



Лабораторные работы



Исследование усилий, возникающих в элементах гусеничного двигателя при движении по сильно пересеченной местности

Лабораторная работа №4

Лабораторная работа ориентирована на студентов, обучающихся по специальности "Гусеничные машины", с целью ознакомления с современными подходами к компьютерному моделированию динамики гусеничных машин и проведению виртуальных экспериментов с ними

Подготовка к лабораторной работе

Для выполнения лабораторной работы для отображения фотореалистичной визуализации необходимо установить модуль фотореалистичного окружения **UM Scene**, подробнее о модуле можно почитать в главе 30 руководства пользователя "[Подготовка и использование фотореалистичного окружения с помощью модуля UM Scene](#)".

1. Установите базу стандартных 3D моделей по следующей ссылке: <http://www.universalmechanism.com/download/umscenecollection.exe>. Ссылку на последнюю версию базы стандартных 3D моделей можно найти в разделе "*Универсальный механизм/Загрузки*" на странице <http://www.umlabor.ru/pages/index.php?id=3>.
2. Проверьте, что у вас есть лицензия на модуль **UM Scene**. Для этого запустите программу **UM Simulation**, в главном меню выберите пункт меню **Помощь | О программе** и убедитесь, что напротив модуля **UM Scene** стоит "+", см. рис. 1.

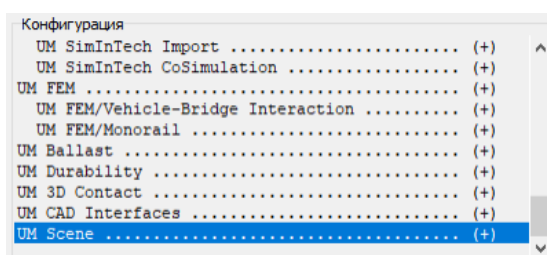


Рис. 1. Модуль UM Scene в конфигурации УМ

3. В **UM Simulation** перейдите на вкладку **Инструменты | Настройки** или нажмите горячую клавишу **F10**. В появившемся окне **Настройки** перейдите на вкладку **Визуализация**, установите галочку **Загружать ресурсы для модуля Scene** и нажмите кнопку **Принять**, см. рис. 2. Для дальнейшей работы программу **UM Simulation** требуется перезапустить.

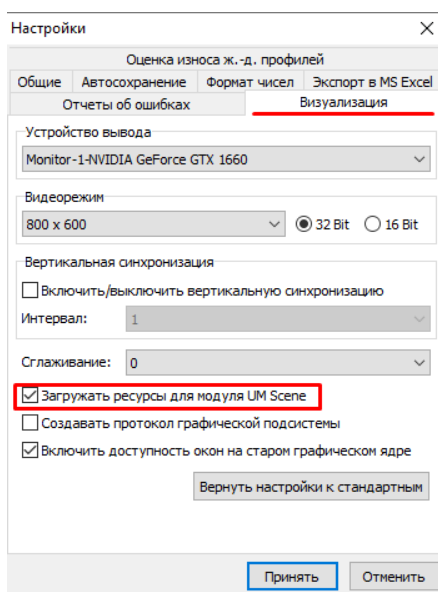


Рис. 2. Настройка визуализации

Оглавление

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	6
3. ДВИЖЕНИЕ ГМ ПО СИЛЬНО ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ.....	8
3.1. ЗАГРУЗКА МОДЕЛИ В UM SIMULATION.....	8
3.2. ДВИЖЕНИЕ ЧЕРЕЗ ДВУХЛЕТНЮЮ ЗАЛЕЖЬ НА МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ.....	11
3.3. НАЕЗД НА ЕДИНИЧНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ	17
3.4. ДВИЖЕНИЕ НА ПОДЪЕМЕ 20° С КРЮКОВОЙ НАГРУЗКОЙ	21

Команда "Универсального механизма" благодарит за помощь старшего преподавателя кафедры НТТС Алтайского государственного технического университета **Корнева Никиту Сергеевича** в разработке методических материалов и динамической модели ДТ-75 и доктора технических наук **Коростелева Сергея Анатольевича**.

Разработчик:

В.А. Сак, инженер

Консультанты:

Н.С. Корнев, старший преподаватель

С.А. Коростелев, д.т.н., доцент

Р.В. Ковалев, к.т.н.

1. Основные теоретические сведения

Основным элементом гусеничной машины (ГМ) является гусеничный движитель (ГД), который определяет основные качества техники. Основным недостатком ГМ является то, что механизм ГД более сложный, чем колесо. К недостаткам ГМ также относятся низкая скорость передвижения, высокая стоимость и большой износ элементов гусеницы. Наряду с колесными машинами ГМ имеют ряд плюсов: повышенная проходимость машины, высокая тяговая способность, маневренность техники и равномерное распределение давления на грунт. Основными требованиями к ГМ являются высокая проходимость, надежность и долговечность.

В этой лабораторной работе проанализируем значения сил, возникающих в элементах гусеничного движителя при различных сценариях движения по пересеченной местности. Компьютерное моделирование динамики гусеничной машины будем выполнять в программном комплексе "Универсальный механизм".

2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа ориентирована на студентов, изучающих динамику гусеничных машин, с целью ознакомления их с современными подходами к компьютерному моделированию и проведению виртуальных экспериментов с ними. Для компьютерного моделирования используется программный комплекс "Универсальный механизм" (ПК УМ). ПК "Универсальный механизм", который состоит из двух частей: программы описания моделей **UM Input** и программы моделирования **UM Simulation**. В программе ввода создаётся динамическая модель, а в программе моделирования производятся расчёты. В этой лабораторной работе не рассматриваются вопросы создания динамической модели и её структура, а используется готовая модель со всеми настройками.

Цель работы: определение динамических нагрузок, возникающих в элементах конструкции гусеничного движителя в ПК УМ при движении по пересеченной местности.

В лабораторной работе будем использовать модель сельскохозяйственного трактора общего назначения ДТ-75. Каталог с моделью трактора в УМ называется *dt75* (рис. 3).

Модель состоит из двух подсистем "гусеница". Все основные характеристики модели параметризованы.

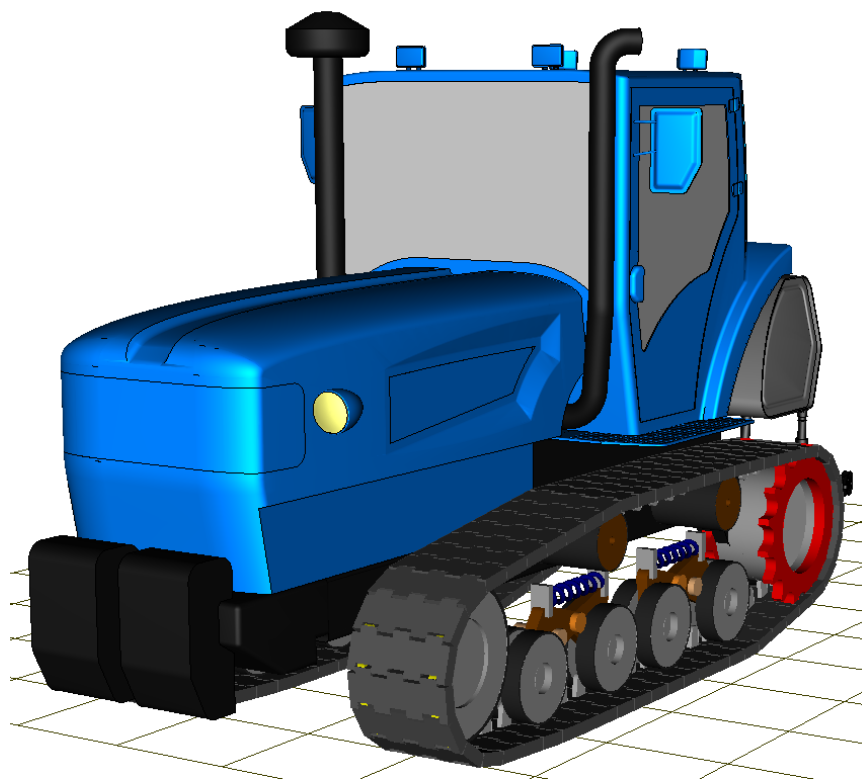


Рис. 3. Общий вид модели гусеничного трактора ДТ-75 в **UM Input**

Расположение файлов гусеничного трактора ДТ-75 зависит от версии установленного на вашем компьютере ПК УМ:

- ПК УМ 2023 (ПК УМ 10), готовую модель можно найти в папке [{Данные УМ}\samples\tracked_vehicles\dt75](#)
- ПК УМ 9, готовую модель можно скачать по адресу

<http://www.universalmechanism.com/download/models/df75.zip>

Для версий ПК УМ, предшествующих девятой, модель недоступна.

Описание лабораторной работы выполнено с использованием ПК УМ версии 9. В ПК УМ последующих версий некоторые элементы интерфейса программы могут отличаться от приведенных в этом документе.

3. Движение ГМ по сильно пересеченной местности

Рассмотрим случаи, когда гусеничный трактор ДТ-75 преодолевает труднопроходимые участки пути и исследуем динамические свойства ходовой части в критических режимах:

- движение через двухлетнюю залежь на максимальной скорости;
- наезд на единичное препятствие;
- движение на подъеме 20° с крюковой нагрузкой.

3.1. Загрузка модели в UM Simulation

Запустите программу моделирования **UM Simulation** и откройте модель *dt75*. Для этого выполните следующие действия:

1. Запустите программу **UM Simulation** с помощью **Пуск | Все программы | Универсальный механизм 9 | UM Simulation**.
2. Выберите пункт меню **Файл | Открыть** или нажмите кнопку **F3** В появившемся окне перейдите в папку с моделью, выберите указанный путь к модели в окне слева, в окне справа появится образ модели, и нажмите кнопку **Принять** (рис. 4). После этого откроется модель трактора ДТ-75.

