

Брянский государственный технический университет
Лаборатория вычислительной механики

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
«УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ» И ДРУГОМ
ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Рабочие материалы
Март 2006

Редакция 3

Подготовлено:
проф., д.ф.-м.н. Погорелов Д.Ю.
к.т.н. Ковалев Р.В.

Общие сведения

Дата	Март 2006
Название	Сравнительный анализ результатов моделирования грузовых автомобилей в программном комплексе «универсальный механизм» и другом программном обеспечении
Адрес	Лаборатория вычислительной механики Брянский государственный технический университет Россия, 241035, Брянск бульвар 50-летия Октября, 7 Web: www.umlab.ru E-mail: um@umlab.ru Тел., факс: +7 4832 568647
Цели	Целью данной работы является сравнение результатов моделирования грузовых автомобилей, полученных с помощью ПК «Универсальный механизм» с результатами, полученными с помощью других аналогичных программ.
Аннотация	<p>Настоящее исследование базируется на отчете Национальной транспортной комиссии Австралии “Comparison of modeling systems for performance-based assessments of heavy vehicles” [1] (доступен только на англ. языке), который был опубликован на интернет-страничке этой организации. Отчет включает результаты численного моделирования компьютерных моделей двух грузовых автомобилей в следующих программных комплексах: <i>ADAMS</i>, <i>UMTRI’s constant velocity Yaw/Roll program</i> и <i>AUTOSIM</i>. Для всех упомянутых программ были использованы одинаковые входные данные.</p> <p>Настоящая работа не включает подробного описания исходных данных и маневров, а также результатов моделирования, полученных для <i>ADAMS</i>, <i>UMTRI’s Yaw/Roll program</i> и <i>AUTOSIM</i>. Все эти данные содержатся в [1].</p>

Ссылки

Последнюю редакцию настоящего документа вы можете найти по следующему адресу:

<http://www.umlab.ru/download/40/manual/rus/umheavyvehicles.pdf>

Последний релиз демонстрационной версии UM доступен на страничке:

http://www.umlab.ru/download_rus.htm

Рассматриваемые в настоящем документе модели UM доступны по следующим ссылкам:

<http://www.umlab.ru/download/40/bdouble.zip>;

<http://www.umlab.ru/download/40/trucktrailer.zip>.

Оригинальный отчет Национальной транспортной комиссии Австралии доступен на сайте этой организации:

<http://www.ntc.gov.au/filemedia/Reports/ComparisonModellingSystemsPerfor.doc>

1. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ.....	5
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	6
3. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ	7
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ В UM	8
5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	12
5.1. Рывок руля (pulse steer)	12
5.1.1. Автопоезд (B-double)	12
5.1.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer).....	17
5.2. Поворот руля (Step steer)	21
5.2.1. Автопоезд (B-double)	21
5.2.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer).....	22
5.3. Смена полосы движения (SAE lane change)	24
5.3.1. Автопоезд (B-double)	24
5.3.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer).....	26
5.4. Поворот на 90° на малой скорости (Low-speed 90° turn)	28
5.4.1. Автопоезд (B-double)	28
5.4.2. Тягач с прицепом (Truck-trailer).....	28
ССЫЛКИ	29

1. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

«Универсальный механизм» (UM)¹ разрабатывается с конца 1980 годов на базе кафедры прикладной механики, затем лаборатории вычислительной механики Брянского государственного технического университета, Россия. Универсальный механизм подобно другим программам моделирования динамики систем тел рассматривает механические системы как множество твердых тел, соединенных между собой шарнирами и силовыми элементами. Универсальный механизм включает также специализированный модуль анализ динамики автомобилей. «Универсальный механизм», как программа общего назначения позволяет пользователю строить произвольные модели автомобилей с любой степенью детализации.

«Универсальный механизм» автоматически синтезирует уравнения движения и затем численно решает полученные уравнения. В процессе численного решения уравнений движения анимируется движение механической системы, и строятся графики различных величин: линейных и угловых координат, скоростей и ускорений, активные силы и моменты, силы реакций и прочее.

¹ Более подробную информацию о ПК «Универсальный механизм» вы можете найти на сайте www.umlab.ru

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В настоящем отчете рассматриваются две модели грузовых автомобилей: автопоезд (B-double) и грузовик с прицепом (truck/trailer).

Модель автопоезда состоит из 3 подсистем (тягач, трейлер 1 и трейлер 2), 48 твердых тел, 51 шарнира и 27 сил различных типов. Модель тягача с прицепом включает 2 подсистемы (тягач и прицеп), 33 твердых тела, 36 шарниров и 18 силовых элементов.

Каждый автомобиль проходил четыре маневра. Два из них с открытым контуром системы управления: рывок руля (pulse steer) и поворот руля (step steer). Остальные два теста с замкнутым контуром системы управления задают движения автомобилей по некоторой траектории: смена полосы движения (SAE lane change) и поворот на 90° на низкой скорости (low-speed 90° turn).

Все параметры моделей автомобилей (инерционные, геометрические параметры, коэффициенты жесткости и демпфирования), а также все маневры (динамические тесты) взяты в полном соответствии с [1].

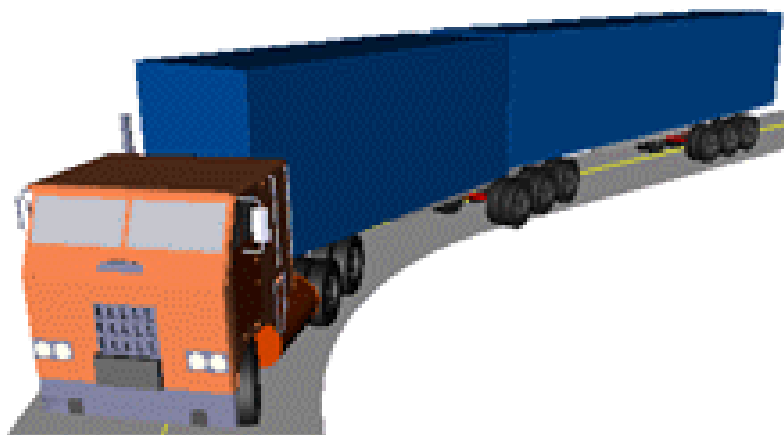


Рис. 2.1. Универсальный механизм: автопоезд



Рис. 2.2. Универсальный механизм: тягач с прицепом

3. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты моделирования всех тестов для обоих автомобилей приведены в разделе «5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ», стр. 12.

Приведенные графики подтверждают хорошую сходимость результатов, полученных с помощью Универсального механизма и других программ. Причины некоторых расхождений полученных результатов обсуждаются в [1].

Все графики, приведенные в разделе «5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ» можно сравнить с результатами для других программ, которые приведены в приложении D в [1]. Для облегчения сравнения графики в разделе 5 приводятся в том же порядке, что и в [1].

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ В UM

Модели автопоезда и тягача с прицепом для UM 4.0 можно скачать по следующим ссылкам:

<http://www.umlab.ru/download/40/bdouble.zip>;

<http://www.umlab.ru/download/40/trucktrailer.zip>.

Скачав демонстрационную версию программы¹ и модели грузовиков, вы можете пройти все маневры и получить приведенные здесь результаты самостоятельно. В этом разделе мы шаг за шагом покажем, как это сделать.

1. Скачайте и установите UM 4.0.
2. По приведенным выше ссылкам скачайте модели грузовиков.
3. Для того, чтобы посмотреть, как эти модели описаны запустите программу **UM Input** и откройте в ней эти модели.

Замечания 1) Модели созданы в полном соответствии с отчетом Национальной транспортной комиссии, см.

<http://www.ntc.gov.au/filemedia/Reports/ComparisonModellingSystemsPerfor.doc>

2) Используя демонстрационную версию программы вы не сможете синтезировать уравнения движения для этих моделей, так как они превосходят сложность, разрешенную в демонстрационной версии. Не сохраняйте и не синтезируйте уравнения движения моделей грузовиков в демонстрационной версии программы, иначе существующая динамическая библиотека с откомпилированными уравнениями движения будет удалена, а новая не будет создана.

4. Для проведения численных экспериментов с моделями запустите программу **UM Simulation**.
5. Откройте модель **bdouble** (пункт меню **Файл/Открыть**).

¹ <http://www.umlab.ru/download/um40demo.exe>

6. Выберите **pulsesteer** в меню **Файл/Загрузить конфигурацию**.

Замечание Обе модели включают четыре конфигурации:

- **pulsesteer** (рывок руля, управление с открытым циклом);
- **stepsteer** (поворот руля, управление с открытым циклом);
- **SAE lane change** (смена полосы движения, управление с замкнутым циклом);
- **lowspeed90turn** (поворот на 90° на малой скорости, управление с замкнутым циклом).

Конфигурации подготовлены заранее для облегчения пользователю задачи по установке всех необходимых параметров для запуска того или иного динамического теста.


После загрузки каждого файла конфигурации появится несколько анимационных и графических окон. В каждом графическом окне будут строиться графики, приведенные в п. 5 и отчете [1].


Все переменные, графики которых приводятся в п. 5 и отчете [1] собраны в **Списке переменных** (пункт меню **Инструменты/Список переменных**) и сохранены в файлах **bdouble.var** и **trucktrailer.var** соответственно.

7. Выберите пункт меню **Анализ/Моделирование**. Появится **Инспектор моделирования объекта**.

8. Выберите закладку **Идентификаторы**. Здесь вы можете посмотреть начальную скорость движения (м/с) для каждого теста, идентификатор **v0**.

9. Перейдите на закладку **Автомобиль/Тесты**. Здесь вы увидите настройки для текущего теста.

Замечание Для тестов с открытым управлением на закладке **Автомобиль/Тесты** в поле **График управления** нажмите кнопку . На рис. 4.1 для примера приведен угол поворота колес для теста «рывок руля».

Для тестов с пилотом (с замкнутым контуром системы управления) на закладке **Автомобиль/Тесты** в поле **Файл макрогеометрии** нажмите кнопку . Появится график с заданной траекторией движения. На рис. 4.2 приведена заданная траектория движения автомобиля для теста «смена полосы движения».

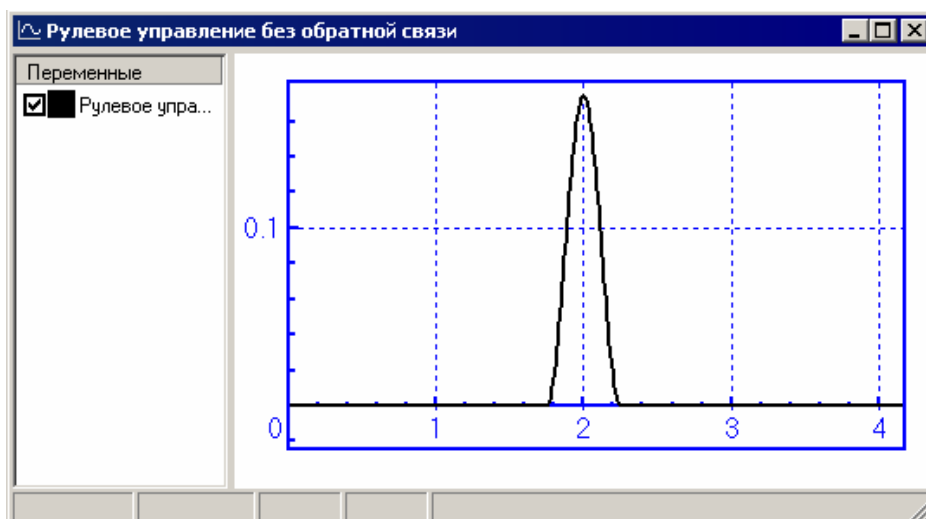


Рис. 4.1. Угол поворота колес для теста «рывок руля», рад

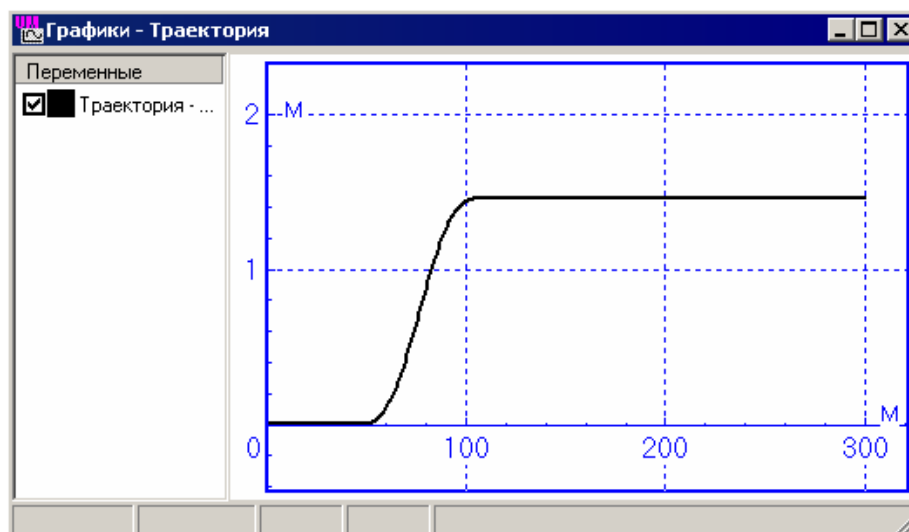


Рис. 4.2. Траектория движения для теста «смена полосы движения»

10. Нажмите кнопку **Интегрирование**.

