



Лабораторные работы



# Определение устойчивости автотранспортного средства в критических режимах движения при испытаниях "переставка"

Лабораторная работа №4

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

Команда "Универсального механизма" благодарит за помощь в разработке методических материалов старшего преподавателя Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) кафедры ТиАМ **Демидова Леонида Владимировича**, а также старшего преподавателя кафедры "Автомобилестроение" Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) **Максима Игоревича Абрамова** и руководителя лаборатории цифровых инженерных технологий ЮУрГУ **Владимира Михайловича Дубинина** за помощь в разработке динамической модели автомобиля Урал-43206.

**Консультанты:**

Л.В. Демидов, старший преподаватель  
М.И. Абрамов, старший преподаватель  
В.М. Дубинин, инженер

**Разработчики:**

А.В. Сакало, к.т.н.  
В.А. Сак, инженер

## Подготовка к лабораторной работе

Для выполнения лабораторной работы 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.umlab.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.

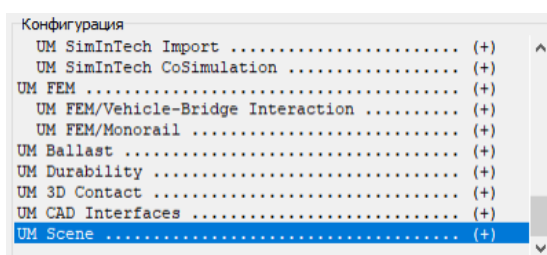


Рис. 1. Модуль UM Scene в конфигурации УМ

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 UM Scene** и нажмите кнопку **Принять**, см. рис. 2. Для дальнейшей работы программу **UM Simulation** требуется перезапустить.

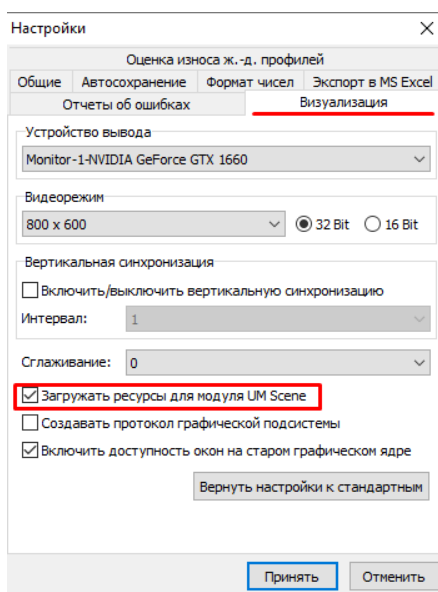


Рис. 2. Настройка визуализации

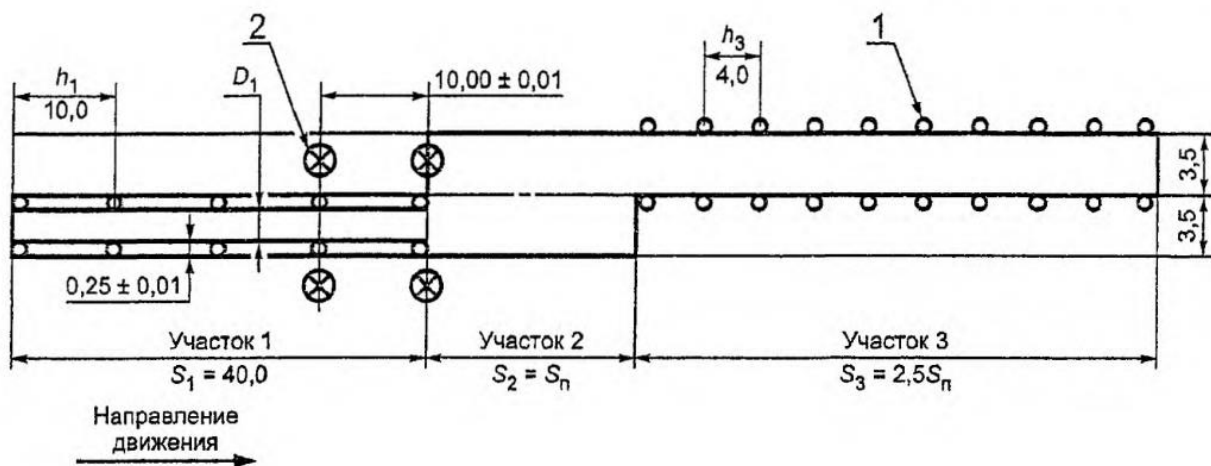
**Оглавление**

<b>1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>8</b>
<b>3. ЗАГРУЗКА МОДЕЛИ В UM SIMULATION .....</b>	<b>10</b>
<b>4. ОЦЕНКА АТС ПО НОРМАТИВНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТЕСТА "ПЕРЕСТАВКА СП=20 М" .....</b>	<b>13</b>
<b>5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ МАНЕВРА <math>v_{M'}</math> ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТЕСТА "ПЕРЕСТАВКА СП=20 М" .....</b>	<b>20</b>
<b>6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ МАНЕВРА <math>v_{M'}</math> ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТЕСТА "ПЕРЕСТАВКА СП=16 М" .....</b>	<b>25</b>
<b>7. ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС АТС НА ПОКАЗАТЕЛИ УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ В КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ.....</b>	<b>26</b>

# 1. Основные теоретические сведения

Согласно ГОСТ 31507-2012 тесты "переставка  $S_{\Pi}=16$  м" и "переставка  $S_{\Pi}=20$  м" для автотранспортного средства (АТС) проводят с целью определения показателей, характеризующих его управляемость и устойчивость в критических режимах движения. При выполнении теста определяют максимальную скорость маневра (далее – скорость маневра  $v'_M$ ) при смене полосы движения на ограниченном участке пути. Требования распространяются на АТС категорий М, N, и О (категории О – в составе поезда).

Разметку участков для испытаний осуществляют в соответствии со схемой на рис. 3.



- 1 – вертикальные ограничители разметки коридоров движения;
- 2 – датчики измерения скорости;
- $h_1$  – шаг установки вертикальных ограничителей на участке 1;
- $h_3$  – шаг установки вертикальных ограничителей на участке 3;
- $D_1$  – ширина коридора на участке 1;

Точность разметки коридора на участках 1 и 3 ...  $\pm 0,05$  м.

Рис. 3. Разметка участка испытаний "переставка  $S_{\Pi}=16$  м" и "переставка  $S_{\Pi}=35$  м"

Ширина  $D_1$  коридора участка 1 для испытаний приведена в табл. 1 в зависимости от максимальной ширины АТС, измеренной на высоте от 0 до 150 мм от опорной поверхности.

Таблица 1

Максимальная ширина АТС	До 1,3	Св. 1,3 до 1,5	Св. 1,5 до 1,7	Св. 1,7 до 1,9	Св. 1,9 до 2,1	Св. 2,1 до 2,3	Св. 2,3 до 2,5	Св. 2,5
Ширина входного коридора $D_1$	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	Дополнительно 0,5 к максимальной ширине АТС

При испытаниях "переставка  $S_{п}=16$  м" и "переставка  $S_{п}=20$  м" выполняют заданный разметкой маневр при постепенном увеличении скорости от заезда к заезду.

АТС вводят в режим равномерного прямолинейного движения. При пересечении передними колесами АТС границы между участками 1 и 2 размеченного коридора водитель быстро снимает ногу с педали газа и начинает выполнение маневра.

При выполнении маневра не должны возникать незатухающие курсовые колебания у АТС всех категорий.

Скорость маневра  $v'_м$  АТС при выполнении принимают ту, при которой не было выхода за пределы разметки или отрыва одного из колес АТС от поверхности дороги.

Согласно ГОСТ 31507-2012 величина  $v'_м$  при прохождении теста "переставка  $S_{п}=20$  м" не должна быть ниже нормативных значений  $v_м$ , представленных в табл. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Таблица 2

Категория АТС	$M_1$	$M_1^*$	$M_1^{**}$	Автопоезда $M_1$ с прицепом
$v_м$ , км/ч	83	76	74	69

Продолжение таблицы 2

Категория АТС	$M_2$	$M_3^{***}$		
		Габаритная длина, м		
		до 8	от 8 до 12	св. 12
$v_м$ , км/ч	71	63	56	52

Продолжение таблицы 2

Категория АТС	$N_1$	$N_1^{**}$	$N_2$
$v_м$ , км/ч	70	66	59

Продолжение таблицы 2

Категория АТС	$N_3$	$N_3$	Седельные автопоезда $N_2$
	Полная масса до 20 т	Полная масса св. 20 т	
$v_м$ , км/ч	56	54	48

Окончание таблицы 2

Категория АТС	Автопоезда $N_2$ с прицепом	Седельные автопоезда $N_3$	Автопоезда $N_3$ с прицепом
$v_м$ , км/ч	47	52	50

\* Легковые автомобили с числом посадочных мест свыше 5 (включая водителя) и (или) полной массой свыше 2,2 т.

\*\* АТС повышенной проходимости.

\*\*\* В т.ч. сочлененные автобусы.

Согласно ГОСТ 31507-2012 величина  $v'_M$  при прохождении теста "переставка  $S_{II}=16$  м" не должна быть ниже нормативных значений, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Категория АТС	$M_1$	$M_1^*$	$M_1^{**}$	Автопоезда $M_1$ с прицепом
$v_M$ , км/ч	70	65	62	59

Продолжение таблицы 3

Категория АТС	$M_2$	$M_3^{***}$		
		Габаритная длина, м		
		до 8	от 8 до 12	св. 12
$v_M$ , км/ч	59	53	48	42

Продолжение таблицы 3

Категория АТС	$N_1$	$N_1^{**}$	$N_2$
$v_M$ , км/ч	59	56	49

Продолжение таблицы 3

Категория АТС	$N_3$	$N_3$	Седельные автопоезда $N_2$
	Полная масса до 20 т	Полная масса св. 20 т	
$v_M$ , км/ч	46	44	42

Окончание таблицы 3

Категория АТС	Автопоезда $N_2$ с прицепом	Седельные автопоезда $N_3$	Автопоезда $N_3$ с прицепом
$v_M$ , км/ч	41	44	43

\* Легковые автомобили с числом посадочных мест свыше пяти (включая водителя) и (или) полной массой свыше 2,2 т.

