



Руководство пользователя



Включение трехмерных моделей железнодорожных экипажей в состав поезда

Рассматриваются особенности создания моделей сцепов и поездов из трехмерных моделей железнодорожных экипажей, а также включение таких моделей в состав одномерного поезда

Оглавление

17. МОДУЛЬ TRAIN3D: ВКЛЮЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ В СОСТАВ ПОЕЗДА.....	1-3
17.1. ВВЕДЕНИЕ	1-3
17.2. БАЗА МОДЕЛЕЙ МОДУЛЯ TRAIN 3D	1-5
17.3. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА	1-7
17.3.1. Общая информация.....	1-7
17.3.2. Структура модели автосцепки AC_Standard	1-9
17.3.2.1. Структура модели	1-9
17.3.2.2. Тела и шарниры	1-10
17.3.2.3. Поглощающие аппараты	1-11
17.3.2.4. Взаимодействие автосцепки с кузовом.....	1-11
17.3.2.5. Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок	1-14
17.3.2.6. Параметризация модели автосцепки.....	1-15
17.3.3. Особенности моделей AC_Standard_EXT_F(R).....	1-15
17.3.4. Модель AC_Standard_EXT_F	1-15
17.3.5. Модель AC_Standard_EXT_R	1-17
17.4. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ БУФЕРОВ.....	1-18
17.4.1. Общая информация.....	1-18
17.4.2. Структура и детальное описание модели Buffer	1-21
17.4.2.1. Структура модели	1-21
17.4.2.2. Поглощающие аппараты	1-22
17.4.2.3. Внешние элементы взаимодействия двух экипажей	1-26
17.4.3. Особенности моделей Buffer_EXT_F(R).....	1-29
17.4.4. Модель Buffer_EXT_F	1-29
17.4.5. Модель Buffer_EXT_R	1-30
17.5. СТАНДАРТНЫЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ И ТЕКСТОВЫЕ АТТРИБУТЫ В МОДЕЛЯХ МЕЖВАГОННЫХ СВЯЗЕЙ	1-31
17.6. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ СЦЕПОВ.....	1-32
17.6.1. Добавления автосцепок к моделям экипажей	1-32
17.6.2. Моделирование сцепа вне состава поезда	1-34
17.6.3. Моделирование сцепа в составе поезда	1-37
17.7. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПОЕЗДА С ТРЕХМЕРНЫМИ ЭКИПАЖАМИ.....	1-39
17.7.1. Общая методика создания модели	1-39
17.7.2. Пример создания модели поезда	1-39
17.8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЕЗДА С ТРЕХМЕРНЫМИ ЭКИПАЖАМИ	1-42
17.8.1. Задание положения трехмерных экипажей в составе поезда.....	1-42
17.8.2. Задание макрогеометрии пути	1-43
17.8.3. Задание положения первого экипажа состава	1-44
17.9. МОДЕЛЬ ПОЕЗДА, ВКЛЮЧАЮЩЕГО ТОЛЬКО ТРЕХМЕРНЫЕ ЭКИПАЖИ	1-45

1. Модуль TRAIN3D: включение трехмерных моделей рельсовых экипажей в состав поезда

1.1. Введение

Модуль **UM Train3D** является надстройкой над двумя модулями: **UM Loco** и **UM Train** и предоставляет пользователю возможность создания сцепов¹ (рис. 1.1) и включения любого числа трехмерных моделей рельсовых экипажей в состав поезда (рис. 1.2). В частности, модель поезда может включать как сцеп нескольких вагонов и/или локомотивов, так и целиком состоять из трехмерных моделей экипажей (см. п. 0). Практика показала, что часто используется включение в состав поезда сцепа из трех-пяти грузовых вагонов, что позволяет уточнить динамическое поведение экипажей с учетом возможных режимов ведения поезда. Признаком наличия модуля в текущей конфигурации UM является знак «+» в соответствующей строке окна **О программе** (команда меню **Помощь | О программе...**), рис. 1.3.

Трехмерные модели, как вагонов, так и локомотивов, которые предполагается включить в состав поезда, должны быть доработаны, чтобы удовлетворять некоторым требованиям. Например, модели должны включать сцепные устройства (автосцепки, буферы). Кроме того, трехмерные модели локомотивов должны предусматривать режимы тяги и торможения.

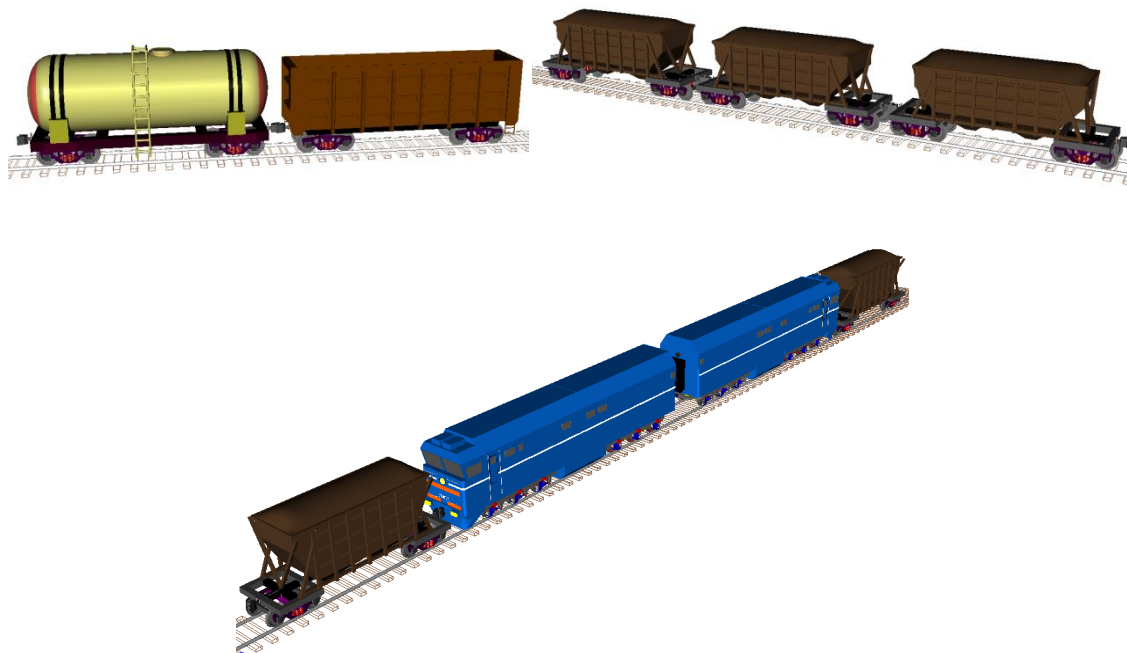


Рис. 1.1. Сцепы

¹Сцеп – совокупность рельсовых экипажей, соединённых между собой автосцепками, может быть использован для исследования динамики, как в составе поезда, так и самостоятельно.

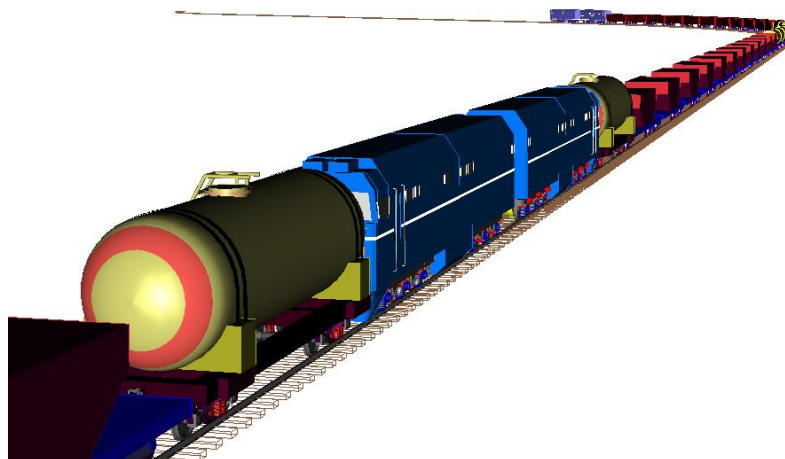


Рис. 1.2. Сцеп в составе поезда

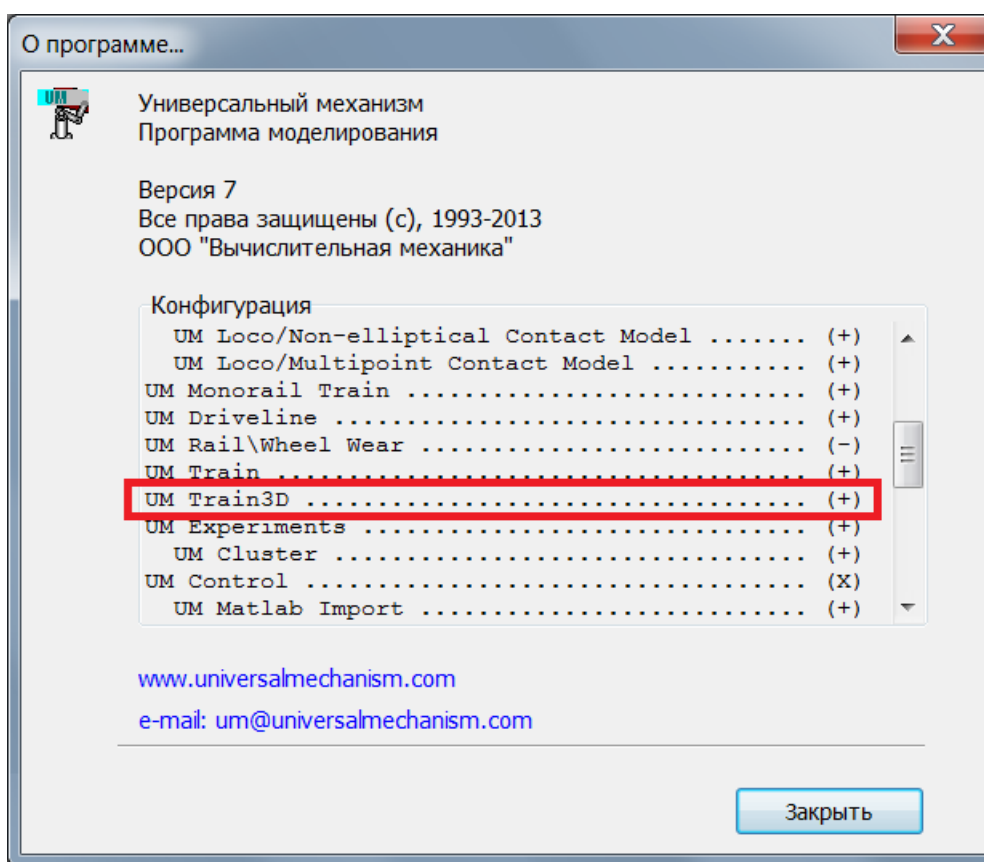


Рис. 1.3. Признак наличия модуля в текущей конфигурации UM

Замечание. Для идентификации элементов модели по их именам используются следующие сокращения:

F – front (передний),

R – rear (задний),

L – left (левый),

R – right (правый),

EXT – external (внешний).

1.2. База моделей модуля Train 3D

Вместе с УМ поставляется набор моделей, содержащихся в папке *Samples\Train3D*, включающий

- автосцепные устройства и буферы,
- модели грузового и пассажирского вагонов, оборудованных сцепными устройствами,
- модели сцепов и поездов, содержащих трехмерные модели.

Перечень моделей представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Перечень моделей в базе модуля Train 3D

Имя	Папка в каталоге Samples\Train3D	Комментарий
AC_Standard	Couplers	Стандартные модели автосцепного устройства типа СА-3 для внутреннего экипажа сцепа (п. 1.3.2. <i>"Структура модели автосцепки AC_Standard"</i> , с. 1-9), а также для первого и последнего экипажа сцепа, включенного в состав поезда (п. 1.3.3. <i>"Особенности моделей AC_Standard_EXT_F(R)"</i> , с. 1-15).
AC_Standard_EXT_F		
AC_Standard_EXT_R		
Buffer		Стандартные модели буферного сцепного устройства для внутреннего экипажа сцепа (п. 1.4.2. <i>"Структура и детальное описание модели Buffer"</i> , с. 1-21), а также для первого и последнего экипажа сцепа, включенного в состав поезда (п. 1.4.3. <i>"Особенности моделей Buffer_EXT_F(R)"</i> , с. 1-29).
Buffer_EXT_F		
Buffer_EXT_R		
Simple_18_100_AC_Std	Subsystems	Упрощенные модели грузового вагона с трехэлементными тележками,

Simple_18_100_AC_ExtF		Непосредственно в папке Samples\Train3D	оборудованного автосцепными устройствами для включения в состав сцепов (п. 1.6. <i>"Создание моделей сцепов"</i> , с. 1-32)
Simple_18_100_AC_ExtR			Модель грузового трехвагонного сцепа для включения в состав поезда, п. 1.6.3. <i>"Моделирование сцепа в составе поезда"</i> , с. 1-37.
FreightCar_18_100_3Vehicles_ExtRF			Модели пассажирского вагона (из Манчестерских тестов), оборудованного буферными сцепными устройствами для включения в состав сцепов (п. 1.6. <i>"Создание моделей сцепов"</i> , с. 1-32).
Passenger Car			Модель пассажирского трехвагонного сцепа для включения в состав поезда, п. 1.6.3. <i>"Моделирование сцепа в составе поезда"</i> , с. 1-37.
Passenger Car ExtF			Модель пассажирского электровоза, оборудованного буферными сцепными устройствами.
Passenger Car ExtR			Модель грузового поезда из 60 экипажей, включающего трехмерный трехвагонный сцеп, п. 1.8. <i>"Моделирование динамики поезда с трехмерными экипажами"</i> , с. 1-42.
Passenger Car 3VehiclesExtRF			Сцеп из трех грузовых вагонов для моделирования вне состава поезда, п. 1.6.2. <i>"Моделирование сцепа вне состава поезда"</i> , с. 1-34.
Co_Co_Buffers			Модель пассажирского
Freight train			
FreightCar_18_100_3Vehicles			
Passenger train (three 3D cars)			

	<p>поезда из 20 экипажей, включающего трехмерный трехвагонный сцеп, п. 1.8. "Моделирование динамики поезда с трехмерными экипажами", с. 1-42.</p>
<p>Passenger train 3D</p>	<p>Модель пассажирского поезда из 20 экипажей, включающего только трехмерные модели, п. 0.</p>

Замечание. Непосредственно для моделирования предназначены модели поездов и сцепа
 Freight train
 FreightCar_18_100_3Vehicles
 Passenger train (three 3D cars)
 Passenger train 3D


Папка **Subsystems** содержит внешние подсистемы, включенные в перечисленные модели. Модели сцепных устройств из папки **Couplers** предназначены для информации пользователя, а также могут служить основой для развития пользователем собственных моделей.


1.3. Стандартная модель автосцепного устройства

1.3.1. Общая информация

Вместе с модулем Train3D поставляются модели элементов автосцепного устройства нежесткого типа, позволяющие пользователю легко дорабатывать модели трехмерных экипажей для их включения в состав поезда или сцепа. Модели представлены либо в виде визуальных компонент на закладке UM Loco, рис. 1.4, либо в виде UM объектов (п. 1.2. "База моделей модуля Train 3D", с. 1-5).

AC_Standard – для экипажей, включаемых в состав сцепа, визуальная компонента ;

AC_Standard_EXT_F – для переднего экипажа сцепа, включаемого в состав поезда, визуальная компонента ;

AC_Standard_EXT_R – для заднего экипажа сцепа, включаемого в состав поезда, визуальная компонента .

Модели автосцепок, поставляемые в виде UM объектов, могут быть использованы в качестве шаблонов для разработки пользователем альтернативных моделей автосцепок путем модификации элементов моделей.

Общий вид модели автосцепного устройства как многомассовой системы представлены на рис. 1.5, рис. 1.6.

Как видно из рисунков, модели *simple_18_100_AC_ExtF* (рис. 1.8), *simple_18_100_AC_ExtR* (рис. 1.9) содержат дополнительные элементы автосцепок (спереди

для AC_Standard_EXT_F и сзади для AC_Standard_Ext_R), которые будут автоматически назначены упрощенным одномерным моделям вагонов в составе поезда. На рис. 1.7 представлена 3D модель грузового вагона simple_18_100_AC_Std для включения в состав сцепа, на рис. 1.8 модель предназначена для включения в состав поезда в качестве переднего вагона сцепа, а на рис. 1.9, соединяемых автосцепкой с одномерными вагонами.



