



Лабораторные работы



Расчет автоматического сцепления вагонов и прохода сцепленными вагонами кривых участков пути

Лабораторная работа №3

Лабораторная работа ориентирована на студентов, обучающихся по специальности "Подвижной состав железных дорог", с целью освоения методики расчета автосцепного устройства вагона

Команда "Универсального механизма" благодарит за помощь в разработке методических материалов **Антипина Дмитрия Яковлевича**, к.т.н., доцента кафедры "Подвижной состав железных дорог" Брянского государственного технического университета.

Консультант:

Д.Я. Антипин, к.т.н., доцент

Разработчики:

А.В. Сакало, к.т.н.

В.А. Сак, инженер

Оглавление

| | |
|--|-----------|
| 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ | 4 |
| 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ | 7 |
| 3. РАСЧЕТ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЦЕПЛЕНИЯ ВАГОНА И ПРОХОДА В СЦЕПЕ КРИВЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ | 8 |
| 4. ПРОВЕРКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОХОДА СЦЕПЛЕННЫХ ВАГОНОВ ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ УЧАСТКАМ ПУТИ..... | 11 |
| 4.1. СЦЕП ИЗ ДВУХ ПРОВЕРЯЕМЫХ ВАГОНОВ В S-ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ..... | 13 |
| 4.2. СЦЕП ИЗ ПРОВЕРЯЕМОГО ВАГОНА И ЭТАЛОННОГО ВАГОНА В S-ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ..... | 17 |
| 4.3. СЦЕП ИЗ ПРОВЕРЯЕМОГО ВАГОНА И ЭТАЛОННОГО ВАГОНА НА УЧАСТКЕ СОПРЯЖЕНИЯ ПРЯМОЙ И КРИВОЙ БЕЗ ПЕРЕХОДНОГО РАДИУСА..... | 19 |

1. Основные теоретические сведения

Проектируемое автостопное устройство вагонов должно иметь контур зацепления по ГОСТ 21447-75 и обеспечивать:

- взаимодействие с вагонами, оборудованными автосцепками типов СА-3, СА-3М, ОСЖД-МСЖД;
- автоматическое сцепление подвижного состава на прямых и кривых участках пути заданного радиуса в техническом задании при разнице высот продольных осей автосцепок до 140 мм и при скоростях сближения от 0,2 до 0,4 м/с;
- сохранение сцепленного состояния подвижного состава при движении в предусмотренных проектом условиях, в том числе по расчётным круговым и S-образным кривым, сортировочным горкам и аппаратам паромов;
- расцепление единиц подвижного состава регламентированным воздействием извне;
- автоматическое восстановление готовности к сцеплению после разведения расцепленных автосцепок;
- восстановление сцепления воздействием извне ошибочно расцепленных автосцепок без их разведения;
- установку механизма автосцепки регламентированным воздействием извне в положение "на буфер", не допускающее сцепление при совмещении контуров зацепления смежных автосцепок.

В соответствии с ГОСТ 33211-2014 обеспечение автоматического сцепления вагонов в круговой кривой и на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса проверяют по условию:

$$B \geq \frac{n(2l + n) - l_T^2}{2R} + \lambda, \quad (1.1)$$

где B – эффективная ширина захвата автосцепки, м;

n – длина консоли от центра пятника до оси сцепления у рассматриваемого конца вагона, где $n = n_a + a$ м;

$2l$ – база вагона, м (рис. 1);

$2l_T$ – база тележки, м (рис. 1);

R – радиус расчётной кривой, м;

λ – дополнительное возможное боковое перемещение центров зацепления автосцепок, причем:

$\lambda = 0,026$ – для двух двухосных трёхэлементных тележек или двух четырёхосных тележек;

$\lambda = 0,013$ – для двух трёхосных тележек с нежёсткой рамой;

$\lambda = 0,01$ – для двух тележек с жёсткой рамой и люлечным подвешиванием.

Для автосцепки с контуром зацепления по ГОСТ 21447 эффективную ширину захвата B определяют по формуле:

$$B = B' [1,655 \sin(\alpha_0 - \beta_0) - 0,5], \quad (1.2)$$

где B' – полная ширина захвата при параллельных осях автосцепок, причём для автосцепки модели СА-3 по ГОСТ 32885 принимают:

$B' = 0,175$ м – без направляющего крыла;

$B' = 0,2$ м – с направляющим крылом;

α_0 – угол захвата, принимают $\alpha_0 = 65^\circ$;

β_0 – угол между осью вагона и касательной к оси пути в кривой в плоскости сцепления, определяемый по формуле:

$$\beta_0 = \frac{l + n}{R} \gamma_0 \quad (1.3)$$

где γ_0 принимают равной $57,3^\circ$.

Автоматическое сцепление вагонов в кривых меньшего, чем по ГОСТ 22235 (Таблица 1) радиуса, проверке не подлежит. В таких случаях сцепление должно производиться под контролем сцепщика.

Таблица 1

Допускаемые радиусы кривых для передвижения сцепленных вагонов

| Транспортная операция | Участок пути | Минимальный радиус кривой железнодорожного пути (в плане), м | |
|--------------------------|--|--|---|
| | | Вагоны основных типов | Вагоны с увеличенными линейными размерами |
| Сцепление автоматическое | Сопряжение прямой и кривой без переходного радиуса | 135 | 250 |
| | S-образная кривая без прямой вставки | 190 | 480 |
| | Круговая кривая | 135 | 250 |
| Проход в сцепе | Сопряжение прямой и кривой без переходного радиуса | 80 | 110 |
| | S-образная кривая без прямой вставки | 120 | 160 |
| | Круговая кривая | 80 | 110 |
| Проход одиночного вагона | Сопряжение прямой и кривой без переходного радиуса | 60 | 80 |
| | S-образная кривая без прямой вставки | 120 | 160 |
| | Круговая кривая | 60 | 80 |

