



Моделирование динамики автомобилей

Это руководство поможет вам изучить особенности создания моделей автомобилей и моделирования их динамики в программном комплексе «Универсальный механизм»

Начинаем работать в программном комплексе «Универсальный механизм»: модуль моделирования динамики автомобилей

Это руководство поможет вам изучить особенности создания моделей автомобилей и моделирования их динамики в программном комплексе (ПК) «Универсальный механизм».

Предполагается, что вы уже изучили раздел, посвященный введению в моделирование в ПК УМ, который находится в файле **gs_UM.pdf**¹, и умеете выполнять в УМ простые действия: создавать новую модель, добавлять тела и шарниры, синтезировать уравнения движения (**UM Input**) и работать в программе моделирования движения (**UM Simulation**).

В настоящем руководстве мы шаг за шагом рассмотрим моделирование динамики автомобиля ВАЗ 2109.

Предполагается, что Вы изучаете данное руководство последовательно, один параграф за другим. Информация, приведенная в одном примере, далее может быть дана ссылкой на предыдущий пример, изложена в более сжатом виде или вовсе опущена.

¹www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs_um.pdf

Совместимость

Моделирование динамики рассмотренных в данном руководстве моделей возможно только в поставке UM с модулем **UM Automotive**. Для проверки наличия этого модуля запустите программу **UM Input** или **UM Simulation**, выберите пункт меню **Помощь | О программе....** В появившемся окне в разделе Конфигурация вы увидите список доступных модулей.

Ответственность и авторские права

Данное руководство может изменяться время от времени. Авторы не несут никакой ответственности за любые ошибки и несоответствия, которые могут иметь место в данном документе.

ООО «Вычислительная механика». Все права защищены ©, 2023

Все товарные знаки принадлежат их законным владельцам.

Контактная информация

Пробную версию ПК «Универсальный механизм» для трехмесячной опытной эксплуатации и руководство пользователя вы можете скачать со странички по адресу:

www.universalmechanism.com/pages/index.php?id=3.

Сообщения об ошибках в программе и документации, ваши замечания и предложения шлите по адресу: um@universalmechanism.com.

Оглавление

НАЧИНАЕМ РАБОТАТЬ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ»: МОДУЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЕЙ	2
1. МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ 2109	5
1.1. ЗАГРУЗКА МОДЕЛИ	6
1.2. ПОИСК ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ	6
1.3. ПОВОРОТ РУЛЕВОГО КОЛЕСА НА МЕСТЕ	9
1.4. РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ	9
1.5. ОТПУСКАНИЕ РУЛЯ	11
1.6. ОБГОН	13
1.7. РАСЧЕТ ФОРМ И ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ АВТОМОБИЛЯ	15

1. Моделирование автомобиля ВАЗ 2109

Модель автомобиля ВАЗ 2109 находится в каталоге

[{Данные УМ}\SAMPLES\automotive\vaz21_09.](#)

Перед началом урока, проверьте ее наличие в указанном каталоге. Если такой модели нет, то скачайте её из интернета по адресу:

www.universalmechanism.com/download/90/vaz21_09.zip.

В данном уроке мы не будем подробно разбирать этапы создания модели и ограничимся только моделированием ее динамики. Это позволит нам на первых порах не перегружать читателя новыми понятиями и подвести его к созданию собственных моделей автомобилей постепенно.

Благодарности

Модель автомобиля ВАЗ 2109 используется с любезного разрешения проф., д.т.н. А.С. Горобцова, который первоначально создал эту модель в собственном программном комплексе FRUND.

1.1. Загрузка модели

Сейчас мы запустим программу **UM Simulation**, загрузим модель ВАЗ 2109 и проведем с ней ряд динамических тестов.

1. Запустите программу **UM Simulation** (выберите **Пуск | Все программы | Универсальный механизм 9 | UM Simulation**).
2. Загрузите модель ВАЗ 2109 из каталога **{Данные UM}\samples\automotive\vaz21_09**, пункт меню **Файл | Открыть....**

Будет загружена модель автомобиля, общий вид модели представлен на рис. 1.1.

