



Лабораторные работы



Определение поперечной статической устойчивости автотранспортного средства при опрокидывании

Лабораторная работа №1

Лабораторная работа ориентирована на студентов, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство", с целью ознакомления с современными подходами к проведению виртуальных экспериментов с автомобилями

Оглавление

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	7
3. ЧАСТЬ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АТС	9
3.1. ЗАГРУЗКА МОДЕЛИ В UM SIMULATION.....	9
3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОЖНЕГО АТС.....	15
4. ЧАСТЬ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АТС.....	20
4.1. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ РЕССОРНОГО КОМПЛЕКТА НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АТС	20
4.2. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШИН НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АТС	24
4.3. ВЛИЯНИЕ ЗАГРУЗКИ НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АТС	26
4.4. ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС АТС НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ.....	29

Команда "Универсального механизма" благодарит за помощь в разработке методических материалов старшего преподавателя Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) кафедры ТиАМ **Демидова Леонида Владимировича**.

Консультант:

Л.В. Демидов, старший преподаватель

Разработчики:

А.В. Сакало, к.т.н.

В.А. Сак, инженер

1. Основные теоретические сведения

Испытания "опрокидывание на стенде" для автотранспортного средства (АТС) проводят с целью определения показателей поперечной устойчивости против опрокидывания при наклоне платформы стенда до величины, при которой наблюдается отрыв колёс одной стороны одиночного АТС или колёс одной стороны одного из звеньев седельного автопоезда от опорной поверхности.

В соответствии с ГОСТ 31507-2012 показателями поперечной статической устойчивости против опрокидывания АТС являются:

- угол статической устойчивости $\alpha_{c,y}$ – угол наклона опорной поверхности опрокидывающей платформы относительно горизонтальной плоскости, при котором произошёл отрыв всех колёс одной стороны одиночного АТС или всех колёс одной стороны одного из звеньев седельного автопоезда от опорной поверхности;
- угол крена подрессоренных масс φ – угол между опорной поверхностью опрокидывающей платформы и поперечной осью подрессоренных масс, проходящей через центр масс АТС, полученный в результате наклона АТС на опрокидывающей платформе.

Величина угла $\alpha_{c,y}$ статической устойчивости АТС против опрокидывания, полученная в результате испытаний, должна быть не меньше нормативного значения α_n , зависящего от коэффициента q_s поперечной устойчивости АТС.

Коэффициент поперечной устойчивости q_s вычисляют по формуле:

$$q_s = \frac{0,5b}{h}, \tag{1.1}$$

где b – колея колёс, приведенная к поперечному сечению АТС в плоскости, проходящей через его центр масс (рис. 1), мм;

h – высота центра масс над опорной поверхностью, мм.

Величину колеи колёс полуприцепа вычисляют как среднее между серединами наружных колёс задней оси (тележки) тягача и серединами наружных колёс оси (тележки) полуприцепа.

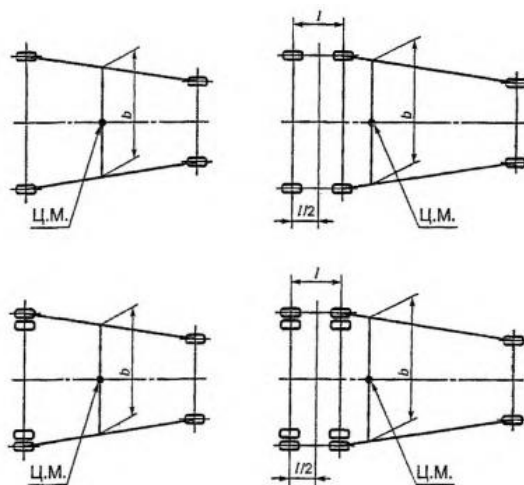


Рис. 1. Схемы определения величины приведенной колеи b

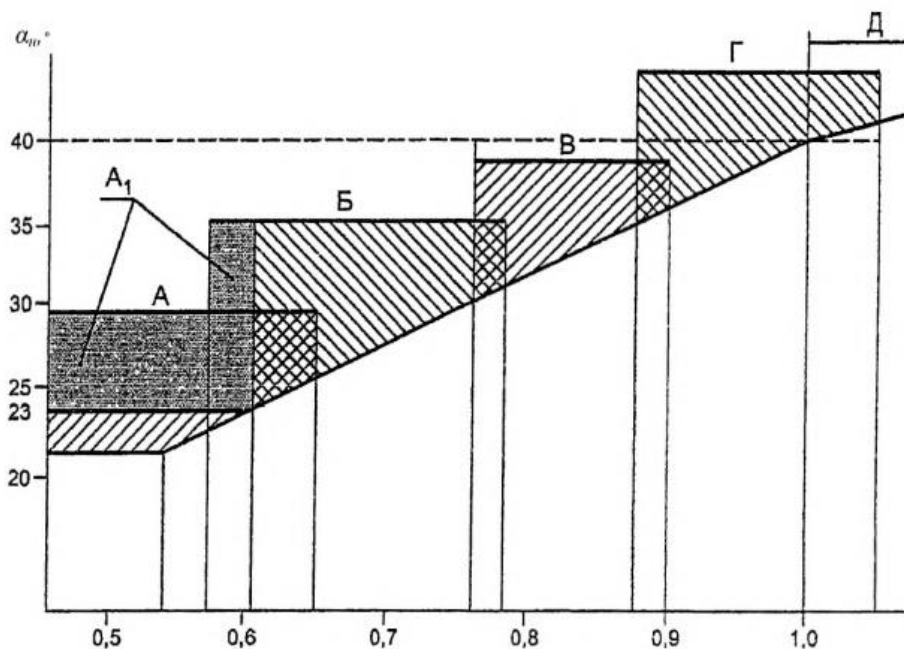
При определении соответствия величины угла $\alpha_{c,y}$ нормативным значениям α_n , АТС всех категорий, в зависимости от коэффициента поперечной устойчивости (большого или меньшего единицы), разделены на две группы, каждой из которых соответствует своя зависимость $\alpha_n = f(q_s)$:

$$\alpha_n = (-2,4 + 42,4q_s)^\circ \text{ при } 0,55 \leq q_s \leq 1,0, \quad (1.2)$$

$$\alpha_n = (15 + 25q_s)^\circ \text{ при } q_s > 1,0, \quad (1.3)$$

$$\alpha_n \geq 21^\circ \text{ при } q_s \leq 0,55. \quad (1.4)$$

График зависимостей (1.2) и (1.3) для АТС различных категорий приведен на рис. 2



А – диапазон значений q_s для автокранов, автобетоносмесителей, рефрижераторов, контейнеровозов категории N_3 , двухэтажных автобусов категории M_3 ;

A_1 – диапазон значений q_s для автомобилей цистерн категории N_3 , прицепов цистерн категорий O_3, O_4 ;

Б – диапазон значений q_s для рефрижераторов, самосвалов категории N_3 , одноэтажных автобусов категории M_3 , прицепов категорий O_3, O_4 ;

В – диапазон значений q_s для автокранов, самосвалов, рефрижераторов категории N_2 , бортовых автомобилей категории N_3 , автобусов категории M_2 и прицепов категории O_2 ;

Г – диапазон значений q_s для бортовых автомобилей категорий N_1, N_2 , фургонов категории N_1 , автомобилей повышенной проходимости категории M_1 ;

Д – диапазон значений q_s для автомобилей категории M_1 (за исключением автомобилей повышенной проходимости), прицепов категории O_1 .

Рис. 2. Зависимость угла α_n опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости q_s АТС различных категорий и типов (зоны А, A_1 , Б, В, Г, Д приведены для справок)

Угол крена φ подрессоренных масс определяют при угле наклона платформы, при котором происходит отрыв всех колёс одной стороны одиночного АТС или всех колёс одного из звеньев автопоезда от опорной поверхности. Максимальное допустимое значение угла крена φ подрессоренных масс в центре масс АТС, полученное в результате испытаний, не должно превышать предельных значений φ_H , заданных в зависимости от коэффициента поперечной устойчивости q_s .

При этом АТС всех категорий разделены на две группы, каждой из которых соответствует своя зависимость $\varphi_H = f(q_s)$:

$$\text{при } q_s \leq 1,0 \quad \varphi_H = (10,8 - 4,3q_s)^\circ; \tag{1.5}$$

$$\text{при } q_s > 1,0 \quad \varphi_H = 6,5^\circ. \tag{1.6}$$

Критерием соответствия нормативным требованиям данного стандарта является условие

$$\varphi \leq \varphi_H, \tag{1.7}$$

где φ_H – предельно допустимое значение угла крена.

График зависимостей (1.5), (1.6) и (1.7) представлен на рис. 3.

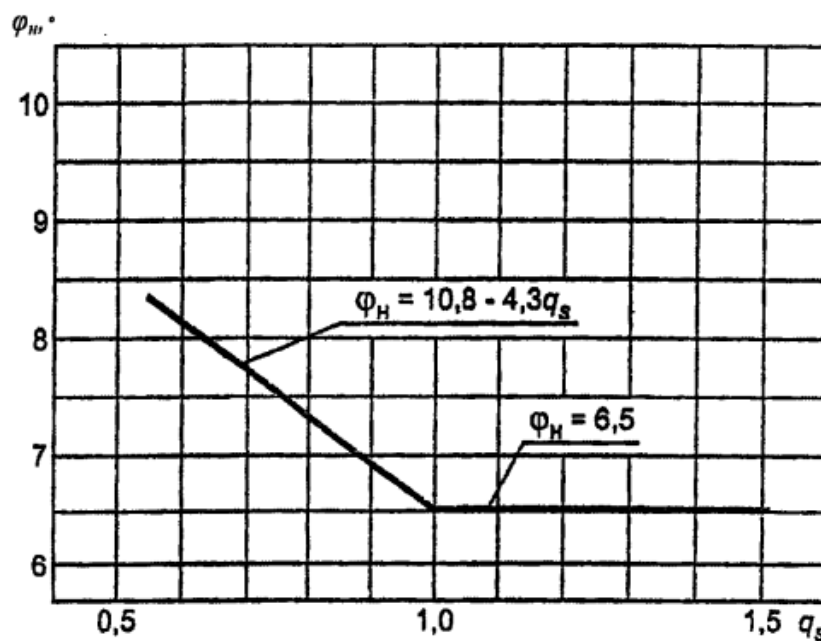


Рис. 3. Зависимость угла крена φ_H подрессоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости q_s

2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа ориентирована на студентов автомобильного направления с целью ознакомления с возможностями программного комплекса "Универсальный механизм" (ПК УМ). Универсальный механизм состоит из двух частей: программы ввода **UM Input** и программы моделирования **UM Simulation**. В программе ввода создаётся динамическая модель, а в программе моделирования производятся расчёты. На данном этапе не рассматриваются принципы создания динамической модели и её структура, а используется готовая модель со всеми настройками.

