

Методическое пособие к лабораторным работам по курсу “Приложения систем САПР на макроуровне”

Мартынюк В.А.

Раздел “Симуляция кинематических механизмов”

Часть первая. Основные этапы подготовки и анализа проектируемых механизмов

Оглавление

<i>Методическое пособие к лабораторным работам по курсу “Приложения систем САПР на макроуровне”</i>	1
Теоретические основы анализа механизмов на макроуровне	3
Подготовка механизма для его анализа с помощью приложения “Симуляция кинематических механизмов”	4
Создание статической сборки	4
Два режима работы в процессе анализа	4
Преобразование ограничений сборки в кинематические пары	5
Навигатор перемещений	5
Перечень возможных кинематических пар	6
Первый проект. Кинематическая пара – узел вращения	6
Создание статической сборки	6
Переход в приложение “Симуляция кинематических механизмов”	7
Диалоговое окно “Окружение”	7
Выбор ручного или автоматического задания кинематических пар	8
Ручное перечисление деталей механизма	9
Какие инструментальные панели нам потребуются	9
Сколько деталей должно присутствовать в анализируемом механизме	9
Проверка и ручное назначение масс отдельных деталей	10
Задание начальных скоростей для деталей механизма	11
Ручное построение кинематической связи типа “Вращательный шарнир”	11
Локальная СК кинематической связи	11
Диалоговое окно определения кинематической пары. Закладка “Определение”	11
Закладка “Трение”	12
Закладка Двигитель	13
Оформление “Решения”	13
Осторожнее доверяйте результатам анализа	14
Возможные диагностические сообщения во время составления и решения системы ОДУ	14
Возврат в режим редактирования и повтор “Решения”	15
Два режима работы	15
Новое состояние навигатора перемещений	16
Возможные способы управления анимацией	16
Диалоговое окно “Анимация”	16
Движок “Переместить анимацию”	17
Как хранится проект	17
Зубчатые соединения. Зубчатые колеса	18
Рейка и шестерня	19
Соединение тросом	20
Пружины, втулки, упоры	21

Пружина	21
Пружина на шарнире или на ползуне	22
Демпфер	23
Резиновая втулка	23
Упоры. 3D контакт	24
Применение упоров при моделировании кратковременных столкновений	25
Применение упоров при моделировании непреодолимых препятствий	25
Внешние воздействия	25
Скалярная сила	26
Первый пример	26
Второй пример	27
Векторная сила	27
Чем отличаются скалярная и векторная силы	28
Скалярный момент	28
Векторный момент	29
Построение графиков	29
Переключатели Относительно и Абсолютно	32
Построение графиков различных сил	33
Построение графиков с помощью маркеров	34
Пример построения графика с помощью маркера	35
Зачем ставят маркеры	35
Как ставят маркеры	35
Собственно построение графика маркера	36
Как интерпретировать полученные графики	37
Дополнительные возможности рассмотрения графиков	38
Построения графиков с помощью сенсора	39
Как устанавливается сенсор	39
Собственно построение графика сенсора	40
Функции	41
Построение табличной функции	42
Три шага задания функции	43
Просмотр графиков построенной функции	43
Завершение и редактирование построенной функции	44
Пример построения “табличной” функции	45
Задание “математической” функции	45
Задание математической функции с помощью сенсоров	46
Линейная скорость - сила	46
Угловая скорость – момент	48
Расчет статического режима	50
Примеры расчета статического режима	51
Пример с вращательными шарнирами	51
Пример с пружинами	52
Передача нагрузки	52
Основные положения	52
Собственно расчет реакций сил и моментов	53
Заклинивание	55
Пересечения	56
Диалоговое окно “Интерференция”	56
Измерения	57
Трассировка	59

Теоретические основы анализа механизмов на макроуровне

Анализ проектов различной физической природы на **макроуровне** выполняется с помощью таких известных систем, как ADAMS, AMESIM, ПА9 и др. При этом описание анализируемого объекта любой физической природы начинается с составления его эквивалентной схемы (рис.1). Каждый прямоугольник в этой эквивалентной схеме условно представляет собой некое явление: инерционность массы, упругость пружины, трение между телами, сопротивляемость в трубопроводе вязкой протекаемой жидкости, теплоемкость и пр. Именно составление эквивалентных схем анализируемых механизмов до сих является для механиков наиболее трудным и неприятным этапом.

В данном приложении системы NX 8.5 (*Симуляция кинематических механизмов*) при анализе механизмов вам не придется составлять эти эквивалентные схемы! Вам достаточно изобразить все детали механизма так, как они выглядят в действительности, с учетом реальной геометрии и массо - инерционных характеристик всех деталей (рис.2). Но эта возможность (избежать составления эквивалентных схем) возможна только при анализе поступательной и вращательной механики!

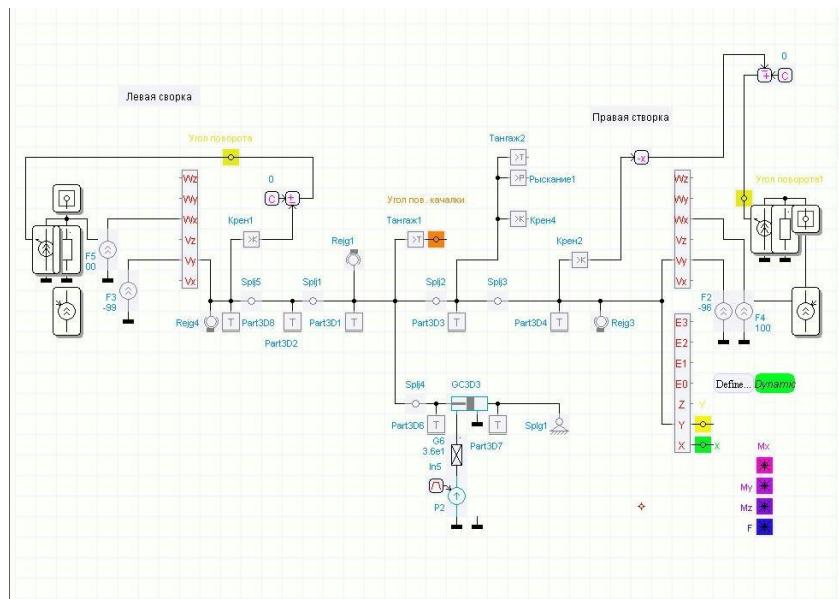


рис.1

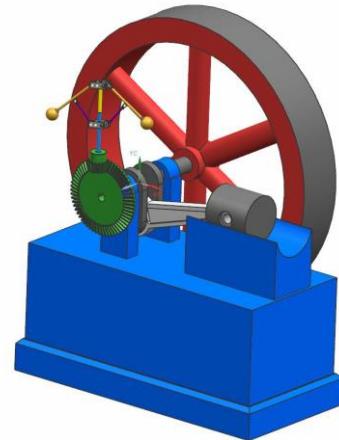


рис.2

При интерпретации результатов анализа, на экране компьютера в увидите анимацию (кино) движущегося механизма так, как это имеет место в реальной действительности.

Нужно отметить, что сущность описания механической системы осталась прежней. Просто все явления инерционности, упругости, трения; все массо – инерционные характеристики отдельных деталей система определит самостоятельно. В этом и состоит большое преимущество приложения “*Симуляция кинематических механизмов*”.

А далее, как обычно, при моделировании на макроуровне, сначала составляется система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которая затем численно интегрируется с заданным шагом и с помощью выбранного метода. Для составления системы ОДУ и её численного интегрирования в NX применяется дополнительное внутреннее приложение (скрытое от пользователя), которое называется *Решатель*.

В NX предполагается наличие двух решателей:

- *RecurDyn*
- *Adams*

Но сейчас и в обозримом будущем система NX работает **только с решателем RecurDyn !!!**

Мы, в Инно используем новый решатель – SimCenter 3D но методичка актуальна и для него.

- Чтобы узнать – какой решатель используется в данный момент, нужно выполнить команду *Файл \ Утилиты \ Настройки по умолчанию \ Симуляция кинематических механизмов \ Препроцессор*. В результате вы увидите содержимое диалогового окна, представленное на рис.3. Казалось бы, глядя

на рис.3, можно выбрать любой *Решатель*. Тем не менее, мы не рекомендуем менять *Решатель*, потому что весь функционал системы NX сейчас настроен именно на решатель *RecurDyn*!!!

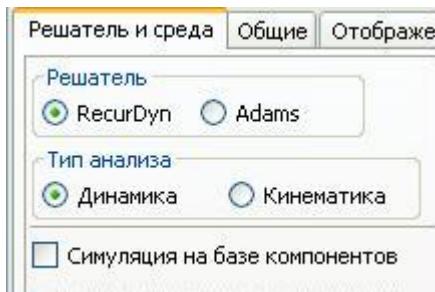


Рис.3

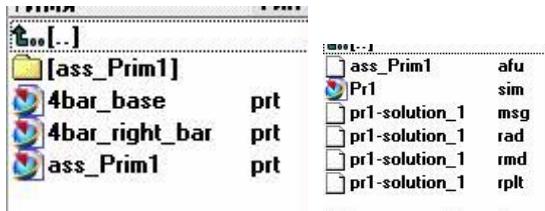


рис.4

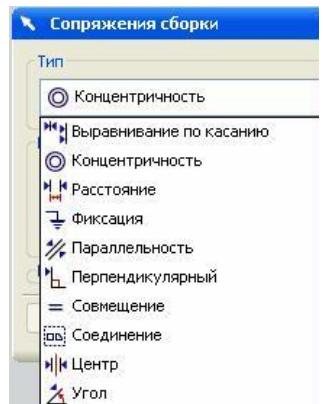


рис.5

рис.6

Подготовка механизма для его анализа с помощью приложения “Симуляция кинематических механизмов”

Создание статической сборки

- Нужно отметить, что для каждого вашего проекта в приложении “Симуляция кинематических механизмов” рекомендуется заранее сформировать **отдельную директорию**. Потом, внутри этой директории, по ходу анализа, будет сформирована еще одна вспомогательная директория – так называемая *Папка симуляции* (рис.4). Внутри этой папки симуляции по ходу анализа система расположит несколько вспомогательных файлов (рис.5). В общем, весь проект нужно хранить в отдельной директории.
- В самом начале проекта вам придется построить *статическую* сборку будущего механизма. То есть, все детали будущего механизма должны располагаться друг относительно друга так, как это имеет место в реальном механизме (рис.2). При этом, естественно, на все детали предварительно вам придется наложить *ограничения сборки* (рис.6).
- После построения статической сборки вы должны обязательно сохранить построенную сборку обычным способом. Это будет нашим **первым сохранением!!** Позднее, мы выполним и второе сохранение.

Два режима работы в процессе анализа

- После построения и сохранения статической сборки вы должны **впервые** перейти из режима (из приложения) *Моделирование* в режим (в приложение) *Симуляция кинематических механизмов*.
 - При этом нужно четко представлять себе, что в процессе нашего анализа вы можете по мере надобности, попеременно находиться:
 - И в режиме *Моделирование*
 - И в режиме *Симуляция кинематических механизмов*
- То есть, в процессе работы вы сможете неоднократно переходить и возвращаться из одного режима другой.
- Как только вы окажетесь в режиме *Симуляция кинематических механизмов*, вы сразу обратите внимание на новые инструментальные панели (рис.7).





Рис.7

- Позднее мы подробнее рассмотрим многие из команд этих панелей, а пока только обратите внимание на то, как отличаются инструментальные панели в режимах *Моделирование* и *Симуляция кинематических механизмов*.

Преобразование ограничений сборки в кинематические пары

- Наверное вы помните, что в кинематике отдельные детали механизма связываются между собой с помощью **кинематических пар**, или **связей** типа: *вращательный шарнир*, *цилиндрический шарнир*, *сферический шарнир*, *ползун* и др.
- Поэтому, после того, как вы перейдете в режим *Симуляция кинематических механизмов*, вам придется преобразовать существующие *ограничения статической сборки* в *кинематические пары*, или *связи*. Если же в своё время вы не создали ограничений сборки, то сейчас **кинематические пары** вам придется создавать самостоятельно на пустом месте.
- Позже вы узнаете, что преобразование *ограничений статической сборки* в *кинематические пары* выполняется автоматически или вручную. В самых первых несложных примерах мы будем выполнять это преобразование вручную. Но в ситуации, когда ограничений сборки много (50 штук и более, рис.8), можно воспользоваться и автоматическим преобразованием. Правда потом придется некоторые кинематические пары перепроверить!

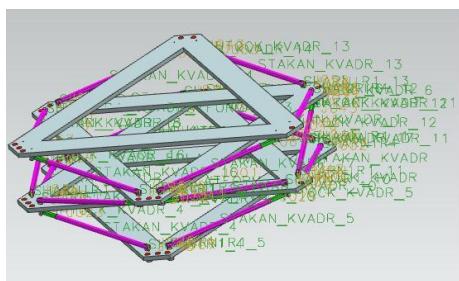


Рис.8



рис.9

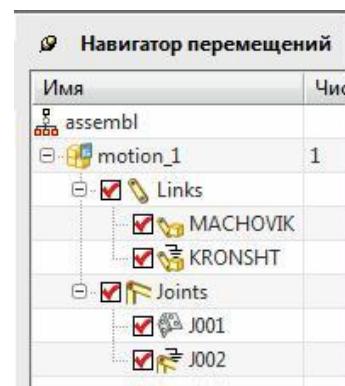


рис.10

- Кстати, обратите внимание на густоту всевозможных условных обозначений деталей и кинематических пар анализируемого механизма (рис.8). Чтобы хоть как-то разобраться в этих наименованиях, часто приходится убирать закраску граней, и крупнее смотреть нужную область проекта (рис.9).

Навигатор перемещений

- Во время анализа вместо привычных по прежним режимам *Навигатора детали* и *Навигатора сборки* нам придется работать с *Навигатором перемещений* (рис.10).
- В этом навигаторе используются довольно непривычные (непереведённые) термины:
 - Детали анализируемого механизма называются **Links**.
 - Кинематические связи между деталями, собственно *кинематические пары* называются **Joints**.
- Позднее мы подробнее поговорим о содержимом *Навигатора перемещений*, но уже сейчас нужно было сказать об этих терминах.

Перечень возможных кинематических пар

- Это очень важный пункт. В любой похожей системе (*CATIA, Pro-E*), перечень возможных **кинематических пар**, которыми могут соединяться отдельные детали в наших механизмах, - это самое главное ограничения всего приложения. Если вы не найдете нужной вам кинематической пары (например, соединенных сфер), то вы и не сможете промоделировать ваш механизм. В этом случае вам придется самостоятельно написать трехмерную модель требуемой кинематической пары. А это очень непросто!
- Какие способы соединения деталей, какие **кинематические пары** присутствуют в системе NX? Все эти кинематические пары перечислены на рис. 11. Но нужно заметить, что самыми употребимыми кинематическими связями являются только первые восемь (включая связь **Фиксировано**).
- Кроме этого, еще предусмотрены:
 - “зубчатые” передачи и тросы (рис.12);
 - Пружины, демпферы и упоры представлены на рис.13;
 - Сложные движения точки по кривой и поверхности показаны на рис. 14.

Вот только этими **кинематическими парами** вы и располагаете в нашем приложении “*Симуляция кинематических механизмов*”.

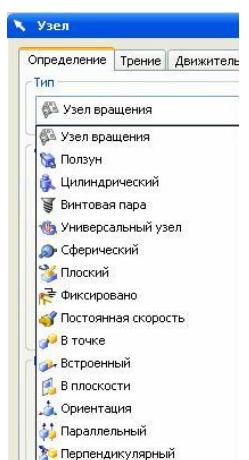


Рис.11

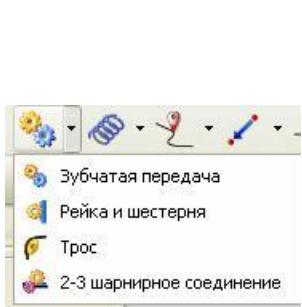


рис.12

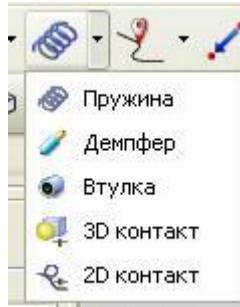


рис.13

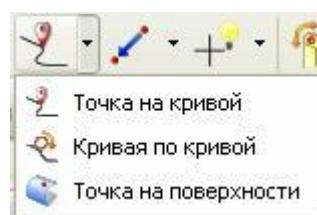


рис.14

Первый проект. Кинематическая пара – узел вращения

- На данном примере мы попытаемся первый раз пояснить **все этапы** выполнения анализа механизма на макроуровне с помощью данного приложения. Конечно, впоследствии вам придется иметь дела с разными кинематическими парами. Но на примере используемого здесь *Вращательного шарнира* мы оговорим все основные положения о том – как применять любую кинематическую пару, соединяющую детали вашего механизма.

Создание статической сборки

- Итак, на примере несложного двухзвенного механизма (рис.15), с одной единственной кинематической парой типа *Вращательный шарнир*, мы постараемся кратко рассмотреть основные этапы подготовки и анимации представленного примера.
- В учебной директории *Uch_Director* найдите директорию примера ***Prim1***.
- В этой директории присутствуют только две модели деталей (рис. 15,16).
- В удобном для вас месте создайте пустую директорию ***First_Prim***, и скопируйте туда эти две детали (рис.16).
- В этой же директории создайте проект пустой сборки.
- В эту сборку загрузите обе детали с *совпадением абсолютной системы координат*. В результате, в проекте сборки, в рабочем поле вы должны получить свой механизм таким, как изображено на рис.15. Пример придуман так, чтобы сейчас не отвлекаться на создание дополнительных ограничений сборки.

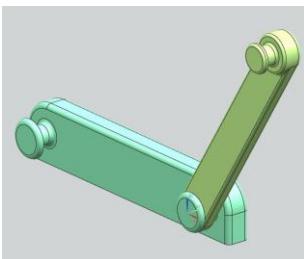


Рис.15

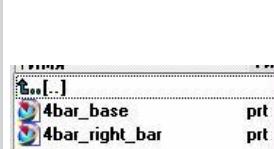


рис.16

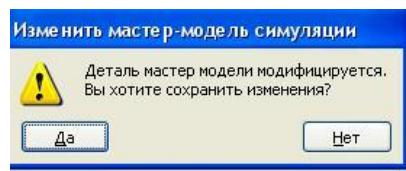


рис.17

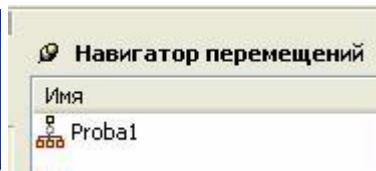


рис.18

- Сейчас мы находимся в режиме *Моделирование*. Ещё раз обратите внимание на то обстоятельство, что в нашей *статической* сборке мы пока не поставили ни одного *ограничения сборки* – детали и так “прыгнули” на положенные места. Но впоследствии, в реальных конструкциях эти ограничения придется задавать.
- Сохраняем нашу сборку. Таким образом, мы выполняем так называемое *первое сохранение*. Можете проверить – что теперь хранится в директории вашего проекта.

Переход в приложение “Симуляция кинематических механизмов”

- А сейчас впервые вызовем наше приложение – *Симуляция кинематических механизмов*.
- При этом иногда появляется сообщение рис.17. Отвечаем – ДА.
- После перехода в режим *Симуляция кинематических механизмов*, естественно, содержимое вашего экрана значительно изменится.
- Впервые появляется новый навигатор – *Навигатор перемещений*. В навигаторе перемещений пока присутствует только одна строка (рис.18). В этой строке присутствует *имя статической сборки*, которую вы предварительно создали.
- Мы ставим курсор на эту строку, и в контекстном меню (рис.19) выбираем команду *Новая симуляция*. В ответ система предоставляет диалоговое окно “Окружение” (рис.20).

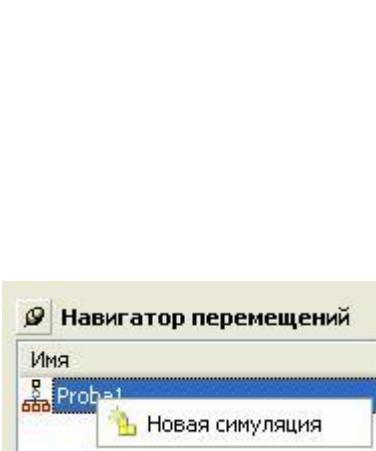


Рис.19

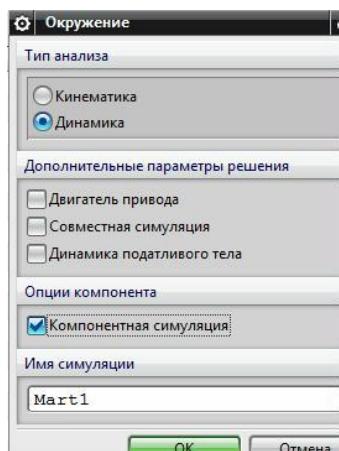


рис.20



рис 21

рис 22

Диалоговое окно “Окружение”

- В этом окне нужно:
 - Выбрать тип анализа *Динамика*. Дело в том, что многие возможности приложения работают только в динамическом анализе.
 - Включить переключатель *Компонентная симулация*. Это означает, что система учитывает реальную геометрию и массу всех деталей механизма в последующем анализе. В противном

случае (если вы работаете с бестелесными кривыми и точками), этот переключатель выключают.

➤ Остальные переключатели в поле *Расширенные опции решения* не включать.

- Что означают *Расширенные опции решения*, и почему мы ими сейчас не пользуемся.
- **Двигатель привода** – работа с электрическим мотором. Эта дополнительная опция требует дополнительной лицензии.
- **Совместная симуляция** – совместная работа с приложением *Расширенная симуляция(Advanced Simulation)*, в котором решаются прочностные и другие задачи методом КЭ. Для этого у вас также должна быть соответствующая лицензия.
- **Динамика гибкого тела** – учет деформации отдельных деталей вашего механизма, например, под действием ударов. Также применяется для совместной работы с методом КЭ.
- **ИМЕЙТЕ В ВИДУ**, что диалоговое окно *Окружение* (рис.20) вы всегда можете вызывать следующим образом:
 - В навигаторе перемещений поставьте курсор на строку *motion* (рис.21),
 - Вызовите довольно большое контекстное меню (рис.22), и в нем выберите команду *Среда*.
- Имя проекта симуляции вы можете задать в поле “*Имя симуляции*” (рис.20). По умолчанию система всегда предлагает имя *motion_1*.

Выбор ручного или автоматического задания кинематических пар

- После нажатия на клавишу **OK** в окне рис.20 в рабочем поле ничего не изменится, а состояние *Навигатора перемещений* станет таким, как на рис. 23. Под строкой с именем статической сборки появится строка с именем проекта симуляции.

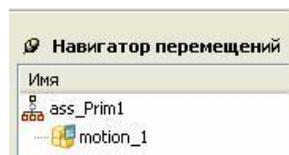


Рис.23

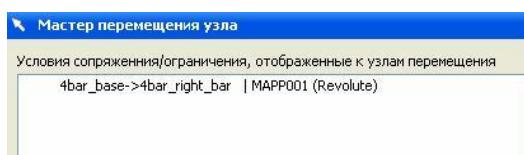


рис.24

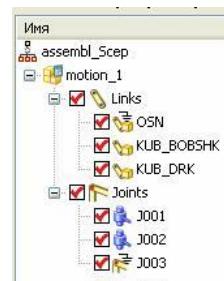


рис.25

- Если бы мы в свое время, ещё в *статической сборке* назначили какие-либо *ограничения сборки*, то система попыталась бы самостоятельно превратить их в кинематические пары. В этом случае система выдала бы сообщение как на рис.24.

В этом сообщении система предлагает результат своего **автоматического преобразования ограничений сборки в кинематические пары**. Мы знаем, что она может и ошибаться, поэтому придется решить: оставлять эти кинематические пары, или отказаться от них.

Внизу сообщения рис.24 есть кнопки **OK** и **ОТМЕНА**. Если вы нажмете **OK**, то примете все преобразованные кинематические пары. И в этом случае в *навигаторе перемещений* появятся сразу разделы **Links** и **Joints** (рис.25), в которых система все детали превратила в **Links**, а все кинематические пары в **Joints**.

А если вы нажмете **Отмена**, то в навигаторе перемещений останется только единственная строка ***motion_1*** (рис. 23). И далее вам придется «вручную» определять и детали механизма, и кинематические пары между ними.

В нашем примере, на первых шагах мы применим именно такой, ручной режим определения кинематические пар.

- Итак, в нашей ситуации состояние навигатора перемещений остается таким, как на рис.23.
- Кстати, строку *motion_1* можно сейчас же, с помощью контекстного меню, переименовать, чтобы потом легко идентифицировать ваш пример.

Ручное перечисление деталей механизма

Какие инструментальные панели нам потребуются

- Ранее мы уже говорили о новых инструментальных панелях этого приложения (рис.7, 27). Общий список всех возможных инструментальных панелей показан на рис. 26. Птичками показаны те панели, которые обычно активны. Пока ограничимся только указанными тремя инструментальными панелями.
- Сначала в панели инструментов *Перемещение* (рис.27) мы воспользуемся командой *Звено (Links)*. На рис.27 это четвертая слева пиктограмма. Так на русский язык переведена команда, которую следовало бы назвать *Детали механизма*.
- После того, как вы укажете курсором на эту пиктограмму, появляется окно рис.28.
- Далее нужно поочередно, в рабочем поле указать курсором на **все детали** нашего механизма.
- При этом для неподвижных деталей нашего механизма включаем переключатель *Фиксировать звено*. Для подвижных деталей этот переключатель выключаем.
- При этом в *панели выбора* автоматически стоит фильтр *Компонент*.
- После указаний на все детали механизма, и после того, как в окне рис.28 вы выполните команду ОК, состояние навигатора перемещений окажется таким, как на рис.29. В разделе *Links* перечислены две детали механизма с именами *L001* и *L002*. Причем одна из деталей зафиксирована. В разделе *Joints* указана единственная кинематическая связь – а именно связь фиксации.
- Даже в лабораторных работах рекомендуется заменить безликие имена *L001* на более понятные. Но делать это нужно **только латинскими буквами!**

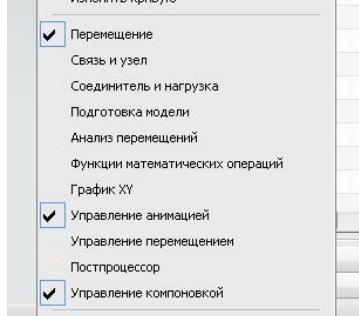


рис.26



рис.27

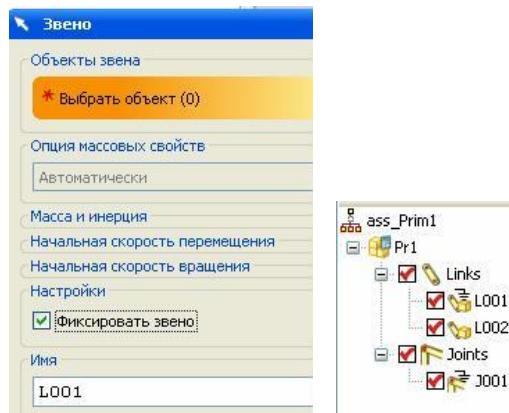


рис.28

рис.29

Сколько деталей должно присутствовать в анализируемом механизме

- Завершая разговор о перечислении деталей движущегося механизма, можно задаться вопросом – может ли весь механизм состоять из **единственного движущегося тела**? Не может! В системе обязательно, явно или **неявно**, должно присутствовать и **неподвижное основание**!

Например, нарисуйте обычный параллелепипед (рис.30), и считайте его единственной подвижной деталью вашего механизма. При этом вы можете задать, например, кинематическую связь типа *Вращательного шарнира*, *Сферического шарнира*, или *Ползуна* между этим параллелепипедом, и предполагаемым неподвижным основанием. И система все правильно поймет, и рассчитает вам перемещение этой единственной детали под действием, например, только её веса. Но при этом неподвижное основание неявно всё-таки будет присутствовать, потому что при формировании шарнира, вы указали, что этот шарнир связывает тело с *неподвижным основанием*. То есть неподвижное основание, хоть и не нарисовано, все равно в системе учитывается.

- Но если вы уберете все *кинематические связи* исследуемого тела, и примените к единственному телу, например, внешнюю силу или момент, или зададите ему начальное перемещение, то во время

Решения система выдаст сообщение как на рис.31, и анализ станет невозможным. Это произойдет потому, что в этом случае неподвижное основание вообще никак не упомянуто.