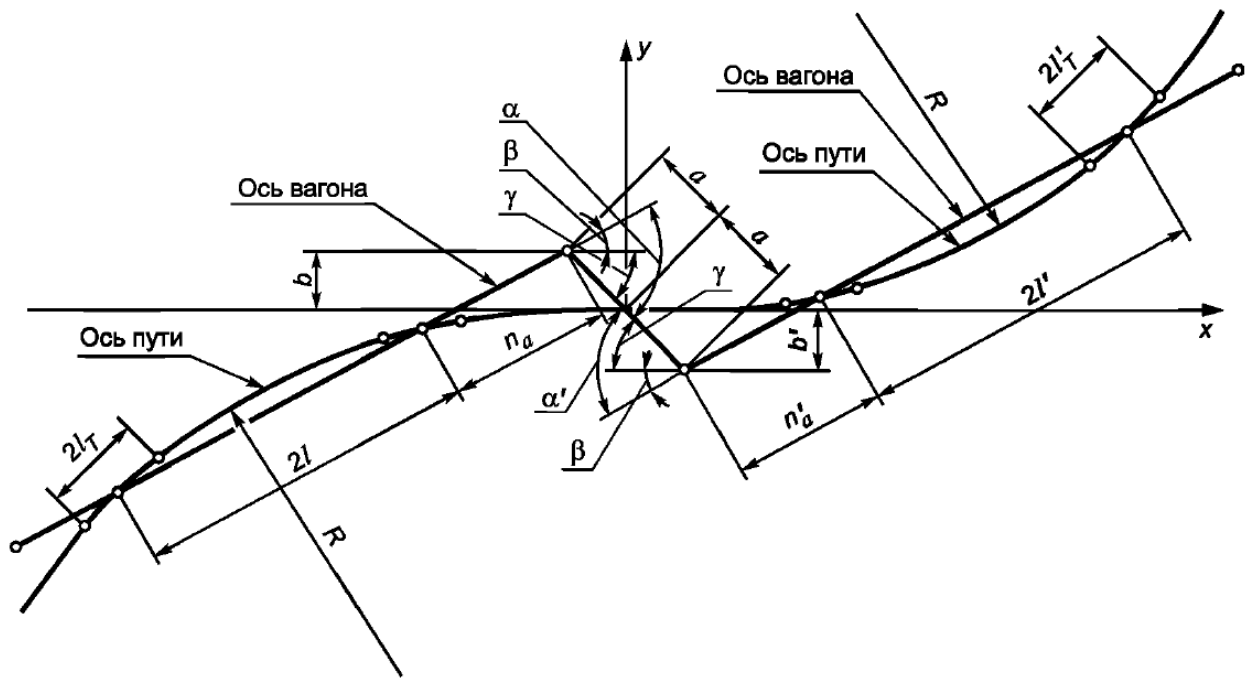


Рис. 1. Расчётная схема прохода сцепом вагонов кривых

2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа ориентирована на студентов железнодорожного направления с целью освоения методики расчёта автосцепного устройства вагона с помощью программного комплекса "Универсальный механизм" (ПК УМ). Для выполнения лабораторной работы используется готовая модель сцепа *simple_18_100_2Vehicles* из двух грузовых вагонов *simple_18_100_AC*, созданная при помощи встроенной в ПК УМ стандартной модели автосцепного устройства CA-3 AC_Standard (Глава 17 руководства пользователя ПК УМ).

Цель работы: освоение методики расчёта автоматического сцепления вагонов в круговой кривой и на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса, а также оценка обеспечения прохода вагоном в сцепе кривых участков пути и их сопряжения с прямой в ПК УМ.

Модель сцепа *simple_18_100_2Vehicle* представлена на рис. 2.

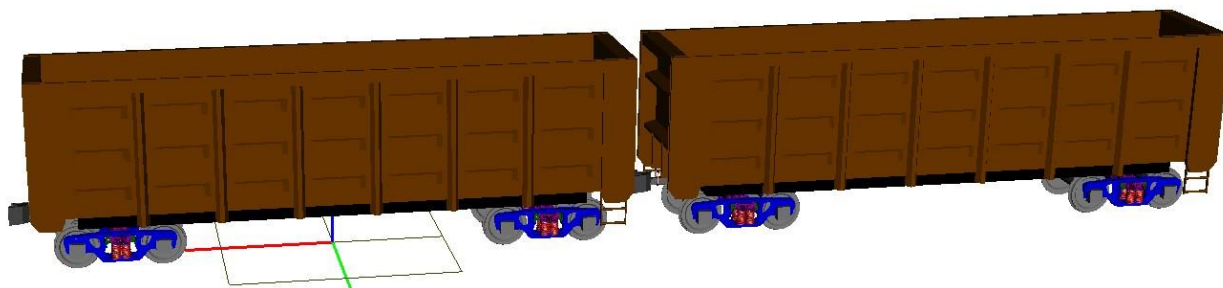


Рис. 2. Общий вид готовой модели сцепа в программе ввода **UM Input**

Расположение файлов модели сцепа из двух грузовых вагонов зависит от версии установленного на вашем компьютере ПК УМ:

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

[{Данные УМ}\samples\Rail Vehicles\simple_18_100_2Vehicles](#)

– ПК УМ 9, готовую модель можно скачать по адресу

http://www.universalmechanism.com/download/models/simple_18_100x2.zip

Для версий ПК УМ, предшествующих девятой, модель недоступна.

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

3. Расчет автоматического сцепления вагона и прохода в сцепе кривых участков пути

Рассчитаем проход сцепа *simple_18_100_2Vehicles* S-образной кривой без прямой вставки. Для расчёта необходимы основные геометрические размеры вагона. Возьмём размеры из файла параметров модели.

Запустите программу **UM Simulation** с помощью **Пуск | Все программы | Универсальный механизм 9 | UM Simulation**.

1. Загрузите модель *simple_18_100_2Vehicles* из папки модели, выбрав пункт меню **Файл | Открыть** или воспользуйтесь горячей клавишей **F3**.
2. Загрузите подготовленную конфигурацию **lab_3** с помощью пункта меню **Файл | Загрузить конфигурацию**.
3. Выберите пункт меню **Анализ | Моделирование** или нажмите горячую клавишу **F9**. После этого появится окно **Инспектора моделирования объекта**.
4. Перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список** и в выпадающем списке подсистем выберите **Vehicle1** (рис. 3).

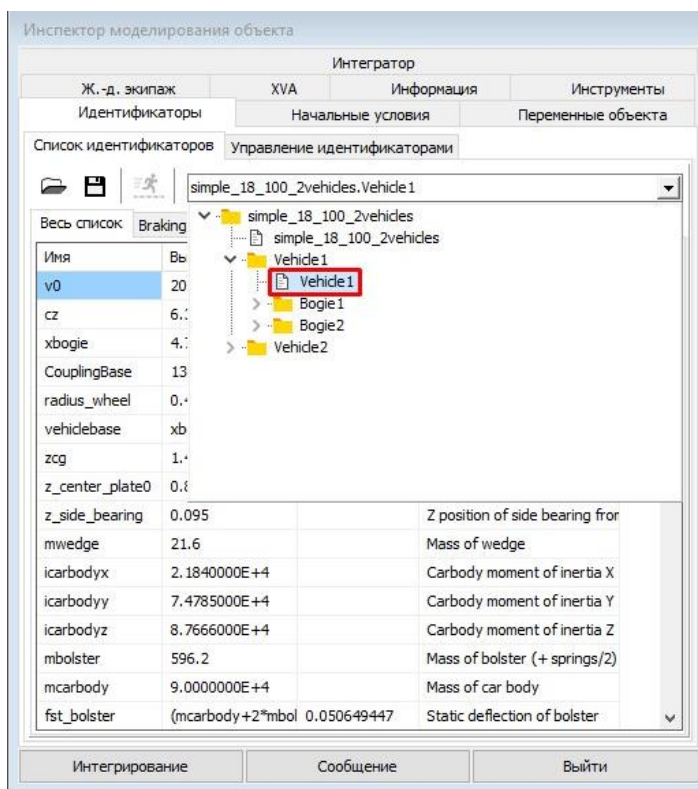


Рис. 3. Выбор подсистемы в окне инспектора моделирования объекта

5. В списке идентификаторов подсистемы найдите необходимые параметры модели (Таблица 2).

