуживания компоненты, узлы, которые невозможно собрать, – все это значительно сокращает общий цикл проектирования и, следовательно, уменьшает его стоимость.

Применение готовых 3D-моделей в системах инженерных расчетов, подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и контроля качества уменьшает время и стоимость решения этих задач. Это делает изделие более экономичным при одновременном увеличении его надежности и эффективности. Кроме того, наличие 3D-модели уменьшает затраты на разработку чертежей за счет автоматизации процесса создания видов и сокращения количества разрезов и сечений, которые были бы необходимы при двухмерном подходе.

В современных условиях при разработке конструкций важно еще на самых ранних стадиях проектирования получать информацию о взаимодействии между собой отдельных частей конструкции, ее работоспособности (в частности, прочности и несущей способности). В соответствии с современными тенденциями развития проектирования для решения перечисленных выше вопросов применяются системы трехмерного твердотельного моделирования.

Одна из таких систем – Autodesk Inventor Professional, имеющая встроенный модуль конечно-элементного анализа (лицензированный у компании ANSYS) для расчетов статической прочности и частоты собственных колебаний (самых распространенных видов инженерных расчетов) конструкций.

Расчетный модуль Autodesk Inventor Professional предоставляет следующие возможности:

- ▶ выполнение расчетов для каждой детали в отдельности;
- ▶ задание всех основных видов ограничений (связей) и нагрузок;
- ▶ изменение размера сетки конечных элементов;

- ▶ проверка сходимости решения, автоматическое уточнение сетки в районе возникновения наибольших напряжений конструкции (при этом выполняются три последовательных приближения) – результаты, получаемые с использованием данной проверки могут существенно отличаться от результатов, полученных без нее (до 40...50 %);
- ▶ определение взаимодействия деталей: реакции, полученные в результате расчета одной детали, могут быть впоследствии использованы как нагрузка для расчета деталей, с которыми она взаимодействует (выполняется конструктором вручную);
- ▶ повторный расчет, при внесении изменений в конструкцию в модуле проектирования, нажатием одной кнопки при условии, что все нагрузки и ограничения неизменны, до получения приемлемого результата;
- ▶ выполнение частотного анализа (расчета частот собственных колебаний);
- ▶ передача с целью получения более точных результатов расчетов модели, нагружений и ограничений в специализированный продукт ANSYS Workbench;
- ▶ формирование отчета в формате HTML, включающего таблицы и рисунки.

Проиллюстрируем работу расчетного модуля на примере реальной разработанной специалистами ФГУП “МП “Звездочка” в Autodesk Inventor Professional конструкции буксирного гака для спасательно-разъездного катера проекта 21770 (проект ЦМКБ “Алмаз”, Санкт-Петербург).

Задача разработки конструкции буксирного гака сводилась к созданию устройства с минимальными габаритами, наименьшим весом, имеющего возможность дистанционной отдачи и рассчитанного на предельную (с учетом динамики) нагрузку 8 тс.

После разработки основной конструкции гака (рис. 1) средствами Inventor была проверена ее работоспособность, взаимодействие деталей гака между собой, возможность стопорения и отдачи.

Принцип работы конструкции следующий: роликовый гак в закрытом положении фиксируется стопором, который в свою очередь фиксирует рычаг. При отведении назад рычага стопор получает возможность перемещаться и освобождает гак. Для предотвращения соскакивания троса при зафиксированном гаке служит откидная крышка, которая в закрытом состоянии фиксируется специальной осью-стопором.

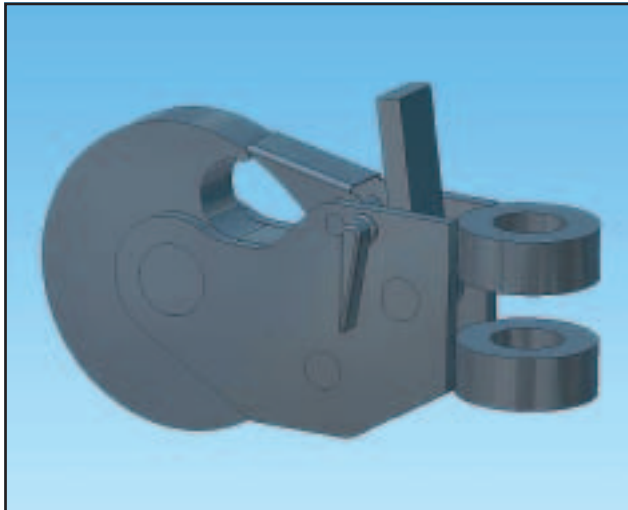


Рис. 1. Общий вид буксирного гака

В качестве иллюстрации ниже приведены фрагменты автоматически сформированного отчета Autodesk Inventor Professional серии 11 (по двум основным деталям) с необходимыми пояснениями. Следует отметить, что расчеты данных деталей выполнены с проверкой сходимости результатов (с автоматическим уточнением сетки конечных элементов).

