

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА **MSC.visualNastran Desktop 4D** ДЛЯ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ужесточение норм Европейской экономической комиссии ООН, касающихся шума и вибрации двигателей внутреннего сгорания (ДВС), заставляет инженеров глубже изучать источники вибраций и методы их подавления. Основными причинами вибровозмущений в ДВС являются газовые силы, действующие на поршень кривошипно-шатунного механизма (КШМ). Известные методы аналитического исследования КШМ ДВС не обеспечивают надлежащей надежности и информативности расчетов: к примеру, практически невозможно исследовать влияние зазоров в механизмах ДВС на его вибрационное состояние. Попытки изучения динамики ДВС при учете зазоров сводились либо к созданию аналитической модели конкретной кинематической пары конкретного двигателя¹, либо полностью строились на дорогостоящем натурном эксперименте². Так же обстояло дело и при выборе характеристик амортизирующих опор двигателя.

С появлением в конце 90-х годов мощных персональных компьютеров и соответствующих программных средств (MSC.Adams и MSC.visualNastran Desktop 4D) ана-

лизировать кинематику и динамику любых механизмов стало возможным численными методами. При этом обеспечивается высокая информативность, оперативность и достоверность расчета.

Среди многих программных продуктов аналогичного назначения заслуживает внимания **MSC.visualNastran Desktop 4D** — пакет, разработанный корпорацией MSC. Этот интегрирующийся в ряд CAD-систем продукт позволяет исследовать динамику любых механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного и теплового состояния как отдельных звеньев, так и механизма в целом. Кроме того, visualNastran Desktop 4D прост в работе и располагает большими вычислительными ресурсами.

Возможности программного продукта иллюстрируются ниже на примере решения задачи о влиянии зазоров в кинематической паре "поршень — гильза" и жесткостей упругих опор на вибрационное состояние силовой установки теплового ЧМЭ-3: рядный дизель и генератор общей массой 18 120 кг.

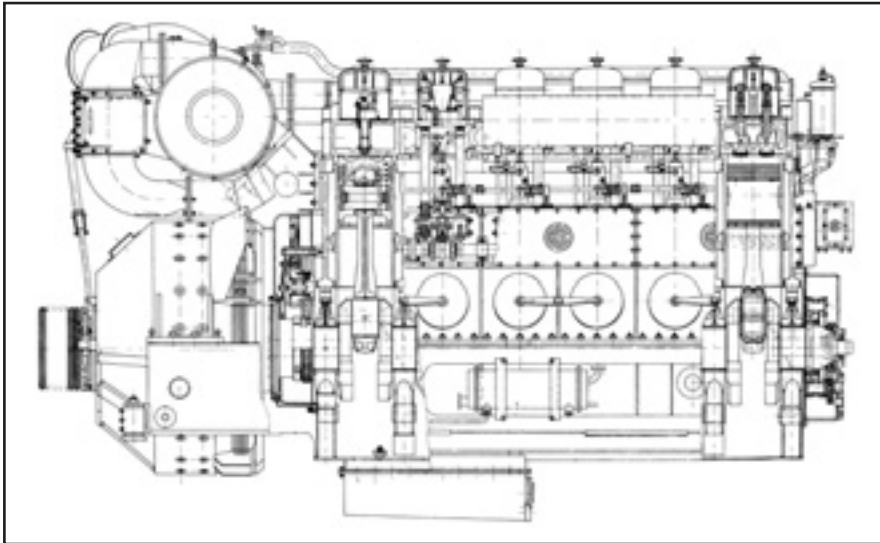
Порядок решения задач исследования динамики механизмов в среде

visualNastran Desktop 4D практически одинаков и состоит из следующих этапов:

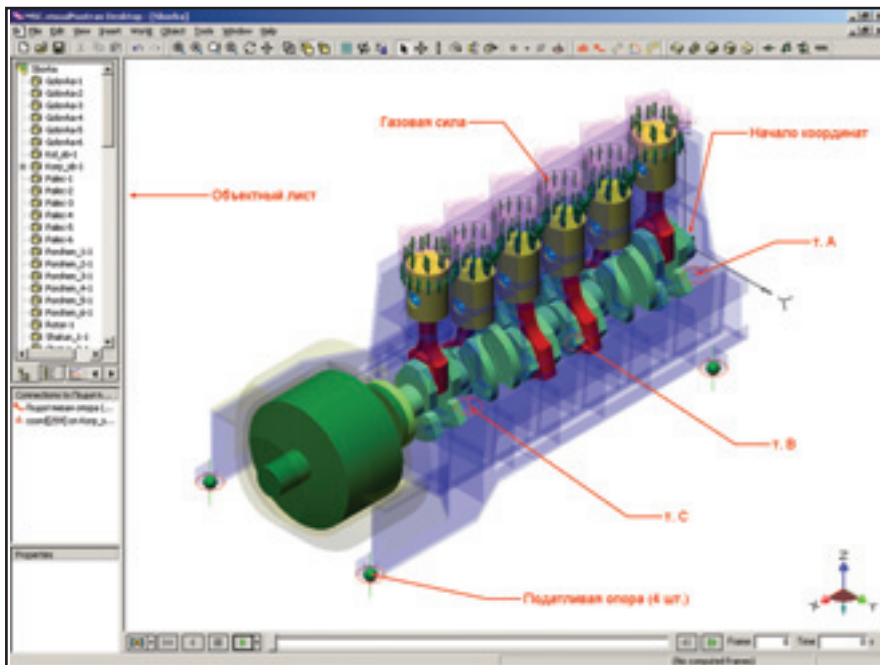
1. Построение твердотельных моделей деталей энергетической установки в CAD-системе (в нашем случае использовался программный продукт SolidWorks 2001).
2. Создание модели сборки механизма в той же CAD-системе.
3. Автоматическая передача данных о сборочной модели в CAE-систему visualNastran Desktop 4D с сохранением всех ранее наложенных сборочных зависимостей. Для этого обращаемся к главному меню CAD-системы и выбираем команду *MSC.visualNastran* → *Connect* (рис. 2, 3).
4. Проверка правильности выбора шарнирных зависимостей, наложенных visualNastran Desktop 4D, и при необходимости их редактирование. На этом этапе бывает удобно использовать всплывающее при передаче геометрии деталей меню *Constraint Navigator* (рис. 4).
5. Определение свойств материалов деталей с использованием встроенной библиотеки visualNastran Desktop 4D происходит следующим

¹Керчер Б. М., Богданов Ю. С., Клигерман Ю. Я. Исследование перекачки поршня быстроходного дизеля. — Двигателестроение, № 10, 1981, с. 15-19.

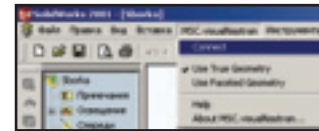
²Григорьев Е. А., Ющенко А. А. Экспериментальное исследование пространственного движения поршня в пределах зазора. — Двигателестроение, № 1, 1989, с. 14-16.



↑ Рис. 1. Силовая установка тепловоза ЧМЭ-3



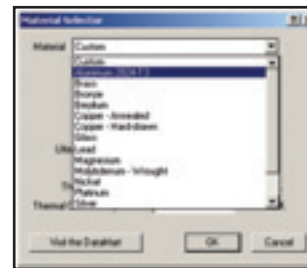
↑ Рис. 3. Виртуальная модель силовой установки тепловоза ЧМЭ-3 в среде visualNastran Desktop 4D



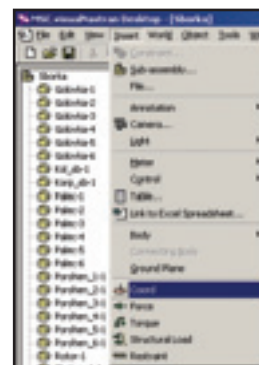
↑ Рис. 2. Загрузка visualNastran Desktop 4D из среды CAD-системы



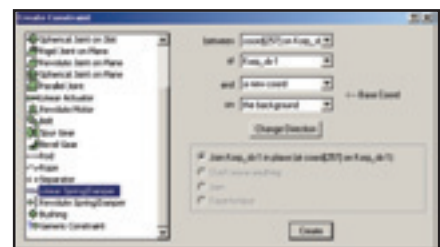
↑ Рис. 4. Меню Constraint Navigator



↑ Рис. 5. Выбор свойств материалов из библиотеки visualNastran Desktop 4D



↑ Рис. 6. Выбор меню visualNastran для установки рабочей точки Desktop 4D



↑ Рис. 7. Меню visualNastran Desktop 4D для установки податливых опор

щим образом: в объектном листе (рис. 3) выделяется деталь и щелчком правой клавиши мыши вызывается контекстно-зависимое меню, в котором выбирается команда *Properties* → *Material* → *Edit*, после чего появляется список материалов (рис. 5). Выбираем из списка подходящий материал и нажимаем кнопку *OK*.