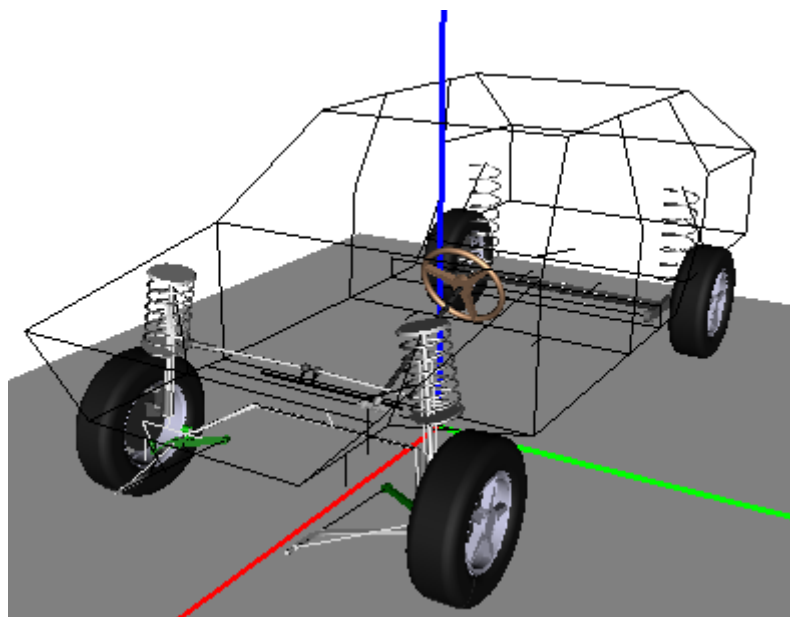


Рис. 1.1. Модель автомобиля ВАЗ 2109

1.2. Поиск положения равновесия

Любое исследование динамики автомобиля мы будем начинать с определения положения равновесия. Дело в том, что модель автомобиля при нулевых координатах, как правило, довольно далека от положения равновесия. И если начинать моделирование движения автомобиля не из положения равновесия, то это приведет к появлению переходного процесса в решении.

Начинать прохождение каждого динамического теста в данном уроке мы будем с загрузки заранее подготовленной конфигурации, включающей анимационные и графические окна, значения параметров модели, параметры численного интегрирования, а также неровности дорожного полотна, модели шин и другие параметры, необходимые для моделирования динамики автомобиля.

1. В меню **Файл | Загрузить конфигурацию** выберите пункт **EquilibriumTest**.

Замечание. Загрузка файла конфигурации фактически загружает следующие одноименные связанные файлы:

- *EquilibriumTest.icf* – анимационные и графические окна;

- *EquilibriumTest.xv* – начальные координаты и скорости;
- *EquilibriumTest.par* – значения идентификаторов;
- *EquilibriumTest.car* – параметры автомобиля.

На экране появилось одно анимационное окно и одно графическое окно. В графическом окне будут строиться четыре переменные – вертикальные усилия на каждом колесе автомобиля в зависимости от времени.

2. Выберите пункт меню **Анализ | Моделирование...** или нажмите клавишу **F9**. Появится **Инспектор моделирования объекта**.
3. В **Инспекторе моделирования объекта** перейдите на вкладку **Начальные условия**. Убедитесь в том, что текущее положение объекта соответствует нулевым координатам.
4. Перейдите на вкладку **Автомобиль | Тесты**. Убедитесь в том, что в качестве текущего теста выбран тест **Равновесие**.

Замечание. Моделирование динамики автомобилей основано на понятии динамических тестов. Пользователю предлагается целый ряд тестов: равновесие, поворот рулевого колеса на месте, управление без обратной связи, тест с пилотом и др. Подробнее о понятии тестов см. [Главу 12](#) руководства пользователя UM «Моделирование динамики автомобилей»




5. В **Инспекторе моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование**. Запустится процесс численного интегрирования уравнений движения, который будет длиться три секунды модельного времени. Дождитесь окончания процесса моделирования.

Замечание. Время моделирования устанавливается в **Инспекторе моделирования объекта** и в **Инспекторе режима паузы** на вкладке **Интегратор | Параметры моделирования** в поле **Время моделирования**.

Анализ вертикальных сил на колесах и поведение модели в анимационном окне показывают, что трех секунд вполне достаточно для того, чтобы модель пришла в положение равновесия.

Далее мы запишем получившиеся в процессе моделирования координаты объекта (фактически координаты объекта в положении равновесия) и обнулим скорости. Таким образом, в итоге мы получим файл начальных условий, соответствующий положению равновесия.

6. По окончании моделирования появится **Инспектор паузы** процесса моделирования. Запишем текущие координаты и скорости модели в файл начальных условий. Для этого нажмите кнопку **Записать**. В появившемся диалоге сохранения файла введите имя **Equilibrium** и кнопку **Сохранить**.
7. Выйдите из режима паузы нажав кнопку **Прервать**. Появится **Инспектор моделирования объекта**.
8. Перейдите на вкладку **Начальные условия**.

9. Нажмите на кнопку  и загрузите файл **Equilibrium.xv**.
10. Обнулите скорости кнопкой , см. рис. 1.2
11. Кнопкой  запишите получившийся набор координат и скоростей в файл **Equilibrium.xv**. Записанный таким образом файл соответствует положению равновесия модели.

