



Autodesk Inventor 11

ШАГ ЧЕТВЕРТЫЙ – МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМОВ И АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

В начале своей замечательной книги "Теория механизмов" академик И.И. Артоболевский привел краткий обзор механизмов, применяемых в технике. Так автор вводил читателя в богатейший мир исполнительных устройств машин различного назначения и намечал задачи, стоящие перед проектировщиками этих устройств. Следуя той же логике, в начале статьи кратко перечислим основные виды существующих механизмов:

- рычажные механизмы;
- кулачковые механизмы;
- зубчатые механизмы;
- фрикционные механизмы;
- клиновые и винтовые механизмы;
- механизмы с прерывистым движением ведомого звена;
- механизмы с гибкими звеньями и т.д.

Появившийся в 11-й версии Autodesk Inventor Professional модуль Dynamic Simulation позволяет анализировать каждый из этих видов механизмов, а также любое их сочетание. Что же входит в задачи такого анализа? Как в практике проектирования, так и в Inventor основным является определение положений, линейных скоростей и ускорений точек звеньев, угловых скоростей и ускорений самих звеньев, усилий в кинематических парах, построение траекторий и т.д. Исчерпывающая информация о механизме необходима для обеспечения правильности его работы: соответствия критерию функционально-

го назначения, предотвращения столкновений звеньев, отсутствия заклинивания, обеспечения прочности и долговечности входящих в состав механизма компонентов – этот список при необходимости можно существенно расширить.

Какие инструменты использует модуль Dynamic Simulation для решения названных задач? Для начала следует отметить, что механическая система является совокупностью подвижных и неподвижных звеньев, соединяющих эти звенья кинематических пар, движущих сил и сил сопротивления.

Исходя из данного определения, обратимся прежде всего к тривиальному, казалось бы, вопросу – об определении характеристик звеньев. Действительно, работая в Inventor, опытные пользователи уже привыкли к тому, что все массово-инерци-

онные характеристики деталей определяются автоматически. А ведь именно эти сведения являются необходимой исходной информацией для динамического анализа механизмов. Таким образом, совершенно логично работать в единой среде проектирования и расчета, получая данные для анализа непосредственно из модели.

Вопрос о существующих в Dynamic Simulation кинематических парах следует рассмотреть особо. Если обратиться к классическим учебникам по теории механизмов и машин, то, несмотря на исчерпывающее описание, использование в практических задачах только приведенных там способов взаимодействия поверхностей может оказаться недостаточным либо постановка довольно простой задачи существенно усложнится. На рис. 1 приведен полный список способов соединения (а



Рис. 1. Виды кинематических пар

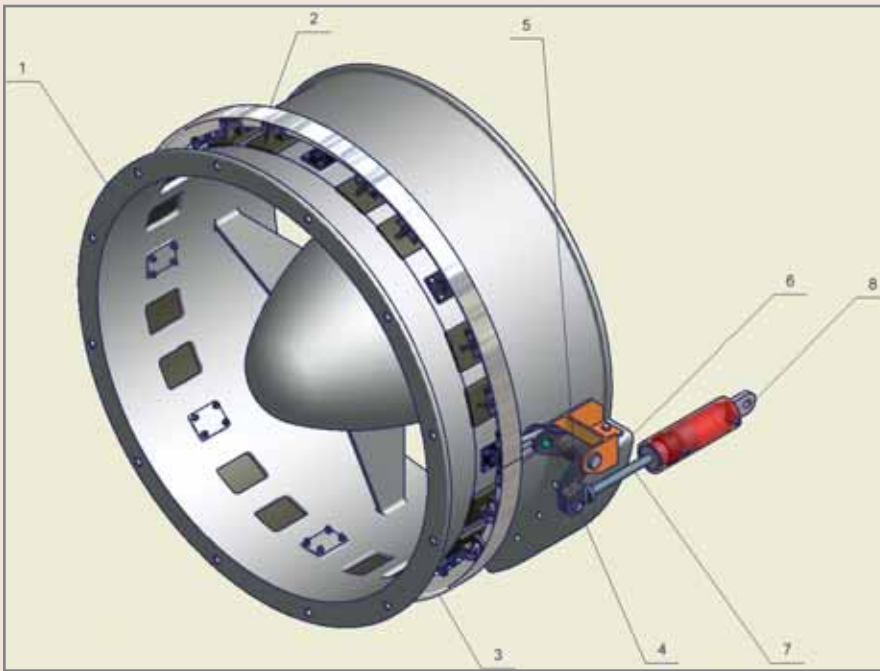


Рис. 2. Механизм РРГТД

в общем случае — взаимодействия) звеньев механизма в модуле Dynamic Simulation.