Рис. 1.4. Визуальные компоненты элементов автосцепных устройств (выделены рамкой)

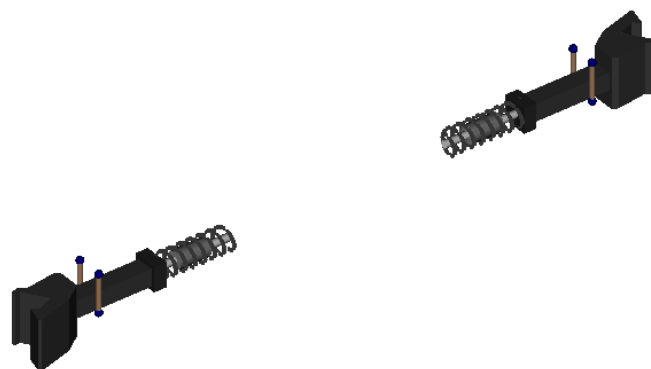


Рис. 1.5. Модель элементов автосцепного устройства (объект AC_Standard)



Рис. 1.6. Модели элементов автосцепного устройства (объекты AC_Standard_EXT_F, AC_Standard_Ext_R – развернут на 180 градусов)

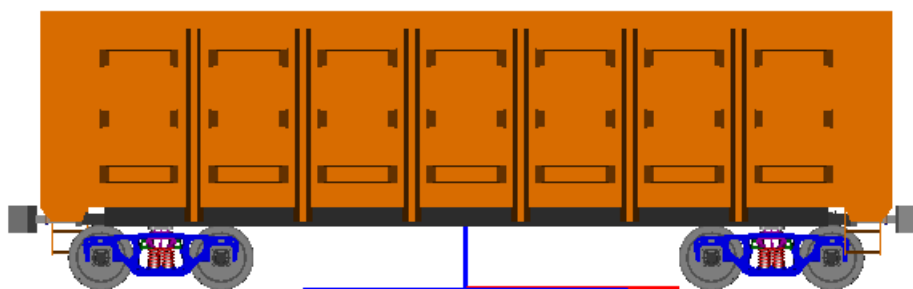


Рис. 1.7. Модель грузового вагона simple_18_100_AC_Std, оборудованного автосцепным устройством по модели AC_Standard

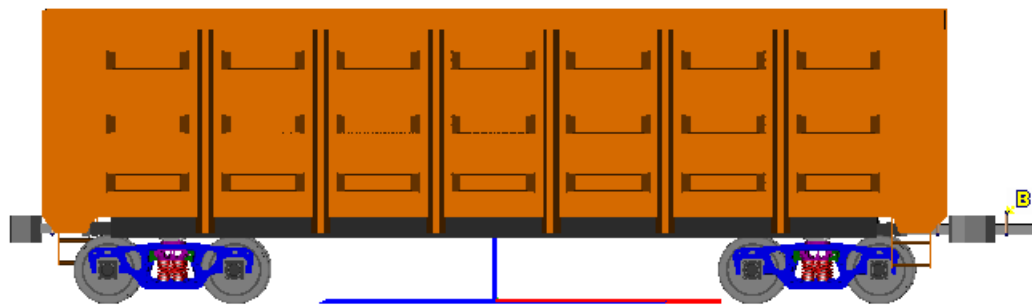


Рис. 1.8. Модель грузового вагона `simple_18_100_AC_ExtF`, оборудованного автосцепным устройством по модели `AC_Standard_EXT_F`

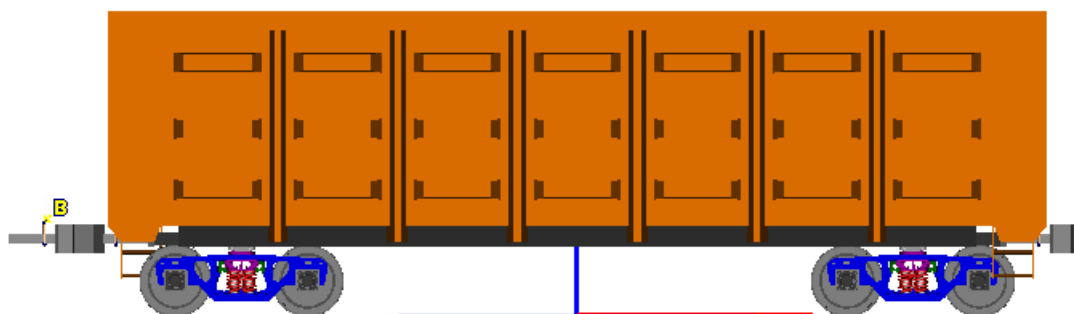


Рис. 1.9. Модель грузового вагона `simple_18_100_AC_ExtR`, оборудованного автосцепным устройством по модели `AC_Standard_EXT_R`

1.3.2. Структура модели автосцепки `AC_Standard`

1.3.2.1. Структура модели

Модель автосцепного устройства с каждой стороны экипажа включает (рис. 1.10):

- корпус автосцепки – абсолютно твердое тело с шестью степенями свободы и набором контактных элементов, обеспечивающих корректное описание взаимодействия с кузовом экипажа с учетом зазоров;
- упорная плита – абсолютно твердое тело, имеющее одну продольную поступательную степень свободы относительно кузова;
- поглощающий аппарат – силовой элемент, соединяющий упорную плиту с корпусом; хомут, обеспечивающий двустороннюю работу поглощающего аппарата на растяжение и сжатие, не моделируется, вместо этого биполярный элемент, моделирующий поглощающий аппарат, должен быть двухсторонним;
- биполярные элементы маятниковой подвески, имитирующие центрирующее устройство.

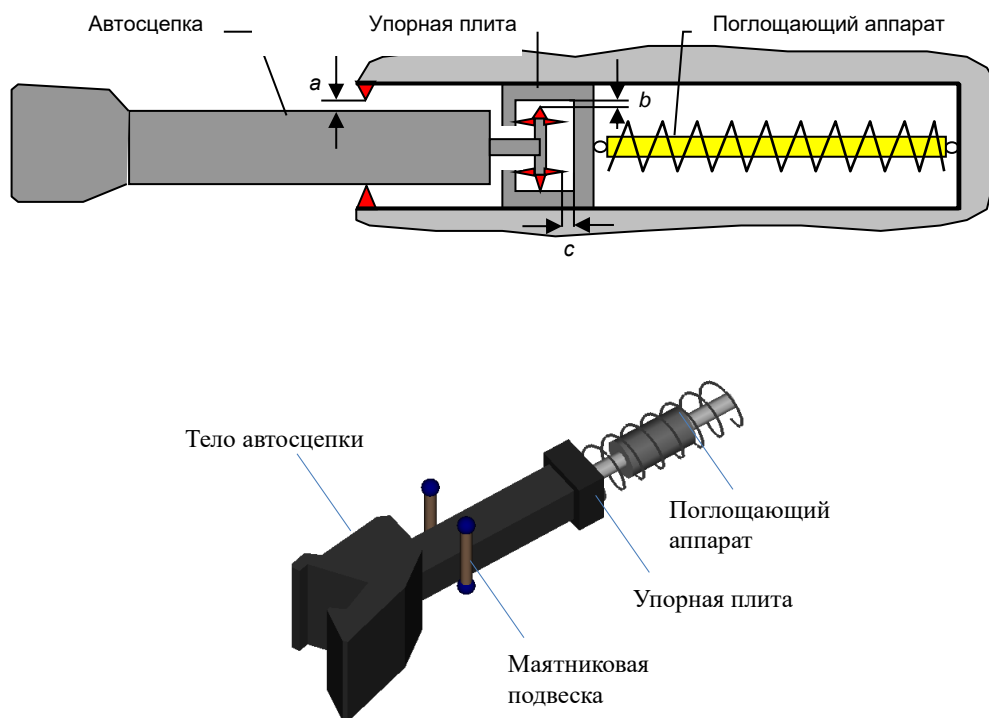


Рис. 1.10. Схема элементов модели автосцепки

1.3.2.2. Тела и шарниры

Модель *AC_Standard* включает пять тел и шесть шарниров, описание которых приведено в табл. 1.2, 1.3.

Таблица 1.2.

Тела в модели автосцепки *AC_Standard*

Имя	Масса	Моменты инерции			Комментарий
		I_x	I_y	I_z	
<i>CarBodyFixed</i>	0	0	0	0	Фиктивное тело, относительно которого задаются элементы автосцепки. При добавлении к модели экипажа это тело жестко связывается с кузовом. Тело создано с внутренним шарниром
<i>AC body F(R)</i>	<i>Mac</i>	<i>Iacx</i>	<i>Iacy</i>	<i>Iacz</i>	Корпус передней (задней) автосцепки. Инерционные параметры заданы идентификаторами
<i>Plate AC F(R)</i>	<i>mPlateAC</i>	0	0	0	Упорная плита передней (задней) автосцепки

Таблица 1.3.

Шарниры в модели автосцепки AC_Standard

Имя	Тип	Число ст. св.	Тело 1	Тело2	Комментарий
<i>CarBodyFixed</i>	Внутренний	6	<i>Base 0</i>	<i>CarBodyFixed</i>	Внутренний шарнир тела <i>CarBodyFixed</i> , удаляется автоматически после назначения второго тела шарниру <i>jCarBodyFix</i>
<i>jCarBodyFix</i>	Обобщенный	0	<i>CarBodyFix</i>	<i>External</i> (внешнее)	Шарнир, жестко связывающий фиктивное тело с кузовом
<i>jAC body F(R)</i>	6 ст. свободы	6	<i>Base 0</i>	<i>AC body F</i>	Задаёт степени свободы переднего (заднего) корпуса автосцепки
<i>jPlate AC F(R)</i>	Поступательный	1	<i>Plate AC F</i>	<i>CarBodyFixed</i>	Задаёт поступательное движение передней (задней) упорной плиты относительно фиктивного тела (фактически, относительно кузова)

Телу *AC body F*, задающему корпус передней автосцепки, назначена точка связи с координатами (0,0,0). Данная точка используется для задания связи между данным телом и корпусом автосцепки впереди идущего вагона (см. п. 1.6.2. "Моделирование сцепки вне состава поезда", с. 1-34).

1.3.2.3. Поглощающие аппараты

Два поглощающих аппарата *Draft gear F(R)* заданы биполярными элементами, соединяющими фиктивное тело *CarBodyFixed* и упорные плиты *Plate AC F(R)*. Модель силы симметричная, что позволяет заменить хомут эквивалентной работой элемента на растяжение-сжатие. По умолчанию поглощающему аппарату назначена модель *Ш-2-В*. Пользователь может сменить тип аппарата, рис. 1.11.

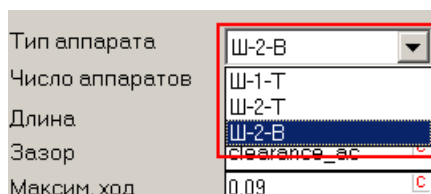
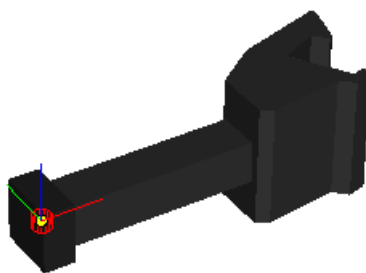


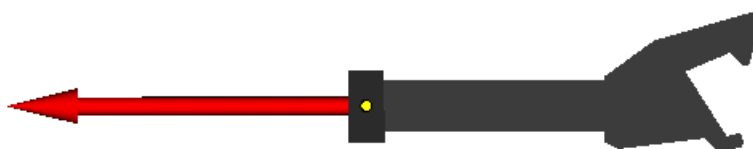
Рис. 1.11. Выбор типа поглощающего аппарата

1.3.2.4. Взаимодействие автосцепки с кузовом

1. Взаимодействие корпуса автосцепки с упорной плитой.

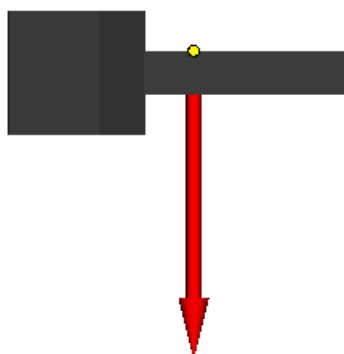
Рис. 1.12. Элемент *Bushing AC body F*

- *Bushing AC body F(R)* – элемент типа “сайлент-блок” блокирует смещение хвостовой части корпуса относительно плиты: в поперечном направлении, по вертикали вниз и вверх с зазором $gap_z = 0.024$ м, а также по повороту вокруг продольной оси с зазором, заданным идентификатором $gap_ax = 0.03$ рад, рис. 1.12.

Рис. 1.13. Контактный элемент *Longitudinal contact F*

- *Longitudinal contact F(R)* – контактная сила типа “точки-плоскость” реализует двухсторонний контакт с трением корпуса с плитой в продольном направлении. Контактная точка, принадлежащая хвостовой части корпуса, скользит с трением по вертикальной плоскости, связанной с упорной плитой, рис. 1.13.

2. Взаимодействие корпуса автосцепки с фиктивным телом *CarBodyFixed* (с кузовом).

Рис. 1.14. Контактный элемент *Upper support F*

- *Upper support F(R)* – контактная сила типа “точки-плоскость” ограничивает перемещение средней части корпуса по вертикали (а также поворот вокруг продольной оси совместно с другими силовыми элементами) с зазором $gap_z_front = 0.024$ м, рис. 1.14.

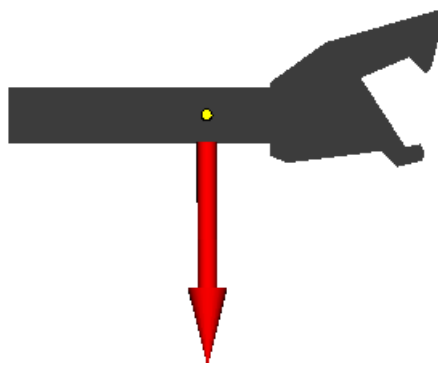


Рис. 1.15. Контактный элемент Lateral gap F

- *Lateral gap F (R)* – контактная сила типа “точки-плоскость” ограничивает перемещение средней части корпуса по горизонтали (а также поворот вокруг вертикальной оси совместно с другими силовыми элементами) с зазором на сторону $gap_y = 0.05$ м, рис. 1.15.

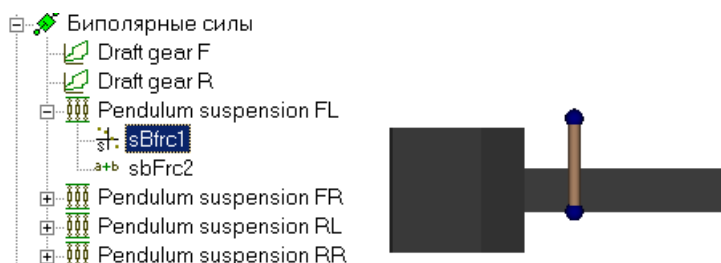


Рис. 1.16. Биполярный элемент Pendulum suspension FL

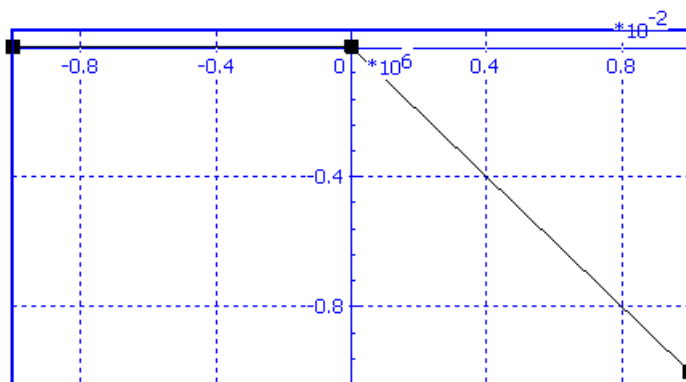


Рис. 1.17. График упругой составляющей биполярного силового элемента

- *Pendulum suspension F(R)L(R)* – пара биполярных, односторонних, упруго-диссипативных элементов образует маятниковую подвеску, моделирующую центрирующий прибор, рис. 1.16. Силовые элементы работают на растяжение. График упругой составляющей представлен на рис. 1.17. Диссипативная составляющая задана выражением $-cdisscontz*v*heavi(x-l_pov)$,

Где $heavi$ – функция Хэвисайда, $cdisscontz$ – коэффициент диссипации, l_{pov} – длина тяги в ненапряженном состоянии, x – длина элемента при моделировании.

$$heavi(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

1.3.2.5. Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок

Взаимодействие задней автосцепки с передней автосцепкой экипажа, следующего сзади текущего, описывается двумя внешними силовыми элементами, то есть элементами, у которых второе тело задано как внешнее (*External*) и должно быть назначено с помощью специального инструмента при создании модели сцепа (см. п. 1.6.2. "Моделирование сцепа вне состава поезда", с. 1-34).

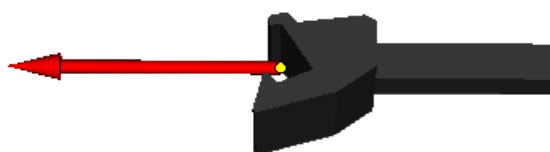


Рис. 1.18. Внешний элемент: продольный контакт корпусов

Longitudinal AC body contact – контактный силовой элемент типа “точки-плоскость” предназначен для передачи продольных сил, рис. 1.18. При вертикальном смещении корпусов автосцепок относительно друг друга элемент дает силу трения, пропорциональную продольному усилию.