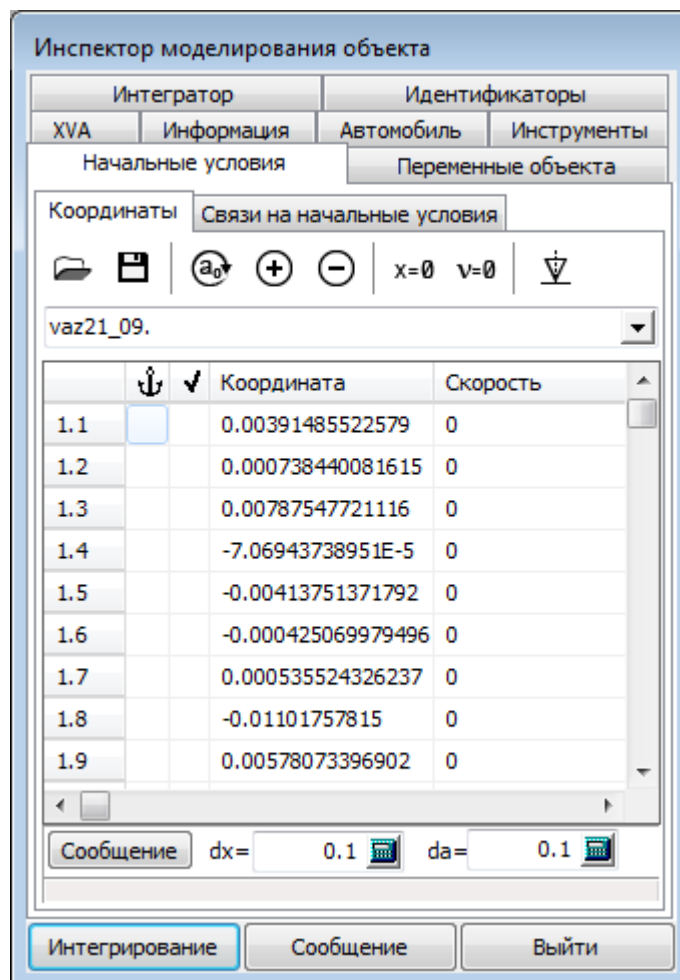


Рис. 1.2. Начальные условия для модели ВАЗ 2109

12. Чтобы текущие начальные условия подгружались вместе с задачей каждый раз, когда Вы ее открываете, выполните следующую операцию. Выберите пункт меню **Инструменты | Настройки...**, перейдите на вкладку **Автосохранение**, включите все флажки и нажмите **ОК**.

Замечание. Непосредственно к сохранению начальных условий имеет отношение только один флажок – **Начальные условия**, однако рекомендуется включить все флажки – это позволит при следующей загрузке любой задачи автоматически загружать все связанные с ней файлы и, соответственно, все изменения, сделанные в модели или ее настройках.

Теперь при загрузке модели ВАЗ 2109 всегда будут загружаться начальные условия, соответствующие положению равновесия, и, таким образом, выполнение остальных тестов будет начинаться именно из положения равновесия автомобиля.

1.3. Поворот рулевого колеса на месте

Выполним тест «Поворот рулевого колеса на месте».

1. Загрузите конфигурацию **SteeringWheelRotation**, пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию...**

Конфигурация включает два графических окна. В первом строится угол поворота колес в зависимости от угла поворота руля. Во втором – передаточное отношение системы рулевого управления в зависимости от угла поворота руля.

2. Запустите процесс моделирования движения (**Анализ | Моделирование..., Интегрирование**).

1.4. Рулевое управление без обратной связи

Рассмотрим пример моделирования динамики автомобиля с управлением рулевым колесом без обратной связи. В качестве примера выполнения данного теста угол поворота рулевого колеса зададим в виде функции, представленной на рис. 1.3. С такой функцией поворота руля автомобиль должен плавно входить в поворот и далее двигаться по окружности.

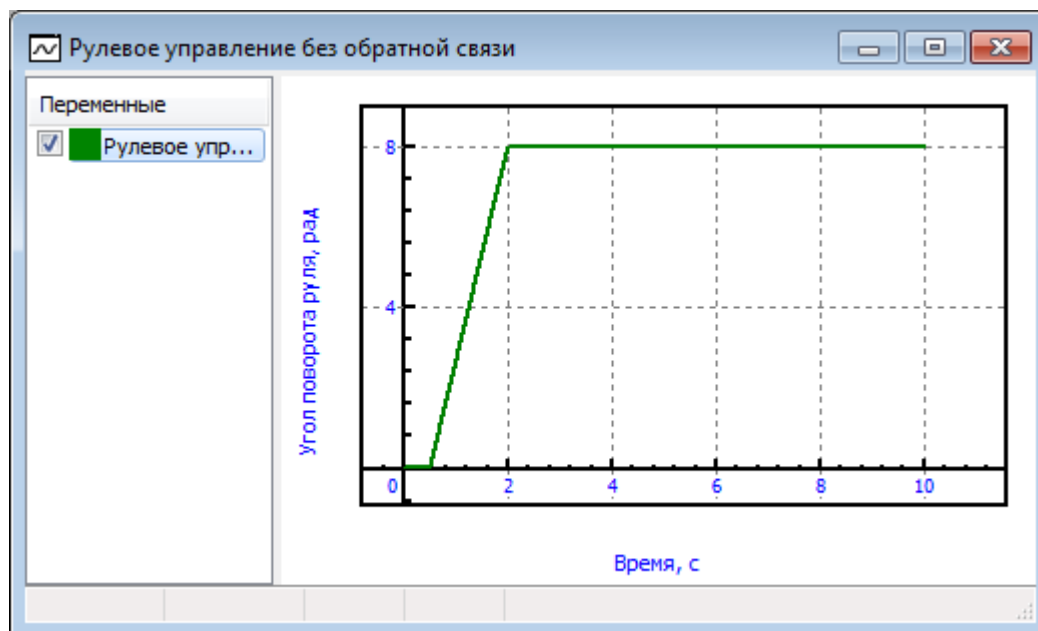


Рис. 1.3. Угол поворота руля как функция времени

1. Загрузите конфигурацию **OpenLoopCircle**, пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию....**
2. Запустите процесс моделирования движения (**Анализ | Моделирование..., Интегрирование**).