| Название параметра в модели | Выражение | Значение, м |
|-----------------------------|-----------|-------------|
| CouplingBase | $2l + 2n$ | 13,92 |
| vehiclebase | $2l$ | 9,4 |
| bogie_base | $2l_T$ | 1,85 |

6. Рассчитаем длину консоли от центра пятника до оси сцепления конца вагона n :

$$n = \frac{\text{CouplingBase} - \text{vehiclebase}}{2} = \frac{13,92 - 9,4}{2} = 2,26 \text{ м}$$

7. По Таблица 1 определим радиус расчётной кривой R . Расчётный радиус R прохода вагонов в сцепе по S-образной кривой равен 120 м.

8. Определим дополнительное возможное боковое перемещение центров зацепления автосцепок λ . Для вагона *simple_18_100_AC* на двухосных трёхэлементных тележках $\lambda = 0,026$.

9. Рассчитаем правую часть формулы (1.1):

$$\begin{aligned} & \frac{n(\text{vehiclebase} + n) - \left(\frac{\text{bogie_base}}{2}\right)^2}{2R} + \lambda = \\ & = \frac{2,26 \cdot (9,4 + 2,26) - \left(\frac{1,85}{2}\right)^2}{2 \cdot 120} + 0,026 = 0,132 \text{ м} \end{aligned}$$

10. Рассчитаем эффективную ширину захвата B . По ГОСТ 32885 полная ширина захвата при параллельных осях автосцепок $B' = 0,175$ м.

11. По формуле (1.3) определим угол между осью вагона и касательной к оси пути в кривой в плоскости сцепления β_0 :

$$\beta_0 = \frac{\frac{\text{vehiclebase}}{2} + n}{R} \cdot \gamma_0 = \frac{\frac{9,4}{2} + 2,26}{120} \cdot 1 = 0,058 \text{ рад}$$

12. По формуле (1.2) определим эффективную ширину захвата B :

$$B = 0,175 \cdot (1,665 \cdot \sin(1,134 - 0,058) - 0,5) = 0,169 \text{ м}$$

В соответствии с формулой (1.1) получаем соотношение $0,169 > 0,132$, следовательно, автоматическое сцепление при проходе сцепа вагонов в S-образной кривой без прямой вставки обеспечено.

Самостоятельно рассчитайте автоматическое сцепление на сопряжении прямой и кривой без переходного радиуса и проход одиночного вагона по круговой кривой и занесите результаты в таблицу (Таблица 3).

Расчёт автоматического сцепления вагона

| Транспортная операция | Эффективная ширина захвата B , м | Полная ширина захвата B' , м | Автоматическое сцепление |
|--|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Проход сцепа в S-образной кривой без прямой вставки | 0,169 | 0,132 | Обеспечено |
| Проход сцепа на сопряжении прямой и кривой без переходного радиуса | | | |
| Проход одиночного вагона по круговой кривой | | | |

4. Проверка обеспечения прохода сцепленных вагонов по криволинейным участкам пути

Обеспечение прохода вагоном в сцепе участков пути и их сопряжения с прямой проверяют для трёх случаев:

- сцеп из двух проверяемых вагонов в S-образной кривой;
- сцеп из проверяемого и эталонного вагона в S-образной кривой;
- сцеп из проверяемого и эталонного вагона на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса.

За эталонный вагон принимают четырёхосный полувагон с базой $2l=8,65$ м, длиной консоли до оси сцепления $n=2,635$ м, на тележках типа 2 по ГОСТ 9246 с базой $2l_T=1,85$ м.

Обеспечение прохода сцепом вагонов участков пути проверяют по значению углов бокового отклонения продольной оси автосцепки от оси вагона (см. рис. 1), которые определяют для каждого вагона в сцепе по формулам:

$$\alpha = \beta + \gamma, \quad (4.1)$$

$$\alpha' = \beta' + \gamma, \quad (4.2)$$

где α и α' – угол между осью автосцепок и продольной осью первого и второго вагонов соответственно, градусы;

β и β' – угол между общей касательной к оси пути (в точке сопряжения кривых с различной кривизной) и продольной осью первого и второго вагонов соответственно, градусы;

γ – угол между общей касательной к оси пути (в точке сопряжения кривых с различной кривизной) и продольной осью автосцепок первого и второго вагонов, градусы.

Углы β , β' и γ при расположении вагонов на S-образной кривой определяются по формулам (8.7), (8.8) и (8.9) по ГОСТ 33211-2014.

Проход сцепы по кривой обеспечен, если точка с координатами (α, α') находится внутри контура, образованного соответствующей ограничительной линией и осями координат, и не обеспечен при её расположении снаружи этого контура. Ограничительные контуры задают четырьмя линиями, описываемыми в системе координат (α, α') уравнениями (8.12)-(8.15) по ГОСТ 33211-2014.

Для автосцепки модели СА-3 по ГОСТ 32885, установленной по ГОСТ 3475, ограничительные контуры показаны на рис. 4. Условные обозначения ограничительных контуров для сцепов вагонов с упорами в различных сочетаниях приведены на рис. 5. Типы упоров по ГОСТ Р 54749-2011 представлены на рис. 6.