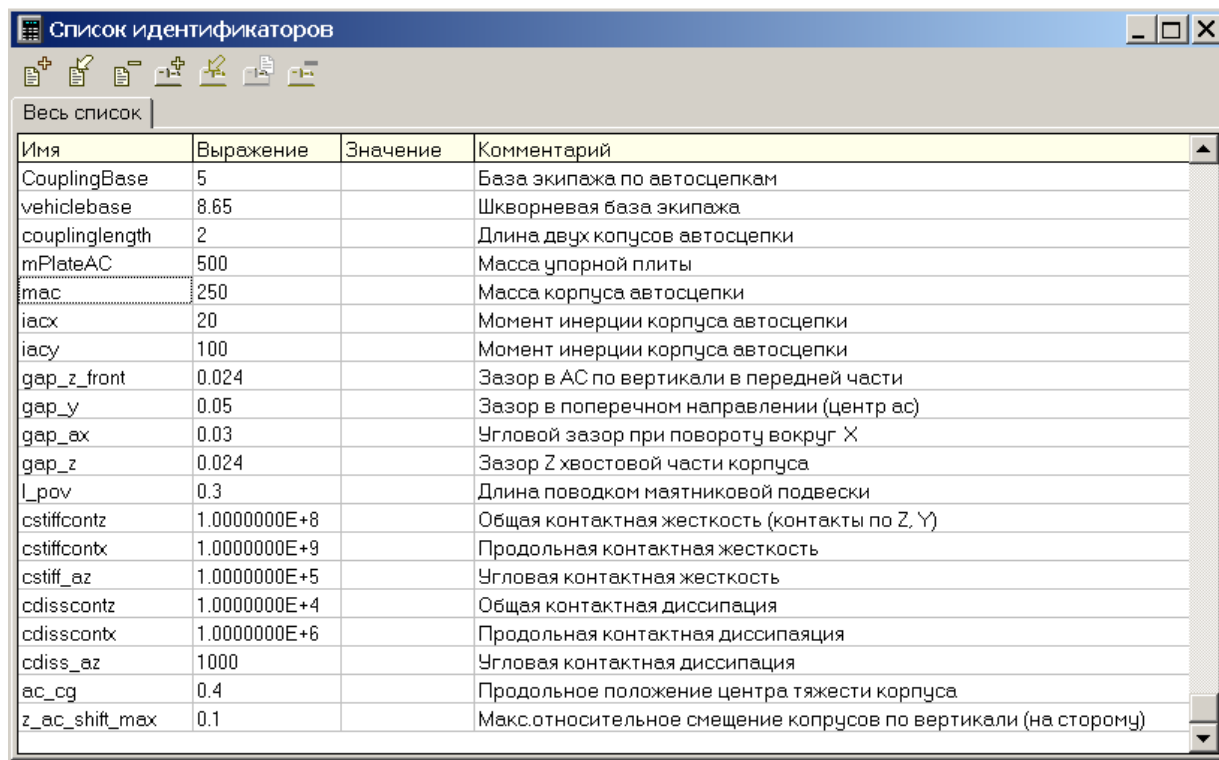
Рис. 1.19. Внешний элемент: ограничение относительных перемещений корпусов

Bushing AC R-F – внешний специальный силовой элемент типа «сайлент-блок» с помощью упруго-диссипативных сил вводит ограничения в относительном движении одного корпуса автосцепки относительно другого: по трем вращательным степеням свободы, в поперечном направлении и по вертикали, рис. 1.19. Ограничение по вертикальному смещению производится с зазором $z_{ac_shift_max}$, значение по умолчанию 0.1 м на сторону.

Замечание. Силовому элементу *Longitudinal AC body contact* назначен стандартный текстовый атрибут **LongitudinalForceR** (задняя продольная сила). Таким образом программе сообщается, что этот элемент будет использован для определения величины продольной силы в автосцепке при моделировании динамики как отдельно стоящего сцепа, так и сцепа в составе поезда.

1.3.2.6. Параметризация модели автосцепки

Модель автосцепки использует идентификаторы для основных геометрических, инерционных и силовых параметров. Список идентификаторов, за исключением идентификаторов, параметризующих поглощающие аппараты, приведен на рис. 1.20.



Имя	Выражение	Значение	Комментарий
CouplingBase	5		База экипажа по автосцепкам
vehiclebase	8.65		Шкворневая база экипажа
couplinglength	2		Длина двух копусов автосцепки
mPlateAC	500		Масса упорной плиты
mac	250		Масса корпуса автосцепки
iacx	20		Момент инерции корпуса автосцепки
iacy	100		Момент инерции корпуса автосцепки
gap_z_front	0.024		Зазор в АС по вертикали в передней части
gap_y	0.05		Зазор в поперечном направлении (центр ас)
gap_ax	0.03		Угловой зазор при повороте вокруг X
gap_z	0.024		Зазор Z хвостовой части корпуса
l_pov	0.3		Длина поводком маятниковой подвески
ctstiffcontz	1.0000000E+8		Общая контактная жесткость (контакты по Z, Y)
ctstiffcontx	1.0000000E+9		Продольная контактная жесткость
ctstiff_az	1.0000000E+5		Угловая контактная жесткость
cdisscontz	1.0000000E+4		Общая контактная диссипация
cdisscontx	1.0000000E+6		Продольная контактная диссипация
cdiss_az	1000		Угловая контактная диссипация
ac_cg	0.4		Продольное положение центра тяжести корпуса
z_ac_shift_max	0.1		Макс.относительное смещение копусов по вертикали (на сторону)

Рис. 1.20. Список идентификаторов, параметризующих модель автосцепки

1.3.3. Особенности моделей AC_Standard_EXT_F(R)

Как отмечено в п. 1.3.1. "Общая информация", с. 1-7, модели AC_Standard_EXT_F(R) предназначены для оборудования автосцепками моделей трехмерных рельсовых экипажей с целью их включения в состав поезда. Модель поезда, кроме включаемых 3D моделей, может содержать любое число одномерных вагонов, связанных друг с другом упрощенными моделями автосцепок. Для того, чтобы повысить точность моделирования трехмерного сцепа в составе поезда, связь между крайними 3D и одномерными экипажами осуществляется с помощью уточненных моделей автосцепок, общее описание которых дано в п. 1.3.2. "Структура модели автосцепки AC_Standard", с. 1-9. Таким образом, модели AC_Standard_EXT_F(R), по сравнению с AC_Standard, содержат дополнительные элементы, в том числе корпуса автосцепок и ряд силовых элементов, которые будут автоматически присоединены к одномерным экипажам (переднему по отношению к сцепу и/или заднему).

1.3.4. Модель AC_Standard_EXT_F

Модель AC_Standard_EXT_F предназначена для оборудования автосцепками переднего экипажа сцепа, при условии, что он не является первым экипажем состава. По сравне-

нию с *AC_Standard*, модель содержит следующие дополнительные элементы и изменения (см. правую часть рис. 1.21):

- Тело *AC body F Ext* – корпус дополнительной автосцепки.
- Шарнир *jAC body F Ext*, задающий шесть степеней свободы корпусу относительно *Base0*.
- Биполярные элементы *Pendulum suspension FL(FR) Ext* – маятниковая подвеска, моделирующая центрирующий прибор.
- Внешние контактные силовые элементы *Upper support F Ext*, *Lateral gap F Ext*, *Longitudinal contact F Ext*, задающие ограничения движению корпуса автосцепки относительно кузова.
- Контактный силовой элемент *Longitudinal AC body contact F*, передающий продольную силу между корпусами автосцепок. Аналогичным элементом для задней автосцепки является элемент *Longitudinal AC body contact* (см. п. 1.3.2.5. "Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок", с. 1-14).
- Специальная сила *Bushing AC F-R*, ограничивающая относительное перемещение корпусов автосцепок *AC Body F Ext* и *AC Body F*. Аналогичным элементом является *Bushing AC R-F* (см. п. 1.3.2.5. "Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок", с. 1-14).
- Специальная сила *Bushing AC body F Ext* – блокирует смещение хвостовой части корпуса относительно внешнего кузова.

Идентификатор *nfront_dg* (number of front draft gears – число поглощающих аппаратов спереди) принимает значение 2 вместо 1. То есть в модели Ш-2-В, Ш-2-Т, Ш-1-Т позволяют моделировать одновременно несколько последовательно расположенных поглощающих аппаратов.

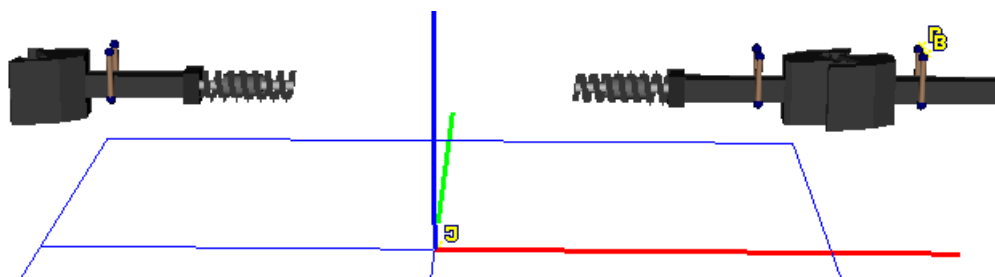


Рис. 1.21. Модель *AC_Standard_EXT_F*

Замечание 1. Описание перечисленных силовых элементов совпадает с описанием внутренних элементов, имеющих аналогичные имена. Например, аналогом *Bushing AC body F Ext* являются силовые элементы *Bushing AC body F(R)*.

Замечание 2. Важно, что элементам *Pendulum suspension FL(FR) Ext*, *Upper support F Ext*, *Lateral gap F Ext*, *Longitudinal contact F Ext*, *Bushing AC body F Ext* назначен текстовый атрибут **CouplingExtFront** (передняя внешняя связь), который позволяет программе автоматизировать процесс назначения этим элементам внешнего (второго) тела.

1.3.5. Модель *AC_Standard_EXT_R*

Модель *AC_Standard_EXT_R* предназначена для оборудования автосцепками заднего экипажа сцепы, при условии, что он не является последним экипажем состава. По сравнению с *AC_Standard*, модель содержит следующие дополнительные элементы и изменения (см. левую часть рис. 1.22):

- Тело *AC body R Ext* – корпус дополнительной автосцепки.
- Шарнир *jAC body R Ext*, задающий шесть степеней свободы корпусу относительно *Base0*.
- Биполярные элементы *Pendulum suspension RL(RR) Ext* – маятниковая подвеска, моделирующая центрирующий прибор.
- Внешние контактные силовые элементы *Upper support R Ext*, *Lateral gap R Ext*, *Longitudinal contact R Ext*, задающие ограничения движению корпуса автосцепки относительно кузова.
- Силовой элемент *Longitudinal AC body contact* передающий продольную силу между корпусами автосцепок, так же как и специальная сила *Bushing AC F-R*, ограничивающая относительное перемещение корпусов автосцепок, в данной модели являются внутренним (см. для сравнения п. 1.3.2.5. "Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок", с. 1-14), вторым телом является *AC body R Ext*.
- Специальная сила *Bushing AC body R Ext* – блокирует смещение хвостовой части корпуса относительно внешнего кузова.
- Идентификатор *nrear_dg* (number of rear draft gears – число поглощающих аппаратов сзади) принимает значение 2 вместо 1. То есть в модели Ш-2-В, Ш-2-Т, Ш-1-Т позволяют моделировать одновременно несколько последовательно расположенных поглощающих аппаратов.

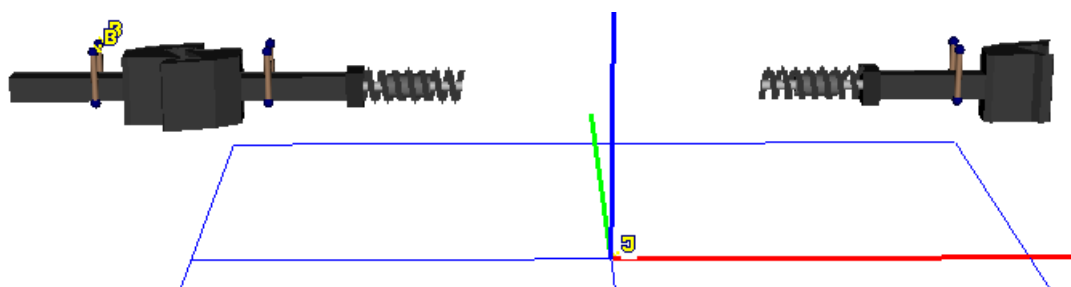


Рис. 1.22. Модель *AC_Standard_EXT_R*

Замечание 1. Описание перечисленных силовых элементов совпадает с описанием внутренних элементов, имеющих аналогичные имена. Например, аналогом *Bushing AC body R Ext* являются силовые элементы *Bushing AC body F(R)*.


Замечание 2. Важно, что элементам *Pendulum suspension RL(RR) Ext*, *Upper support R Ext*, *Lateral gap R Ext*, *Longitudinal contact R Ext*, *Bushing AC body R Ext* назначен текстовый атрибут **CouplingExtRear** (задняя внешняя связь), который позволяет программе автоматизировать процесс назначения этим элементам внешнего (второго) тела.

1.4. Стандартная модель буферов

1.4.1. Общая информация

Вместе с модулем Train3D поставляются упрощенные модели элементов сцепных буферных устройств, позволяющие пользователю легко дорабатывать модели трехмерных экипажей для их включения в состав поезда или сцепа. Модели представлены либо в виде визуальных компонент на закладке UMLoco, рис. 1.23, либо в виде UM объектов, п. 1.2. "База моделей модуля Train 3D", с. 1-5.

Buffer – для экипажей, включаемых в состав сцепа, визуальная компонента ;

Buffer_EXT_F – для переднего экипажа сцепа, включаемого в состав поезда, визуальная компонента ;


Buffer_EXT_R – для заднего экипажа сцепа, включаемого в состав поезда, визуальная компонента .



Рис. 1.23. Визуальные компоненты элементов сцепных буферных устройств (выделены рамкой)

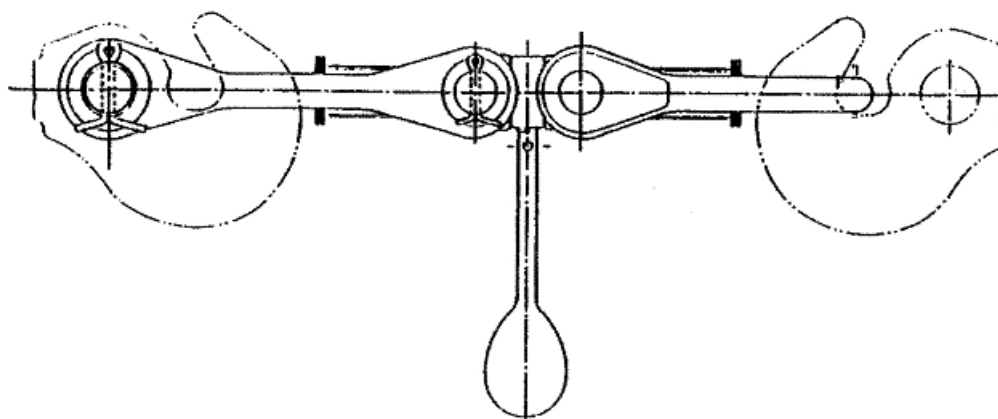


Рис. 1.24. Тяга

Упрощенным в данном случае является элемент, связывающий экипажи и не являющийся буферами. Это может быть автосцепка или тяга (draw hooks, рис. 1.24). Поскольку модель автосцепки подробно описана в предыдущем разделе, то здесь рассматривается упрощенная связь, работающая только на растяжение, то есть тяга.

Модели, поставляемые в виде UM объектов, могут быть использованы в качестве шаблонов для разработки пользователем альтернативных моделей сцепных устройств путем модификации элементов моделей.