В появившемся графическом окне будет строиться траектория движения центра масс автомобиля, см. рис. 1.4.

Замечание. Траекторию движения удобнее наблюдать при равном масштабе по осям в графическом окне. Чтобы включить режим равных масштабов по осям в контекстном меню графического окна выберите пункт **Параметры окна...** В появившемся окне настройки параметров графического окна (см. рис. 1.5) перейдите на вкладку **Оси | Стиль** и включите флажок **Равный масштаб по осям**.

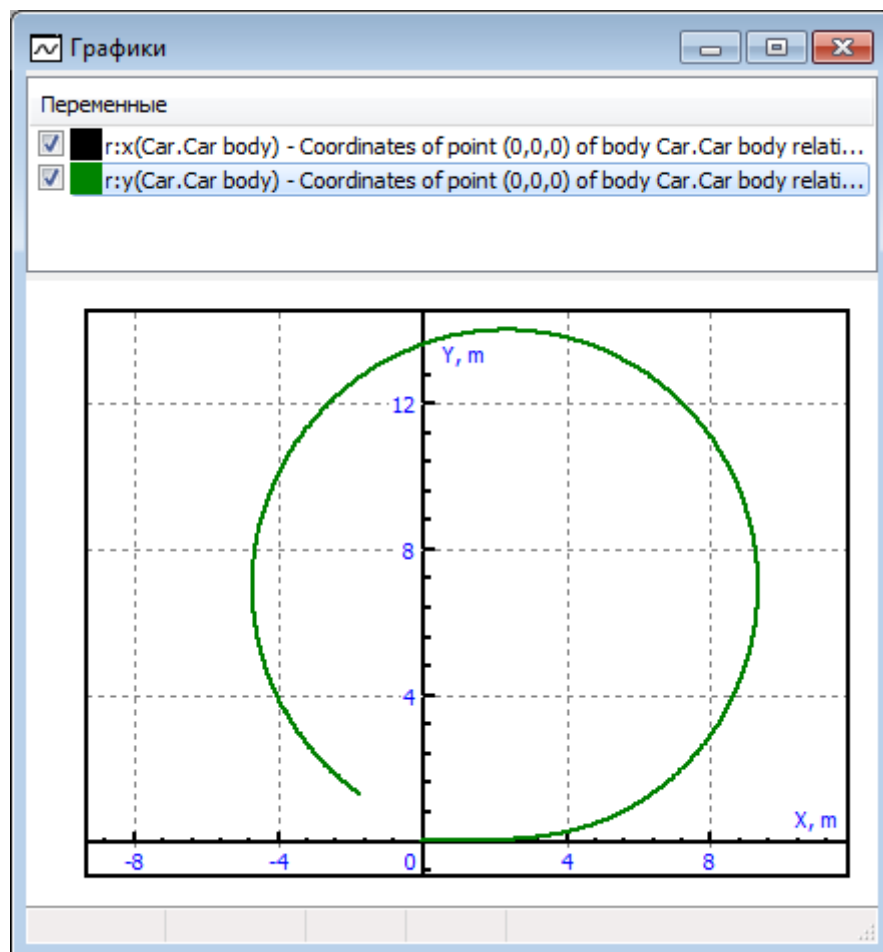


Рис. 1.4. Траектория движения центра масс автомобиля

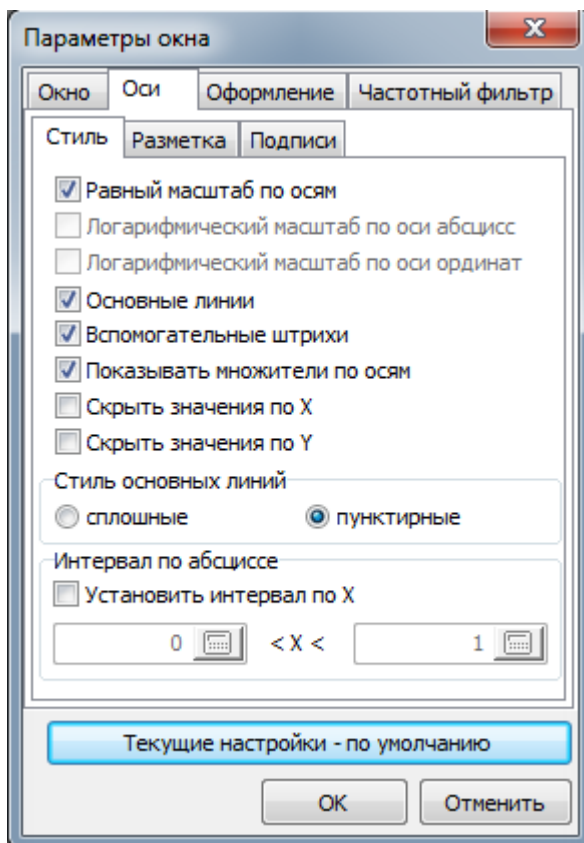


Рис. 1.5. Параметры графического окна

1.5. Отпускание руля

В настоящем примере на базе теста «**Рулевое управление без обратной связи**» рассмотрим пример, когда руль автомобиля сначала поворачивается по функции, представленной на рис. 1.6, а затем предоставляется самому себе.