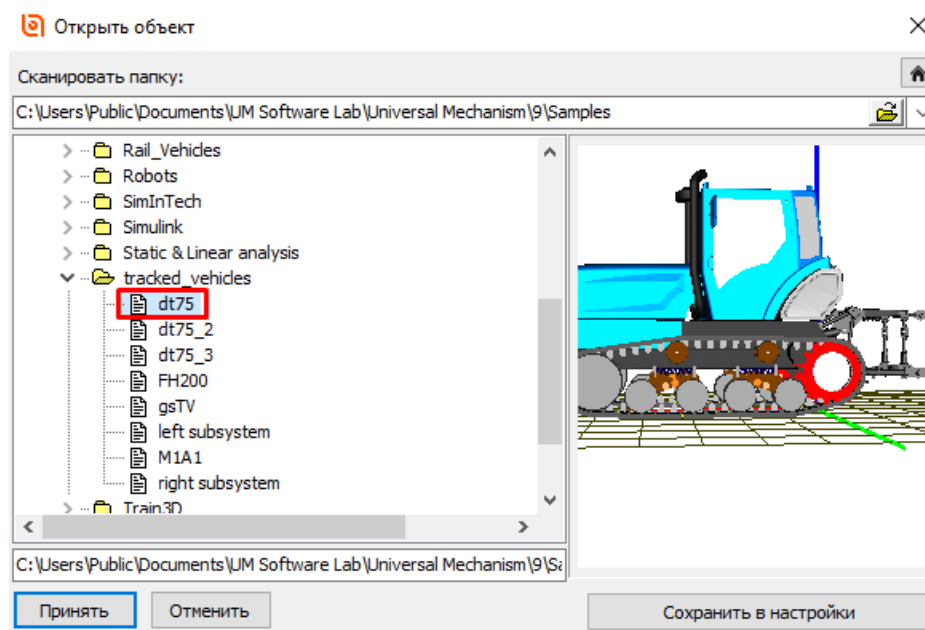


Рис. 4. Открытие модели в программе моделирования **UM Simulation**

Для выполнения расчётов необходимо сделать некоторые предварительные действия: найти положение равновесия ГМ, открыть графические окна, создать переменные и разместить их в графических окнах, настроить параметры отображения векторов нормальных контактных сил. На данном этапе эти шаги опускаются, и загружается заранее подготовленная конфигурация для модели со всеми её настройками. Для этого выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_4.1** (рис. 5).

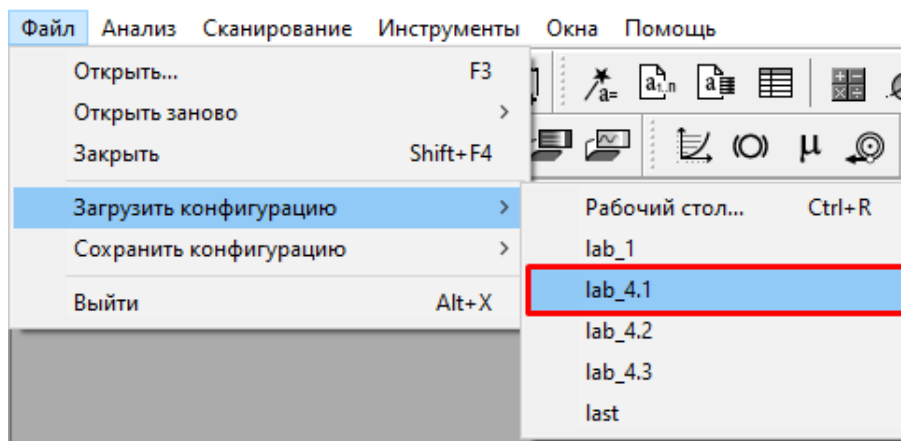


Рис. 5. Загрузка подготовленной конфигурации

На экране появятся три графических и два анимационных окна. В верхнем анимационном окне показаны вектора растягивающих усилий между первым и вторым звеном гусеничной цепи, рис. 6. В нижнем анимационном окне расположен список векторов нормальных сил, возникающих в опорных катках, рис. 7.