В соответствии с заданием и с учетом расчетной нагрузки выполняется расчет самого гака (роликовидная деталь с зацепом для троса).

На ось вращения гака накладывается связь, не позволяющая перемещаться детали вдоль нее и в плоскости, перпендикулярной оси вращения. На поверхность выемки, в районе контакта стопора и гака (рис. 2), накладывается полное ограничение перемещения (фиксация).

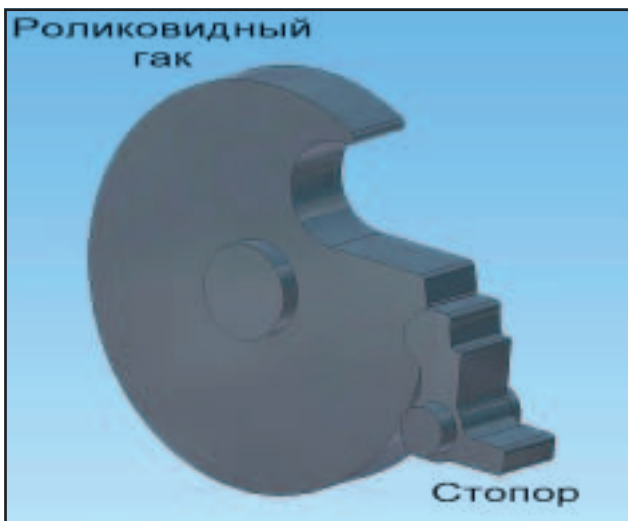


Рис. 2. Взаимодействие гака и стопора

При расчете для детали роликовидного гака были получены характеристики, приведенные в табл. 1.

В качестве материала для изготовления детали использован высокопрочный стальной сплав (выбран из предложенного расчетным модулем списка). Ниже представлены свойства выбранного материала:

- ▶ линейный – при нагружении напряжения пропорциональны;

Табл. 1

Размеры описанного параллелепипеда*	143,9 мм 145,0 мм 28,0 мм
Масса детали	3,021 кг
Объем детали	3,853e+005 мм ³
Установка точности сетки конечных элементов	-40
Количество узлов	16 558
Количество элементов	10 648

* Значения размеров описанного параллелепипеда даны в направлении глобальных осей X, Y, Z

- ▶ постоянный – свойства материала не зависят от температуры (температура постоянна);
- ▶ гомогенный – свойства материала постоянны по всему объему детали;
- ▶ изотропный – свойства материала одинаковы во всех направлениях (по всем осям).

Табл. 2

Наименование	Min значения	Max значения
Эквивалентные напряжения	0,6673 МПа	237,1 МПа
Максимальные главные напряжения	-39,11 МПа	228,7 МПа
Минимальные главные напряжения	-233,4 МПа	31,93 МПа
Деформации (перемещения)	0 мм	8,767e-002 мм
Коэффициент безопасности	1,163	Н/А

В табл. 2 приведены результаты, полученные при выполнении расчета, рисунки демонстрируют распределение внутренних сил (рис. 3), перемеще-