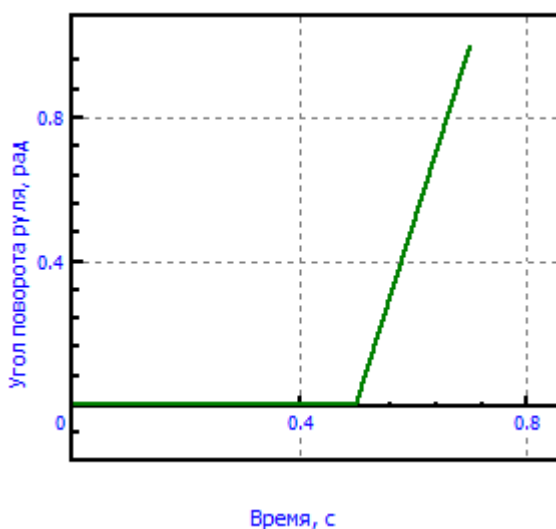



Рис. 1.6. Угол поворота руля

1. Загрузите конфигурацию **WheelTakeOff**, пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию....**
2. Выберите пункт меню **Анализ | Моделирование....** Появится **Инспектор моделирования объекта**.
3. Перейдите на вкладку **Автомобиль | Тесты**.

Обратите внимание, что выбран тест **Управление без обратной связи** (рис. 1.7). Необходимо включить флажок **Финитное управление**, который означает, что по достижении конца графика, заданного в поле **График управления** (рис. 1.6), управление поворотом руля будет отключено и движение автомобиля станет неуправляемым.

4. Нажмите кнопку  в группе **График управления**. В появившемся графическом окне будет построена функция управления рулевым колесом, заданная в файле **wheeltakeoff.ols**.
5. Запустите процесс моделирования движения (**Анализ | Моделирование..., Интегрирование**).