\*\* АТС повышенной проходимости.

\*\*\* В т.ч. сочлененные автобусы.

Обозначения скоростей:

$v'_M$  – скорость маневра, км/ч;

$v_M$  – нормативное значение скорости АТС, км/ч;

$v_0$  – начальная скорость АТС, км/ч;

$v$  – скорость АТС при входе в поворот, км/ч.

## 2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа ориентирована на студентов автомобильного направления с целью ознакомления с современными подходами к проведению виртуальных экспериментов. Моделирование будет выполняться в программном комплексе "Универсальный механизм" (ПК УМ). Универсальный механизм состоит из двух частей: программы ввода **UM Input** и программы моделирования **UM Simulation**. В программе ввода создается динамическая модель, а в программе моделирования производятся расчёты. В данной лабораторной работе не рассматриваются принципы создания динамической модели и её структура, а используется готовая модель со всеми настройками.

**Цель работы:** определение максимальной скорости АТС при выполнении маневра смены полосы движения на ограниченном участке пути при испытаниях "переставка  $S_{п}=16$  м" и "переставка  $S_{п}=20$  м" в ПК УМ и исследование факторов, влияющих на устойчивость АТС в критических режимах движения.

В лабораторной работе будем использовать прототип двухосного бортового автомобиля *Урал-43206* (рис. 4).

Все основные характеристики модели параметризованы. Недостающие элементы автомобиля описаны в модели точечными массами. Грузоподъёмность автомобиля составляет **12190 кг**, соответственно АТС относится к категории  $N_3$  (транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу более 12 тонн).

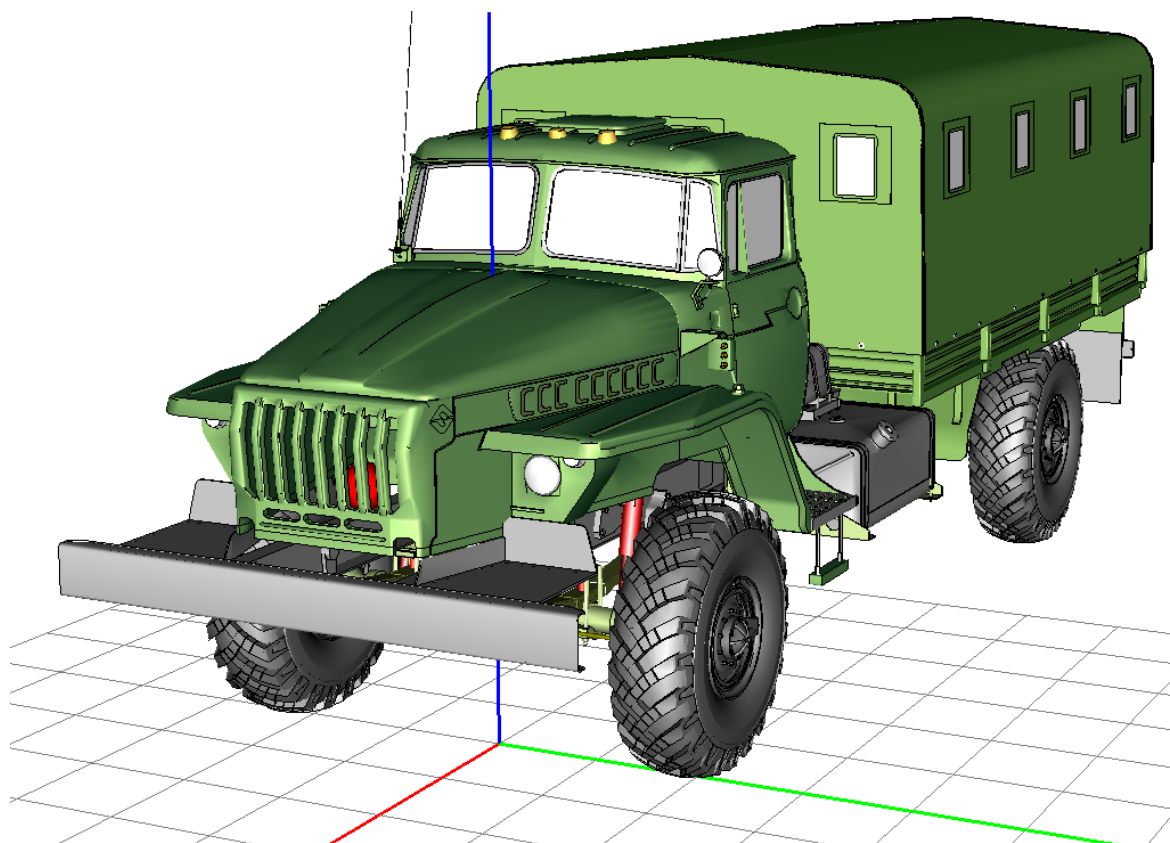


Рис. 4. Общий вид модели двухосного бортового автомобиля *ural\_43206* в программе ввода **UM Input**

Расположение файлов модели двухосного бортового автомобиля зависит от версии установленного на вашем компьютере ПК УМ:

– УМ 2023 (УМ 10), готовую модель можно найти в папке

[{Данные УМ}\samples\Automotive\ural\\_43206](#)

– УМ 9, готовую модель можно скачать по адресу

[http://www.universalmechanism.com/download/models/ural\\_43206.zip](http://www.universalmechanism.com/download/models/ural_43206.zip)

Для версий УМ, предшествующих девятой, модель недоступна.

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

### 3. Загрузка модели в UM Simulation

Запустите программу моделирования **UM Simulation** и откройте модель грузового автомобиля. 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**. После этого откроется модель двухосного бортового автомобиля.

Для выполнения расчётов необходимо сделать предварительные настройки: найти положение равновесия модели, открыть графические окна, создать переменные и разместить их в графических окнах. 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\_4\_s20** (рис. 5).

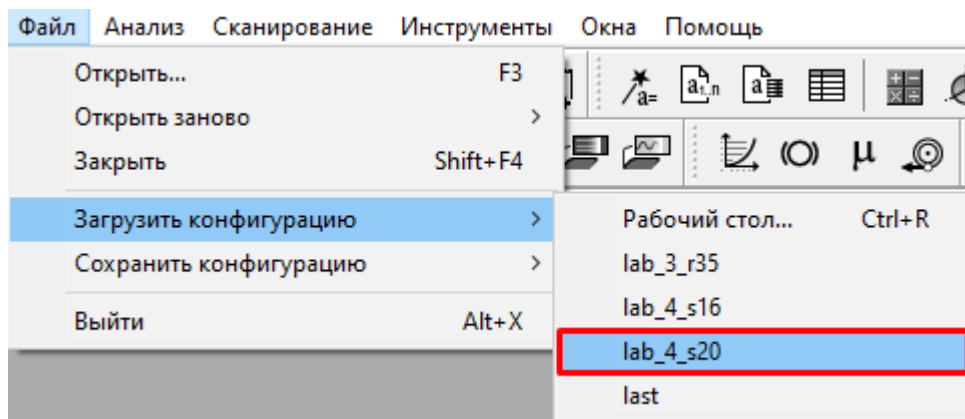


Рис. 5. Загрузка подготовленной конфигурации

На экране появятся три графических и одно анимационное окно. В анимационном окне отображается модель грузового автомобиля на полигоне с разметкой из дорожных конусов коридора (рис. 6). Список векторов и траекторий в верхней части анимационного окна содержит траектории крайних точек передних  $r:v(\text{Wheel\_FR})$ ,  $r:v(\text{Wheel\_FL})$  и задних  $r:v(\text{Wheel\_RR})$ ,  $r:v(\text{Wheel\_RL})$  колес, а также траектории крайней левой  $r:v(\text{Cabin\_L})$  и крайней правой  $r:v(\text{Cabin\_R})$  точек кабины, траектории крайней левой точки  $r:v(\text{Body\_L})$  и крайней правой  $r:v(\text{Body\_R})$  точек на кузове. Траектории этих точек будут отображаться в анимационном окне во время моделирования. По ним мы будем отслеживать их пересечение с дорожными конусами, контролируя максимальное отклонение грузового автомобиля от заданной траектории.

В графических окнах *"Вертикальные силы в передних колесах АТС"* (рис. 7) и *"Вертикальные силы в задних колесах АТС"* (рис. 8) будут отображаться динамические вертикальные силы, возникающие в контакте между колесами и дорогой.

В графическом окне *"Путь, пройденный АТС с начала момента движения"* будет отображаться скорость автомобиля в зависимости от пройденного пути (рис. 9).

