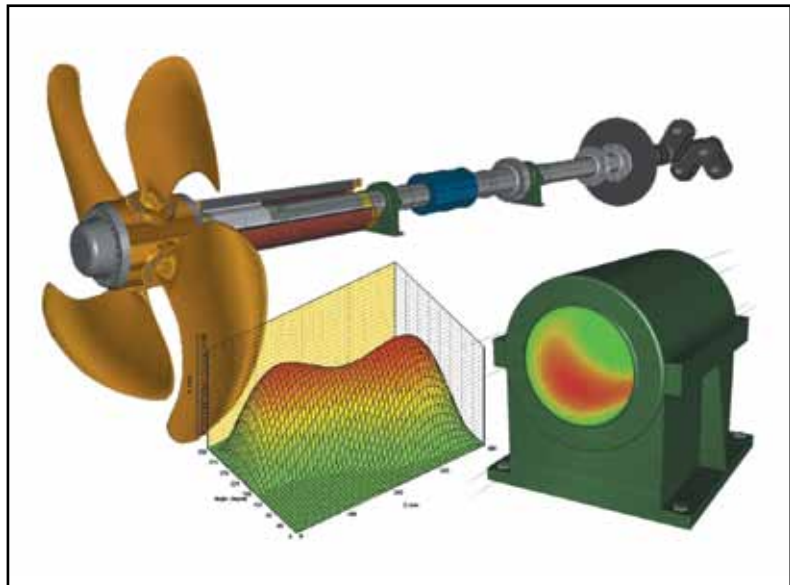


Программный комплекс ShaftDesigner

Программный комплекс ShaftDesigner, относящийся к классу автоматизированных систем инженерных расчетов (Computer Aided Engineering, CAE), предназначен для оценки технических параметров элементов валопроводов судовых и корабельных пропульсивных установок, стационарных валопроводных систем, а также любого другого оборудования, имеющего вращающиеся элементы. Программное обеспечение разработано украинской компанией «Интеллектуальные морские технологии» (ИМТ) и является одной из немногих разработок в области судостроения, выполненных на территории бывшего СССР и получивших признание на мировом рынке. Комплекс применяется не только для выполнения расчетов, сопровождающих процессы проектирования, но благодаря наличию развитых технологических функций обеспечивает монтаж, эксплуатацию и ремонт валопроводов.

Начало разработке программного комплекса было положено в 1992 году, когда по заказу одного из ведущих конструкторских бюро судостроительной отрасли была разработана программа ShaftMaster для расчета технологических параметров центровки валопровода, работавшая в среде операционной системы MS DOS. Впоследствии эта программа была переработана для ОС MS Windows. Одновременно с этим в нее было внесено много полезных изменений и дополнений, но областью ее применения оставалась только центровка валопровода. Удобство и простота пользования программой даже при ограниченном числе решаемых задач обеспечили успех программы на рынке.

Развитие компьютерных технологий, рост производительности аппаратных средств, повышение запросов пользователей и накопленный опыт программирования создали условия для начала разработки принципиально нового комплексного программного продукта ShaftDesigner. Партнером в новом проекте выступил один из ведущих клиентов ИМТ голландская компания SKF Marine Service Center, интенсивно использовавшая в своей практике программу ShaftMaster. В настоящее время эта компания, являясь опытным пользователем, обеспечивает «обкатку» новых версий программного комплекса, а также занимается его продвижением и продажами.



Основные характеристики программного комплекса

Программный комплекс ShaftDesigner является объектно-ориентированной разработкой. Расчетную основу комплекса образует разработанный ИМТ модуль конечно-элементных расчетов, позволяющий эффективно решать задачи, избегая проблем интеграции, сопровождающих использование универсальных программ подобных ANSYS, Nastran или ИСПА (Интегрированная Система Прочностного Анализа).

В программе осуществлен принцип: одна пропульсивная установка – один проектный файл. В проектном файле содержится информация обо всех возможных режимах работы установки, сохраняется базовая модель, все созданные расчетные модели, а также результаты расчета.

В настоящее время типичными расчетами, выполняемыми применительно к судовым валопроводам, являются:

- ▶ расчет технологических параметров центровки валопровода;
- ▶ расчет роторных колебаний (whirling vibration) вращающегося вала;
- ▶ расчет изгибных колебаний;
- ▶ расчет продольных колебаний;
- ▶ расчет крутильных колебаний;
- ▶ расчет связанных колебаний (крутильно-продольных).