В графических окнах в процессе расчета будут строиться графики различных величин. Вы можете сравнить эти графики с теми, которые приведены ниже в п. 5 и в приложении D отчета [1].

11. Последовательно загружайте конфигурации для модели **bdouble** (пункт меню **Файл/Загрузить конфигурацию**): **stepsteer**, **SAE lane change**, **lowspeed90turn** и запускайте моделирование движения, как показано выше.
12. Загрузите модели **trucktrailer** и пройдите динамически тесты уже с этой моделью.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

5.1. Рывок руля (pulse steer)

5.1.1. Автопоезд (B-double)

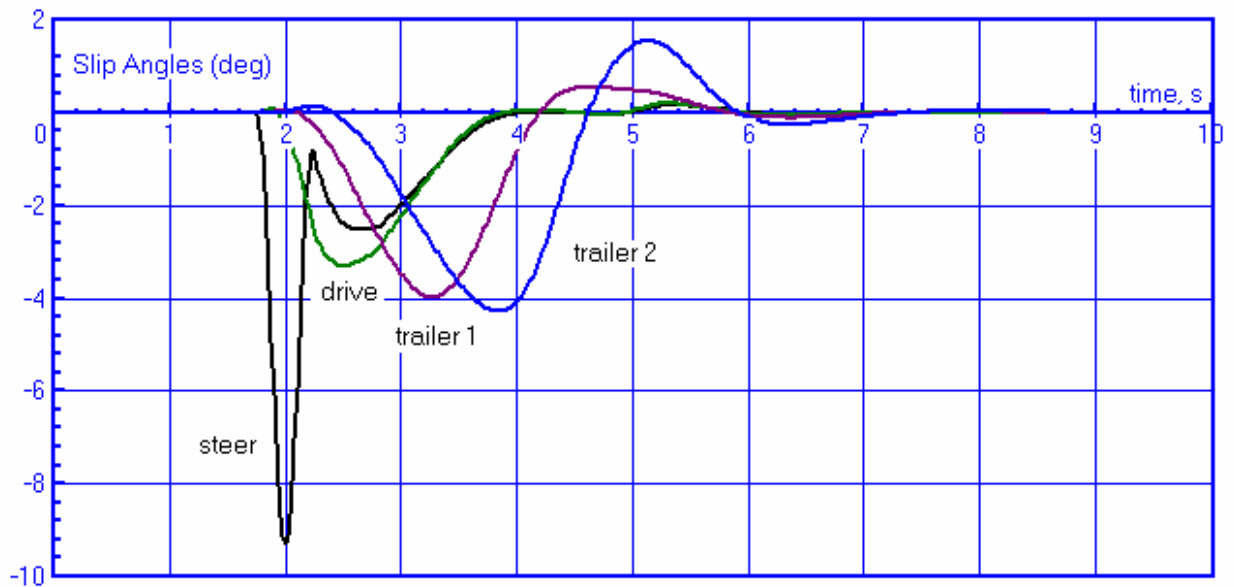


Рис. 5.1. Углы бокового увода, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(a), стр. 71, [1]

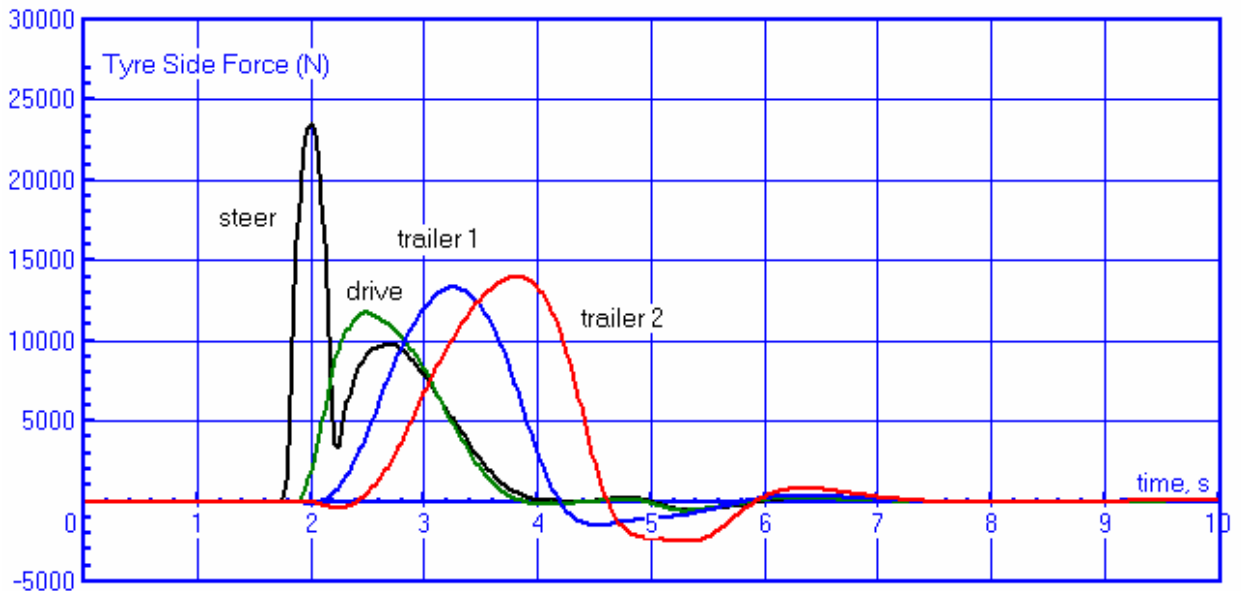


Рис. 5.2. Боковые силы в шинах, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(b), стр. 71, [1]

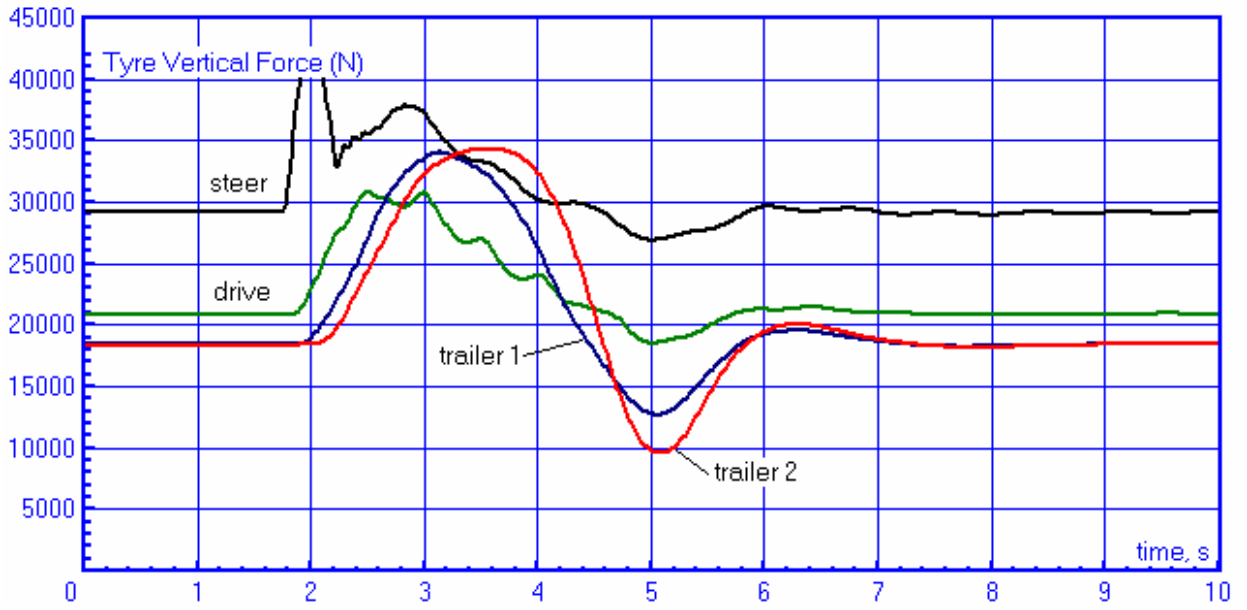


Рис. 5.3. Вертикальные вилы в шинах, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(с), стр. 72, [1]

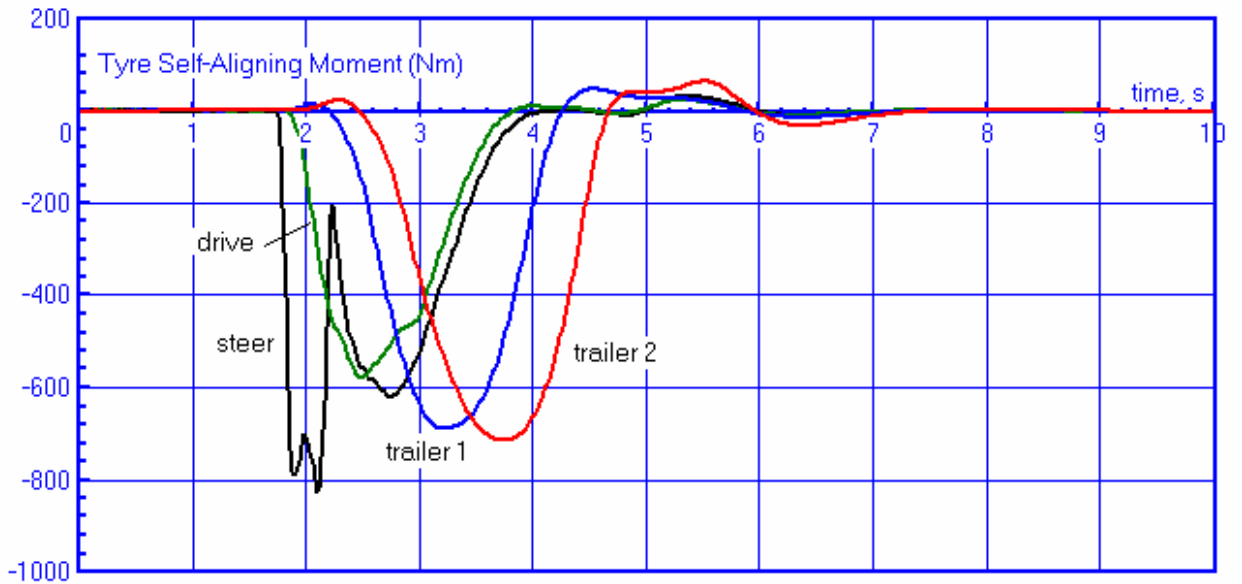


Рис. 5.4. Восстанавливающий момент, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(е), стр. 72, [1]