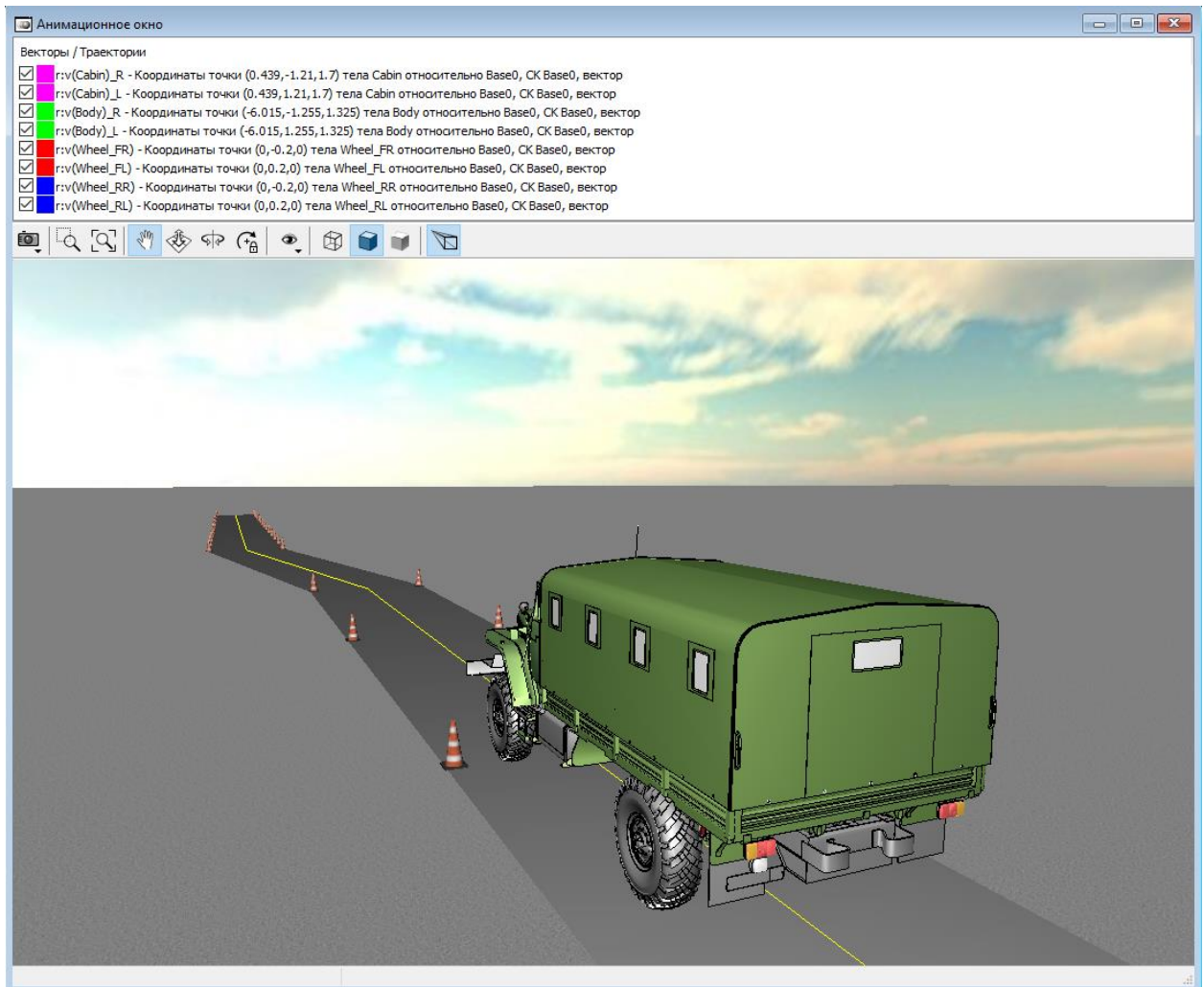


Рис. 6. Анимационное окно

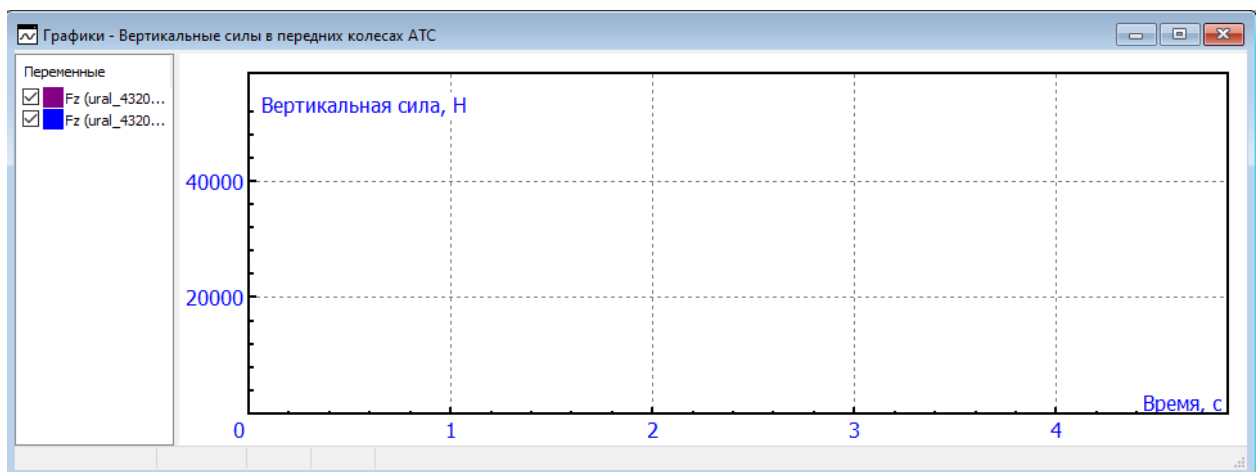


Рис. 7. Окно для построения графиков вертикальных сил в передних колесах АТС

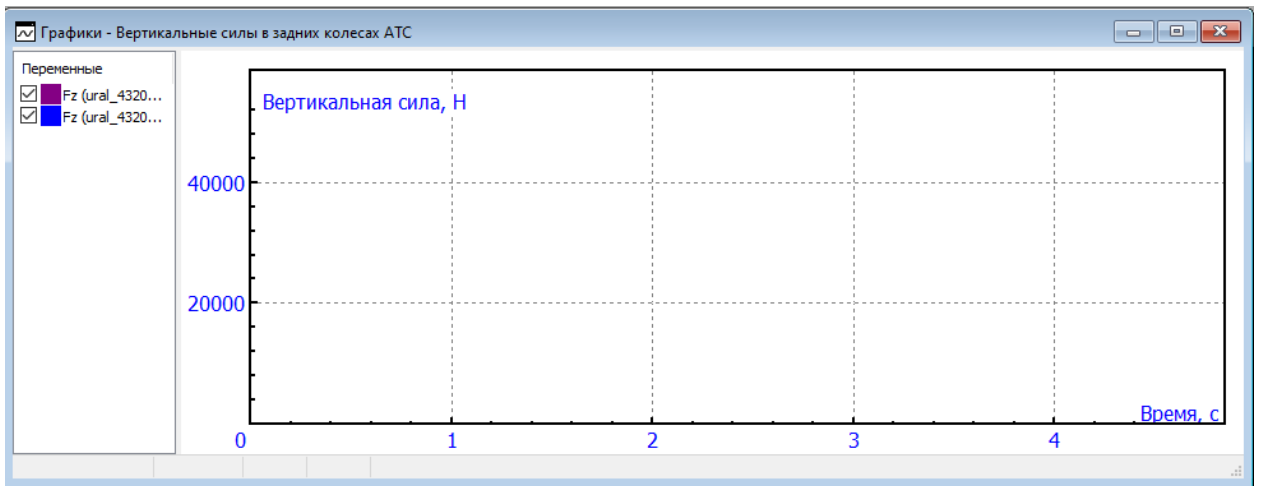


Рис. 8. Окно для построения графиков вертикальных сил в задних колесах АТС

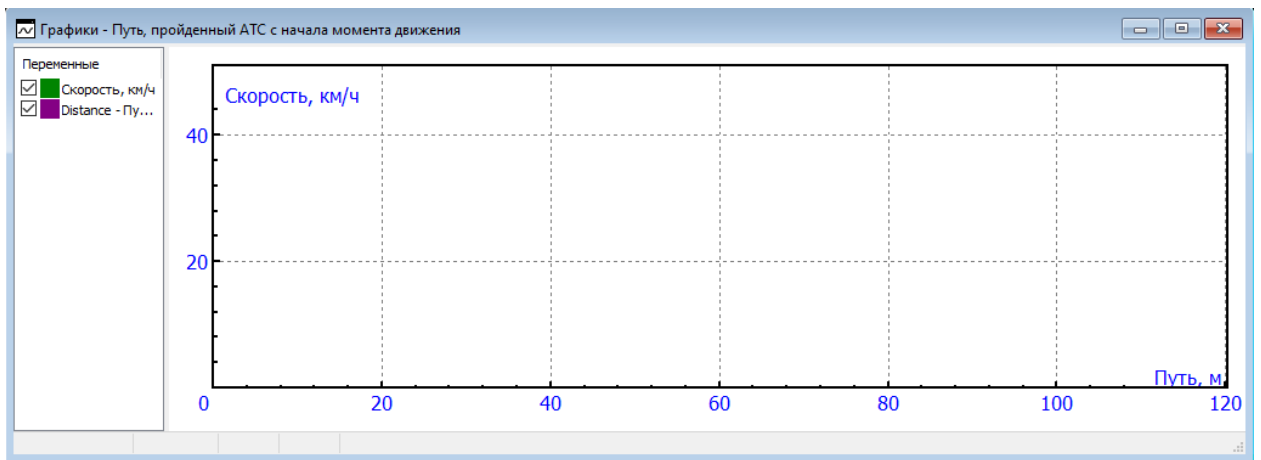


Рис. 9. Окно для построения скорости АТС в зависимости от пройденного пути

## 4. Оценка АТС по нормативным значениям при прохождении теста "переставка $S_{\Pi}=20$ м"

Прежде чем перейти к определению скорости маневра  $v'_M$  необходимо убедиться, что АТС проходит тест при нормативном значении  $v_M$ . Так как автомобиль относится к категории  $N_3$ , то по табл. 2 нормативная скорость  $v_M$  для прохождения теста составляет **56 км/ч**.