В дальнейшем для сокращения условимся изображать наши действия в виде цепочки, в которую могут входить разные уровни меню, функциональные кнопки, заполняемые пользователем поля, а также

некоторые действия пользователя по выделению объектов.

6. Наложение граничных условий на расчетную модель.

6.1 Установка податливых опор остова (см. рис. 3). Сначала устанавливается рабочая точка на теле детали, к которой будет привязываться податливая опора: из выпадающего меню *Insert* выбирается команда *Coord* и указывается грань или поверхность (рис. 6). Сама опора устанавливается на указанную рабочую точку следующим образом: меню *Insert* →

Constraint → в списке предложенных взаимосвязей указывается *Linear Spring/Damper* → *Create* (рис. 7). Далее необходимо определить основное свойство опоры – жесткость. Для этого в объектном листе указывается опора, вызывается контекстное меню → *Properties* → *Spring/Damper* → $k=50000 \text{ N/mm}$ (рис. 8).

6.2 Приложение газовой силы, соответствующей режиму

TIPS & TRICKS

Сохранение файлов AutoCAD 2004 в формат DWG или DXF версий до AutoCAD R14 включительно

Вы не можете сохранить файлы непосредственно из AutoCAD 2004 или продуктов на его базе в формат предыдущих версий, включая формат DWG или DXF AutoCAD 2002, 2000i, 2000, R14. Для обратной миграции файлов из AutoCAD 2004 в AutoCAD 14 необходимо использовать специальную утилиту "Autodesk Batch Drawing Converter 2004", которую можно загрузить здесь: <http://www.autodesk.com/migrationtools>.

Для использования утилиты требуется наличие программных продуктов на базе AutoCAD 2004.

Символы обозначения сварных швов пропадают в видах с разрывом

При создании чертежных видов сварных узлов используют функцию *Get weld symbol* (Взять обозначение сварки с модели), но после создания вида с разрывом обозначение сварных швов пропадает.

Это известное ограничение Autodesk Inventor® 6 и 7, которое будет устранено в Autodesk Inventor 8. Обозначение сварки автоматически не перемещается, если точка привязки символа находится в области вида, которая не отображается в виде с разрывом. Перед созданием разрыва необходимо вручную переместить обозначение сварки в другую часть вида.

Таблица параметров гибки значительно увеличивает размер файла шаблона тонколистовой детали в Autodesk Inventor 7

Вы создали шаблон тонколистовой детали, содержащий несколько стилей и использующий таблицу параметров гибки для каждого стиля. Файл шаблона значительно больше аналогичного примера, поставляемого с Inventor. Как правило, это происходит, когда таблица параметров гибки содержит большое количество таблиц, многие из которых не используются.

Для исправления ошибки и уменьшения размера файла необходимо отредактировать таблицы параметров гибки и удалить таблицы для толщин листов, не используемых в шаблоне. Также следует проверить, что в диалоговом окне методов построения развертки *Unfold Method List* находится только одна таблица параметров гибки.



Рис. 8. Меню visualNastran Desktop 4D для определения свойств податливости опор

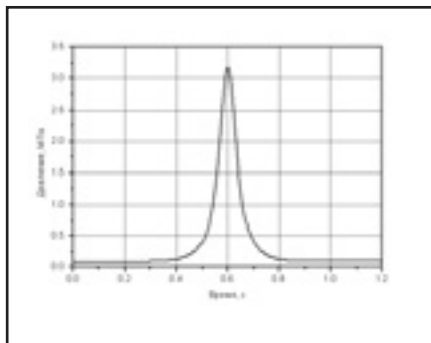


Рис. 9. Индикаторная диаграмма двигателя на режиме прокрутки

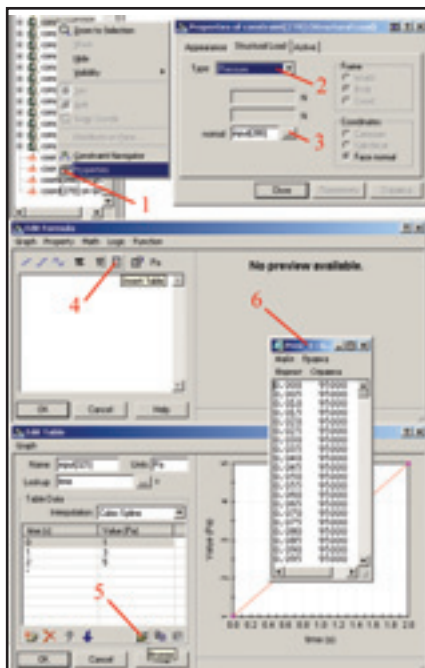


Рис. 10. Ход определения свойства нагрузки

прокрутки (рис. 9), к стенкам, образующим камеру сгорания по порядку работы цилиндров двигателя (1-3-5-6-4-2), — с использованием табличных данных. Сначала определяется место приложения газовой силы: *Insert* → *Structural Load* → *выбор по поверхности* (рис. 6), затем — свойства нагрузки (тип, значение по времени в такой