В прошлом разработчики, концентрируясь только на одной из упомянутых выше задач, выбирали модель

данных, наиболее подходящую с их точки зрения для конкретной задачи. В результате в обиходе организаций, проектирующих валопроводы, образовался “зоопарк” программ, несовместимых между собой по данным. Это приводило к большим затратам времени, особенно в случае модификации проекта в процессе поиска оптимального решения.

Программный комплекс ShaftDesigner лишен этого недостатка: единая базовая модель, разрабатываемая с применением графического 3D-интерфейса пользователя, трансформируется в расчетные модели приложений, соответствующих задачам из выше приведенного перечня. Любые изменения, производимые в базовой модели, автоматически транслируются в модели приложений.

Поскольку расчеты валопровода необходимо выполнять для различных его состояний в процессе строительства, ремонта или эксплуатации, в программном комплексе предусмотрено создание неограниченного числа расчетных состояний, оценка которых происходит одновременно, в одном расчете, что существенно сокращает время разработки и обеспечивает получение надежных результатов.

Базовая модель

Графический интерфейс пользователя программного комплекса ShaftDesigner позволяет максимально просто и удобно создавать реалистичные 3D-модели одно- и многовалных силовых установок (рис. 1).

Графический интерфейс реализует основные функции, присущие программам трехмерного моделирования, включая многошаговую функцию Undo, и легко перестраивается под индивидуальные предпочтения пользователя.

В окне базовой модели создаются, отображаются и редактируются следующие элементы валопровода:

- ▶ валы, имеющие цилиндрические и конические участки без полостей или с цилиндрическими (коническими) полостями, не покрытые или облицованные выбранным материалом;

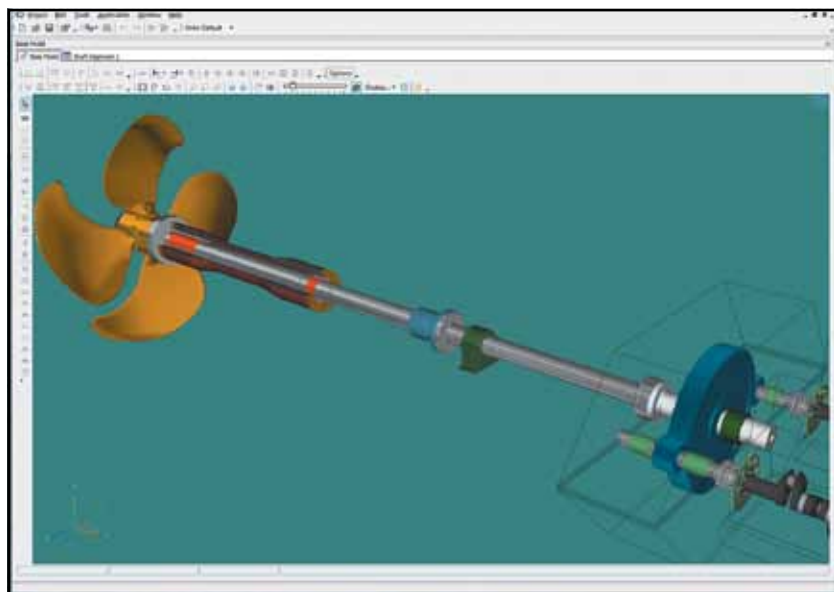


Рис. 1

- ▶ коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания, валы редукторов;
- ▶ соединительные элементы – фланцевые, жесткие полумуфты, втулочные, упругие и сцепные муфты, карданы;
- ▶ дейдвудные устройства;
- ▶ подшипники (дейдвудные, кронштейна, опорные скольжения и качения, упорные);
- ▶ гребные винты фиксированного и регулируемого шага;
- ▶ зубчатые колеса, маховики, демпферы и др.

Предусмотренный в программном комплексе репозиторий позволяет создавать собственную библиотеку элементов моделей, оборудования и валов, которые впоследствии можно использовать в новых проектах, сохраняя затраченный ранее труд и значительно ускоряя процесс создания базовой модели. Пользователь ведет также перечень материалов и сред, используемых при моделировании, имеется возможность выбора единиц измерения величин.