В соответствии с ГОСТ 31507-2012 при пересечении колесами АТС границы между участками 1 и 2 размеченного коридора (см. рис. 3) водитель должен быстро снять ногу с педали газа и начать выполнять маневр. Чтобы это учесть, для теста выбран режим продольного движения **выбег** (см. рис. 10). В данном режиме начальная скорость  $v_0$  задается идентификатором  $v_0$ , а в процессе движения скорость падает за счет сил сопротивления. Для выполнения маневра выбран тест "Тест с водителем", см. рис. 10. Более подробное описание теста можно найти в [Главе 12](#) в п.12.9.2.7 "Тест с пилотом".

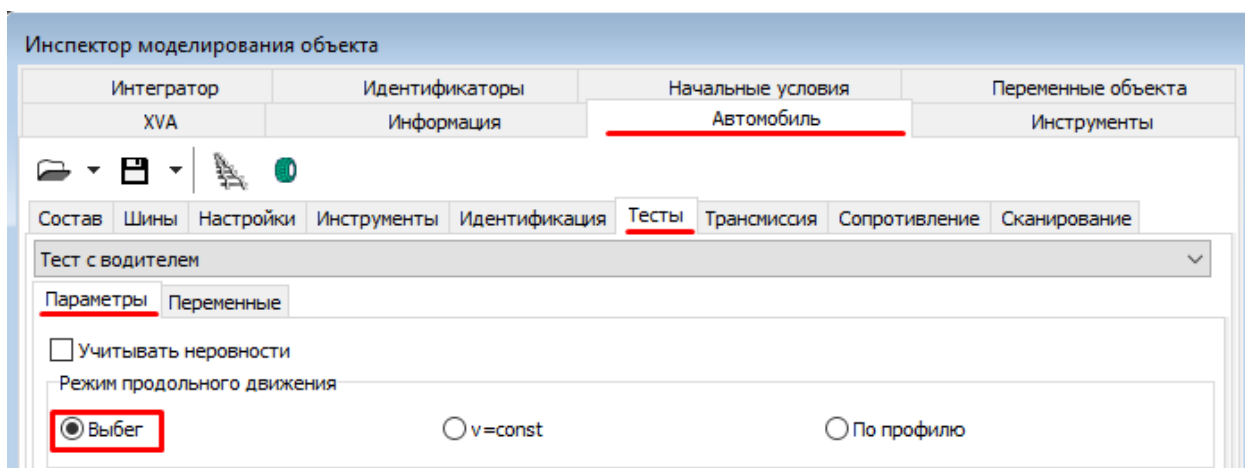


Рис. 10. Настройка режима продольного движения

Параметры теста настроены так, что расстояние от передних колес АТС до границы между участками 1 и 2 составляет 20 м, следовательно, начальную скорость  $v_0$  для модели нужно подобрать такую, чтобы при входе в поворот скорость  $v$  составляла **56 км/ч**.

В этой лабораторной работе для задания скорости будем использовать единицы 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 (рис. 11).

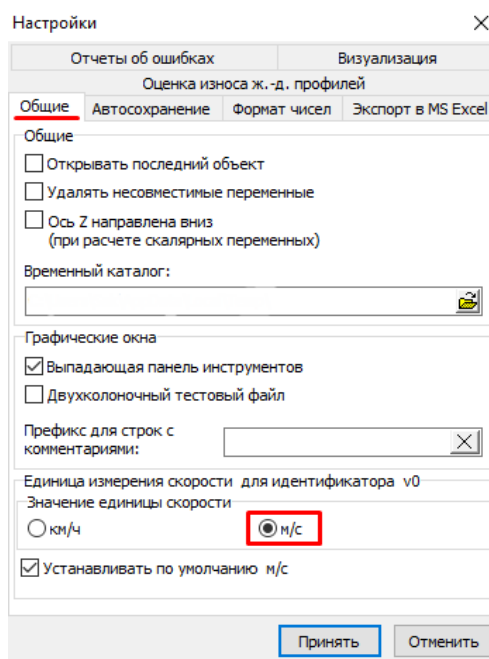



Рис. 11. Окно настроек

С помощью пункта меню **Анализ | Моделирование** или кнопки **Моделирование**  откройте окно **Инспектора моделирования объекта** и в появившемся окне перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список**. Параметр модели  $v_0$  должен быть равен **15,7 м/с (56,5 км/ч)** (рис. 12).

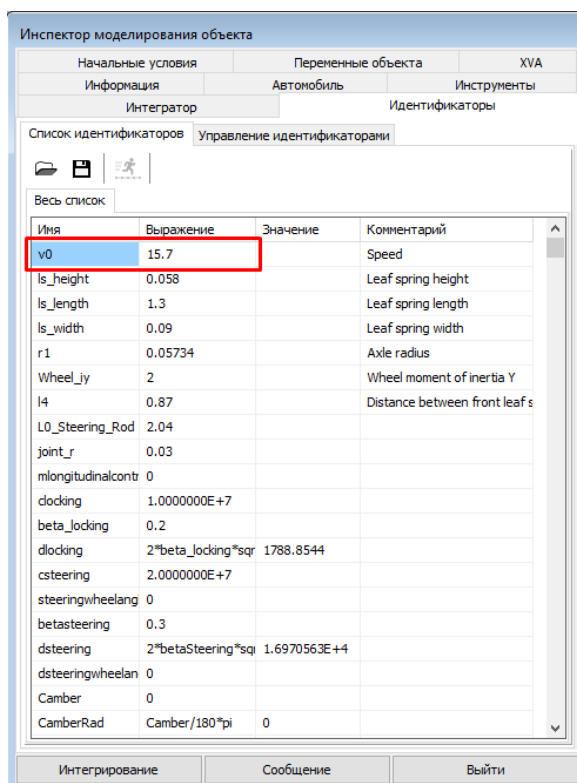


Рис. 12. Окно инспектора моделирования объекта

Теперь перейдем к выполнению теста. Для этого в окне **Инспектора моделирования объекта** нажмите кнопку **Интегрирование** (рис. 12). После этого начнется процесс моделирования. В анимационном окне грузовой автомобиль начнет движение, в окне также будут отображаться траектории движения выведенных крайних точек АТС. В графических окнах начнется построение графиков для переменных.

После окончания процесса моделирования в появившемся окне **Информация** нажмите **ОК** (рис. 13). Программа перейдет в режим паузы процесса моделирования.

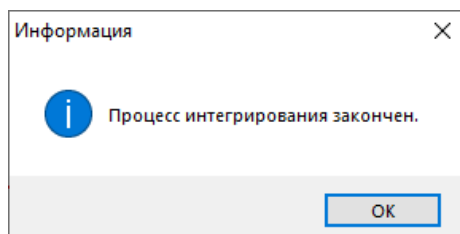


Рис. 13. Окно информации о завершении процесса интегрирования

Перейдем к анализу результатов. Убедимся, что скорость АТС при смене полосы  $v$  составляет 56 км/ч. Перейдем в графическое окно *"Путь, пройденный АТС с начала момента движения"* и оценим скорость автомобиля в момент пройденного пути, равного 20 м. Приблизьте график и наведите на него курсор мыши при значении оси абсцисс, равной 20 (рис. 14). В левом нижнем углу графика отобразятся значения скалываемой точки. Значение ординаты равняется **55,94 км/ч**, принимаем равным **56 км/ч**.

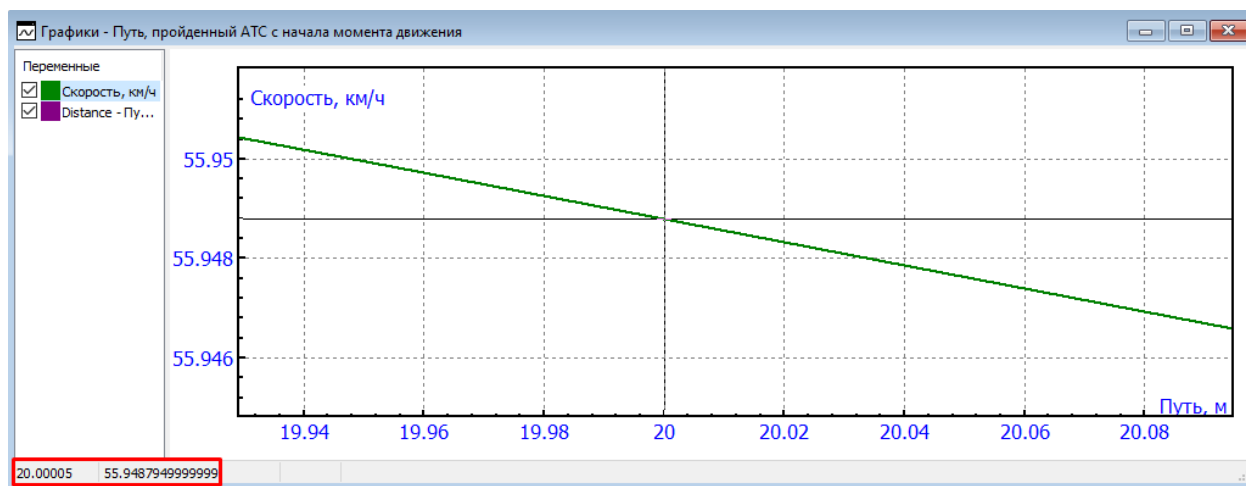


Рис. 14. Определение скорости АТС при смене полосы при начальной скорости 56,5 км/ч

Теперь перейдем к оценке результатов теста. Первым критерием оценки результатов является проезд АТС в рамках размеченного дорожными конусами коридора. Для того чтобы визуально оценить пересечение выведенных в анимационное окно траекторий крайних левых точек АТС с дорожными конусами, необходимо выполнить некоторые настройки анимационного окна. На панели инструментов отключите **Режим перспективы** (рис. 15). Это необходимо для того, чтобы не было искажения изображения на плоскости проекций.