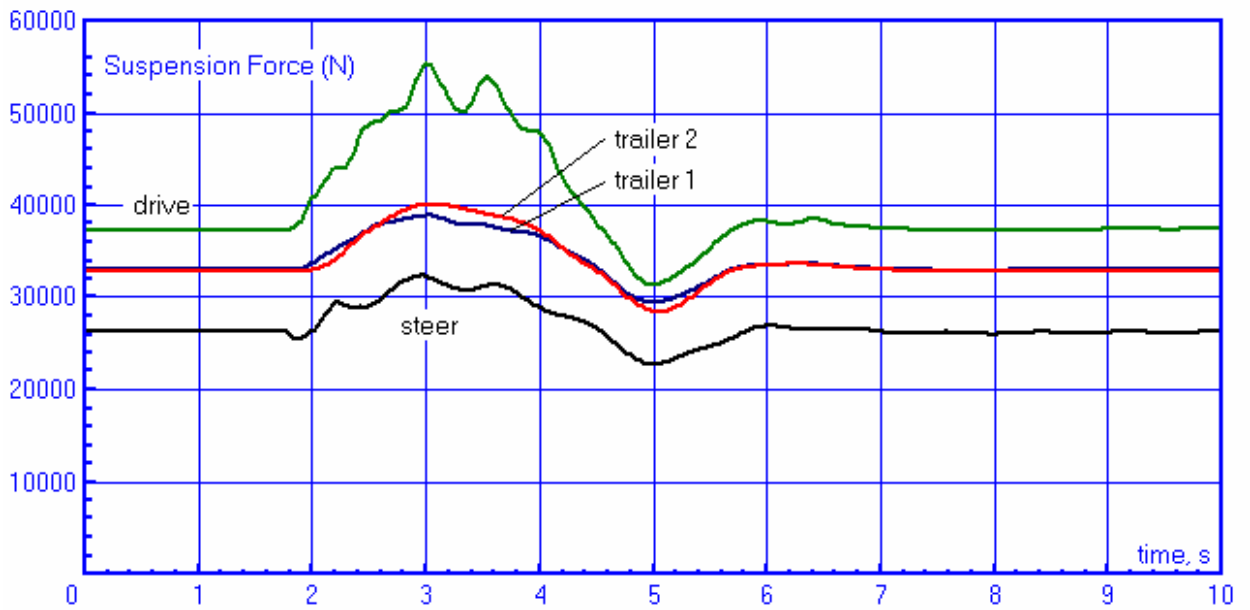


Рис. 5.5. Усилия в подвеске, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(f), стр. 73, [1]

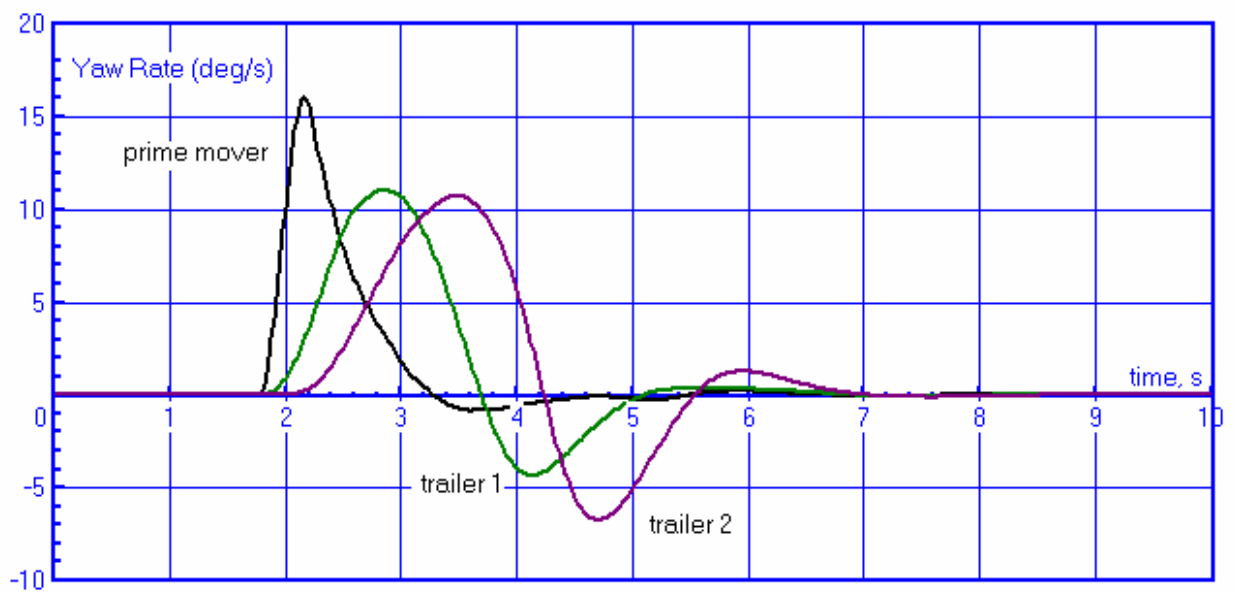


Рис. 5.6. Угловая скорость рысканья, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. Fig. D1.1(g), стр. 73, [1]



Рис. 5.7. Угол рысканья, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(h), стр. 74, [1]

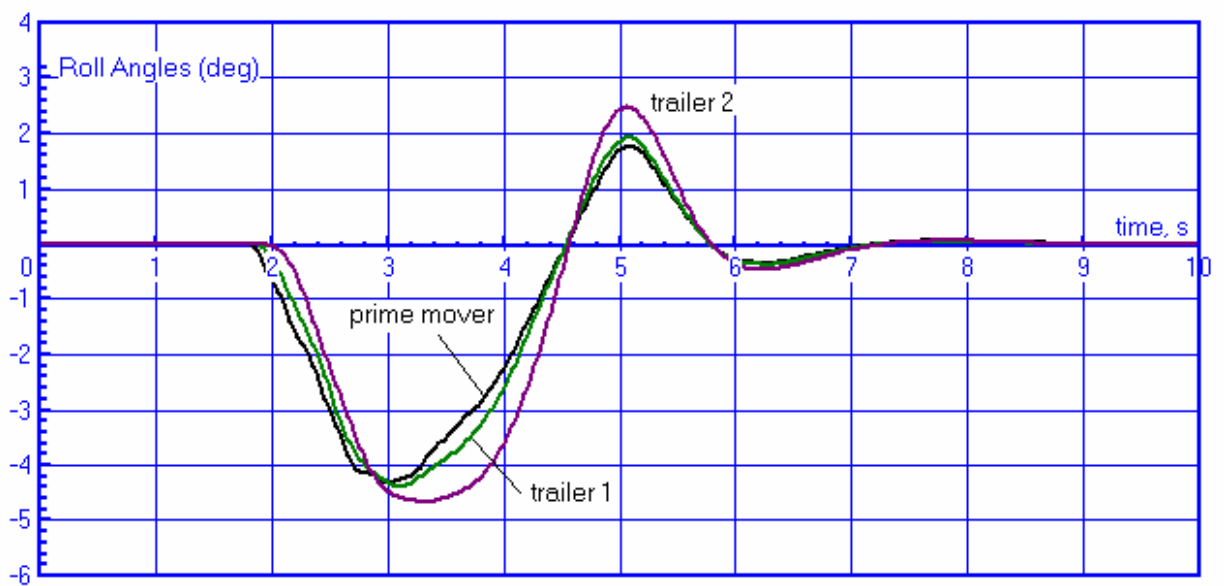


Рис. 5.8. Угол бокового крена, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(i), стр. 74, [1]

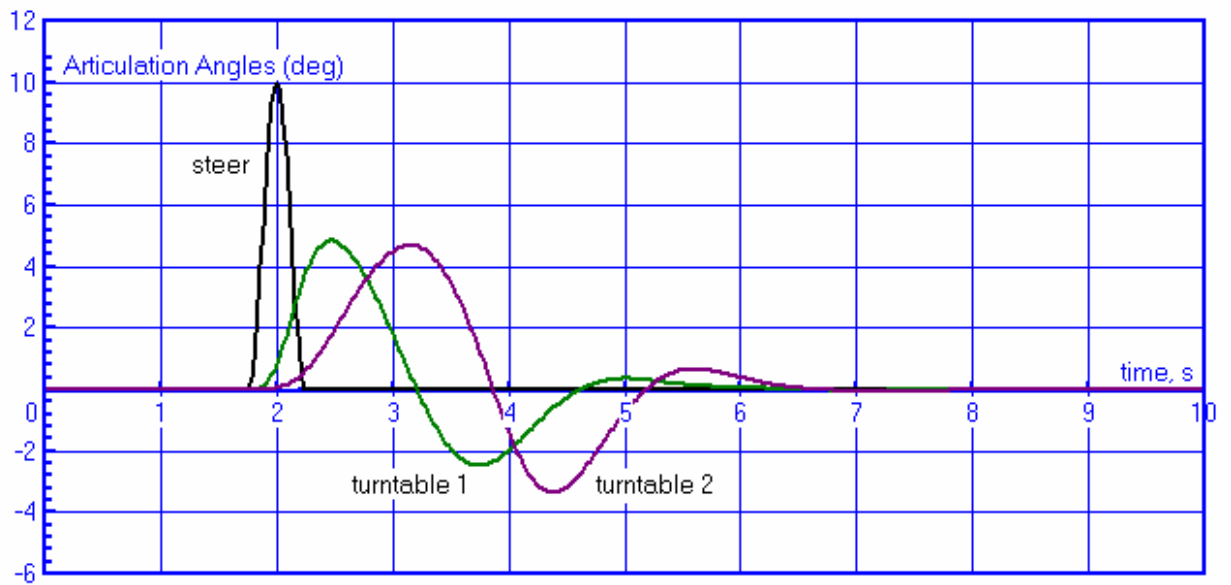


Рис. 5.9. Углы с сочленениях, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(j), стр. 75, [1]

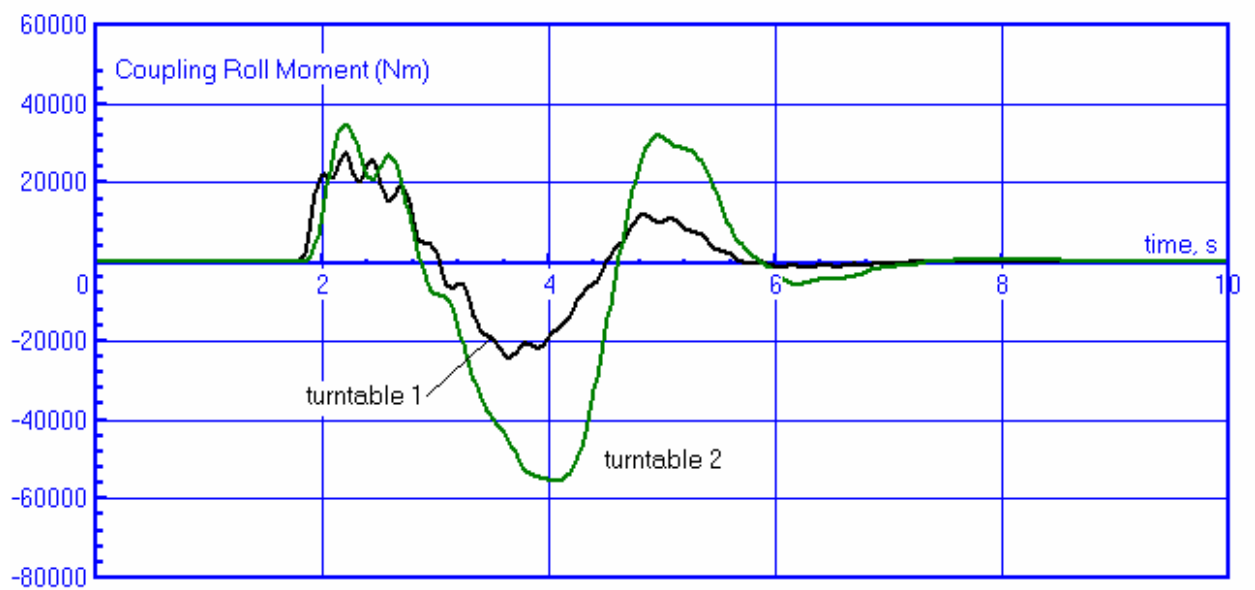


Рис. 5.10. Момент сил реакций в точках опирания полуприцепов, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(k), стр. 75, [1]