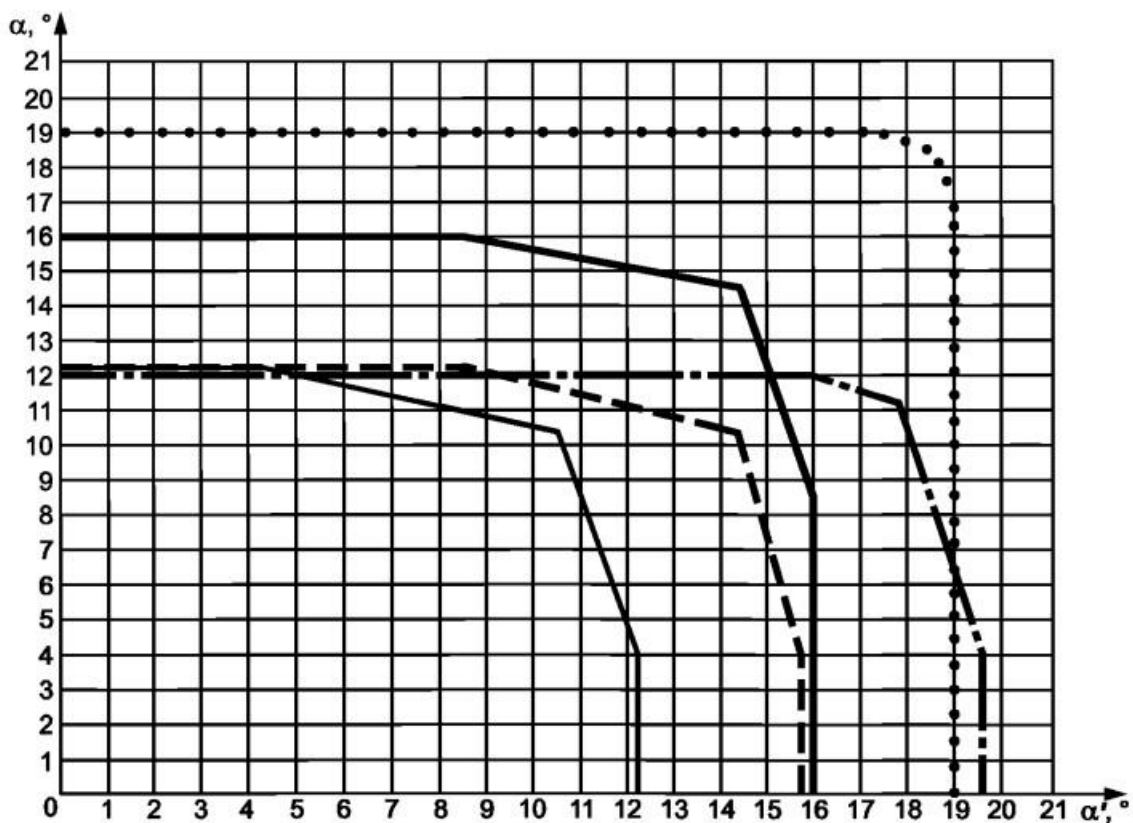


Рис. 4. Ограничительные контуры для автосцепки модели СА-3 по ГОСТ 32885, установленные по ГОСТ 3475

| Тип упора на первом вагоне | Тип упора на втором вагоне | | |
|----------------------------|----------------------------|-----|-------|
| | УП1 | УП2 | УП3 |
| УП1 | — | --- | -.-.- |
| УП2 | | — | |
| УП3 | | | ••••• |

Рис. 5. Условные обозначения ограничительных контуров для сцепов с упорами в различных сочетаниях

| Подвижной состав | Грузовые вагоны, локомотивы | | Пассажирский железнодорожный подвижной состав |
|------------------|--|---|---|
| | тип вагона I (длиной по осям сцепления менее 21 м) | тип вагона II (длиной по осям сцепления 21 м и более) | |
| Тип упора | УП1 | УП3 | УП2 |

Рис. 6. Типы передних упоров с ударной розеткой

4.1. Сцеп из двух проверяемых вагонов в S-образной кривой

Проверим обеспечение прохода вагонов в сцепе *simple_18_100_2Vehicles* в S-образной кривой без прямой вставки. Откройте модель сцепа в программе моделирования **UM Simulation** и загрузите подготовленную конфигурацию **lab_3** с помощью пункта меню **Файл | Загрузить конфигурацию**. Конфигурация включает в себя следующие настройки: скорость сцепа **10** км/ч, радиус S-образной кривой **120** м, длина кривой **200** м.

После загрузки конфигурации будут открыты три окна: одно анимационное и два графических. В первом графическом окне *Углы между автосцепками и продольными осями соответствующих вагонов* будут отображаться углы в градусах **alpha_1** и **alpha_2**, соответствующие углам α и α' . Угол **alpha_1** – угол между осью передней автосцепки второго вагона **Vehicle2** и его продольной осью, **alpha_2** – угол между осью задней автосцепки первого вагона **Vehicle1** и его продольной осью (рис. 7).

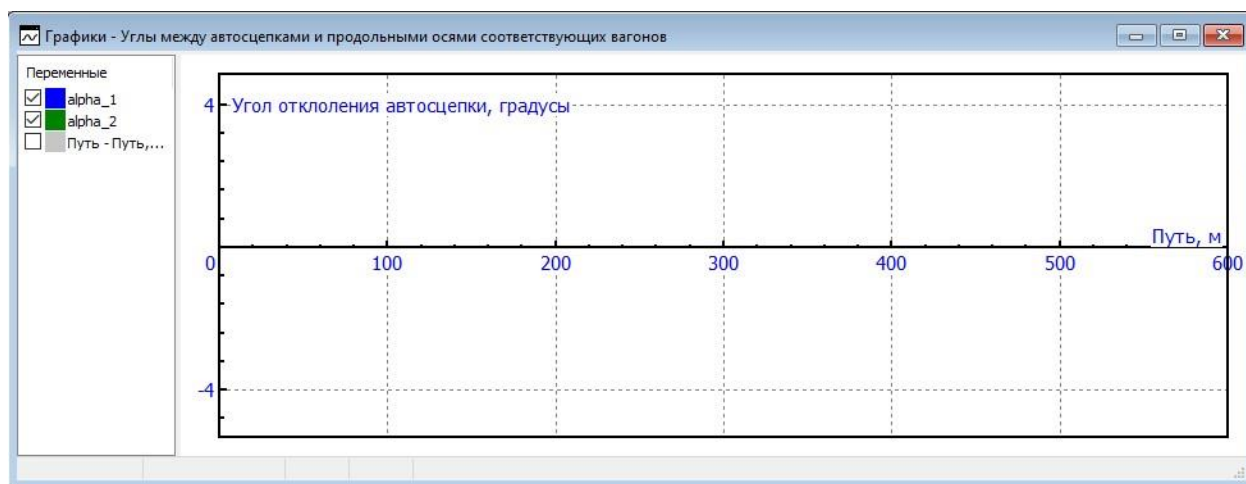


Рис. 7. Графическое окно "Углы между автосцепками и продольными осями соответствующих вагонов"

Замечание. В анимационном окне можно определить название конкретного тела модели. Для этого достаточно подвести курсор мыши на интересующий объект и в нижней части анимационного окна отобразится название данного тела (рис. 8).