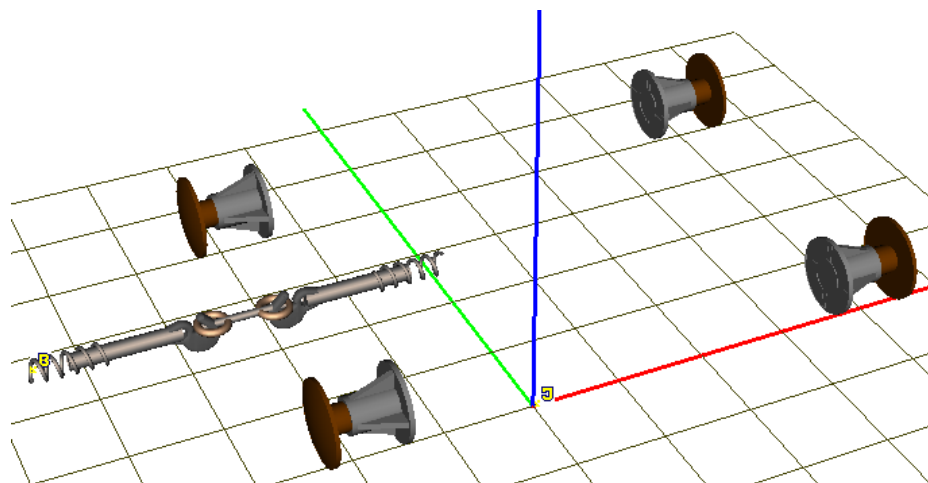


Рис. 1.25. Модель элементов буферного сцепного устройства (объект *Buffer*)

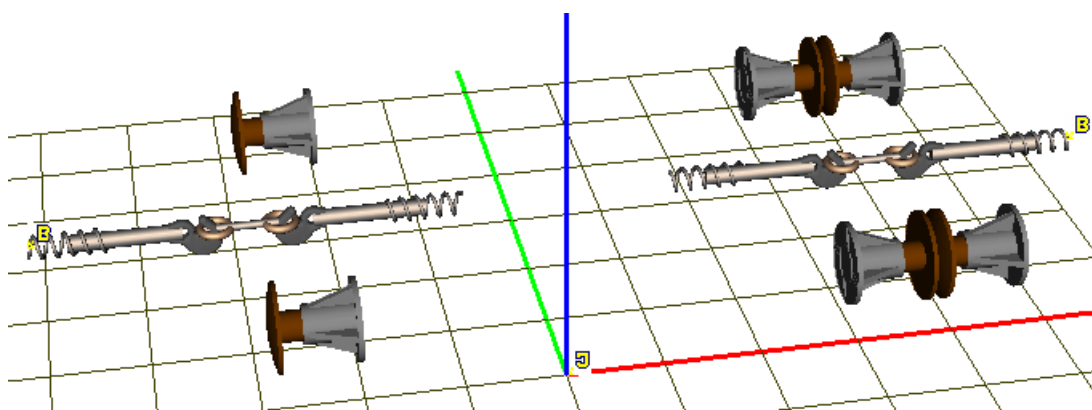


Рис. 1.26. Модель буферного сцепного устройства (объект *Buffer_Ext_F*)

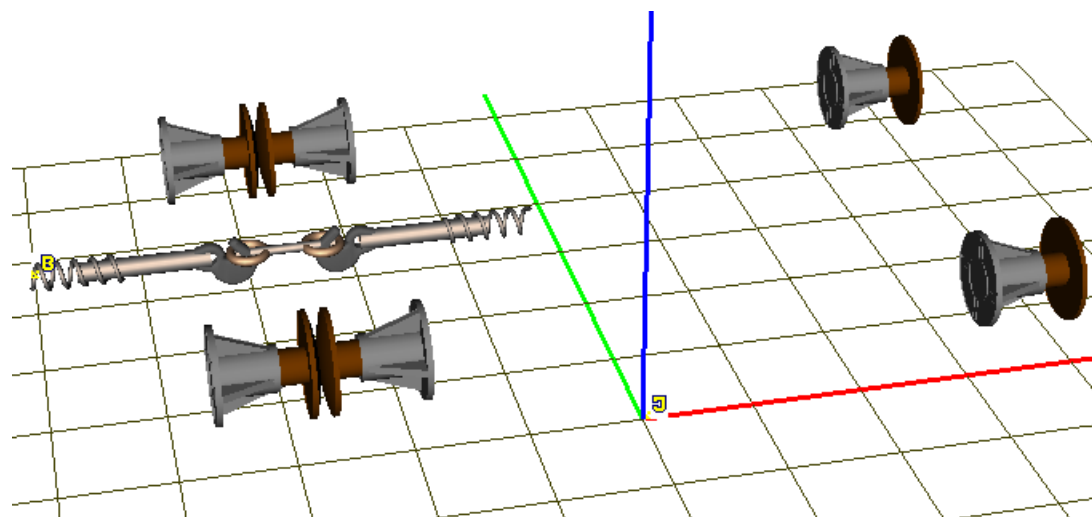


Рис. 1.27. Модель буферного сцепного устройства (объект *Buffer_Ext_R*)

Общий вид моделей сцепного устройства как многомассовой системы представлены на рис. 1.25, рис. 1.26, рис. 1.27. Как видно из рисунков, модели *Buffer_EXT_F*, *Buffer_Ext_R* содержат дополнительные элементы устройств (спереди для *Buffer_EXT_F* и

сзади для *Buffer_Ext_R*), которые будут автоматически назначены упрощенным одномерным моделям вагонов в составе поезда.

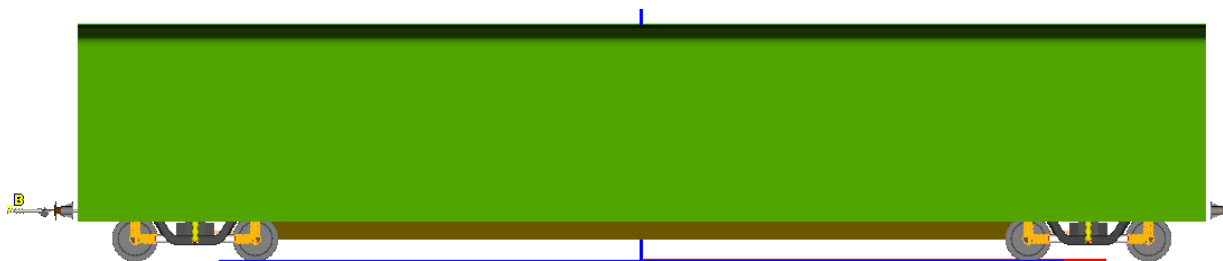


Рис. 1.28. Модель пассажирского вагона Passenger Car, оборудованная буферным сцепным устройством по модели *Buffer*

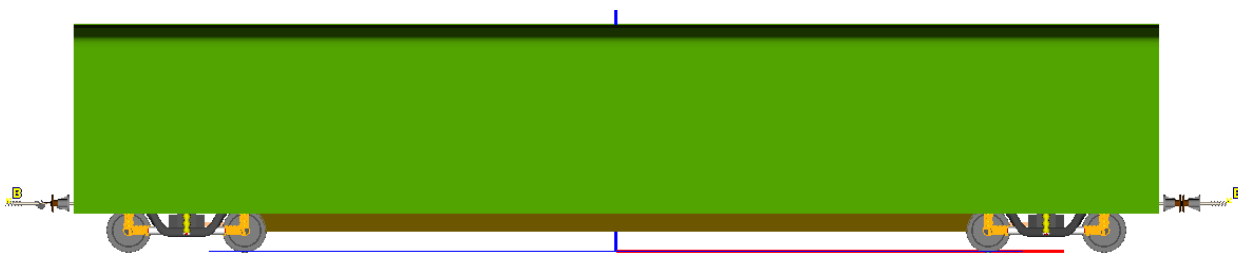


Рис. 1.29. Модель пассажирского вагона Passenger Car ExtF, оборудованная буферным сцепным устройством по модели *Buffer_EXT_F*

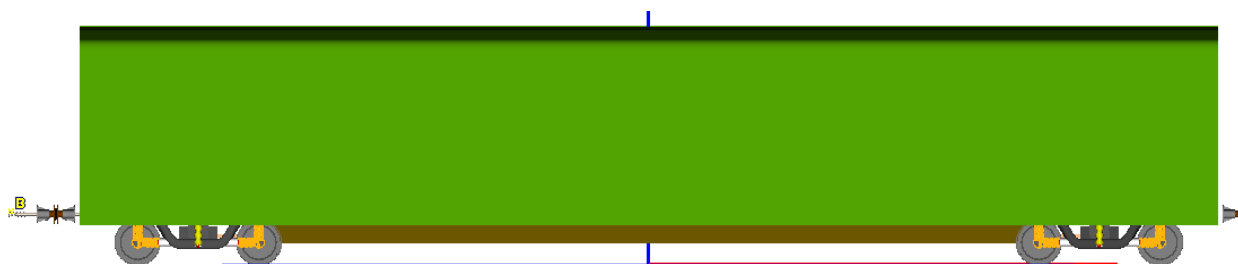


Рис. 1.30. Модель пассажирского вагона Passenger Car ExtR, оборудованная буферным сцепным устройством по модели *Buffer_EXT_R*

На рис. 1.28 представлена 3D модель пассажирского вагона Passenger Car для включения в состав сцепы, на рис. 1.29, рис. 1.30 модели Passenger Car ExtR и Passenger Car ExtF предназначены для включения в состав поезда в качестве переднего и заднего вагонов сцепы, соединяемых с одномерными вагонами.

1.4.2. Структура и детальное описание модели Buffer

1.4.2.1. Структура модели

Модель сцепного устройства включает следующие элементы (рис. 1.31):

- корпус буфера – абсолютно твердое тело, жестко связанное с кузовом;
- тарелка – абсолютно твердое тело, имеющее одну продольную поступательную степень свободы относительно корпуса;
- поглощающий аппарат – силовой элемент, соединяющий тарелку с корпусом;
- тяга – биполярный элемент, работающий на растяжение.

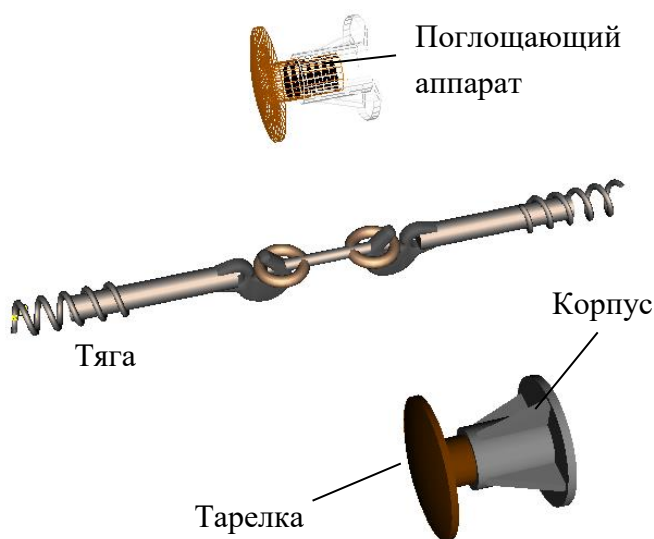


Рис. 1.31. Схема элементов модели буферного сцепного устройства

Тела и шарниры

Модель *Buffer* включает девять тел и десять шарниров, описание которых приведено в табл. 1.4, 1.5.

Таблица 1.4.

Тела в модели Buffer

Имя	Масса	Моменты инерции			Комментарий
		I _x	I _y	I _z	
<i>CarBodyFixed</i>	0	0	0	0	Фиктивное тело, относительно которого задаются элементы сцепного устройства. При добавлении к модели экипажа это тело жестко связывается с кузовом. Тело создано с внутренним шарниром.

<i>Buffer body RL</i> (RR, FL, FR)	<i>m_buffer_bod</i> <i>y</i>	0	0	0	Корпусы буферов
<i>Buffer plate RL</i> (RR, FL, FR)	<i>m_buffer_plat</i> <i>e</i>	0	0	0	Тарелки буферов

Таблица 1.5.

Шарниры в модели Buffer

Имя	Тип	Число ст. св.	Тело 1	Тело2	Комментарий
<i>CarBodyFixed</i>	Внутренний	6	<i>Base 0</i>	<i>CarBodyFixed</i>	Внутренний шарнир тела <i>CarBodyFixed</i> , удаляется автоматически после назначения второго тела шарниру <i>jCarBodyFix</i>
<i>jCarBodyFix</i>	Обобщенный	0	<i>CarBodyFix</i>	<i>External</i> (внешнее)	Шарнир, жестко связывающий фиктивное тело с кузовом
<i>jBuffer body RL</i> (RR, FL, FR)	6 ст свободы	0	<i>CarBodyFixed</i>	<i>Buffer body RL</i> (RR, FL, FR)	Задаст положение корпуса букса относительно кузова
<i>jBuffer plate RL</i> (RR, FL, FR)	Поступательный	1	<i>Buffer body RL</i> (RR, FL, FR)	<i>Buffer plate RL</i> (RR, FL, FR)	Задаст поступательное движение тарелки относительно корпуса буфера в продольном направлении

1.4.2.2. Поглощающие аппараты

Поглощающие аппараты моделируются шарнирными силами в поступательных шарнирах *jBuffer plate RL (RR, FL, FR)*. Список сил, описывающих поглощающий аппарат, включает три силы.

1. Трение, рис. 1.32, рис. 1.33, тип задания силы «упруго-фрикционный», то есть трение, зависящее от силы сжатия пружины **C2**, жесткость которой задана идентификатором *c_buffer*. Подробное описание силы можно найти в [Главе 2](#), п. Упруго – фрикционная сила 2.

Пружина **C1** жесткость которой *c_buffer_locking* много больше *c_buffer* и соответствует жесткости в режиме сцепления. Коэффициенты трения скольжения и сцепления *f_buffer_friction* определяют величину силы трения по формуле

$$F_{fr} = f_{buffer_friction} * c_{buffer} * x,$$

x – прогиб пружины.

В качестве примера рассмотрим значение силы при некоторой величине сжатия аппарата, рис. 1.33. При нагружении и разгрузке сила равна

$$F_1 = F_e + F_{fr} = F_e + \mu c_2 x \approx c_2 x (1 + \mu),$$

$$F_2 = F_e - F_{fr} = F_e - \mu c_2 x \approx c_2 x (1 - \mu),$$

где F_e, μ – упругая составляющая силы и коэффициент трения. Коэффициент трения приближенно равен коэффициенту относительного трения, рассчитываемому по формуле

$$\varphi = \frac{F_1 - F_2}{F_1 + F_2}.$$

Сжатие аппарата при сцепленных связях задается идентификатором *buffer_predeflection* (м).

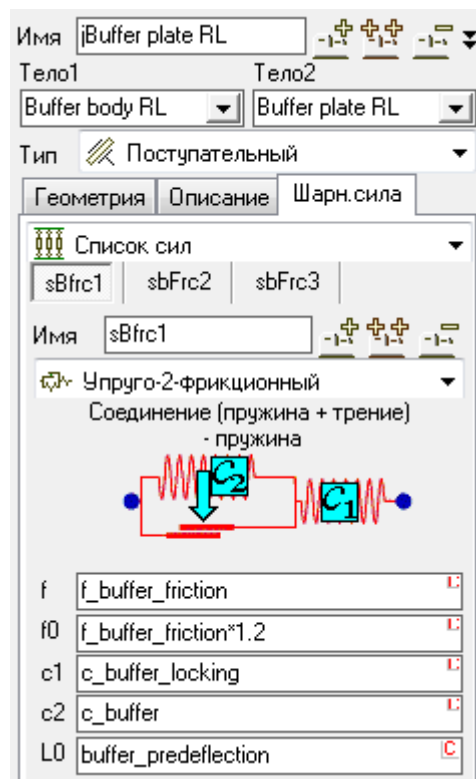


Рис. 1.32. Модель трения в поглощающем аппарате

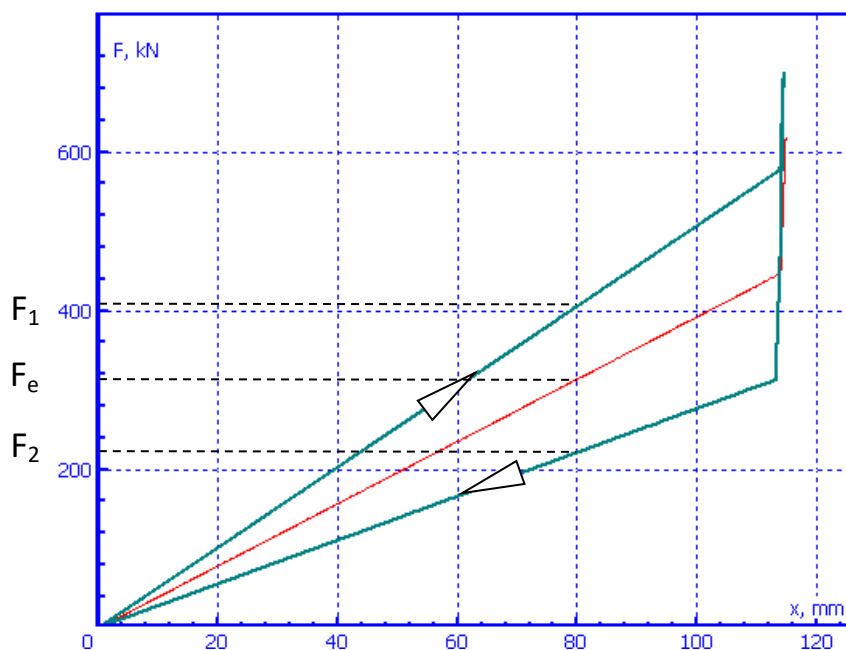


Рис. 1.33. Гистерезисная характеристика поглощающего аппарата

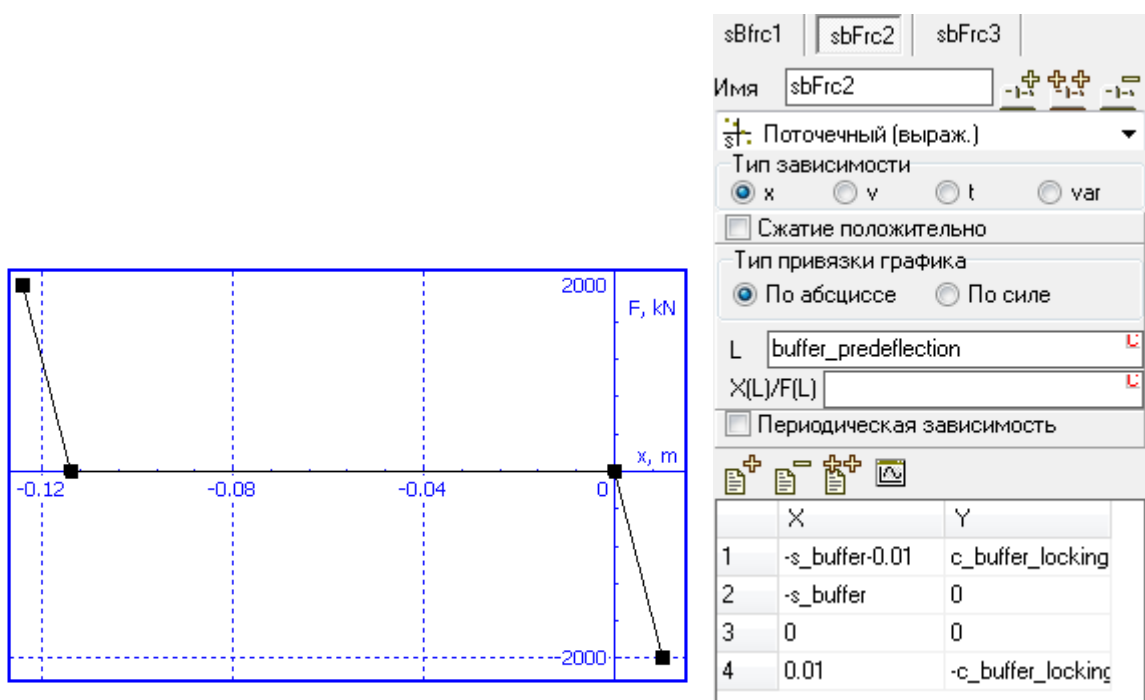


Рис. 1.34. Ограничение по ходу поглощающего аппарата

- Вторая сила в группе задает ограничение по ходу поглощающего аппарата в пределах сжатия до максимального значения, параметризованного идентификатором s_buffer , рис. 1.34. Резкий рост силы при выходе на ограничение на рис. 1.33 вызван именно этим элементом группы сил, образующих модель поглощающего аппарата.