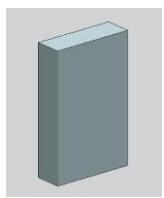


рис.30

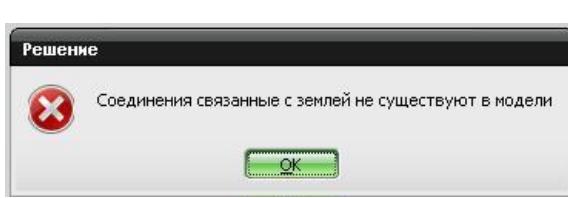


рис. 31

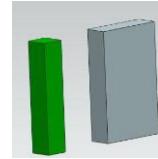


рис.32

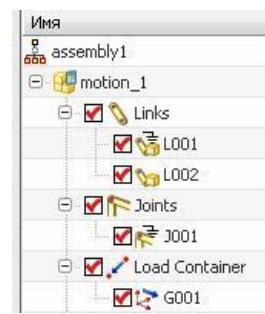


рис.33

- Чтобы анализ в данном примере все-таки состоялся, нужно в ваш механизм дополнительно вставить неподвижное тело (рис.32, зеленое тело). И тогда можно задавать внешнюю силу или момент на ваше единственное подвижное тело (рис.33). Система благополучно выполнит требуемый анализ.

Проверка и ручное назначение масс отдельных деталей

- Следующим шагом, после перечисления деталей анализируемого механизма, должно было стать формирование кинематических связей. Но сначала проверим массо - инерционные характеристики отдельных, уже перечисленных деталей.

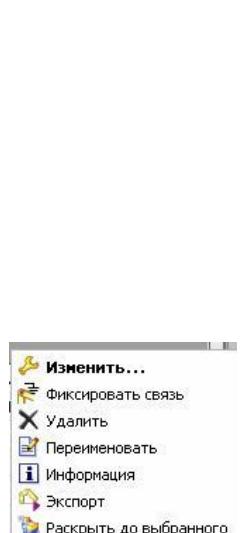


Рис.34

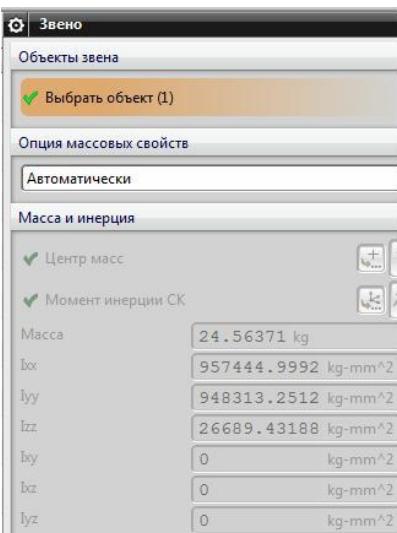


рис.35

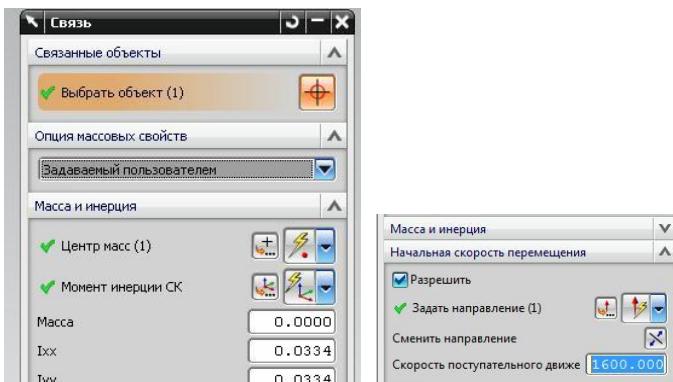


рис.36

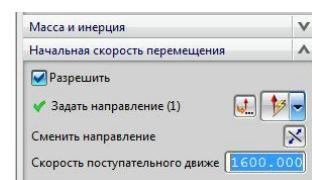


рис.37

- Если на рис.33 вы подсветите строку какой-либо детали, например, L002, потом вызовите контекстное меню, а нем выберите команду **Изменить** (рис.34), то система предоставит окно рис.35, в котором можно увидеть рассчитанные системой для данного тела **массу** и его **моменты инерции**. Обратите внимание на то, что все цифры – тусклые, потому что вы никак не можете изменить рассчитанные величины.

- Но если в поле *Опция массовых свойств* вы включите опцию **Задаваемый пользователем** (рис.36), то все поля станут активными, и теперь вы сможете волевым порядком изменить, например, массу данной детали. Более того, вы сможете изменить и нахождение **центра тяжести** данной детали. Для этого укажите соответствующую точку в поле *Центр масс*.

- И все эти изменения будут учтены в расчетах. Но интересно то, что эти изменения массо – инерционных характеристик детали никак не отразятся на “**мастер - модели**” данной детали. Там (в файле PRT этой детали) все останется по-прежнему. И после выполнения всех анализов в приложении

Симуляция кинематических механизмов, вы можете вернуться к прежним массо – инерционным характеристикам данной детали, которые ранее вы определяли, например, по команде *Анализ \ Измерение тел*.

Задание начальных скоростей для деталей механизма

- В том же диалоговом окне рис.36 кроме изменения массо – инерционных характеристик конкретной детали, вы можете задать и её начальную скорость (линейную или угловую). Для этого в поле “*Начальная скорость перемещения*” нужно включить переключатель *Разрешить* (рис.37).
- При этом нужно четко понимать, что заданная таким образом начальная скорость для конкретной детали в процессе анализа может меняться из-за наличия каких либо препятствий или воздействующих сил.
- Например, если на рис.38 вы зададите начальную скорость зеленой шайбе так, чтобы она перемещалась вправо, то при своем движении, натолкнувшись на синий бортик, эта шайба отскочит, и начнет перемещаться уже влево. При этом изменение её скорости по горизонтальной оси будет характеризоваться скачкообразным графиком (рис.39).



рис.38

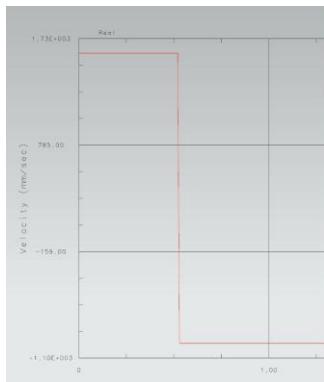


рис.39

Ручное построение кинематической связи типа “Вращательный шарнир”

Локальная СК кинематической связи

- Сразу нужно указать и определить очень важный термин. А именно: при определении всех кинематических связей существует важное понятие **локальной системы координат** (**ЛСК**) пары соединяемых деталей. Точное определение этой ЛСК позволит в дальнейшем четко определить взаимное перемещение деталей друг относительно друга.

Например, при описании *Вращательного шарнира* с помощью ЛСК мы задаем ось его вращения. Кроме этого, с помощью ЛСК мы задаем конкретную точку, к которой будут приложены реакции сил в этом шарнире, и относительно которой будут рассчитаны реакции моментов.

С помощью этой ЛСК вы сможете четко определить положительное направление изменения угловых перемещений и скоростей.

Итак, при описании каждого типа кинематической связи нам придется специально оговаривать – как должна расположиться *локальная система координат* соединяемых деталей.

- Итак, при описании любой кинематической пары нужно обязательно чётко определить положение её **локальной СК**!
- Кроме этого, важно разделять все детали механизма на *подвижные* и *неподвижные* (закрепленные). Неподвижные детали механизма можно вообще не изображать. Их можно только подразумевать. Поэтому при определении кинематических пар важно четко представлять – эта пара соединяет две *подвижных* детали, или одну *подвижную* деталь с *неподвижной*.

Диалоговое окно определения кинематической пары. Закладка “Определение”

- Все кинематические связи определяются с помощью пиктограммы *Соединение* (пятая пиктограмма слева на рис.40).

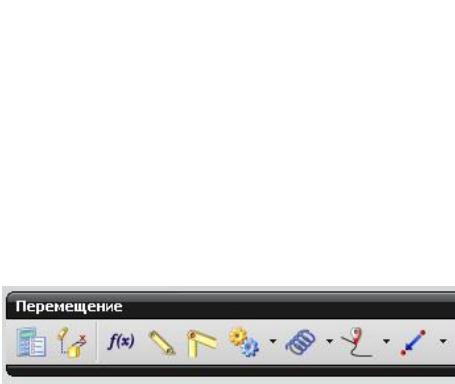


рис.40

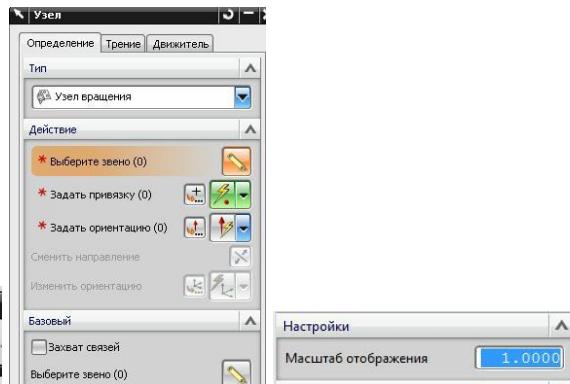


рис.41



рис.42

рис.43

- В ответ появляется диалоговое окно (рис.41). В поле *Тип* выбираем тип связи. В нашем случае – это *Узел вращения*.
- Как видите, у этого окна существуют три закладки (рис.41).
- На закладке *Определение* следует заполнить такие поля:
 - *Выберите звено* – укажите подвижную деталь соединяемой пары (в панели выбора при этом стоит фильтр *Грань*)
 - *Задать привязку* - укажите точку начала локальной СК данного соединения (можно указать центр соответствующего кругового ребра).
 - *Задать ориентацию* – задайте направление оси вращения.

ПРИМЕЧАНИЕ: направление оси вращения важно для задания положительного или отрицательного углового перемещения. Если ось вращения “смотрит” прямо на вас, то **положительным** угловое перемещение считается в том случае, если оно осуществляется **против часовой стрелки**!

- В поле *Базовый* ничего не указываем, потому что вторая деталь в нашем примере является неподвижной. Но если бы этим шарниром мы соединяли два подвижных тела, то вторую деталь пары мы бы как раз и указали в поле *Выберите звено*.

- Переключатель *Захват связей* вообще никогда не включайте (см. ниже!!!)
- В нижней части любого диалогового окна, описывающего связи, присутствует поле *Масштаб отображения* (рис.42). Этот масштаб относится к условному изображению данной связи (рис.43).

Закладка “Трение”

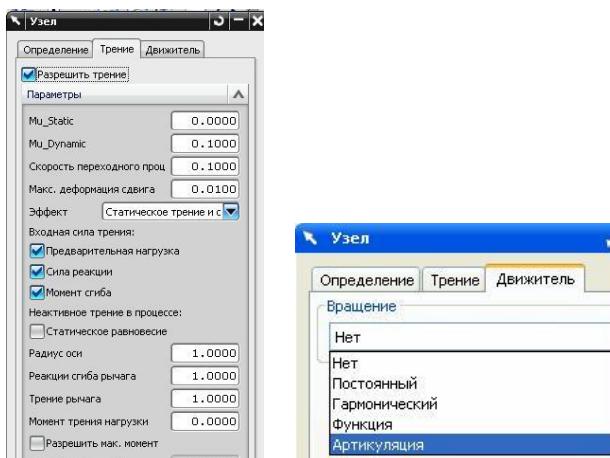


рис.44

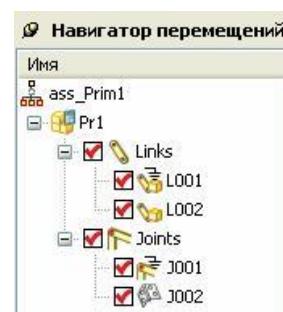


рис.45



рис.46

рис.47

- Содержимое этой закладки показано на рис.44. Естественно, здесь задаются характеристики трения. Для начала вы можете считать, что в вашем механизме трение полностью отсутствует. Подробнее об этом мы поговорим позднее.

Закладка Двигатель

- Возможные варианты закладки *Двигатель* показаны на рис.45.
- В данном примере мы пока остановимся на опции **НЕТ**. Это означает, что в нашем примере все перемещения механизма будут обусловлены только действием **веса** его деталей. Но в дальнейших примерах мы часто будем пользоваться закладкой *Двигатель* для придания *Шарнирам* и *Ползунам* нужных перемещений.
- На этом подготовка нашего примера заканчивается. Итоговое состояние навигатора перемещения показано на рис. 46. Обратите внимание на условное изображение *вращательного шарнира* – дверная петля.

Оформление “Решения”

- Мы впервые подготавливаем анимацию и анализ нашего механизма. В дальнейшем мы подробнее остановимся на разных возможностях этой процедуры, а пока согласимся со всеми предлагаемыми параметрами.
- Из той же панели инструментов *Перемещение* вызываем команду *Решение* (рис.47, третья справа). Заметьте, что в данной панели инструментов рядом располагаются две похожие пиктограммы, и обе называются *Решение*. Нас сейчас интересует третья справа пиктограмма (с человеческой кистью).
- В ответ появится диалоговое окно рис.47.
- Пока оставим большинство параметров как есть. Кратко оговорим самое необходимое:

 - **Время** анализа задается в секундах.
 - **Шаги** - число шагов на всё время анализа, в которых система будет **демонстрировать состояния механизма**. Напомним, что все *перемещения, скорости, силы* любой решатель (в нашем случае *RecurDyn*) рассчитывает на каждом шаге *численного интегрирования*, но демонстрирует вышеперечисленные переменные только в определенные моменты времени анализа. В нашем случае демонстрация промежуточного решения – это не просто точка на графике, но и положение всех деталей механизма в данный момент времени в пространстве. Так вот, число этих моментов на всем отрезке временного анализа мы и должны задать. Это как число кадров в секунду при демонстрации кинофильма.

Естественно, чем большее число шагов вы зададите, тем “плавнее” будет выглядеть перемещение механизма.

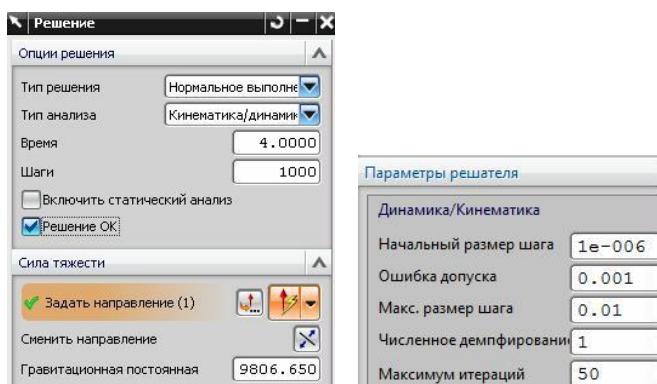


рис.47

рис.48

- Что же заставит ваш механизм двигаться? Нужно отметить, что даже если вы не зададите никаких внешних воздействий на анализируемый механизм, система все равно учитывает по крайней мере **вес** ваших деталей. И поэтому в диалоговом окне рис.47, в поле *Сила тяжести* вам придется уточнить

направление силы веса и численное значение гравитационной постоянной. Обратите внимание на то, что значение постоянной гравитации в нашем случае задается в мм/ сек².

- Обратите внимание на переключатель *Решение OK*. Если вы его включите (а мы так обычно и поступаем), то сразу после ОК в диалоговом окне рис.47 система сразу приступит к численному интегрированию ранее сформированной системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
- Признаком окончания решения является сообщение как на рис.53.
- Чаще всего пользователь не интересуется конкретными параметрами численного интегрирования. Но если бы он захотел это сделать, то в диалоговом окне рис.47, в нижней его части, в поле *Параметры решателя* (рис.48), можно уточнить все необходимые характеристики.

Осторожнее доверяйте результатам анализа

- Это старый вопрос – насколько можно доверять результатам математического анализа. Иногда вы можете получить совершенно неправильный результат. Например, если вы опрометчиво доверитесь параметрам численного интегрирования, заданным “по умолчанию”.
- Повторим наш простой пример (рис.49).

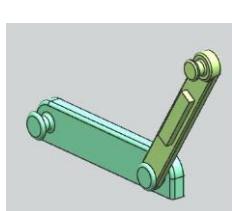


Рис.49

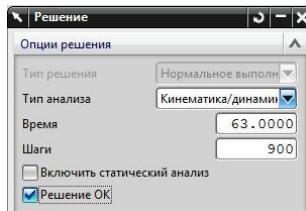


рис.50

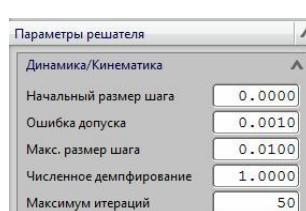


рис.51

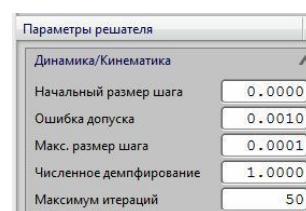


рис.52

- Если не задавать трение в шарнире, то зеленый маховик под действием собственного веса должен **бесконечно** качаться относительно неподвижного основания. Вот и проверьте это обстоятельство, назначив достаточно большое время анализа (рис.50), и приняв все параметры численного интегрирования, предложенные системой “по умолчанию” (рис. 51). Особо обратите внимание на величину *Максимального размера шага численного интегрирования* (*Макс. размер шага*). Сейчас она задана как 0.01 сек.
- Так вот, вы увидите, что с течением времени амплитуда колебаний станет все меньше, и меньше. И в конце анализа сложится уверенное представление о том, что колебания затухают. А не должны!! Всё дело в ошибке математического анализа, вызванной слишком большим максимальным шагом численного интегрирования.
- Уменьшим этот максимальный шаг численного интегрирования на два порядка (рис.52), и за то же время анализа вы увидите, что никакого затухания не произойдет. Поэтому помните о причинах возможных ошибок анализа, и не забывайте заглядывать в поле рис. 48.

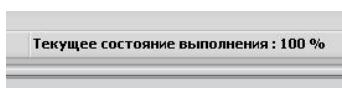


рис.53

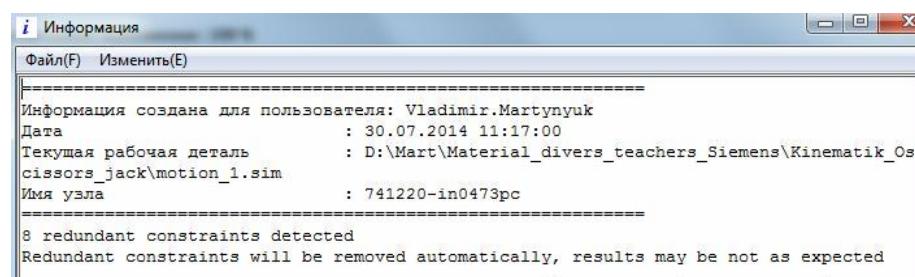


рис.54

Возможные диагностические сообщения во время составления и решения системы ОДУ

- Если в окне рис.47 вы включите переключатель “Решение ОК”, то система выполнит численное интегрирование составленной системы ОДУ. Признаком того, что численное интегрирование завершено, является сообщение в поле диагностических сообщений (рис.53).

- Но ситуации (и диагностические сообщения) при решении системы ОДУ могут быть самые разные. Например, система может выдать сообщение: “*Обнаружено 8 лишних ограничений. Лишние ограничения будут автоматически удалены, но результат может оказаться не таким, как вы ожидаете*” (рис. 54).
- Что это за ограничения? Дело в том, что в любом механизме, для каждого, задействованного в нем тела, существует шесть степеней свободы. Но каждая кинематическая связь, включенная между телами механизма, сокращает общее число степеней свободы. Например, вращательный шарнир сокращает 5 степеней свободы, и оставляет единственную степень свободы – вращение вокруг единственной оси. Существуют формулы, с помощью которых можно рассчитать итоговое число оставшихся степеней свободы анализируемого механизма. В русской технической литературе применяется формула Малышева. В зарубежной системе NX 8.5 для этой цели применяется формула, определяющая так называемое число Грубера. В данном пособии у нас нет возможности рассмотреть данный вопрос подробнее. Поэтому скажем только о том, что решатель RecurDyn приступает к составлению системы ОДУ только в том случае, если число Грубера равно 0 или менее ноля. Для этой цели система автоматически корректирует число наложенных ограничений, о чем нам и сообщает (рис.54).
- Диагностические сообщения по поводу составления и решения системы ОДУ могут быть ещё сложнее, но у нас нет места и времени рассуждать об этом подробнее. Пока нам интересен результат полученного решения.



рис.55

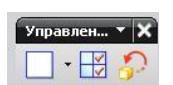


рис.56

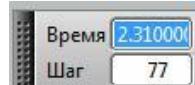


рис.56а

- Чтобы увидеть этот результат сначала обратите внимание на состояние панели инструментов *Управление анимацией* (рис.55). После того, как численное интегрирование составленной системы ОДУ будет завершено (рис.53), стрелки на рис.55 приобретут красный цвет. Нажмите на стрелочку “Вправо”, и ваш механизм начнет двигаться.
- Процесс анимации можно приостановить (две вертикальные красные черточки на рис.55), и в специальном табло (рис.56а) система уточнит – в какое время и на каком шаге произведена остановка.

Возврат в режим редактирования и повтор “Решения”

- Очень часто первая анимация вас не удовлетворит, и вам захочется что-то поменять. Обычно тут же хочется поменять *Время анализа*, или число *шагов*. Чтобы выполнить все необходимые изменения, нужно несколько изменить режим работы.

Два режима работы

- Важно помнить, что, работая в приложении *Анимация кинематических механизмов*, вы можете находиться в двух режимах:
 - В режиме *Анимации* механизма;
 - В режиме *Редактирования* описания механизма.
- Когда мы указывали детали механизма (*Links*), определяли кинематические связи (*Joints*), возможно, потом задавали движители, коэффициенты трения, придумывали параметры в окне *Решение* и пр. – мы находились в состоянии *Редактирования* описания механизма.
- А как только мы нажали на красную стрелку на рис. 55 – мы перешли в состояние *Анимации* механизма.
- В тот момент, когда механизм только что перестал двигаться, - вы всё ещё находитесь в режиме *Анимации*. Явным признаком этого состояния является то, что все инструментальные панели (за исключением панели *Управление анимацией* или *Анимация*) являются в данный момент пассивными (тусклыми)!

- Чтобы выполнить какие-либо изменения в установках, вам сначала необходимо выйти из режима Анимации, и вернуться в режим Редактирования механизма. Для этого в инструментальной панели Управление анимацией вы должны “нажать” на пиктограмму Конец анимации (клетчатый флаг, рис. 55) или в инструментальной панели Управление компоновкой “нажать” на пиктограмму Возврат к модели (крайняя справа красная завитушка, рис.56).
- После этого все инструментальные панели опять станут активными.

Новое состояние навигатора перемещений

- Обратите внимание на состояние своего навигатора перемещений после первой анимации (рис.57). Теперь, кроме описания самого механизма, в нижней его части появился важный раздел собственно решения – *Solution_1*. А в нем теперь присутствуют многие атрибуты самого решения: разделы Drivers, Loads, Results, Animation, Graphing, Load Transfer. Позднее, по мере необходимости, мы познакомимся с некоторыми из них. А пока представим, что нам хочется что-то изменить в параметрах Решения.
- Чтобы изменить что-либо в вашем Решении, поставьте курсор на строку *Solution*, вызовите контекстное меню, и в нем выберите команду Атрибуты решения (рис.58). В результате вы опять увидите диалоговое окно Решение (рис.59), сможете выполнить все свои изменения, и повторить решение с новыми параметрами.

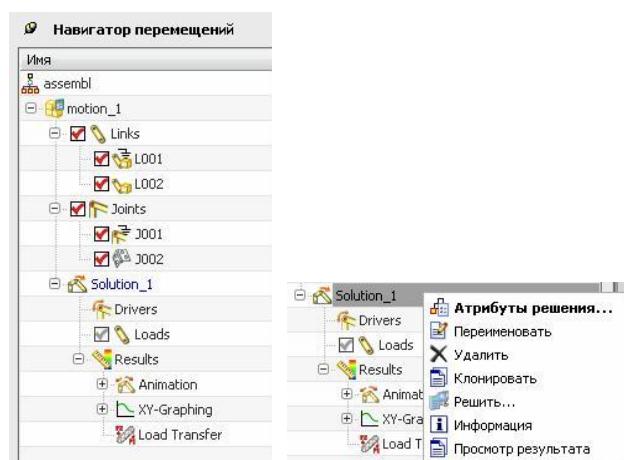


рис.57

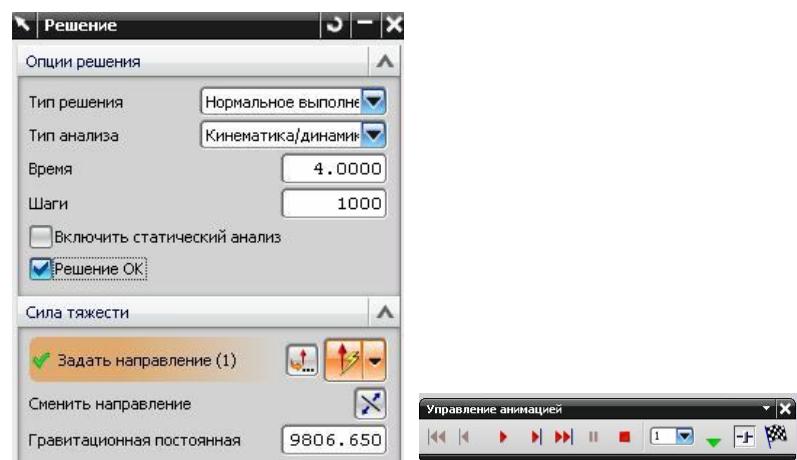


рис.58

рис.59

рис.60

- После этого, опять “нажмите” на красную стрелку в панели рис.60, и анимация механизма с новыми характеристиками повторится.
- Постарайтесь не размножать строки *Solution* на рис.57. Каждое новое обращение к пиктограмме Решение (вторая слева пиктограмма на рис.61) приводит к появлению нового раздела *Solution*, поэтому все изменения в параметрах решения лучше делать так, как описано выше: поставьте курсор на “старую” строку *Solution*, вызовите контекстное меню, и в нем выберите команду Атрибуты решения (рис.58).

Возможные способы управления анимацией

- Кроме описанной выше (рис.60) возможности анимации, существует ещё несколько способов просмотреть анимацию вашего механизма.

Диалоговое окно “Анимация”

- Самый мощный инструмент просмотра анимации – это диалоговое окно Анимация (рис.63).
- Чтобы вызвать это окно, нужно в панели инструментов Перемещение выбрать крайнюю справа пиктограмму (рис.61). На самом деле эта пиктограмма делает доступными целую группу команд

(рис.62). Но сейчас нас интересует только одна из них – *Анимация*. Вот по этой-то команде и откроется окно рис.63.

- Это окно предоставляет очень разнообразные средства. Во-первых, понятные красные стрелки, с помощью которых можно выполнять анимацию в ту, или иную сторону. Можно выполнять эту анимацию по шагам, можно сразу перейти в конечное состояние.
- Во-вторых, движок сверху позволяет просмотреть, “протащить” анимацию с удобной вам скоростью в обе стороны.
- В-третьих, в поле *Режим воспроизведения* можно зациклить процесс анимации, или выполнить её реверсный вариант.
- Здесь же можно выполнить измерение различных расстояний и углов в вашем механизме, запомнить нужные состояния механизма в виде отдельных кадров, выполнить “трассировку” механизма (см. далее), выполнить разнесение деталей и др. Некоторые из этих возможностей мы рассмотрим позднее.