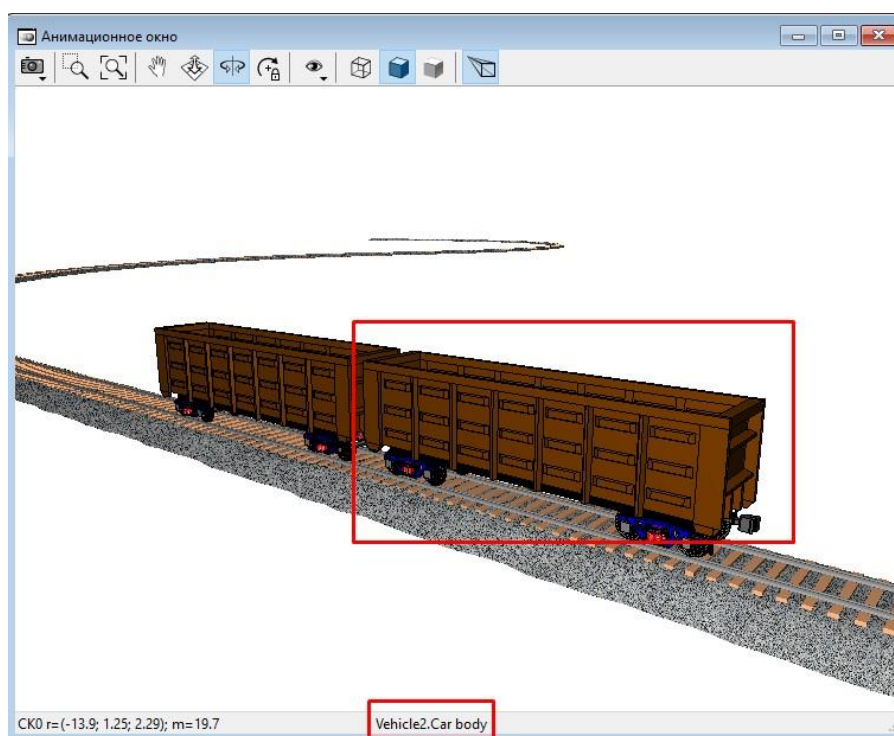


Рис. 8. Отображение названия выбранного тела в анимационном окне

В графическом окне *Ограничительный контур для автосцепки модели СА-3* по оси абсцисс отложен модуль угла $|\alpha_2|$, а по оси ординат – модуль угла $|\alpha_1|$. В процессе моделирования в I координатной четверти будет строиться график изменения углов, который представляет собой годограф вектора с координатами начала (0,0) и конца $(|\alpha_2|, |\alpha_1|)$.

Ограничительный контур для автосцепки модели СА-3 выбран следующим образом. Длина по осям сцепления **CouplingBase** составляет **13,92** м, по ГОСТ Р 54749-2011 этому варианту соответствует тип упора автосцепки *УП1* (см. рис. 6). С помощью рис. 5 определено условное обозначение ограничительного контура для сцепа с упорами в сочетании *УП1-УП1*. Координаты данного контура записаны в текстовый файл. Чтобы его загрузить, в графическом окне *Ограничительный контур для автосцепки модели СА-3* выполните следующие действия:

1. В поле *Переменные* щелкните правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите пункт **Загрузить из файла** (рис. 9). После этого перейдите в каталог модели сцепа *simple_18_100_2Vehicles*, выберите файл *Ограничительный контур для автосцепки модели СА-3.txt* и откройте его.
2. В графическом окне отобразится ограничительный контур. В поле *Переменные* дважды щелкните по загруженному файлу. Для большей наглядности изменим цвет ограничительного контура. В появившемся окне в поле **Цвет** выберите **красный** и нажмите **Применить** (рис. 10). После этого графическое окно должно выглядеть, как показано на рис. 11.
3. Перейдём к процессу моделирования. Откройте окно **Инспектора моделирования объекта** и нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом в анимационном и графических окнах.

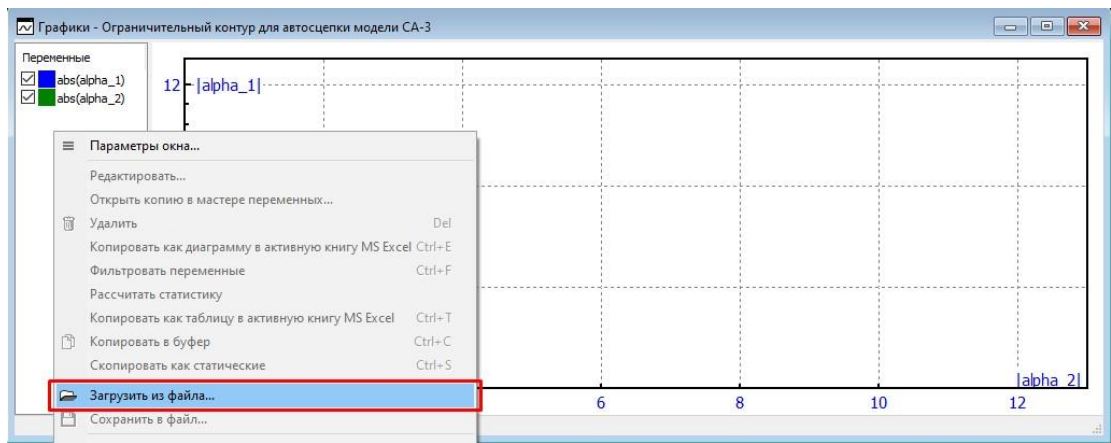


Рис. 9. Загрузка данных из текстового файла в графическое окно

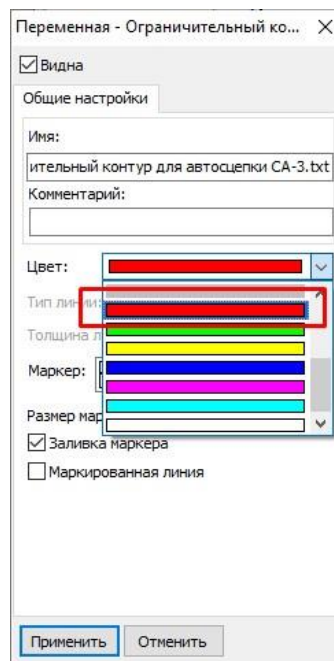


Рис. 10. Выбор цвета графика

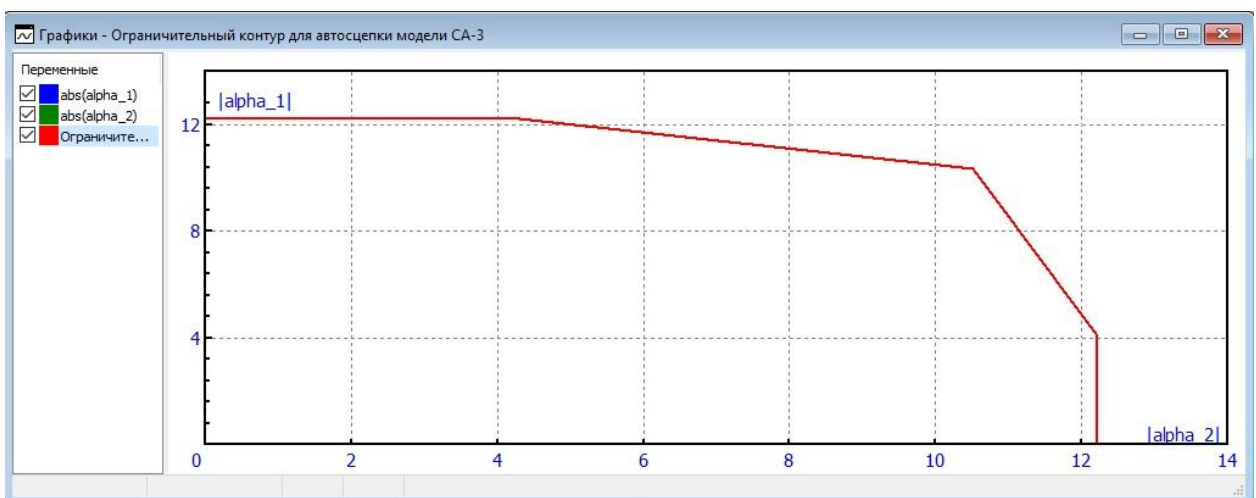



Рис. 11. Отображение ограничительного контура в графическом окне

После окончания интегрирования перейдите в режим паузы процесса моделирования. Результаты моделирования представлены на рис. 12, рис. 13. Как видно из рис. 12, максимальное отклонение автосцепок происходит в момент перехода сцепа из правой кривой в левую. Определим максимальное отклонение углов. Воспользуемся встроенным табличным процессором для переменных.