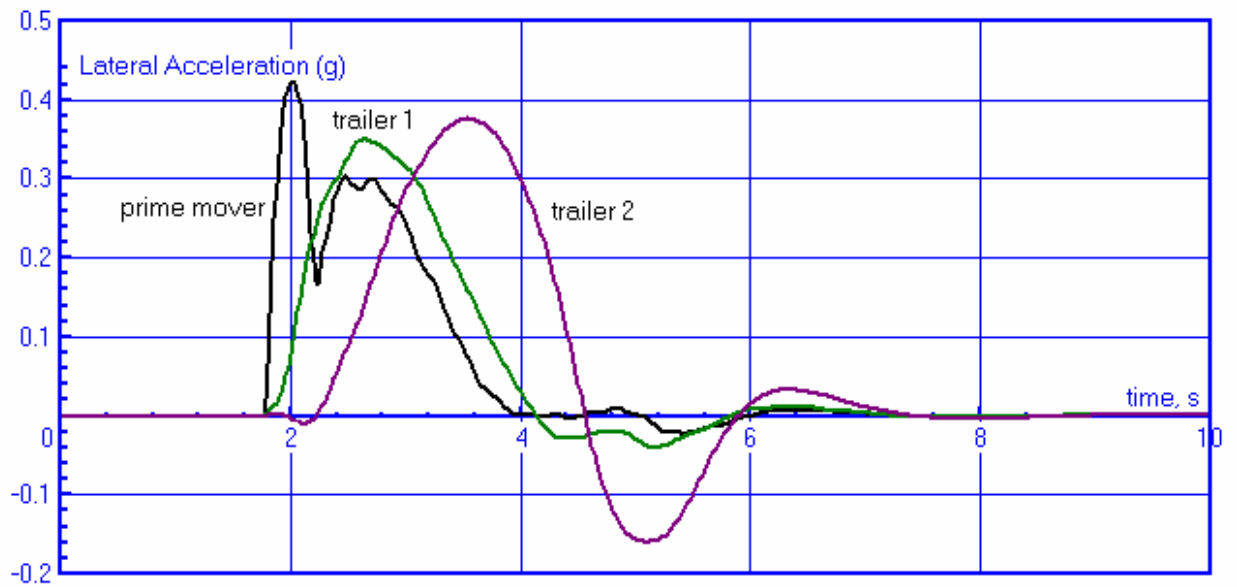


Рис. 5.11. Поперечное ускорение, автопоезд, рывок руля
Соответствует рис. D1.1(l), стр. 76, [1]

5.1.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer)

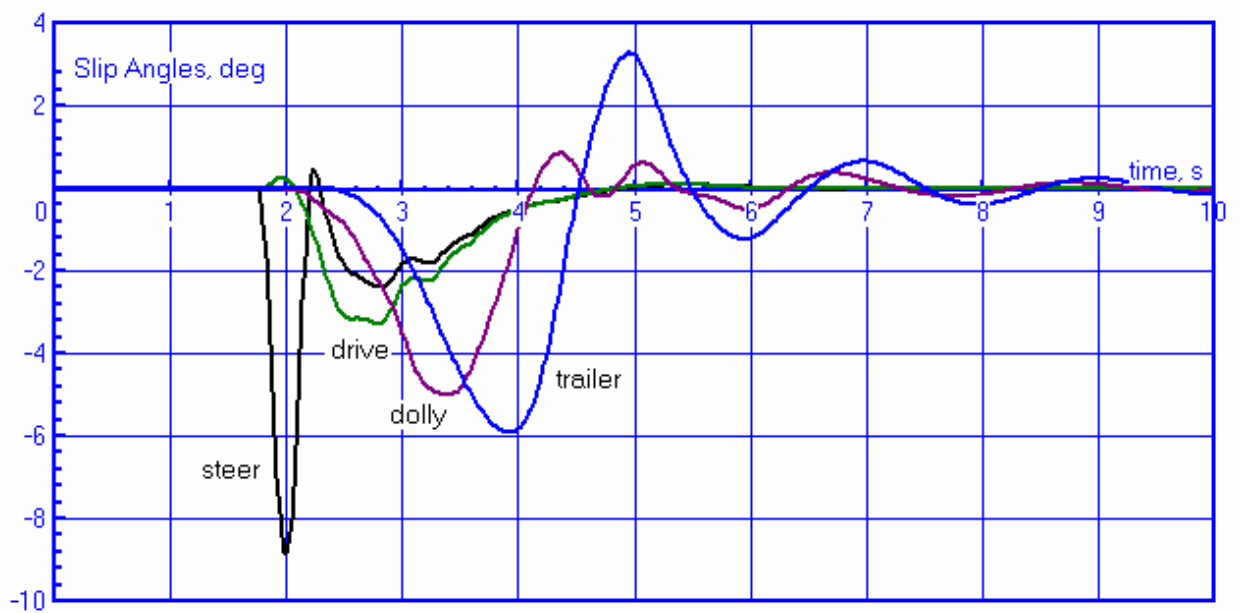


Рис. 5.12. Углы бокового увода, тягач с прицепом, рывок руля
Соответствует рис. D1.2(a), стр. 76, [1]

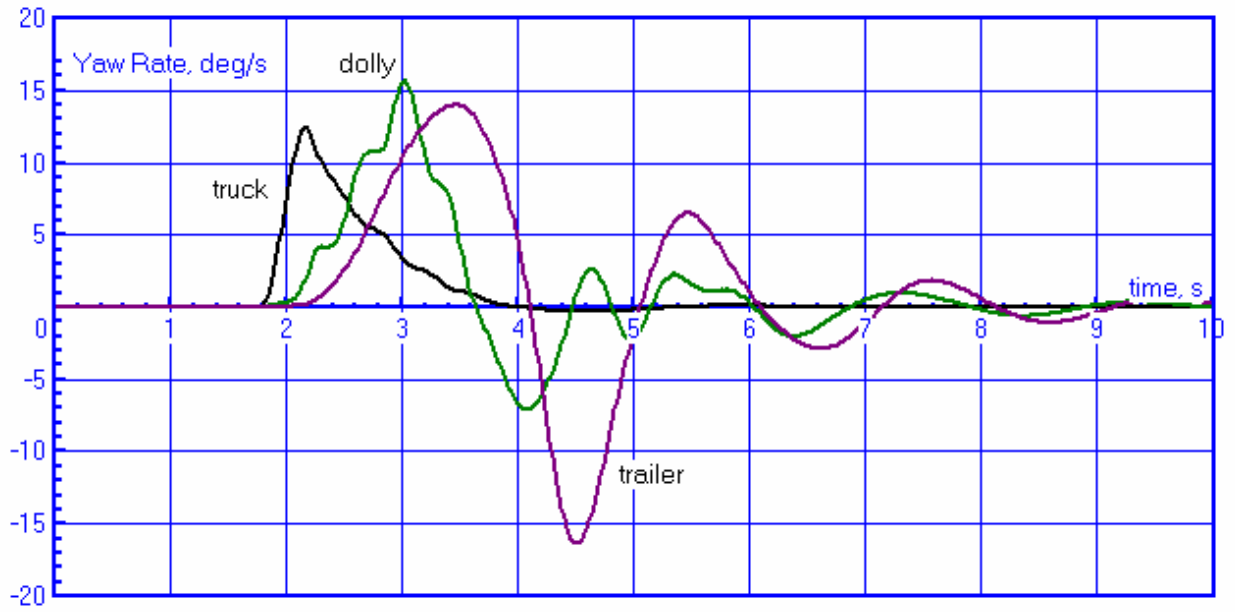


Рис. 5.13. Угловая скорость рысканья, тягач с прицепом, рывок руля
Соответствует рис. D1.2(b), стр. 77, [1]

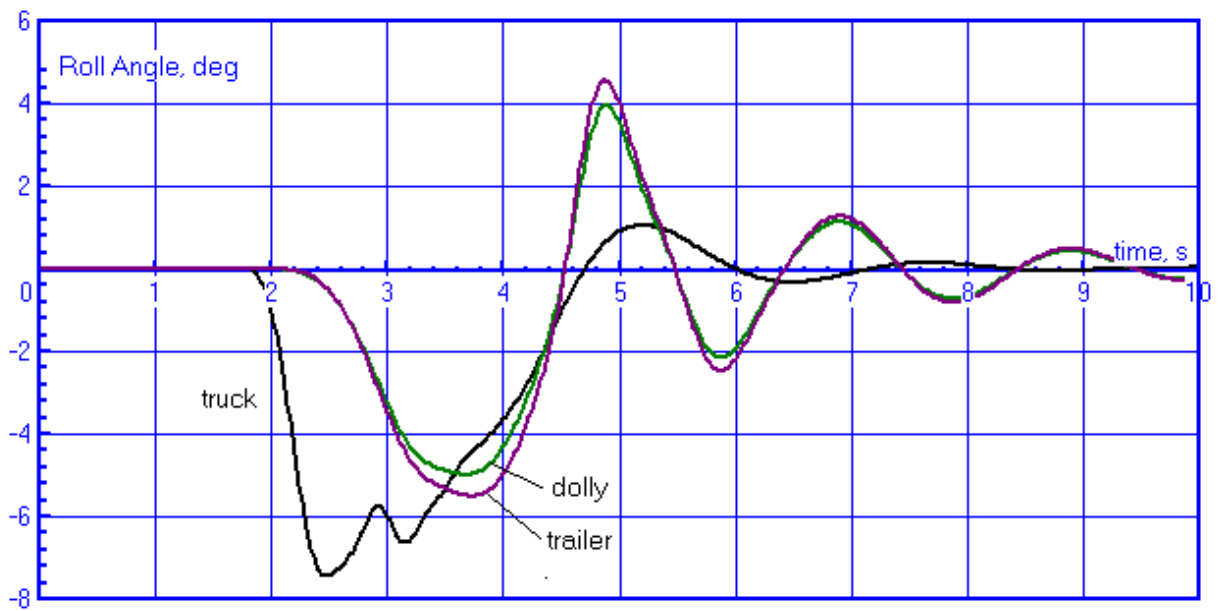


Рис. 5.14. Угол бокового крена, тягач с прицепом, рывок руля
Соответствует рис. D1.2(c), стр. 77, [1]