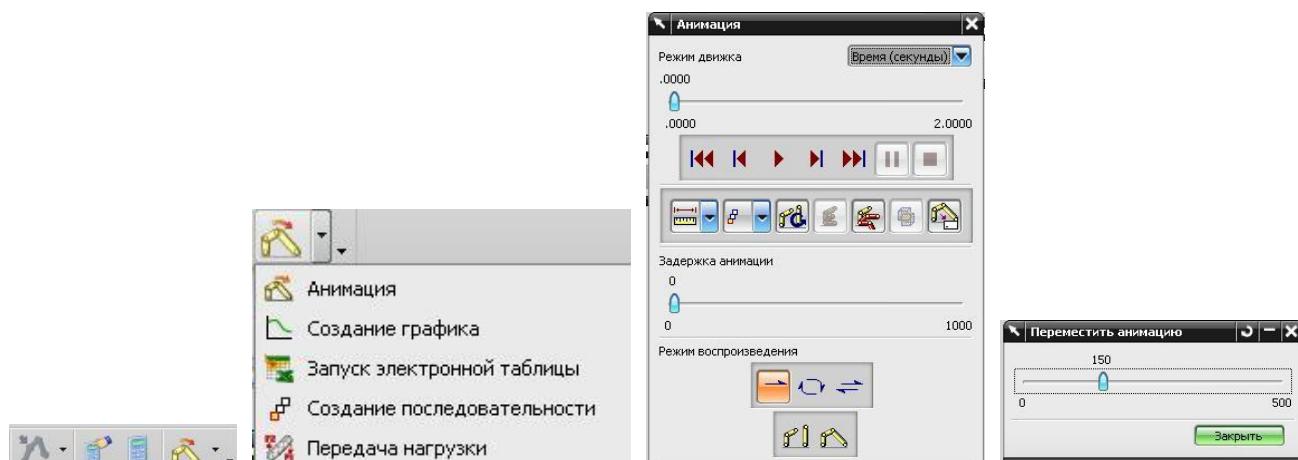


рис.61

рис.62

рис.63

рис.64

- Этот инструмент просмотра анимации удобен ещё и потому, что после его выключения вы сразу автоматически переходите в режим *Редактирования* механизма

Движок “Переместить анимацию”

- Если в панели инструментов *Управление анимацией* (рис.60) вы вызовите вторую справа пиктограмму – *Переместить анимацию*, то появится диалоговое окно попроще – рис.64. Здесь с помощью движка вы также сможете “прокрутить” анимацию вашего механизма в любую сторону.

Как хранится проект

- Если выполненный пример вам нравится, и вы хотите его сохранить, то как это сделать?
- Нужно еще раз, но уже в режиме *Редактирования* механизма выполнить сохранение примера. Это будет ваше **второе сохранение**. Помните, после создания статической сборки мы делали **первое сохранение**
- После этого следует выполнить команду *Файл | Закрыть | Все детали*, и вы выйдете из проекта.
- Если вы сейчас заглянете в директорию проекта, то увидите её содержимое как на рис.65, 66. Сравните нынешнее содержание директории проекта с её начальным состоянием (рис.67). Если вы помните, первоначально в этой директории было только два файла исходных деталей.
- Потом **первым** сохранением мы записали файл итоговой статической сборки.

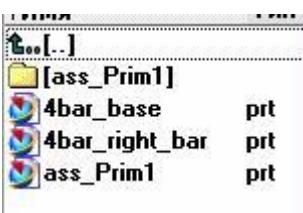


рис.65



рис.66

рис.67

- Когда мы впервые перешли в режим симуляции, то система сама, автоматически построила дополнительную так называемую **Папку симуляции** – дополнительную директорию, имя которой совпадает с именем файла сборки. Внутри этой папки симуляции находятся различные служебные файлы (рис.66).
- Самый главный файл – это файл с расширением SIM. Именно этот файл как раз и содержит всю информацию о построенном механизме, его связях, способе решения и пр.
- И если вы захотите **повторить пример**, то вызывать нужно файл с расширением **SIM!!!**

Зубчатые соединения. Зубчатые колеса

- Все математические модели зубчатых соединений представлены в панели инструментов **Перемещение** (рис.87, вторая пиктограмма справа). Полный перечень этих моделей показан на рис.88. Рассмотрим их по порядку.
- ВАЖНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ:** во время анализа любых зубчатых передач **предварительно**, для всех исходных зубчатых колес, червяков, шкивов и пр. обязательно сначала нужно указать способ их **автономного перемещения** относительно неподвижного основания. То есть, ещё до разговора о каких-то зубчатых соединениях, нужно как-то закрепить в пространстве зубчатые колеса, рейки и пр. Для зубчатых колес это можно сделать с помощью связей *Вращательные шарниры*. Для зубчатых реек можно применить кинематическую пару *Ползун*.



Рис.87

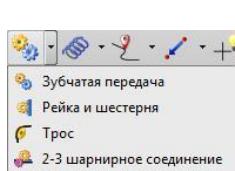


рис.88

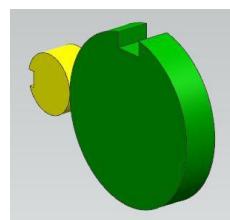


рис.89

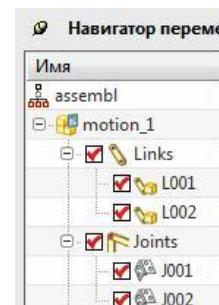


рис.90

- Рассмотрим зубчатое соединение с помощью обычных цилиндрических зубчатых колёс. Но в вашей модели совсем не обязательно в точности изображать настоящие шестеренки. Достаточно изобразить обычновенные цилинды (рис.89).
- Как говорилось выше, предварительно нам необходимо соединить с помощью *Вращательных шарниров* зубчатые колеса с неподвижным основанием. Это нужно сделать для каждого зубчатого колеса. Поэтому для нашего простого примера (рис.89) в навигаторе перемещений мы сразу эти вращательные шарниры и указываем (рис. 90, связи J001, J002). И только после этого можно вызывать команду *Зубчатая передача*.
- Диалоговое окно самой команды *Зубчатая передача* показано на рис.91. Здесь в первую очередь нужно указать два *вращательных шарнира*, тех колес, которые этой зубчатой передачей будут связаны. Эти указания делаются именно на *связи*, то есть на *вращательные шарниры*. Поэтому в панели выбора стоит только слово *Узел* (рис.92). Кстати, эти указания можно делать непосредственно курсором на соответствующие строки в навигаторе перемещений (J001, J002 на рис.93).

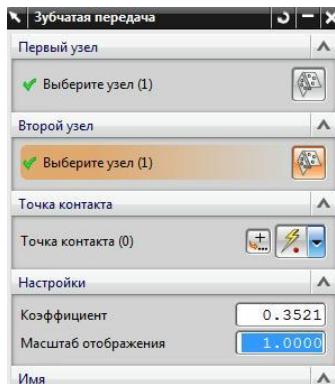


Рис.91



рис.92

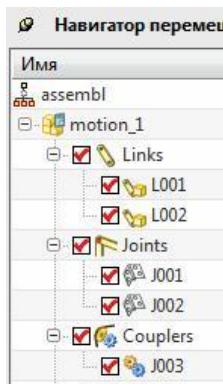


рис.93

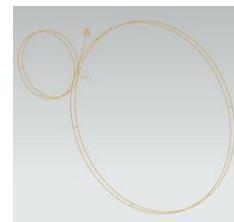


рис.94

- После установления связи *Зубчатая передача* в навигаторе перемещений появится строка данной передачи - *Couplers* (рис.93).
- Обратите внимание на то, что в нашем примере совершенно отсутствуют зафиксированные детали.
- Ещё в диалоговом окне рис.91 система предлагает указать *Точку контакта*. Это точка касания соприкасающихся ребер ваших колес. Если предварительно (ещё на этапе формирования статической сборки) вы добились касания исходных колес, то теперь вы можете определить *Точку контакта* как точку пересечения соответствующих ребер. И если вы такую точку укажете, то система автоматически рассчитает передаточное соотношение указанных колес. Но удобнее, передаточное соотношение задать вручную, в окошке *Коэффициент* (рис.91).
- Условное изображение зубчатой передачи показано на рис.94.
- Таким же образом вы можете построить и червячную передачу (рис.95, 96).
- Попробуйте самостоятельно выполнить несложные примеры, представленные на рис.89, 95.

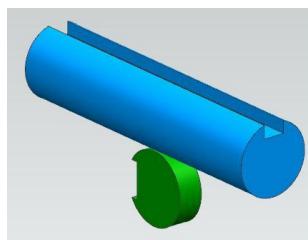


Рис.95

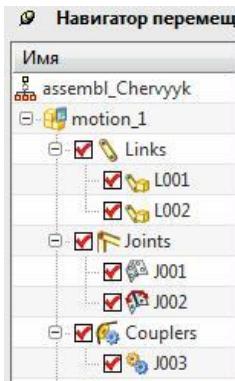


рис.96

Рейка и шестерня

- Рассмотрим этот тип кинематической связи на простом примере (рис.98). Как видите, здесь также элементы зубчатого механизма изображены достаточно условно.
- Как оговаривалось выше, предварительно нам необходимо соединить *вращательным шарниром* зубчатое колесо с неподвижным основанием. И аналогично с неподвижным основанием нужно соединить и рейку связью типа *Ползун* (рис.99). А уже потом на их базе, мы построим само зубчатое соединение *Рейка – шестерня*.
- Обратите внимание на то, что в диалоговом окне рис.100 система предлагает указать именно **связи**. Даже соответствующие пиктограммы присутствуют в диалоговом окне.
- Величину *Отношение (радиус вала)* задаем произвольно.
- Представление соответствующей строки данной зубчатой передачи в навигаторе перемещений показано на рис.101 (J003).

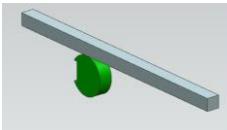


Рис.98

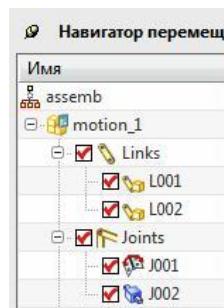


рис.99

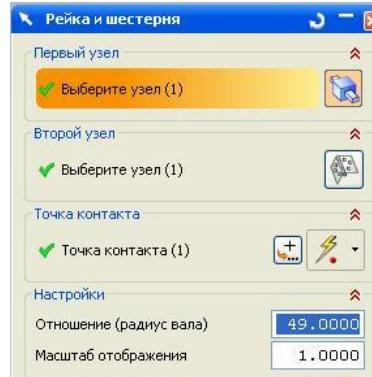


рис.100



рис.101

- Попробуйте самостоятельно выполнить пример, представленный на рис.98.

Соединение тросом

- Смысл этой кинематической пары достаточно красноречиво демонстрируется на рис.102.
- Как видно из диалогового окна этой связи (рис.103), предварительно автономное перемещение каждого тела, соединённого тросом, нужно обеспечить с помощью кинематической пары Ползун.
- Представление соответствующей строки данной передачи в навигаторе перемещений показано на рис.104 (J004).

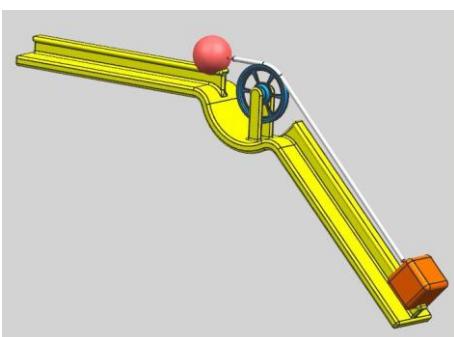


Рис.102

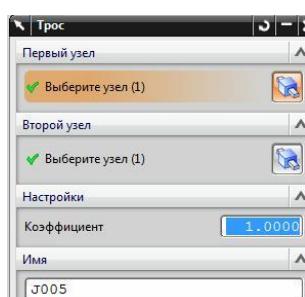


рис.103

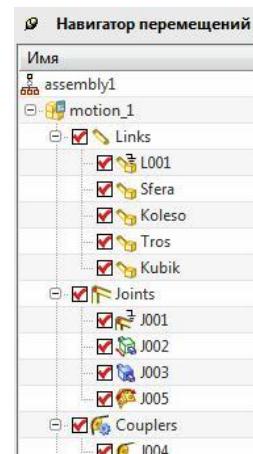


рис.104

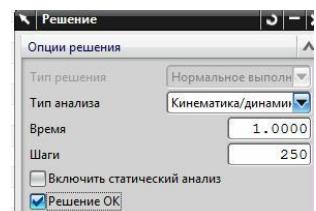


рис.105

- Возьмите из учебной директории **Prim_Tros** все необходимые детали, и самостоятельно выполните анимацию механизма, показанного на рис.102. Навигатор перемещений этого примера показан на рис.104. Обратите внимание на то, что в одном Ползуне задан движитель с постоянной скоростью 200 мм /сек. Синее колесо, связанное с неподвижным основанием Вращательным шарниром также имеет постоянный движитель (со скоростью 540 град /сек). Рекомендованные параметры Решения показаны на рис.105. Убедитесь в том, что эта связь во многом является чисто декоративной.

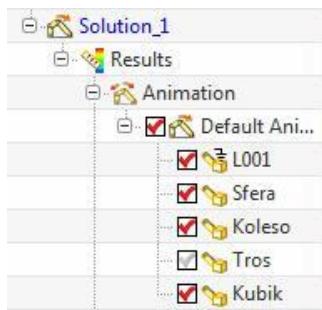


Рис.106

- Кстати, чтобы во время анимации не видеть “падающий” трос, научитесь выключать видимость ненужных компонентов в разделе *Solution* (рис.106).

Пружины, втулки, упоры

- Группа указанных связей представлена в инструментальной панели *Перемещение* (рис.1, крайняя справа пиктограмма). А полный список моделей интересующих нас связей приведен на рис.2.



Рис.1

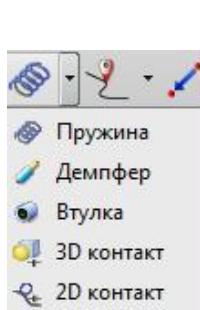


рис.2

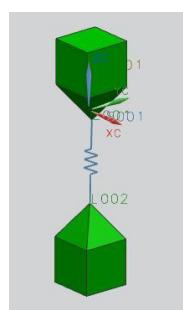


рис.3

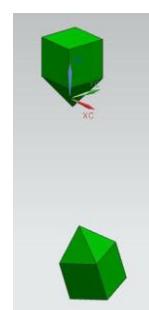


рис.4

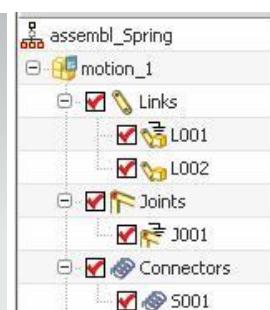


рис.5

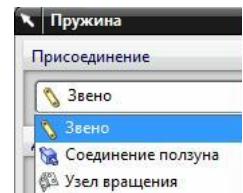


рис.6

Пружина

- Рисунок примера, поясняющего данную связь, показан на рис.3. Но сразу нужно отметить, что во время анимации примера условное изображение самой пружины отсутствует (рис.4).
- Вы можете выполнить пример, представленный на рис.3. Необходимые для него компоненты находятся в директории учебных заданий – *Prim_Spring*.
- Навигатор перемещений* этого примера показан на рис. 5. Как видите – здесь всего одна связь – пружина **S001**.
- Диалоговое окно самой связи показано на рис.7. Обратите внимание на параметры самой пружины. Это диалоговое окно из версии NX 8.5. В этом окне обратите внимание на поля: *Предварительная нагрузка*, *Плечо предварительное*, и *Free Lenth*.

➤ Как только вы указали узлы механизма, к которым прикреплена пружина, система сразу рассчитает её длину в свободном состоянии, и поместит в поле *Плечо предварительное*. Эта цифра выглядит тускло. Но если вы включите рядом расположенный переключатель, то эта цифра становится активной. То есть уже сейчас, без перестановки пружины, можно эту свободную длину волевым образом изменить. Но обычно мы соглашаемся с реальной длиной, и этот переключатель не включаем.

➤ Предварительную нагрузку пружины в ньютонах можно задать в поле *Предварительная нагрузка*. Фактически это означает предварительное растяжение или сжатие пружины. И тогда в соответствии с ранее указанной жесткостью пружины система рассчитает её растянутую или сжатую длину в начальном состоянии, и покажет эту длину в поле *Free Lenth*. Если вы зададите предварительную нагрузку пружины в 0Н, то цифры в окошке *Плечо предварительное*, и значение *Free Lenth* окажутся одинаковыми (рис.7а).

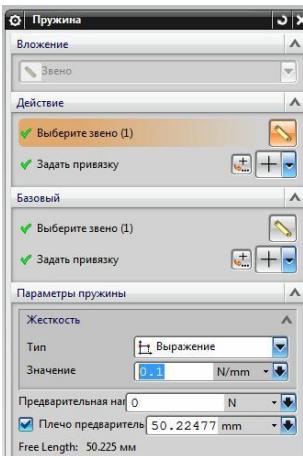


рис.7

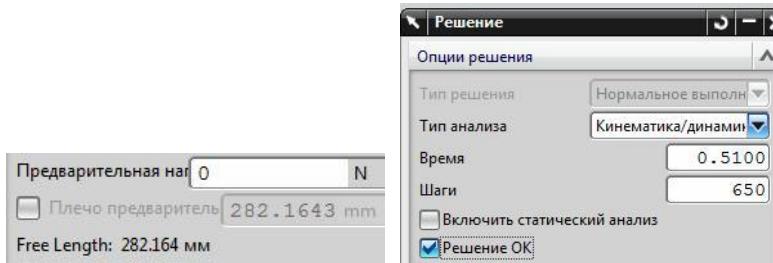


рис.7а

рис.8

- Самое верхнее поле в этом диалоговом окне – *Вложение* (*Присоединение* в версии NX 7.5). В нашем случае выберите в этом поле опцию *Звено* (рис.6). Это будет означать, что оформленная вами пружина в анализируемом механизме будет представлена отдельной деталью. В противном случае она может быть включена в уже действующий *шарнир* или *ползун*.
- Указание точек крепления пружины – самое обычное. Задается деталь, и точка крепления (точка привязки). Не обращайте особого внимания на то, что в диалоговом окне (рис.7) одна точка крепления описывается в поле *Действие*, а вторая точка крепления – в поле *Базовый*. Обе точки крепления пружины можно считать равноправными.
- Как правило, жесткость пружины (в поле *Параметры пружины*) задается в виде постоянной величины. Но при желании этот параметр можно задать и в виде функции. Жесткость пружины задается в ньютонах / мм.
- Представление соответствующей строки *пружины* в навигаторе перемещений показано на рис.5 (S001).
- Рекомендуемые параметры *Решения* для примера рис.3 показаны на рис.8.

Пружина на шарнире или на ползуне

- В предыдущем примере, в диалоговом окне *Пружина* (рис.6, 7), в самом верхнем поле *Вложение* мы задавали опцию *Звено*. В этом случае мы имели в виду пружину как отдельное звено, включенное между двумя деталями (рис.3).
- Но оказывается, *Пружину* можно вставить в уже существующий *вращательный шарнир* или внутрь некоторого *ползуна* (рис.9). Таким образом, мы можем смоделировать подпружененный *шарнир*, или *ползун*.
- Рассмотрим применение такого варианта *пружины* на примере рис.10, 11. Здесь всего два тела и один *Ползун*. Если проанализировать поведение этой конструкции, то под действием собственной силы тяжести красное тело просто уедет вниз.
- Но мы дополнительно включим *Пружину*, и поставим её на уже существующий *Ползун* (рис.12, 13). В этом варианте красное тело под действием собственной силы тяжести будет производить колебательные движения, и, в конце концов, успокоится на некотором расстоянии от края серой платформы.
- Нужно сказать, что такой, “скрытый” способ включения пружин упрощает модель системы. Тем более, что во время анимации условного изображения пружин все равно не видно.
- Вы можете выполнить похожий пример. Все необходимые компоненты находятся в директории учебных заданий – *Prim_Spring on Polzin..*

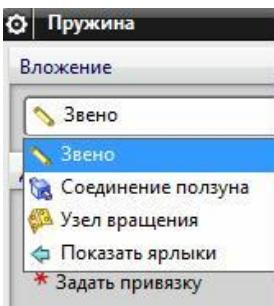


рис.9

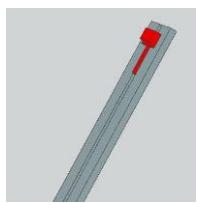


рис.10

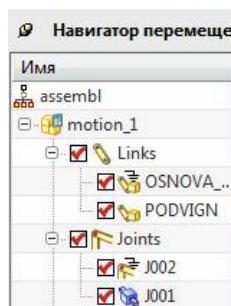


рис.11

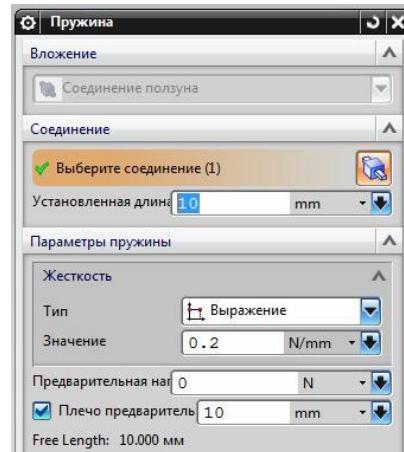


рис.12

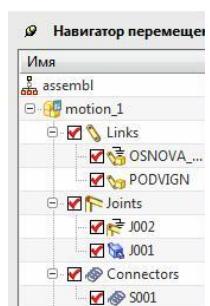


рис.13

Демпфер

- Эта кинематическая связь почти полностью совпадает с *Пружиной*. Поэтому приведем только её диалоговое окно (рис.14).
- Демпфер, как и пружину, можно включать между деталями, а можно параллельно подключить к *шарниру* или *ползуну* (рис.16).
- Если в вышеприведенном примере кроме пружины на тот же *Ползун* дополнительно наложить и *Демпфер* (рис.15), то колебания груза из-за трения закончатся гораздо быстрее.
- Представление соответствующей строки *демпфера* в навигаторе перемещений показано на рис.15 (D001).

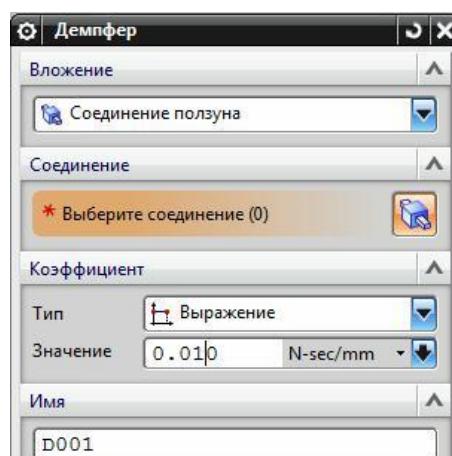


Рис.14

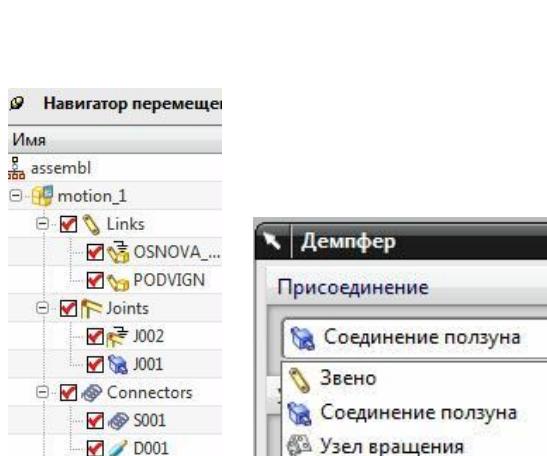


рис.15

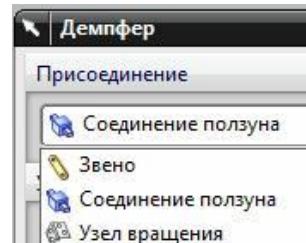


рис.16



рис.17

Резиновая втулка

- Чтобы быстро войти в курс дела, посмотрите готовый пример *Prim_Kazan* (рис.17).
- Итак, речь идет о резиновых втулках, которые участвуют в соединении жестких стержней. Например, представьте себе, что шпенёк голубого основания на рис.18 сделан из резины. В этом случае колебания красного металлического маятника под действием собственного веса приведут к его довольно сложным перемещениям.
- Вы можете выполнить соответствующий пример (рис.18, 19). Все необходимые компоненты находятся в директории учебных заданий – *Prim_Rez_Vtulka*.

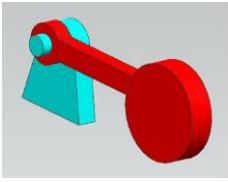


Рис.18

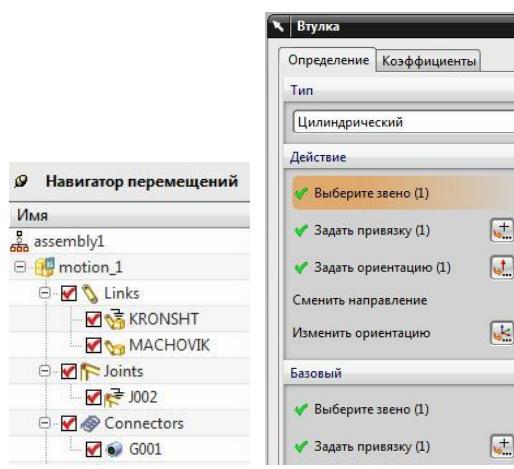


рис.19

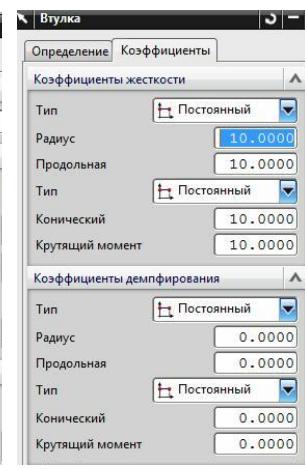


рис.20

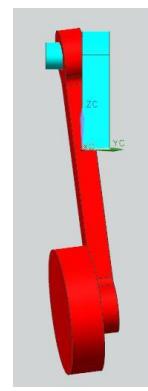


рис.22

- Обратите внимание на то, как в навигаторе перемещений отображается строка резиновой втулки (G001, рис.19).
- Назначение кинематической связи типа *резиновая втулка* осуществляется так же, как назначались обычные шарниры. Диалоговое окно резиновой втулки представлено на рис.20. Нужно указать соединяемые детали, указать привязку ЛСК, назначить ориентацию осей ЛСК.
- Тип резиновой втулки обычно выбирается *цилиндрический*.
- Кстати, если *резиновая втулка* соединяет подвижную деталь с неподвижной, в диалоговом окне нужно упомянуть обе детали. То есть, нужно заполнить и поле *Базовый*.
- Самым сложным при назначении данной связи является указание нужных коэффициентов на одноименной закладке (рис.21). Дело в том, что *резиновая втулка* позволяет перемещение соединяемых тел вверх – вниз (*Продольная*), вправо – влево (*Радиус*), вокруг оси втулки по часовой стрелке – против часовой стрелки (*Крутящий момент*). И для каждого из перечисленных движений нужно задать требуемые коэффициенты упругости (жесткости) и демпфирования (рис.21). Рекомендуемые значения этих коэффициентов для вашего примера показаны на рис.21. Рекомендуемые параметры *Решения* представлены на рис. 23.

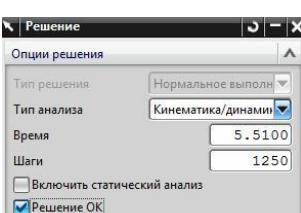


Рис.23

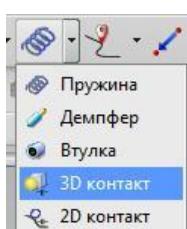


рис.24

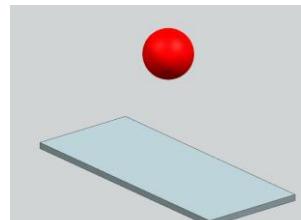


рис.25

- Обратите внимание на то, что во время анимации красный маховик “залезает” в материал голубого кронштейна (рис.22). Если не сделать специальных предварительных указаний, то система никак не зарегистрирует эти явления внедрения одной детали в материал другой детали. О том, как такие явления зарегистрировать, мы поговорим позднее.

Упоры. 3D контакт

- Математическая модель упора вызывается по команде **3D контакт** (рис.24). Нужно отметить, что это довольно проблемная модель в решателе *RecurDyn*, поэтому будьте готовы к некоторым сюрпризам в её применении. В частности, упоры применяются при моделировании кратковременных столкновений тел (например, столкновения бильярдных шаров), и при моделировании непреодолимых препятствий. Чаще всего неприятные сюрпризы возникают при моделировании последних.

Применение упоров при моделировании кратковременных столкновений

- Можете посмотреть готовый пример **Prim_Udar_2** (рис.25). Здесь красный шарик падает под действием собственного веса и отскакивает от серой поверхности стола.