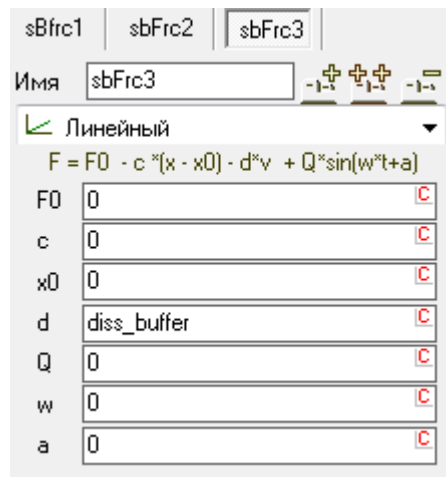


Рис. 1.35. Линейное демпфирование

- Третья сила в группе вводит небольшое демпфирование линейное по скорости, рис. 1.35. Коэффициент демпфирования задан идентификатором *diss_buffer*.

Замечание. Гистерезисная характеристика поглощающего аппарата вместе с ограничением по ходу может быть задана с помощью шарнирной силы типа Гистерезис (см. руководство пользователя, [Глава 2](#) – Механическая система как объект моделирования, раздел *Силовые элементы | Типы скалярных сил | Гистерезис*).

1.4.2.3. Внешние элементы взаимодействия двух экипажей

Взаимодействие задних элементов сцепных устройств с передними элементами экипажа, следующего сзади данного, описывается тремя внешними силовыми элементами, то есть элементами, у которых второе тело задано как внешнее (*External*) и должно быть назначено с помощью специального инструмента при создании модели сцепа (см. п. 1.6.2).

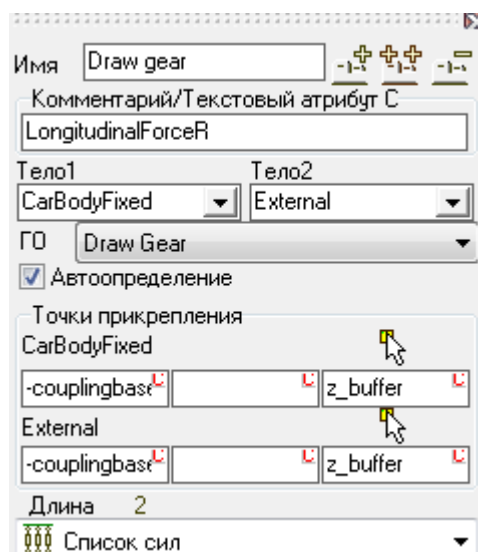
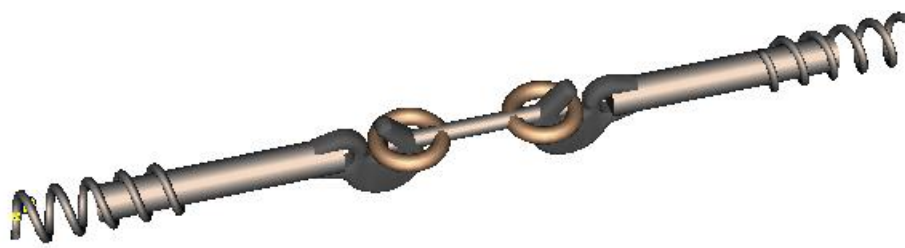


Рис. 1.36. Продольная тяга

Таблица 1.6.

Идентификаторы, параметризующие тягу

Имя	Значение по умолчанию	Комментарий
<i>l_drawgear</i>	2 м	Полная длина тяги
<i>z_buffer</i>	1.054 м	Высота буферов и тяги над головкой рельса
<i>c_drawgear</i>	4x10 ⁶ Н/м	Коэффициент жесткости тяги на растяжение
<i>d_drawgear</i>	1x10 ⁴ Нс/м	Коэффициент демпфирования тяги на растяжение

1. *Draw gear* – биполярный силовой элемент включает параллельно две силы, рис. 1.36. Элемент соединяет тело *CarBodyFixed* с внешним телом (*External*) в режиме **автоопределения**. Режим автоопределения означает, что координаты прикрепления эле-

мента ко второму телу будут определены автоматически, после того, как это тело назначено. Координаты точки прикрепления к телу *CarBodyFixed*:

$(-couplingbase/2+l_drawgear/2, 0, z_buffer)$,

координаты прикрепления к внешнему телу в системе координат *CarBodyFixed*:

$(-couplingbase/2-l_drawgear/2, 0, z_buffer)$.

Идентификаторы, параметризующие эти выражения, приведены в табл. 1.6.

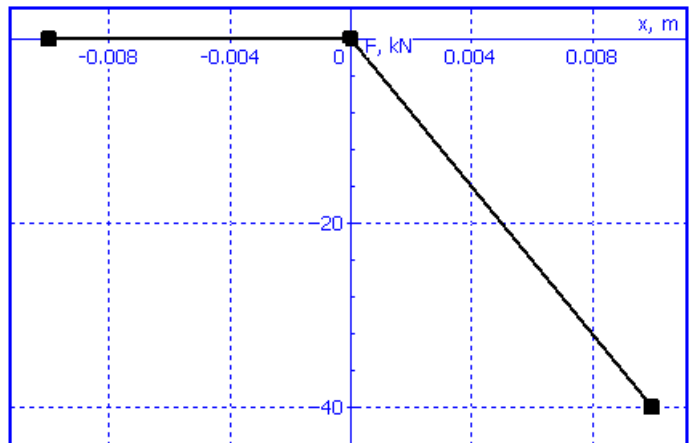
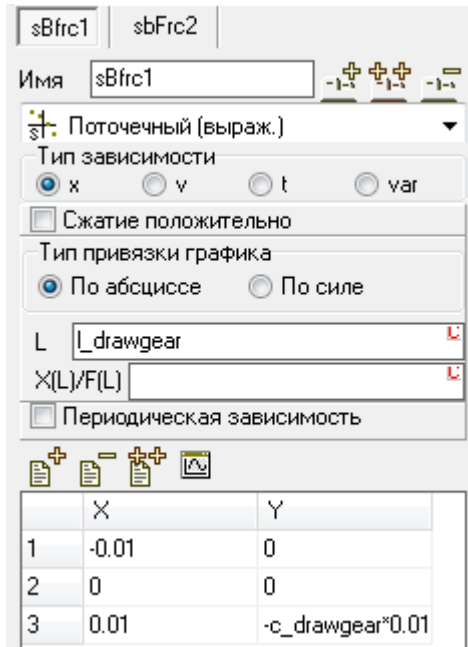


Рис. 1.37. Внешний элемент: продольная тяга, работающая на растяжение. Упругая составляющая

Силовой элемент содержит две параллельные силы. Первая из них – упругая односторонняя составляющая, работающая только на растяжение, рис. 1.37.

Вторая составляющая силы – диссипативная, рассчитываемая по формуле

$$F = -d_drawgear*v*heavi(x-l_drawgear),$$

где $d_drawgear$ – коэффициент диссипации, v , x – длина элемента и скорость ее изменения, $l_drawgear$ – длина элемента в недеформированном состоянии, $heavi$ – функция Хэвисайда,

$$heavi(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

Список идентификаторов, параметризующих тягу, приведен в табл. 1.6.

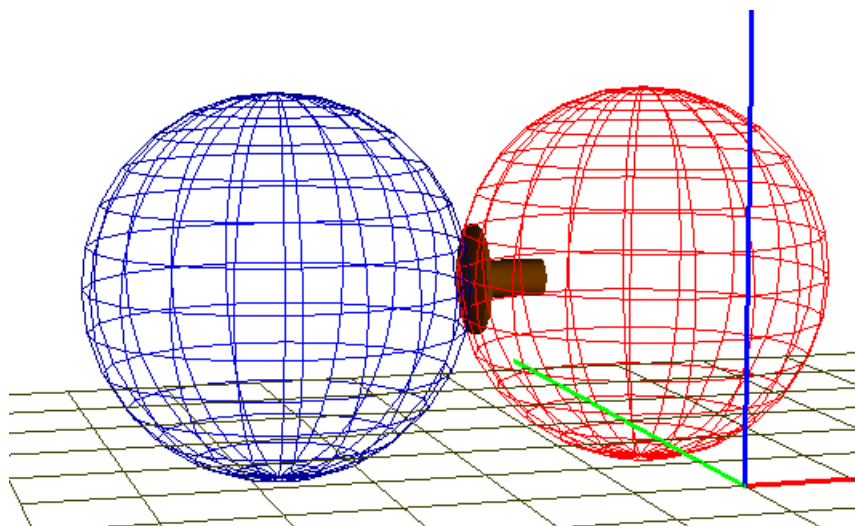


Рис. 1.38. Внешний элемент: контакт тарелок

2. Контактные силы *Contact buffer RL(RR)* типа «Сфера-Сфера» задают взаимодействие тарелок буферов, рис. 1.38. Первое тело – соответствующая тарелка буферов, входящих в модель. Второе тело – внешнее. В модели сцепа следует назначить с помощью точки связи второе тело – тарелку заднего экипажа. Идентификаторы, параметризующие взаимодействие, приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7.

Идентификаторы, параметризующие контакт тарелок

Имя	Значение по умолчанию	Комментарий
<i>r_buffer</i>	0.7 м	Радиус поверхности тарелки (контактный радиус сфер)
<i>c_buffer_contact</i>	1x108 Н/м	Контактная жесткость
<i>d_buffer_contact</i>	1x103 Нс/м	Контактное демпфирование
<i>ffr_buffer</i>	0.25	Коэффициент трения скольжения в контакте. Значение коэффициента трения покоя принято в 1.2 раза больше коэффициента трения скольжения.

Замечание. Всем трем силовым элементам в поле комментария назначен стандартный текстовый атрибут **LongitudinalForceR** (задняя продольная сила). Таким образом программе сообщается, что эти элементы будут использованы для определения величины продольной силы в автосцепке при моделировании динамики как отдельно стоящего сцепа, так и сцепа в составе поезда. Сила будет равна сумме продольных сил этих трех силовых элементов.

1.4.3. Особенности моделей *Buffer_EXT_F(R)*

Модели *Buffer_EXT_F(R)* предназначены для оборудования сцепными буферными приборами моделей трехмерных рельсовых экипажей с целью их включения в состав поезда. Модель поезда, кроме включаемых 3D моделей, может содержать любое число одномерных вагонов, связанных друг с другом упрощенными моделями автосцепок. Для того, чтобы повысить точность моделирования трехмерного сцепа в составе поезда, связь между крайними 3D и одномерными экипажами осуществляется с помощью уточненных моделей автосцепок. Таким образом, модели *Buffer_EXT_F(R)*, по сравнению с *Buffer*, содержат дополнительные элементы, в том числе корпуса, тарелки буферов и ряд силовых элементов, которые будут автоматически присоединены к одномерным экипажам (переднему по отношению к сцепу или заднему).

1.4.4. Модель *Buffer_EXT_F*

Модель *Buffer_EXT_F* предназначена для оборудования тяговыми устройствами **переднего** экипажа сцепа, при условии, что он не является первым экипажем состава. По сравнению с *Buffer*, модель содержит следующие дополнительные элементы и изменения (см. правую часть рис. 1.39).

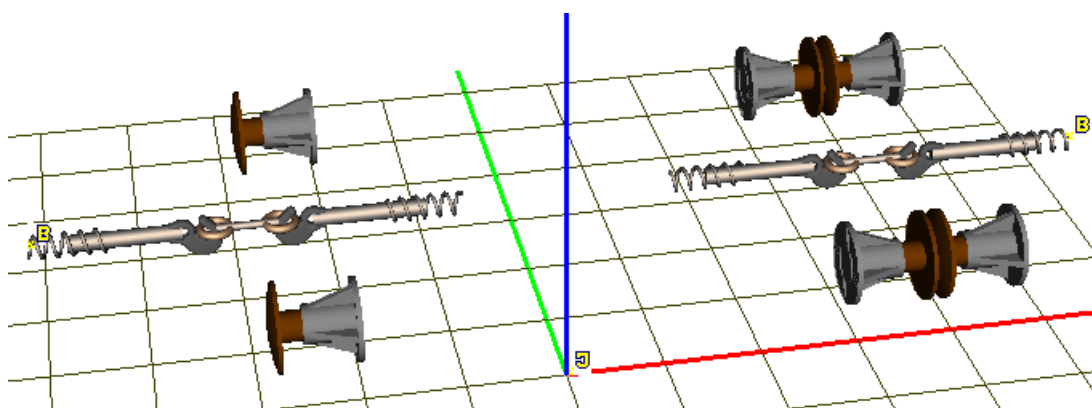


Рис. 1.39. Модель *Buffer_EXT_F*

- Тела *Buffer body Ext FL (FR)* – корпуса пары внешних буферов, которые будут присоединены силовыми связями к упрощенной передней модели экипажа в составе поезда.
- Тела *Buffer plate Ext FL (FR)* – тарелки пары внешних буферов.
- Шарниры *jBuffer body Ext FL (FR)* задающие шесть степеней свободы корпусам буферов относительно базы.
- Шарниры *jBuffer plate Ext FL (FR)*, определяющие поступательные степени свободы тарелок относительно буферов и вводящие поглощающие аппараты; описание шарниров полностью аналогично *jBuffer plate RL (RR, FL, FR)* в модели *Buffer* (п. 1.4. "Стандартная модель буферов", с. 1-18).
- Внешний биполярный элемент *Draw gear Ext F* – тяга, связывающая экипаж с впереди идущим.

- Контактные силовые элементы *Contact buffer Ext FL (FR)* задающие взаимодействие тарелок.
- Внешние упругие связи *Buffer body Ext FL (FR) Fixation* типа «сайлент-блок» (специальные силы), которые связывают корпуса внешних буферов с передним экипажем.

Замечание 1. Описание большинства из перечисленных силовых элементов совпадает с описанием внутренних элементов, имеющих аналогичные имена.

Замечание 2. Важно, что элементам *Draw gear Ext F*, *Buffer body Ext FL (FR) Fixation* назначен текстовый атрибут **CouplingExtFront** (передняя внешняя связь), который позволяет программе автоматизировать процесс назначения этим элементам внешнего (второго) тела. Силовые элементы, помеченные эти атрибутом, автоматически используются для расчета суммарных продольных сил в междвагонных связях.

1.4.5. Модель *Buffer_EXT_R*

Модель *Buffer_EXT_R* предназначена для оборудования тяговыми устройствами заднего экипажа сцепа, при условии, что он не является последним экипажем состава. По сравнению с *Buffer*, модель содержит следующие дополнительные элементы и изменения (см. левую часть рис. 1.40).