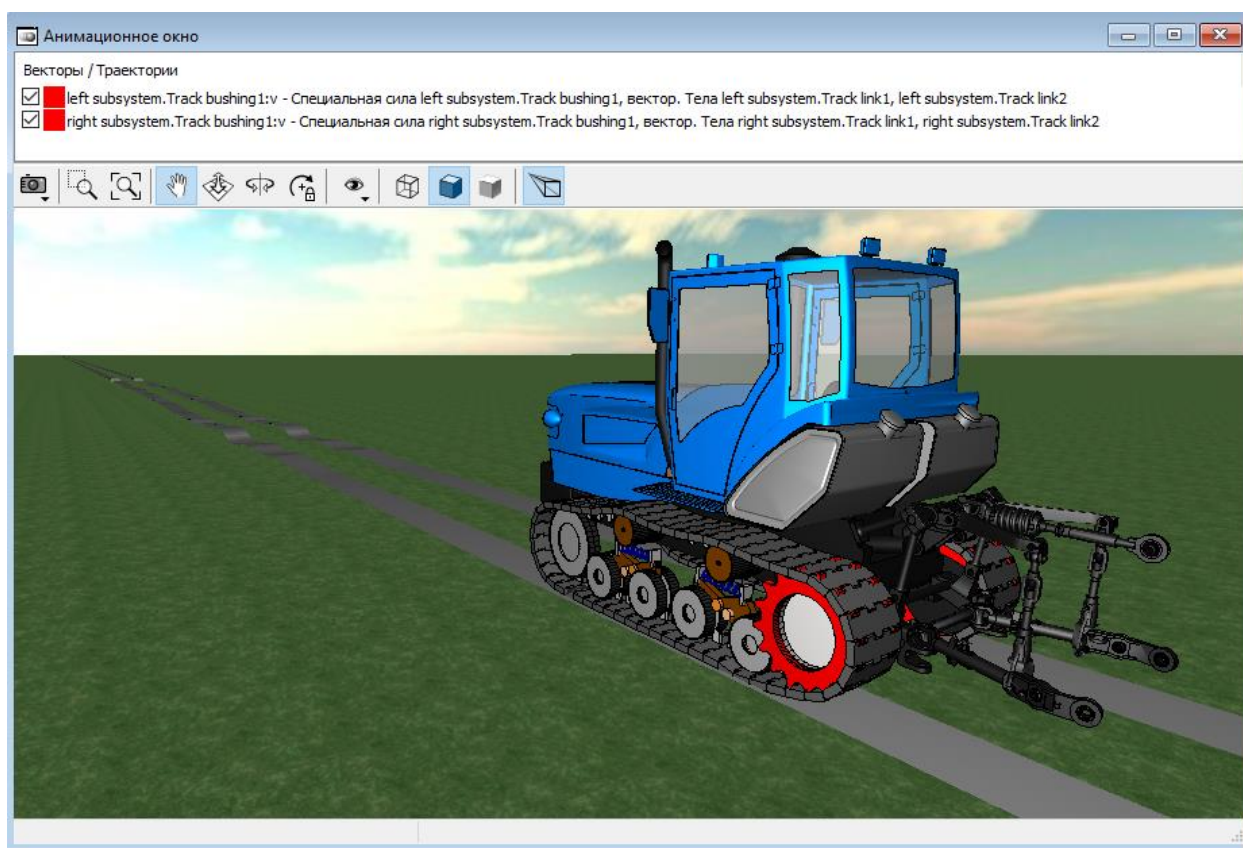


Рис. 6. Первое анимационное окно

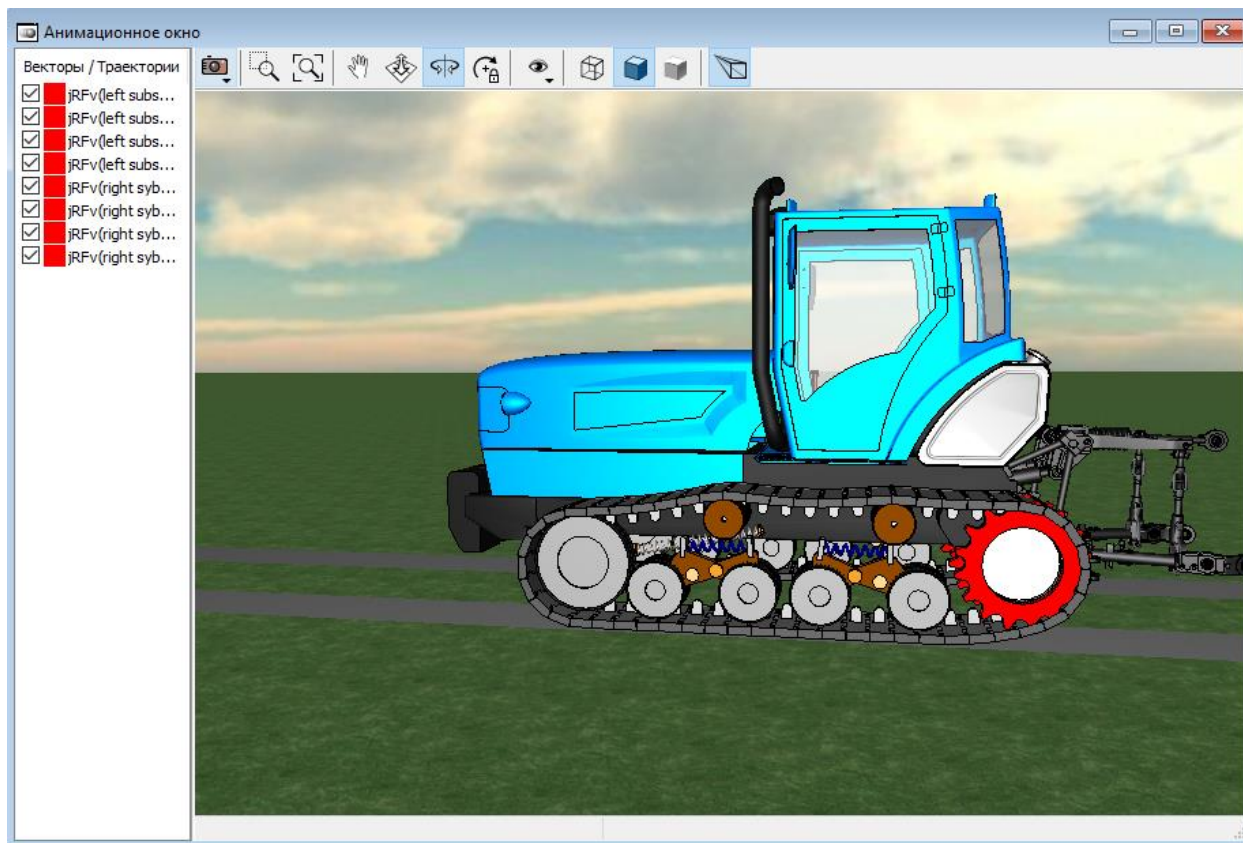


Рис. 7. Второе анимационное окно

В окнах для построения графиков выводятся силы в шарнире между некоторыми двумя смежными траками (в верхнем окне), нормальные реакции в опорных катках (в среднем окне), а также угол поворота кузова относительно поперечной оси (в нижнем окне).

Все графики даны в зависимости от положения на гусеничном обводе траков. Всего обвод ГД содержит 53 трака. Переменные на графиках будут выводиться для первого трака относительно второго трака согласно нумерации на рис. 8.

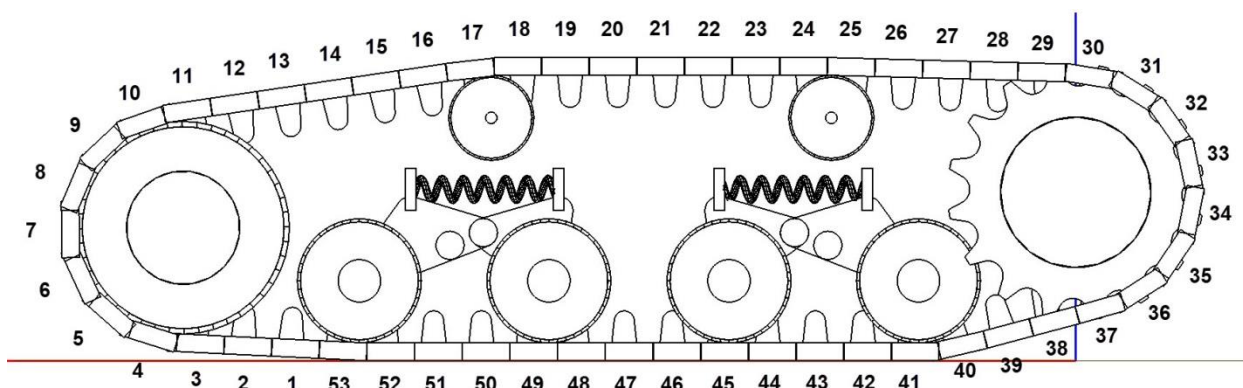


Рис. 8. Положение траков на гусеничном обводе в модели ДТ-75

3.2. Движение через двухлетнюю залежь на максимальной скорости

Рассмотрим движение трактора по залежи с максимальной скоростью **11 км/ч** без крюковой нагрузки. В модели задание скорости трактора задано через угловую скорость звёздочки.

Залежь – участок земли, не использовавшийся как пашня более года. Такой участок земли можно описать при помощи неровностей. Профилограмма почвы двухлетней залежи представлена на рис. 9.

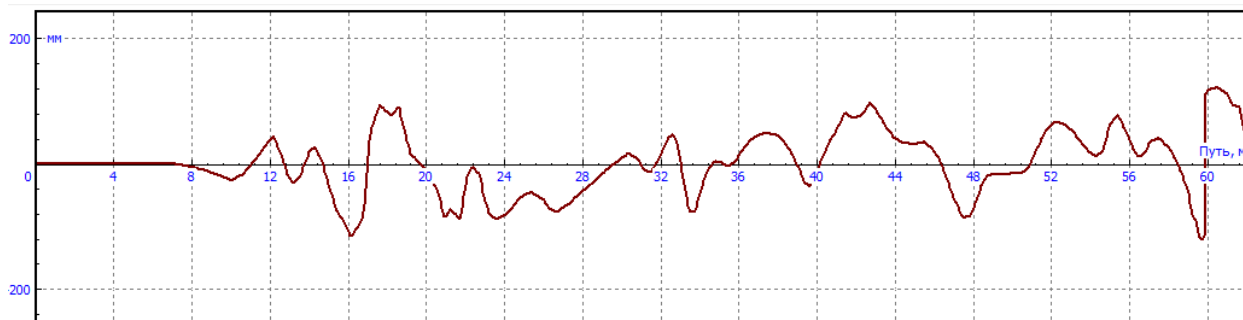



Рис. 9. График неровностей двухлетней залежи

Рассмотрим более подробно задание теста.

1. С помощью пункта меню **Анализ | Моделирование** или кнопки **Моделирование**  откройте окно **Инспектора моделирования объекта**.
2. В окне **Инспектора моделирования объекта** перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов** (рис. 10). Здесь отображаются все параметры модели. Все величины заданы в системе СИ. Например, идентификатором **v0** задана продольная скорость трактора, равная **11 км/ч** (или **3,056 м/с**), см. рис. 10.

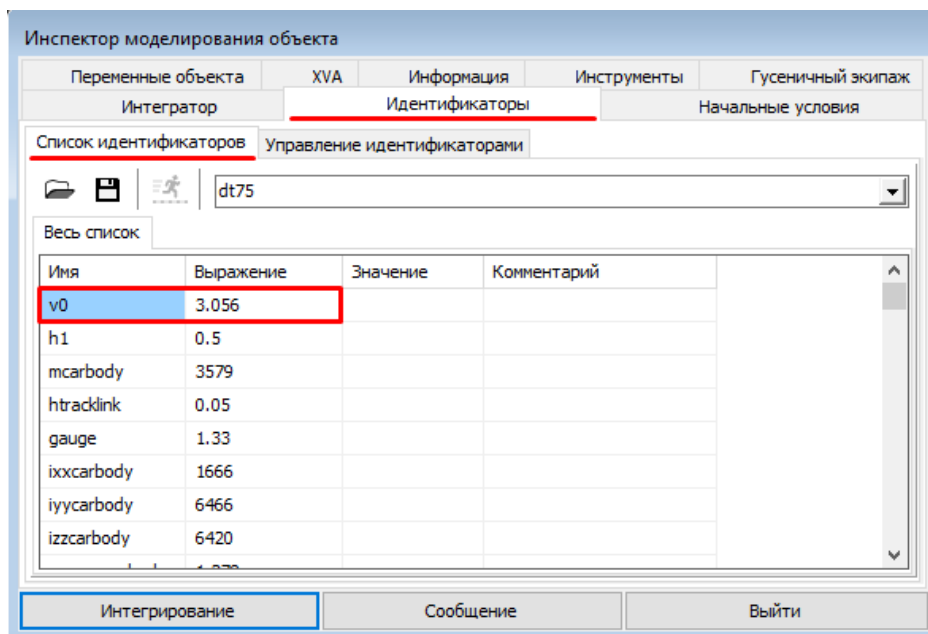


Рис. 10. Параметризация продольной скорости трактора

3. В выпадающем списке выберите **left subsystem** и найдите идентификатор **w**, параметризующий угловую скорость звездочки, рис. 11. Угловая скорость рассчитывается по следующей формуле:

$$w = \frac{v}{R}, \tag{1.1}$$

где v – продольная скорость трактора, м/с;

R – радиус ведущего колеса, равный 0,336 м.

Убедитесь, что значение идентификатора **w** равно 9,095 рад/с, что соответствует продольной скорости трактора в 11 км/ч.

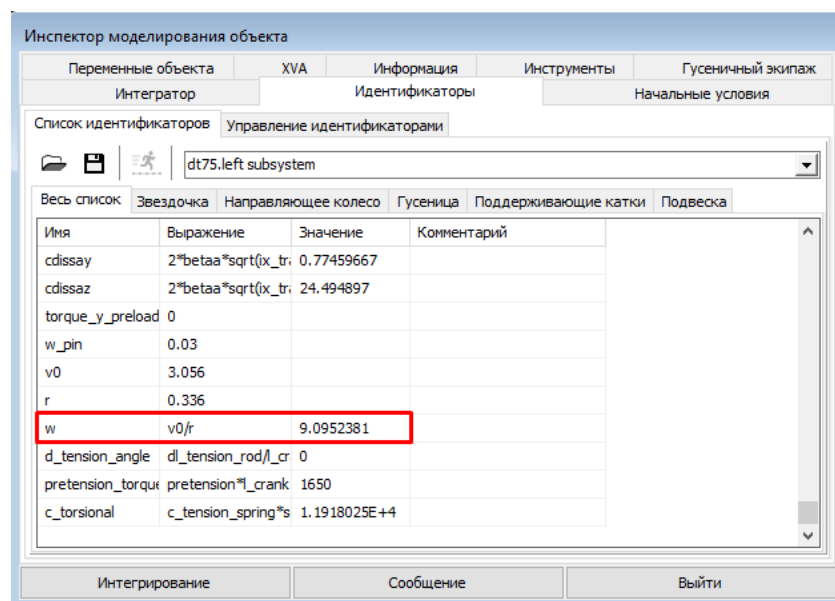



Рис. 11. Параметризация угловой скорости ведущего колеса

4. Рассмотрим задание неровностей для левой и правой гусеницы (рис. 12). Профиль поверхности для каждой из гусениц задается на вкладке **Гусеничный экипаж | Настройки | Неровности** (рис. 13). В поле **Тип задания неровностей** выбрано **Файл*.irr**. Более подробное описание можно найти в [Главе 18](#) в пп.18.3.4.1.2 "Задание неровностей". Для того чтобы отобразить неровности, нажмите кнопку **Показать неровности**  (см. рис. 13).