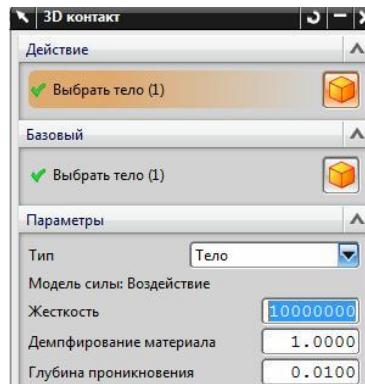


Рис.26

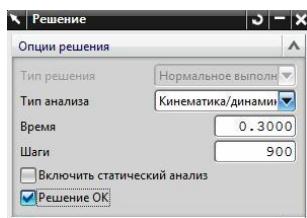


рис.27

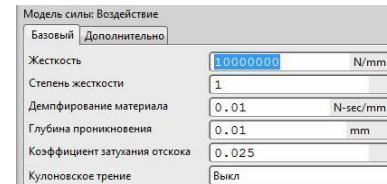


рис.28

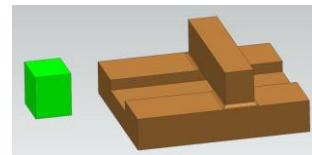


рис.29

- Диалоговое окно назначение упора показано на рис.26. Здесь важно указать – между какими телами может возникнуть столкновение, которое наш упор должен зафиксировать. И, что очень важно, требуется указать параметры, характеризующие такое столкновение. А именно – **жесткость**, **демпфирование материала**, **глубина проникновения** материала в материал и др. (рис.28).
- Рекомендуемые параметры упора из нашего примера приведены на рис.28.
- Рекомендуемые параметры *Решения* для примера показаны на рис.27. Здесь важно указать достаточно большое число шагов демонстрации решения, чтобы “не пропустить” сам момент столкновения тел.

Применение упоров при моделировании непреодолимых препятствий

- Моделирование непреодолимого препятствия вы можете посмотреть в готовом примере **Prim_Preytstvie** (рис.29). При этом необходимые параметры упора показаны на рис.30, а рекомендуемые параметры *Решения* – на рис.32.

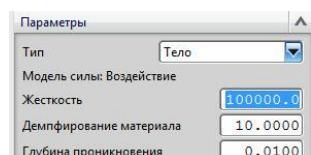


Рис.30

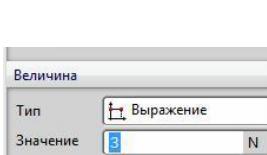


рис.31

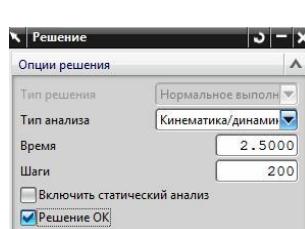


рис.32

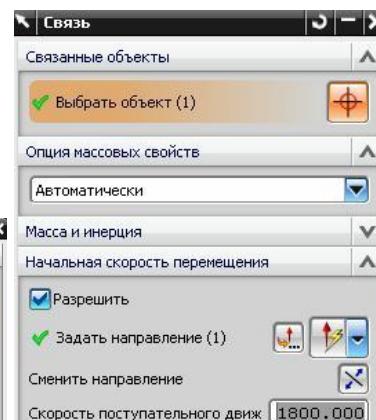


рис.33

- В готовом примере рис.29 зеленое тело перемещается под действием *внешней силы*. А точнее - под действием *векторной силы*. Но о внешних силах и моментах речь пойдет в следующем параграфе.

Внешние воздействия

- Группа моделей возможных внешних воздействий представлена в инструментальной панели *Перемещение* (рис.34, вторая справа пиктограмма). А полный список интересующих нас

математических моделей внешних воздействий приведен на рис.35. Скалярные и векторные силы и моменты отличаются друг от друга только способом их указания.

Рис.34

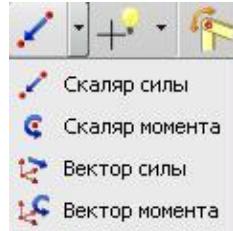


рис.35

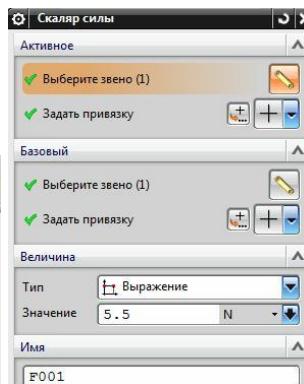


рис.36

Скалярная сила

- Скалярная сила действует от конкретной точки одного тела на конкретную точку другого тела. Как бы тело ни вертелось, сила все время будет давить именно в ту точку, которую вы указали.
- Диалоговое окно команды Скалярной силы показано на рис.36.

Здесь важно указать:

- В поле Активное - деталь, на которую действует сила. Задаётся гранью.
- Точку, на которую эта сила действует
- Потом, в поле Базовый, деталь, от которой действует сила. Задаётся гранью.
- Точку, откуда эта сила приложена

Первый пример

- Выполните учебный пример (рис.37, 38). Необходимые детали возьмите из директории **Prim_Ves**. В этом примере непосредственно в режиме Симуляция кинематических механизмов сначала измерьте вес красного подвижного ползунка. Он составляет 11.032 Н (рис.40). И скалярная сила, которая действует на ползунок строго вверх, также должна быть равной этой величине. В результате ползунок стоит на месте. Но вы можете немного уменьшить или увеличить скалярную силу, и посмотреть – как начнет перемещаться ползунок.

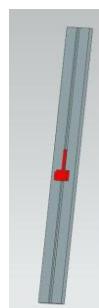


рис.37

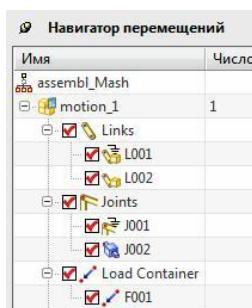


рис.38

Отображение значения массовых характеристик
Объем = 22500.0000000000 мм³
Площадь = 6970.0000000000 мм²
Масса = 1.1250000000 кг
Вес = 11.032491204 Н

рис.40

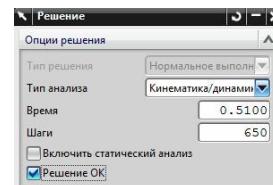


рис.41

- Рекомендуемые параметры Решения показаны на рис.41.
- **ВАЖНО:** правильно направляйте скалярную силу. Строго вдоль положка. В противном случае может произойти небольшой перекос, и чистота эксперимента нарушится.
- Кстати, в этом примере вы можете воспользоваться возможностью оперативно поменять массу красного тела, например, на 10 кг (рис.42).

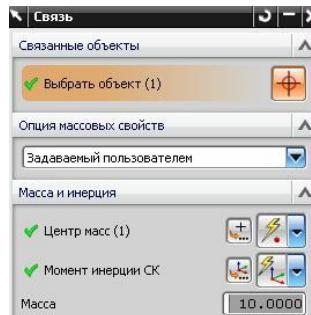


рис.42

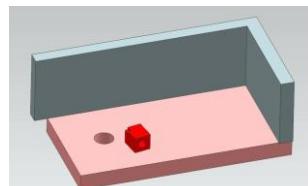


рис.43

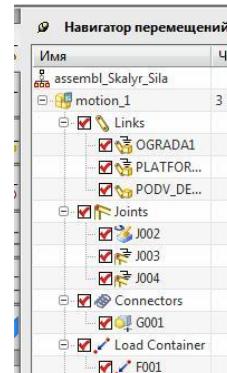


рис.44

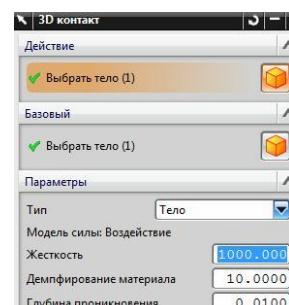


рис.45

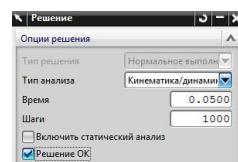


рис.46

Второй пример

- Во втором примере (рис.43, 44) кроме скалярной силы приходится применить и упор между красным кубиком и серым ограждением. Параметры этого упора показаны на рис.45. Рекомендуемые параметры *Решения* представлены на рис. 46. Необходимые детали и готовую статическую сборку возьмите из директории *Prim_Skalyr_Sila*.

Векторная сила

- Как уже говорилось выше, это внешнее воздействие отличается от *скалярной* силы только способом указания. Сравните диалоговое окно *векторной* силы (рис.47) с диалоговым окном *скалярной* силы (рис.36).
- Для *векторной* силы в поле *Действие* нужно указать тело, на которое действует наша сила, точку приложения, и направление действия силы. В отличие от *скалярной* силы, здесь не нужно уточнять точку, от которой векторная сила “отталкивается”. Кроме этого, в поле *Базовый*, нужно указать тело, на которое действующая сила опирается. Если *векторная* сила задается относительно неподвижного основания, то поле *Базовый* вообще не заполняется (рис.48).

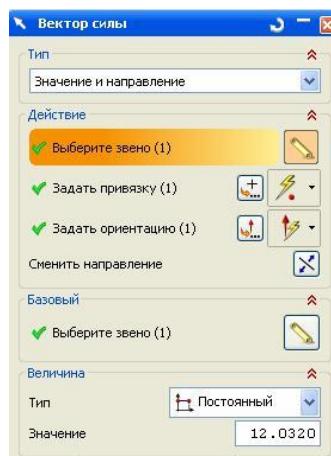


Рис.47

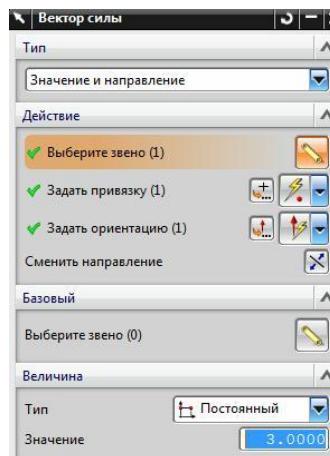


рис.48

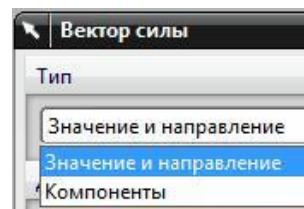


рис.49



рис.50

- В верхней части диалогового окна, в поле *Тип*, нужно указать способ указания направления силы (рис.49). Мы всегда предпочитаем вариант *Значение и направление*. В противном случае (опция *Компоненты*) вам придется указывать направление применения силы, раскладывая его на составляющие по осям координат.
- В качестве примера можете повторить и проанализировать готовый учебный пример *Prim_Prepystvie_Vect* (рис.50). Там в зеленый кубик перемещается именно под действием *векторной* силы!

- Обратите внимание на то, что между зеленым и коричневым телами нужно обеспечить небольшие зазоры. Величина векторной силы – **3 ньютона**. При этом рекомендуемые параметры упора между зеленым и коричневым телами показаны на рис.51, а удобные параметры *Решения* – на рис.52.

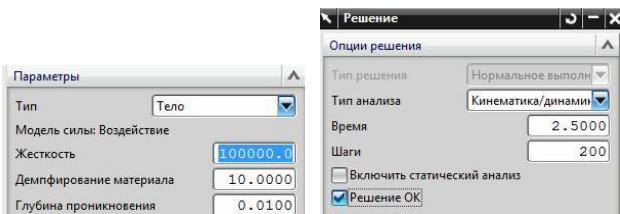


Рис.51

рис.52

Чем отличаются скалярная и векторная силы

- На самом деле – это одинаковые силы. Разница состоит только в правилах их применения.
- Повторим, что при указании **скалярной** силы нужно указать : тело и **точку**, куда действует эта сила; а также тело и **точку**, от которой действует эта сила.
- При указании **векторной** силы нужно указать : только **точку**, куда действует эта сила, и её **направление**.
- Чтобы почувствовать разницу в использовании этих сил, повторите пример (рис.50). Только теперь в этом примере (*Prim_Prepystvie_Vect*) используйте скалярную силу. При этом задайте **отрицательное** значение этой скалярной силы (-3 ньютона). Отрицательное значение силы заставляет точки приложения не удаляться друг от друга, а наоборот, - приближаться друг к другу (то есть вы с помощью данной силы не отталкиваете предметы, а, наоборот, притягиваете их). Из-за конечной массы тела не может остановиться строго в точке минимального (максимального) удаления. Поэтому, как только такая точка будет пройдена, сила начинает действовать в обратном направлении, и возвращает тело. Для упрощения задачи можете при этом исключить упор. Для упрощения задачи можете при этом исключить упор.

Скалярный момент

- Как и в случае с силами, скалярный и векторный моменты различаются только способами описания.
- Скалярный момент накладывается **только на вращательный шарнир**. Выполните учебный пример (рис.53, 54). Необходимые детали возьмите из директории *Prim_Moment_Skalyrn*.

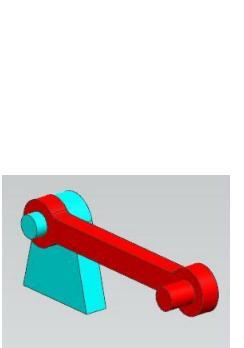


рис.53

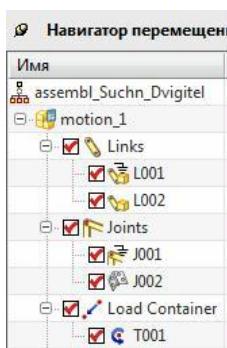


рис.54

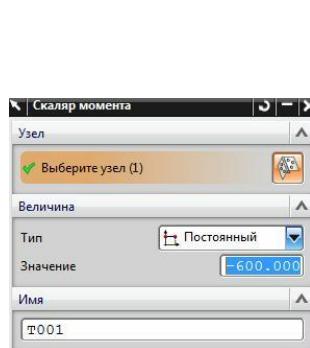


рис.55

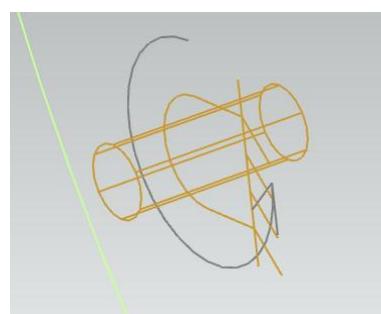


рис.56

- В диалоговом окне этой связи нужно указать только *вращательный шарнир* и величину момента в ньютонах на миллиметр (рис.55).
- Знак момента определяется исходя из направления оси вращения *Вращательного шарнира*!
- Условное изображение скалярного момента в рабочем поле показано на рис.56.

- Во время анимации механизма проверьте – правильно ли вы представляете себе положительное и отрицательное направления вращения. И убедитесь в том, что при постоянном моменте маховик раскручивается все с большей скоростью.

Векторный момент

- Векторный момент накладывается на компонент как обычно, с указанием тела приложения, начала локальной СК, и оси вращения. Посмотрите на диалоговое окно этого внешнего воздействия (рис.57).
- В верхней части диалогового окна, в поле *Тип*, как и прежде, нужно указать опцию *Значение и направление*.

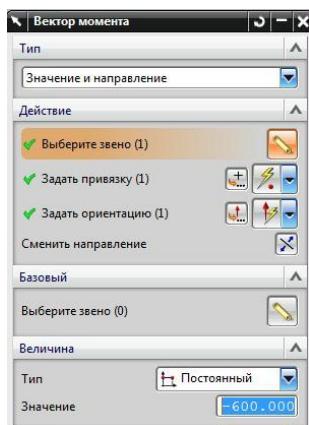


Рис.57

- Для сравнения повторите предыдущий учебный пример (*Prim_Moment_Skalynn*), но теперь скалярный момент замените на момент векторный. Убедитесь в том, что эффект абсолютно одинаковый!
- Если векторный момент задается относительно неподвижного основания, то поле *Базовый* вообще не заполняется (рис.57).
- **ПРИМЕЧАНИЕ:** направление оси вращения векторного момента важно для определения его знака. Напоминаем - если ось вращения “смотрит” прямо на вас, то **положительным** векторный момент считается в том случае, если он направлен **против часовой стрелки**!

Построение графиков

- Рассмотрим уже пройденный пример из учебной директории *Prim_Ves* (рис.1, 2). Ранее в этом примере красное тело снизу подпиралось скалярной силой, и поэтому оставалось неподвижным. Но если эту силу убрать, то красное подвижное тело просто начнет падать вниз по направляющим серого основания под действием собственного веса. Предполагается, что вы уже выполнили хотя бы одну анимацию вашего механизма, и поэтому в навигаторе перемещений у вас уже присутствует раздел *Solution*. То есть, качественно вы уже представляете себе – как происходит процесс. Теперь важно зафиксировать количественные характеристики этого процесса. То есть, нужно построить некоторые графики перемещения, скорости или ускорения подвижного красного тела.
- В разделе *Solution* поставьте курсор на строку *XY-Graphing*, и вызовите контекстное меню. В этом меню выберите команду **Новый...** (рис.3). В ответ появится диалоговое окно рис.4.
- В верхней части этого окна перечислены все компоненты схемы, для которых можно построить графики. В версии NX7.5 список невелик (рис.4). Это только все кинематические **связи** нашего механизма. Никаких тел в предлагаемом списке нет! И это – главное неудобство. В последующих версиях NX возможности расширены. В частности, в версии NX 8.5 система предлагает построить графики перемещения, скорости, и ускорения **центров масс** всех деталей механизма (рис.5).

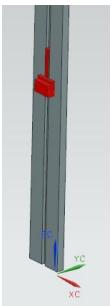


рис.1

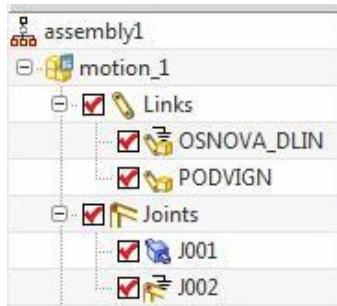


рис.2

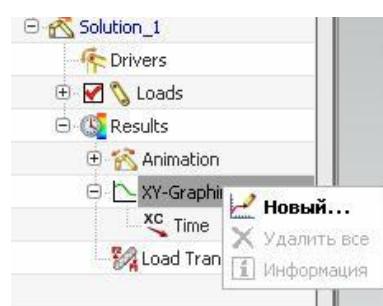


рис.3

- В нашем примере (для версии NX8.5) рассчитаем перемещение *центра тяжести* красного тела L002 (рис.2) относительно абсолютной СК.
- **ПРИМЕЧАНИЕ:** в том случае, если в версии NX7.5 вам захочется построить график перемещения (или скорости) центра тяжести какой-либо детали, вам придется предварительно в этот центр тяжести поставить маркер. О маркерах мы поговорим чуть позднее.
- Подсветим строку центра тяжести L002 как на рис.5.

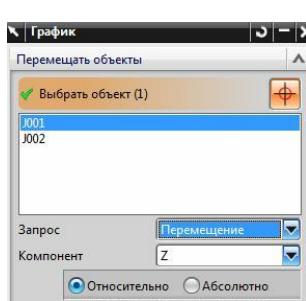


рис.4

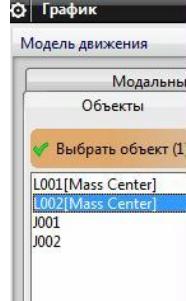


рис.5

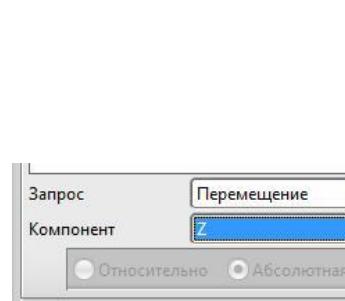


рис.6

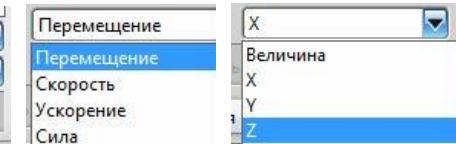


рис.7

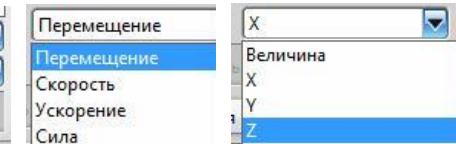


рис.8

- Далее, в поле *Запрос* (рис.6) нужно указать – что именно вы хотите показать на графике: *Перемещение, Скорость, Ускорение,...* (рис.7).

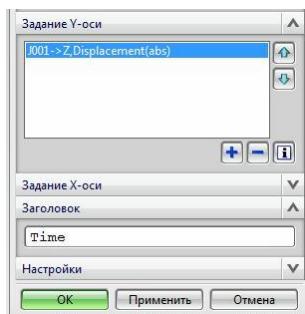


рис.9

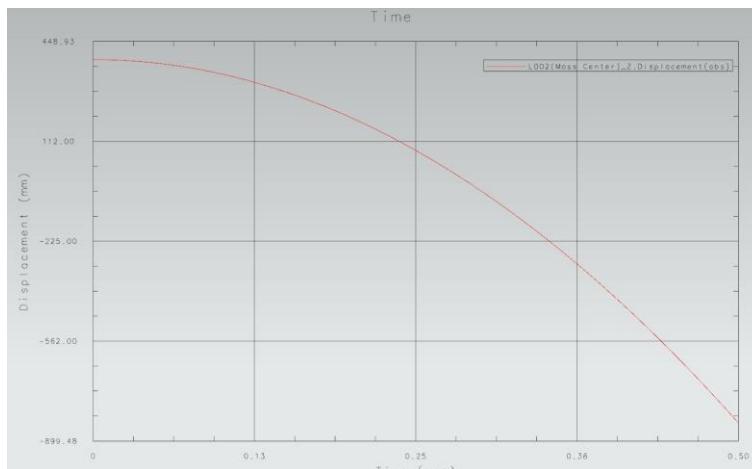


рис.10

- В поле *Компонент* нужно указать – вдоль какой оси вы хотите показать своё *Перемещение* (рис.8). В нашем случае – вдоль оси Z.
- Если вы строите график для *центра тяжести* какого-либо тела, система уже не спрашивает – относительно какой СК будет иметь место построение. По умолчанию – **относительно абсолютной СК** (рис.6).

- После этого внизу диалогового окна на рис.7 вы должны нажать на **синий плюсик**, и название будущего графика появится в нижней части этого окна (рис.9).
- А после ОК в окне рис.7 на вашем экране система нарисует рассчитанный график (рис.10). Это график перемещения центра тяжести красного тела по оси Z абсолютной СК (вниз).

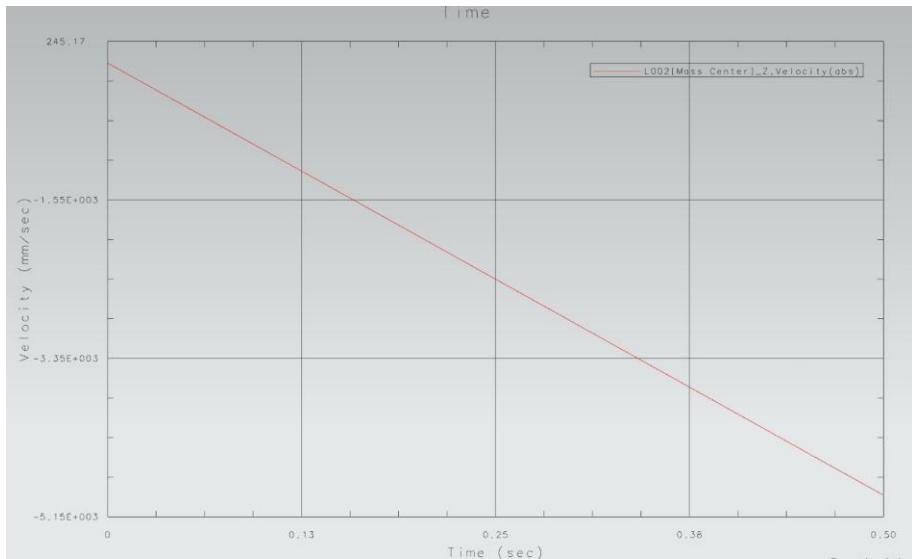


Рис.11

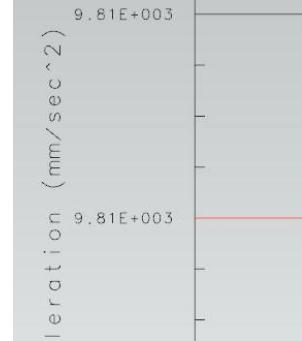


рис.12

- Аналогично можно построить график *скорости для центра тяжести* того же тела (рис.11). Скорость увеличивается, но в отрицательную сторону оси Z. Поэтому значения отрицательные. А на рис.12 показан фрагмент графика *ускорения*. Обратите внимание, что эта величина постоянная и равна постоянной гравитации.
- Можно сделать некоторые проверки построенных графиков. Например, на графике рис.10 начальная точка фиксирует положение *центра тяжести* красного тела на расстоянии 387.6 мм (рис.13).

Если вы определите координаты *центра тяжести* красного тела известной командой *Анализ \ Измерение тел*, то в информационном окне системы выдаст ту же координату (рис.14).

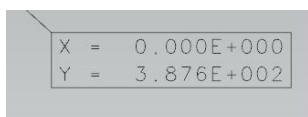


Рис.13

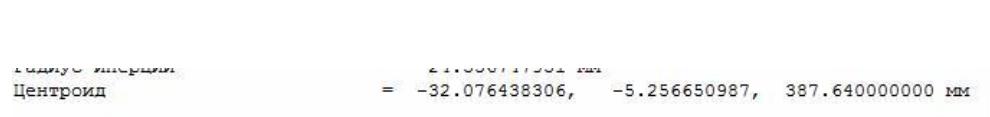


рис.14

- При построении графиков, в том же диалоговом окне (рис.15), кроме графиков для *центров тяжести* отдельных деталей, система предлагает построить графики и для *кинематических связей*! В частности, если вы захотите построить график для кинематической связи J002 (Ползун, рис.15), то это будет график перемещения, скорости или ускорения *точки* начала локальной СК этого Ползуна! На рис. 17 эта точка (начала локальной СК Ползуна) помечена разноцветными стрелочками. В своё время мы определили эту точку, когда задавали точку привязки кинематической связи типа *Ползун*.
- В этом случае, при построении графика какой-либо кинематической связи, система уже предлагает выбор: относительно какой СК – *относительной* или *абсолютной* выполнить построение? (рис.15).

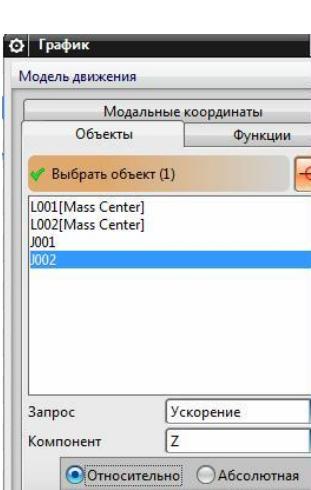


Рис.15

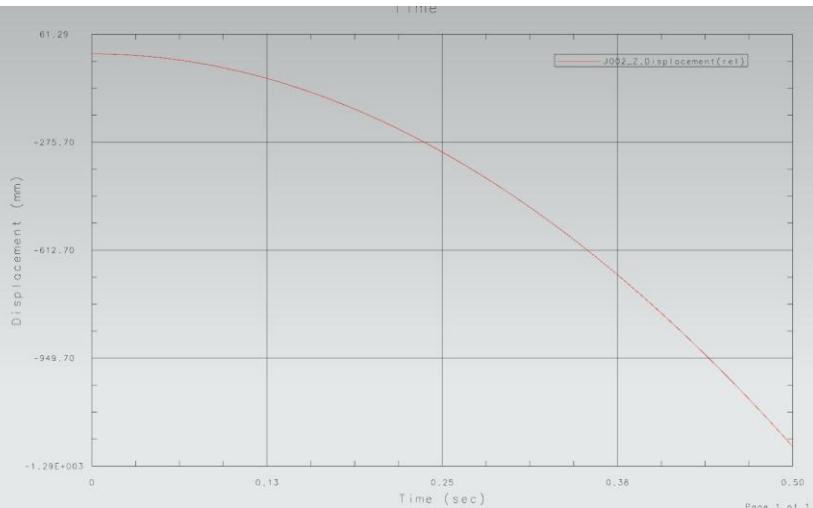


рис.16

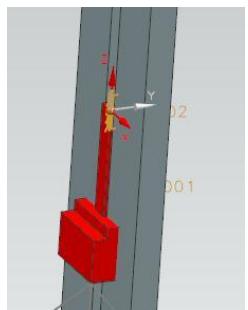


рис.17

Переключатели Относительно и Абсолютно

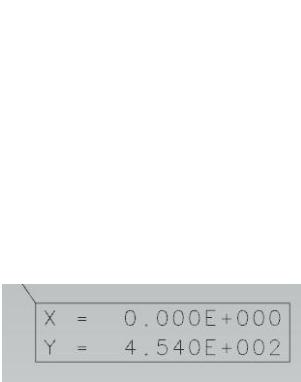


Рис.18

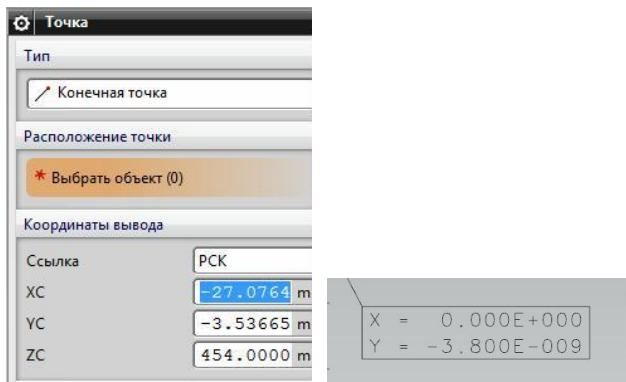


рис.19

рис.20

рис.21

- Ваш выбор зависит от того, относительно какой СК вы собираетесь измерять перемещение точки начала локальной СК кинематической связи типа *Ползун*.
- Переключатель *Абсолютно* позволит вам измерять перемещение начала локальной СК кинематической связи типа *Ползун* относительно начала абсолютной СК. Такой график (рис.16) качественно повторит график на рис.10, но некоторые отличия в нём можно найти. В частности, начальное значение этого графика составит 454 мм (рис.18). А на графике рис.10 начальное значение было 387.6 мм. Дело в том, что на рис.16 мы построили график перемещения **точки начала локальной СК** связи *Ползун* относительно *абсолютной СК*. А на рис.10 показана график перемещения **центра тяжести** красного тела. А это разные точки!