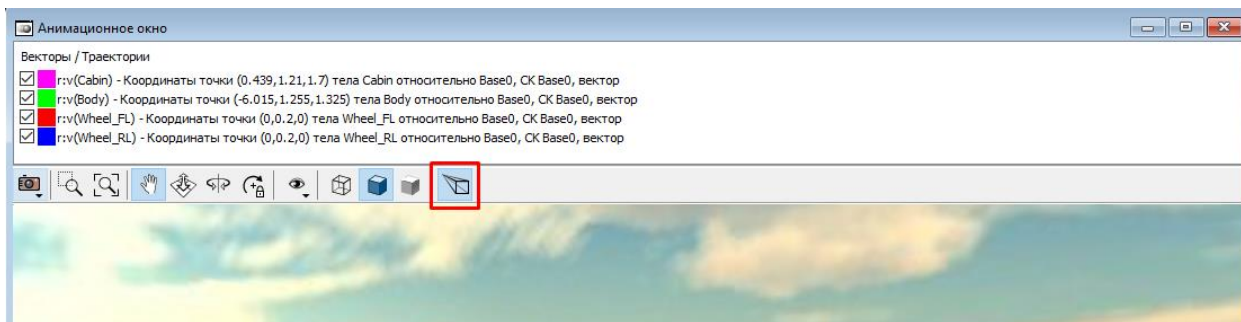





Рис. 15. Отключение перспективы в анимационном окне

После этого нажмите кнопку **Ориентация**  и в выпадающем списке выберите **Сверху** или нажмите комбинацию клавиш **Ctrl+F5** (рис. 16). После этого убедитесь, что в анимационном окне активна кнопка **Перенос**  (рис. 16). Если будет активна кнопка **Поворот** , то после ее применения ориентацию изображения в анимационном окне нужно будет настраивать заново. После настроек анимационного окна приближая или удаляя изображение колесиком мыши и перетаскивая изображение в окне левой кнопкой мыши проверьте весь пройденный путь автомобилем на пересечение траекторий крайних левых точек АТС с дорожными конусами (рис. 17).

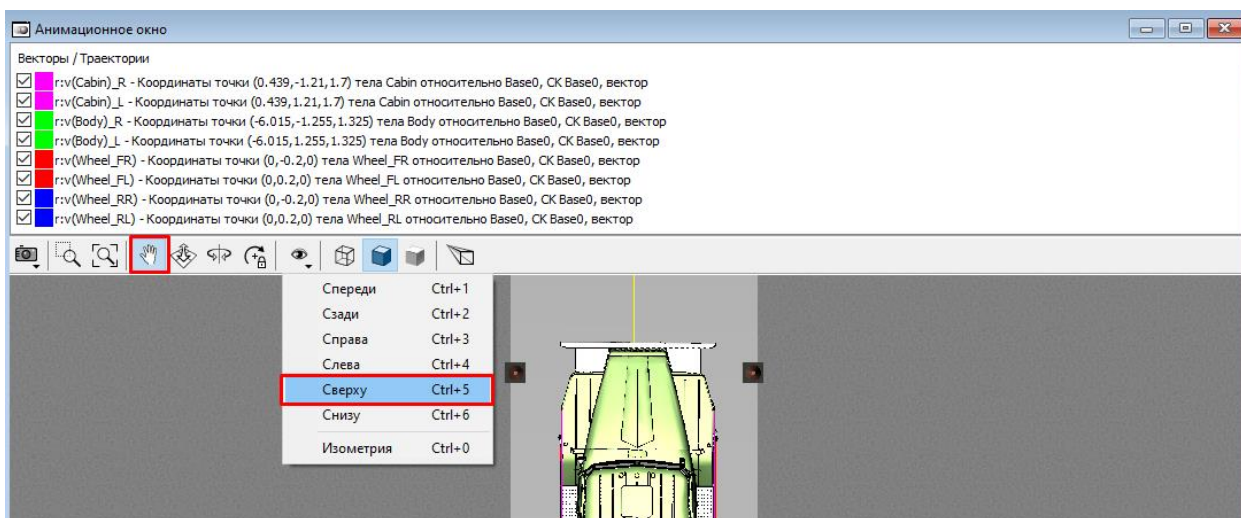
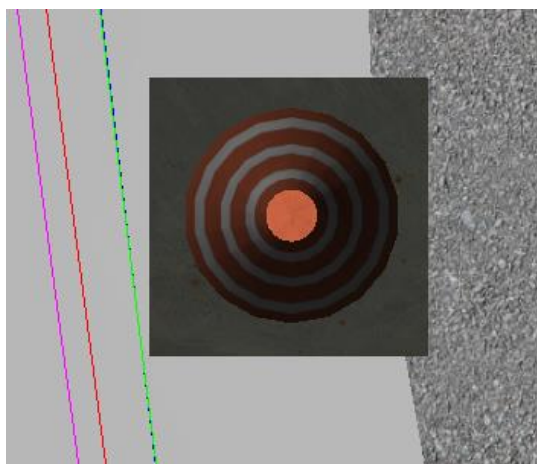
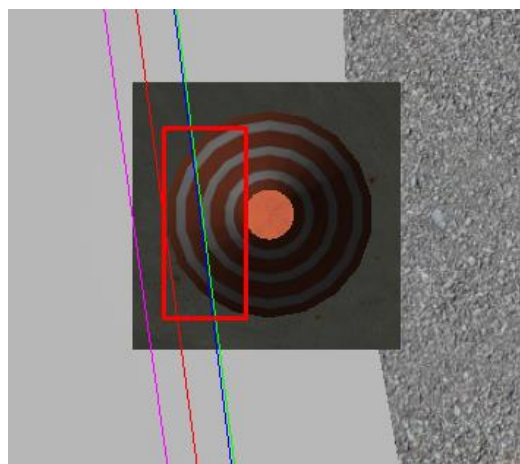


Рис. 16. Выбор ориентации изображения



Нет пересечения с дорожным конусом



Есть пересечение с дорожным конусом

Рис. 17 Визуальное определение пересечения траекторий крайних точек АТС с изображениями дорожных конусов

По результатам исследования траектории крайних точек АТС не пересекают дорожные конусы, следовательно, *при прохождении теста Ural\_43206 не вышел за пределы разметки.*

Вторым критерием оценки результатов является отсутствие отрыва одного из колес АТС от поверхности дороги. Результаты нормальных сил, возникающих в контакте между колесом и дорогой, показаны на рис. 18 и рис. 19.

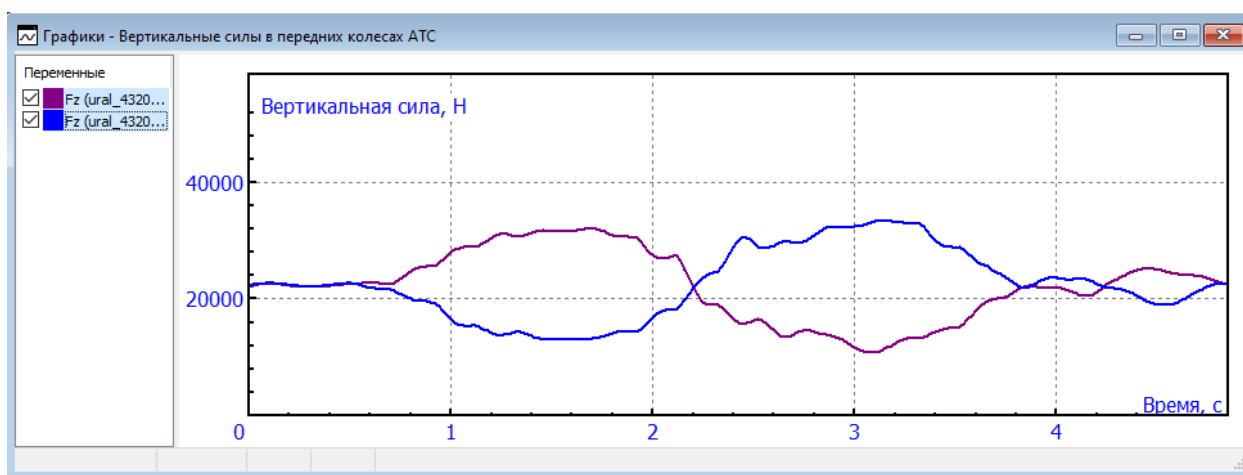


Рис. 18. Нормальные силы, возникающие в передних колесах при входе в поворот при скорости 56 км/ч