Как видно из рисунка, в Dynamic Simulation предусмотрены как стандартные виды кинематических пар, так и различные специальные виды, помогающие описать работу зубчатых и червячных передач с подвижными и неподвижными осями, ременных и цепных передач, кулачковых механизмов, храповых и цевочных механизмов, а также задавать упругие связи и трехмерный контакт между телами.

Dynamic Simulation позволяет прикладывать внешние силы и моменты к звеньям, анализировать структуру механизмов, строить траектории точек звеньев, преобразовывать сборочные зависимости в кинематические пары (команда *Convert*

Assembly Constraints), выводить графики рассчитанных при симуляции движения величин, вычислять силу, приложив которую к тому или иному звену можно привести механизм в состояние статического равновесия (команда *Unknown Force*), записывать анимационные ролики движения механизма.

В качестве примера рассмотрим механизм регулирования расхода газотурбинного двигателя (рис. 2). В этом механизме две жестко связанные друг с другом полуленты 2 и 3 соединены с неподвижным корпусом и могут совершать вращательное движение вокруг своей общей оси, открывая окна на корпусе и тем самым сдвигая воздух в подкапотное пространство. Движение осуществляется с помощью гидроцилиндра 8, в котором ходит ползун, жестко связанный со штоком 7. Шток соединен с качалкой 5, закрепленной на неподвижной стойке 6. Поворачиваясь, качалка передает движение полулентам с помощью звена 4, соединенного сферическим шарниром с проушиной, жестко закрепленной на полулентах.

На рис. 3 изображен браузер динамической модели. Неподвижные детали отнесены в группу *Grounded*, а подвижные — в группу *Mobile groups*. Кинематические пары, которыми соединены звенья, показаны в разделе *Standard Joints*. Приведем расшифров-

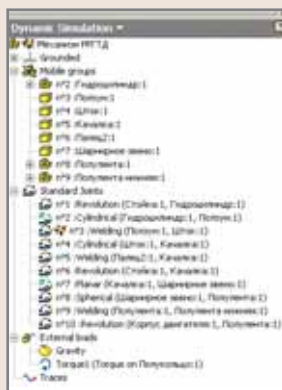


Рис. 3. Браузер Dynamic Simulation

TIPS&TRICKS

Библиотека компонентов
Inventor 11 аварийно завершает
работу после установки SP1

Проблема

После установки SP1 на всех клиентских местах при вставке определенных компонентов библиотеки аварийно завершает работу, при этом остальные компоненты вставляются нормально.

Решение

SP1 не обновляет папки *Design Data* и *Catalog*, когда они хранятся на сервере для централизованного использования. Чтобы гарантированно обновить соответствующие файлы, переместите папки на локальные машины и, установив SP1, вновь верните их на сервер.

Ошибка идентификации пользователя: JobUser: 301

Проблема

В локализованных версиях Autodesk Data Management Server имя пользователя для JobUser передается, однако в файле *.config* не отображается. Для настроек по умолчанию этого файла в *log*-файле приложения каждую минуту появляется следующее сообщение: 'Authentication failed for user: JobUser: 301'

Решение

Вы должны убедиться, что имя пользователя и пароль, используемые в ADMS, соответствуют информации, представленной в файле *.config*.

1. Проверьте значения в *.config*-файле.

В проводнике Windows откройте *C:\Program Files\Autodesk\Data Management Server 5\Server\Dispatch*, а затем файл *Connectivity.WindowsService.JobDispatch.exe.config* в Notepad или Wordpad. Внизу расположены две строки:

```
<add key="Username" value="JobUser" />
<add key="Password" value="JobUser1234" />
```

2. Добавьте нового ADMS-пользователя.