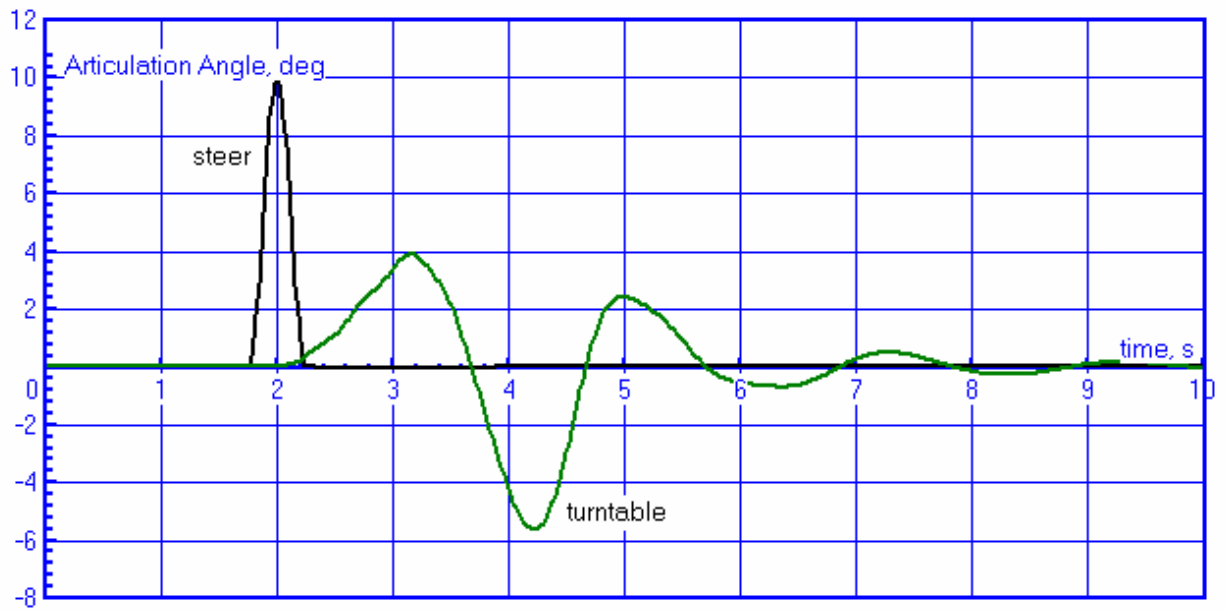


Рис. 5.15. Угол поворота передних колес и угол поворота тележки прицепа относительно прицепа, тягач с прицепом, рывок руля
Соответствует рис. D1.2(d), стр. 78, [1]

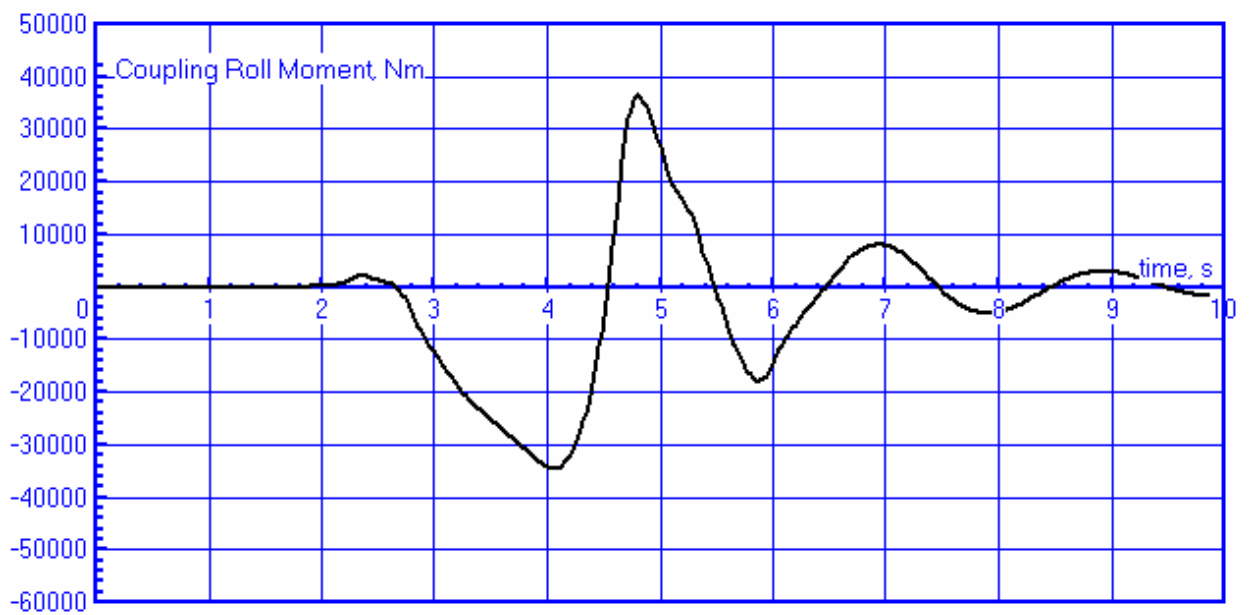


Рис. 5.16. Момент сил реакций в опирании прицепа на тележку, тягач с прицепом, рывок руля
Соответствует рис. D1.2(e), стр. 78, [1]

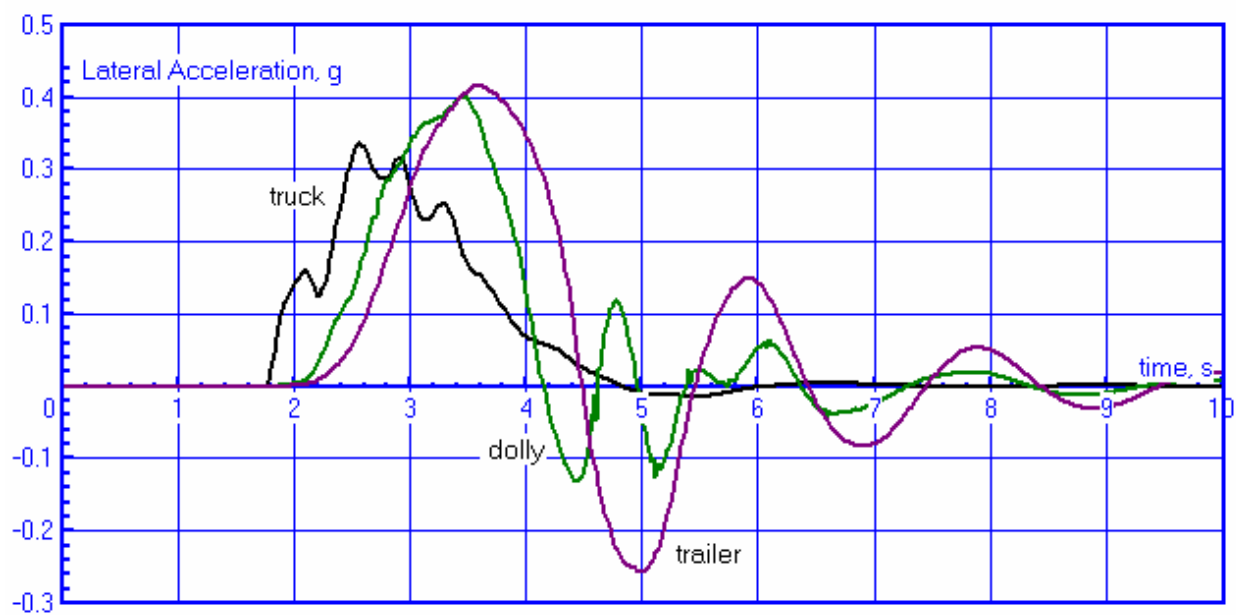


Рис. 5.17. Поперечное ускорение, тягач с прицепом, рывок руля
 Соответствует рис. D1.2(g), стр. 79, [1]

5.2. Поворот руля (Step steer)

5.2.1. Автопоезд (B-double)

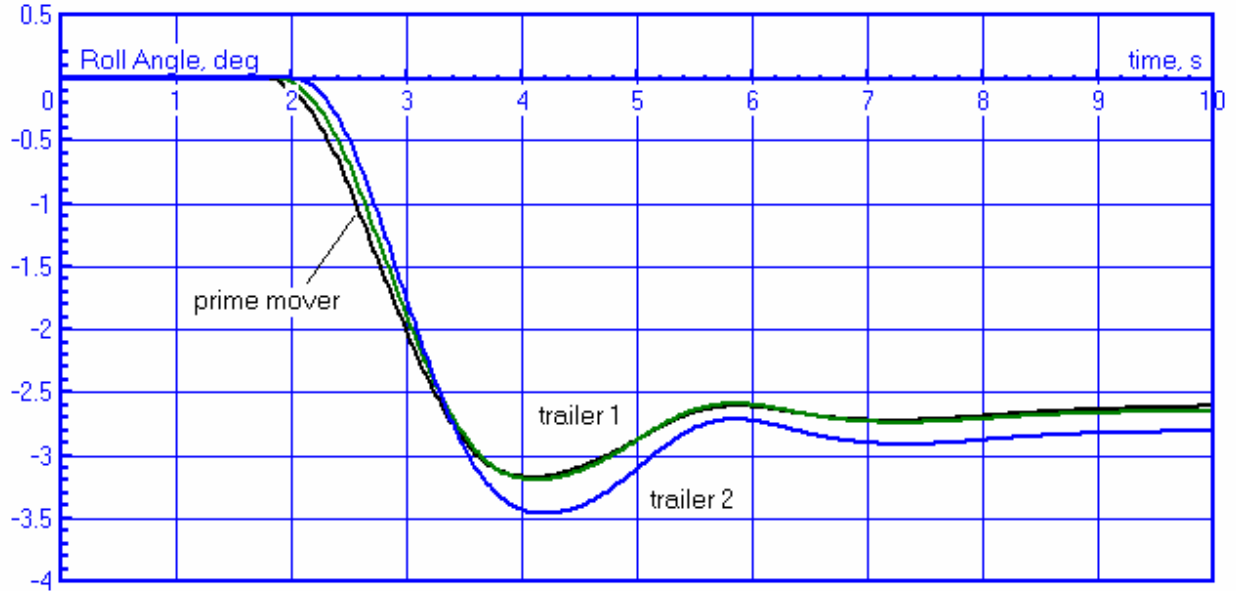


Рис. 5.18. Угол бокового крена, автопоезд, поворот руля
Соответствует рис. D2.1(a), стр. 80, [1]

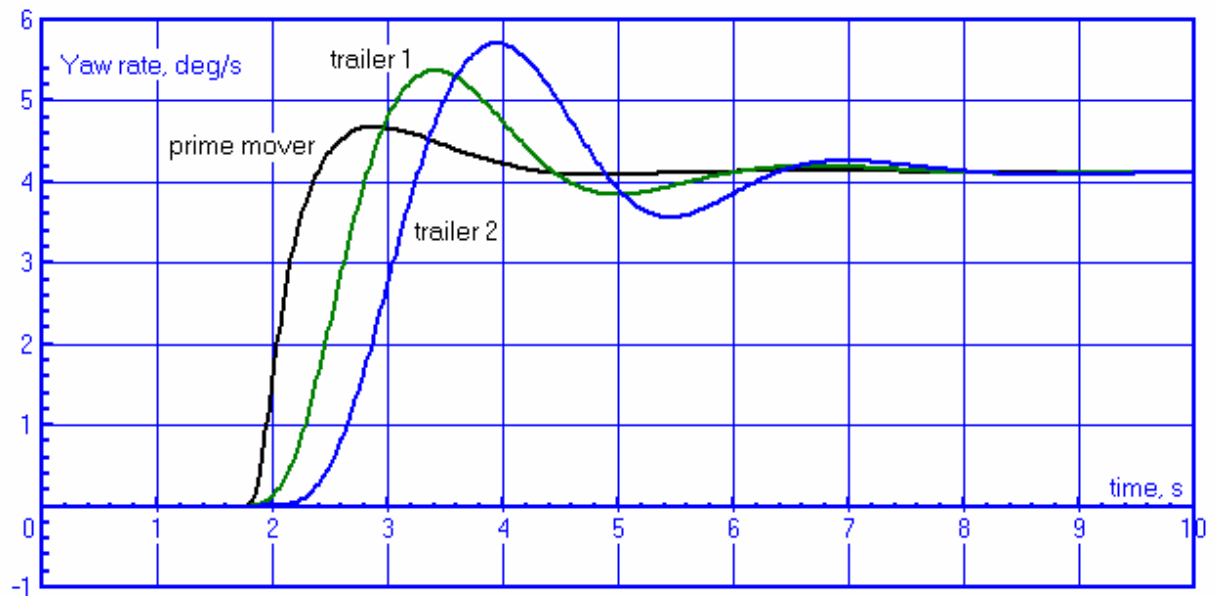


Рис. 5.19. Угловая скорость рысканья, автопоезд, поворот руля
Соответствует рис. D2.1(b), стр. 80, [1]