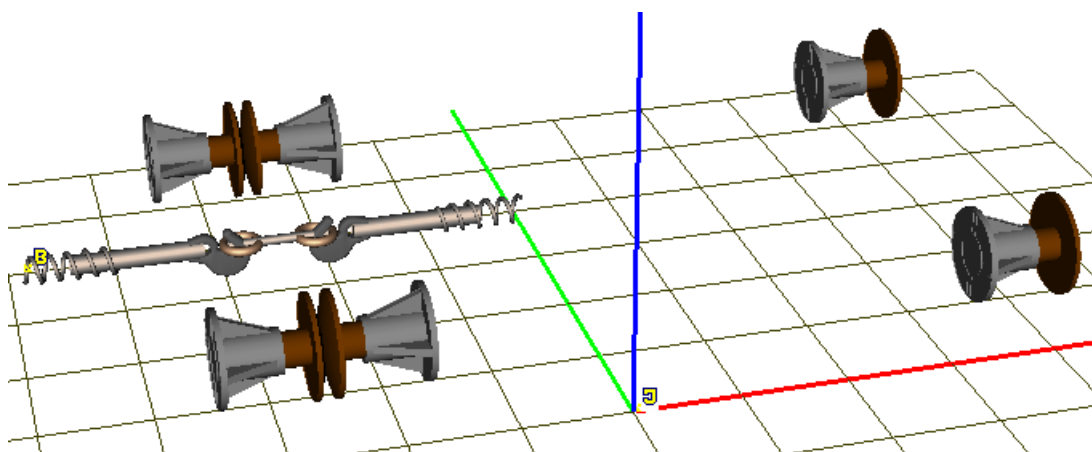


Рис. 1.40. Модель *Buffer_EXT_R*

- Тела *Buffer body Ext RL (RR)* – корпуса пары внешних буферов, которые будут присоединены силовыми связями к упрощенной задней модели экипажа в составе поезда.
- Тела *Buffer plate Ext RL (RR)* – тарелки пары внешних буферов, которые будут присоединены к упрощенной задней модели экипажа в составе поезда.
- Шарниры *jBuffer body Ext RL (RR)*, задающие шесть степеней свободы корпусам буферов относительно базы.
- Шарниры *jBuffer plate Ext RL (RR)*, определяющие поступательные степени свободы тарелок относительно буферов и вводящие поглощающие аппараты; описание шарниров полностью аналогично *jBuffer plate RL (RR, FL, FR)* в модели *Buffer* (п. 1.4. "Стандартная модель буферов", с. 1-18).

- Контактные силовые элементы *Contact buffer Ext RL (RR)* задающие взаимодействие тарелок.
- Внешние упругие связи *Buffer body Ext RL (RR) Fixation* типа сайлент-блок (специальные силы), которые связывают корпуса внешних буферов с задним экипажем.

Замечание 1. Описание большинства из перечисленных силовых элементов совпадает с описанием внутренних элементов, имеющих аналогичные имена.

Замечание 2. Важно, что элементам *Draw gear Ext, Buffer body Ext RL (RR) Fixation* назначен текстовый атрибут **CouplingExtRear** (задняя внешняя связь), который позволяет программе автоматизировать процесс назначения этим элементам внешнего (второго) тела. Силовые элементы, помеченные этим атрибутом, автоматически используются для расчета суммарных продольных сил в межвагонных связях.

1.5. Стандартные идентификаторы и текстовые атрибуты в моделях межвагонных связей

Модели межвагонных связей включают **стандартные идентификаторы**:

- *CouplingBase* – база экипажа по межвагонным связям (например, по автосцепкам);
- *CouplingHeight* – высота оси связи над уровнем головок рельсов;
- *VehicleBase* – шкворневая база экипажа (используется только при включении сцепа в состав поезда).

Корректные значения этих идентификаторов позволяют правильно разместить элементы с геометрической точки зрения.

Следующие **стандартные текстовые атрибуты** используются для автоматизации процедур включения 3D сцепов в состав поезда:

- *CouplingExtFront* (передняя внешняя связь) – позволяет программе автоматизировать процесс назначения внешним силовым элементам второго тела – одномерной модели экипажа в составе поезда; атрибут используется для силовых элементов связи первого экипажа сцепа с передним упрощенным экипажем (см. п. 1.3.4. "Модель AC_Standard_EXT_F", с. 1-15). Силовые элементы, помеченные этим атрибутом, автоматически используются для расчета суммарных продольных сил в межвагонных связях.
- *CouplingExtRear* (задняя внешняя связь) – позволяет программе автоматизировать процесс назначения внешним силовым элементам второго тела – одномерной модели экипажа в составе поезда; атрибут используется для силовых элементов связи последнего экипажа сцепа с задним упрощенным экипажем (см. п. 1.3.5. "Модель AC_Standard_EXT_R", с. 1-17). Силовые элементы, помеченные этим атрибутом, автоматически используются для расчета суммарных продольных сил в межвагонных связях.
- *LongitudinalForceR* – назначается силовому элементу или группе силовых элементов, которые определяют продольную силу в **задней** межвагонной связи экипажа. В качестве значения силы берется сумма проекций сил, помеченных данным атрибутом, на

ось экипажа (см. п. 1.3.2.5. "Внешние элементы взаимодействия двух автосцепок", с. 1-14).

Отсутствие, некорректное или неполное использование атрибутов приводит к некорректным моделям в рамках модуля Train3D.

1.6. Создание моделей сцепов

В данном разделе мы подробно рассмотрим процесс создания моделей сцепов вне поезда и в его составе, используя автосцепку в качестве модели сцепного устройства. Для буферных устройств выполняемые действия такие же за исключением имен моделей или кнопок визуального добавления элементов.

1.6.1. Добавления автосцепок к моделям экипажей

Для добавления автосцепок к трехмерной модели рельсового экипажа с использованием **визуальных компонент** откройте модель в программе ввода и выполните следующие действия.

1. Проверьте, что кузову экипажа назначен текстовый атрибут *CarBody*, позволяющий программе автоматически определить тело, моделирующее кузов. При необходимости назначьте атрибут. Для этого выделите тело, соответствующее кузову, в списке тел и внесите атрибут в поле комментариев, рис. 1.41.
2. Щелкните на нужной кнопке визуальной компоненты (рис. 1.4).

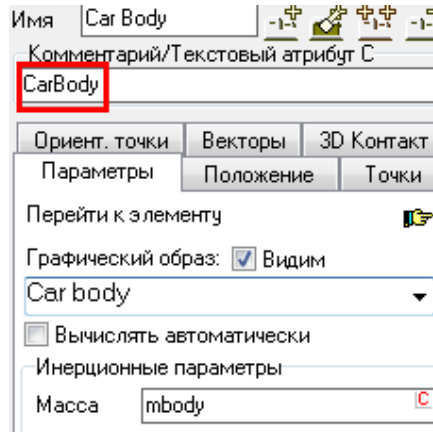


Рис. 1.41. Текстовый атрибут *CarBody* в поле комментария

Identifier	Value	Comment
CouplingHeight	1.06	z коорд.автосцепки от головки ре
CouplingBase	15.2	База экипажа по автосцепкам
mac	250	Масса автосцепки
L_pov	0.3	

Buttons: Принять, Поместить на закладку: Автосцепка

Рис. 1.42. Список идентификаторов, добавляемых к модели экипажа вместе с автосцепками

1. В отдельном окне появится список идентификаторов, параметризующих модель автосцепки. Если в модели трехмерного экипажа заранее не добавлены идентификаторы *CouplingBase* и *CouplingHeight*, то следует ввести их численные значения в списке, рис. 1.42. Если пользователь хочет разместить новые идентификаторы на отдельной закладке списка идентификаторов модели, то в окне на рис. 1.42 в поле **Поместить на закладку** надо указать имя новой закладки.

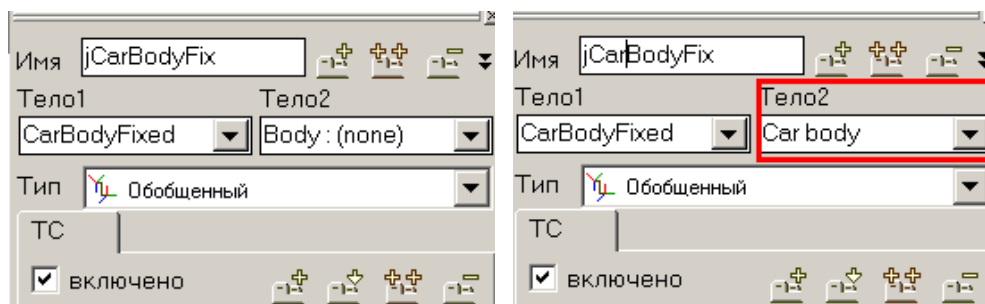

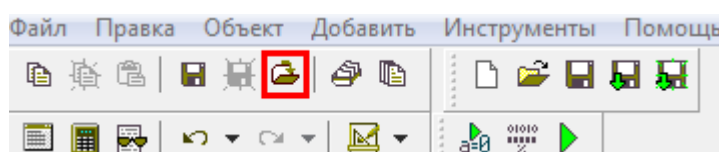


Рис. 1.43. Назначение кузова в качестве второго тела шарнира jCarBodyFix

2. Если пользователь не выполнил п.1 в данном списке действий, то дополнительно следует назначить кузов второму телу добавленного шарнира *jCarBodyFix*, рис. 1.43.

Для добавления автосцепок к трехмерной модели рельсового экипажа с использованием **объектов UM** (например, моделей *AC_Standard*, *AC_Standard_EXT_F*, *AC_Standard_EXT_R* или их модификаций, созданных пользователем на базе этих шаблонов с использованием стандартной методики) следует

- вместо п. 2 добавить модель автосцепок, для чего щелкнуть на кнопке  на панели инструментов или выполнить команду меню **Правка | Прочитать из файла...** и открыть файл *input.dat* с описанием модели, рис. 1.44.
- выполнить п. 3, 4.



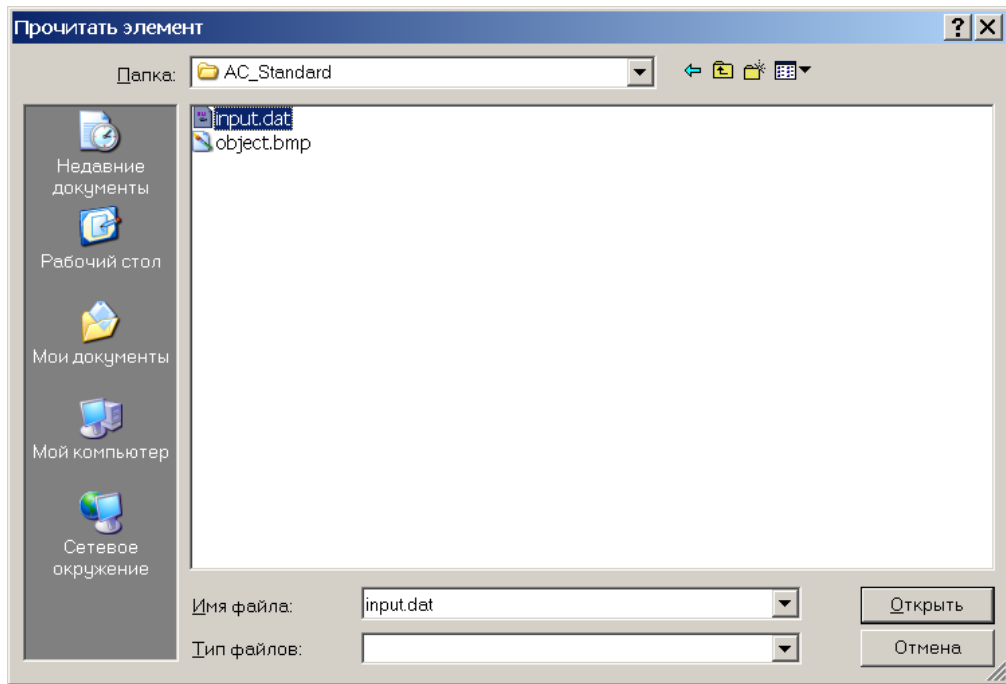



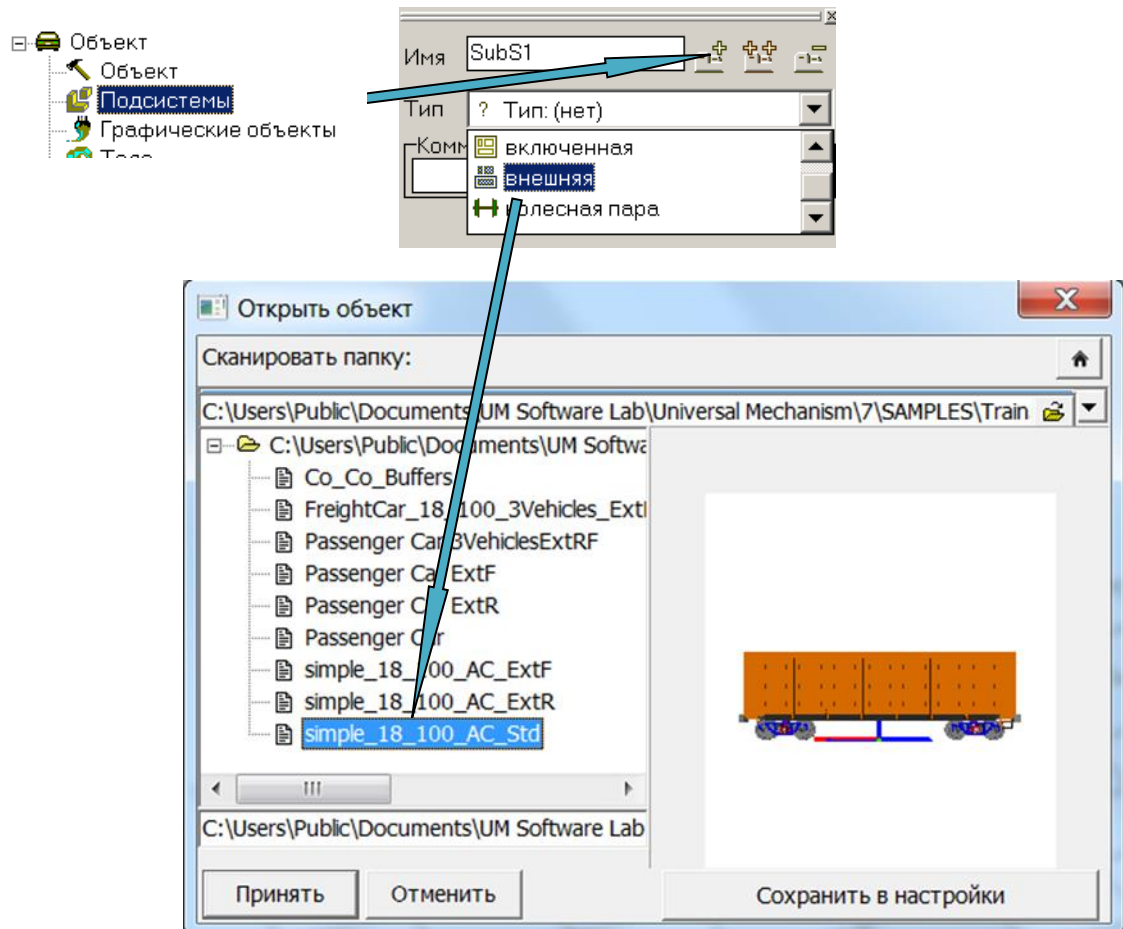
Рис. 1.44. Добавление модели автосцепки из объекта UM

1.6.2. Моделирование сцепа вне состава поезда

Рассмотрим пример создания сцепа с использованием модели грузового вагона с трехэлементной тележкой *simple_18_100* (путь к модели: [{Данные УМ}\Samples\Rail vehicles\ simple_18_100](#)). Готовая модель сцепа под именем *FreightCar_18_100_3Vehicles* содержится в базе данных, п. 1.2. "База моделей модуля *Train 3D*", с. 1-5.

Обратите внимание, что модель *simple_18_100* уже содержит идентификаторы *CouplingBase* и *CouplingHeight*.

1. Создайте модель вагона, оборудованного автосцепками по п. 1.3.2. "Структура модели автосцепки *AC_Standard*", с. 1-9. Сохраните ее под именем *simple_18_100_AC_Std*. Заметим, что база данных уже содержит модель вагона с автосцепками *simple_18_100_AC_Std*, п. 1.2. "База моделей модуля *Train 3D*", с. 1-5, и пользователь может сравнивать свои результаты с данной моделью.
2. Закройте модель автомотрисы (добавление к модели сцепа внешней подсистемы невозможно, если модель этой подсистемы открыта).
3. Создайте новую модель с использованием команды меню **Файл | Новый объект...** или кнопки  на панели инструментов. Сохраните ее под именем *FreightCar_18_100_3Vehicles*.



4. Добавьте подсистему. Задайте ее тип “внешняя” и выберите модель *simple_18_100_AC_Std*, рис. 1.45.

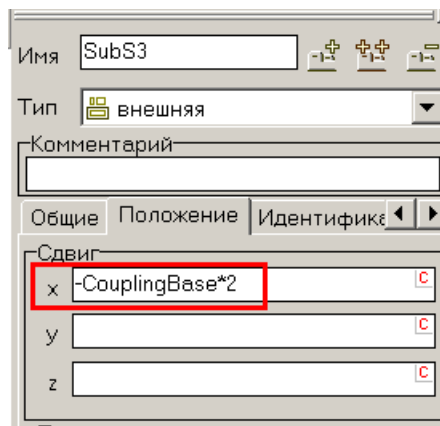



Рис. 1.46. Назначение продольного положения отдельного экипажа



Рис. 1.47. Общий вид сцепа трех вагонов вне состава поезда

5. Дважды скопируйте подсистему с использованием кнопки  и задайте их продольное положение $-CouplingBase$ и $-CouplingBase*2$, задав численное значение идентификатору $CouplingBase$, равное его значению в подсистеме, рис. 1.46. Модель примет вид, изображенный на рис. 1.47.