Цель работы: освоение методики определения поперечной статической устойчивости АТС при опрокидывании в ПК УМ и исследование факторов, влияющих на статическую устойчивость АТС.

В лабораторной работе будем использовать модель седельного тягача *mercedes_benz* с трёхосным бортовым полуприцепом на опрокидывающей платформе (рис. 4).

Все основные характеристики модели параметризованы. Модель состоит из подсистем, каждая подсистема содержит свою параметризацию. Две основные подсистемы, это модель тягача – подсистема *Truck*, и модель прицепа – подсистема *Trailer*. Каждая подвеска модели – это тоже отдельная подсистема. Для того чтобы найти необходимый параметр, например, жёсткость пружины, нужно открыть ту подсистему, в которой находится его описание.

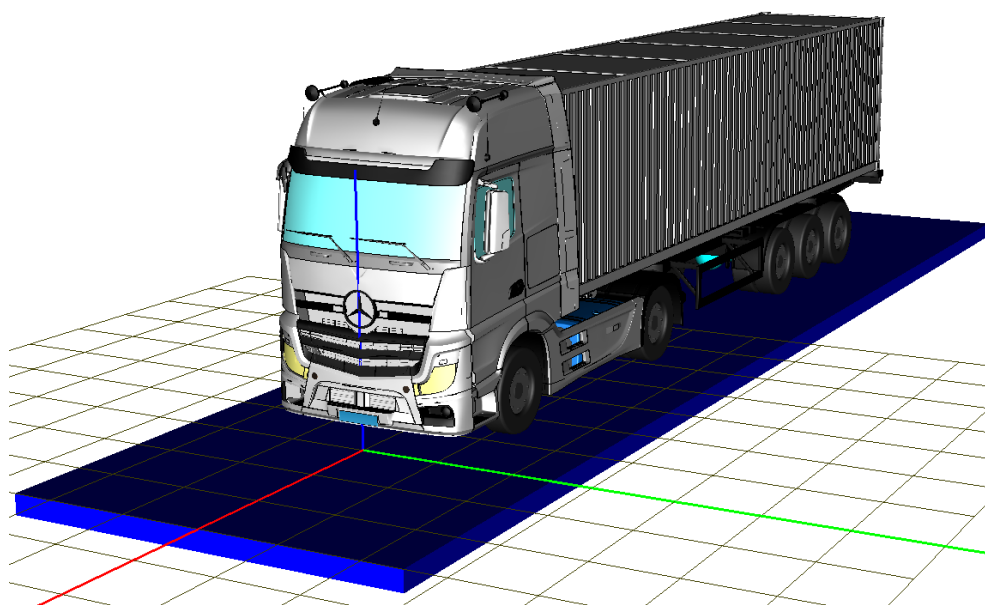


Рис. 4. Общий вид модели седельного тягача с прицепом на опрокидывающей платформе в программе ввода **UM Input**

Расположение файлов модели седельного тягача зависит от версии установленного на вашем компьютере ПК УМ:

– УМ 2023 (УМ 10), готовую модель можно найти в папке
[{Данные УМ}\samples\Automotive\mercedes_benz](#)

– УМ 9, готовую модель можно скачать по адресу
http://www.universalmechanism.com/download/models/mercedes_benz.zip

Для версий УМ, предшествующих девятой, модель недоступна.

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

3. Часть 1. Определение поперечной статической устойчивости АТС

В первой части лабораторной работы ознакомимся с методикой определения поперечной статической устойчивости АТС при опрокидывании, моделью и работой с ней в УМ, а также выполним расчёт на определение поперечной статической устойчивости для исследуемой модели.

3.1. Загрузка модели в UM Simulation

Запустите программу моделирования **UM Simulation** и откройте модель тягача с полуприцепом. 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. 5). После этого откроется модель седельного тягача с трёхосным бортовым полуприцепом.

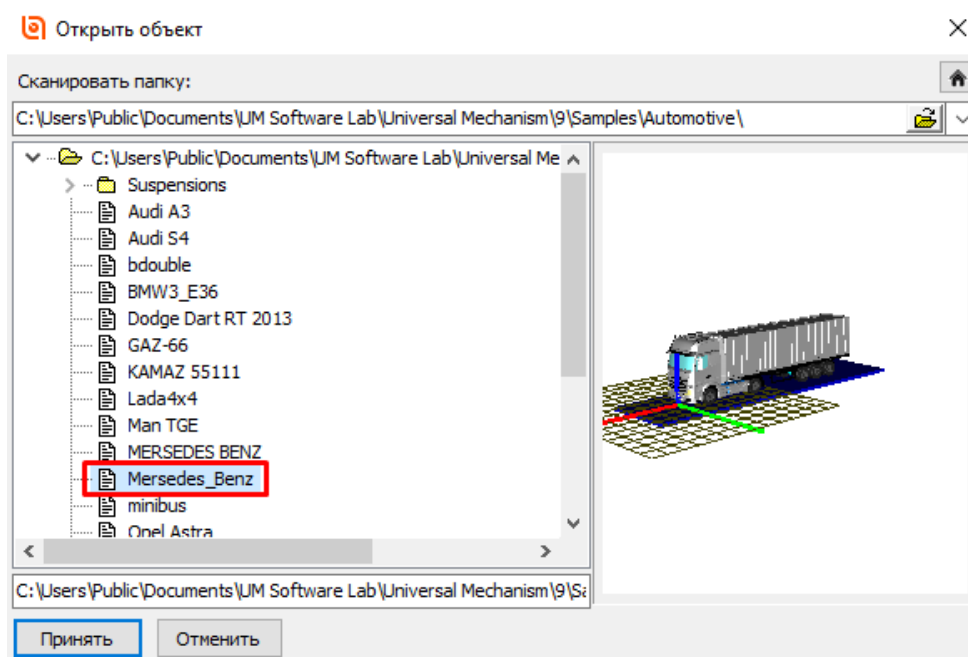


Рис. 5. Открытие модели в программе моделирования **UM Simulation**

Для выполнения расчётов необходимо сделать предварительные настройки: найти положение равновесия тягача с полуприцепом, 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 подготовленная конфигурация для модели со всеми её настройками. Для этого выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_1** (рис. 6).

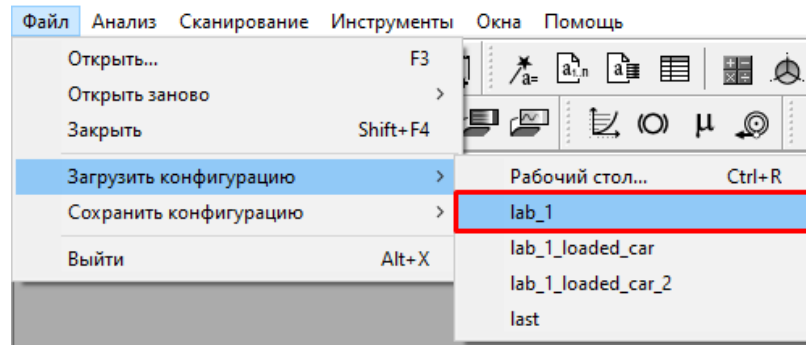


Рис. 6. Загрузка подготовленной конфигурации

На экране появятся три графических и одно анимационное окно. В нижней части анимационного окна отображается модель тягача с полуприцепом на опрокидывающей платформе (рис. 7). В верхней части расположен список векторов контактных сил для всех колёс модели, которые во время процесса моделирования будут отображаться в самом анимационном окне. Для большей наглядности для векторов правых колёс установлен **зеленый** цвет, а для векторов левых колёс – **красный**.