4. Выберите пункт меню **Инструменты | Табличный процессор** или нажмите кнопку  на панели быстрого доступа.
 - табличного процессора
5. В графическом окне выделите переменные **alpha_1** и **alpha_2** и перетащите их с помощью левой кнопки мыши в окно табличного процессора.
6. В табличном процессоре из списка доступных функций выберите **Min**. Максимальное отклонение автосцепок от продольной оси составляет **alpha_1=alpha_2=5,98°**, следовательно, проход сцепа из двух проверяемых вагонов *simple_18_100* в S-образной кривой обеспечен.

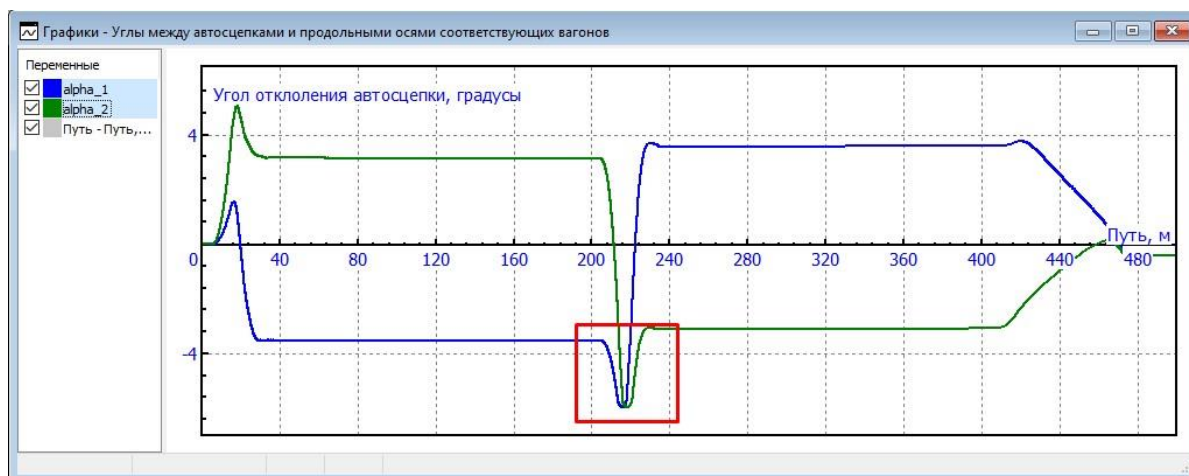


Рис. 12. Углы отклонения автосцепок при проходе сцепа из двух проверяемых вагонов в S-образной кривой



Рис. 13. Оценка обеспечения прохода сцепа из двух проверяемых вагонов в S-образной кривой

4.2. Сцеп из проверяемого вагона и эталонного вагона в S-образной кривой

Проверим обеспечение прохода проверяемого вагона *simple_18_100* в сцепе с эталонным вагоном в S-образной кривой без прямой вставки. Параметры эталонного вагона описаны в п. 4 лабораторной работы: база вагона $2l=8,65$ м, длина консоли до оси сцепления $n=2,635$ м, база тележек $2l_T=1,85$ м. Расстояние между автосцепками **CouplingBase** равняется $2l + 2n = 13,92$ м. Для вагона установлены значения **CouplingBase=13,92** и база тележек **bogie_base=1,85**. Таким образом, для вагона **Vehicle1** сцепа *simple_18_100_2Vehicle* необходимо поменять только значение базы вагона **vehiclebase**.

1. Откройте окно **Инспектора моделирования объекта** и перейдите на вкладку **Идентификаторы | Список идентификаторов | Весь список**.
2. В выпадающем списке выберите подсистему **Vehicle1**, см. рис. 14.