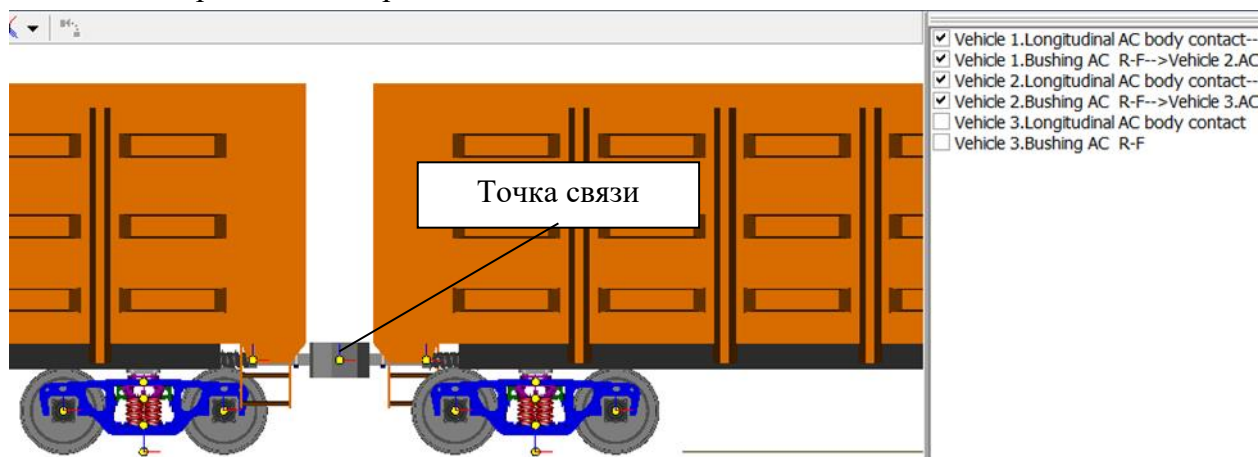


Рис. 1.48. Задание связей для внешних элементов

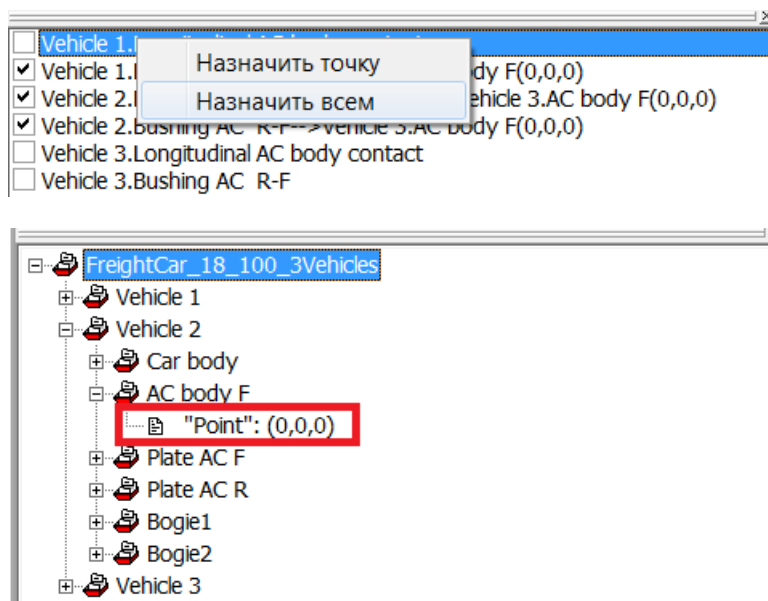


Рис. 1.49. Выбор точки связи для внешнего элемента

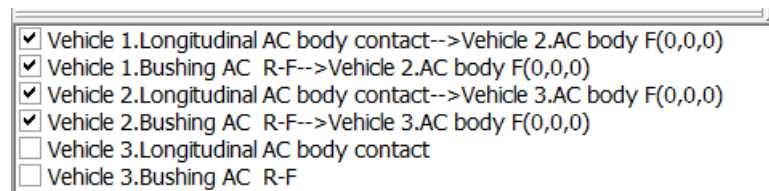


Рис. 1.50. Список внешних элементов с установленными связями (помечены галочками)

6. Последнее действие с моделью сцепа состоит в задании точек связей для внешних силовых элементов автосцепки. Таких элементов два для каждого экипажа: *Longitudinal AC body contact* (продольный контакт тел автосцепки) и *Bushing AC R-F* (элемент, обеспечивающий связи корпусов автосцепок по степеням свободы, отличным от продольной). Оба эти элемента описаны в модели задней автосцепки экипажа. Внешними телами для них являются корпуса передних автосцепок экипажа, следующего за данным. Для установления связи следует выделить силовой элемент в списке (например, элемент *Vehicle1. Longitudinal AC body contact*) и выбрать в анимационном окне точку связи на корпусе автосцепки заднего экипажа (рис. 1.48) или выполните в всплывающем меню команду **Назначить точку** и выберите нужную точку связи, рис. 1.49.

Заметим, что связи должны быть установлены для четырех элементов из шести, поскольку задняя автосцепка последнего экипажа свободна. Элементы с установленными связями помечаются галочками, рис. 1.50.

1.6.3. Моделирование сцепа в составе поезда

Создание модели сцепа, который можно включить в состав поезда, генерируемого в модуле UM TRAIN, во многом повторяет создание сцепа в п. 1.6.2. "*Моделирование сцепа вне состава поезда*", с. 1-34. Отличие заключается только в том, что для связи первого и последнего экипажей сцепа с упрощенными одномерными моделями экипажей требуются включение дополнительных элементов в модели трехмерных экипажей. В качестве первого экипажа сцепа должен быть использован экипаж, оборудованный моделью автосцепки типа *AC_Standard_EXT_F*, в качестве последнего – моделью *AC_Standard_EXT_R*. Однако если первый экипаж сцепа является первым экипажем поезда (например, локомотивом), или если последний экипаж сцепа является последней единицей состава, то следует использовать модели экипажа, оборудованные моделью автосцепки *AC_Standard*. Пояснения к данной методике даны в табл.

Таблица 1.8. Методика легко распространяется на любое число трехмерных моделей экипажей в составе сцепа.

Таблица 1.8.

Модели экипажей при различных положениях сцепа

Описание модели сцепа	Модель автосцепки		
	Экипаж 1	Экипаж 2	Экипаж 3
Сцеп вне состава поезда	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard</i>
Сцеп в голове поезда	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard_EXT_R</i>
Сцеп в середине поезда	<i>AC_Standard_EXT_F</i>	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard_EXT_R</i>
Сцеп в конце поезда	<i>AC_Standard_EXT_F</i>	<i>AC_Standard</i>	<i>AC_Standard</i>

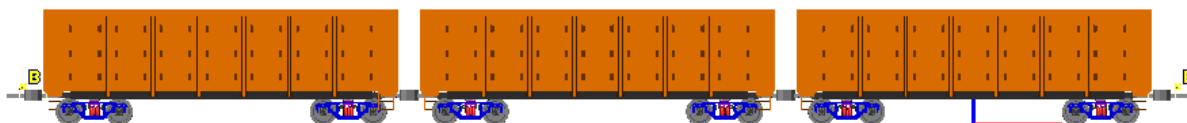


Рис. 1.51. Общий вид сцепа трех экипажей в середине поезда

Для примера сравните модель сцепа вне состава поезда (рис. 1.47) и в середине поезда (рис. 1.51), имена моделей в базе *FreightCar_18_100_3Vehicles* и *FreightCar_18_100_3Vehicles_ExtRF*, п. 1.2. "База моделей модуля *Train 3D*", с. 1-5. Последняя модель содержит дополнительные автосцепки для связи с одномерными вагонами впереди и сзади. При добавлении сцепа к составу поезда эти связи будут установлены автоматически, что, в частности, позволяет оперативно изменять положение 3D сцепа в составе.

1.7. Создание модели поезда с трехмерными экипажами

1.7.1. Общая методика создания модели

Создание модели поезда с включенным трехмерным сцепом происходит в три этапа.

1. Подготавливается модель одного или нескольких сцепов в соответствии с указаниями, приведенными выше.
2. Создается модель поезда, включающую упрощенные модели вагонов, см. [Главу 15](#) руководства пользователя.
3. В модель поезда добавляется одна или несколько сцепов в виде внешних подсистем.

1.7.2. Пример создания модели поезда

Рассмотрим пример создания модели поезда, включающего десять упрощенных экипажей и сцеп трех автотрис в средней части поезда.

1. Запустите программу ввода **UM Input**.

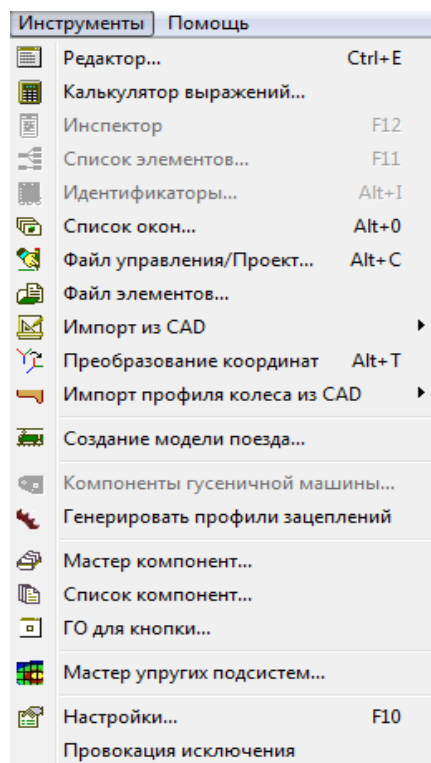


Рис. 1.52. Вызов мастера создания модели поезда

2. Откройте мастер создания модели поезда с помощью команды меню **Инструменты | Создание модели поезда...**, рис. 1.52.

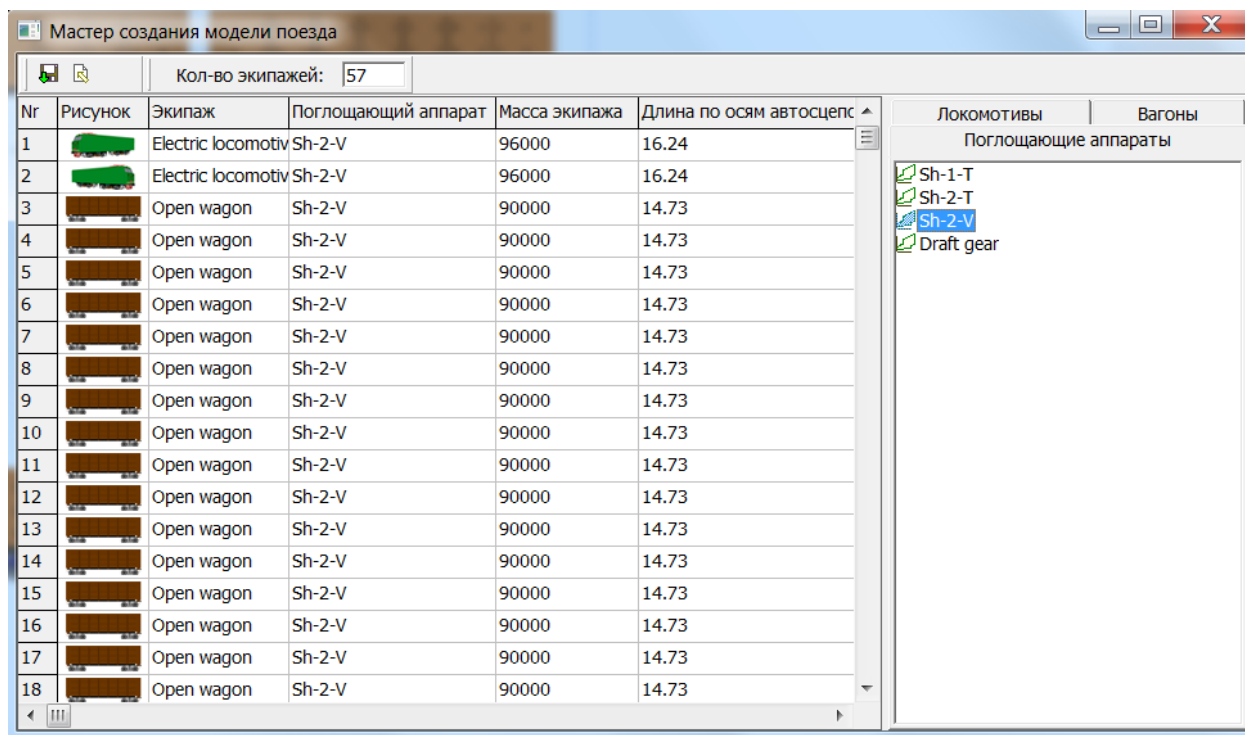


Рис. 1.53. Модель поезда с 57-ю упрощенными вагонами

3. Создайте модель, включающую десять упрощенных экипажей, рис. 1.53.
4. Щелчком на кнопке мастера создайте объект УМ, включающий десять вагонов.

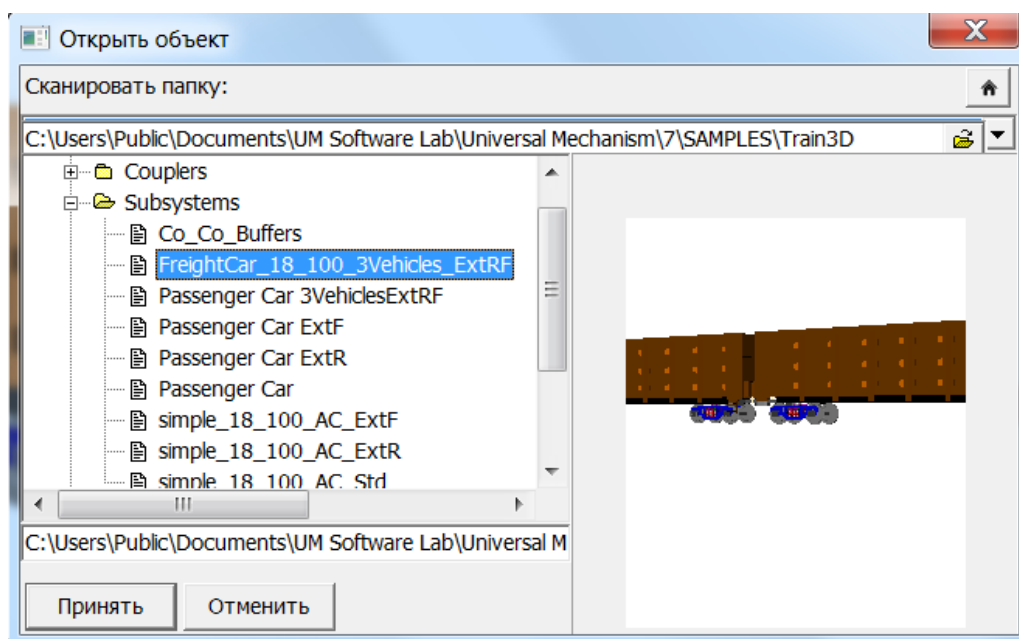
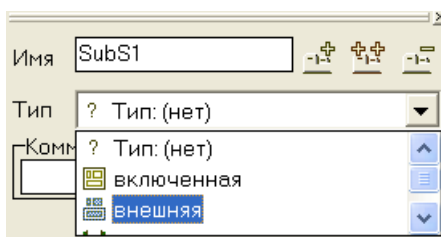



Рис. 1.54. Добавление сцепа в качестве внешней подсистемы

5. Перейдите на закладку **Подсистемы** инспектора, добавьте подсистему с помощью кнопки , задайте тип внешняя и выберите модель сцепа *FreightCar_18_100_3Vehicles_ExtRF*, рис. 1.54.

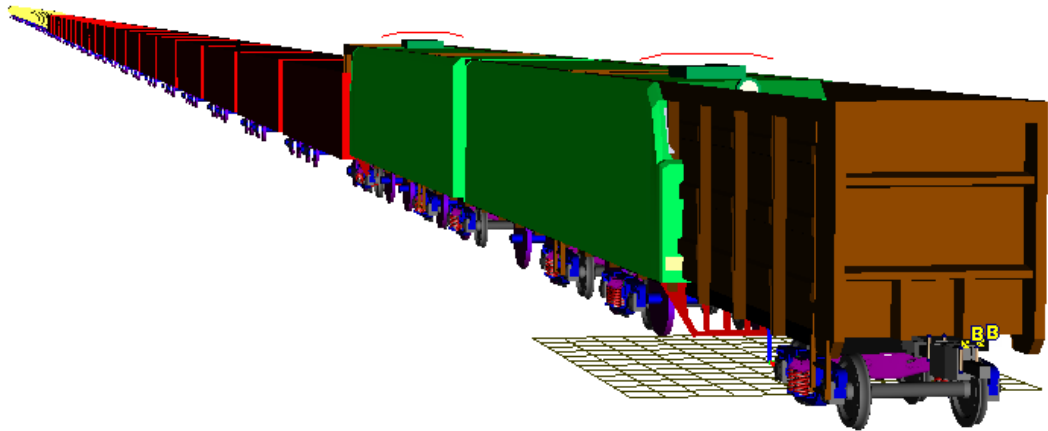


Рис. 1.55. Модель грузового поезда вместе со сцепом в программе ввода

6. В программе ввода не следует размещать экипажи сцепа в их истинные позиции, это действие выполняется в модуле моделирования. Несмотря на визуально некорректное положение автотрис (рис. 1.55), модель готова. Сохраните ее и приступайте к моделированию.