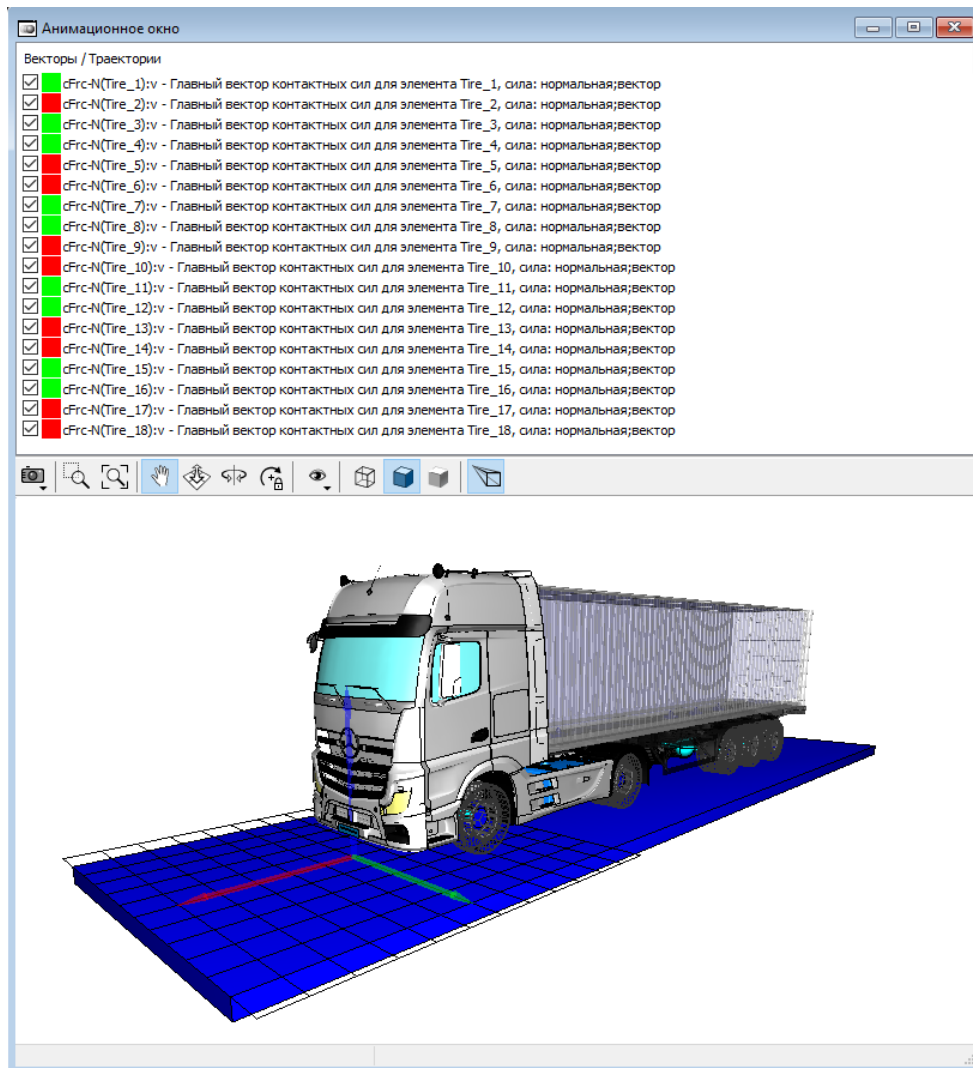


Рис. 7. Анимационное окно

В процессе выполнения теста платформа будет поворачиваться против хода часовой стрелки относительно оси X (продольная ось X – красная, поперечная ось Y – зеленая, вертикальная ось Z – синяя), соответственно, отрываться от платформы будут колёса левой стороны тягача с полуприцепом. Переменные для построения графиков нормальных контактных сил, возникающих в колёсах левой стороны модели, находятся в графическом окне "Нормальные контактные силы в колесах левой стороны АТС" (рис. 8).

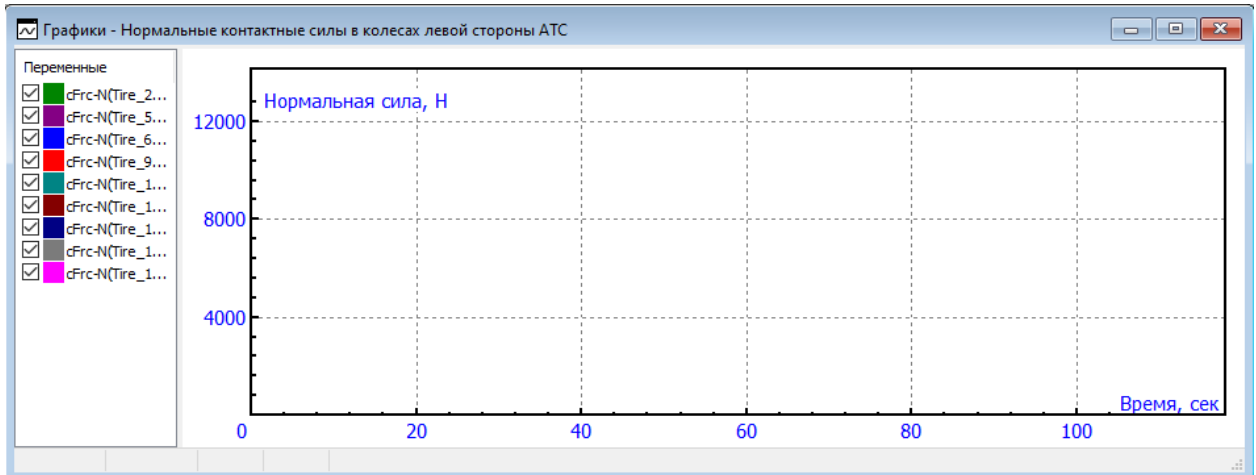


Рис. 8. Окно для построения графиков нормальных контактных сил в колёсах левой стороны тягача с полуприцепом

Графическое окно "Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости" содержит две переменные: коэффициент поперечной устойчивости q_s , отложенный по оси абсцисс, и угол поворота платформы относительно оси X $alpha$, отложенный по оси ординат (рис. 9). Коэффициент поперечной устойчивости q_s рассчитан по формуле (1.1) в соответствии с параметрами модели. В этом окне мы будем наблюдать изменение угла поворота платформы $\alpha_{с.у}$ и оценивать обеспечение поперечной устойчивости по нормативному значению α_n .

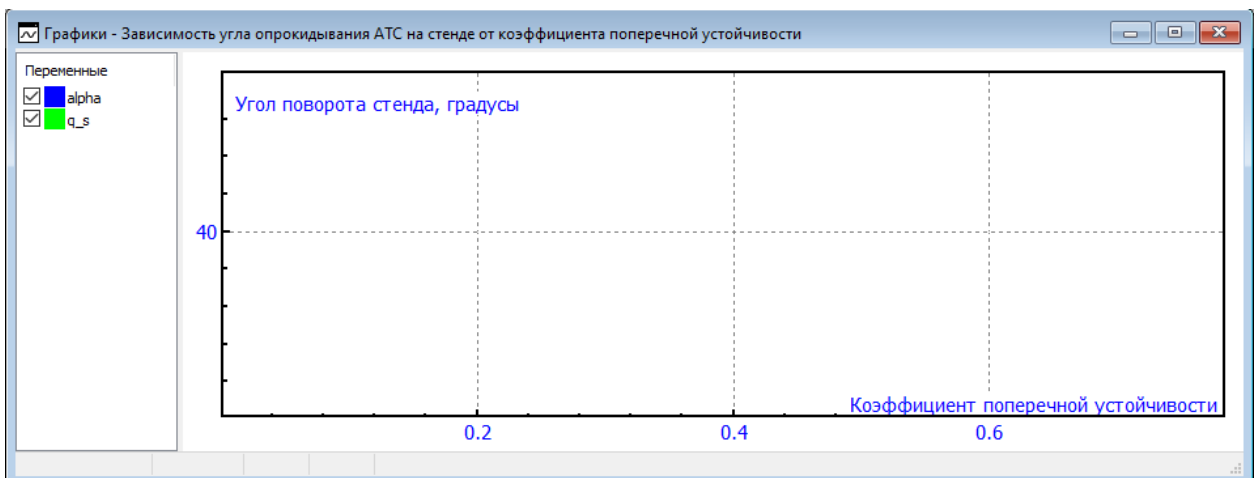


Рис. 9. Графическое окно для построения зависимости угла опрокидывания АТС от коэффициента поперечной устойчивости

В графическом окне "Зависимость угла крена подрессоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости" также содержатся две переменные: угол крена подрессоренной массы ρ_{hi} (угол между опорной поверхностью опрокидывающей платформы и поперечной осью трёхосного полуприцепа), и коэффициент поперечной устойчивости q_s , отложенный по оси абсцисс (рис. 10). В этом окне мы будем наблюдать изменение угла крена подрессоренной массы и оценивать обеспечение поперечной устойчивости по нормативному значению φ_H .



Рис. 10. Графическое окно для построения зависимости угла крена подрессоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости

Для того чтобы в графических окнах на рис. 9 и рис. 10 было удобно отслеживать изменение угла поворота платформы α и угла крена подрессоренной массы ρ_{hi} относительно предельно допустимых значений, заранее подготовлены файлы с графиками нормативных значений угла опрокидывания α_H (рис. 2) и предельно допустимым значением угла крена φ_H (рис. 3), которые необходимо загрузить в соответствующие графические окна.

Для загрузки файлов с графиками выполните следующие действия:

3. В графическом окне "Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости" в поле **Переменные** щёлкните правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите пункт **Загрузить из файла** (рис. 11).

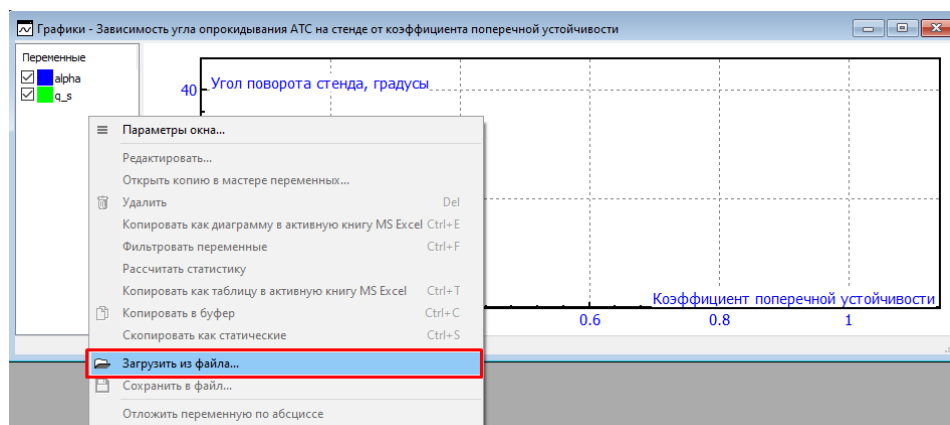


Рис. 11. Загрузка файла в графическое окно

- В появившемся окне перейдите в папку модели и выберите файл *"Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости"* и нажмите кнопку **Открыть** (рис. 12).