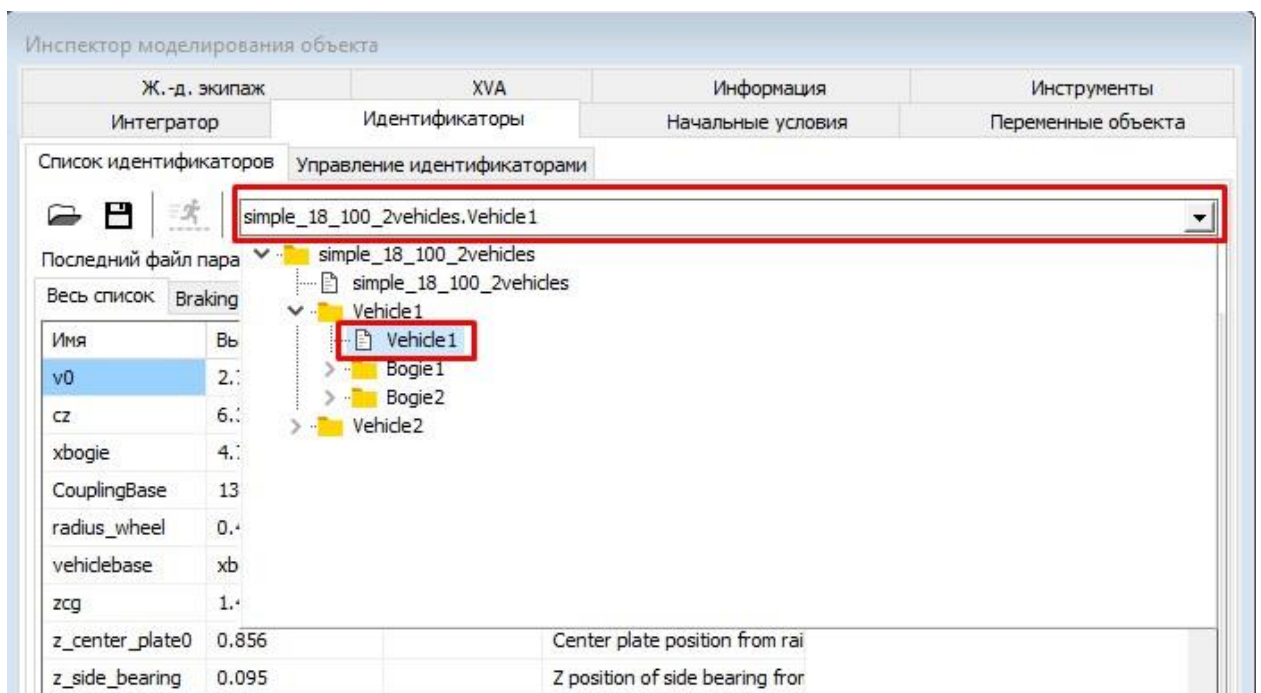


Рис. 14. Выбор подсистемы **Vehicle1** в окне инспектора моделирования объекта

3. Найдите идентификатор **vehiclebase**. Обратите внимание, что база вагона **vehiclebase** задана как выражение **xbogie*2**, следовательно, идентификатору **xbogie** необходимо присвоить значение **4,325**.
4. Проверьте, чтобы в появившемся окошке **Одноименные идентификаторы** галочка стояла только для **Vehicle1.xbogie**, см. рис. 15. Нажмите кнопку **Принять**.
5. Сцеп из эталонного и проверяемого вагона готов. Перейдите к процессу моделирования, нажав кнопку **Интегрирование**.

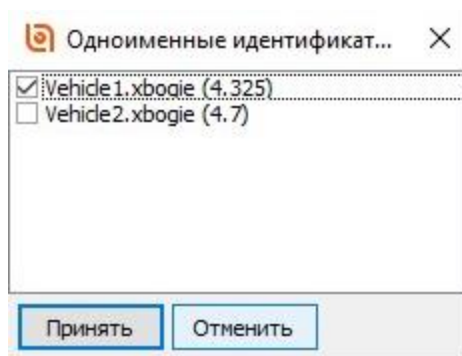


Рис. 15. Список одноименных идентификаторов

После окончания интегрирования перейдите в режим паузы процесса моделирования. Результаты моделирования представлены на рис. 16, рис. 17. Обработайте переменные **alpha_1** и **alpha_2** в табличном процессоре и определите максимальное отклонение углов. Для этого в табличном процессоре из списка доступных функций выберите **Min**. Максимальное отклонение автосцепок от продольной оси составляет **alpha_1=6,06°**, **alpha_2=6,05°**, следовательно, проход эталонного вагона в сцепе с проверяемым вагоном *simple_18_100* в S-образной кривой без прямой вставки обеспечен.

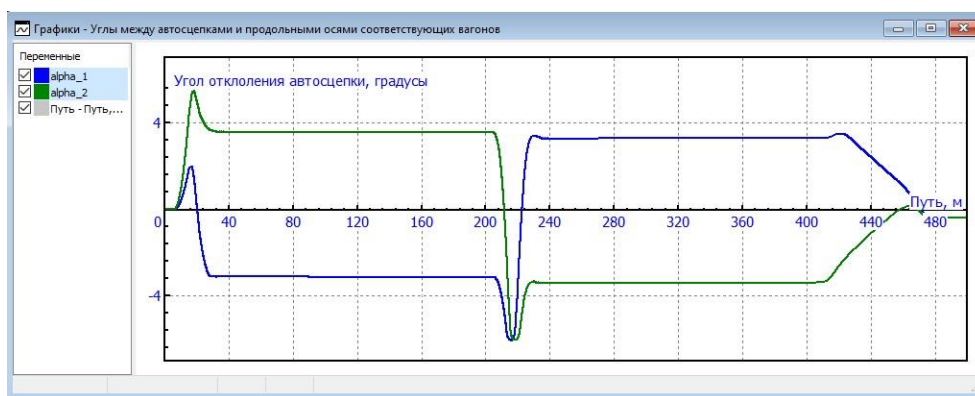


Рис. 16. Углы отклонения автосцепок при проходе сцепа из проверяемого вагона и эталонного вагона в S-образной кривой

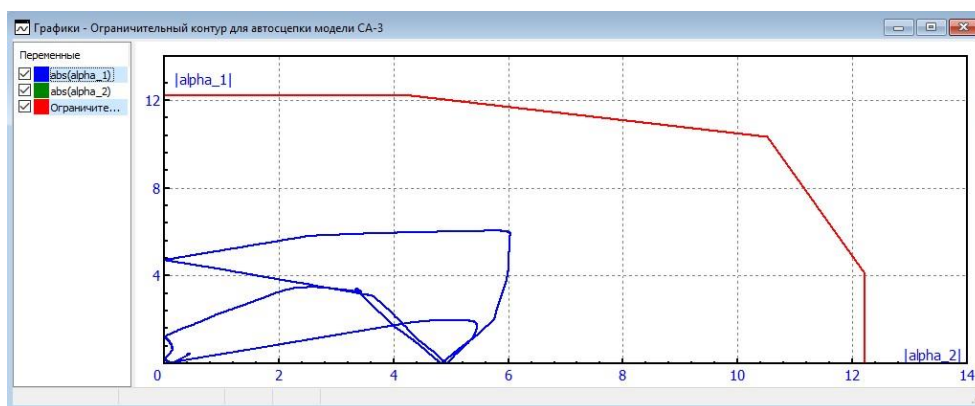


Рис. 17. Оценка обеспечения прохода сцепа из проверяемого вагона и эталонного вагона в S-образной кривой

4.3. Сцеп из проверяемого вагона и эталонного вагона на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса

Проверим обеспечение прохода сцепа из проверяемого вагона и эталонного вагона на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса.

1. В окне **Инспектора моделирования объекта** перейдите на вкладку **Ж.-д. Экипаж | Путь | Макрогеометрия** и в поле **Тип пути** выберите **Кривая**.
2. Настройте параметры для кривой так, как показано на рис. 18.

| Первый участок | |
|----------------|-------|
| L1 | 30 |
| P11 | 1E-10 |
| S1 | 100 |
| R1 | 300 |
| H1 | 0 |
| P12 | 0.01 |
| dY1 | 0 |

Рис. 18. Настройка параметров криволинейного участка пути

3. Перейдите на вкладку **Интегратор | Параметры моделирования**. Измените условие окончания расчёта, установив значение пути равное 160 м (рис. 19). Это означает, что после прохождения сцепом с момента начала моделирования расстояния в 160 м процесс интегрирования закончится.