Запустите Vault Explorer, в меню *Tools* → *Administration* выберите *Users*. Создайте нового пользователя с такими же значениями, как и в *.config*-файле. User Name = JobUser, Password = JobUser1234

Пользователь должен обладать правами 'Job Executor'.

TIPS&TRICKS

Сетевое развертывание Inventor Professional не создает ярлыки в Network license launch

Проблема

В Network license launch стартового меню *Inventor* после установки продукта с сетевого образа находится только команда вызова справки.

Решение

Вы можете вручную создать соответствующие ярлыки, скопировав иконку *Inventor Professional* из стартового меню *Inventor*, переименовав и отредактировав ее. Переименуйте и отредактируйте название следующих четырех ярлыков:

'Use Inventor Series License' append /INVBUN

'Use Inventor Professional for Routed Systems' append /INVPRORS

'Use Inventor Professional for Simulation' append /INVPROSIM

'Use Inventor Professional' append /INVPRO

Отредактированные ярлыки будут иметь следующий вид (возможно, придется отредактировать путь к директории *Inventor*):

Inventor Series: "C:\Program Files\Autodesk\Inventor 11\Bin\Inventor.exe" /INVBUN

Inventor Professional Routed Systems: "C:\Program Files\Autodesk\Inventor 11\Bin\Inventor.exe" /INVPRORS

Inventor Professional Simulation: "C:\Program Files\Autodesk\Inventor 11\Bin\Inventor.exe" /INVPROSIM

Inventor Professional: "C:\Program Files\Autodesk\Inventor 11\Bin\Inventor.exe" /INVPRO



Рис. 4. Устранение лишней степени свободы



Рис. 5. Окно анализа структуры механизма

ку соответствующих названий кинематических пар:

- *Revolution* — соединение с одной степенью свободы, допускающее относительное вращение звеньев;
- *Cylindrical* — соединение с двумя степенями свободы, допускающее относительное поступательное и относительное вращательное движение звеньев;
- *Welding* — жесткое соединение;
- *Planar* — соединение типа "брус-плоскость", допускающее относительное вращательное и два относительных поступательных движения звеньев;
- *Spherical* — сферический шарнир.

Механизм с таким набором кинематических пар обладает не одной, а двумя степенями свободы, вторая из которых, "внутренняя", представляет собой вращение шарнирного звена в плоскости прорези качалки. Чтобы устранить эту излишнюю степень свободы, можно вызвать диалоговое окно свойств соединения и выбрать для соответствующей степени свободы опцию *Locked* (рис. 4).

Чтобы узнать структуру механизма, необходимо вызвать окно *Repair*

Redundancies (рис. 5), в котором показывается как число степеней подвижности (degrees of mobility), так и число статических неопределимых механизмов. Кроме того, механизм разбивается на кинематические цепи (в данном случае — две), которые представляют собой наборы звеньев, обладающие одной степенью подвижности. В окне *Repair Redundancies* в табличном виде приводится информация о кинематических парах, соответствующих выбранной цепи. С помощью кнопки *Highlight chain's components* можно увидеть на экране звенья, входящие в цепь. Важным инструментом является также кнопка *Test*, позволяющая проверить кинематику сформированного механизма.

В нашем случае исходными данными являются заданная скорость перемещения ползуна в цилиндре, а также момент сопротивления, действующий на ползун. Момент сопротивления задается с помощью команды *Torque* (и далее в браузере отображается в разделе *External Loads* — *Внешние нагрузки*), а движение ползуна — в окне свойств кинематической пары. Чтобы задать определенный закон движения ползуна, необходимо перейти на закладку соответствующей степени свободы соединения, выбрать опцию *Edit imposed motion* и указать положение, скорость или ускорение звена (рис. 6).

Что касается внешней силы (или момента), то она может быть как ассоциативно связана со звеном, к которому приложена (то есть перемещаться вместе с ним), так и иметь постоянное положение в пространстве. Это обстоятельство весьма важно при моделировании работы зубчатых и червячных передач. Дело в том, что в зубчатой передаче в Dynamic Simulation реализован расчет только окружных усилий. Остальные усилия, обусловленные углом профиля нарезающего инструмента и углом наклона зубьев, можно задать вручную в виде внешних нагрузок. При этом для передач с неподвижными осями следует назначить нагрузкам фиксированное положение в пространстве.