В процессе моделирования система постоянно проверяет корректность введенных данных, в том числе и размеров элементов валопровода на предмет наличия столкновений и отсутствия противоречий.

Приложение “Центровка”

Согласно требованиям правил классификационных обществ начальное пространственное расположение подшипников валопровода (смещения в вертикальной и горизонтальной плоскости и углы наклона) должно во всех условиях эксплуатации обеспечивать выполнение определенного набора требований. Нахождение таких расположений и является основной задачей приложения “Центровка”.

При расчете центровки валопровод рассматривается как пространственно изгибаемая многопролетная балка переменного сечения, свободно лежащая на протяженных перемещаемых в пространстве цилиндрических упругих опорах, диаметр которых больше диаметра вала на величину масляного зазора.

Допускаемая укладка валопровода может быть найдена вручную, однако это не всегда просто сделать, в связи с чем в составе комплекса предусмотрен модуль автоматического поиска оптимальной линии укладки валопровода (рис. 2).

Найденные расположения подшипников должны быть реализованы на практике, поэтому в число расчетных величин входят также технологические параметры для контроля процесса центровки на судне.

Программный комплекс учитывает все существующие в настоящее время технологии центровки валопровода:

- ▶ центровка по нагрузкам на опорах валопровода или на домкратах;
- ▶ центровка по изломам и смещениям в соединениях валов;

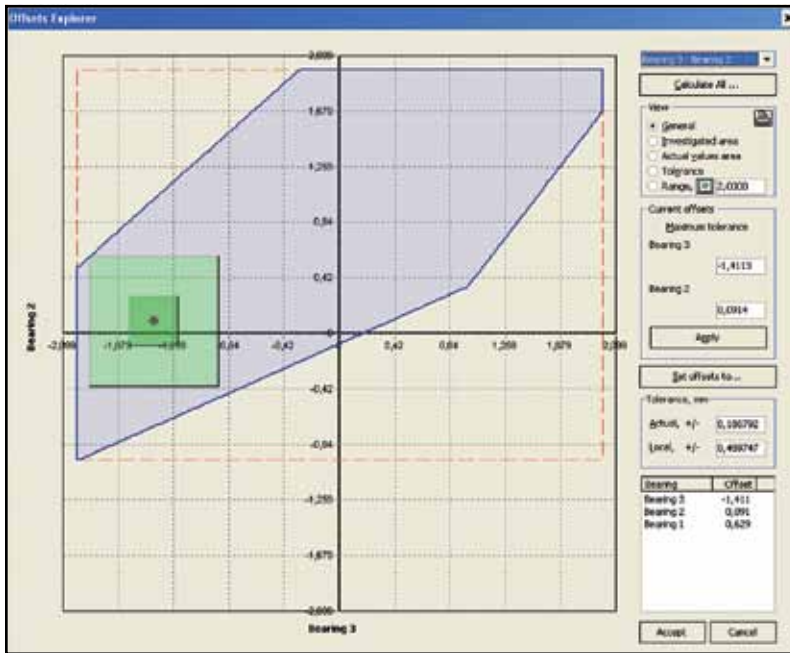


Рис. 2

- ▶ лазерная центровка по деформациям валов;
- ▶ центровка по напряжениям в валах.

Последний способ центровки является наиболее точным, он находит все большее применение на судостроительных верфях за рубежом.

Для всех способов центровки определяются не только параметры, подлежащие контролю, но и допуски к ним, поскольку при постройке судна весьма сложно в точности достичь заданных величин.

Приложение включает ряд вспомогательных программных модулей, позволяющих с большой степенью достоверности определять факторы, влияющие на расчетные величины:

- ▶ деформации корпуса при изменении условий загрузки судна;
- ▶ гидродинамические нагрузки, действующие на гребной винт;
- ▶ силы и моменты в зубчатых зацеплениях редукторов.

Программный комплекс ShaftDesigner предоставляет возможность выполнения обратных расчетов, когда по измеренным контролируемым параметрам изгиба валопровода можно определить фактическое пространственное расположение подшипников. Это особенно важно при ремонте судов.