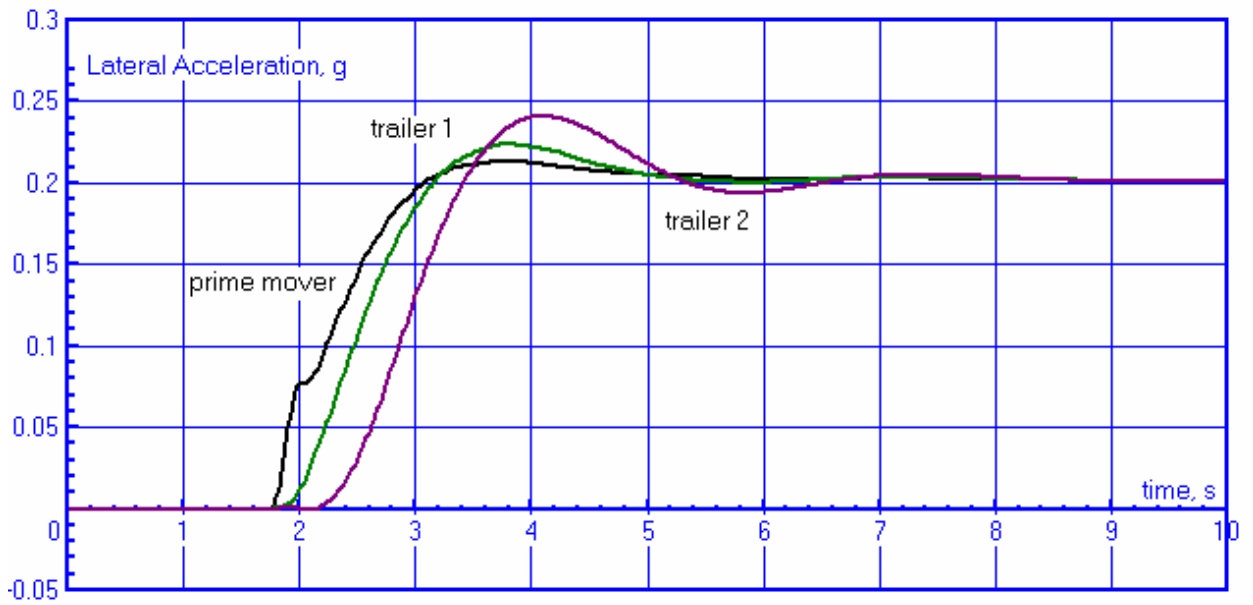


Рис. 5.20. Поперечные ускорения, автопоезд, поворот руля
Соответствует рис. D2.1(с), стр.81, [1]

5.2.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer)

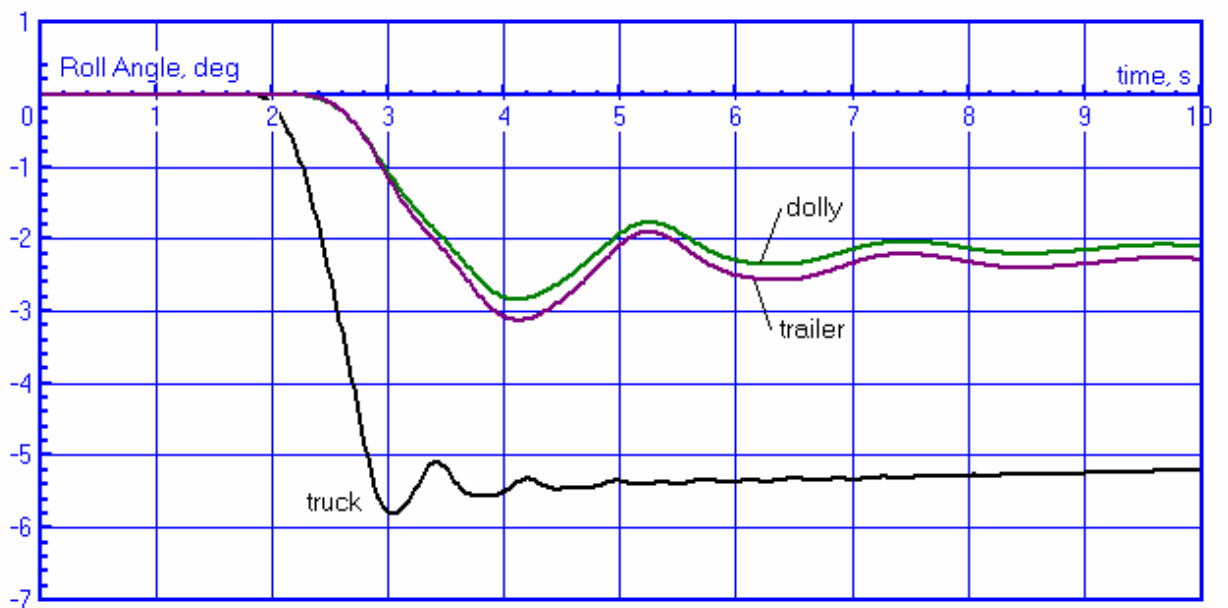


Рис. 5.21. Угол бокового крена, тягач с прицепом, поворот руля
Соответствует рис. D2.2(а), стр. 81, [1]

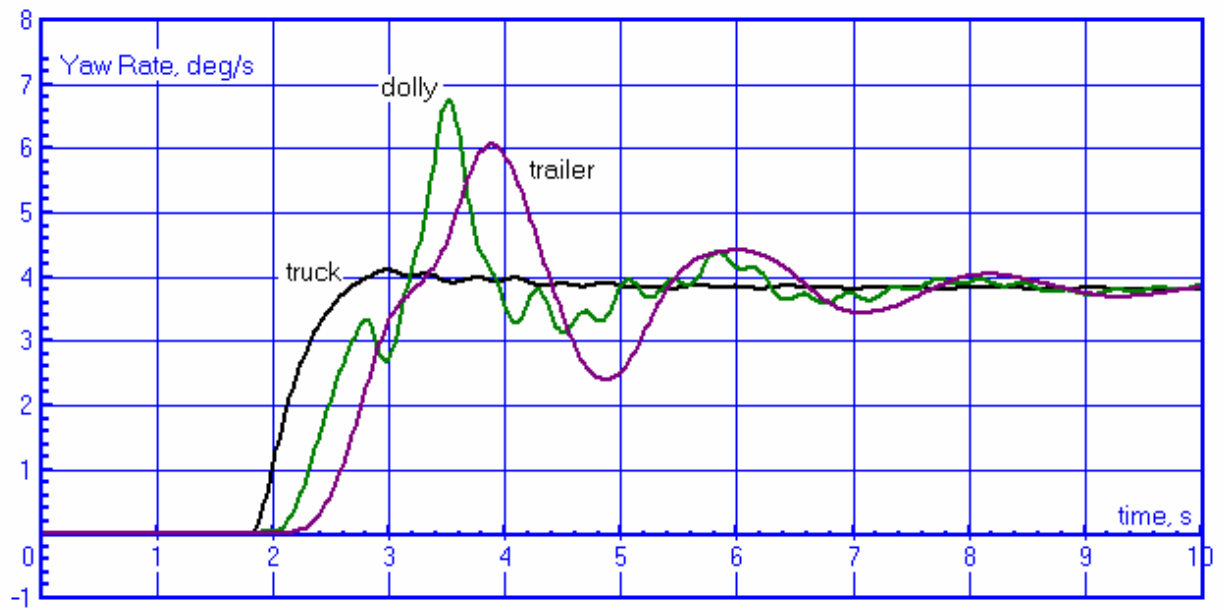


Рис. 5.22. Угловая скорость рысканья, тягач с прицепом, поворот руля
Соответствует рис. D2.2(b), стр. 82, [1]

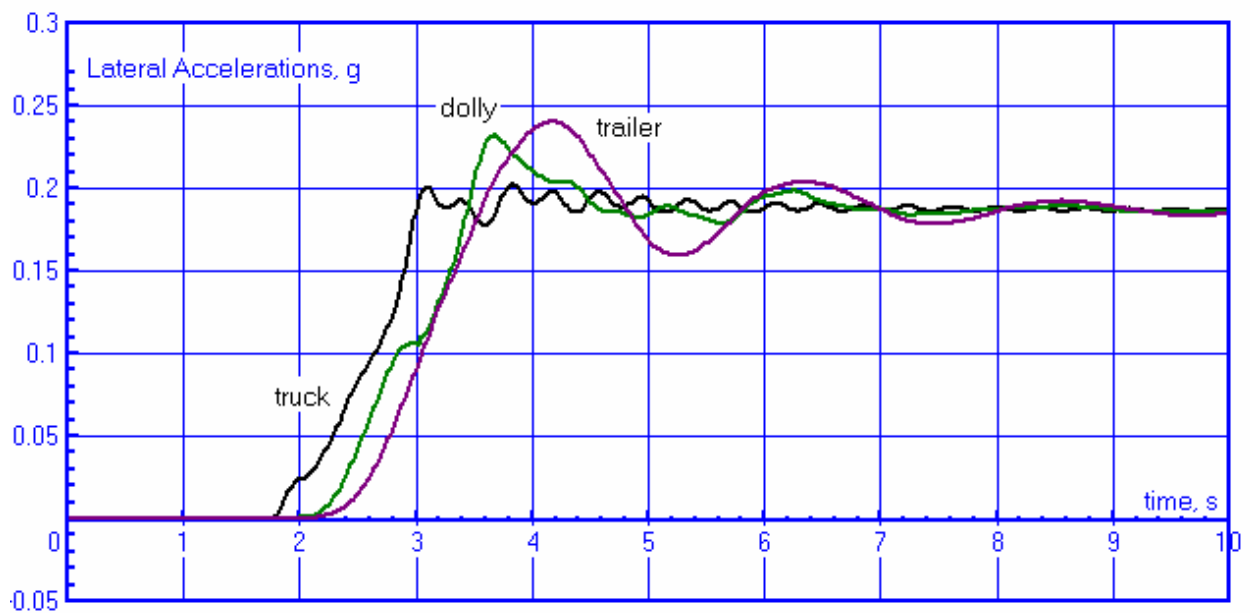


Рис. 5.23. Поперечные ускорения, тягач с прицепом, поворот руля
Соответствует рис. D2.2(c), стр. 82, [1]

5.3. Смена полосы движения (SAE lane change)

5.3.1. Автопоезд (B-double)

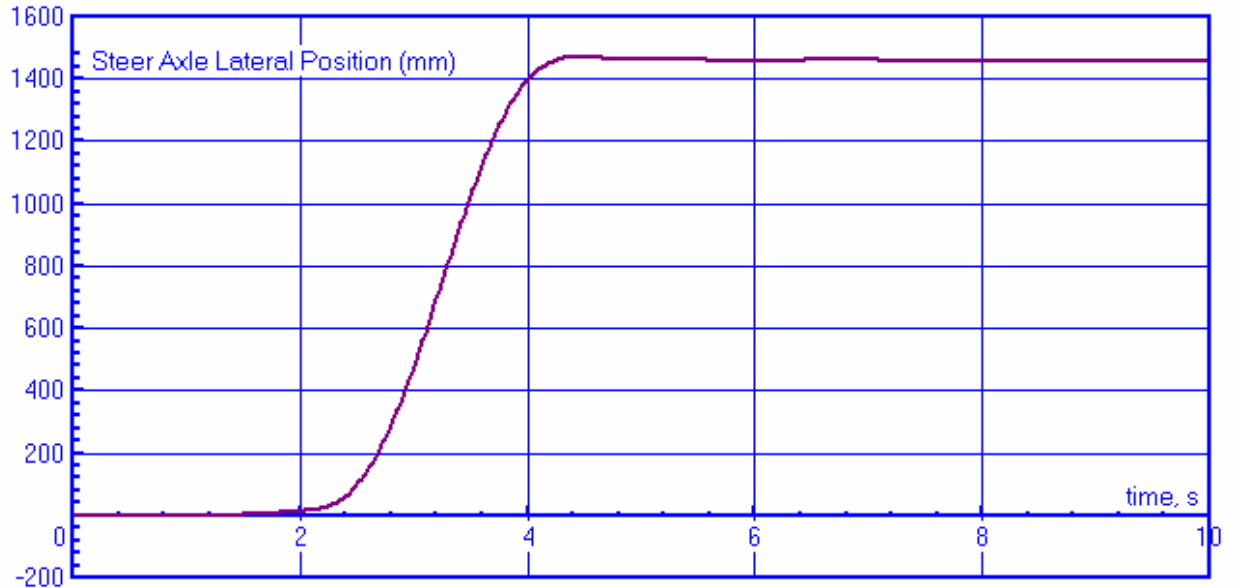


Рис. 5.24. Поперечная координата центра передней оси, автопоезд, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.1(a), стр. 83, [1]