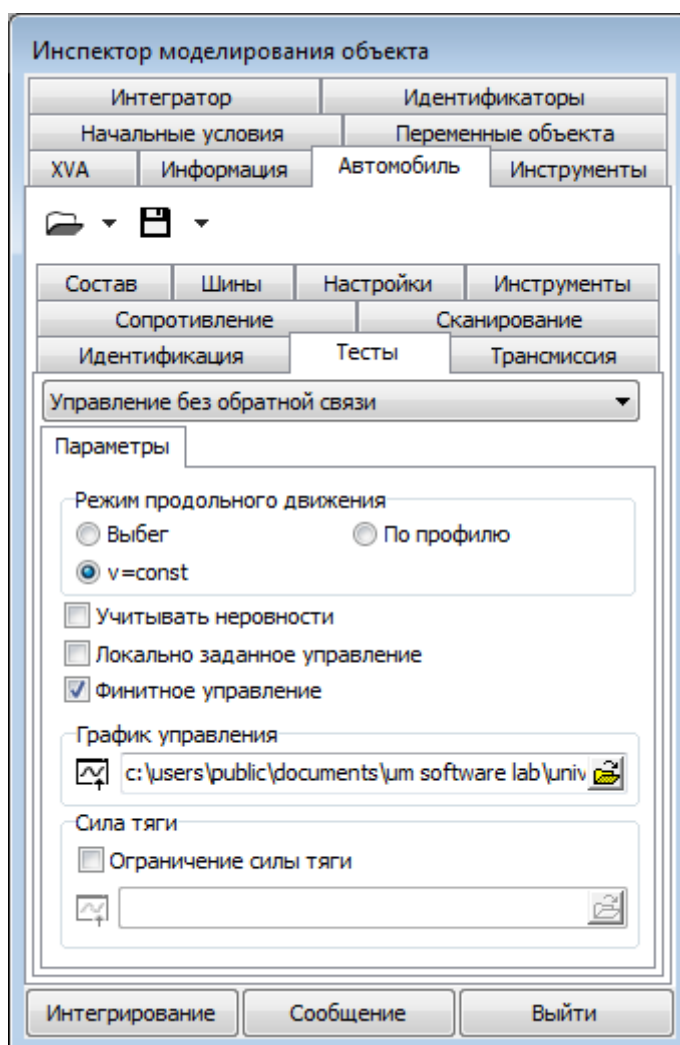


Рис. 1.7. Управление без обратной связи

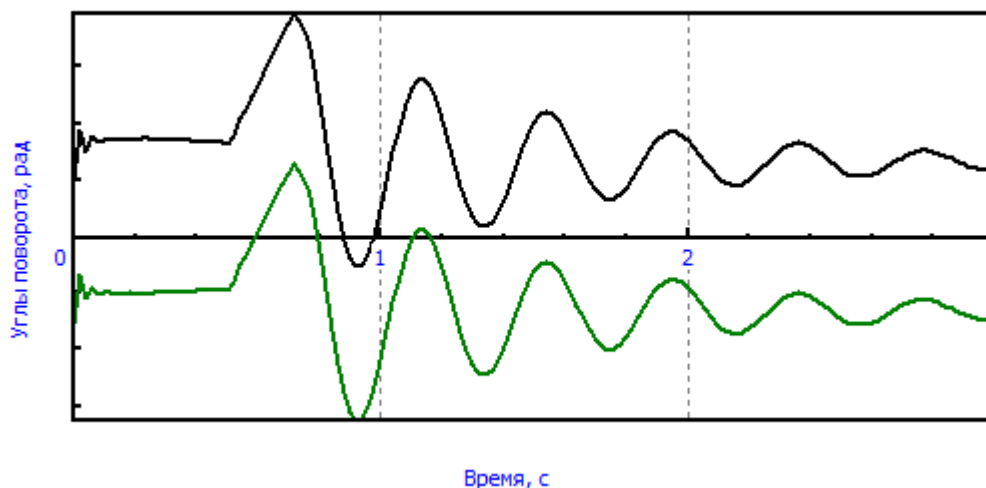


Рис. 1.8. Углы поворота управляемых колес

1.6. Обгон

Рассмотрим движение по заранее заданному пути – «Тест с водителем». В качестве примера рассмотрим совершение обгона.

1. Загрузите конфигурацию **2sManoeuvre**, пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию....**
2. Выберите пункт меню **Анализ | Моделирование...**. Появится **Инспектор моделирования объекта**.
3. Перейдите на вкладку **Автомобиль | Тесты**, см. рис. 1.9.
4. Траектория пути задана в файле **2s.mgf**. Чтобы визуализировать траекторию движения нажмите кнопку . Откроется новое графическое окно, в котором будет построена заданная траектории движения автомобиля.
5. Запустите процесс моделирования движения (**Анализ | Моделирование..., Интегрирование**).

Замечание. В файле макрогеометрии задается *желаемая* траектория движения автомобиля. Для ведения автомобиля по *желаемой* траектории применяется модель водителя, который, управляя автомобилем по некоторому закону, ведет автомобиль более-менее близко к заданной траектории. В любом случае *реальная* траектория движения автомобиля, полученная в результате моделирования, будет отличаться от *желаемой*. По рекомендациям Американского общества автомобильных инженеров отклонение от заданной траектории не должно превышать ± 150 мм. Более строгие рекомендации устанавливают предельное отклонение в ± 30 мм. Влиять на точность следования траектории можно применяя различные модели водителей и меняя параметры этих моделей.