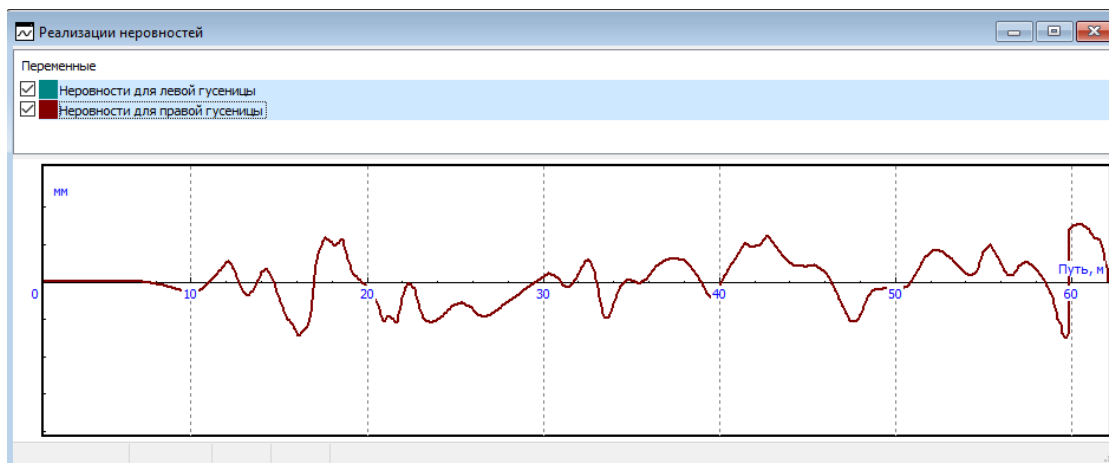


Рис. 12. Отображение неровностей

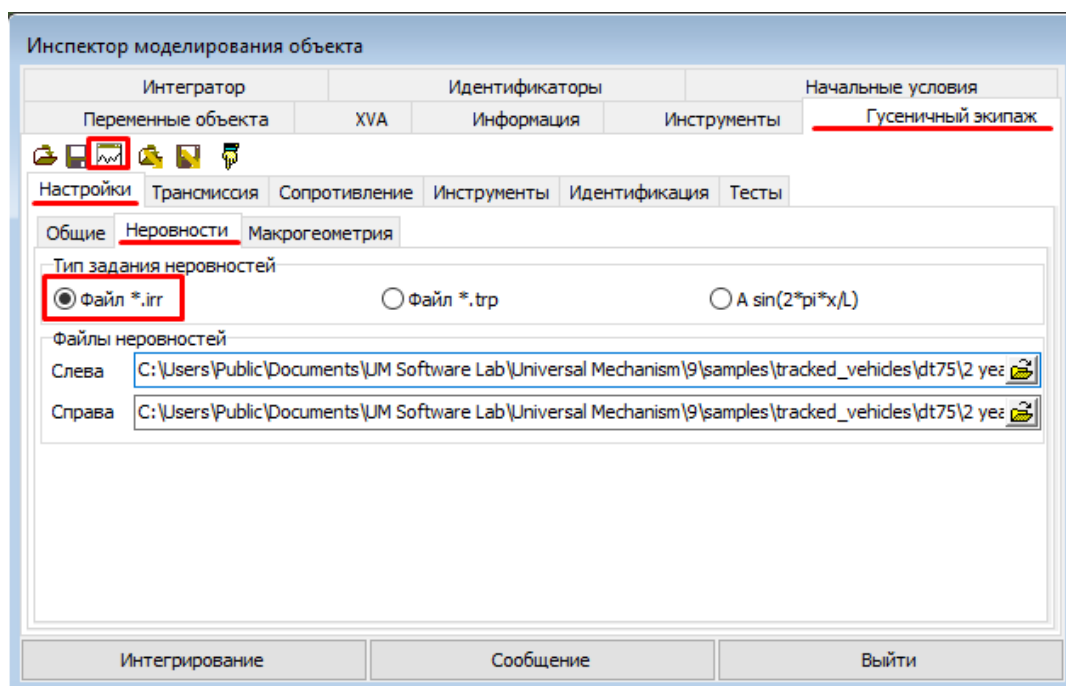


Рис. 13. Задание неровностей

5. Рассмотрим общие параметры и настройки теста. Перейдите на вкладку **Гусеничный экипаж | Тесты | Настройки** (рис. 14). Моделирование динамики ГМ в ПК УМ основано на системе тестов. В нашем случае выбран тест **Движение по прямой**, который позволяет рассчитать динамические показатели с учетом неровностей поверхности,

по которой движется ГМ. Более подробное описание можно найти в [Главе 18](#) в пп.18.3.4.5.6.1 "Тест: движение по прямой".

6. Ключ **Учитывать неровности** включает/выключает неровности (рис. 14).
7. В поле **Тип грунта** выбран тип **С просадкой**, который позволяет выбрать характеристику грунта (рис. 14). Более подробное описание можно найти в [Главе 18](#) в пп.18.3.4.5.6 "Тесты с продольным движением", пп.18.3.1.2 "Взаимодействие звеньев гусеницы с грунтом".
8. В поле **Режим продольного движения** выбрано **Выбег** (рис. 14). Это означает, что начальная продольная скорость кузова трактора задается через стандартный идентификатор v_0 . Со значением начальной скорости v_0 должна быть синхронизирована угловая скорость на ведущем колесе ω . Таким образом, вращение ведущего колеса задано кинематически и реализует бесконечную мощность.

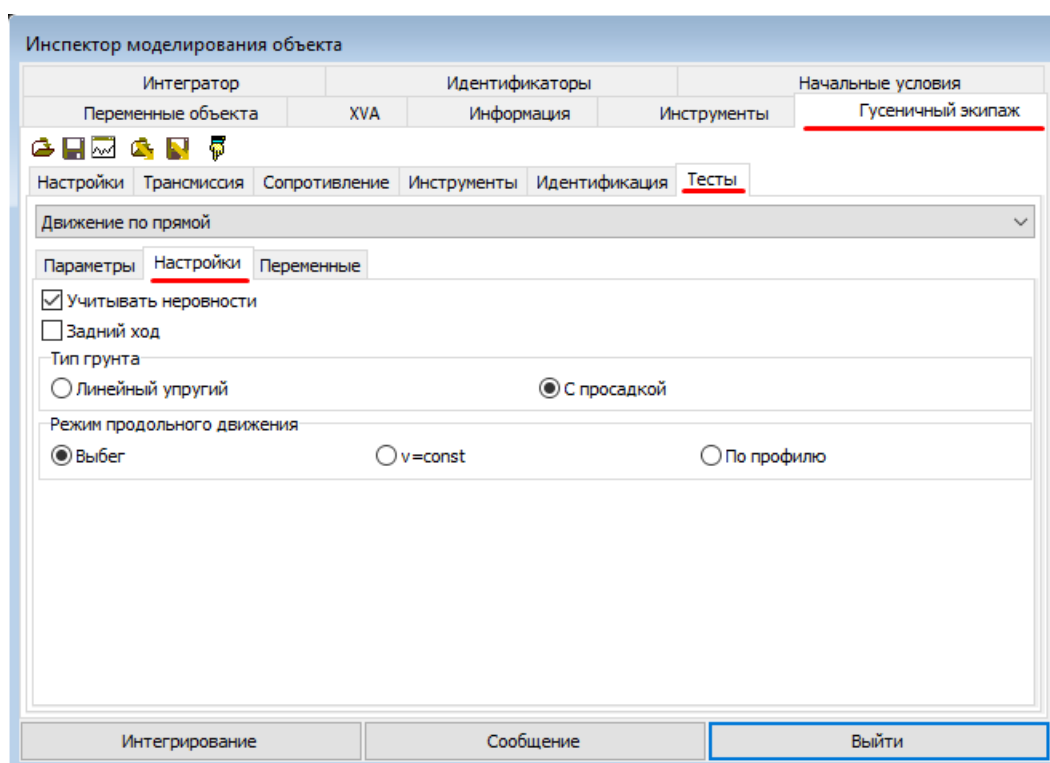


Рис. 14. Общие настройки теста

Перейдем к процессу моделирования. Перед началом моделирования необходимо убедиться, что значение единиц измерения скорости задано в **м/с**. Выберите пункт меню **Инструменты | Настройки** и убедитесь, что в появившемся окне **Настройки** на вкладке **Общие** в поле **Единица измерения скорости** для идентификатора v_0 выбраны **м/с**, см. рис. 15.