Дейдвудные подшипники являются наиболее ответственным элементом валопровода, поэтому в программном комплексе предусмотрены функции для расчета контактных давлений в статическом состоянии и гидродинамических давлений в смазочном слое масла или воды при вращении валопровода. Эти функции позволяют выявить характер взаимодействия вала и подшипника, а также проверить толщину смазочного слоя при работе установки.

Результаты расчета приложения "Центровка" и других приложений выводятся в отчеты, которые при желании могут быть экспортированы в текстовые документы различных популярных форматов для дальнейшей компиляции отчетов пользователя.

Приложения, связанные с колебаниями валов

Роторные колебания

В настоящее время программный комплекс ShaftDesigner предоставляет возможность определения критических чисел оборотов вращающихся валов с учетом гироскопического эффекта и влияния упора винта (продольной силы). Учитывается также различие в жесткости опор подшипников в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Расчетная модель для данного приложения, как и для всех остальных приложений колебаний валов, создается автоматически на основе базовой модели с возможной корректировкой ее параметров и добавлением данных, отсутствующих в базовой модели и характерных только для данного вида расчета.

Результатом работы приложения являются рассчитанные частоты свободных колебаний для прямой и обратной прецессии, а также их формы. На диаграмме Кемпбелла (резонансной диаграмме) показывается отстройка резонансных частот от номинального числа оборотов.

При нулевой скорости вращения валов рассчитываются обычные изгибные колебания валов в вертикальной и горизонтальной плоскости.

В настоящее время ведется разработка модуля расчета вынужденных роторных колебаний валов с тем, чтобы данный расчет стал проверочным для центровки валопровода.

Продольные колебания

Продольные колебания судовых валов вызываются главным образом пульсациями упора на винте вследствие неравномерности его обтекания потоком жидкости за корпусом судна, а также от действия радиальных нагрузок на коленчатом валу. Возможные резонансы лопастных и цилиндрических частот могут нарушить работу упорного подшипника или вызвать недопустимые перемещения в коленчатом вале двигателя.

В расчетах свободных продольных колебаний определяются собственные частоты и формы колебаний, строится резонансная диаграмма. Расчеты вынужденных колебаний выполняются для фиксированных частот, которыми представлен спектр возмущающих сил для заданного диапазона чисел оборотов установки.

В программном комплексе ShaftDesigner для выполнения расчетов всех видов вынужденных колебаний (продольных в том числе) предусмотрены два способа. При первом способе (Full solution) решаются системы линейных алгебраических уравнений по каждой частоте спектра возмущений. При этом абсолютное и относительное демпфирование задаются для любого из соот-

ветствующих элементов валопровода. Во втором случае (Mode superposition) решение ищется в виде разложения по формам свободных колебаний, а демпфирование задается для модели в целом по каждой из учитываемых форм колебаний.

Результаты представляются как в виде распределения амплитуд расчетных параметров по гармоникам, так и в виде результирующих кривых с учетом фаз гармоник. Для просмотра результатов используется специальный браузер, открывающий доступ к расчетным данным в любых элементах валопровода. Имеется также возможность просмотра и вывода в отчет графиков колебаний в зависимости от времени.

Браузер результатов расчета используется и во всех других приложениях, где рассчитываются вынужденные колебания.

Крутильные колебания

Крутильные колебания являются наиболее опасным видом колебаний для установок с двигателями внутреннего сгорания. Проблемы установок такого типа были выявлены более ста лет назад, в связи с чем методы расчета крутильных колебаний давно сложились и являются наиболее разработанными.

Программный комплекс ShaftDesigner, имея возможность генерирования дискретной расчетной крутильной схемы из базовой модели, позволяет задавать ее непосредственно, не прибегая к построению базовой модели. Для этого предусмотрен специальный графический редактор крутильной схемы (рис. 3). Это дает возможность рассчитывать крутильные схемы, созданные в других системах вне программного комплекса.

Комплекс позволяет рассчитывать установки, в которых свойства упругих соединительных элементов не являются постоянными, а зависят от частоты вращения или от нагрузки.

Расчеты выполняются как для нормальной работы двигателя, так и при наличии проблем в одном из цилиндров (отключение подачи топлива в цилиндр, отсутствие компрессии, полное отсутствие поршня).