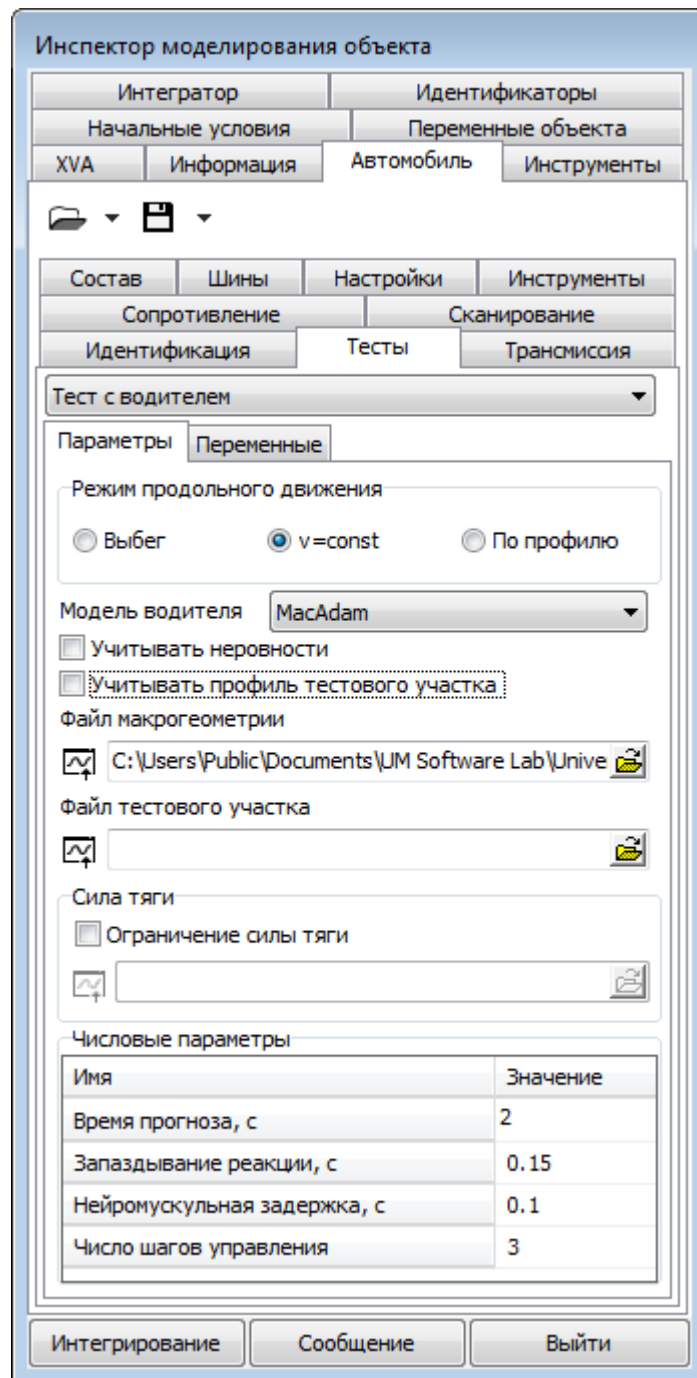


Рис. 1.9. Обгон

1.7. Расчет форм и частот колебаний автомобиля

1. Загрузите конфигурацию **LinearAnalysis**, пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию....**
2. Выберите пункт меню **Анализ | Статический и линейный анализ....** Появится окно линейного анализа, рис. 1.10.

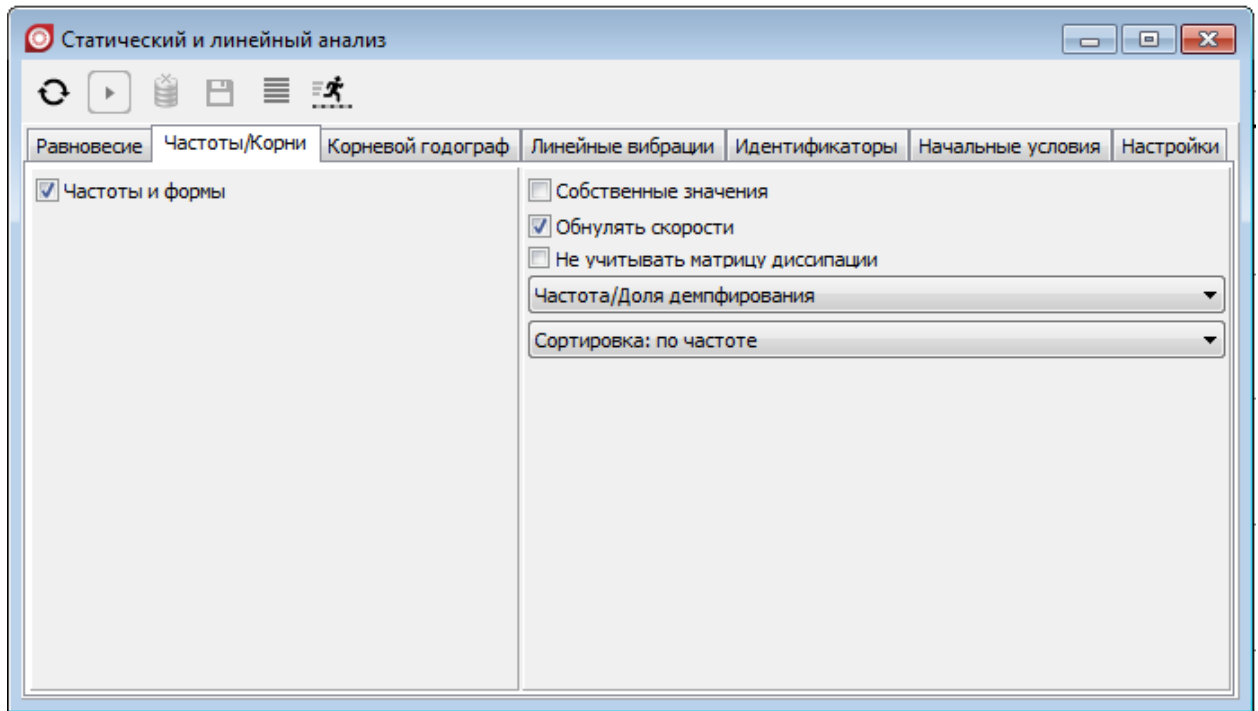


Рис. 1.10. Окно линейного анализа

3. Щелкните на кнопке  для расчета собственных частот модели, рис. 1.11.