В ходе анализа работы механизма необходимо решить следующие задачи:

- определить угловую скорость движения ползунт;



Рис. 6. Задание движения ползуна

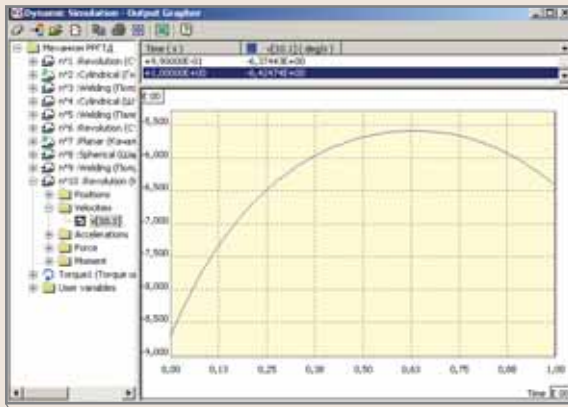


Рис. 7. График изменения угловой скорости полулент

- определить интегральное усилие, действующее со стороны полулент на корпус;
- рассчитать качалку на прочность в начальный момент времени.

Чтобы узнать закон изменения той или иной величины (скорости, ускорения, силы и т.д.), необходимо указать ее в диалоговом окне *Output Grapher*. График изменения угловой скорости полулент, измеряемой в град/с, приведен на рис. 7.

Диалоговое окно *Output Grapher* содержит ряд полезных команд. Например, двойным щелчком мыши можно отметить на графике интересное положение и с помощью ко-

манды *Export to FEA* сохранить на грузки, рассчитанные в ходе динамического анализа, для дальнейшего прочностного расчета. А с помощью команды *Export data for Excel* — создать таблицу данных в Excel и соответствующую диаграмму рассчитанных значений выбранной величины.

При определении усилия, действующего, например, между полулентами и корпусом, желательно видеть не только график изменения силы во времени, но и ее интерактивное отображение. Для этого перед началом симуляции нужно щелкнуть правой клавишей мыши на соединении кор-

пуса с полулентами в браузере и в контекстном меню выбрать *Properties*. На закладке *General* следует поставить флажок напротив опции *Display\Force*, выбрать цвет отображаемой силы и масштаб, в котором она будет отображаться. Для отображения момента, действующего в соединении, надо поставить флажок напротив опции *Display\Torque* (рис. 8).

На рис. 9 черным показан момент сопротивления, а красным — сила, действующая между корпусом и полулентами в определенный момент работы механизма.

Перейдем к прочностному расчету качалки. Здесь, как обычно бывает в таких случаях, проблема заключается прежде всего в том, что шарнирное звено входит в два паза качалки, а шток посредством пальца воздействует на две цилиндрические поверхности отверстия качалки. Таким образом, система получается статически неопределимой, и с интерпретацией результатов следует быть осторожным. Об этом предупреждает пользователей и сам модуль *Dynamic Simulation*. Однако, исходя из того, что производимый прочностной расчет является прежде всего оценочным, дающим нам представление об ориентировочном уровне напряжений в детали, выполним его.

Для этого в начальный момент времени необходимо запустить команду *Export to FEA*, после чего достаточно лишь указать деталь, прочность которой нас интересует. Предварительно желательно указать те грани качалки, на которые будут распределяться рассчитанные усилия. Затем двойным щелчком мыши активируем режим редактирования детали, переходим в режим *Stress Analysis* и выбираем команду *Motion Loads* (рис. 10).

Нагрузки будут сформированы автоматически. Остается только выбрать качество сетки конечных элементов и запустить расчет. На рис. 11 показано напряженное состояние качалки.