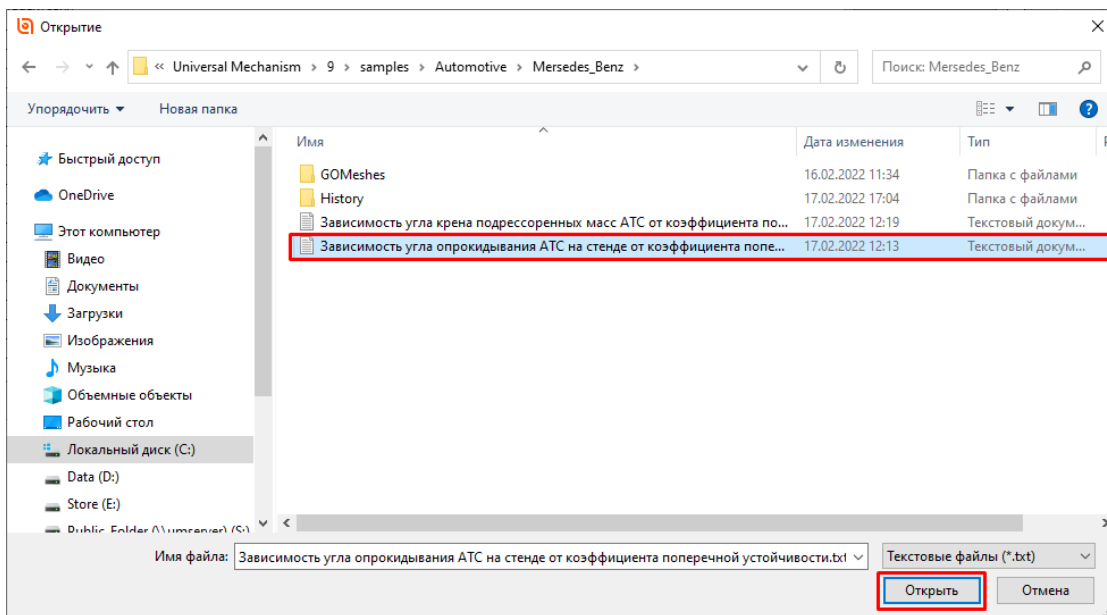


Рис. 12. Выбор файла для загрузки в графическое окно

После этого в графическом окне отобразится график, а в поле **Переменные** появится имя загруженного файла. Для наглядности зададим графику красный цвет. Дважды щёлкните по переменной **"Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости.txt"** и в появившемся окне **Переменная** в поле **Цвет** выберите красный цвет. Нажмите кнопку **Применить** (рис. 13). После всех настроек графическое окно должно выглядеть, как показано на рис. 14.

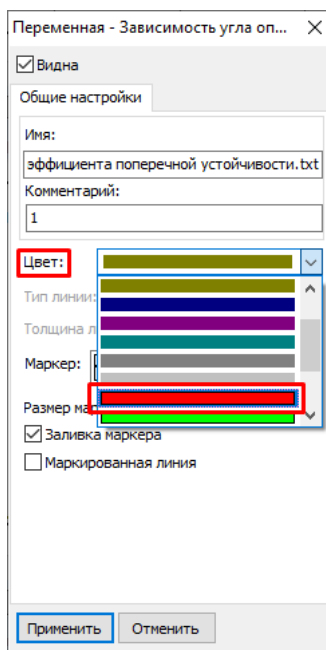


Рис. 13. Назначение цвета для графика

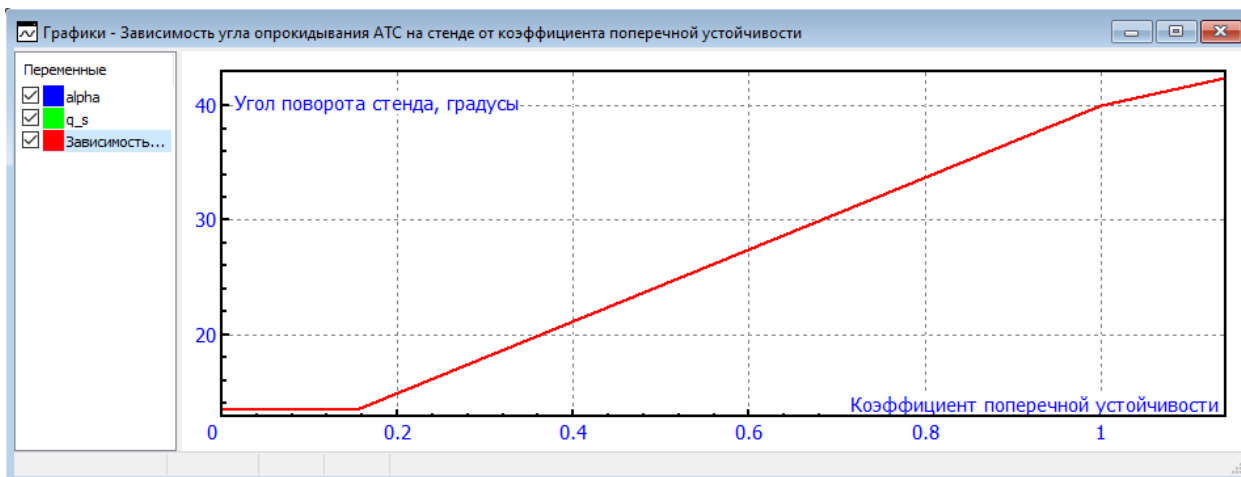


Рис. 14. Графическое окно с графиком нормативных значений угла опрокидывания α_H


5. Таким же образом для графика "Зависимость угла крена поддресоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости" загрузите файл "Зависимость угла крена поддресоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости.txt" и назначьте для графика красный цвет. После всех настроек графическое окно должно выглядеть, как показано на рис. 15.



Рис. 15. Графическое окно с графиком предельно допустимых значений угла крена φ_H

3.2. Определение поперечной статической устойчивости порожнего АТС

Выполним тест на определение поперечной статической устойчивости тягача с порожним полуприцепом.

1. С помощью пункта меню **Анализ | Моделирование** или кнопки **Моделирование**  откройте окно **Инспектора моделирования объекта**.
2. В появившемся окне перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список** (рис. 16). Здесь отображаются параметры модели.

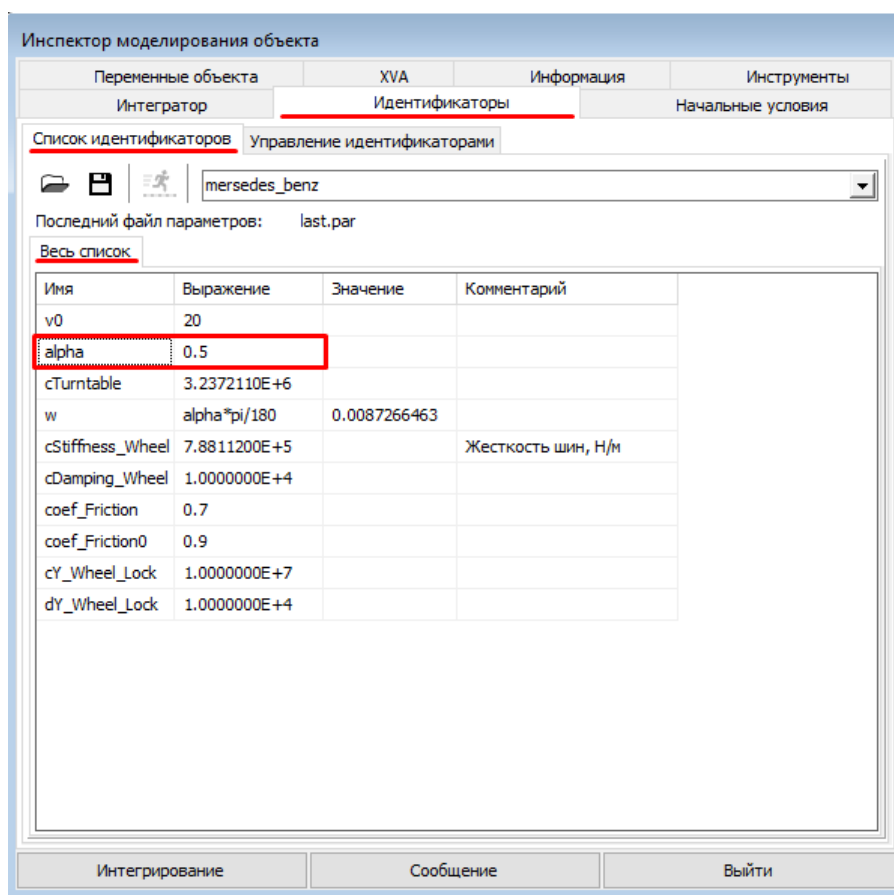


Рис. 16. Окно инспектора моделирования объекта

3. В соответствии с ГОСТ 31507-2012 наклон платформы осуществляют с угловой скоростью, не превышающей **0,5** %/с, до отрыва одного, а затем всех колёс одной стороны одиночного АТС от опорной поверхности. Параметр **alpha** задаёт скорость угла поворота платформы (рис. 16), его значение по умолчанию равно **0,5**.
4. Теперь перейдём к выполнению теста и оценим поперечную статическую устойчивость нашей модели. Для этого в окне **Инспектора моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование** (рис. 16).
5. После этого начнётся процесс моделирования. В анимационном окне отобразятся нормальные контактные силы в колёсах. Первые 10 секунд опрокидывающая платформа находится в неподвижном состоянии, и векторы нормальных сил будут при-

мерно равны между собой. Когда платформа начнёт поворачиваться со скоростью $0,5 \text{ }^\circ/\text{с}$, векторы нормальных сил начнут меняться: зелёные (нормальные силы для правых колёс) будут постепенно увеличиваться, а красные (нормальные силы для левых колёс) – уменьшаться. Наблюдайте за изменением векторов на графике и в анимационном окне до окончания процесса моделирования. Векторы нормальных сил в колёсах в начальный момент времени, отрыв первого левого колеса и отрыв всех колёс левой стороны модели показаны на рис. 17, рис. 18, рис. 19.