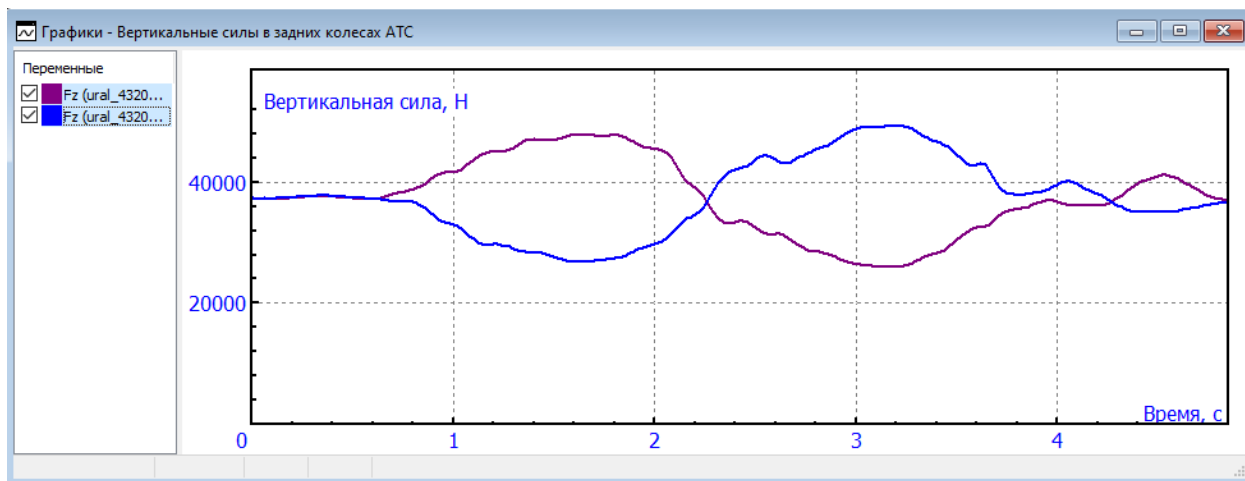



Рис. 19. Нормальные силы, возникающие в задних колесах при входе в поворот при скорости 56 км/ч

Оценим значения нормальных сил в колесах 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 (рис. 20).
2. В графическом окне *"Вертикальные силы в передних колесах АТС"* выделите переменные и перетащите их с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. В левой части окна табличного процессора выберите функционал **Min** (рис. 20), который определяет минимальное значение ординаты. Как мы видим, минимальное значение у переднего правого колеса **Tire\_FR**, которое составляет **12137,5 Н (FR – Front Right, переднее правое)**.
3. В графическом окне *"Вертикальные силы в задних колесах АТС"* выделите переменные и перетащите их с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. Как мы видим, минимальное значение у переднего правого колеса **Tire\_RL**, которое составляет **26682,2 Н (RL – Rear Left, заднее левое)**.
4. Минимальные значения вертикальных сил в передних и задних колесах отлично от нуля, следовательно, *при прохождении маневра не произошло отрыва ни одного из колес АТС от поверхности дороги.*

Таким образом, можно сделать вывод, что двухосный бортовой автомобиль Урал-43206 согласно ГОСТ 31507–2012 проходит тест "переставка  $S_{\Pi}=20$  м" по нормативному значению скорости  $v_m$  и соответствует требованиям оценки результатов теста.

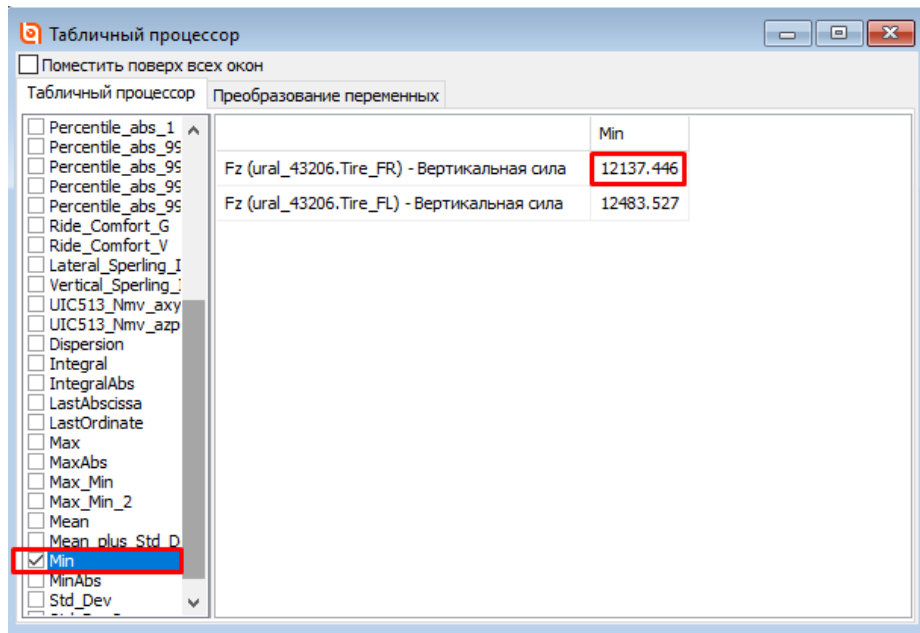


Рис. 20. Определение минимальной вертикальной силы в правых колесах АТС при помощи табличного процессора

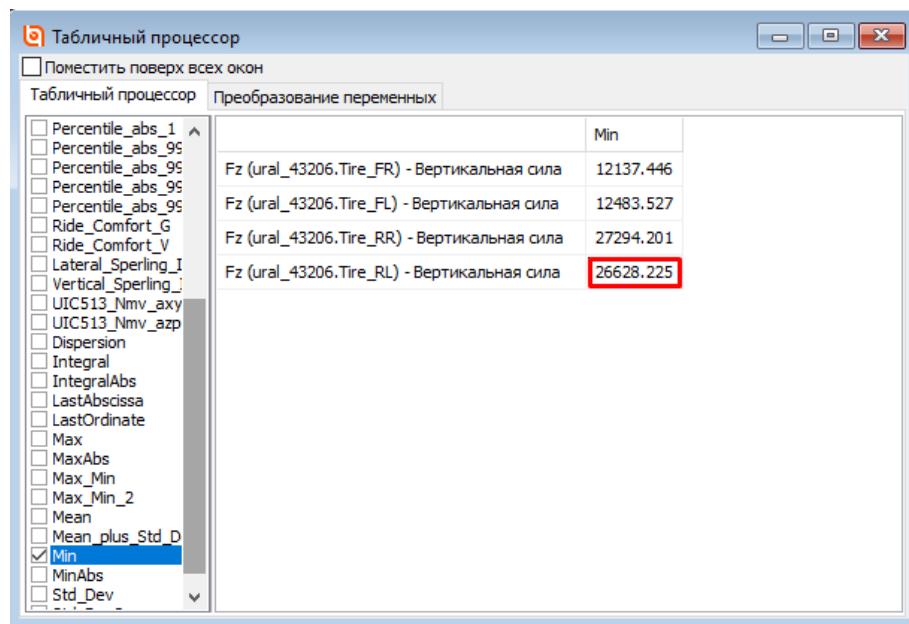


Рис. 21. Определение минимальной вертикальной силы в левых колесах АТС при помощи табличного процессора

## 5. Определение скорости маневра $v'_m$ при прохождении теста "переставка $S_{\Pi}=20$ м"

Путем постепенного увеличения скорости определим скорость маневра  $v'_m$ , при которой отсутствует отрыв колес от поверхности и не наблюдается выход АТС за пределы разметки.

1. Перейдите в окно **Режима паузы процесса моделирования** и нажмите кнопку **Прервать**.
2. Увеличим начальную скорость АТС  $v_0$  до **61,5 км/ч**. Вернитесь в окно **Инспектора моделирования объекта**. На вкладке **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список** установите значение параметра  $v_0$ , равное **17,08 м/с**.
3. Запустите интегрирование. По окончании моделирования перейдите в **Режим паузы процесса моделирования**.
4. Определим скорость АТС при смене полосы  $v$ . Перейдите на график "*Путь, пройденный АТС с начала момента движения*" и определите скорость при значении абсциссы, равной 20, как это делали в п.4 "*Оценка АТС по нормативным значениям при прохождении теста "переставка  $S_{\Pi}=20$  м"*". Скорость  $v$  составляет **61 км/ч** (рис. 22).

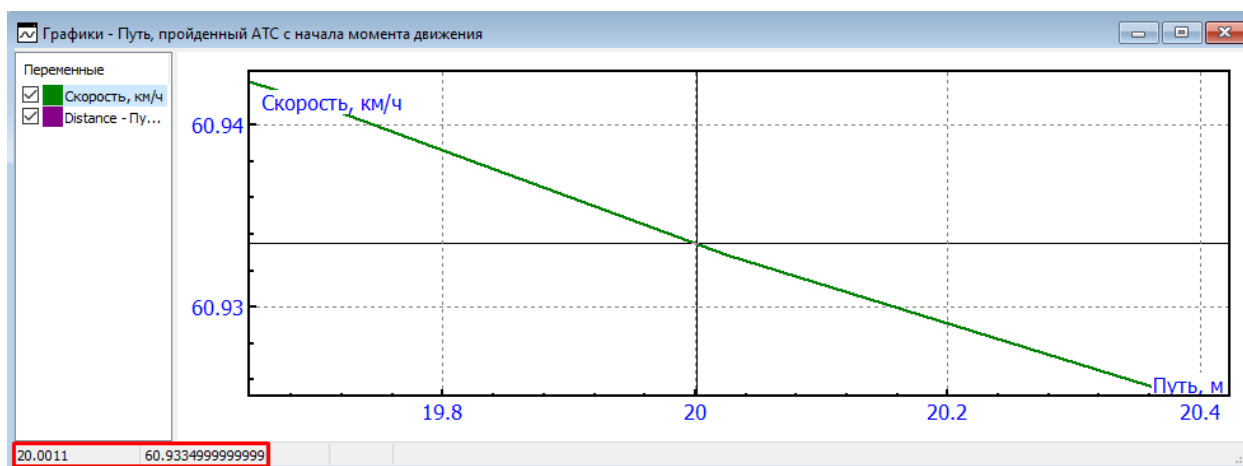



Рис. 22. Определение скорости при смене полосы при начальной скорости 61,5 км/ч

5. Перейдем в анимационное окно и определим, есть ли выход АТС за пределы разметки из дорожных конусов. *Пересечения траекторий крайних левых точек АТС с дорожными конусами отсутствуют.*
6. Определим минимальные значения нормальных сил в колесах. Воспользуемся встроенным табличным процессором для переменных. Выберите пункт меню **Инструменты | Табличный процессор** или на панели быстрого доступа нажмите кнопку **Табличный процессор** , либо воспользуйтесь ранее открытым табличным процессором.
5. В графическом окне "*Вертикальные силы в передних колесах АТС*" выделите переменные и перетащите их с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. В левой части окна табличного процессора выберите функционал **Min** (рис. 23),