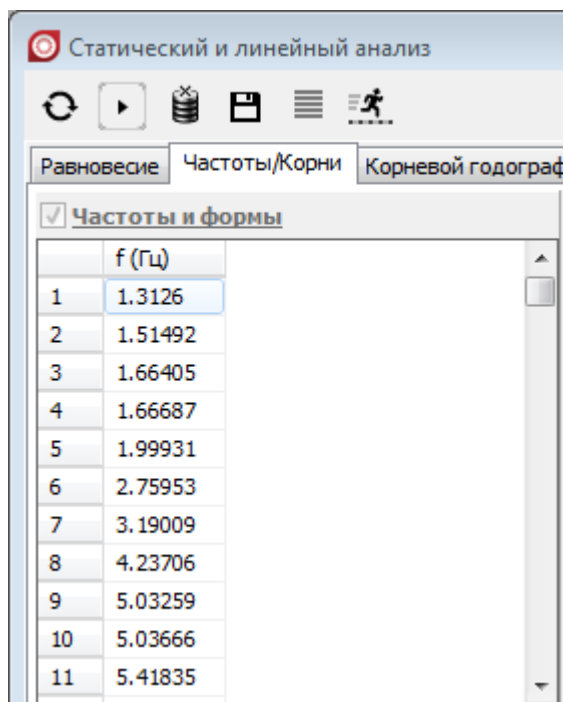




Рис. 1.11. Список собственных частот

- Нажмите кнопку  или дважды щелкните на нужной частоте для отображения собственной формы колебаний в анимационном окне.
- Выделите ключ **Собственные значения** (рис. 1.12) и щелкните на кнопке  для расчета собственных значений (корней характеристического уравнения) модели, рис. 1.13.

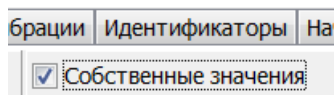


Рис. 1.12. Ключ расчета собственных значений

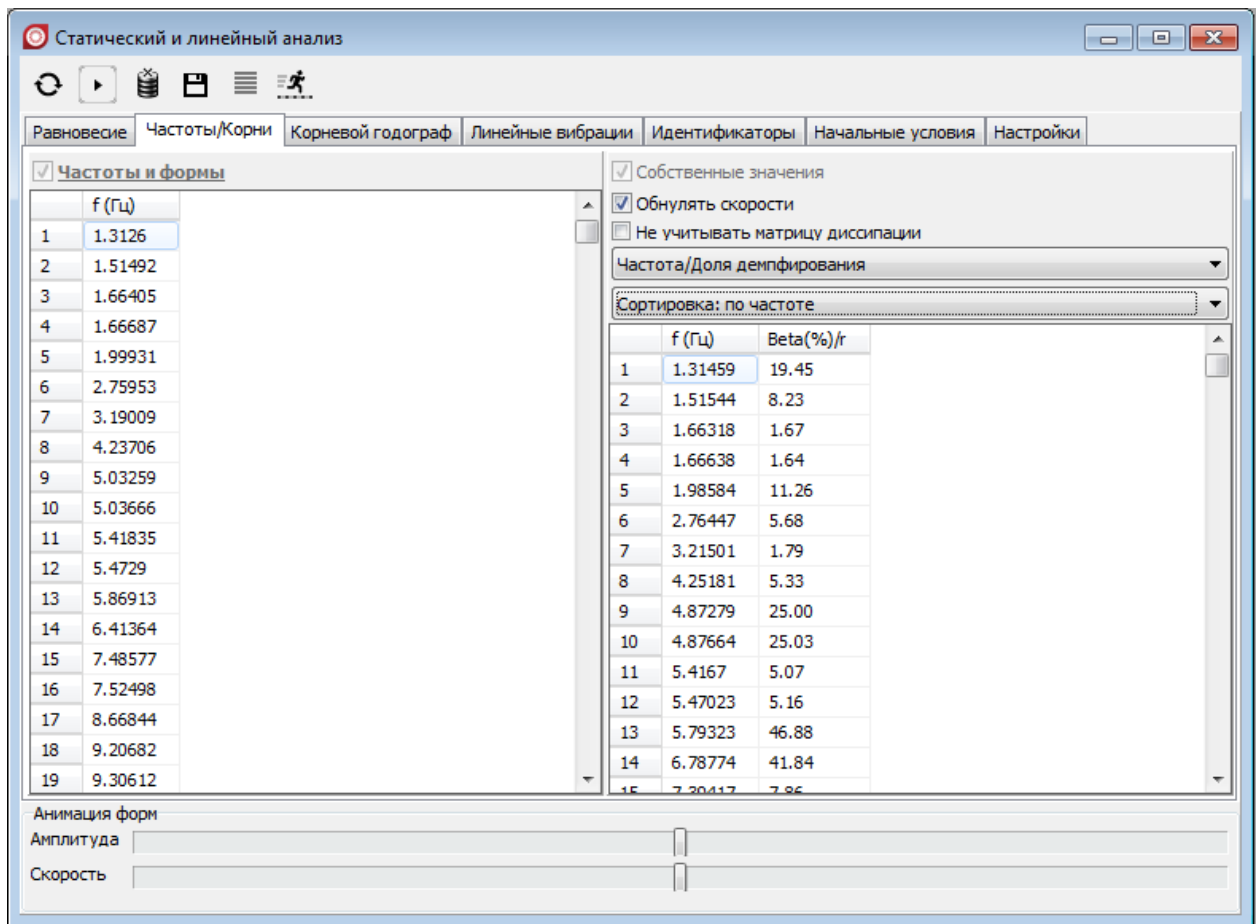


Рис. 1.13. Список собственных частот (слева) и собственных значений (справа)

По умолчанию корни представлены в режиме **Частота/Доля демпфирования**, что позволяет отследить степень задемпфированности каждой формы колебаний.