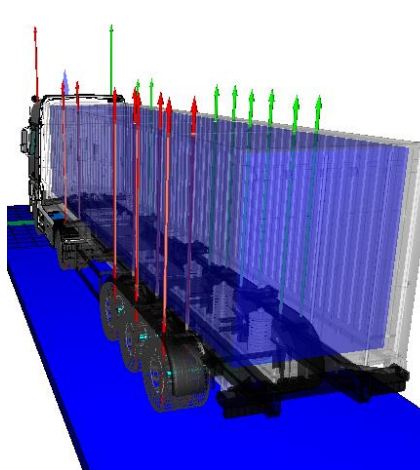


Рис. 17. Нормальные контактные силы при $t=0 \text{ с}$

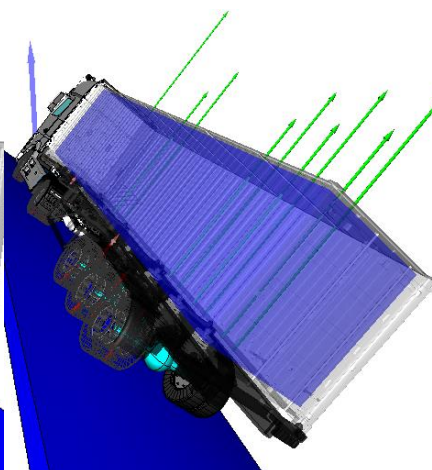


Рис. 18. Момент отрыва первого колеса при $t=88,98 \text{ с}$

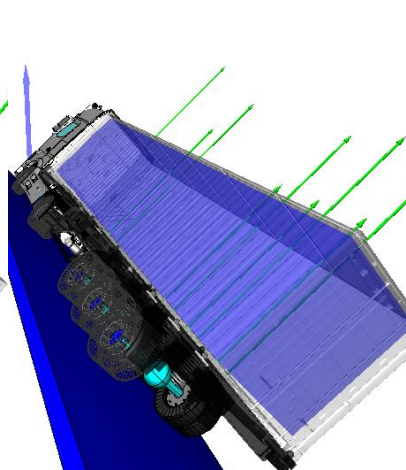


Рис. 19. Момент отрыва всех колёс левой стороны при $t=103,74 \text{ с}$

6. После окончания процесса моделирования в появившемся окне **Информация** нажмите **ОК** (рис. 20). Программа перейдёт в режим паузы процесса моделирования.
7. Проанализируем результаты. На графике "Нормальные контактные силы в колесах левой стороны АТС" видно, в какой момент времени оторвались первое **Tire_17** и последнее **Tire_6** колёса модели от платформы, то есть нормальные силы в них стали равны нулю (рис. 21).

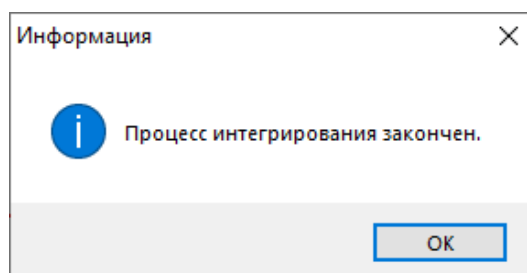


Рис. 20. Окно информации о завершении процесса интегрирования

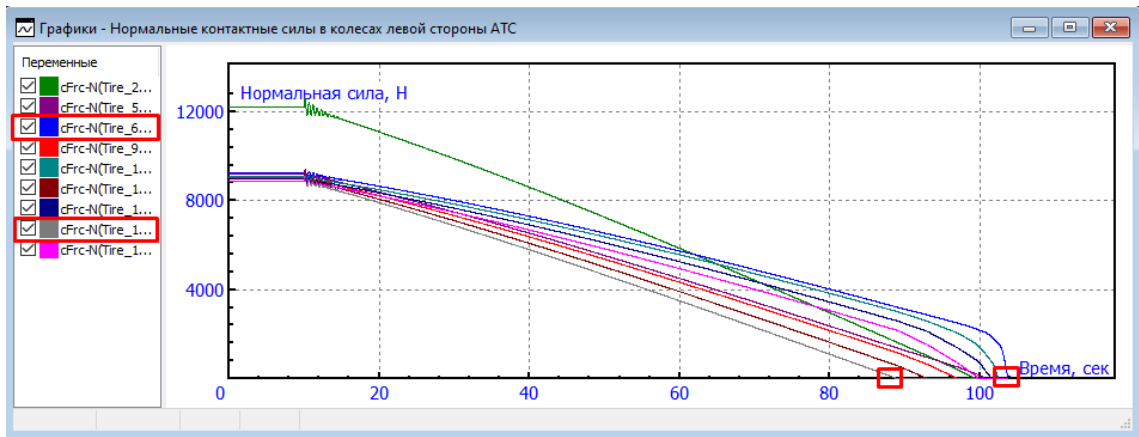


Рис. 21. Изменение нормальных контактных сил в колёсах левой стороны АТС

Оценим угол поворота платформы относительно нормативных значений α_n . Согласно ГОСТ величина угла α статической устойчивости против опрокидывания, полученная в результате испытаний, должна быть не меньше нормативного значения α_n , зависящего от q_s . Определим по графику нормативное значение угла α_n для нашей модели. Для этого нам необходимо определить значение ординаты на пересечении графика угла поворота платформы α с графиком *Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости.txt*.

8. Наведите курсор мыши на пересечение графиков, в левом нижнем углу отобразятся значения абсциссы и ординаты (рис. 22). Для того чтобы определить значения наиболее точно, увеличьте график при помощи колёсика мыши. Значение абсциссы показывает, что при коэффициенте поперечной устойчивости q_s равном **1,059** нормативное значение угла отклонения опрокидывающей платформы α_n равняется **41°**.
9. Определим максимальное значение угла α , соответствующее моменту опрокидывания АТС. С помощью колёсика мыши увеличивайте окончание графика до получения на оси ординат значения угла необходимой точности. На рис. 23 видно, что угол наклона платформы составляет **46,88°**.

Таким образом, угол статической устойчивости $\alpha_{c,y} = 46,88^\circ$ больше нормативного угла отклонения $\alpha_n = 41^\circ$, следовательно, поперечная статическая устойчивость против опрокидывания АТС по показателю угла статической устойчивости $\alpha_{c,y}$ обеспечена.

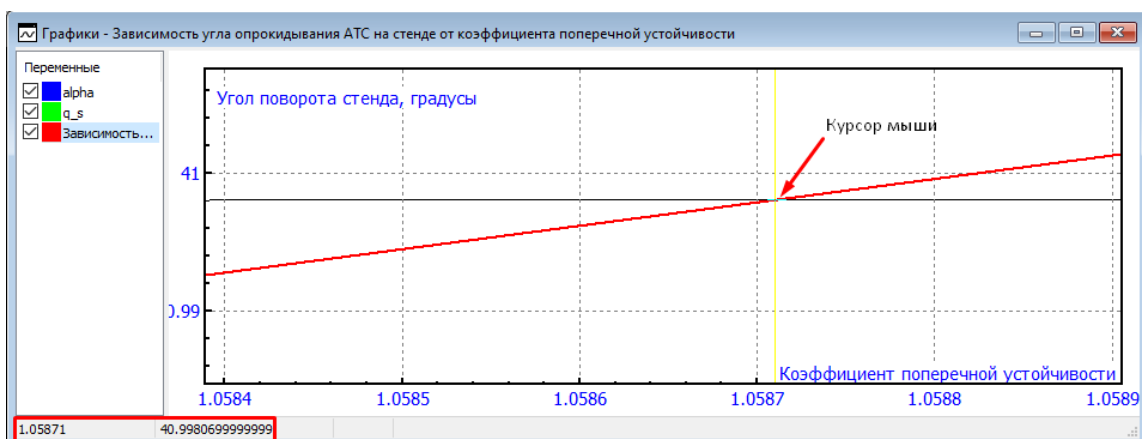


Рис. 22. Оценка угла поворота платформы относительно нормативного значения угла α_n




Рис. 23. Определение угла поворота платформы в момент опрокидывания АТС

Теперь проверим поперечную статическую устойчивость против опрокидывания АТС по показателю угла крена подрессоренных масс φ . Согласно критерию (1.7) угол крена подрессоренной массы φ должен быть меньше предельно допустимого значения угла крена φ_H (рис. 24).



Рис. 24. Оценка угла крена подрессоренных масс φ относительно предельно допустимого значения φ_H

Оценим значения угла крена подрессоренной массы φ при помощи встроенного табличного процессора для переменных.

1. Выберите пункт меню **Инструменты | Табличный процессор** или на панели быстрого доступа нажмите кнопку **Табличный процессор** . На экране появится окно табличного процессора.
2. В графическом окне выделите переменную **phi** и перетащите её с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. В левой части окна табличного процессора выберите функционал **Max** (рис. 25), который определяет максимальное значение ординаты. Как мы видим, максимальное значение угла отклонения подрессоренной массы φ составляет **1,42°**.

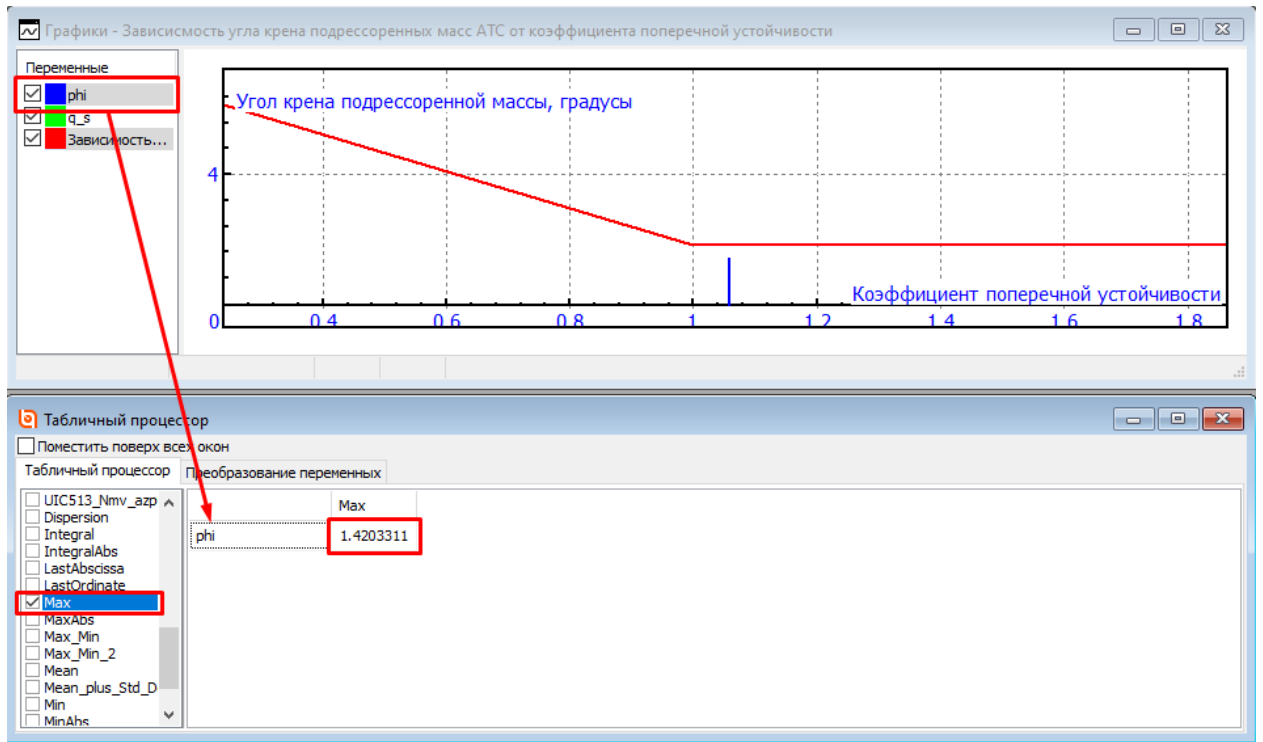


Рис. 25. Расчёт в табличном процессоре максимального значения угла крена φ

3. Определим по графику значение предельного допустимого угла крена подрессоренных масс φ_H для коэффициента поперечной устойчивости q_s , равного **1,059**. Значение предельно допустимого угла φ_H составляет **1,82°**.