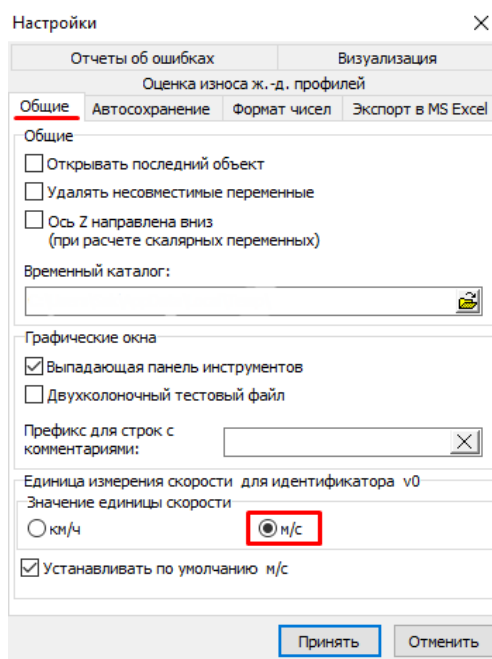


Рис. 15. Окно настроек

Теперь перейдем к процессу моделирования. В окне **Инспектора моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование**, см. рис. 10. После этого начнётся процесс моделирования. В анимационных окнах отобразятся выведенные вектора (рис. 16, рис. 17). Тест настроен так, что за все время моделирования гусеничные движители сделают четыре полных оборота. При первом обороте гусеничных движителей будут присутствовать переходные процессы, которые искажают картину динамических характеристик. Это будет ярко выражено в анимационных окнах при начале моделирования – будут наблюдаться колебания гусениц. Поэтому в графических окнах первый оборот отображаться не будет.

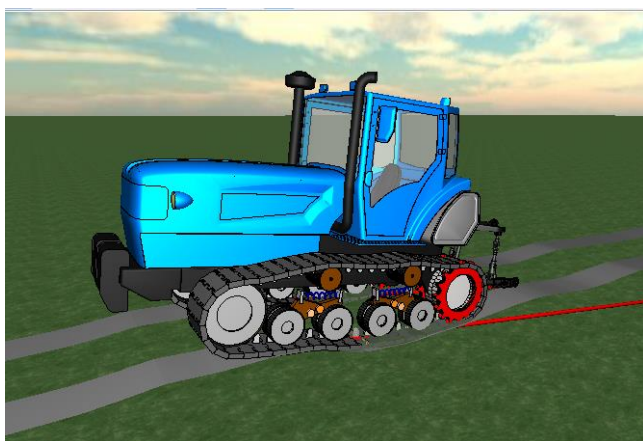


Рис. 16. Динамические нагрузки в шарнире между смежными звеньями при $t=4,91$ с

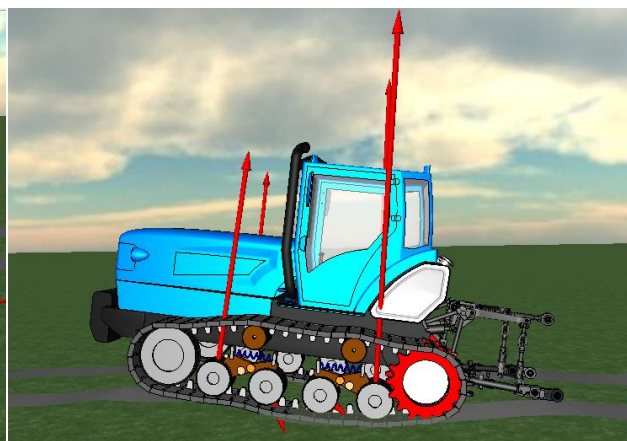


Рис. 17. Нормальные силы в опорных катках при $t=4,91$ с

- После окончания процесса моделирования в появившемся окне **Информация** нажмите **ОК**, рис. 18. Программа перейдёт в режим паузы процесса моделирования.

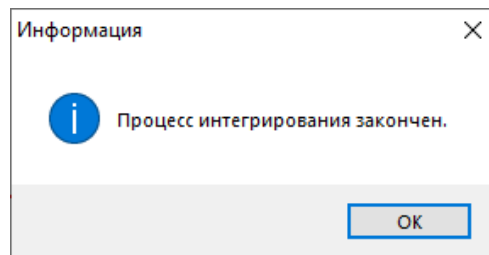


Рис. 18. Окно информации о завершении процесса интегрирования

Результаты моделирования представлены на рис. 19-.

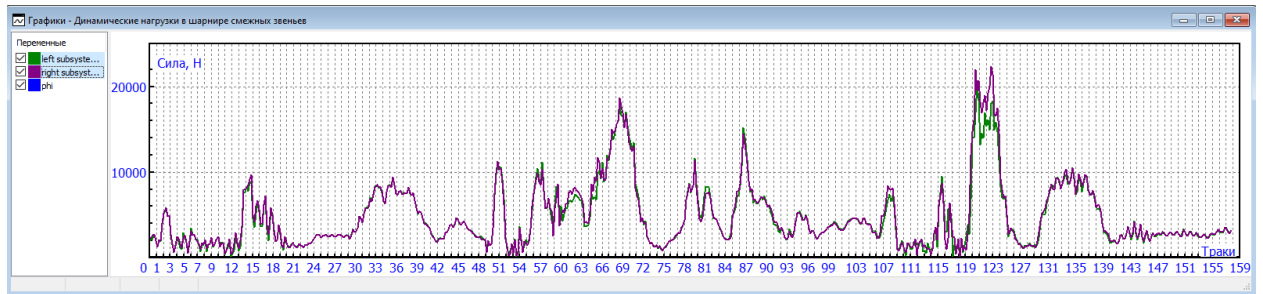


Рис. 19. Графики динамических нагрузок в шарнире между смежными звеньями гусеничной цепи

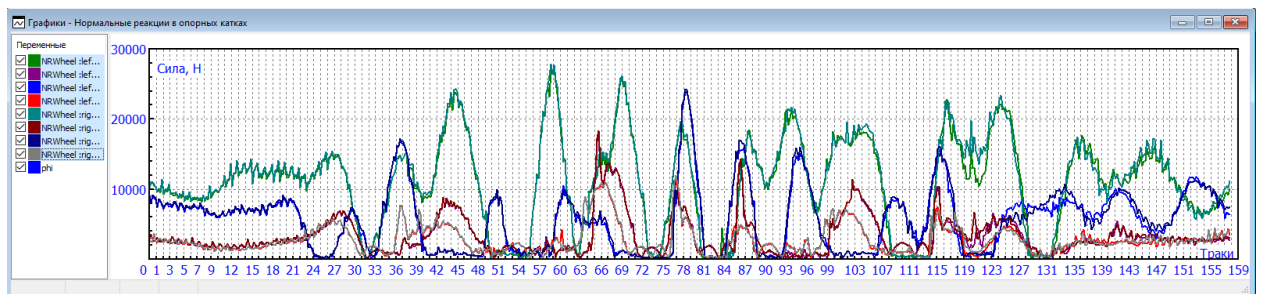


Рис. 20. Графики нормальных сил в опорных катках гусеничных движителей

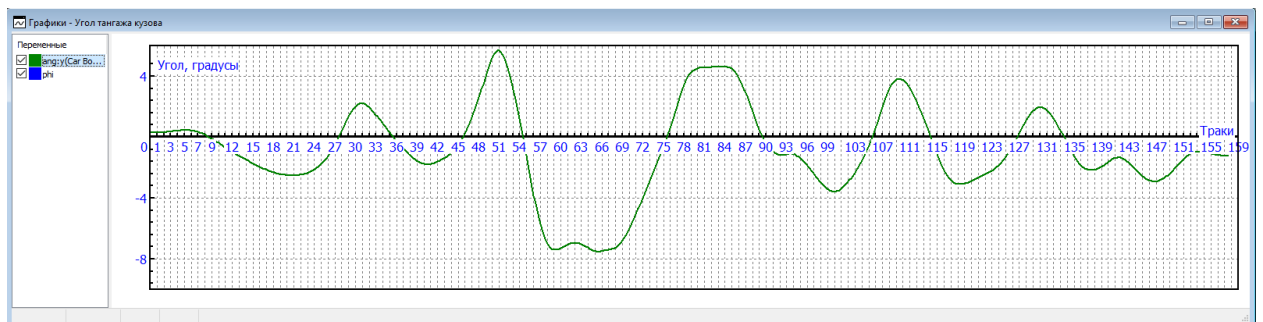


Рис. 21. Угол поворота кузова относительно поперечной оси

3.3. Наезд на единичное препятствие

Рассмотрим случай, когда трактор ДТ-75 едет по прямой и наезжает на дерево диаметром **0,35 м** со скоростью **7 км/ч**.

1. В окне **режима паузы процесса моделирования** нажмите кнопку **Прервать**.
2. Загрузим новую конфигурацию. Выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_4.2**. Загрузилась новая конфигурация с единичной неровностью (рис. 22).