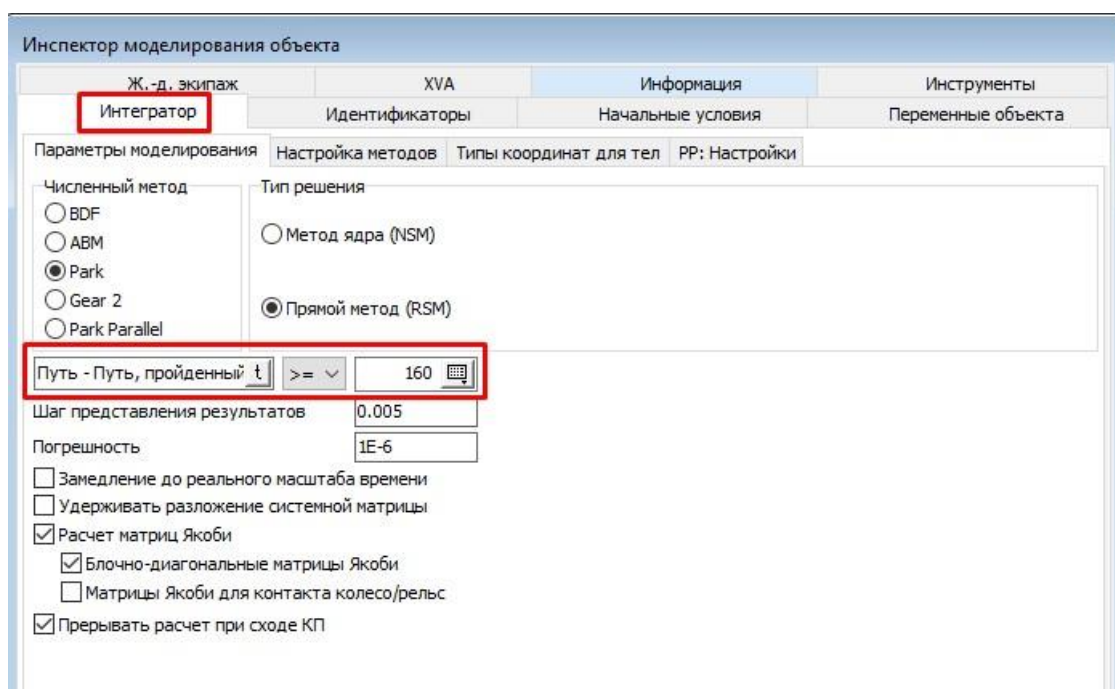


Рис. 19. Изменение условия окончания моделирования

4. Нажмите кнопку **Интегрирование**. Наблюдайте за процессом моделирования.
5. В режиме паузы процесса моделирования откройте табличный процессор. Перетащите в него переменные **alpha_1**, **alpha_2** и выберите функцию **MaxAbs**. Максимальное отклонение угла **alpha_1** составляет **1,97°**, максимальное отклонение угла **alpha_2** составляет **2,08°**. Результаты представлены на рис. 20 и рис. 21.

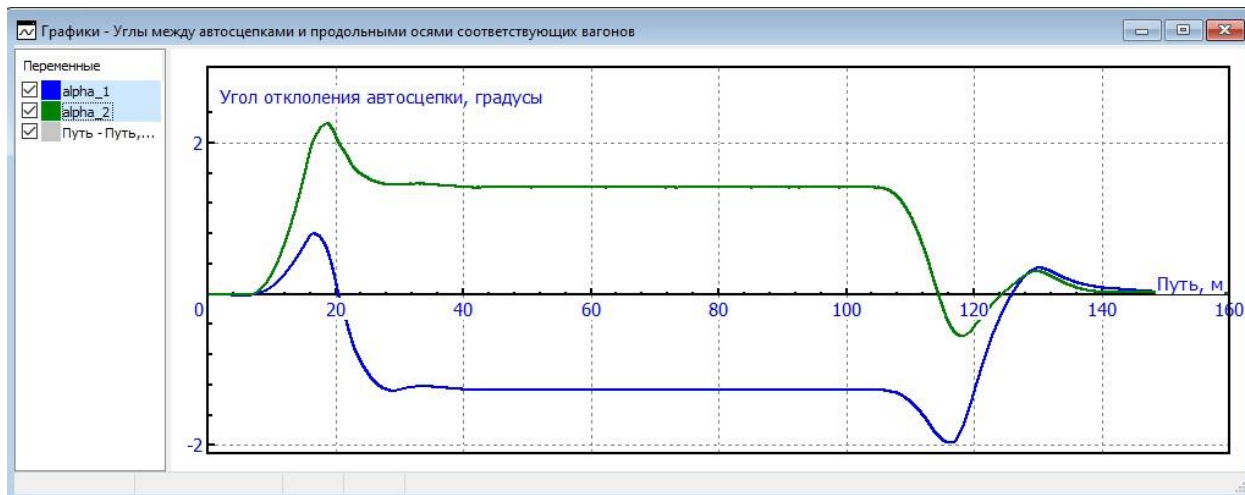


Рис. 20. Углы отклонения автосцепок при проходе сцепа из проверяемого вагона и эталонного вагона на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса

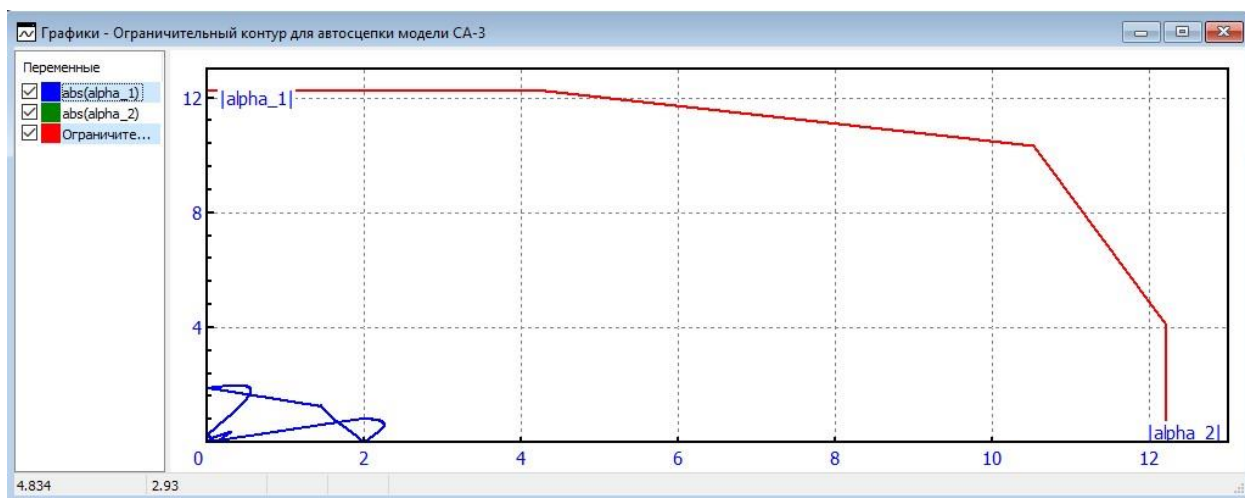


Рис. 21. Оценка обеспечения прохода сцепа из проверяемого вагона и эталонного вагона на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса

Для рассматриваемого случая проход эталонного вагона в сцепе с проверяемым вагоном *simple_18_100* на участке сопряжения прямой и кривой без переходного радиуса обеспечен.