Таким образом, угол крена подрессоренных масс $\varphi = 1,42^\circ$ меньше предельно допустимого значения угла крена $\varphi_H = 1,82^\circ$, следовательно, поперечная статическая устойчивость против опрокидывания АТС по показателю угла крена подрессоренных масс φ обеспечена.

Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1


Показатель	Нормативное значение	Полученное значение	Устойчивость по одному показателю
Коэффициент поперечной устойчивости q_s	–	1,059	–
Угол наклона опрокидывающей платформы $\alpha_{с.у}$, не менее	$\alpha_H = 41^\circ$	$46,88^\circ$	Обеспечена
Угол крена подрессоренных масс φ , не более	$\varphi_H = 1,82^\circ$	$1,42^\circ$	Обеспечена
Устойчивость по двум показателям			Обеспечена

4. Часть 2. Исследование факторов, влияющих на поперечную статическую устойчивость АТС

Во второй части лабораторной работы исследуем влияние на поперечную статическую устойчивость АТС против опрокидывания жёсткости рессорного комплекта, жёсткости шин, состояния загрузки АТС, а также положения его центра масс.

4.1. Влияние жесткости рессорного комплекта на поперечную статическую устойчивость АТС

Определим, как влияет жёсткость пружин на устойчивость АТС при опрокидывании. Из п. 3.2 "Определение поперечной статической устойчивости порожнего АТС" мы выяснили, что для исследуемой модели статическая устойчивость при опрокидывании обеспечена. Уменьшим жёсткость пружин модели и выполним тест на определение поперечной устойчивости.

1. Загрузите модель в **UM Simulation** и откройте окно **Инспектора моделирования объекта** через пункт меню **Анализ | Моделирование** или при помощи кнопки **Моделирование** , если это необходимо. В окне инспектора моделирования объекта перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов** (рис. 26).
2. Найдём параметр, описывающий жёсткость пружин в подвесках модели. В выпадающем списке выберите подсистему **mercedes_benz | Truck | FrontSuspension** (рис. 26). Это подсистема передней подвески, относящейся к тягачу, в которой описаны пружины. После выбора подсистемы **FrontSuspension** откроется список параметров, относящийся к этой подсистеме.

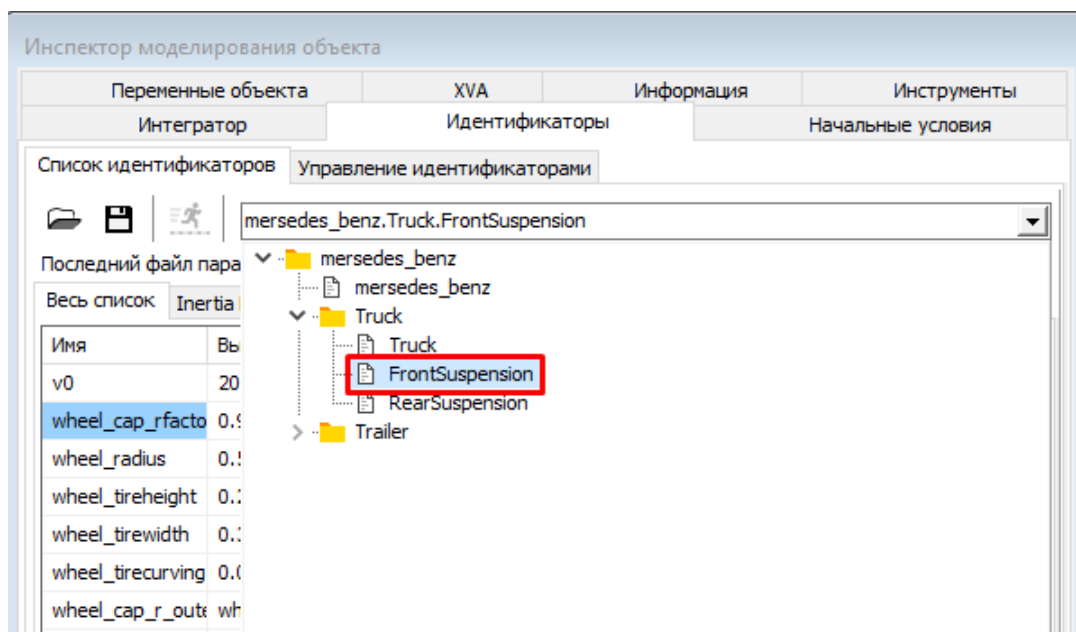


Рис. 26. Выбор параметров подсистемы

3. Перейдите на вкладку **Springs** (рис. 27). Здесь находятся все параметры, отвечающие за описание пружин в модели. Параметр **cStiffness** описывает жёсткость пружин и по умолчанию равен **2264000 Н/м**. Жёсткости пружин в остальных подсистемах имеют такое же название **cStiffness** и равны **2264000 Н/м**.

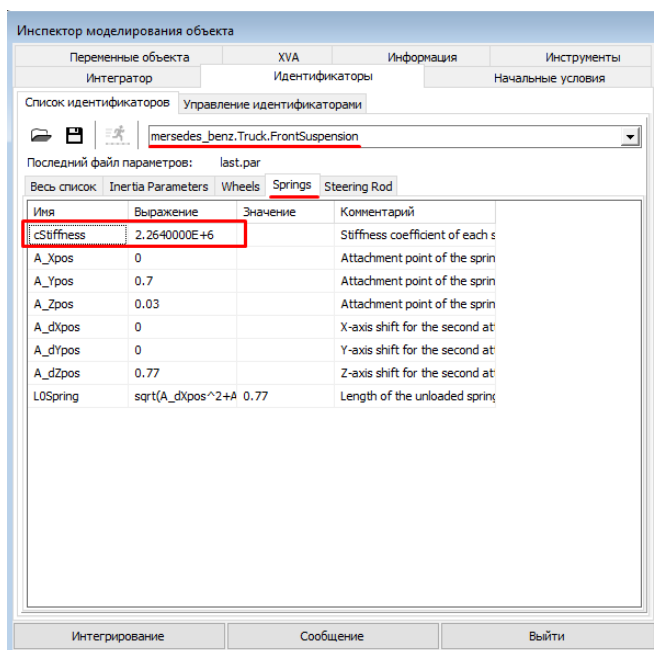


Рис. 27. Параметры пружин передней подвески тягача

4. В поле **Выражение** для параметра **cStiffness** измените значение жёсткости на **2.264000E+5** и нажмите клавишу **Enter**. После этого на экране появится окно одноименных идентификаторов. Программа показывает все параметры с именем **cStiffness**, которые содержит модель. Если напротив какого-либо параметра из списка поставить галочку, то его значение будет изменено на новое введенное. Если же убрать галочку напротив параметра, то его значение останется прежним. Мы меняем значение жёсткости для всех пружин, поэтому оставляем все галочки включёнными. Нажмите кнопку **Принять** (рис. 28).

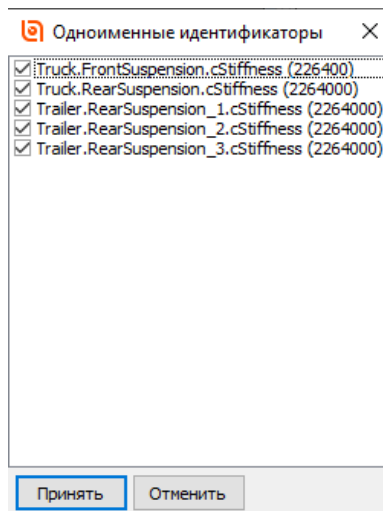


Рис. 28. Окно одноименных идентификаторов

5. Прежде чем перейти к выполнению теста, необходимо выполнить предварительные настройки. В окне инспектора моделирования объекта перейдите на вкладку **Интегратор | Параметры моделирования** (рис. 29). В поле **Время** установлено значение **103,74**. Это означает, что в момент времени 103,74 секунды процесс интегрирования будет закончен. Измените значение времени на **101,96**. Это момент отрыва всех колёс левой стороны АТС от опрокидывающей платформы для варианта жёсткости пружин **cStiffness** равной **226400 Н/м**.