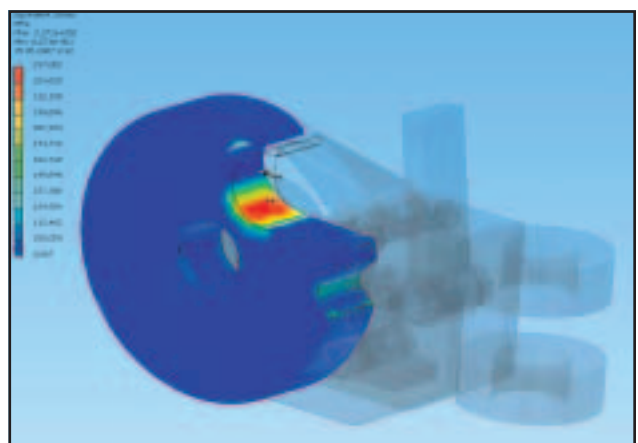


Рис. 3. Эквивалентные напряжения

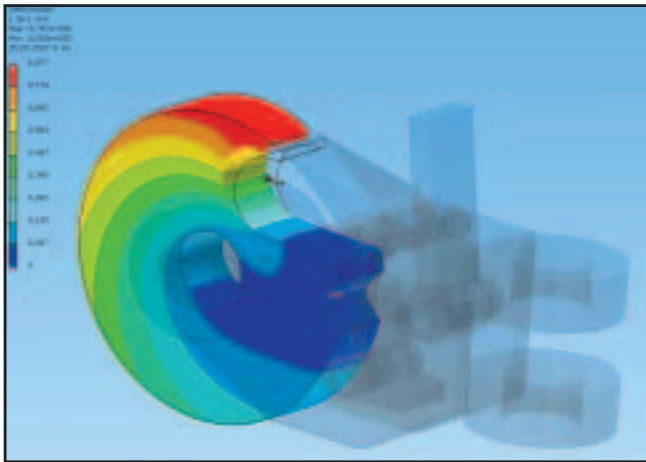


Рис. 4. Деформации

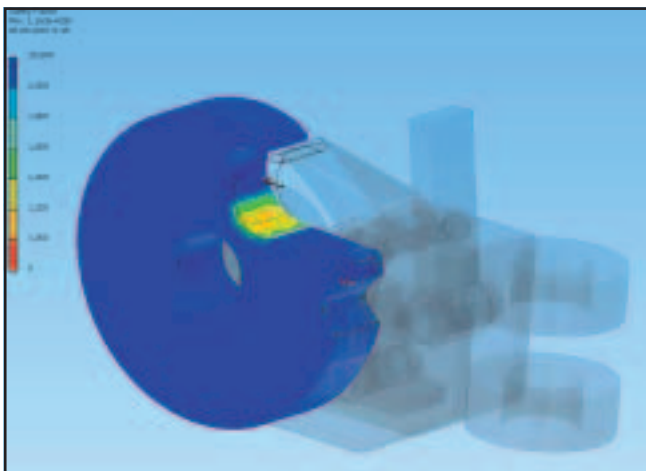


Рис. 5. Коэффициент безопасности

ний (рис. 4) и коэффициента безопасности для детали (рис. 5).

Коэффициент безопасности рассчитывается в соответствии с теорией пластичности материала, т.е. как отношение максимальных разрушающих эквивалентных напряжений и допускаемых напряжений, в качестве которых программа принимает предел текучести материала.

Расчет показал, что прочность детали обеспечена. Учитывая, что приложенная в качестве расчетной нагрузка является пиковой, можно говорить, что в рабочей нагрузке (2 тс) прочность детали обеспечена абсолютно.

Далее переходим к расчету стопора.

При расчете для детали стопора были получены характеристики, приведенные в табл. 3.

В качестве материала для изготовления стопора принят тот же материал, что и для изготовления гака, а именно – высокопрочный стальной сплав.

Расчетной нагрузкой для расчета прочности стопора служат реакции связей, полученные при расчете гака. Ограничением для стопора будет являться упор рычага (место контакта стопора и рычага).

Результаты, полученные при выполнении расчета, приведены в табл. 4.

Прочность стопора обеспечена.

Далее осуществляется переход к расчету рычага.

Таким образом, последовательно, по мере определения значений нагрузки на соответствующие узлы, осуществляется расчет прочности всех последующих дета-

Табл. 3

Размеры описанного параллелепипеда	143,9 мм 145,0 мм 28,0 мм
Масса детали	3,021 кг
Объем детали	3,853e+005 мм ³
Установка точности сетки конечных элементов	-40
Количество узлов	16558
Количество элементов	10648

Табл. 4

Наименование	Min значения	Max значения
Эквивалентные напряжения	2,247e-003 МПа	272,6 МПа
Максимальные главные напряжения	-83,39 МПа	317,5 МПа
Минимальные главные напряжения	-215,9 МПа	43,62 МПа
Деформации (перемещения)	1,479e-005 мм	1,886e-002 мм
Коэффициент безопасности	1,012	Н/А

лей, однако привести результаты расчета всех деталей в рамках данной статьи не представляется возможным.

Приведенный выше пример наглядно демонстрирует основные принципы работы с модулем конечно-элементного анализа (Stress Analysis) Autodesk Inventor Professional 11, возможности анализа полученных результатов и возможные решения возникающих проблем. При необходимости можно воспользоваться модулем Dynamic Simulation для динамического анализа конструкции (механизма).

Однако не следует забывать, что при использовании даже самых современных и совершенных математических аппаратов и новейших расчетных программ нельзя совершенно отказываться от натуральных испытаний деталей и конструкций. Применение расчетных программ позволяет существенно сократить время и средства, затрачиваемые для определения оптимальных параметров конструкций, но не может абсолютно заменить испытания. Действительная оценка прочности конструкции должна выполняться на основании результатов расчетов, испытаний (экспериментальных данных) и опыте инженеров. Качественная разработка конструкции и ее расчет должны предшествовать испытаниям деталей и обосновывать их.

**А. Н. Давидович, зам. главного конструктора,
Д. И. Рябоконт, инженер-конструктор –
руководитель проектной группы,
ФГУП «МП «Звездочка»»**