В расчете вынужденных крутильных колебаний определяются значения переменных крутящих моментов, амплитуды, ускорения и скорости колебаний, переменные моменты, действующие в зацеплении зубчатых передач, потеря мощности в упругих соединениях. Параметры колебаний могут представляться как в зависимости от частоты вращения валопровода установки, так и от времени (на выбранной частоте).

Результаты расчета автоматически анализируются на предмет выполнения установленных ограничений, и в случае их превышения либо назначается запретная для длительной работы зона, либо запрещается работа в каком-то диапазоне. Все это находит отражение как на графиках, так и в таблицах.

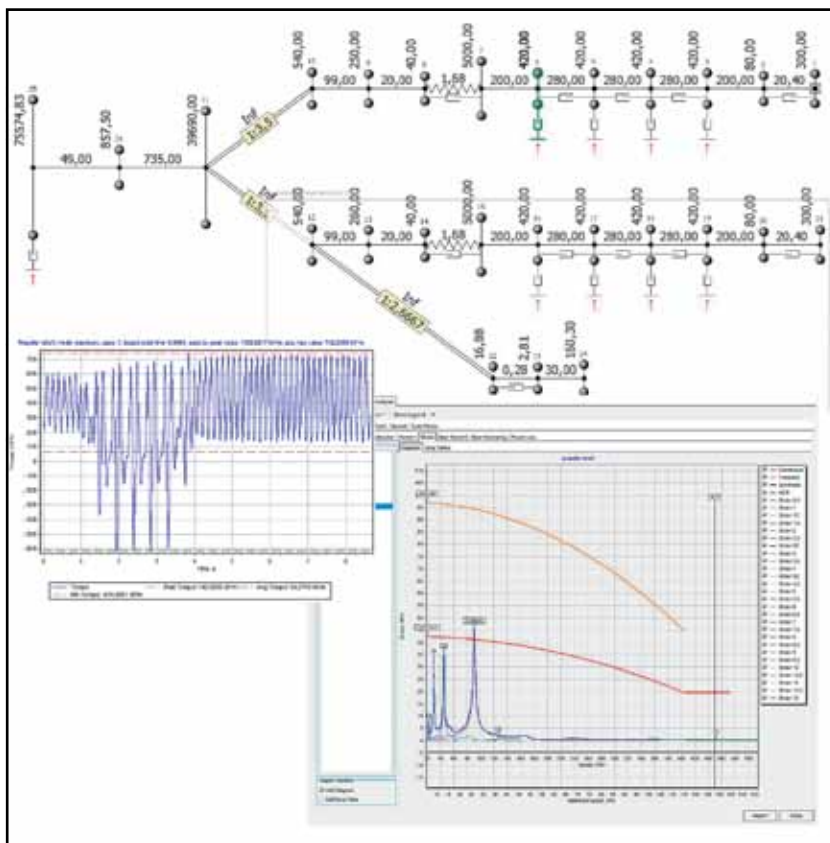


Рис. 3

Для расчета крутильных колебаний, возникающих при ударах лопастей винта о лед, применяется разработанный ИМТ эффективный метод численного решения системы дифференциальных уравнений. При этом отпадает необходимость упрощения крутильной схемы, как это рекомендуется делаться некоторыми классификационными обществами в случае применения обычных численных методов расчета.

Заключение

К настоящему времени ИМТ имеет до 40 пользователей своих продуктов по всему миру, и число их постоянно растет. Среди них такие известные компании, как Germanischer Lloyd, General Dynamics, MAN, Schottel, Gibbs & Cox, Scana Volda, Centa. Из российских компаний следует упомянуть НПО "Винт", ОАО КБ "Вымпел", ОАО "Северное ПКБ", ОАО "Балтийский завод".

В следующую версию программного комплекса будет включен специальный проектный модуль, позволяющий вести разработку пропульсивного комплекса с нуля, начиная с согласования параметров корпуса, винта и двигателя и последующего автоматического синтеза валопровода на основе требований правил определенного классификационного общества. С целью создания проектной документации разработанная пропульсивная установка будет экспортироваться в одну из систем проектирования. С реализацией этого модуля программный комплекс будет полностью соответствовать своему названию – ShaftDesigner.

Ю. А. Батрак, компания "Интеллектуальные морские технологии" (Николаев, Украина)