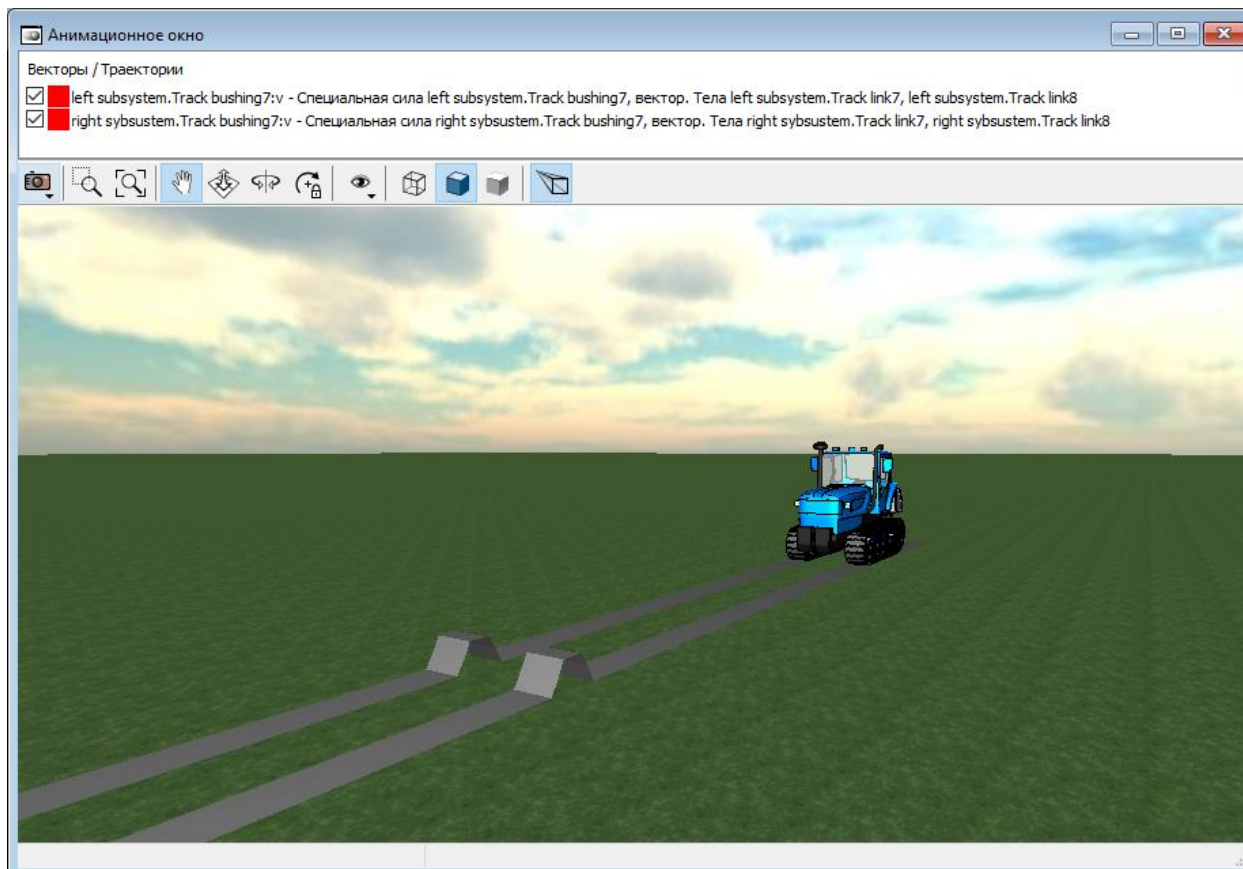



Рис. 22. Отображение единичной неровности в анимационном окне

3. В окне **инспектора моделирования объекта** перейдите на вкладку **Гусеничный экипаж | Настройки | Неровности**. Неровности заданы через текстовый файл **Файл*.trp** (рис. 23) Посмотреть на график неровности можно нажав кнопку **Показать**  (рис. 23, рис. 24). Окно с профилем тестового участка можно закрыть.

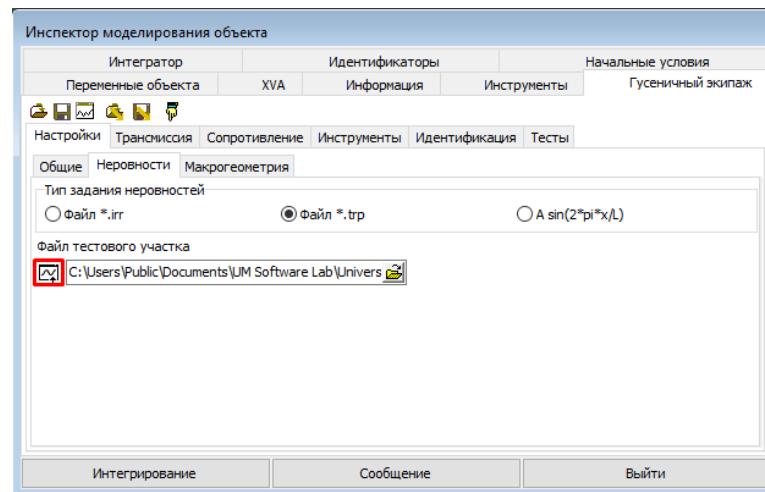


Рис. 23. Настройка неровностей

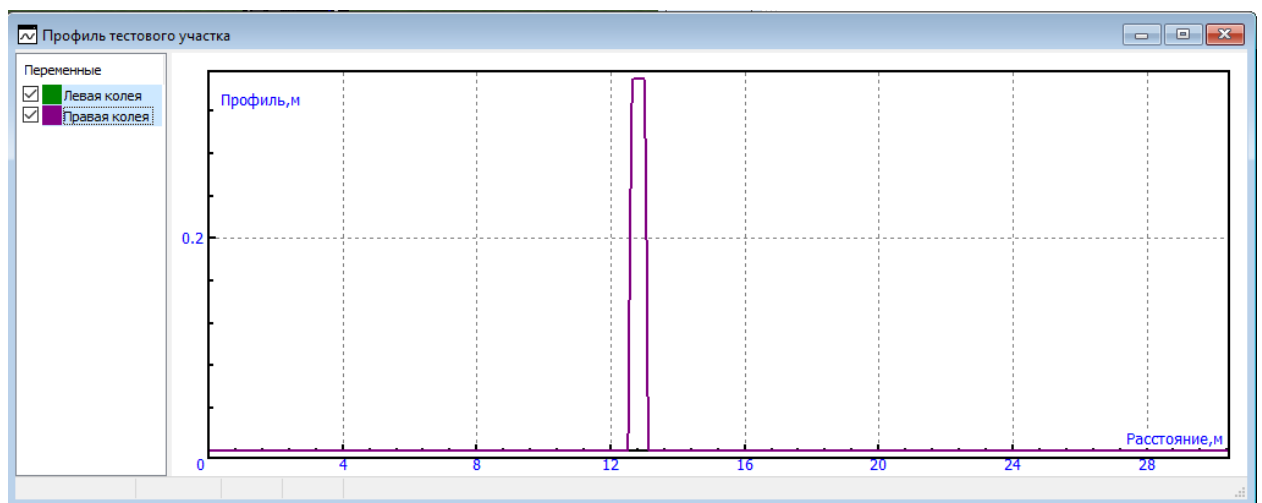


Рис. 24. Графики неровностей для левой и правой гусениц

4. Перейдите на вкладку **Гусеничный экипаж | Тесты | Настройки**. Настройки теста не поменялись.
5. Перейдите на вкладку **Идентификаторы** подсистему **dt75**. Тест настроен для продольной скорости **7 км/ч ($v_0=1,94$ м/с)**.
6. Перейдем к процессу моделирования. В окне **Инспектора моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование**. После этого начнётся процесс моделирования. В анимационных окнах отобразятся выведенные вектора. Тест настроен так, что за все время моделирования гусеничные движители сделают два полных оборота. При первом обороте гусеничных движителей будут присутствовать переходные процессы, которые искажают картину динамических характеристик, поэтому графики в графических окна будут отображаться на втором обороте.

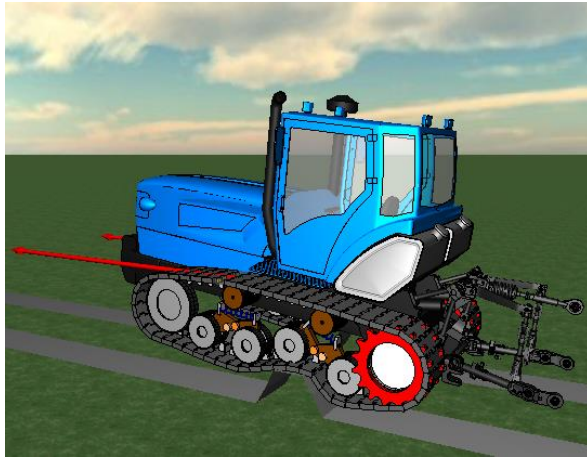


Рис. 25. Динамические нагрузки в шарнире между смежными звеньями при $t=6,15$ с

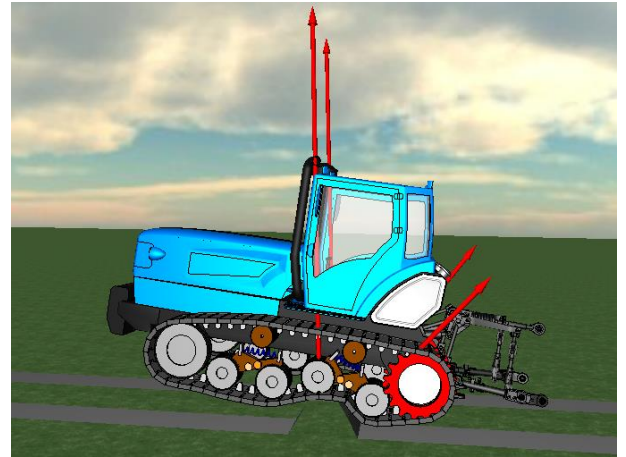


Рис. 26. Нормальные силы в опорных катках при $t=6,15$ с

- После окончания процесса моделирования в появившемся окне **Информация** нажмите **ОК**, рис. 18. Программа перейдет в режим паузы процесса моделирования.

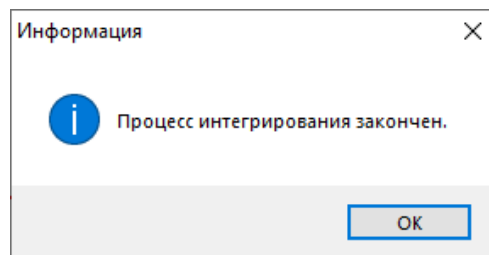


Рис. 27. Окно информации о завершении процесса интегрирования

Результаты моделирования представлены на рис. 28-.