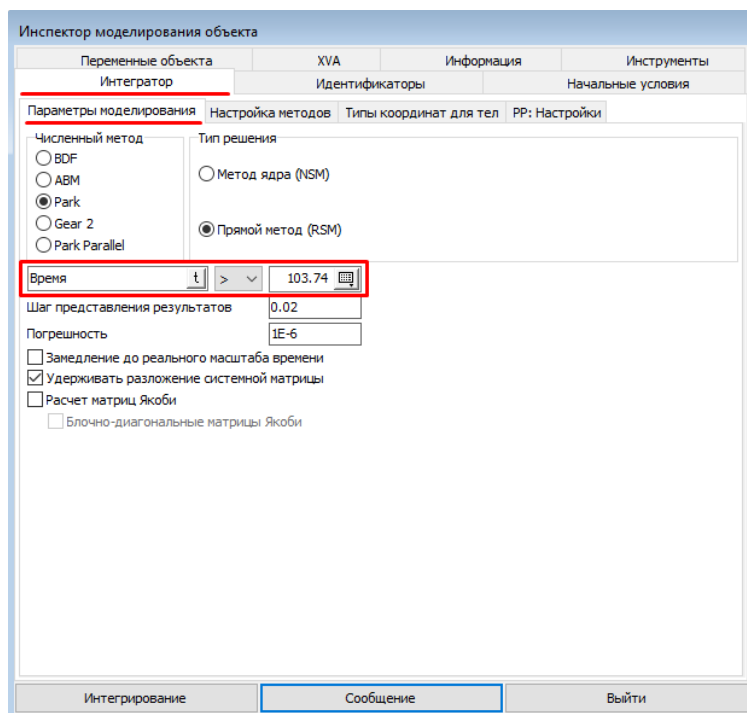



Рис. 29. Установка времени окончания моделирования

6. Перейдём к процессу моделирования. Нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом отрыва первого колеса от поверхности опрокидывающей платформы, а затем отрывом всех колёс в анимационном окне и на графике нормальных контактных сил. После окончания процесса моделирования в окне информации нажмите **ОК**. В режиме паузы процесса моделирования выполним обработку результатов.
7. Определим максимальное значение угла α опрокидывающей платформы. Выберите пункт меню **Инструменты | Табличный процессор** или на панели быстрого доступа нажмите кнопку **Табличный процессор** . Появится окно табличного процессора. В графическом окне "*Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости*" выделите переменную **alpha** и перетащите её с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. В левой части окна табличного процессора выберите функционал **Max** (рис. 30). Как мы видим, максимальное значение угла опрокидывающей платформы $\alpha_{c,y}$ составляет **45,99°**.

Из предыдущего теста мы выяснили, что при коэффициенте устойчивости q_s равном **1,059** нормативное значение угла отклонения опрокидывающей платформы α_n равняется **41°**. Таким образом, угол статической устойчивости $\alpha_{c,y} = 45,99^\circ$ больше нормативного уг-

ла отклонения $\alpha_n = 41^\circ$, следовательно, поперечная статическая устойчивость против опрокидывания АТС по показателю угла статической устойчивости $\alpha_{c,y}$ обеспечена.

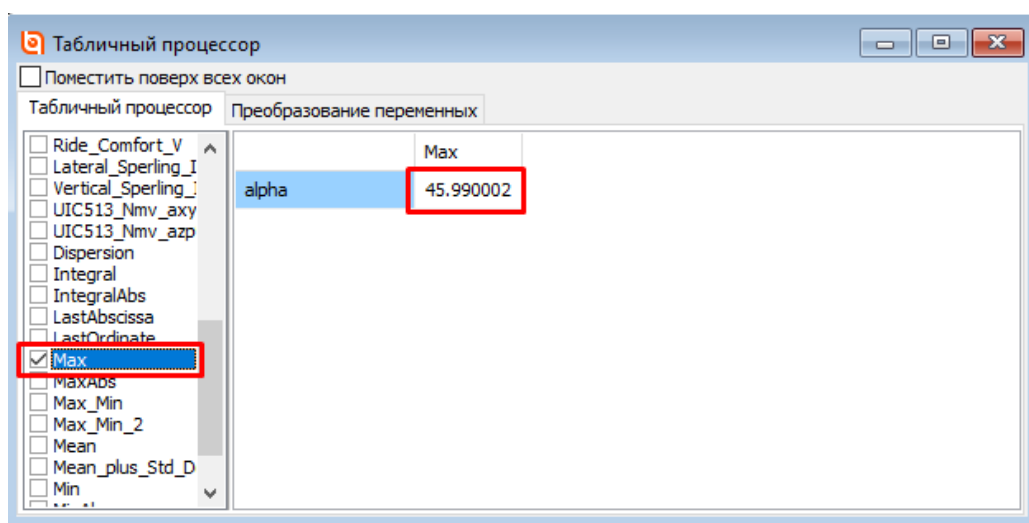


Рис. 30. Расчёт в табличном процессоре максимального значения угла $\alpha_{c,y}$

8. Оценим значение предельного допустимого угла крена подрессоренных масс φ_n так же при помощи табличного процессора. Перетащите из окна "Зависимость угла крена подрессоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости" переменную **phi** в окно открытого табличного процессора. Значение угла крена подрессоренных масс φ составляет **4,08°**. Значение предельно допустимого угла φ_n составляет **1,82°**.

Таким образом, угол крена подрессоренных масс $\varphi = 4,08^\circ$ больше предельно допустимого значения угла крена $\varphi_n = 1,82^\circ$, следовательно, поперечная статическая устойчивость против опрокидывания АТС по показателю угла крена подрессоренных масс φ при жёсткости колёс **cStiffness** равной **226400 Н/м** не обеспечена. Отсюда можно сделать вывод, что при уменьшении жёсткости рессорного комплекта уменьшается статическая поперечная устойчивость АТС.

Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Нормативное значение	Полученное значение	Устойчивость по одному показателю
Коэффициент поперечной устойчивости q_s	–	1,059	–
Угол наклона опрокидывающей платформы $\alpha_{c,y}$, не менее	$\alpha_n = 41^\circ$	45,99°	Обеспечена
Угол крена подрессоренных масс φ , не более	$\varphi_n = 1,82^\circ$	4,08°	Не обеспечена
Устойчивость по двум показателям			Не обеспечена

4.2. Влияние жесткости шин на поперечную статическую устойчивость АТС

Определим влияние жёсткости шин на поперечную статическую устойчивость АТС. Прежде чем перейти к выполнению этого исследования, необходимо вернуть исходное значение жёсткости пружин. Для этого выполните следующие действия:

1. В окне **Режим паузы процесса моделирования** нажмите кнопку **Прервать**.
2. В окне инспектора моделирования объекта вернитесь на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов** (рис. 26).
3. Перейдите на вкладку **Springs** для подсистемы передней подвески **mercedes_benz | Truck | FrontSuspension**, относящейся к тягачу (рис. 27), и для параметра **cStiffness** установите значение **2.2640000E+6**. После этого нажмите **Enter**. В появившемся окне одноименных идентификаторов убедитесь, что для всех идентификаторов стоит галочка. Нажмите кнопку **Принять** (рис. 28).

Теперь перейдём к исследованию влияния жёсткости шин на устойчивость АТС. Жёсткость шин задана параметром **cStiffness_Wheel**.

4. В окне инспектора моделирования объекта в выпадающем списке выберите подсистему **mercedes_benz** (рис. 31).

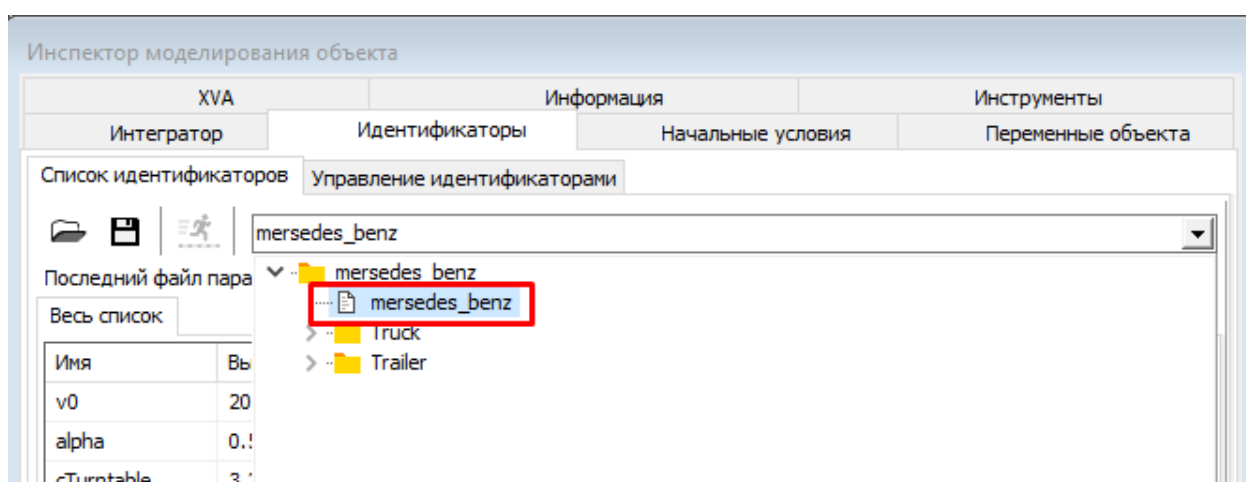


Рис. 31. Выбор подсистемы в окне инспектора моделирования объекта

5. Появится список параметров для этой подсистемы. Жёсткость шин **cStiffness_Wheel** равна **7.8811200E+5 Н/м**. Измените значение жёсткости на **2.8811200E+5 Н/м** и нажмите **Enter**.
6. Перейдите на вкладку **Интегратор | Параметры моделирования** (рис. 29). В поле **Время** установите значение **101,66**. Это момент отрыва всех колёс левой стороны АТС от опрокидывающей платформы при жёсткости колёс **cStiffness_Wheel** равной **2.8811200E+5 Н/м**.
7. Перейдём к процессу моделирования. Нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом отрыва первого колеса от поверхности опрокидывающей платформы, а затем отрывом всех колёс в анимационном окне и на графике нормальных контактных сил. После окончания процесса моделирования в окне информации нажмите **ОК**.

8. В режиме паузы процесса моделирования обработайте результаты при помощи табличного процессора или по графикам, как это выполнялось в предыдущих тестах, занесите результаты в табл. 3 и сделайте вывод о влиянии жёсткости шин на поперечную статическую устойчивость АТС.