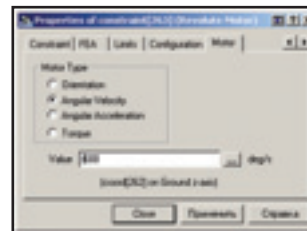


Рис. 11. Меню visualNastran Desktop 4D для определения свойств источника вращения

последовательности (рис. 10): в объектном листе указывается приложенная нагрузка, вызывается *контекстное меню* → *Properties* → *Structural Load* → *Type-Pressure* → ... → *Insert Table* → *Browse* → *выбирается таблица давления от времени* в формате *.txt. Необходимо отметить, что один оборот коленчатого вала соответствует 0,6 с, то есть в четырехтактном двигателе полный рабочий цикл происходит за 1,2 с.

6.3 Добавление источника вращения коленчатого вала, обеспечивающего его равномерное движение с заданной частотой $n=100$ мин⁻¹. Повторяет все операции, приведенные в п. 6.1, с той лишь разницей, что в списке предложенных взаимосвязей выбирается не *Linear Spring/Damper*, а *Revolute Motor* (рис. 7). Свойства источника вращения определяются так: в объектном листе выделяется источник вращения и вызывается *контекстное меню* → *Properties* → *Motor* → *Value* → *600 deg/s* (рис. 11).

7. Установка трех рабочих точек А, В и С (рис. 3) — аналогично приведенным в п. 6.1 операциям на остовах двигателя. Определение снимаемых с них расчетных характеристик — таких как перемещения по осям X, Y, Z в зависимости от времени. Для этого заходим в меню *Insert* и выбираем *Meter* → *Position* (рис. 12).

8. Настройка расчетных параметров среды (метод интегрирования, шаг расчета и др.) через выпадающее меню *World* → *Simulation Settings* (рис. 13).

9. Непосредственно сам расчет, в результате которого были получе-

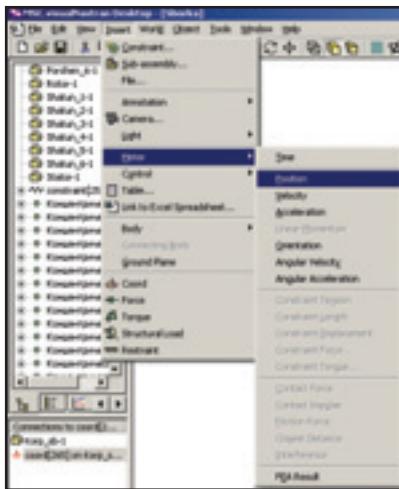


Рис. 12. Меню visualNastran Desktop 4D для определения расчетных характеристик

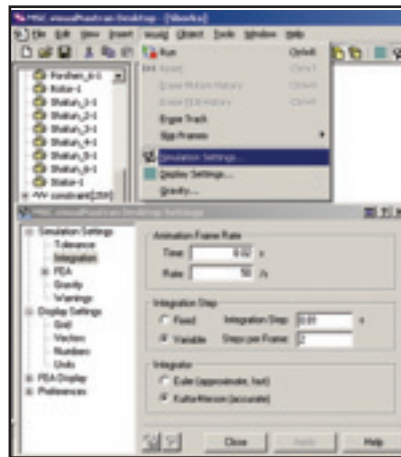


Рис. 13. Меню visualNastran Desktop 4D для настройки расчетных параметров среды

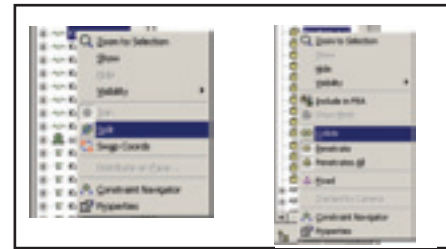


Рис. 14. Меню visualNastran Desktop 4D: слева – для подавления шарнирных зависимостей, справа – для определения соударяющихся деталей

ны перемещения для характерных точек А, В и С по осям X, Y, Z. Для активации расчета могут быть использованы горячие клавиши **Ctrl+R**.