Необходимо отметить, что к результатам анализа напряженно-де-

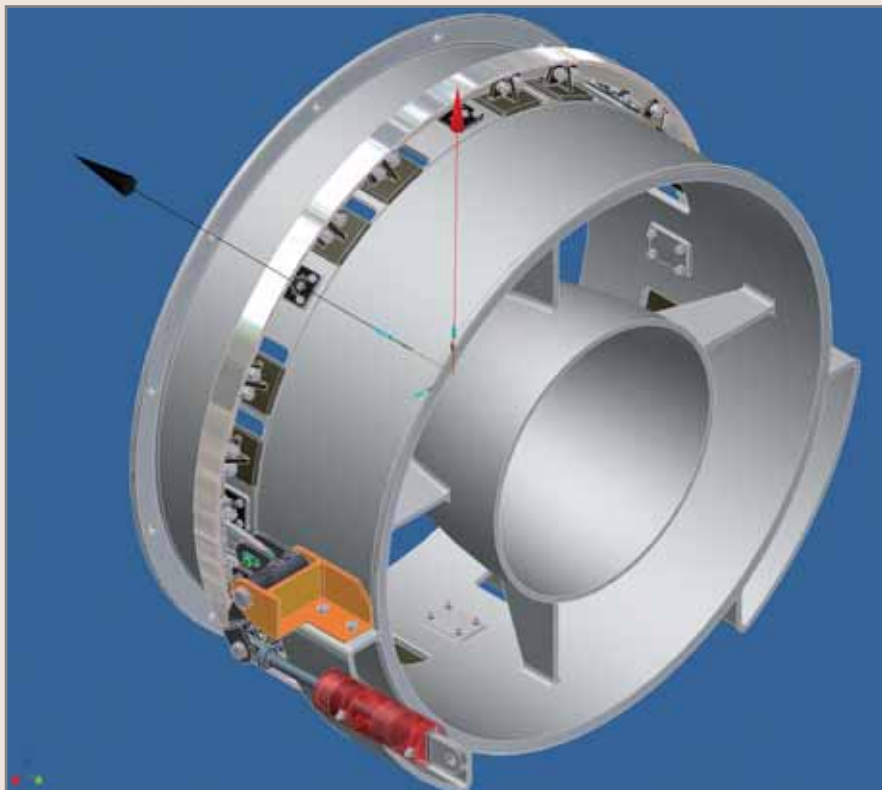


Рис. 9. Отображение силы, действующей между корпусом и полулентами



Рис. 8. Задание опции отображения усилия при симуляции



Рис. 10. Формирование динамических нагрузок

формированного состояния, полученным описанным выше способом, следует относиться осторожно, особенно на начальной стадии использования модуля Dynamic Simulation. Это связано с часто встречающейся на практике статической неопределенностью механизмов, а также с возможной неточностью приложения нагрузки в модуле Stress Analysis, рассчитанной в Dynamic Simulation. Как было указано выше, при наличии сомнений лучше определить грани приложения нагрузок вручную. Не исключено также, что модель может потребовать "ручной" доработки. Тогда лучше открыть файл интересующей детали и приложить там необходимые нагрузки и закрепления, перейдя в режим *Stress Analysis*. Например, рассчитав интегральное усилие, действующее между корпусом и полулентами, невозможно в автоматическом режиме приложить полученные нагрузки к корпусу. Необходимо провести достаточно трудоемкую работу, прикладывая нагрузки к площадкам под роликовыми опорами, руководствуясь при этом законом косинуса для радиальной силы, линейным законом для сил, создающих момент, и равномерным законом распределения для осе-

вой силы. (Поскольку в нашем случае конструкция корпуса сложная, для анализа ее напряженно-деформированного состояния лучше воспользоваться такими программами, как Patran/Nastran.)

Итак, подведем краткие итоги. Средства инженерного анализа Autodesk Inventor Professional 11 позволяют:

1. Анализировать структуру механизмов.
2. Проводить кинематический и динамический анализ механизмов. Следует отметить, что в кинематических парах можно задавать такие величины, как жесткость, демпфирование и сухое трение. "Ручной" анализ даже относительно простых механизмов с учетом этих факторов может оказаться весьма трудоемким. А ведь расчет с учетом трения необходим для исключения возможности заклинивания механизма.
3. Экспортировать рассчитанные в ходе динамического анализа усилия в модуль Stress Analysis для расчета на прочность.
4. Проводить с помощью модуля Stress Analysis линейный статический анализ прочности детали и рассчитывать собственные частоты

и формы колебаний свободных и закрепленных тел, в том числе с учетом нагружения. При этом желательно осуществлять анализ напряженно-деформированного состояния деталей, имеющих примерно равный порядок своих основных размеров.