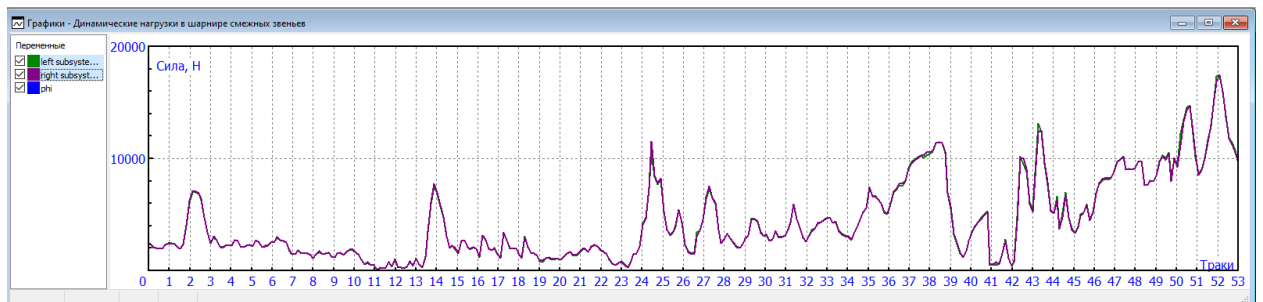


Рис. 28. Динамические нагрузки в шарнире при скорости 7 км/ч

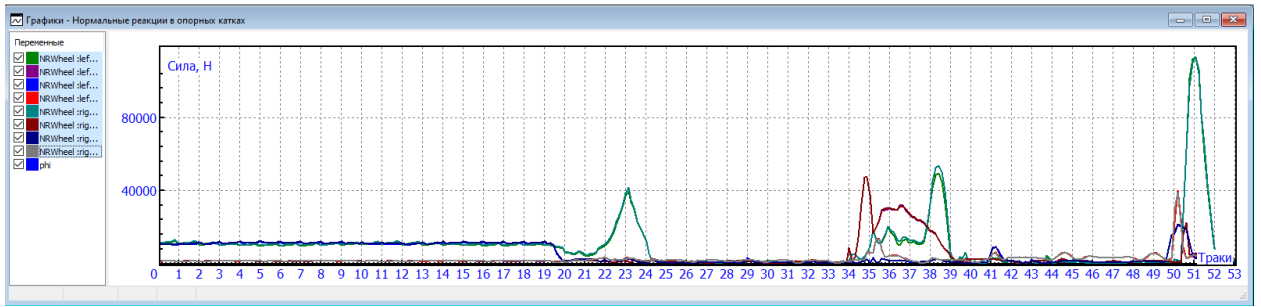


Рис. 29. Нормальные реакции в опорных катках при скорости 7 км/ч

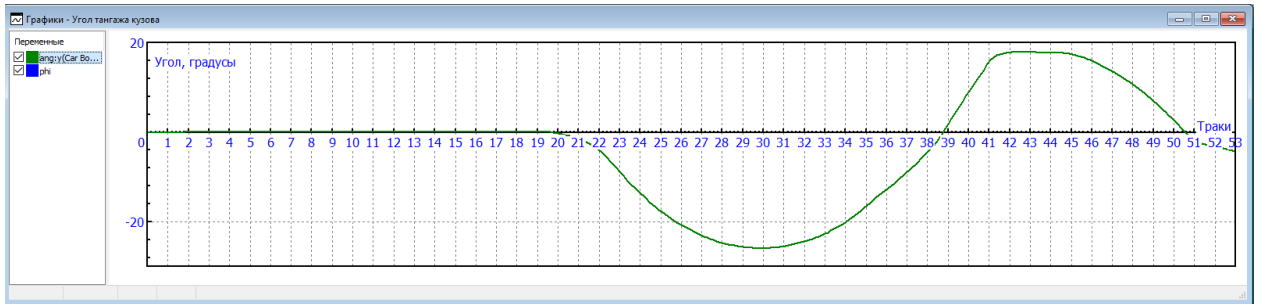


Рис. 30. Угол отклонения кузова относительно поперечной оси при скорости 7 км/ч

3.4. Движение на подъеме 20° с крюковой нагрузкой

Рассмотрим случай, когда трактор ДТ-75 поднимается по прямой на гору с крюковой нагрузкой **13,3 кН** на скорости **11 км/ч**. Нагрузка приложена на подвесное устройство на высоте **400 мм** от опорной поверхности.

1. В окне режима паузы процесса моделирования нажмите кнопку **Прервать**.
2. Загрузим новую конфигурацию. Выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_4.3**. Загрузилась новая конфигурация. Рассмотрим ее настройки более подробно.
3. Рассмотрим задание идентификаторов. Откройте окно инспектора моделирования объекта и перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов** (рис. 31).

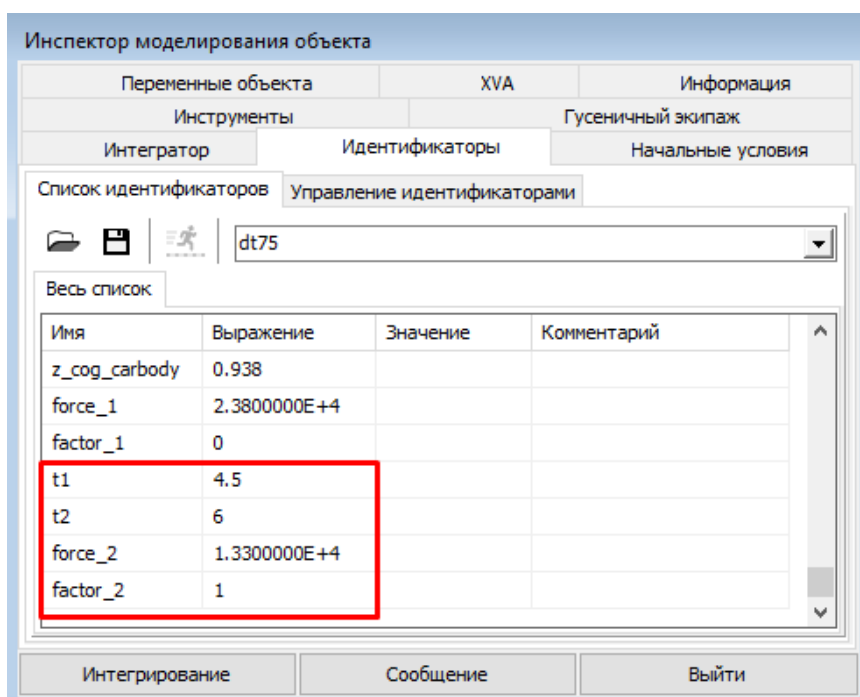


Рис. 31. Список идентификаторов

С помощью идентификаторов **t1** и **t2** задается начальное и конечное значение времени, в течение которого крюковая нагрузка, параметризованная как **force_2**, будет нарастать от нуля до своего максимального значения. То есть, после 4,5 секунд модельного времени крюковая нагрузка начнет нарастать и за 1,5 секунды примет постоянное значение **13300 Н**. В описании силы крюковой нагрузки введен флажок **factor_2**. При значении флажка **factor_2=0** сила равна нулю, при значении флажка **factor_1=1** сила становится активной.

4. Рассмотрим настройки макрогеометрии. В окне инспектора моделирования объекта перейдите на вкладку **Гусеничный экипаж | Настройки | Макрогеометрия | Полигон**. Макрогеометрия пути задается в виде предварительно созданного графического образа полигона и загружается в поле **Файл полигона** (рис. 32). Более подробное описание можно найти в [Главе 18](#) в пп.18.3.4.1.3 "Задание макрогеометрии".

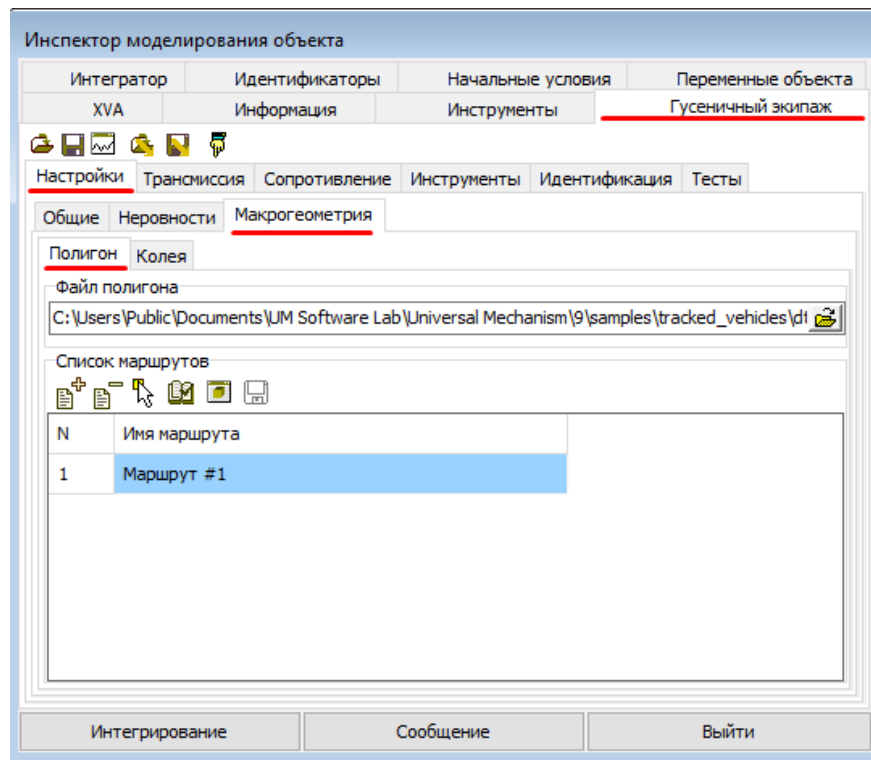


Рис. 32. Задание макрогеометрии пути

5. Перейдите на вкладку **Гусеничный экипаж | Тесты | Настройки**. В поле **Метод задания макрогеометрии** выбран **3D полигон** (рис. 33).