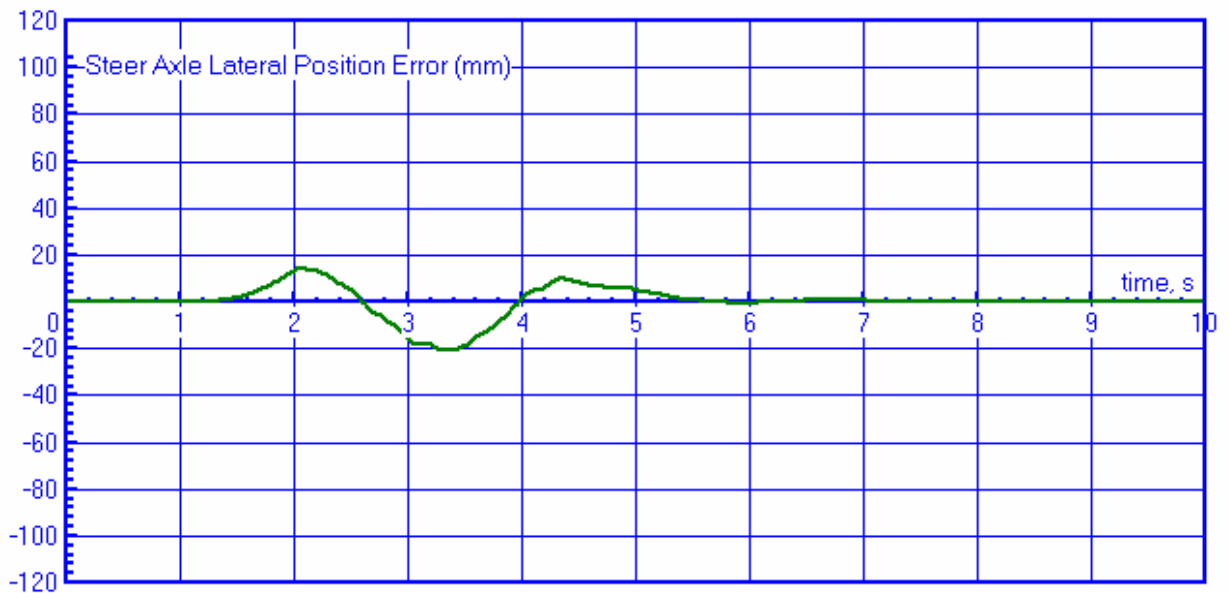


Рис. 5.25. Отклонение от заданной траектории, автопоезд, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.1(b), стр. 83, [1]

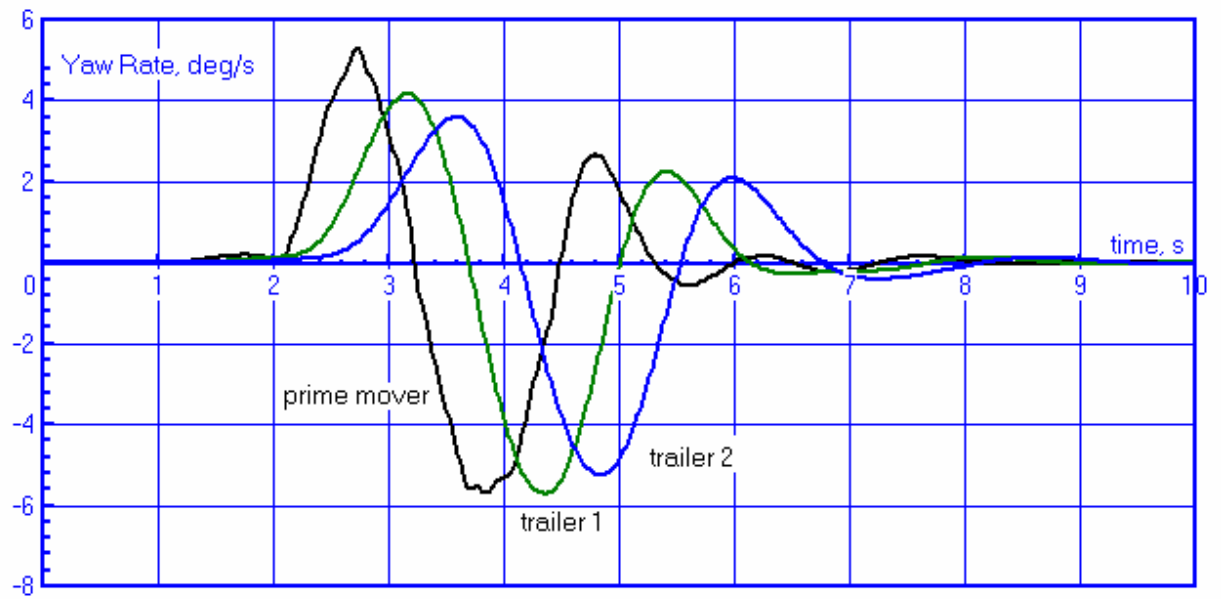


Рис. 5.26. Угловая скорость рысканья, автопоезд, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.1(с), стр. 84, [1]

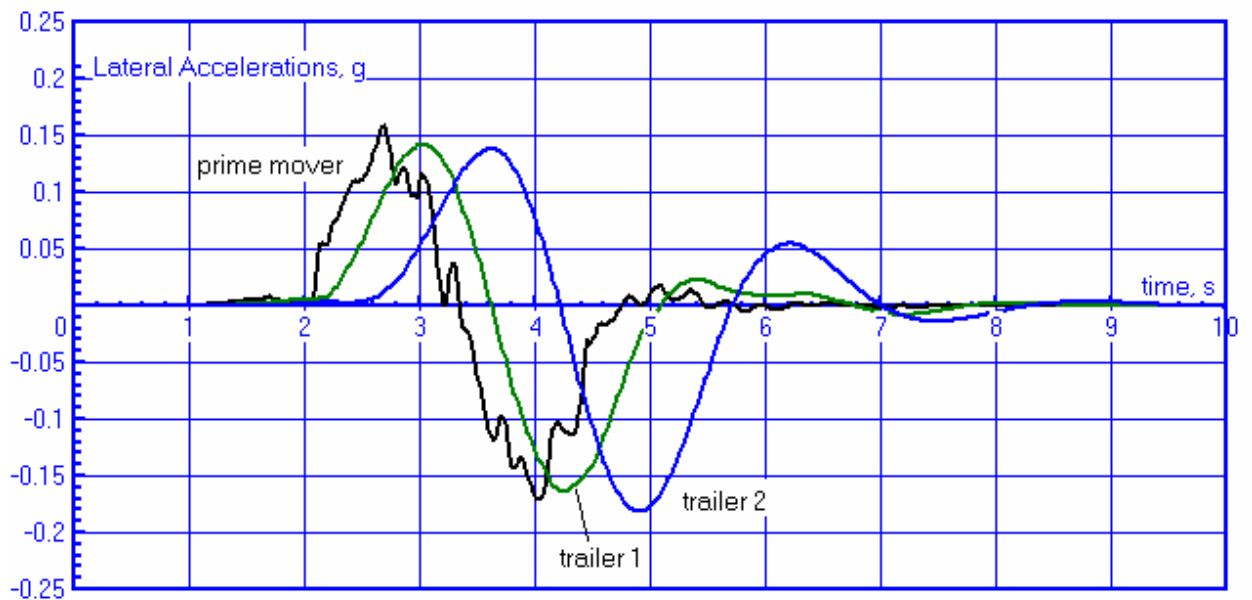


Рис. 5.27. Поперечные ускорения, автопоезд, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.1(d), стр. 84, [1]

5.3.2. Тягач с прицепом (Truck/trailer)

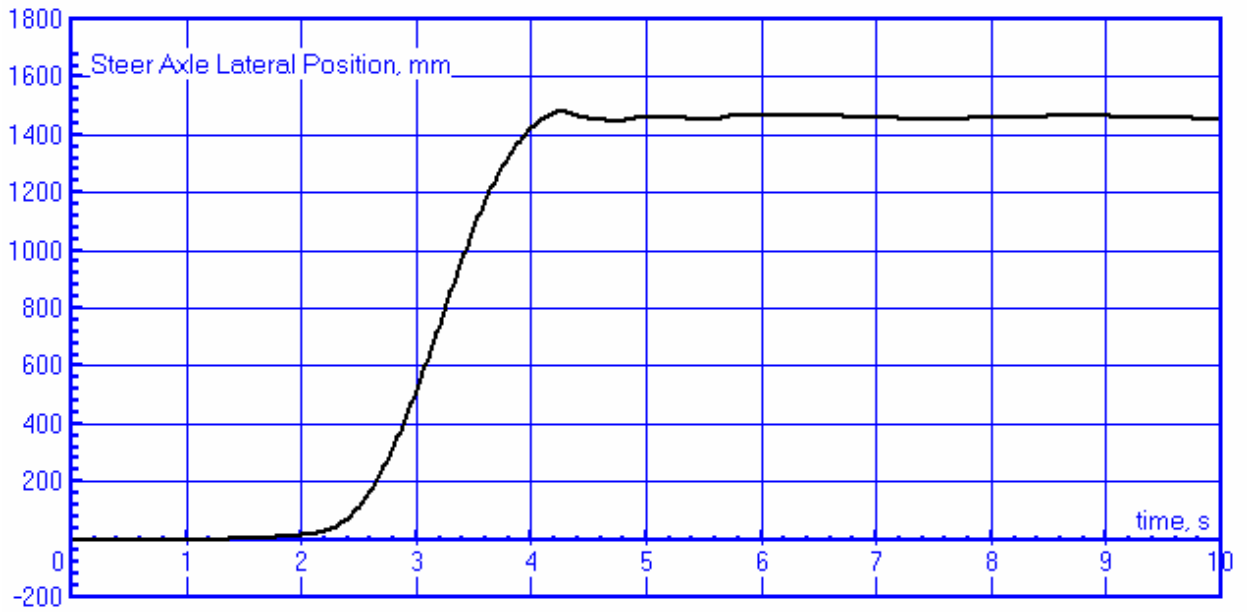


Рис. 5.28. Поперечная координата центра передней оси, грузовик с прицепом, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.2(a), стр. 85, [1]