10. Экспорт полученных данных в табличном виде для их последующей обработки проводится следующим образом: выпадающее меню **File** → **Export** → **Meter Data**.

Расчет выполнялся на персональном компьютере с тактовой частотой процессора 2,4 ГГц и объемом оперативной памяти 1 Гб. Время счета каждой задачи составляет порядка 40 часов.

В задаче, касающейся влияния зазоров в кинематических парах "поршень – гильза" на общее вибрационное состояние силовой установки тепловоза ЧМЭ-3, необходимо указать соударяющиеся детали (п. 4). Для этого сначала подавляется шар-

нирная зависимость между этими деталями: в объектном листе выбирается шарнир, вызывается *контекстное меню* и указывается пункт *Split* (левая часть рис. 14). Далее определяется соударяющаяся пара "поршень – гильза": в объектном листе указывается поршень с гильзой, вызывается *контекстное меню* и указывается пункт *Collide* (правая часть рис. 14). Та же последовательность действий выполняется для всех шести цилиндров.

В ходе расчета были получены кривые перемещения точек А, В и С по осям X, Y и Z при различных зазорах в паре "поршень – гильза". Наиболее интересный результат представлен на рис. 15 для точки В при перемещении по оси Z в промежуток времени от 2,6 до 2,8 с.

При решении задачи о влиянии жесткостей опор на общее вибрационное состояние двигателя ука-

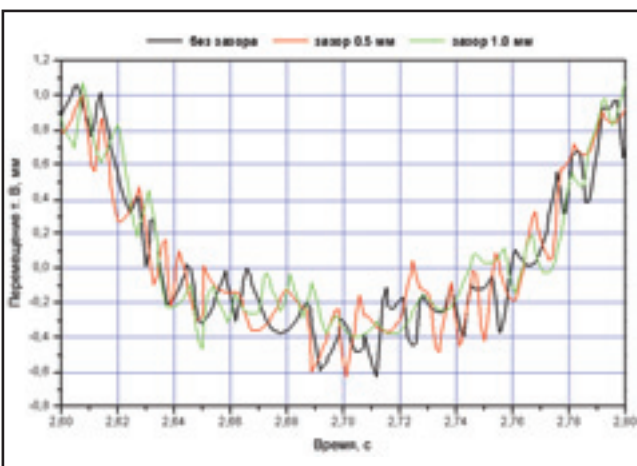


Рис. 15. Перемещение точки В по оси Z при различных зазорах в паре "поршень – гильза"

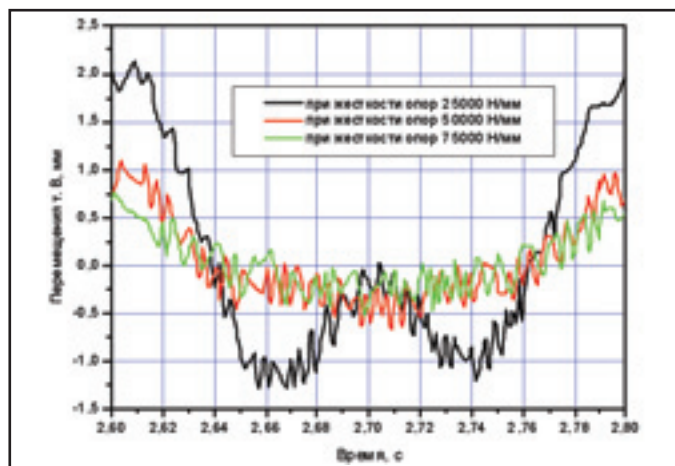


Рис. 16. Перемещение точки В по оси Z при различных жесткостях опор

зывается соответствующая жесткость: 25 000, 50 000 или 75 000 Н/мм (см. п. 6.1).

Как результат расчета получены перемещения рабочих точек. Часть полученных данных представлена на рис. 16.

Рассмотренный нами пример подтверждает, что visualNastran Desktop 4D является эффективным и простым в освоении программным продуктом, позволяющим решать сложные, в том числе нелинейные задачи динамики механизмов.

Александр Яманин,
д.т.н., профессор
кафедры "Двигатели внутреннего сгорания" ЯГТУ

Тел.: (0852) 44-6833

E-mail: yam@ystu.yar.ru

Сергей Болдырев,
аспирант кафедры "Двигатели внутреннего сгорания" ЯГТУ

Тел.: (0852) 44-6833

E-mail: boldurevsn@mail.ru

Алексей Болдырев,
Consistent Software Ярославль
Тел.: (0852) 73-1756, 73-1757
E-mail: boldyrev@csoft.yaroslavl.ru