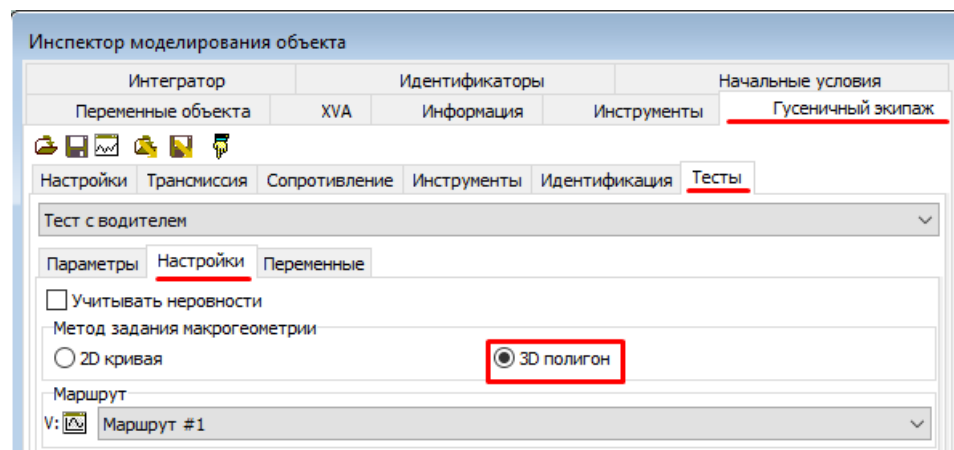


Рис. 33. Настройки теста

6. Перейдем к процессу моделирования. Тест настроен так, что на графиках первый оборот гусениц отображаться не будет. В окне **Инспектора моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом на графиках и в анимационном окне до окончания процесса (рис. 34, рис. 35).

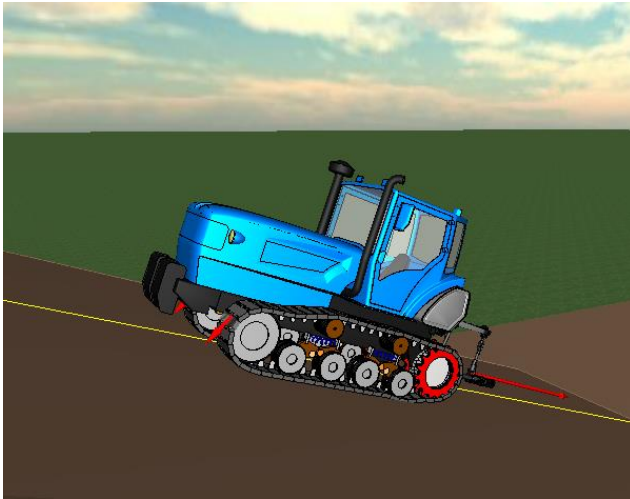


Рис. 34. Динамические нагрузки в шарнире между смежными звеньями при $t=6,58$ с

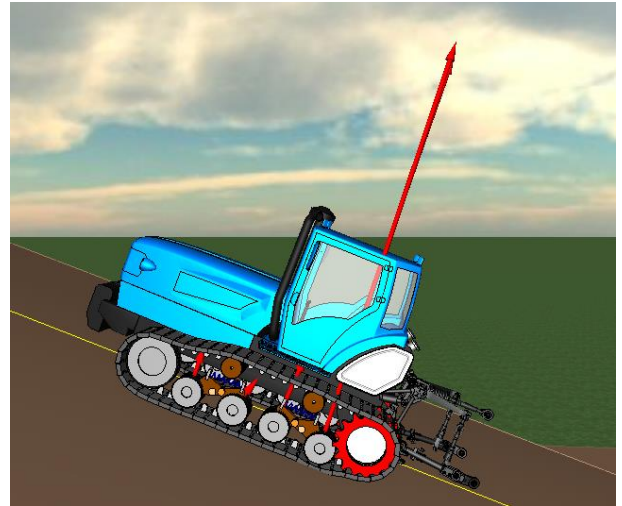


Рис. 35. Нормальные силы в опорных катках при $t=6,58$ с

- После окончания процесса моделирования в появившемся окне **Информация** нажмите **ОК**. Программа перейдёт в режим паузы процесса моделирования.

Результаты моделирования представлены на Рис. 36-.

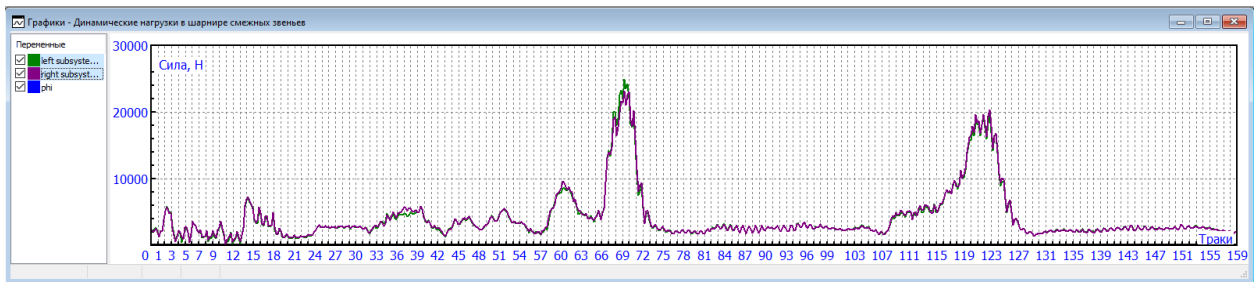


Рис. 36. Графики динамических нагрузок в шарнире между смежными звеньями гусеничной цепи с применением крюковой нагрузки

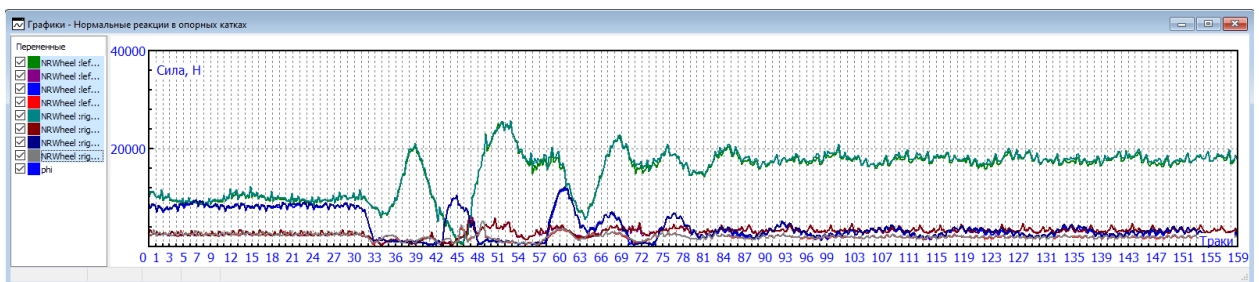


Рис. 37. Графики звеньев гусеничной цепи с применением крюковой нагрузки

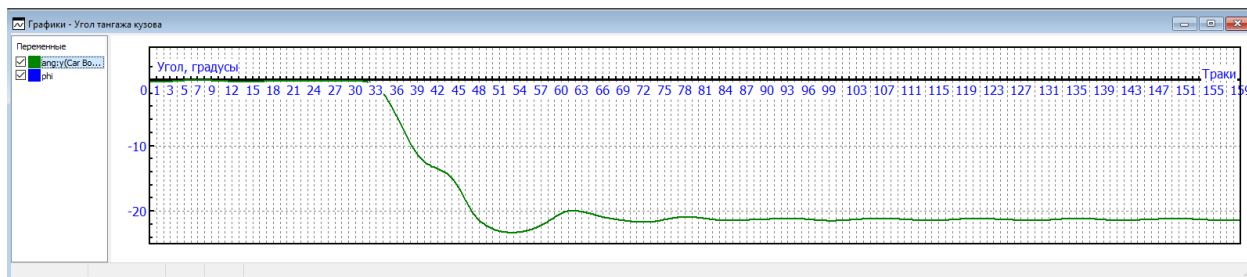


Рис. 38. Угол поворота кузова относительно поперечной оси

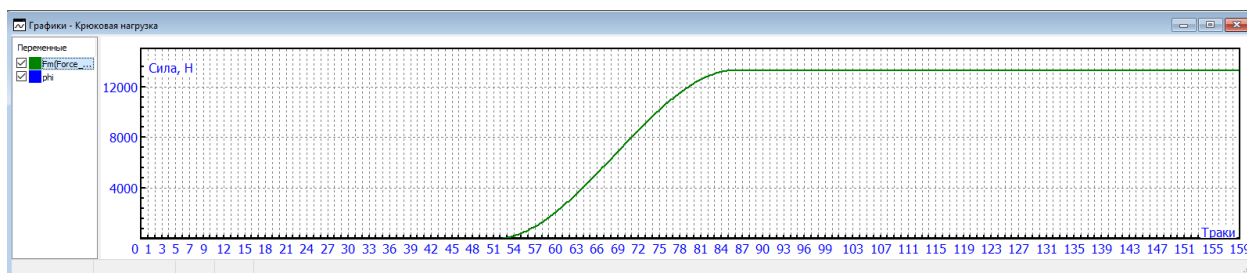


Рис. 39. График крюковой нагрузки