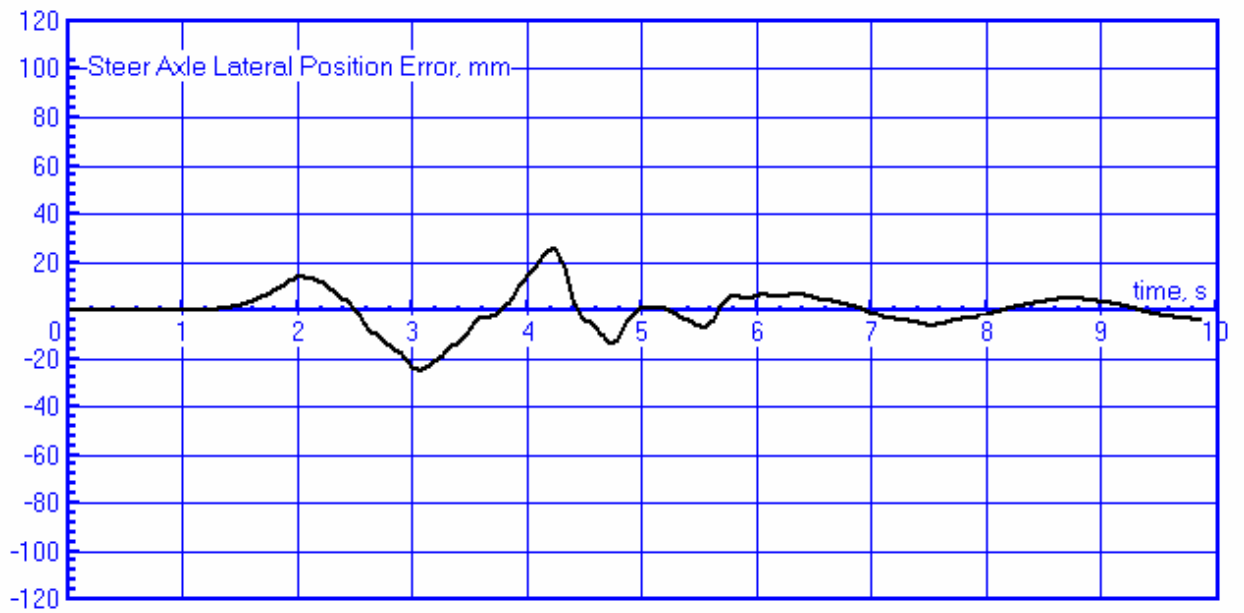


Рис. 5.29. Отклонение от заданной траектории, грузовик с прицепом, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.2(b), стр. 86, [1]

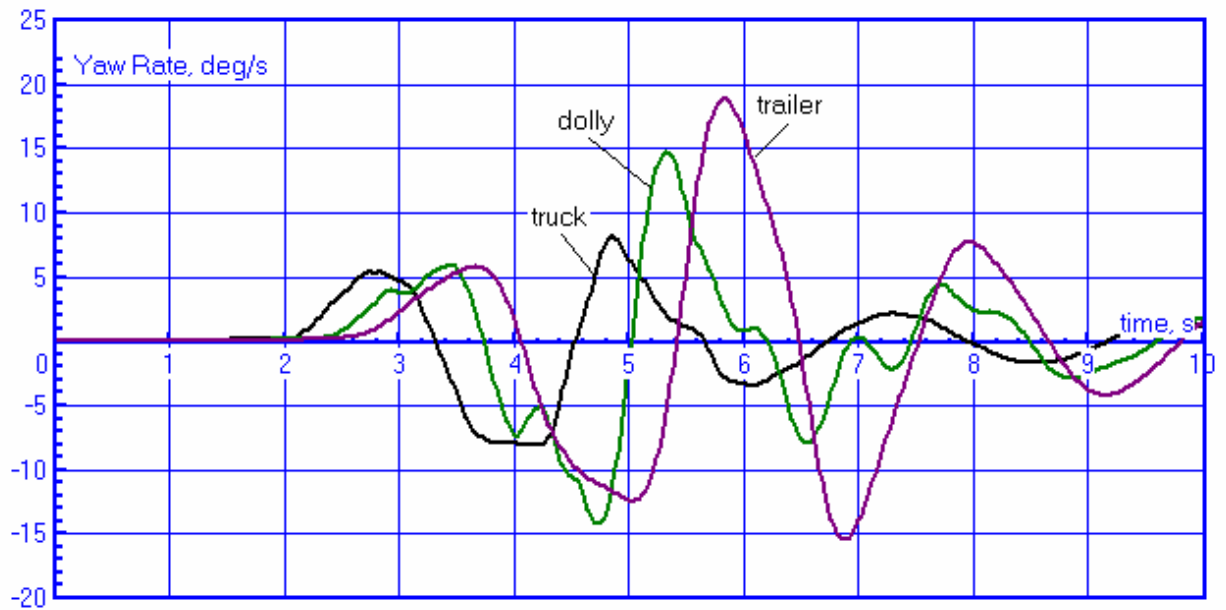


Рис. 5.30. Угловая скорость рысканья, грузовик с прицепом, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.2(с), стр. 86, [1]

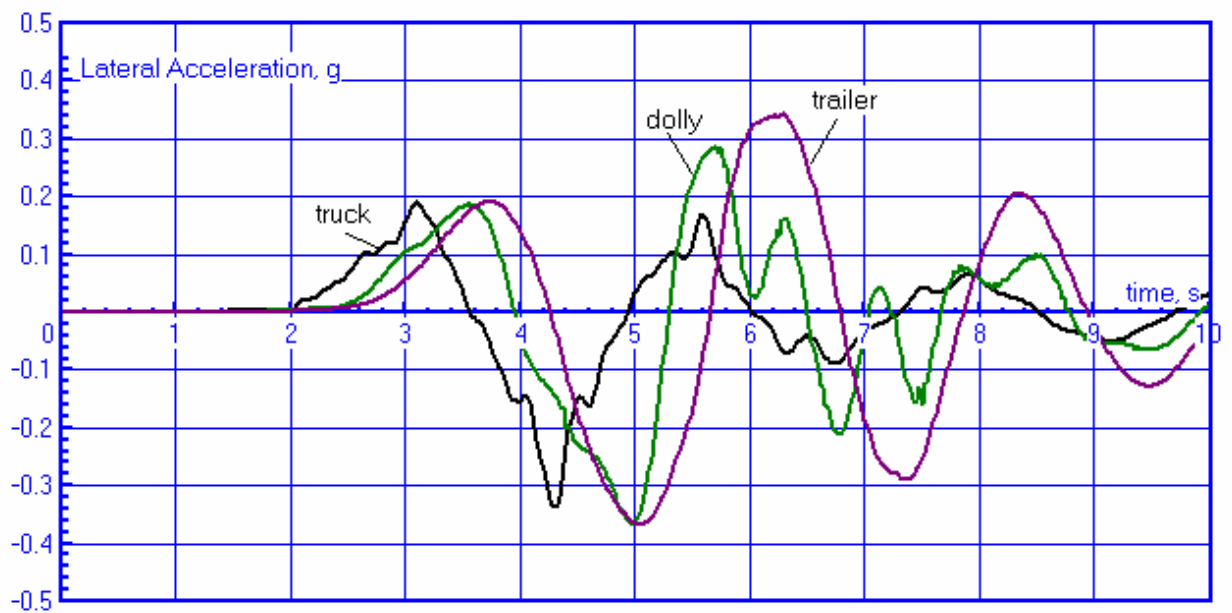


Рис. 5.31. Поперечные ускорения, грузовик с прицепом, смена полосы движения
Соответствует рис. D3.2(d), стр. 87, [1]

5.4. Поворот на 90° на малой скорости (Low-speed 90° turn)

5.4.1. Автопоезд (B-double)

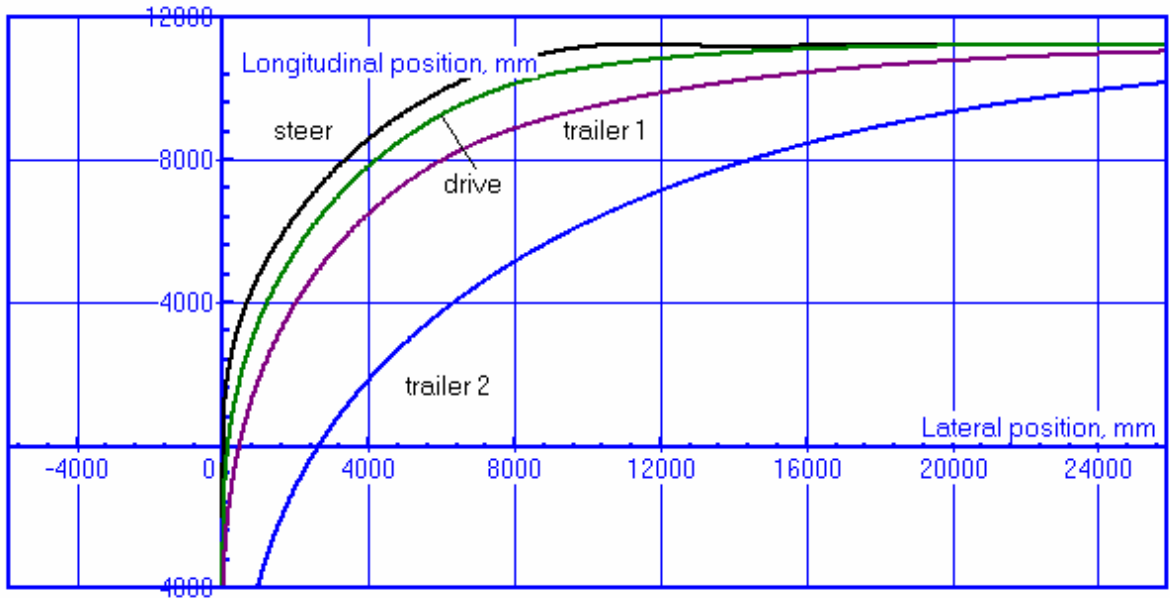


Рис. 5.32. Траектории движения автопоезда, поворот на 90° на малой скорости
Соответствует рис. D4.1(a), стр. 88, [1]

5.4.2. Тягач с прицепом (Truck-trailer)

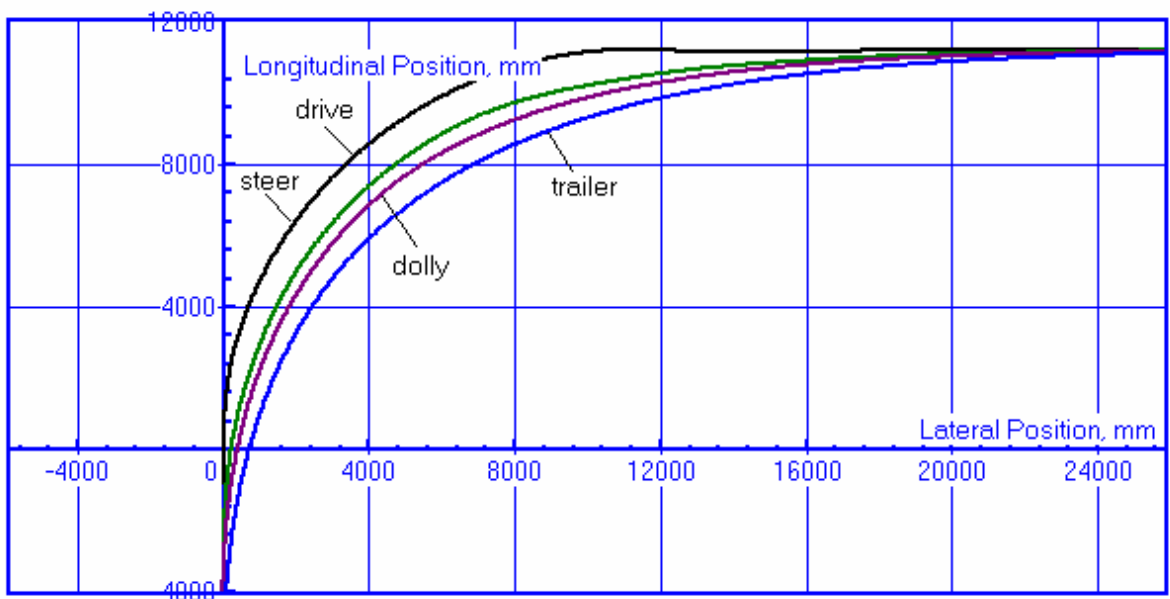


Рис. 5.33. Траектории движения грузовика с прицепом, поворот на 90° на малой скорости
Соответствует рис. D4.2(a), стр. 89, [1]

ССЫЛКИ

1. Comparison of Modelling Systems for Performance-Based Assessments of Heavy Vehicles. National Road Transport Commission, Melbourne, Australia. <http://www.ntc.gov.au/filemedia/Reports/ComparisonModellingSystemsPerfor.doc>