Не стоит также забывать и о функционале, представленном в Autodesk Inventor Series 11. Входящий в его состав Design Accelerator позволяет, помимо расчетов основных видов деталей машин, проводить проверочный и проектировочный расчет устойчивости колонн с различными видами закреплений; статический расчет балок (похожая возможность реализована и в новом модуле Frame Generator, входящим в состав Inventor 11); расчет прямоугольных и круглых пластин.

Возможности инженерного анализа, существующие в Inventor, обеспечивают возможность осуществлять оптимальное проектирование машин и моделировать их поведение до изготовления опытных образцов.

Юрий Затоненко
CSoft

Тел.: (495) 913-2222

E-mail: zatonenko@csoft.ru

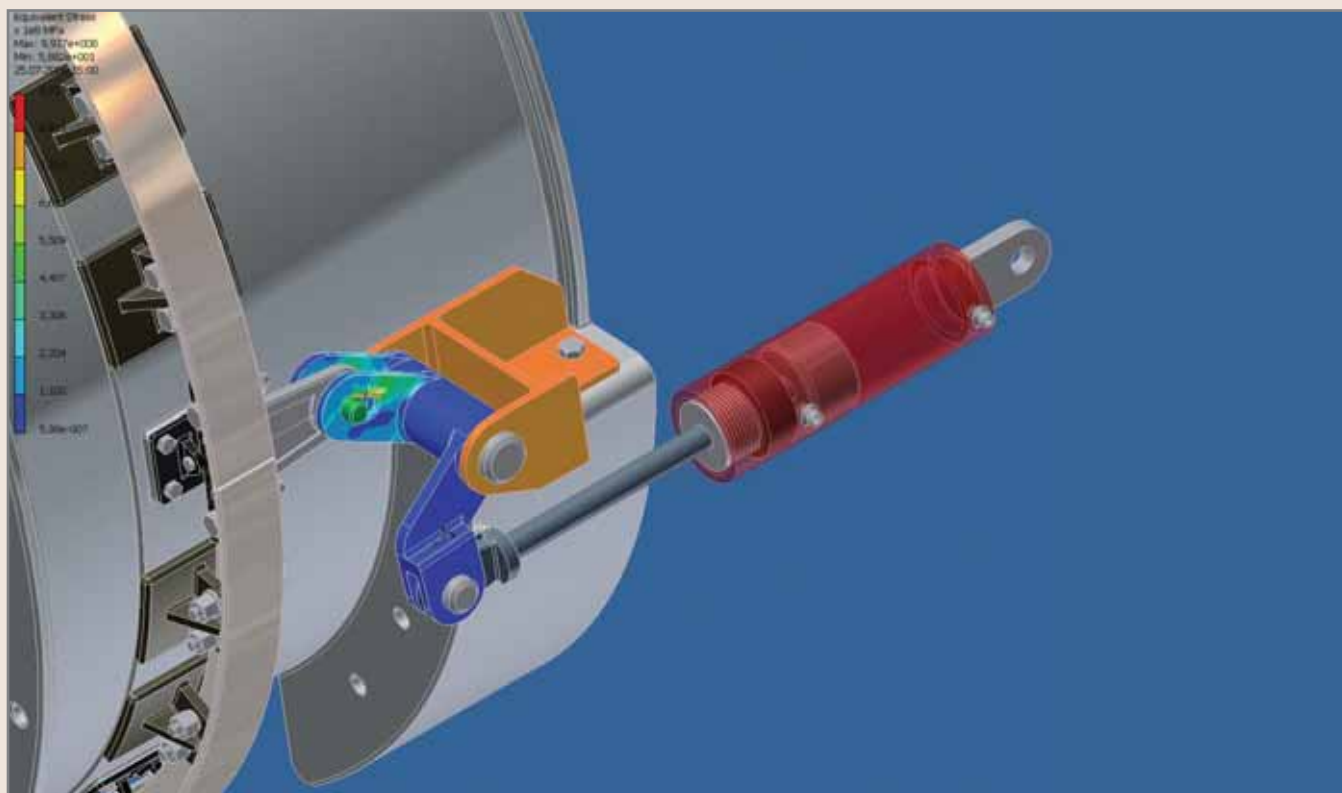


Рис. 11. Напряженное состояние качалки