Как уже говорилось, начало локальной СК связи *Ползун* показано на рис. 17. Так вот, координаты этой точки по оси Z в исходном состоянии действительно – 454 мм (рис.19).

- Переключатель *Относительно* позволит вам построить график перемещения начала локальной СК кинематической связи типа *Ползун* относительно начала локальной СК самого *Ползуна* (рис.16). Поэтому естественно, что в начальный момент времени начало локальной СК самого *Ползуна* относительно первоначального положения этой локальной СК самого *Ползуна* равно нолью (рис.20).
- Но в конечный момент времени на графике рис.16 система высвечивает расстояние -1226 мм (рис.21). Откуда такое расстояние?
- Это расстояние можно рассчитать, если вы (забегая вперёд) одновременно с анимацией механизма закажите и измерение расстояния между верхней гранью красного тела, и нижней гранью серого основания (рис.22, 23). Сумма расстояний 445.5 мм и 780.3 мм и даст нам итоговое расстояние в 1225.8 мм, которое преодолеет точка начала локальной СК от места её первоначального нахождения.

Разбираться с положением относительных СК довольно сложно, и поэтому такие графики не пользуются популярностью.

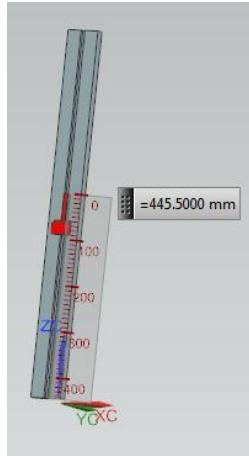


Рис.22

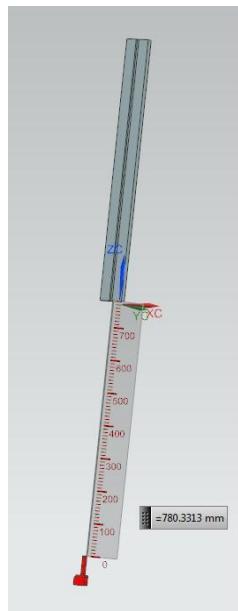


рис.23

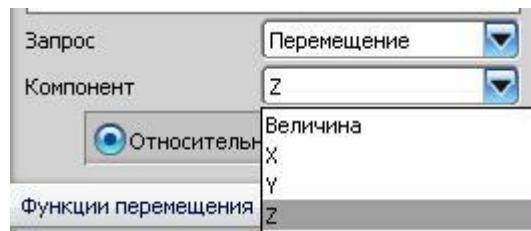


рис.24

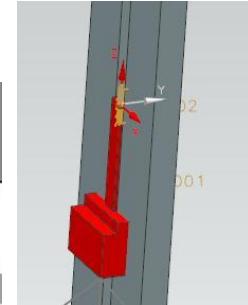


рис.25

- ВАЖНО:** когда вы формируете график с опцией *Относительно*, то и направление перемещения в поле *Компонент* (рис. 24), нужно выбирать по осям **локальной СК** данной кинематической связи (рис.25) !

Построение графиков различных сил



Рис.26

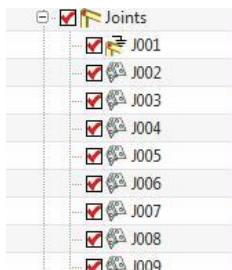


рис.27

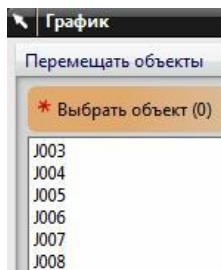


рис.28

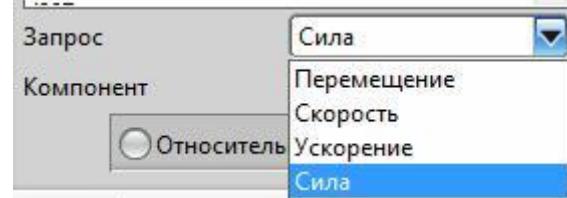


рис.29

- Если вы станете анализировать механизм с большим числом кинематических связей, например, с большим числом шарниров (рис.26, 27), то при построении графиков в окне рис.28 система предложит список всех этих кинематических связей. И в каждой из перечисленных связей можно будет построить график **реактивной силы**, возникающей в этой связи при движении механизма.
- Для этого в поле *Запрос* (рис.29) выберите опцию *Сила*.
- Далее можно построить график реактивной силы в данном шарнире по каждой из осей, а можно построить график суммарной реактивной силы. Для этого в поле *Компонент* (рис.30) нужно выбрать опцию *Величина*.
- Результат построения графика реактивной силы представлен на рис.31.

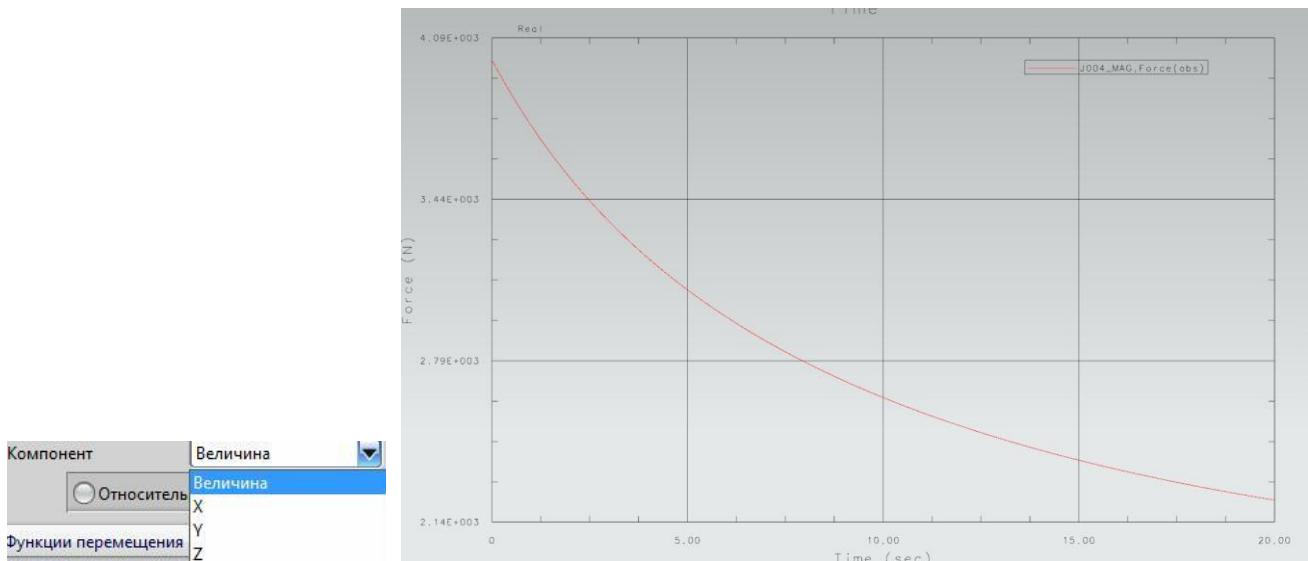


Рис.30

рис.31

Построение графиков с помощью маркеров

- Построение графиков в приложении *Симуляция кинематических механизмов* можно выполнять по-разному. Как уже говорилось, начиная с версии NX 8.5, система позволяет построить графики перемещений, скоростей и ускорений **для центров масс** всех тел исследуемого механизма. Но иногда требуется узнавать эти же характеристики и для других точек механизма (не только для центров масс). Поэтому, наверное, самым распространенным способом является прием построения графиков с применением предварительно построенных **маркеров**, или *сенсоров* (рис.32, 33).

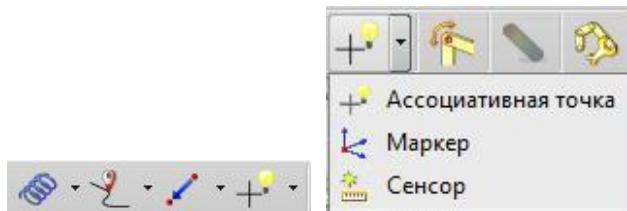


Рис.32

рис.33

- Сенсоры** чаще и эффективнее всего используются **как аргументы** задаваемых функций, о чем подробно мы поговорим позднее. Например, вам нужно задать некоторый момент силы, величина которого зависит от скорости заданного маховика. В этом случае скорость маховика и определяется с помощью *сенсора*.

Вторым популярным применением сенсоров является **измерение** некоторых углов или расстояний между разными точками механизмов, между разными маркерами.

- Маркеры** – это некие **точки**, в которых, в дополнение ко всему, ещё располагаются центры **локальных координат**. Зачем локальные координаты? С их помощью удобно производить различные измерения. Например, измерения углов взаимного расположения различных деталей механизма. Для измерения углов важно представлять себе направления некоторых осей.

Маркеры (локальные СК) можно поставить в любую точку тела, и, таким образом, выполнить измерения относительно именно этой точки. Позднее, эти измерения можно оформить в виде графиков. Проще всего понятие маркеров пояснить на примере.

Пример построения графика с помощью маркера

Зачем ставят маркеры

- Для начала из учебной директории выполните готовый *Prim_Kulisa* (рис.34,35).
- Нам сейчас важно отметить, что для будущих измерений в этом примере вы должны поставить два маркера **A001** и **A002** (рис.35). Как эти маркеры ставят – мы рассмотрим ниже, а сейчас важно понять – зачем они нужны. Повторим, маркеры – это локальные системы координат. В нашем примере одну такую локальную систему координат мы поставили в центре зеленого маятника (рис.36), а вторую – на конце серой штанги (рис. 37). Эти локальные системы координат мы ориентируем таким образом, чтобы впоследствии было удобно измерять различные углы между ними. А точнее – между их осями X.

Угол, на который зеленый маятник будет отклоняться относительно серой штанги, будет измеряться как угол между осями X обеих маркеров.

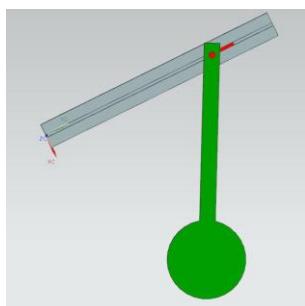


Рис.34

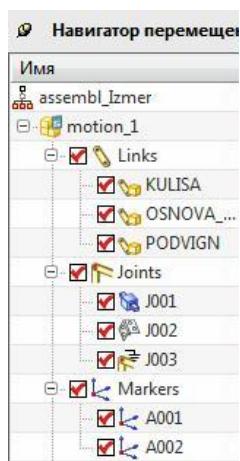


рис.35

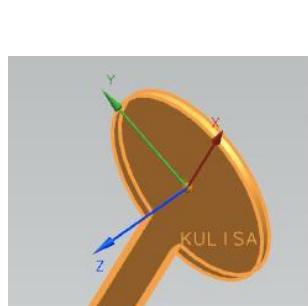


рис.36

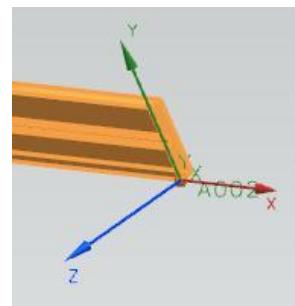


рис.37

- ВАЖНО:** все координаты **маркеров** и иных характерных точек в нашем приложении измеряются *относительно абсолютной СК*. Поэтому в любой ситуации ещё важно знать – где и как расположена эта абсолютная система координат. Обычно РСК всегда совмещают с абсолютной системой координат. В нашем примере эта система стоит на краю серой штанги слева (рис.38).

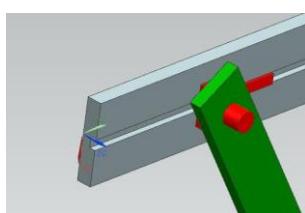


Рис.38

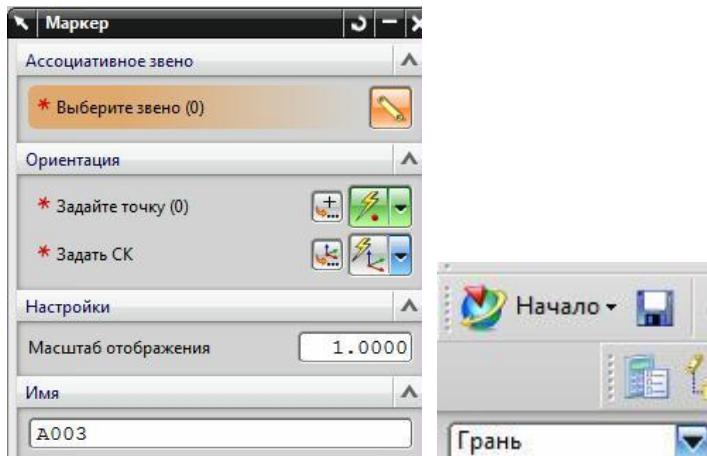


рис.39

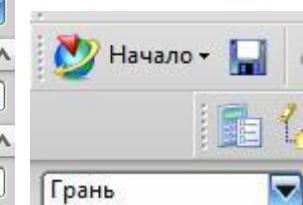


рис.40

Как ставят маркеры

- Диалоговое окно постановки маркера представлено на рис. 39. В этом окне нужно указать:
 - На какой детали вы намерены поставить маркер (поле *Выберите звено*). При этом достаточно указать только одну грань детали. Поэтому в панели выбора должна стоять опция *Грань* (рис.40).

- Затем важно указать конкретную точку этой детали, на которой вы намерены поставить маркер (поле *Задайте точку*).
- И, наконец – самое важное. Нужно правильно ориентировать локальную систему координат, начало которой встанет в только что указанную вами точку (поле *Задать СК*).
- Внизу диалогового окна (рис.39) можно придумать имя вашему маркеру, на которое потом вы будете ссылаться.

Собственно построение графика маркера

- Предполагается, что вы уже выполнили хотя бы одну анимацию вашего механизма, и поэтому в навигаторе перемещений у вас уже присутствует раздел *Solution* (рис.41).
- Итак, качественно вы уже представляете себе – как проходит процесс. Теперь важно зафиксировать количественные характеристики этого процесса. То есть, нужно построить некоторые графики. В нашем примере можно построить график для маркера **A001**. Покажем – как это делается.
- Поставьте курсор на строку *XY-Graphing* (рис.41), и вызовите контекстное меню (рис.42).
- В этом меню выберите команду **Новый...**
- В ответ появится диалоговое окно рис.43.
- В верхней части этого окна перечислены все компоненты схемы, для которых можно построить графики. Сейчас нам важен наш маркер, имя которого мы запомнили – *A001*. Подсветим его строку как на рис.43.
- В поле *Запрос* нужно указать – что именно с помощью этого маркера вы хотите показать: *Перемещение, Скорость, Ускорение,...* (рис.44).
- В поле *Компонент* нужно указать – вдоль какой оси (или вокруг какой оси) вы хотите показать *Перемещение* маркера (рис.45).
- После этого внизу диалогового окна на рис.43 вы должны нажать на **синий плюсик**, и название будущего графика появится в нижней части этого окна (рис.43).

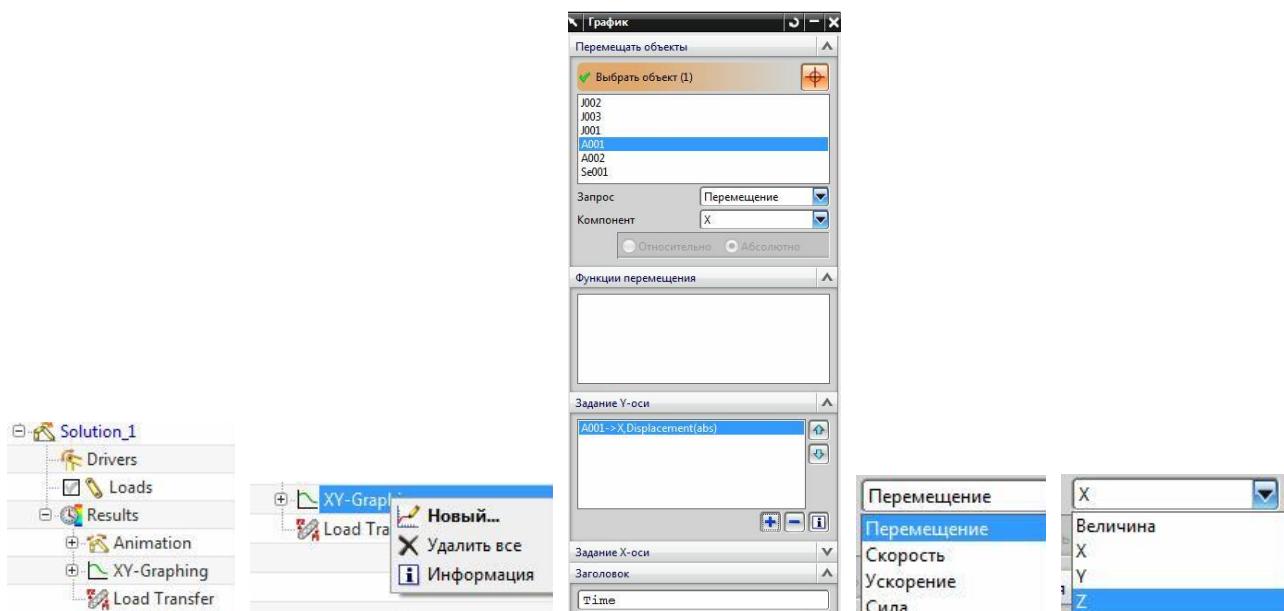


Рис.41

рис.42

рис.43

рис.44

рис.45

- Обратите внимание на то, что когда вы строите графики для маркеров, то хоть и “бледно”, но система все-таки уточняет, что все координаты будут определяться в **абсолютной СК** (рис.47).
- А после ОК в диалоговом окне рис.43, на вашем экране система нарисует рассчитанный график (рис.46).

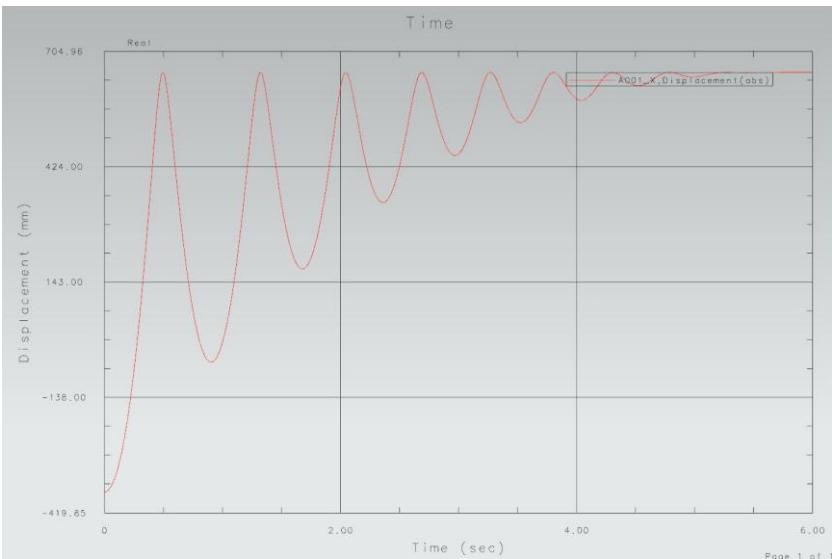


Рис.46

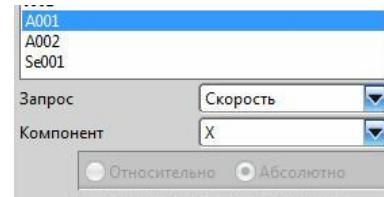


рис.47

Как интерпретировать полученные графики

- Глядя на рис.46 нужно отметить:
 - По оси абсцисс откладывается время в секундах
 - По оси ординат откладывается расстояние в миллиметрах относительно абсолютной системы координат.
 - В правом верхнем углу можно уточнить, что это график перемещения (*Displacement*) маркера **A001** по оси X.



Рис.48

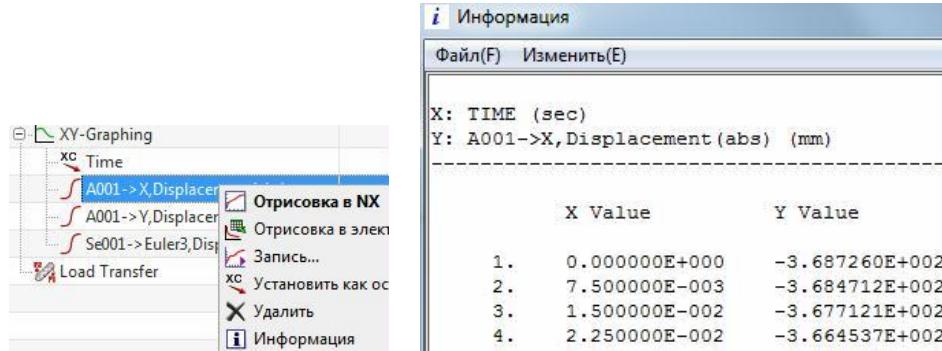


рис.49

рис.50

- Как правило, по результатам одного эксперимента строят сразу несколько графиков (рис.48).
- График автоматически всегда правильно масштабируется, и всегда “помещается” в интервалы осей координат. Но по этому графику не всегда удобно определять точное значение величины в заданный момент времени. Чтобы узнать точное значение искомой величины, нужно в навигаторе перемещений поставить курсор на строку нужного графика, вызвать контекстное меню, и в нём выбрать строку *Информация* (рис.49).
- В ответ система предоставит таблицу результатов (рис.50), где требуемые величины можно определить с высокой точностью.
- Кстати, можно проверить точность построения графика, например, по состоянию механизма в его начальной точке. В таблице рис.50 говорится, что в начальный момент времени положение маркера A001 по оси X составляет -368.72 мм. Если узнать информацию об этой точке с помощью известных средств (рис.51, 52), то выясняется, что совпадение абсолютное.

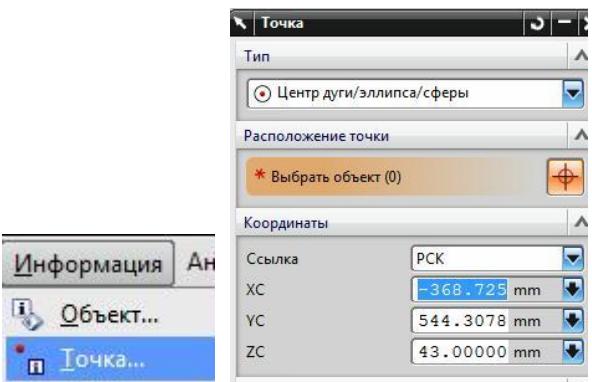


рис.51

рис.52

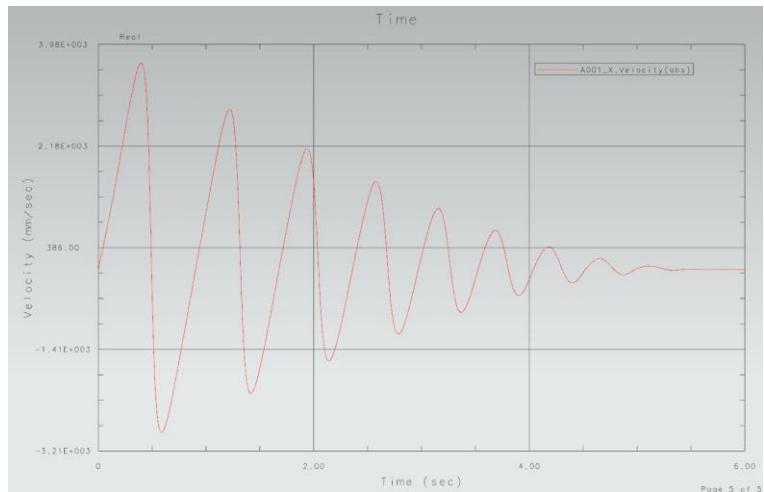


рис.53

- На рис.53 приведен график не перемещения, а **скорости** маркера A001. Вы можете “вручную” примерно проверить правильность определения скорости в заданные моменты времени.

Дополнительные возможности рассмотрения графиков

- При рассмотрении построенных графиков система предоставляет и дополнительные вспомогательные средства. Все они представлены в панели инструментов *График XY* (рис.54). Здесь мы упомянем только некоторые из них.
- Представьте, что вам нужно точно определить значение измеряемой величины в конкретной точке графика на рис.58. Вызовите вторую слева пиктограмму на рис.54, а в ней команду *Режим измерения* (рис.55).



рис.54

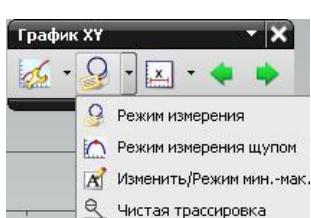


рис.55

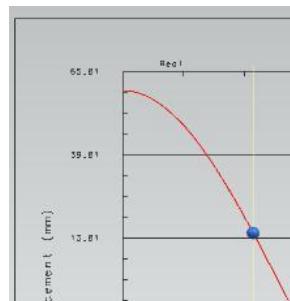


рис.56

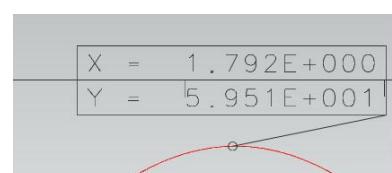


рис.57

- После этого на красной линии графика появится синий шарик (рис.56), легко перемещаемый курсором по кривой графика. Кликните левой кнопкой мыши в нужной точке графика, и система выведет вам точные координаты местоположения шарика (рис.57). Таким образом, можно оперативно узнавать точные численные значения исследуемых величин, не прибегая к таблицам.

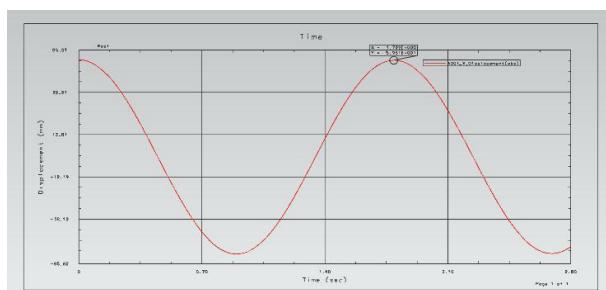


рис.58

Построения графиков с помощью сенсора

- Вспомним, что в нашем исходном примере (рис.34) в свое время мы поставили два маркера (рис.36, 37).
- Один маркер мы уже использовали для измерения перемещения центра маятника. А зачем второй маркер? Он нужен, например, для измерения **относительного расстояния** или угла между локальными системами координат этих двух маркеров. И такое относительное измерение осуществляется с помощью **сенсора**.
- Но предварительно этот сенсор ещё нужно установить.