- который определяет минимальное значение ординаты. Как мы видим, минимальное значение у переднего правого колеса **Tire\_FR**, которое составляет **10803,485 Н**.
6. В графическом окне "Вертикальные силы в задних колесах АТС" выделите переменные и перетащите их с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора. Как мы видим, минимальное значение у переднего правого колеса **Tire\_RL**, которое составляет **25496 Н (RR – Rear Left, заднее левое)**, см. рис. 24.
  7. Минимальные значения вертикальных сил в передних и задних колесах отлично от нуля, следовательно, *при прохождении маневра не произошло отрыва ни одного из колес АТС от поверхности дороги.*

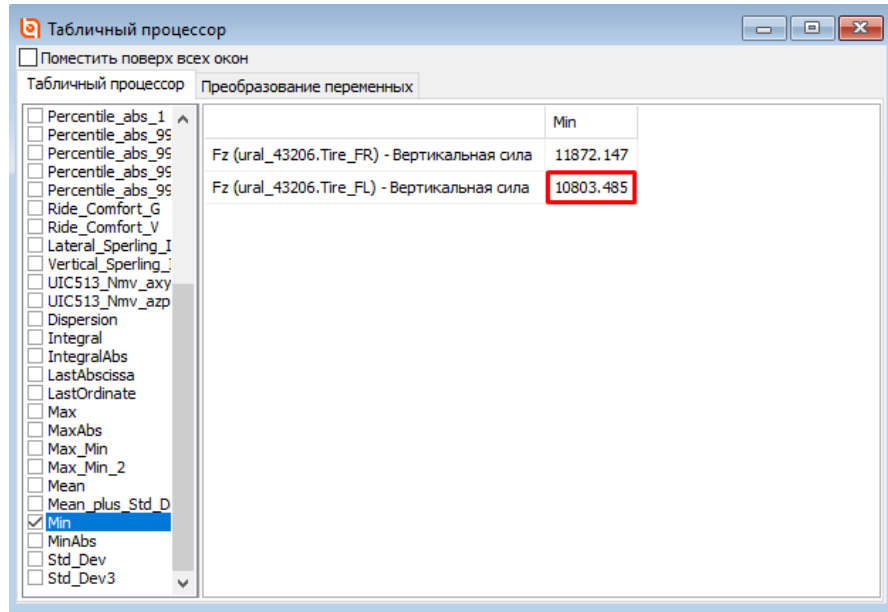


Рис. 23. Определение минимальной вертикальной силы в передних колесах АТС при помощи табличного процессора

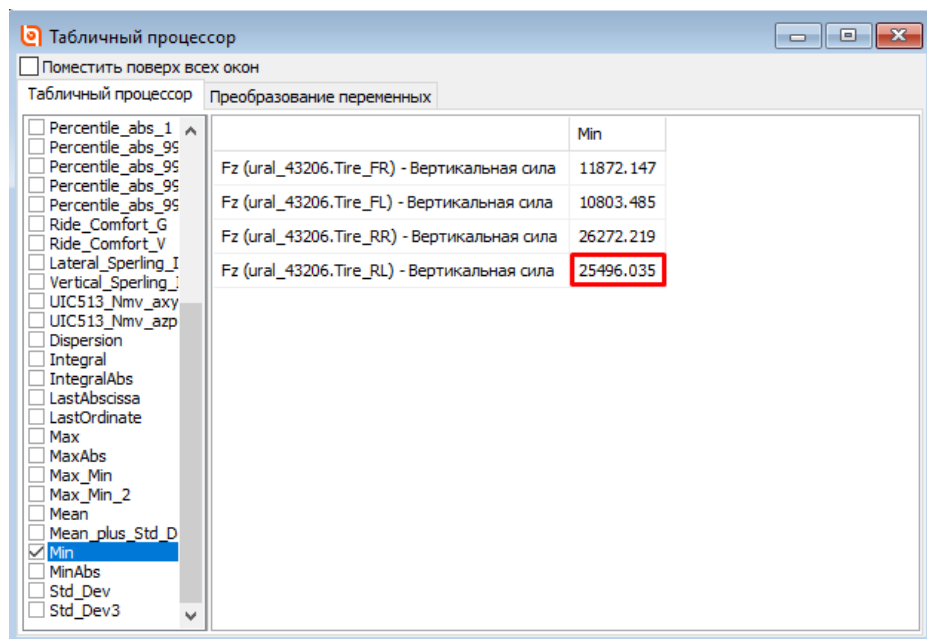


Рис. 24. Определение минимальной вертикальной силы в задних колесах АТС при помощи табличного процессора

АТС при прохождении теста "переставка  $S_{п}=20$  м" прошло по двум критериям, следовательно, *автомобиль Урал-43206 проходит маневр при скорости при смене полосы  $v$  61 км/ч.*

7. Увеличим начальную скорость АТС  $v_0$  до **62,5 км/ч**. Перейдите в окно **Режима паузы процесса моделирования** и нажмите кнопку **Прервать**.
8. Вернитесь в окно **Инспектора моделирования объекта**. На вкладке вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список** установите значение параметра  $v_0$  равное **17,36 м/с**.
9. Запустите интегрирование. По окончании моделирования перейдите в **Режим паузы процесса моделирования**.
10. Определим скорость АТС при входе в поворот  $v$ . Перейдите на график "*Путь, пройденный АТС с начала момента движения*" и определите скорость при значении абсциссы, равной 20. Скорость АТС при входе в поворот  $v$  составляет **62 км/ч**.
11. Перейдем в анимационное окно и определим, есть ли выход АТС за пределы коридора из дорожных конусов. Считая от начала движения АТС, траектория крайней правой точки кузова **r:v(Body)\_R** пересекает первый правый конус после смены полосы движения (рис. 25), следовательно, *АТС в ходе прохождения маневра смены полосы при скорости  $v$ , равной 62 км/ч, выходит за пределы коридора из дорожных конусов.*

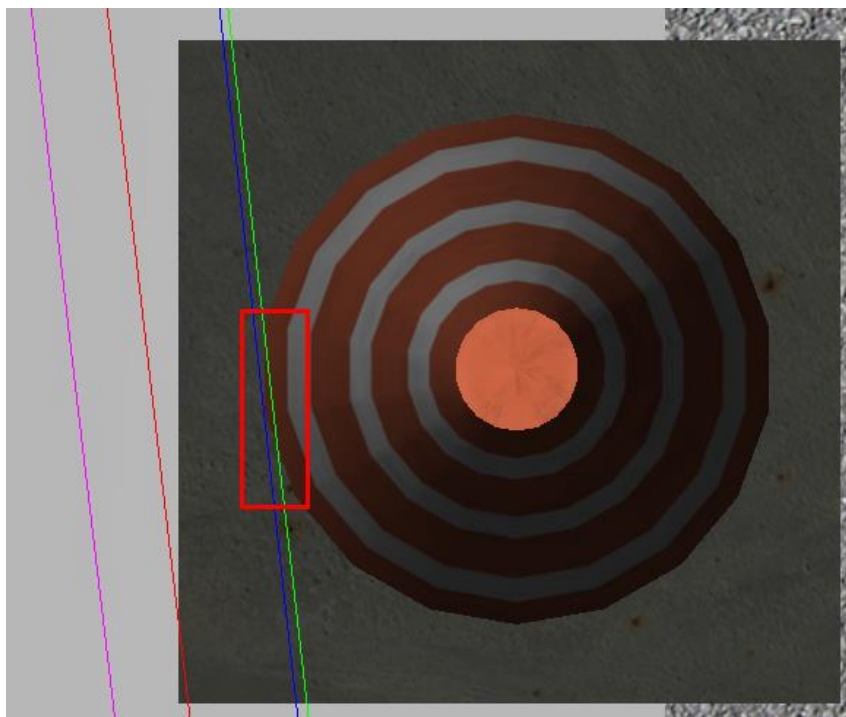


Рис. 25. Пересечение траекторий крайней правой точкой кузова **r:v(Body)** дорожного конуса

Определим минимальные значения нормальных сил в колесах. Воспользуемся встроенным табличным процессором для переменных. Откройте новый табличный процессор или очистите ранее открытый табличный процессор и перетащите в него переменные из графического окна "*Вертикальные силы в передних колесах АТС*". Выберите функционал **Min**. Минимальное значение у переднего левого колеса **Tire\_FL** составило **10549,3 Н**

(рис. 26). Перетащите в табличный процессор переменные из графического окна "Вертикальные силы в задних колесах АТС". Минимальное значение у заднего левого колеса **Tire\_RL** составило **25320,6 Н** (рис. 27).