Таблица 3

Показатель	Нормативное значение	Значение показателя (жёсткость шин 7.8811200E+5 Н/м)	Значение показателя (жёсткость шин 2.8811200E+5 Н/м)
Коэффициент поперечной устойчивости q_s	–	1,059	1,059
Угол наклона опрокидывающей платформы $\alpha_{с.у}$, не менее	$\alpha_n = 41^\circ$	46,88°	
Угол крена подрессоренных масс φ , не более	$\varphi_n = 1,82^\circ$	1,42°	
Устойчивость по двум показателям		Обеспечена	

4.3. Влияние загрузки на поперечную статическую устойчивость АТС

Определим влияние загрузки АТС на его поперечную статическую устойчивость. Груз в полуприцепе модели *mercedes_benz* моделируется с помощью параллелепипеда, заполняющего всё пространство полуприцепа (рис. 32). Инерционные характеристики груза параметризованы.



Рис. 32. Модель груза в трёхосном бортовом полуприцепе

Параметр **m_Load** позволяет задать массу груза. Все предыдущие тесты выполнялись для порожнего состояния АТС, при этом масса груза **m_Load** была равна нулю. После того как параметру **m_Load** будет задано значение отличное от нуля, программа автоматически пересчитает положение центра масс модели, соответственно, изменится значение коэффициента поперечной устойчивости q_s (см. формулу (1.1)). Для того чтобы не создавать новую переменную, заранее была подготовлена конфигурация **lab_1_loaded_car**, в которой коэффициент поперечной устойчивости q_s рассчитан заново с учётом изменения высоты центра масс полуприцепа. Масса груза **m_Load** принимается равной 4000 кг, высота центра масс груза над уровнем пола полуприцепа **Z_COG_Load** составляет 1,2 м, время окончания моделирования **t = 84 с**.

Для того чтобы загрузить готовую конфигурацию, выполните следующие действия:

1. Выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_1_loaded_car** (рис. 33).

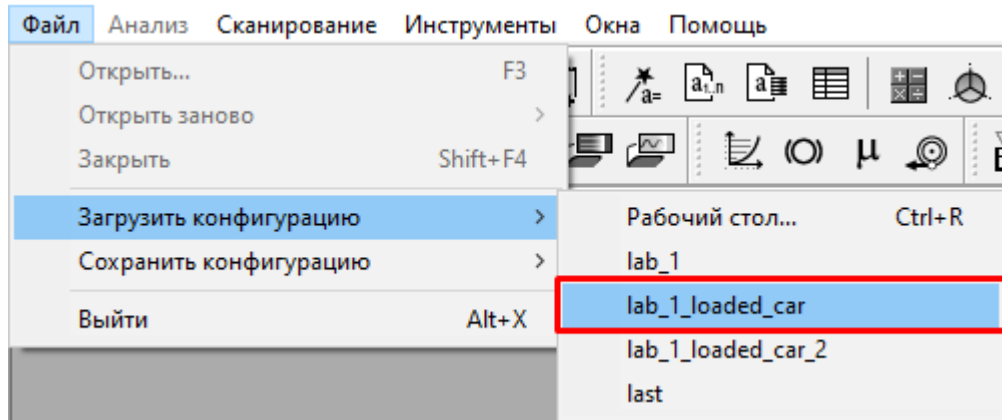


Рис. 33. Загрузка конфигурации

- Откройте окно инспектора моделирования объекта и перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов**. В выпадающем списке выберите подсистему **mercedes_benz | Trailer** и найдите параметры, показанные на рис. 34. Для описания груза используются следующие идентификаторы:

Load_X, Load_Y, Load_Z – габариты груза;

m_Load, IxxLoad, IyyLoad, IzzLoad – масса и моменты инерции груза;

X_COG_Load, Y_COG_Load, Z_COG_Load – положение центра масс груза в системе координат груза;

Load_X0, Load_Y0, Load_Z0 – положение груза в базовой системе координат СК0.

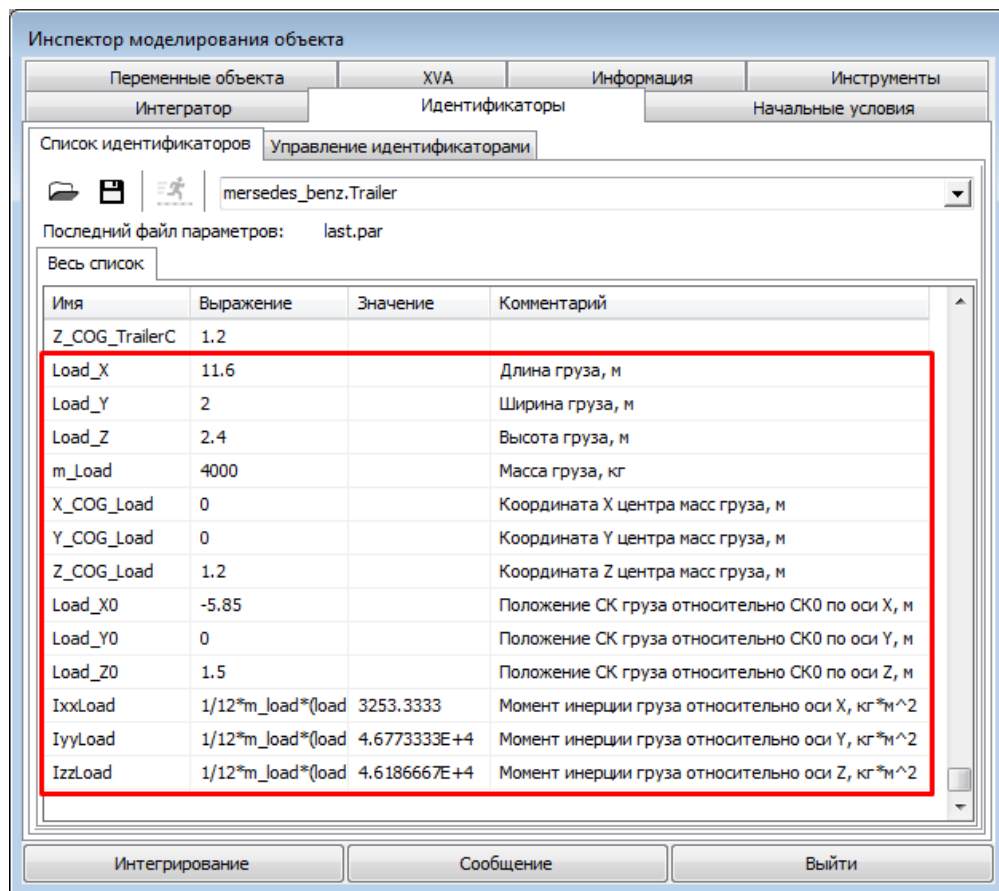


Рис. 34. Параметры, описывающие груз

В графические окна необходимо снова загрузить файлы с графиками нормативных значений угла опрокидывания α_n и предельно допустимыми значениями угла крена φ_n . Для этого повторите пп. 3-5 из п. 3.1. "Загрузка модели в UM Simulation".

3. Перейдём к процессу моделирования. С помощью пункта меню **Анализ | Моделирование** или горячей клавиши **F9** откройте окно **Инспектора моделирования объекта**. Нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом до окончания моделирования.

В режиме паузы процесса моделирования обработайте результаты при помощи табличного процессора или по графикам, как это выполнялось в предыдущих тестах. Сравните полученные значения угла крена подрессоренной массы φ_n и угла опрокидывания α_n , а также коэффициента поперечной устойчивости q_s для гружёного и порожнего состояния АТС, запишите результаты в табл. .

Таблица 4

Показатель	Нормативное значение	Значение показателя для порожнего АТС	Значение показателя для гружёного АТС
Коэффициент поперечной устойчивости q_s	–	1,059	
Угол наклона опрокидывающей платформы $\alpha_{с.у}$, не менее	$\alpha_n = 41^\circ$	46,88°	
Угол крена подрессоренных масс φ , не более	$\varphi_n = 1,82^\circ$	1,42°	
Устойчивость по двум показателям		Обеспечена	

4.4. Влияние положения центра масс АТС на поперечную статическую устойчивость

Два груза одинаковой массы могут иметь разные габариты, по-разному распределяться внутри полуприцепа. В качестве примера можно привести крупногабаритное оборудование, занимающее всё свободное пространство полуприцепа, и металлопрокат такой же массы, занимающий ограниченное пространство над полом. В первом случае высота центра масс груза над полом полуприцепа будет больше, во втором – меньше. Очевидно, что и положение центра масс всего АТС для этих вариантов будет разным.

Определим влияние положения центра масс АТС на поперечную статическую устойчивость АТС.

Для выполнения теста подготовлена конфигурация **lab_1_loaded_car_2**, в которой параметр, описывающий вертикальную координату центра масс груза **Z_COG_Load**, равен **2,1** м, при этом масса и размеры груза остались неизменными. Так же в конфигурации уже пересчитан коэффициент поперечной устойчивости q_s и задано время окончания процесса моделирования.

1. Выберите пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию | lab_1_loaded_car_2**.

Загрузите файлы с графиками нормативных значений угла опрокидывания α_n и предельно допустимыми значениями угла крена φ_n в графические окна. Для этого повторите пп. 3-5 из п. 3.1. "Загрузка модели в UM Simulation".

2. С помощью пункта меню **Анализ | Моделирование** или горячей клавиши **F9** откройте окно **Инспектора моделирования объекта**. Нажмите кнопку **Интегрирование**.

После окончания процесса моделирования обработайте результаты при помощи табличного процессора или по графикам. Сравните полученные значения угла крена поддресоренной массы φ_n и угла опрокидывания α_n , а также коэффициента поперечной устойчивости q_s для гружёного АТС при $Z_COG_Load = 1.2$ м и $Z_COG_Load = 2.1$ м. Запишите результаты в табл. .

Таблица 5

Показатель	Нормативное значение	Значение показателя (высота центра масс Z_COG_Load=1.2)	Значение показателя (высота центра масс Z_COG_Load=2.1)
Коэффициент поперечной устойчивости q_s	–		
Угол наклона опрокидывающей платформы $\alpha_{с,у}$, не менее	$\alpha_n = 41^\circ$		
Угол крена поддресоренных масс φ , не более	$\varphi_n = 1,82^\circ$		
Устойчивость по двум показателям			