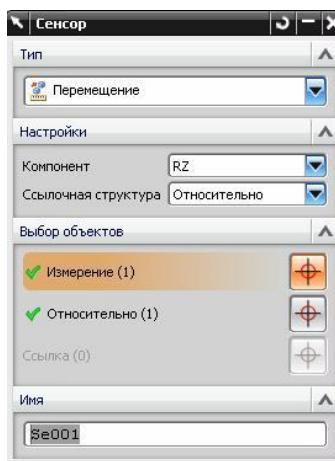


рис.59

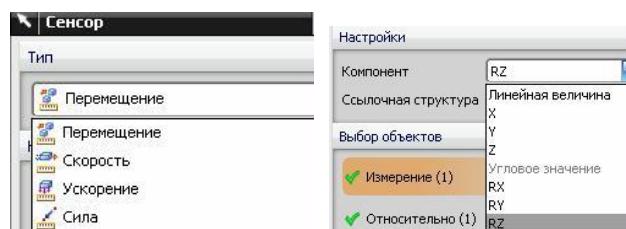


рис.60

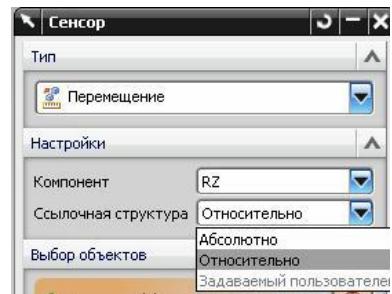


рис.62

Как устанавливается сенсор

- Диалоговое окно описания сенсора показано на рис.59.
- В поле *Тип* нужно уточнить – что именно мы хотим измерить с помощью данного сенсора (рис.60). В нашем случае это будет *Перемещение* (угла).
- В поле *Компонент* мы оговариваем – вдоль какой оси (X,Y,Z), или вокруг какой оси (RX, RY, RZ) мы осуществляем с помощью данного сенсора измерение (рис.61). В нашем случае мы выбираем измерение угла вокруг оси RZ.
- Далее, в поле *Ссылочная структура* (рис.62) нужно выбрать опцию *Абсолютно* или *Относительно*.
- Если измерение происходит между маркерами, в поле *Ссылочная структура* мы обязательно ставим опцию *Относительно*, поскольку измерение будет происходить относительно двух маркеров
- **ВАЖНО:** Если мы выбираем опцию *Относительно*, то обязаны ориентироваться на оси **локальных СК!** Если мы выбираем опцию *Абсолютно*, то обязаны ориентироваться на оси **абсолютной СК!**

В нашем примере оси Z абсолютной и локальных СК совпадают (рис.63, 64). Но это не всегда так. Например, в следующем примере (рис.65) оси Z абсолютной и локальной СК совершенно не совпадают. И там красный маховик в абсолютной СК вращается относительно оси Y, а в локальной СК вращается относительно оси Z! Нужно быть внимательным при определении сенсоров.

- И, наконец, в диалоговом окне рис.59, в полях *Измерение* и *Относительно* мы должны указать оба, ранее описанных маркера. Указание можно делать непосредственно в навигаторе перемещений.
- На рис. 59 показано – как бы мы описали сенсор для измерения угла зеленого маятника относительно серого основания. Отметим, что измерение этого угла осуществляется вокруг оси Z относительной СК (рис.66). Представление строки сенсора в навигаторе перемещений показано на рис.67.

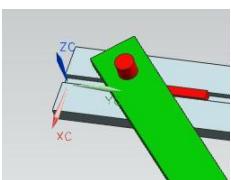


рис.63

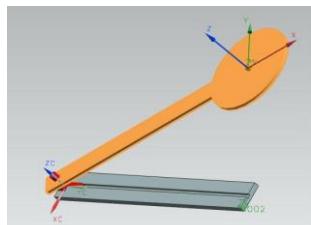


рис.64

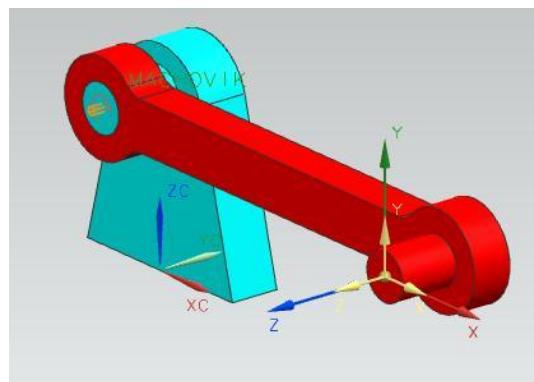


рис.65

Собственно построение графика сенсора

- После того, как сенсор описан (рис.59), можно приступить к построению соответствующего графика.

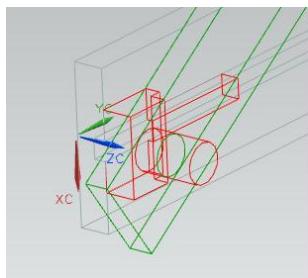


рис.66

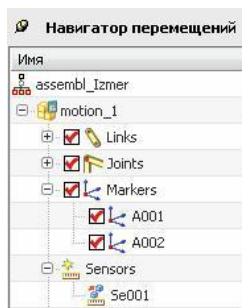


рис.67

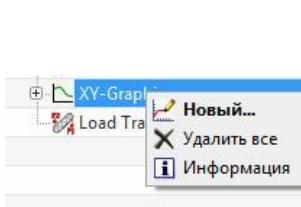


рис.68

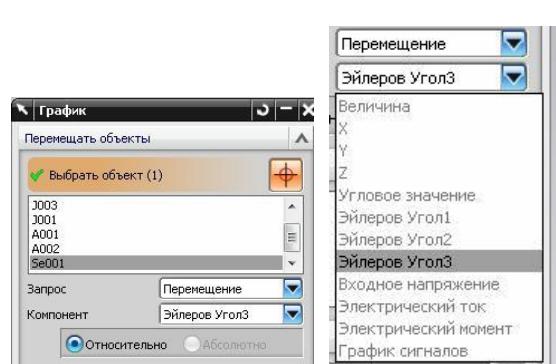


рис.69

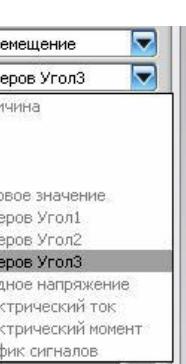


рис.70

- Поставьте курсор на строку *XY-Graphing*, и вызовите контекстное меню (рис.68).
- В этом меню выберите команду **Новый...**
- В ответ появится диалоговое окно рис.69.

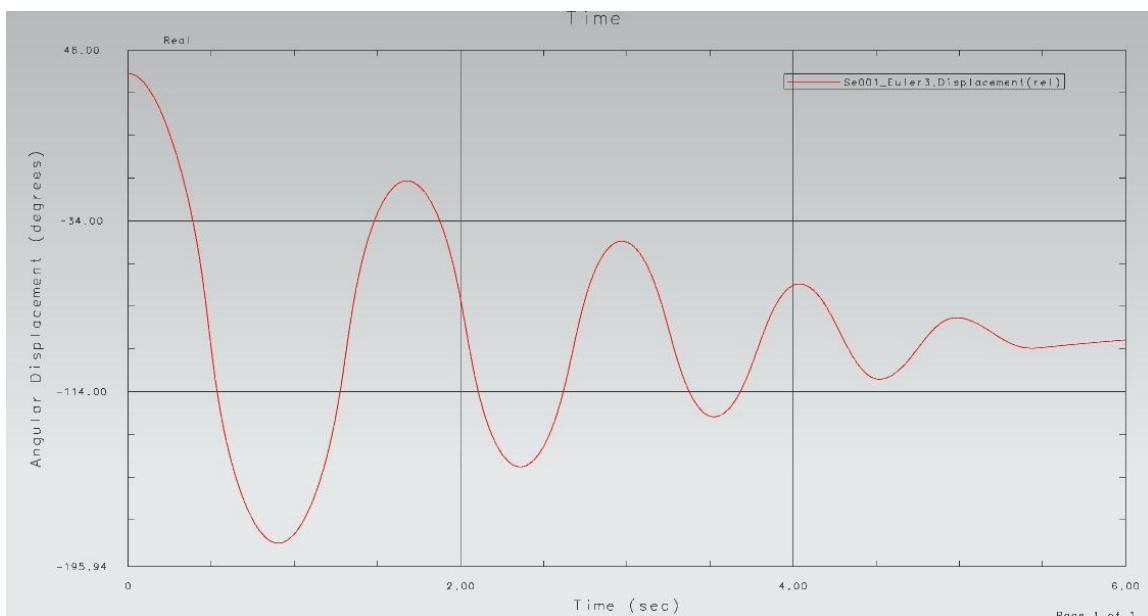


рис.71

- В верхней части этого окна перечислены все компоненты схемы, для которых можно построить графики. Нам важен наш сенсор, имя которого мы запомнили – **Se001**. Подсветим его строку.
- После этого в остальных полях окна (рис.70) всё установится уже автоматически: относительное *Перемещение* вокруг оси Z (Эйлеров угол 3). Ведь ещё на этапе описания сенсора мы указали, что будем измерять угол вокруг оси Z. Поэтому остальные параметры построения графиков для нашего сенсора в диалоговом окне оказываются пассивными (рис.70).
- После нажатия на маленький плюсик, и указания ОК в диалоговом окне рис.42 система построит нужный график (рис.71).
- Как и в предыдущем случае можно узнать точные значения искомых величин с помощью команды *Информация* (рис.72). Как видно, начальный угол между маятником и основанием составляет 35 градусов (рис.73).

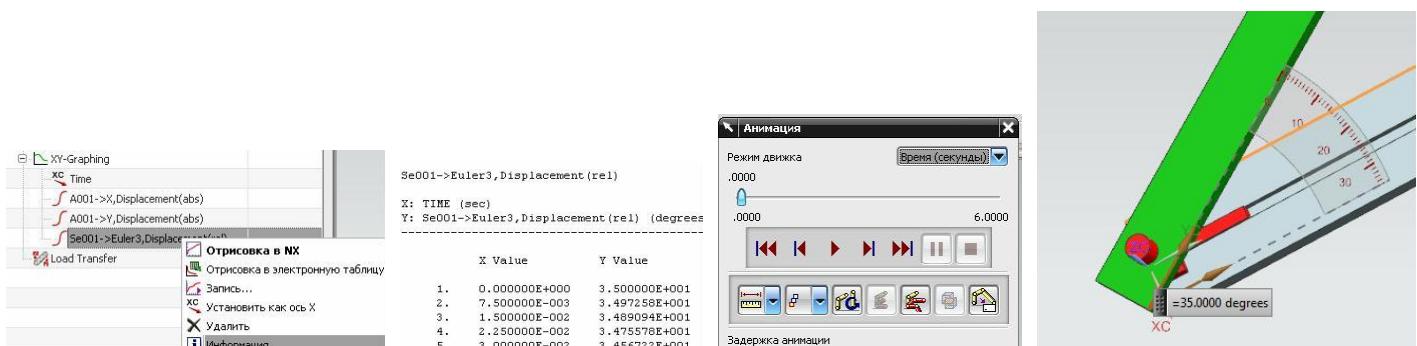


рис.72

рис.73

рис.74

рис.75

- Вызовите диалоговое окно *Анимация* (рис.74), самая левая пиктограмма в этом окне – это различные измерения. Измерьте нужный нам угол в начальном состоянии механизма, и убедитесь, что он действительно составляет 35 градусов (рис.75).

Функции

- При задании различных движителей, внешних сил, или моментов, эти движители или внешние воздействия возможно описать с помощью определенных **функций**.

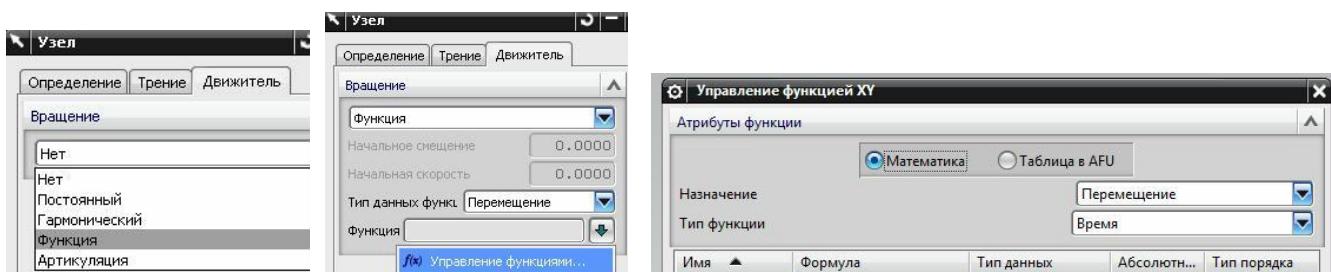


рис.76

рис.77

рис.78

- Вспомните, например, задание обычного вращательного шарнира, и его закладку *Движитель* (рис.76). До сих пор мы задавали опции *Постоянный* или *Гармонический*. Но в сложных случаях, когда изменение угла во вращательном шарнире описывается нестандартно, приходится выбирать опцию *Функция*.
- Затем вы должны уточнить – какую именно функцию вы имеете в виду (рис.77). И в результате вы попадете в диалоговое окно *Управление функцией XY* (рис.78), в котором нужно выбрать одно из имен уже сформированных функций, или “по ходу” описать нужную вам функцию.

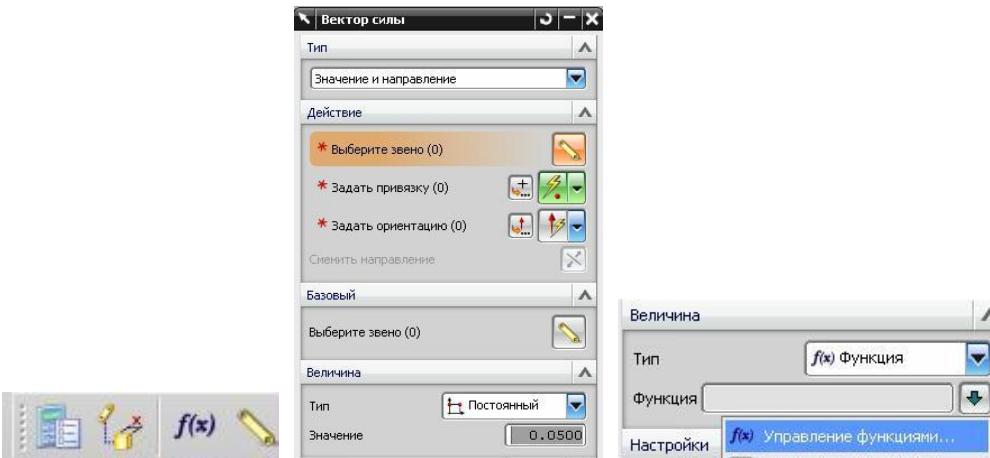


рис.79

рис.80

рис.81

- Аналогично, при описании силы или момента, не обязательно считать эту силу или момент постоянными на все время анализа (рис.80). При желании, вы также можете внешнее воздействие задать с помощью некоторой функции (рис.81). И при этом вы опять попадете в диалоговое окно рис.78.
- В это диалоговое окно можно попасть и автономно. Для этого в панели инструментов *Перемещение* есть специальная пиктограмма *Менеджер функций* (рис.79, вторая пиктограмма справа).
- Существует два больших раздела в нашем диалоговом окне (рис.78): *Математика* и *Таблица в AFU*. То есть, нужную функцию можно задать с помощью математических формул, или таблично. Сначала мы рассмотрим задание функции **в виде таблицы**.

Построение табличной функции

- Для этого в диалоговом окне рис.82 сразу включим переключатель *Таблица в AFU*.

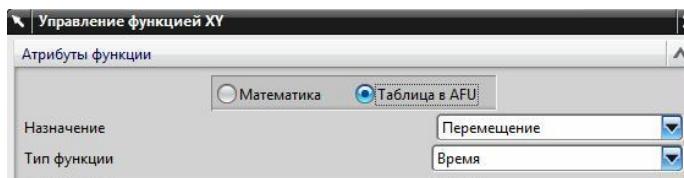


рис.82

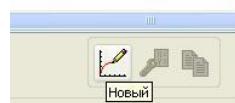


рис.83

- Кроме этого, обратите внимание на поле *Назначение*, в котором должна стоять опция, которая определяет значение вашей функции. Например, *Перемещение*. А в поле *Тип функции* задается аргумент вашей функции. В большинстве случаев табличных функций этот аргумент – *время*.

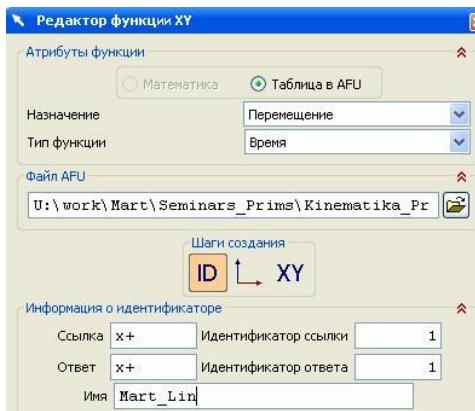


рис.84

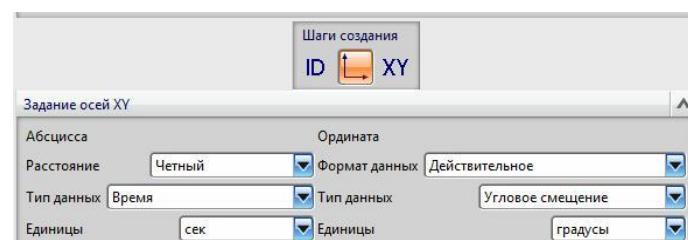


рис.85

Три шага задания функции

- На первом этапе описания функции, в нижней части окна рис.82 мы выбираем пиктограмму создания новой функции (рис.83).
 - В ответ появляется новое диалоговое окно (рис.84).
 - Каждый последующий шаг описания нашей функции в диалоговом окне на рис.84 определяется соответствующей пиктограммой в её центре, в поле “Шаги создания”.
 - На первом шаге создания функции (используется пиктограмма ID) мы, главным образом, только придумываем имя нашей функции. Например, *Mart_Lin* (рис.84). Описание стальных полей этого диалогового окна (рис.84) пока опустим.
 - На втором шаге (рис.85) мы проверяем единицы измерения осей.
- Вообще, единицы измерения абсциссы и ординаты зависят от того, каким образом вы попадаете в диалоговое окно Редактор функцией XY. Если, например, вы формируете функцию для силы, то перечень возможных единиц измерения будет таким, как на рис. 86.
- На третьем, самом важном шаге (рис.87) мы должны в поле Создание XY данных, в соответствующих окошках:
- Задать начальное значение времени – 0 (поле Минимум X);
 - Шаг его приращения - 5 сек (поле X приращение)
 - Число точек – 3. Число точек всегда на единицу больше числа отрезков, на которые вы разделяете ось абсцисс..

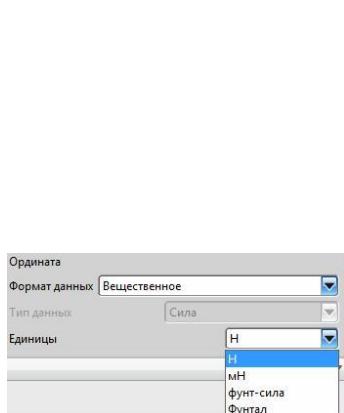


Рис.86

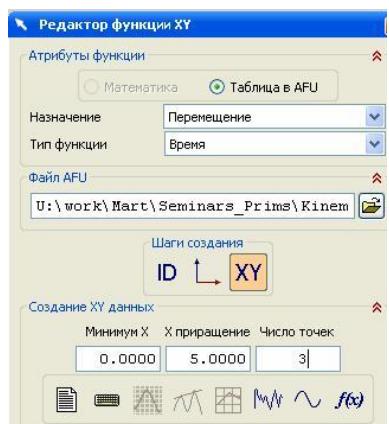


рис.87

X ₁	Y
0.000000, 0	
5.000000, 180	
10.000000, 360	

рис.88

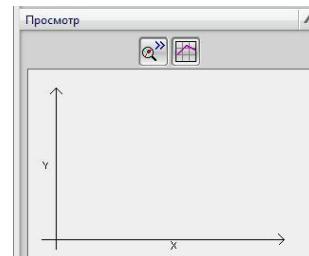


рис.89

- А потом в нижней строке рис.87 из всех пиктограмм вызовите самую левую пиктограмму Ввод из редактора текста.
- В ответ появится таблица рис.88, в которой каждой временной точки (левый столбец) вы зададите численное значение ординаты (например, значение силы). Таким образом вы и опишите свою функцию.
- Пример описания импульсной силы представлен на рис.91, 92.

Просмотр графиков построенной функции

- Если вы захотите просмотреть график построенной функции, то внизу окна рис.87 есть поле Просмотр . Раскройте его.
- Откроется поле рис.89. В этом поле две пиктограммы.
- Нажмите на левую пиктограмму, и прямо в окне рис.89 появится маленький график как на рис.90, 91, 93.

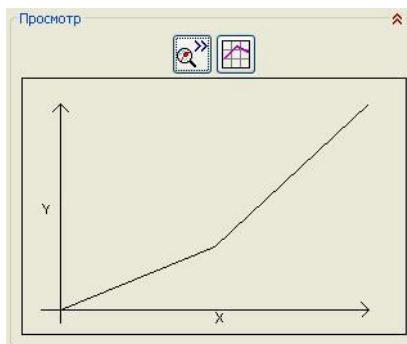


Рис.90

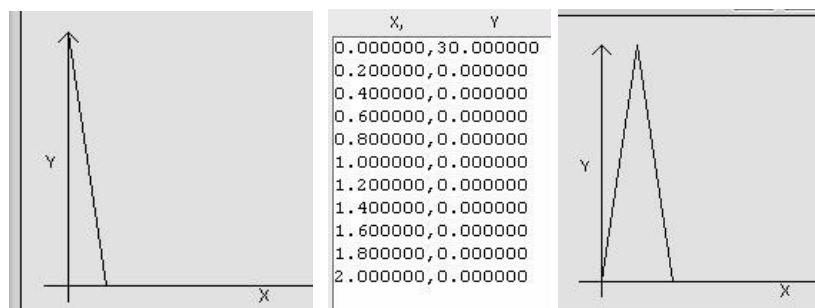


рис.91

X	Y
0.000000	30.000000
0.200000	0.000000
0.400000	0.000000
0.600000	0.000000
0.800000	0.000000
1.000000	0.000000
1.200000	0.000000
1.400000	0.000000
1.600000	0.000000
1.800000	0.000000
2.000000	0.000000

рис.92

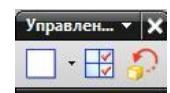
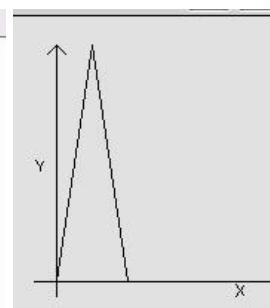


рис.93

рис.94

Завершение и редактирование построенной функции

- Далее нажимайте во всех окнах OK, и ваша функция будет считаться описанной.
- Кстати, построенные функции хранятся в файле .AFU в Папке симуляции.

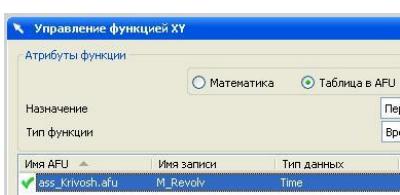


Рис.95

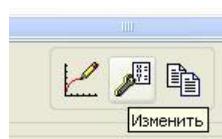


рис.96

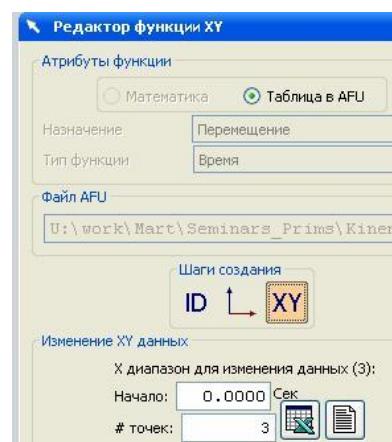


рис.97

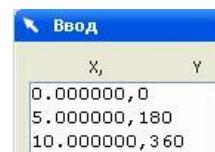


рис.98

- Если вы захотите проверить, или изменить задание функции, то в диалоговом окне Управление функцией XY (рис. 95) нужно подсветить имя интересующей вас функции. Список приготовленных функций может быть достаточно длинным.
- В ответ внизу этого окна станут активными все пиктограммы (рис.96).
- Теперь нужно выбрать среднюю пиктограмму - Изменить.
- После этого опять последовательно станут доступными все окна рис. 84, 85, 87.
- Правда, окно рис.87 немного видоизменится (рис.97).
- В окне рис.97, внизу нужно нажать на крайнюю правую пиктограмму (лист бумаги с загнутым уголком), и вы опять окажетесь в таблице рис. 98, где сможете внести необходимые изменения.

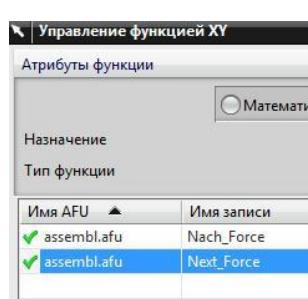
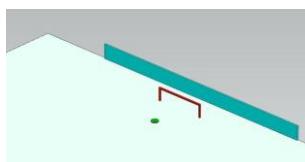


Рис.99

рис.100

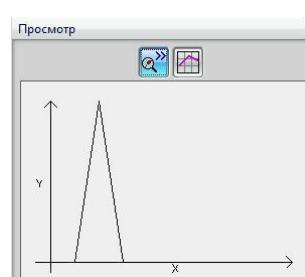


рис.101

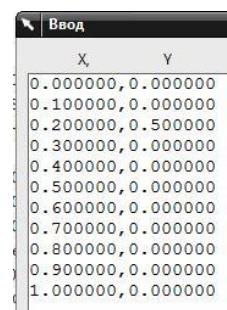


рис.102

Пример построения “табличной” функции

- Из директории Films запустите AVI фильм под названием **movie_hockey5** (рис.99). Самостоятельно повторите и анимируйте похожий механизм.
- В этом примере, чтобы попасть шайбой в ворота, необходимо правильно задать действующие на неё силы (рис.100).
- График одной из сил показан на рис. 101, а соответствующая таблица зависимости силы от времени представлена на рис. 102.

Задание “математической” функции

- Система предоставляет разные способы задания математических функций. Рассмотрим только некоторые из них. Первый способ – с помощью функции **Step**.
- Для лучшего понимания можете посмотреть фильм **movie_Mat_Funk** (рис.103 - 106). Повторите и анимируйте похожий механизм.
- В этом примере нужно заставить зеленое тело переместиться вправо относительно своего первоначального положения по определенному закону, а именно: сначала оно должно отодвинуться вправо на 70 мм, потом вернуться влево на 30 мм, а затем передвинуться вправо на 120 мм. относительно своего исходного состояния.

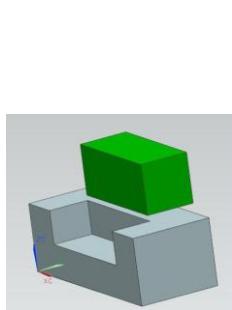


Рис.103

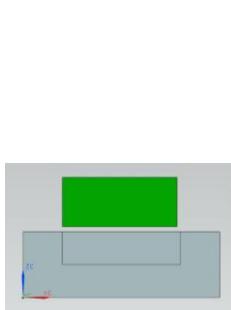


рис.104

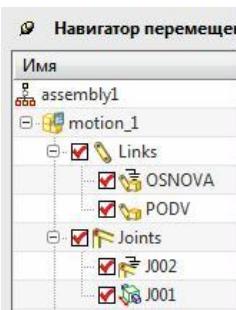


рис.105

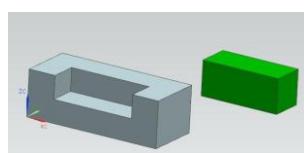


рис.106

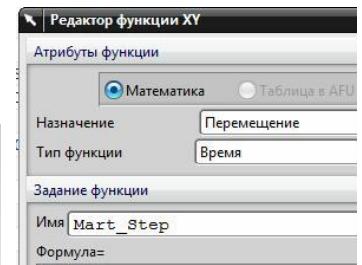


рис.107

- Для самостоятельного повторения этого примера вы должны задать движитель Ползуна с помощью математической функции.
- Сначала мы придумаем имя нашей функции, например - **Mart_Step** (рис.107).