1.8. Моделирование динамики поезда с трехмерными экипажами

Моделирование динамики поезда, включающего трехмерные модели экипажей наряду с упрощенными одномерными, совмещает все инструменты, реализованные в модуле моделирования железнодорожных экипажей (UM Loco, [Глава 8](#) руководства пользователя) и в модуле продольной динамики поезда (UM Train, [Глава 15](#) руководства пользователя). Остановимся здесь на особенностях совмещения этих модулей, которым и является UM Train3D. При изложении материала будет использоваться модель поезда, созданная в предыдущем разделе.

1.8.1. Задание положения трехмерных экипажей в составе поезда

Если открыть модель поезда первый раз, то трехмерный сцеп будет автоматически размещен в конце состава, рис. 1.56. Заметим, что для модели, созданной выше, это не вполне корректно, поскольку сцеп создавался для включения в середину поезда.

Для того чтобы поместить сцеп в нужную позицию, перейдите на закладку **Поезд | Настройки | Положение экипажей** инспектора моделирования объекта и укажите новые порядковые номера экипажей. Для сцепа следует указывать последовательные номера, например, 30, 31, 32, рис. 1.57, рис. 1.58. Моделирование будет некорректным, если разорвать сцеп, то есть задать положения не последовательными числами (например, 5, 8, 9).

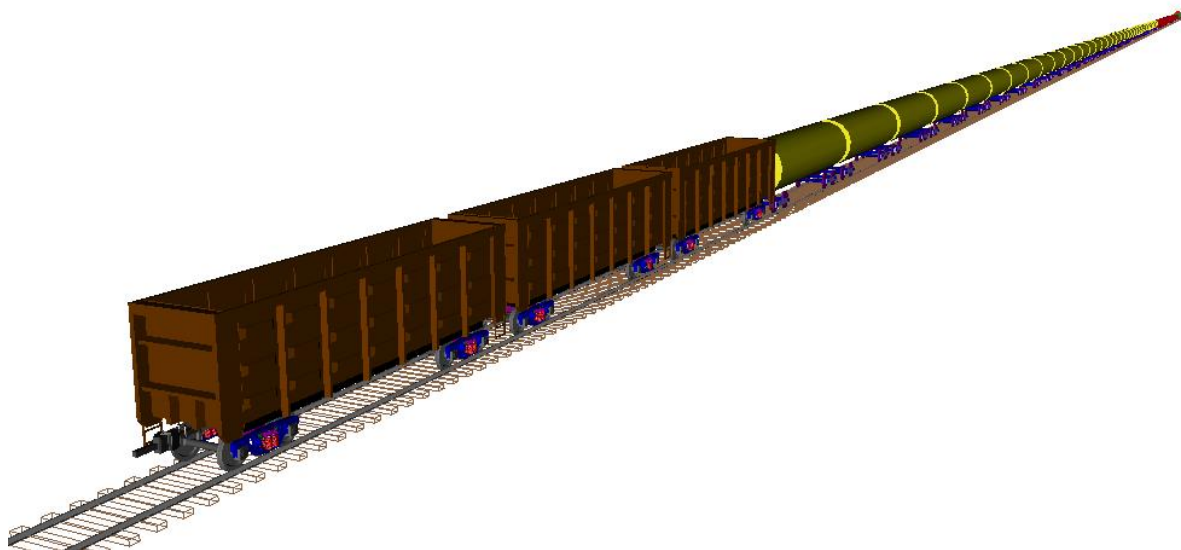


Рис. 1.56. Трехмерный сцеп в конце состава

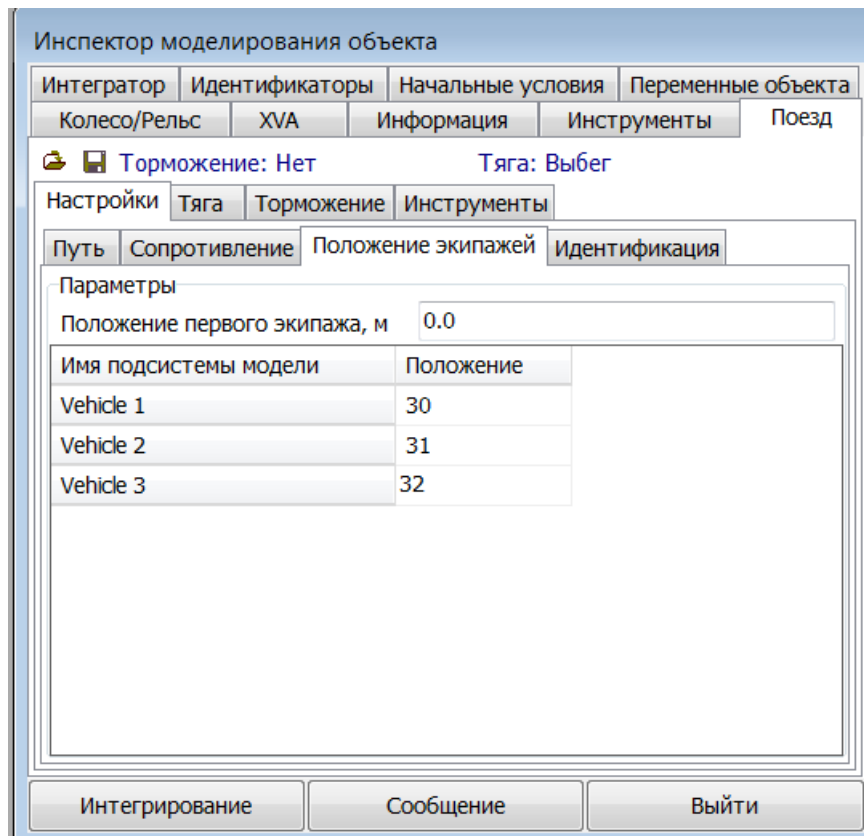


Рис. 1.57. Задание положений трехмерных экипажей

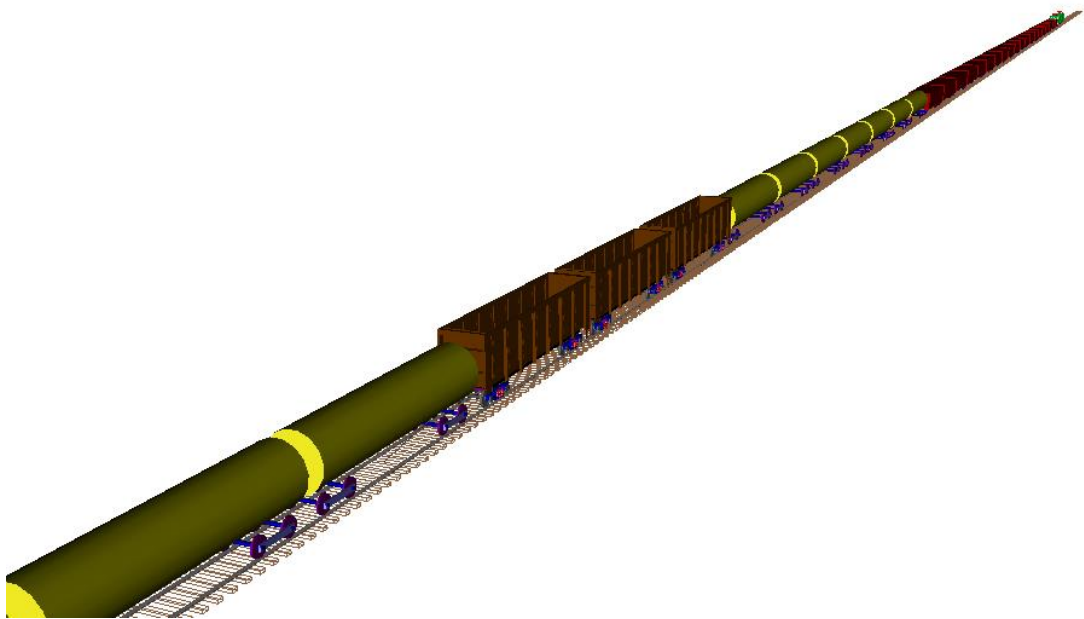


Рис. 1.58. Трехмерный сцеп в середине состава

1.8.2. Задание макрогеометрии пути

Задание макрогеометрии пути возможно только с помощью инструмента, реализованного в модуле UM Train. Файл макрогеометрии *.msg выбирается на закладке **Поезд | Настройки | Путь инспектора**. Таким образом, закладка **Колесо/Рельс | Путь | Макро-**

геометрия, на которой задается структура пути при моделировании трехмерных рельсовых экипажей, отсутствует.

1.8.3. Задание положения первого экипажа состава

Поскольку скорость моделирования динамики поезда при наличии трехмерных моделей резко замедляется, то с целью снижения вычислительных затрат, например, при заезде состава в кривую, рекомендуется задать положение первого экипажа (см. рис. 1.57) так, что первый трехмерный экипаж в сцепе будет помещен непосредственно перед началом переходной кривой, рис. 1.59. В поле можно указать любое достаточно большое расстояние, и программа автоматически рассчитает положение первого экипажа так, что первый экипаж сцепа будет расположен перед началом кривой. Например, если в случае, указанном на рисунке, задать положение первого экипажа 800 м, то программа автоматически установит значение 444.5 м.

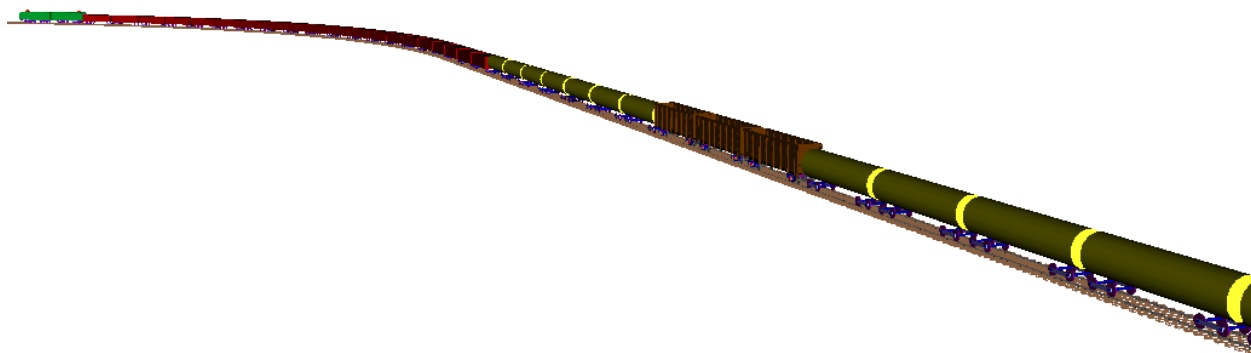
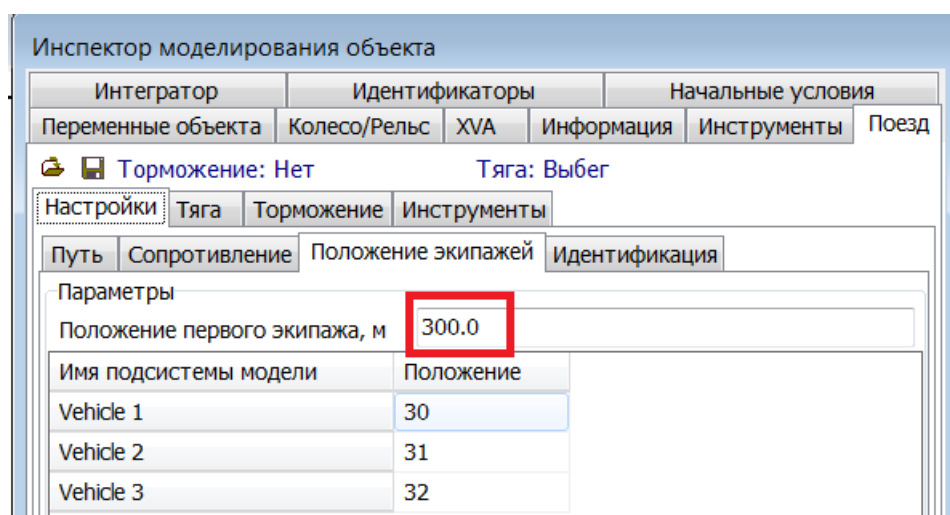
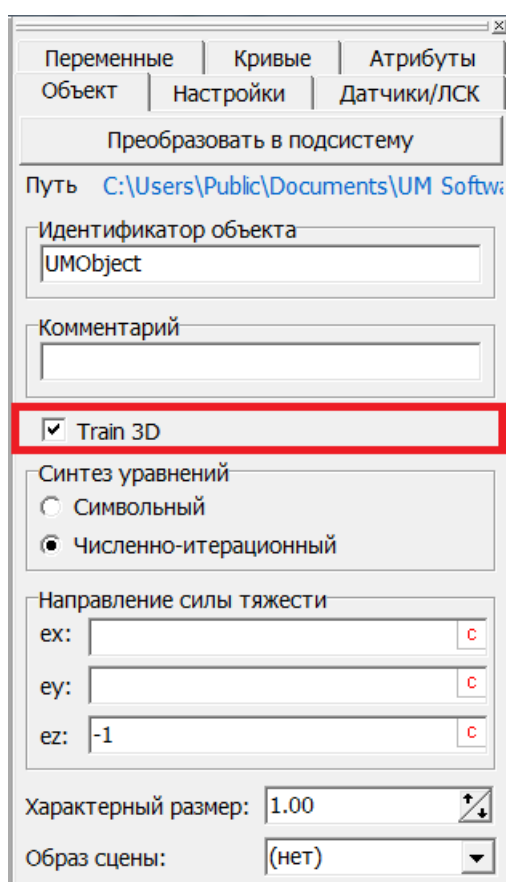


Рис. 1.59. Задание положения первого экипажа

1.9. Модель поезда, включающего только трехмерные экипажи

В UM возможно создание модели поезда, включающего только трехмерные модели экипажей. Для этого следует описанным выше образом создать цепь, включающий **не менее четырех** пространственных экипажей. При этом каждый экипаж должен быть представлен **внешней подсистемой**. В результате в программе ввода на вкладке **Объект** появится ключ **Train 3D**, рис. 1.60. Активизация этого ключа превращает текущий объект в модель поезда, т.е., наряду со стандартными функциями исследования динамики железнодорожных экипажей, пользователю предоставляются все функции моделирования продольной динамики поезда, в частности, процессов торможения.

В базе данных содержится модель пассажирского поезда *Passenger train 3D*, состоящего только из трехмерных моделей локомотива и вагонов, п. 1.2. "База моделей модуля *Train 3D*", с. 1-5, рис. 1.61.



Переменные	Кривые	Атрибуты
Объект	Настройки	Датчики/ЛСК
Преобразовать в подсистему		
Путь C:\Users\Public\Documents\UM Softwa		
Идентификатор объекта UMObject		
Комментарий		
<input checked="" type="checkbox"/> Train 3D		
Синтез уравнений <input type="radio"/> Символьный <input checked="" type="radio"/> Численно-итерационный		
Направление силы тяжести ex: <input type="text"/> C ey: <input type="text"/> C ez: <input type="text"/> -1		
Характерный размер: <input type="text"/> 1.00		
Образ сцены: <input type="text"/> (нет)		

Рис. 1.60. Ключ Train 3D

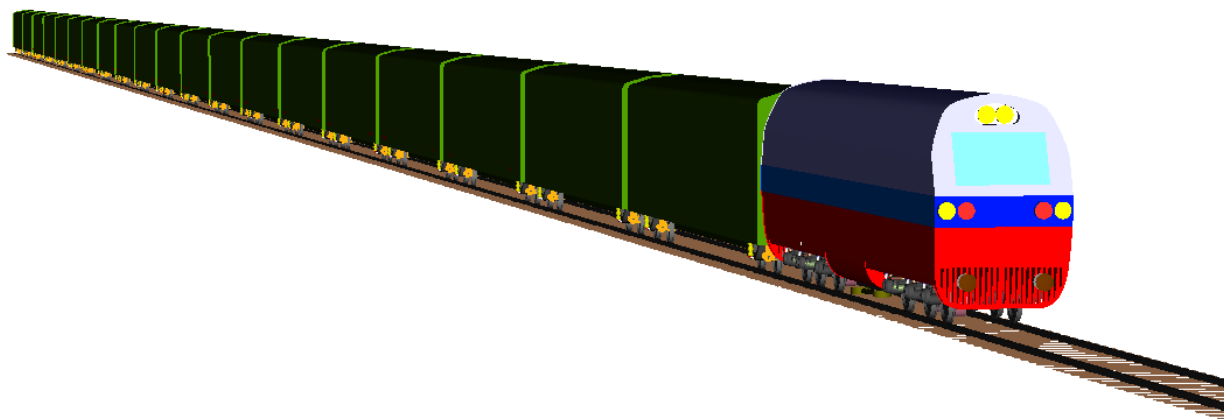


Рис. 1.61. Модель пассажирского поезда, содержащего только трехмерные модели экипажей