Минимальные значения вертикальных сил в передних и задних колесах отличны от нуля, следовательно, *при прохождении маневра не произошло отрыва ни одного из колес АТС от поверхности дороги.*

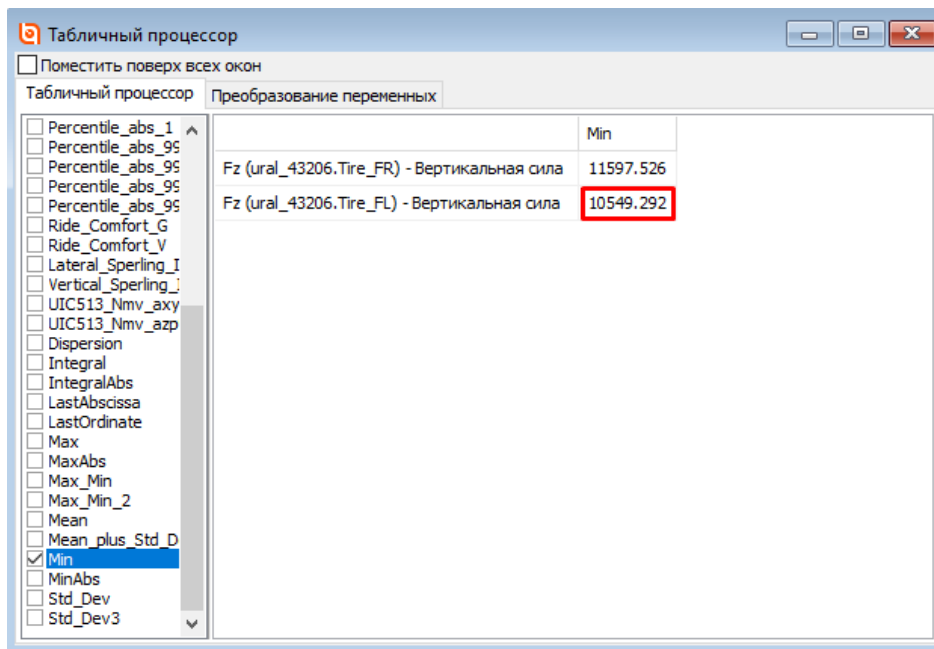


Рис. 26. Определение минимальной вертикальной силы в передних колесах АТС при помощи табличного процессора

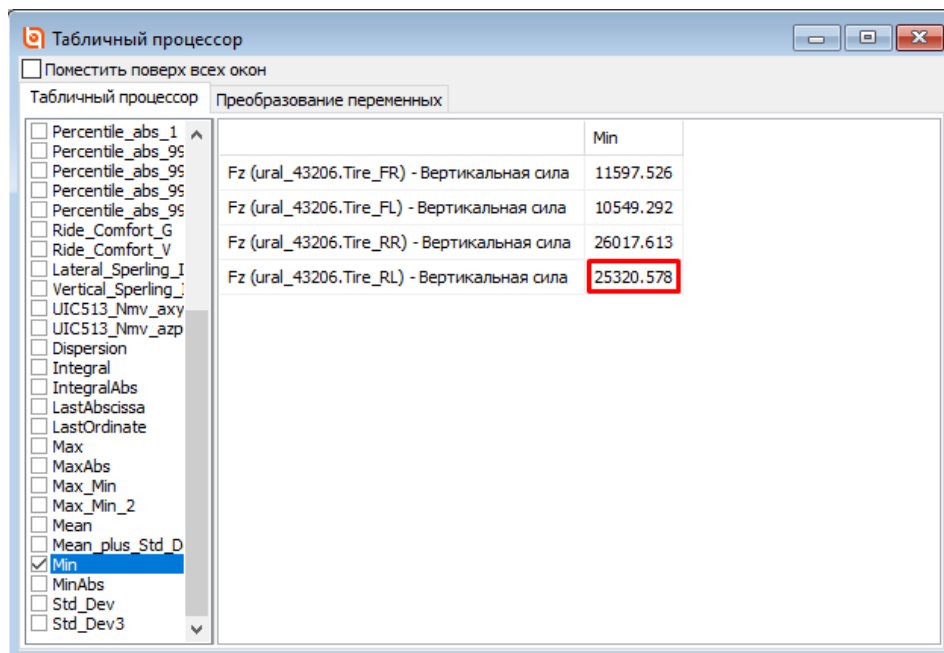


Рис. 27. Определение минимальной вертикальной силы в задних колесах АТС при помощи табличного процессора

Таким образом, для грузового автомобиля *ural\_43206* скорость маневра  $v'_m$  при прохождении теста "переставка  $S_{II}=20$  м" составляет 62 км/ч.

Таблица 4

Скорость при смене полосы $v$ , км/ч	Пересечение крайних левых точек АТС с дорожными конусами	Отрыв колес АТС от поверхности дороги	Прохождение теста " переставка $S_{II}=20$ м "
56	отсутствует	отсутствует	выполнен
61	отсутствует	отсутствует	выполнен
62	r:v(Body)_R	отсутствует	не выполнен

## 6. Определение скорости маневра $v'_M$ при прохождении теста "переставка $S_{\Pi}=16$ м"

Для выполнения теста "переставка  $S_{\Pi}=16$  м" загрузите конфигурацию **lab\_4\_s16** через пункт меню **Файл | Загрузить конфигурацию**.

Самостоятельно пройдите тест при нормативном значении скорости  $v_M$  и определите скорость маневра  $v'_M$  для *ural\_43206*. Промежуточные результаты занесите в таблицу 4.

Таблица 5

Скорость при смене полосы $v$ , км/ч	Пересечение крайних левых точек АТС с дорожными конусами	Отрыв колес АТС от поверхности дороги	Прохождение теста "переставка $S_{\Pi}=16$ м"
46			
Скорость маневра $v'_M$ , км/ч			

## 7. Влияние положения центра масс АТС на показатели управляемости и устойчивости в критических режимах движения

Для безопасной перевозки и сохранности груза в зависимости от типа груза и его габаритов необходимо правильно загружать кузов автомобиля. В зависимости от того, как распределена нагрузка, меняется положение центра масс всего АТС. Определим, как влияет положение центра масс АТС на показатели, характеризующие его управляемость и устойчивость в критических режимах движения. В модель грузового автомобиля *ural\_43206* введено дополнительное тело, описывающее груз. Для изменения координат центра тяжести АТС изменим положение центра масс груза. Для этого выполните следующие действия.

1. В окне **Инспектора моделирования объекта** перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов**.
2. Найдите идентификаторы  $x\_load$ ,  $y\_load$ ,  $z\_load$ , которые описывают положение центра масс груза (рис. 28).

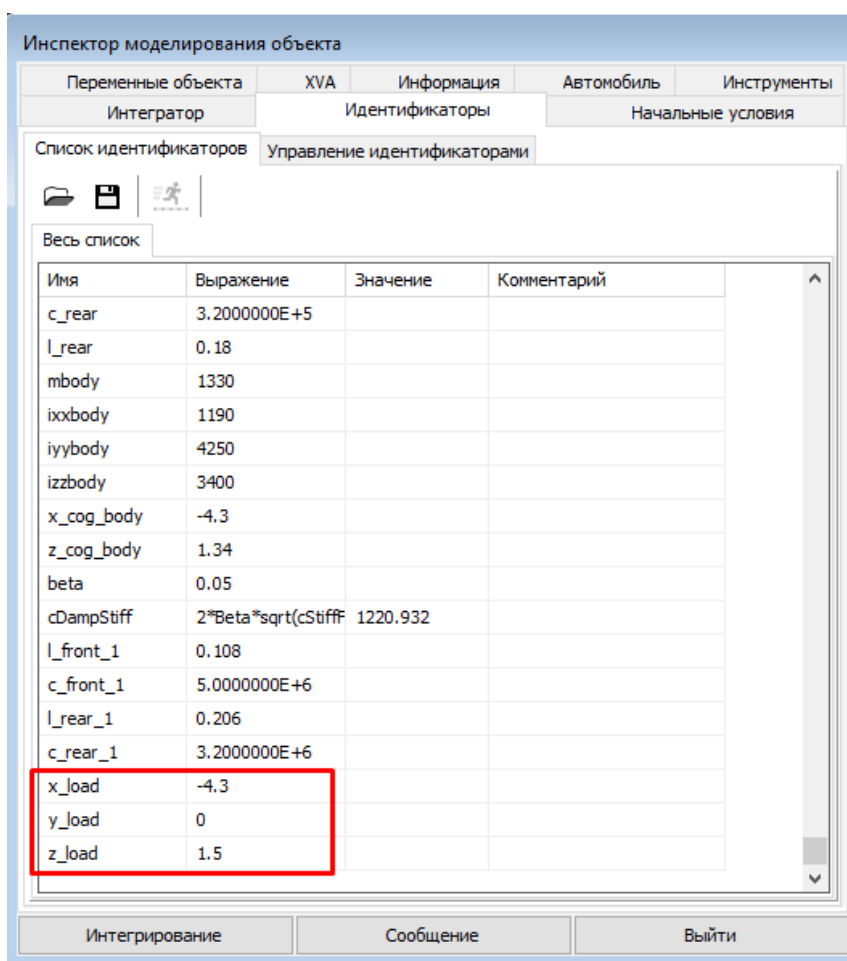


Рис. 28. Идентификаторы, описывающие положение центра масс груза

3. Изменим вертикальную координату положения центра масс груза. Задайте идентификатору **z\_load** значение **1,8**.
4. Установите начальную скорость АТС  $v_0$ , равную **13,89 м/с**.
5. Самостоятельно исследуйте влияние положения центра масс АТС по критериям выхода АТС за границы допустимого коридора из дорожных конусов и отрыва колес от поверхности дороги. Сравните полученные результаты с результатами теста из п.4 "Оценка АТС по нормативным значениям при прохождении теста "переставка  $S_{II} = 20 м$ " и занесите их в табл. 4.

Таблица 4

Скорость при входе в поворот $v$ , км/ч	Вертикальное положение центра тяжести груза $z\_load$ , м	Пересечение крайних левых точек АТС с дорожными конусами	Отрыв колес АТС от поверхности дороги	Прохождение теста "поворот $R_{II} = 35 м$ "
49	1,5	отсутствует	отсутствует	выполнен
49	1,8			