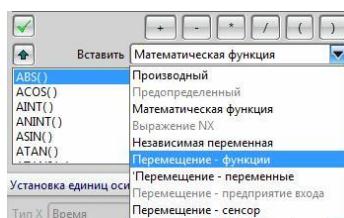


Рис.108

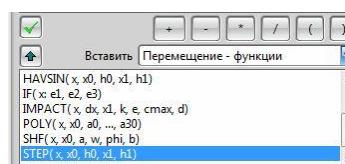


рис.109

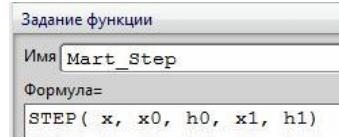


рис.110

- Затем в том же диалоговом окне, в поле *Вставить* выберем опцию **Перемещение – функции** (рис.108).
- Потом из всех возможных функций этой категории выберем вариант **STEP (x, x0, h0, x1, h1)** – рис.109.

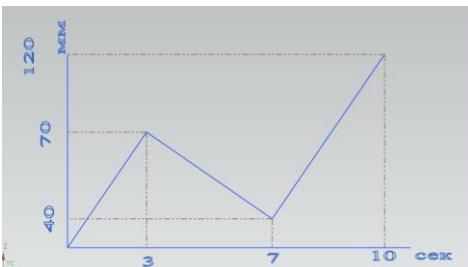


Рис.111

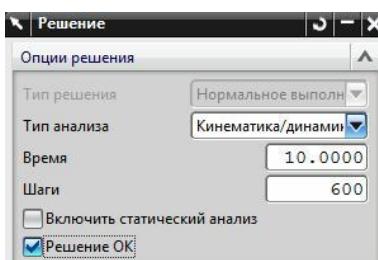


рис.112

- Наконец с помощью зеленой стрелочки *Вверх* (рис.109, слева вверху) перенесем выбранную функцию в поле *Формула* (рис.110).
- А теперь непосредственно в поле *Формула* будем заполнять буквенные параметры выбранной функций конкретными числовыми значениями.
- Итоговое выражение должно выглядеть так:

$$STEP(Time,0,0,3,70) + STEP(Time, 3,0,7,-30)+ STEP(Time,7,0,10,80)$$

- Постарайтесь сами догадаться – по какому принципу нужно заполнять буквенные параметры выбранной функций конкретными числовыми значениями.
- Такое же итоговое выражение вы увидите и в диалоговом окне рис.113. А итоговый график нашей функции для движителя связи типа *Ползун* представлен на рис.111. Как видите из графика, время работы нашего движителя составляет 10 сек. Естественно, в параметрах *Решения* время анализа также должно составлять 10 сек. (рис.112).
- При анализе всего примера убедитесь в правильном перемещении зеленого тела, и проверьте точное расстояние его перемещения хотя бы в конечной точке.
- ПРИМЕЧАНИЕ:** впоследствии, когда вы освоите инструмент измерения, повторите этот пример с постоянным измерением расстояния между зеленым телом и серым основанием.

Тип функции	
Имя	Формула
Mart_Step	STEP(Time, 0, 0, 3, 70)+STEP(Time,3,0,7,-30)+STEP(Time,7,0,10,80)

Рис.113

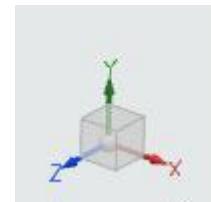


рис.114

Задание математической функции с помощью сенсоров

Линейная скорость - сила

- Все-таки главное применение сенсоров – это не измерения и построения графиков, о чем мы говорили выше, а их использование **в качестве аргументов** математических функций.
- Рассмотрим пример *Prim_Power_Engine* (рис.115, 116). В этом примере движение всего механизма обуславливается **векторной силой**, приложенной к поршню. Но эта сила должна действовать только в определенные моменты времени. А именно, только тогда, когда поршень движется справа налево (под действием инерции махового колеса поршень в следующий полупериод движется в обратную сторону). Для этого необходимо создать специальную функцию для векторной силы.
- Повторите пример *Prim_Power_Engine*. В этом примере уже подготовлены все детали и статическая сборка всего механизма. Вам остается назначить кинематические пары, и векторную силу.
- Но для правильного задания функции векторной силы вам придется предварительно создать сенсор, который будет измерять (регистрировать) линейную скорость движения вашего поршня.

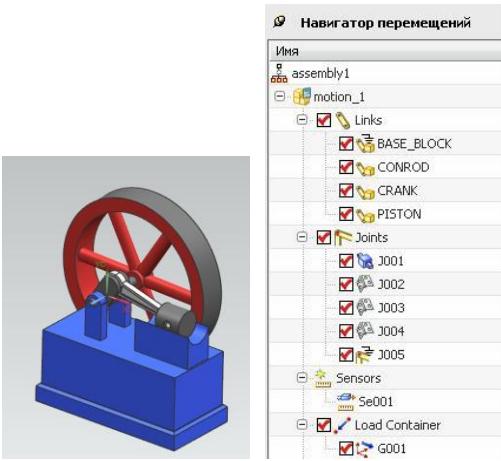


рис.115

рис.116

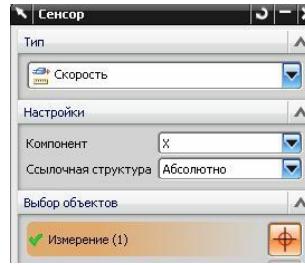


рис.117

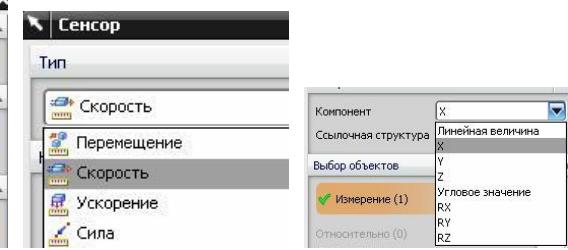


рис.118

рис.119

- Соответствующее диалоговое окно для задания сенсора показано на рис.117. Здесь важно сказать, что с помощью сенсора мы будем регистрировать именно **скорость** поршня (рис.118). Это самый оптимальный аргумент для будущей функции силы. И ещё важно подчеркнуть, что с помощью этого сенсора мы станем регистрировать линейную скорость поршня относительно оси X (рис.117).

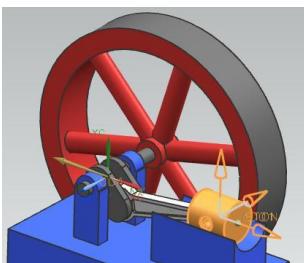


рис.120

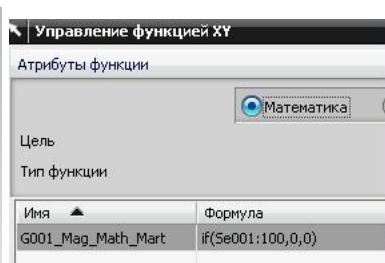


рис.121

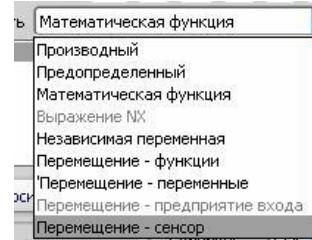


рис.122

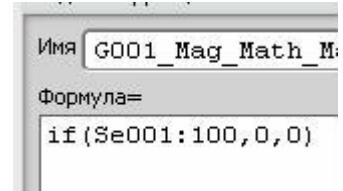


рис.123

- Обратите внимание - измерение скорости будет осуществляться в абсолютной СК (рис.117).
- И ещё важно правильно указать объект исследования с помощью нашего сенсора. Если вы выбрали опцию *Абсолютно*, и при этом заглянете в *панель выбора*, то система предоставляет в качестве такого объекта либо *маркер*, либо *Узел*. То есть какую-либо *кинематическую связь* (рис.124). Мы выберем *Узел*, и просто в навигаторе перемещений укажем строку *Ползун*.
- Саму **векторную силу** приложим к поршню, с *положительным* направлением справа налево, (рис.120).
- А далее приступаем к описанию функции векторной силы. Тип функции – *математический* (рис.121).
- Затем уточняем способ описания функции – *Перемещение – сенсор* (рис.122).
- А затем “вручную” описываем саму функцию (рис.123).

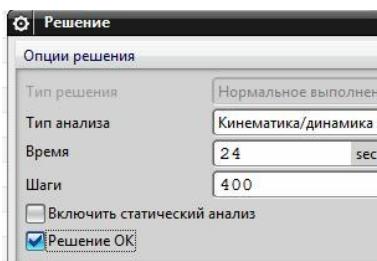


Рис.123а

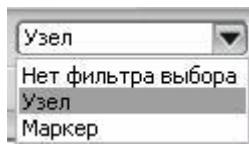


рис.124

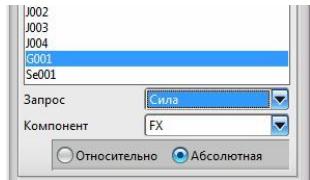


рис.125



рис.126

- Смысл этого выражения нужно интерпретировать следующим образом:
 - если сенсор Se001 (то есть, скорость поршня) будет иметь отрицательное значение (поршень движется справа налево, против оси X), то сила будет положительной (справа налево), и равна 100 Н.
 - если сенсор Se001 будет иметь нулевое значение (поршень стоит), то сила равна 0 Н.
 - если сенсор Se001 будет иметь положительное значение (поршень движется вправо), то сила также равна 0 Н.
- Решение можно оформить с параметрами, представленными на рис.123а.
- После анимации механизма можно проверить график нашей силы, действующей на поршень. На рис.126 показан график этой силы – она толкает поршень только в нужные моменты времени. Этот график строится так, как показано на рис.125.

Угловая скорость – момент

- Рассмотрим пример (рис.127, 128). Необходимые модели деталей возьмите в директории **Prim_Moment_Funk**. Нет ничего нового в этом примере: красный маховик раскачивается под действием собственного веса. Но сейчас мы постараемся демпфировать эти колебания как можно скорее. Для этого введем в наш вращательный шарнир **скалярный момент**, величина которого будет определяться очень простой функцией **T001_Math_Mart** (рис.129).
- Как видно, аргументом этой функции является сенсор **Se001**.

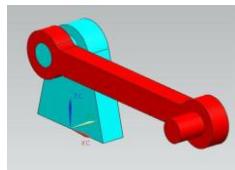


рис.127

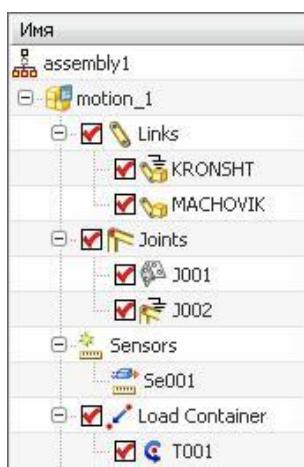


рис.128

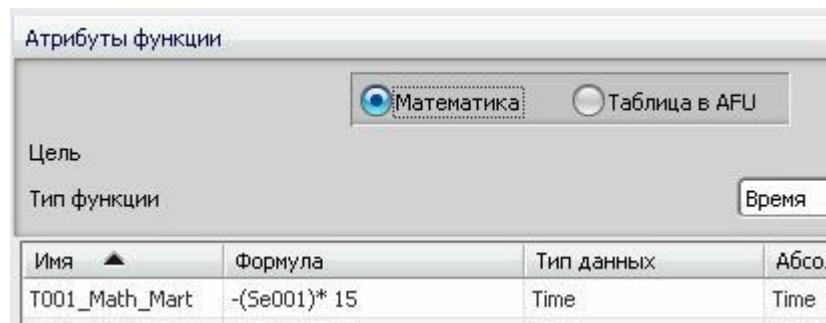


рис.129

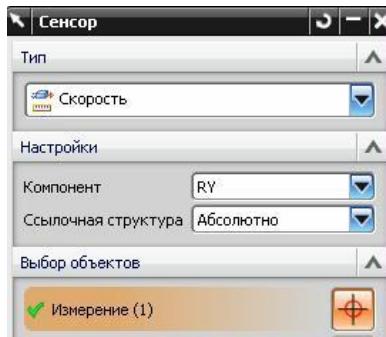


рис.130

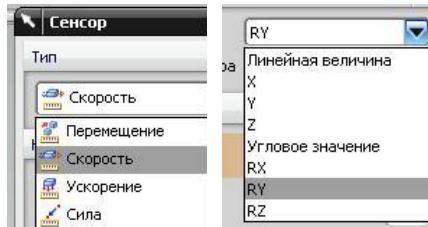


рис.131

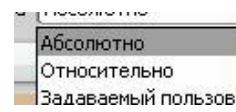


рис.132

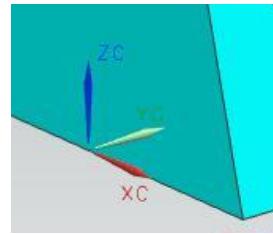


рис.133

рис.134

- Значение этого сенсора мы определяем как угловую **скорость** вращения красного маховика относительно оси Y абсолютной СК (рис.130).
- Как и в предыдущем примере, именно **скорость** для нашей задачи является самым оптимальным вариантом.

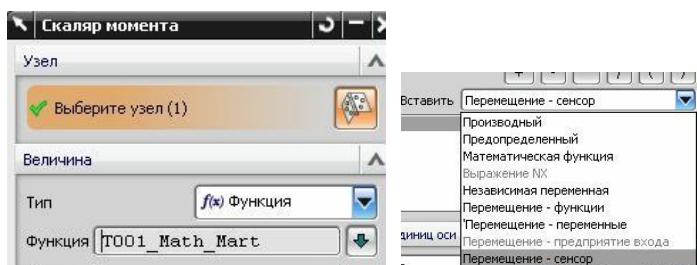


рис.135

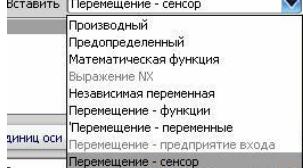


рис.136

Имя	Формула
T001_Math_Mart	$-(Se001)*15$
121.	1.842857E-001
122.	1.858214E-001
123.	1.873571E-001

рис.137

121.	1.842857E-001	-1.266480E+002
122.	1.858214E-001	-1.266204E+002
123.	1.873571E-001	-1.265712E+002

рис.138

- Затем опишем *скалярный момент* (рис.135), который дополнительно налагаем на наш вращательный шарнир. Величина момента задается математической функцией.
- Тип функции определяем как **Перемещение – сенсор** (рис.136).
- А сама функция – очень проста (рис.137). Знак момента зависит от направления осей локальной СК вращательного шарнира. А коэффициент мы будем менять (от 15 до 70), чтобы определить – как ведет себя маховик при разных значениях противодействующего момента.
- График угловой скорости от времени (значение нашего сенсора) показан на рис.139. А график приложенного момента – на рис. 140.

КСТАТИ: углы на графиках задаются в градусах, а в формулах (рис.137) углы рассчитываются в радианах.

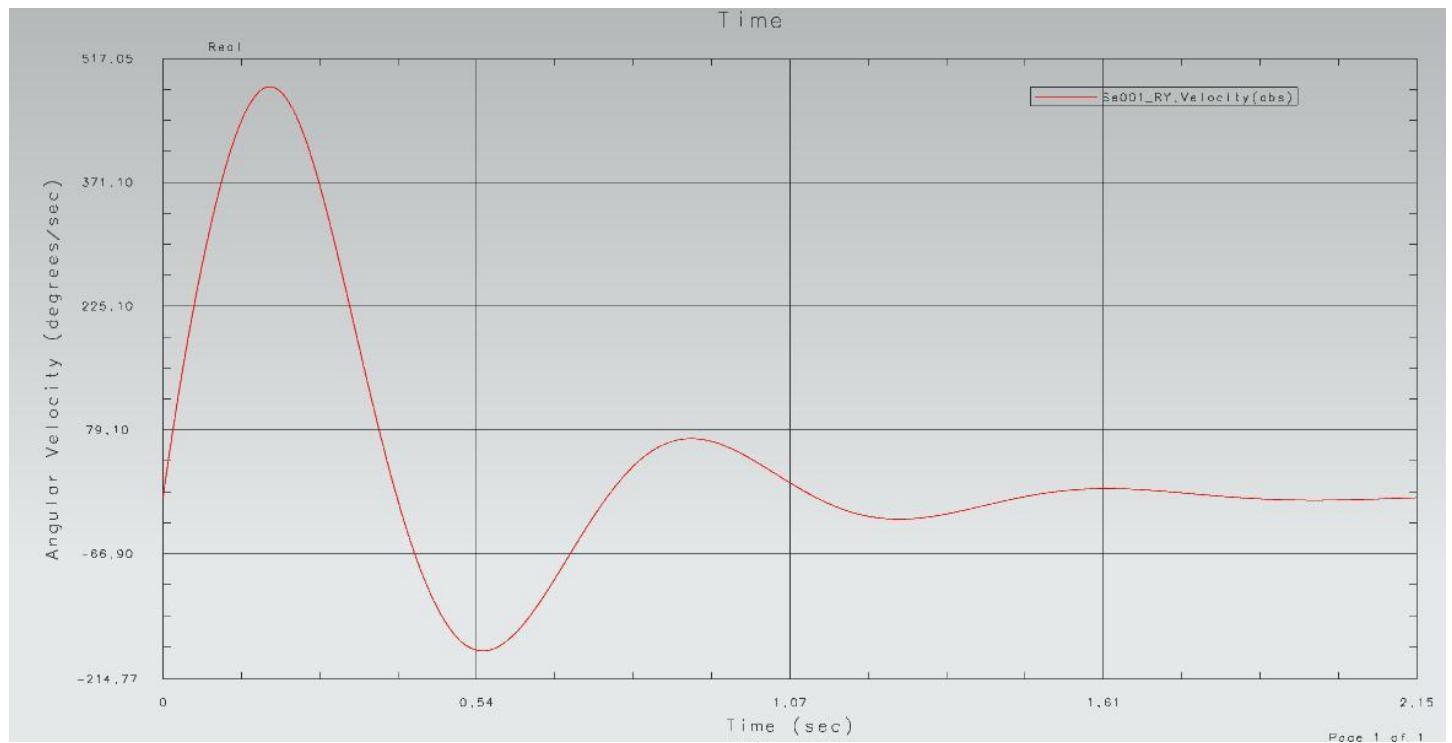


рис.139

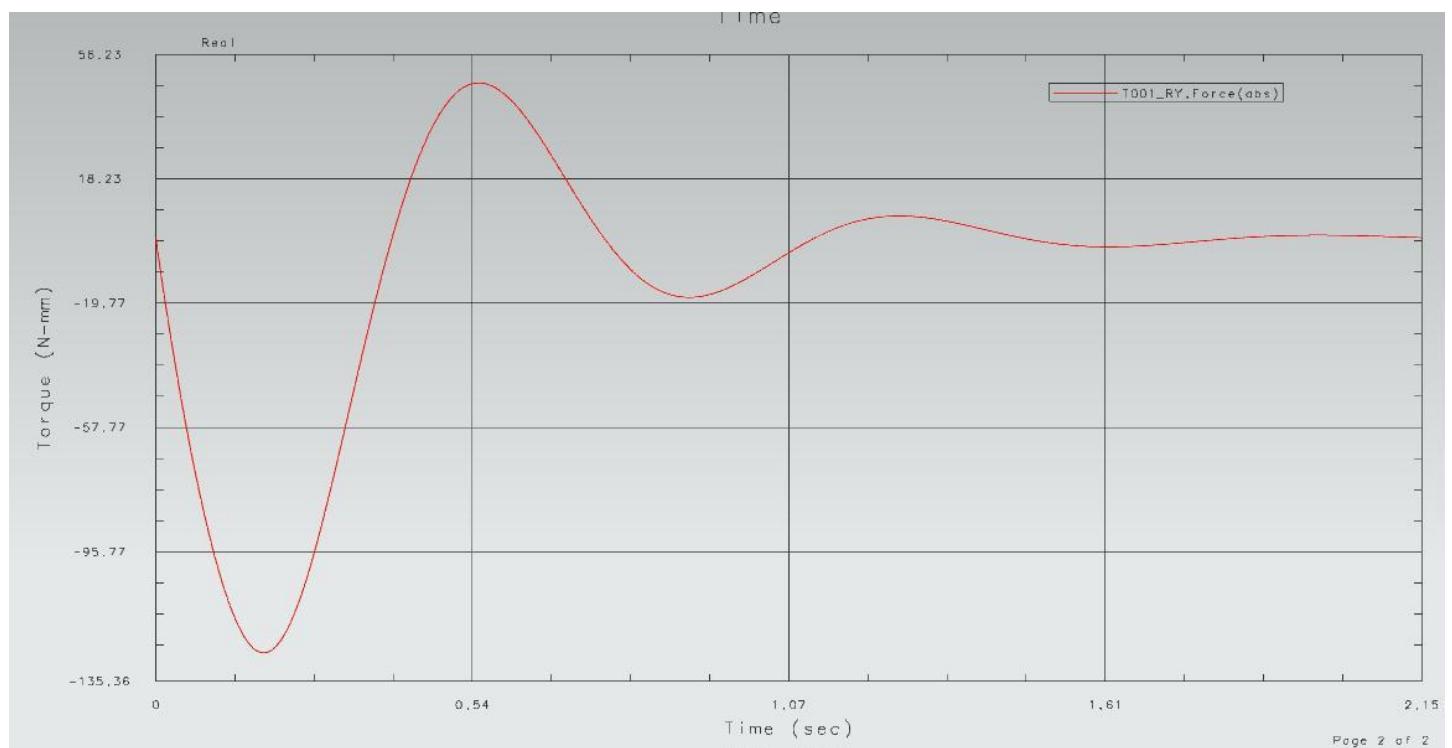


рис.140

Расчет статического режима

- До сих пор большинство наших примеров мы выполняли, при следующих параметрах в диалоговом окне *Решение* (рис.1):

- Тип решения – *Нормальное выполнение*
- Тип анализа - *Кинематика \ Динамика*

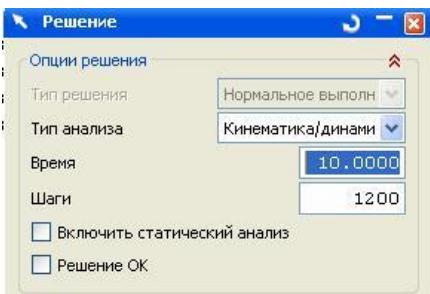


Рис.1

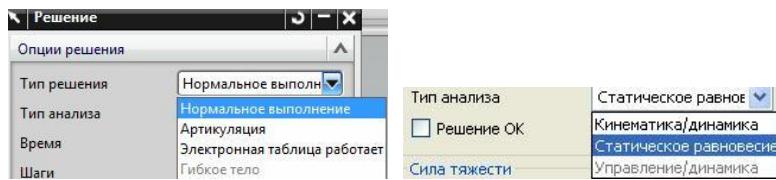


рис.2

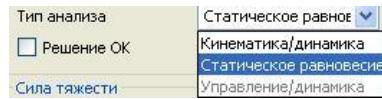


рис.3

- В окне *Тип решения* возможны разные варианты (рис.2). В данном пособии мы рассматриваем только вариант **Нормальное выполнение**. Именно этот тип решения точно анализирует все динамические процессы в проектируемом механизме. В этом случае решатель составляет систему ОДУ, и решает её численным методом. Остальные типы решения применяются для ускоренного повторения ранее выполненных решений. В одном случае мы применяем некий мультфильм, собранный из отдельных кадров (*Артикуляция*), в другом случае используем данные из Excel таблицы (*Электронная таблица работает*).

- В окне *Тип анализа* также возможны разные варианты (рис.3). Анализ *Кинематика \ Динамика* мы неоднократно применяли. А вот про *Статическое равновесие* мы сейчас и поговорим. Это расчет устоявшегося состояния анализируемого механизма, в котором уже “затухли” все колебания, все переходные процессы.

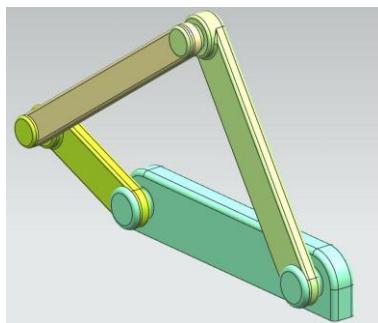


Рис.4

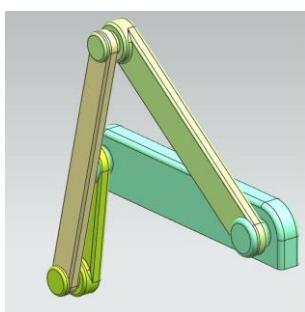


рис.5

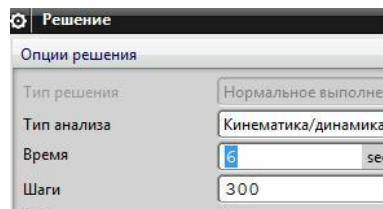


рис.5а

Примеры расчета статического режима

Пример с вращательными шарнирами

- Все модели нужных деталей учебного примера находятся в учебной директории – *Prim_Statik* (рис.4,5). На этих рисунках изображены исходное и статическое состояние нашего примера.

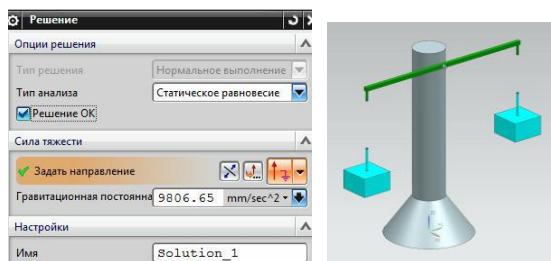


Рис.6

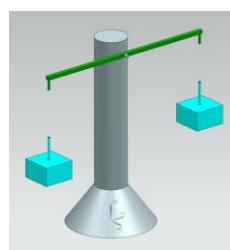


рис.7

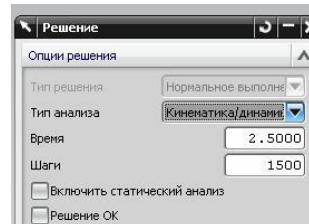


рис.8

- Если бы мы выполнили обычный анализ типа *Кинематика / динамика* (рис.5а), то наши звенья под действием собственной тяжести болтались бы некоторое время, и из-за некоторого трения в шарнирах через некоторое время все колебания бы прекратились. Но дожидаться устойчивого

состояния системы через динамический анализ слишком дорого и долго. Поэтому вы можете сразу рассчитать статический режим системы с помощью установок, представленных на рис. 6.

- После этого система без всяких колебаний сразу покажет вам итоговое устойчивое состояние (рис.5).

Пример с пружинами

- Этот пример вы можете просмотреть, а затем и повторить, просмотрев учебный фильм – *movie_vesu* (рис.7). Рекомендуемые параметры *Решения* показаны на рис.8.
- Выполните динамический и статический анализы для этой системы.

Передача нагрузки

Основные положения

- Нужно сказать, что главная наша задача в данных лабораторных работах не анимацию посмотреть, а проверить – какие усилия возникают в механических соединениях и деталях механизма во время его работы. Особенно интересны различные динамические нагрузки в виде различных ударов, колебаний, и столкновений. Именно этому – определению **реактивных сил и моментов** во время работы механизма и посвящена эта глава.

- Для начального ознакомления рассмотрим очень простой и знакомый механизм (рис.9).
- Вы можете повторить этот пример из учебной директории – *Prim_Peredacha_Nagruzki*. Все необходимые модели там присутствуют.
- В этом механизме красный маховик будет вращаться вокруг основания под действием собственного веса, или под влиянием каких-либо внешних воздействий. Конструктору важно знать пиковую нагрузку, которые возникают во время движения во вращательном шарнире. Исходя из величины этих нагрузок, мы должны определить конструкцию и прочность материалов самого шарнира. Вот для анализа динамических реакций сил и реакций моментов в соединениях указанного тела и служит рассматриваемое средство.



Рис.9

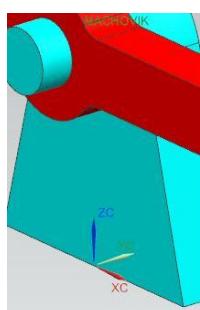


рис.10

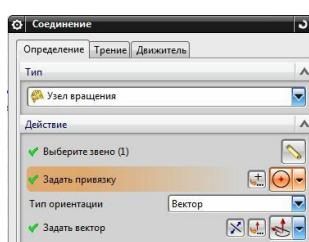


рис.11

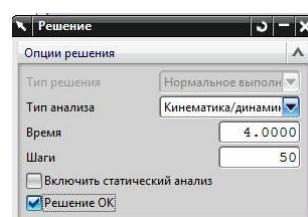


рис.12

- Вы можете сказать, что пиковые нагрузки в шарнире вы уже можете рассчитать с помощью построения графиков **силы** в соответствующих шарнирах. Действительно, рассматриваемое средство в некоторой степени **дублирует** уже рассмотренные возможности системы. Но с помощью инструмента *Передача нагрузки* вы сможете “одним движением”, сразу рассчитать все реакции сил и моментов, возникающие в соединениях указанного тела. Поэтому рассмотрим и эту возможность.
- Очевидно, что реакции сил в нашем шарнире будут возникать в направлении осей X и Z (рис.10). В направлении оси Z реакции сил должны быть большими, потому что именно в этом направлении действует и сила веса маховика. В направлении оси Y реакции силы вообще не должно быть.
- Кроме реакций сил, шарнир будет испытывать и реактивные моменты вокруг осей X и Z. Вокруг оси Y реактивный момент должен быть равен нолю.
- ЗАМЕЧАНИЕ:** до сих пор мы не уточняли – к какой именно точке шарнира будут приложены реакции сил, и относительно каких осей будут рассчитаны реактивные моменты. В реальности эти силы

и моменты распределены по всей поверхности шарнира, но мы-то осуществляем **приближенный анализ с сосредоточенными параметрами**, поэтому в нашем анализе важны конкретные точки.

Вот здесь и уместно вспомнить, что когда мы формировали вращательный шарнир (рис.11), то указывали:

- Между какими телами этот шарнир имеет место (поле *Выберите звено*).
- Как направлена ось его вращения (поле *Тип ориентации*).
- Где располагается начало локальной системы координат (ЛСК) связи (поле *Задать привязку*)!

Вот именно **Точка привязки** и будет той точкой, к которой будут приложены реакции сил. И именно через эту точку будут проходить оси, относительно которых будут рассчитаны реактивные моменты.

- Все эти рассуждения должны быть подтверждены численными расчетами.
- Расчет реакций сил и моментов обычно выполняют уже после того, как хотя бы единожды вы посмотрели анимацию всего механизма. При этом до сих пор число шагов вы выбирали только исходя из соображений плавности анимации. Поскольку сейчас мы станем повторно рассчитывать многочисленные реакции и фиксировать их в Excel таблицах и на графиках, следует очень настоятельная рекомендация: ЧИСЛО ШАГОВ НЕ ДОЛЖНО ПРЕВЫШАТЬ 10 – 50 (рис.12). Иначе время расчета и формирования таблицы Excel неоправданно затянется.

Собственно расчет реакций сил и моментов

- Данное средство можно активизировать из панели инструментов *Перемещение* (рис.13, по крайней справа пиктограмме). В ответ система предложит разные возможности (рис.14), но мы выберем опцию *Передача нагрузки*.

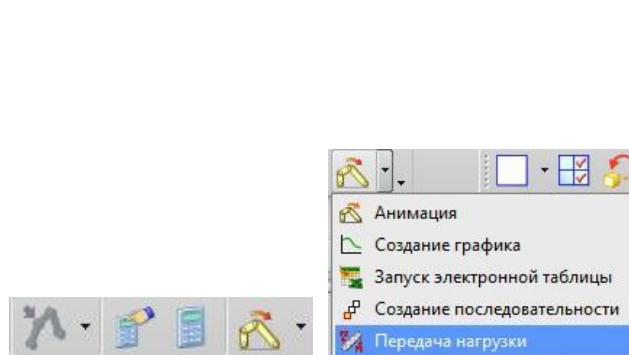


Рис.13

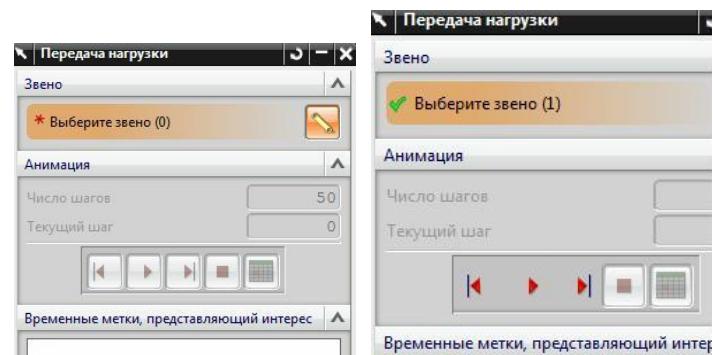


рис.14

рис.15

рис.16

- Тут же появится диалоговое окно рис.15. Первое, что нужно указать в поле *Выберите звено* – это указать ту деталь, реакции сил в которой нас интересуют. При этом достаточно указать только одну её грань. В нашем примере мы укажем какую-нибудь грань красного маятника.
- Сразу после такого указания в диалоговом окне активизируются красные стрелки (рис.16), а в рабочем поле указанная деталь подсвечивается.
- После этого нажимаем на **срединную** красную стрелку *Вправо* в окне рис.16.
- Начинается не быстрый процесс повторного расчета и анимации, во время которого синхронно в Excel формируется таблица с результатами в виде многих столбиков (рис.17).
- Число колонок в таблице Excel зависит от числа кинематических связей, с которыми связано исследуемое тело. В нашем примере красный маятник связан только одним шарниром J001 (рис.18), поэтому все колонки в таблице Excel будут связаны только с этим шарниром.
- Кстати, если бы к данной детали дополнительно мы бы приложили *внешний момент*, или иное внешнее воздействие, то в таблице Excel появился бы дополнительные соответствующие столбцы.
- В нашем примере с красным маятником первые 4 колонки цифр посвящены реакциям **сил** (**ニュтоны**). Все эти реактивные силы приложены к точке начала ЛСК шарнира.:
 - J001_FX – реакция силы вдоль оси X ;
 - J001_FY – реакция силы вдоль оси Y (как видите, сплошные нули);
 - J001_FZ – реакция силы вдоль оси Z ;

➤ J001_FM – реакция силы **суммарная** (корень квадратный из суммы квадратов).

- Вторые 4 колонки посвящены реактивным **моментам** (Torque, *ньютоны на миллиметр*). Все эти моменты рассчитываются относительно осей ЛСК шарнирного соединения.:

- J001_TX – реактивный момент силы вокруг оси X
- J001 TY – реактивный момент силы вокруг оси Y (как видите, сплошные нули);
- J001_TZ – реактивный момент силы вокруг оси Z
- J001_TM – реактивный момент силы **суммарный**

Рис.17

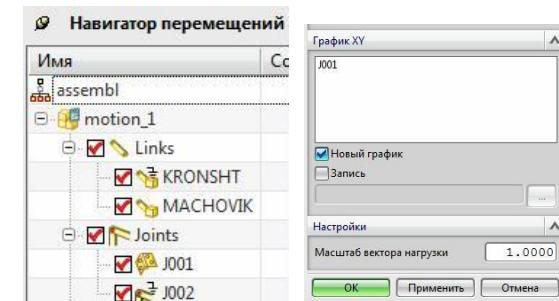


рис.18

рис.19

- Повторим - число строк в таблице Excel соответствует числу *Шагов*, которые мы определили в диалоговом окне *Решение*.
- Только в тот момент, когда таблица с результатами уже построена (после нажатия красной **срединной стрелки** на рис.16), становятся активными кнопки OK и ПРИМЕНИТЬ внизу нашего диалогового окна (рис.19) .
- Кроме этого, в этом же окне, в поле *График XY* система показывает – для каких кинематических связей строятся графики (рис.19). В нашем случае – только для вращательного шарнира *J001*.
- И вот теперь, если мы нажмем на кнопку OK в окне рис.19, то в навигаторе перемещений, в разделе построения графиков будет построено множество графиков (рис.20). И мы можем заказать “отрисовку” любого из них.
- Графиков всегда вдвое больше, чем колонок в таблице! Половина графиков – в абсолютных координатах (abs), а половина в относительных (rel). Поскольку в нашем примере РСК совпадает с абсолютной системой координат, эту вторую половину графиков (rel) лучше удалить, и тогда число графиков и число колонок в таблице рис. 17 будут совпадать (рис.21).
- Кстати, не все графики следует принимать во внимание. Например, вопреки нулевым значениям реакции силы вдоль оси Y на рис.17, график этой силы что-то показывает на рис. 22. Там очевидны какие-то колебания. Но внимательно приглядитесь к численным значениям этих величин (рис.22). Это числа со значениями в степени -10 . Это - флюктуации вокруг нуля!!!

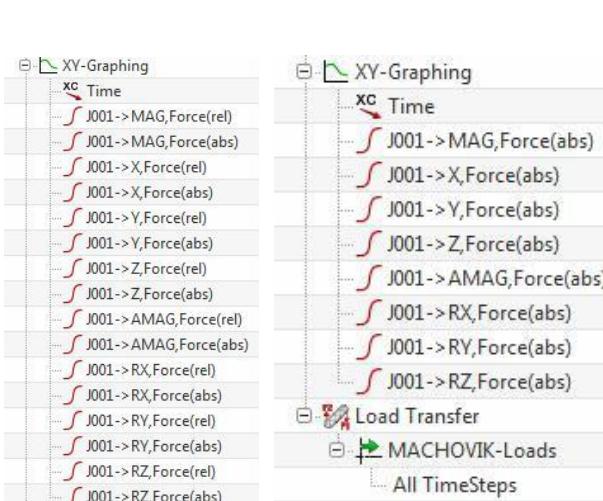


Рис.20

рис.21

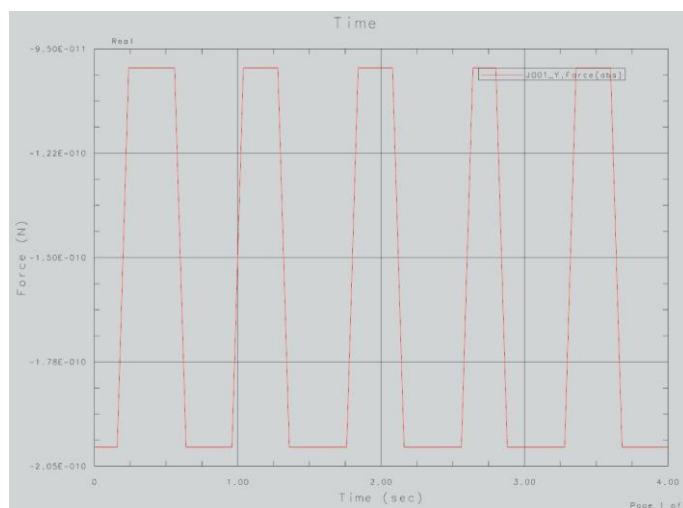


рис.22

- На рис.23 показан график суммарной реакции силы, действующей в шарнире J001. Посмотрите – какие всплески этой силы имеют место во времени! Не обращайте внимания на крутые изломы графиков. Это результат малого числа шагов, в нашем *Решении*. В случае необходимости, вы можете потратить большее время и проверить результаты анализа с большим числом шагов.
- При весе красного маховика менее 3 ньютон, максимальная реакция силы составляет более 6 ньютон. Именно эти динамические нагрузки и являются исходными данными для последующего прочностного расчета нашего шарнира. Но этот расчет выполняется уже методом конечных элементов с учетом **распределенного** характера нагрузок, механических напряжений и пр. И для этого в системе NX есть соответствующее приложение – *Расширенная симуляция* (NX Nastran). Но изучение этого приложения уже выходит за рамки нашего курса.

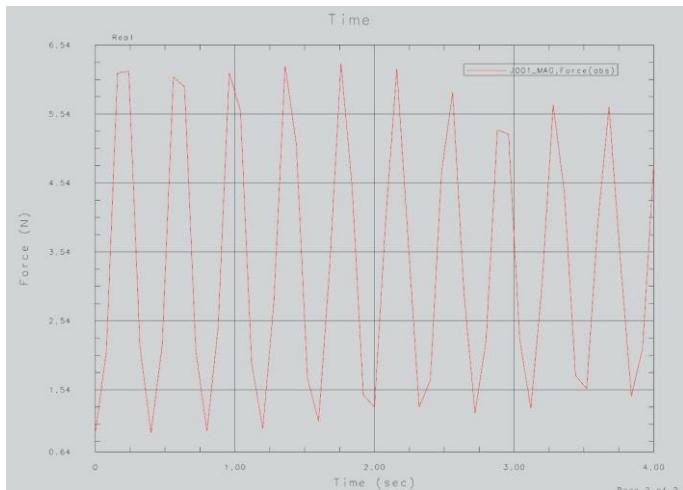


Рис.23

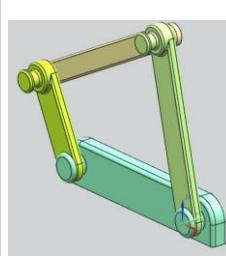


рис.24

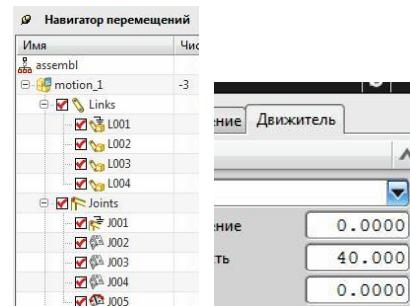


рис.25

рис.26

Заклинивание

- Ещё одна возможность анализа механизмов состоит в проверке – проворачиваются ли они вообще.
- Из директории **Prim_Zaklin** вызовите только четыре готовых детали (с совпадением абс. координат), и сформируйте из них сборку как показано на рис. 24.
- Перейдите в режим *Симуляции кинематических механизмов*. Во всех сочленениях поставим вращательные шарниры.
- Результатирующее состояние *навигатора перемещений* показано на рис.25.
- В шарнир J005 (около него на рис.24 стоит РСК) вставим постоянный движитель(рис.26) .

```
=====
----- RecurDyn Message -----
Error No.1108506 <Simulation> : Solver processing failed. (refer to the *.msg file)
```

Рис.27

- Запустите *Решение*. Рекомендуемые параметры *Решения* показаны на рис.31. И на этапе решения система выдаст сообщение об ошибке (рис.27). Тем не менее, мы запустим анимацию, и выясним, что механизм остановится в положении рис.28.
- Значит, приложение *Симуляция кинематики “ловит”* ситуации типа **заклинивание**, когда выясняется, что механизм не может повернуться.
- А ловит ли это приложение ситуации типа *Пересечение*?

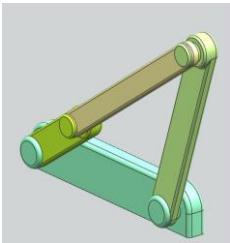


рис.28

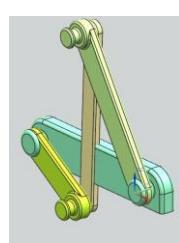


рис.29

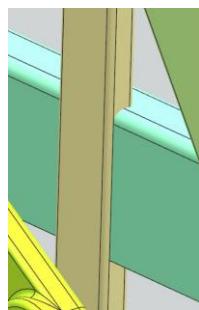


рис.30

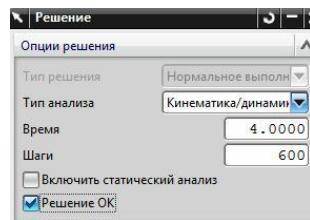


рис.31

- Задав движитель в другом шарнире, вы можете спокойно провернуть механизм. Но, при этом материал одной детали спокойно “залезет” в материал другой детали (рис.29, 30), и ничто нам об этом не просигнализирует! Чтобы как-то застраховать себя от подобных ситуаций нужно предпринять дополнительные усилия, о чём мы расскажем в следующем параграфе.

Пересечения

- Конечно, никто намеренно не создает ситуацию с взаимным пересечением тел. К сожалению, эти ситуации возникают без нашего участия. Наша задача - хотя бы их вовремя отследить.

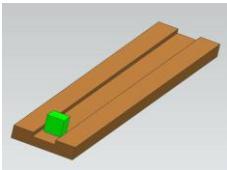


рис.32

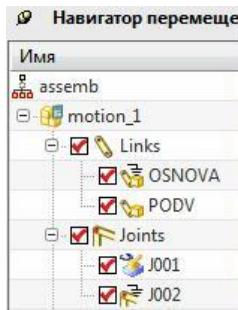


рис.33

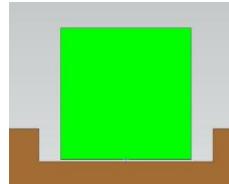


рис.34

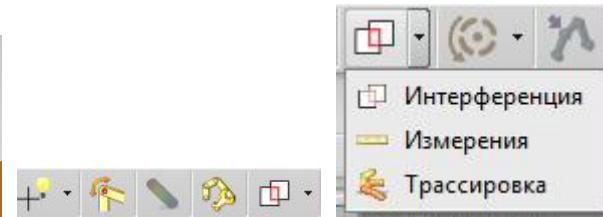


рис.35

рис.36

- Посмотрите на простой пример (рис.32, 33). Зеленое тело движется по направляющим. Между зеленым телом и направляющими существуют небольшие зазоры (рис.34). Тело перемещается под действием скалярной силы. Сила действует точно посередине зеленого тела. И все-таки, во время движения возникает некоторый перекос (вообще-то, мы намеренно сместили силу на доли миллиметра от середины), и как следствие, зеленое тело начинает задевать за коричневые направляющие.
- Вы можете повторить этот пример из учебной директории – **Prim_Inyerferen**. Сразу загрузите из этой директории *статическую сборку*.
- Давайте сделаем так, что как только случится малейшее пересечение тел, система остановит движение и засветит соприкасающиеся тела.

Диалоговое окно “Интерференция”

- Это средство можно вызвать из инструментальной панели *Перемещение* (рис.35, крайняя справа пиктограмма). Вообще-то, это целая группа различных средств (рис.36). Мы начнем с *Интерференции*.

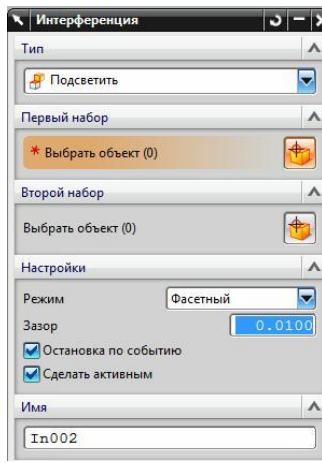


Рис.37

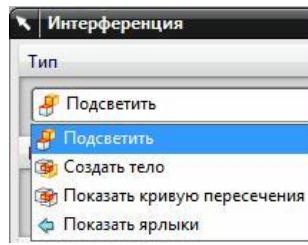


рис.38

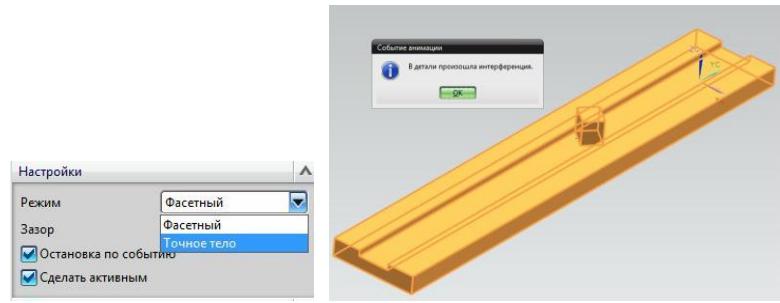


рис.39

рис.40

- Диалоговое окно этого средства показано на рис.37. В поле *Тип* (рис.38) нужно выбрать нашу реакцию на пересечение тел. Выберем средство *Подсветить*. В этом случае, в случае пересечения оба тела будут подсвечены как на рис.40.
- Далее в полях *Первый набор* и *Второй набор* следует указать те детали, которые по нашему мнению должны пересечься.
- В поле *Режим* (рис.39) нужно уточнить – как во время анализа должны представляться тела: упрощенно (*Фасетный*) или точно (*Точное тело*). Естественно, мы предпочитаем точный вариант.

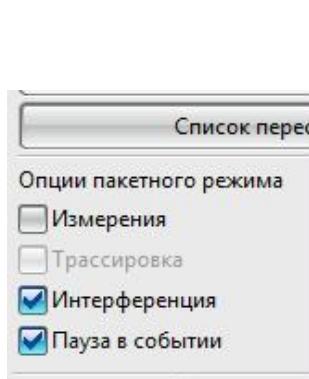


Рис.41

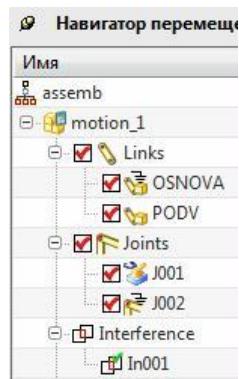


рис.42

- В нижней части диалогового окна нужно включить два переключателя (рис.39). Переключатель **Сделать активным** заставляет систему вообще фиксировать пересечение в данной анимации.
- Переключатель **Остановка по событию** заставит систему остановить анимацию, как только пересечение произойдет.
- И дополнительно в диалоговом окне *Анимация* нужно ещё включить переключатели **Интерференция** и **Пауза в событии** (рис.41).
- И теперь, как только пересечение произойдет, система остановит анимацию (рис.40).
- В навигаторе перемещений встроенная проверка на пересечения отражается с помощью соответствующей строки **Interference** (рис.42).

Измерения

- Казалось бы, зачем ещё дополнительные измерения, если при построении графиков мы уже научились и графики строить, и численные значения измеряемых величин получать в виде таблиц.
- Но большинство этих измерений возможно осуществить только в начале анимации. А это не всегда удобно. Хочется производить измерения длин и углов в динамике, во время самой анимации. Вот для этого и служит данное средство.

- Давайте для краткости, вернемся к предыдущему примеру? И кроме остановки анимации в случае пересечения тел, дополнительно в течении всего анализа будем мерять кратчайшее расстояние между торцом коричневых направляющих и зеленым телом.
- Для этого вызовем диалоговое окно *Измерения* (рис.36, 43).

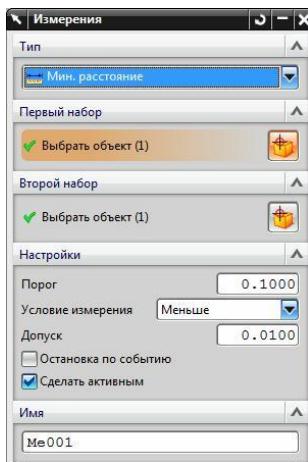


Рис.43

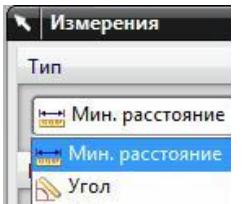


рис.44

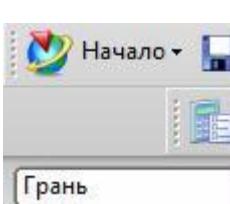


рис.45

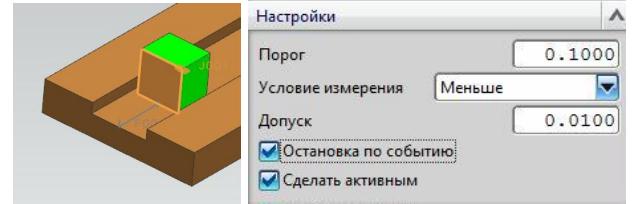


рис.46

рис.47

- В поле *Тип* диалогового окна на рис.43 нужно уточнить – что вы собираетесь измерять: расстояние или угол (рис.44).
- Затем нужно указать **грани** тел, между которыми хочется выполнить измерения (рис.45,46).
- Нужно сказать, что данное средство позволяет остановить анимацию по достижению измеряемой величины некоторого “порогового” значения. Для этого в диалоговом окне рис. 47 присутствуют поля *Порог* и *Условия измерения*. Попробуйте самостоятельно выполнить подобную остановку.

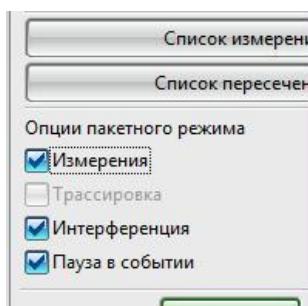


Рис.48

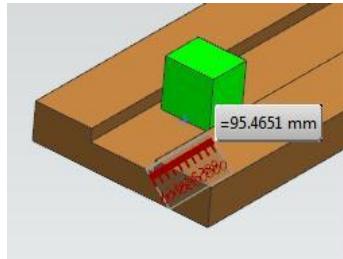


рис.49

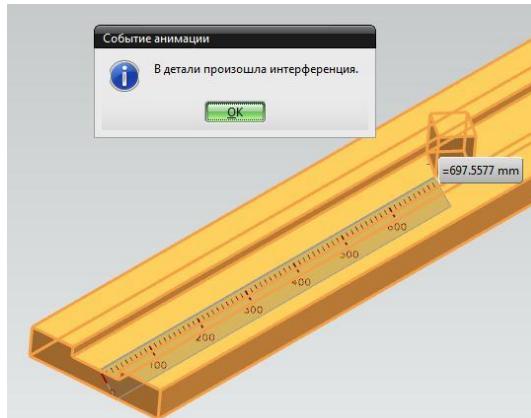


рис.50

- В нижней части диалогового окна *Измерения* следует также включить переключатели **Остановка по событию** (если вы хотите использовать механизм порогового значения) и **Сделать активным** (рис.47).
- И дополнительно в диалоговом окне *Анимация* нужно ещё включить переключатели **Интерференция**, **Пауза в событии**, и **Измерения** (рис.48).
- И тогда, как только анимация начнется, система сразу начнет мерять заказанное расстояние (рис.49). А на момент остановки по пересечению система зафиксирует кратчайшее расстояние, которое зеленое тело прошло без пересечения (рис.63).

Трассировка

- Это средство позволяет определить тот объем, который движущаяся деталь занимает в пространстве. С помощью такого объема можно определить возможные пересечения данного тела с другими деталями сборки. Например, таким образом можно предупредить возможные обрывы многочисленных кабелей и трубопроводов, находящихся рядом с движущимся механизмом..

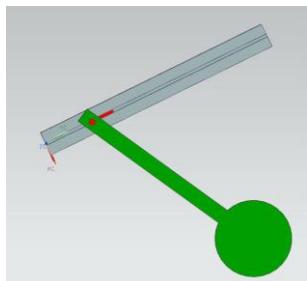


Рис.51

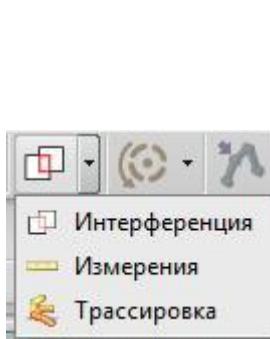


рис.52

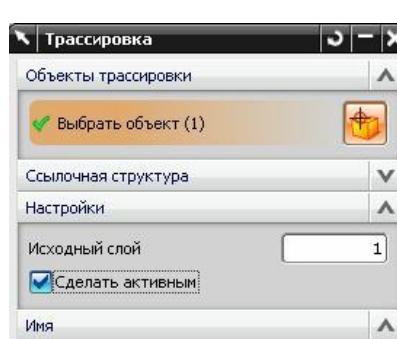


рис.53

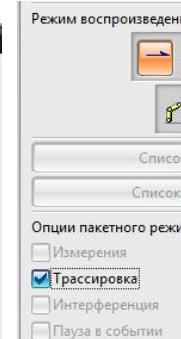


рис.54

- В Решении делайте малое число шагов!** Иначе все считается очень долго. 100 – 150 шагов вполне достаточно.
- Представьте, что в известном примере *Prim_Kulisa* (рис.51) вам захотелось определить занимаемый объем движущегося зеленого маятника.
- Для этого вам понадобится средство *Трассировка* (рис.52). Диалоговое окно этой команды представлено на рис.53.
- В нем в первую очередь нужно указать – какое **тело** подвергается трассировке.
- И обязательно в диалоговом окне рис.53 нужно включить переключатель *Сделать активным*.
- А в окне *Анимация* нужно также включить переключатель *Трассировка* (рис.54).
- Результат трассировки показан на рис. 72,73.

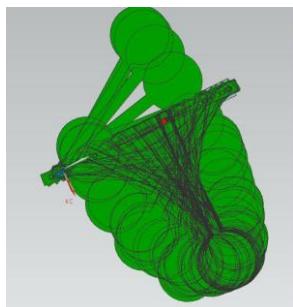


Рис.55

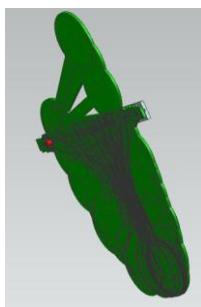


рис.56