



# 2. Проектирование транспортных машин (ТМ)

## Лекция 1.7. Моделирование импульсной CVT

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатой коробкой передач

## Абстрактный

В этой статье обсуждаются приведены результаты теоретического и экспериментального исследования динамических характеристик транспортного средства с механическим бесступенчатой передачей, имеющая колебательный перемещения звеньев и регулируемая внутренняя автоматизированность. Описаны режимы движения “Старт” и “Ускорение”.

В статье представлена модель транспортного средства, разработанная в Simscare, который включает в себя подсистемы: двигатель внутреннего сгорания, механический бесступенчатый трансмиссия, кузов транспортного средства и шасси. модель описывает линейные движения, скорости и ускорения транспортного средства, а также кинематические и

**бесступенчатый коробка передач**  
Экспериментальное исследование динамики транспортного средства с прототипом механической бесступенчатый передача осуществлялась на ходовом испытательном образце изготовлен на базе автомобиля УАЗ.

Анализ результатов моделирования и экспериментов показывает адекватность из Simscare модель, позволяющая изучить влияние пружинных и инерционных характеристик компонентов трансмиссии на динамику механических бесступенчатый трансмиссия и транспортное средство в целом.

Результаты исследований показывают, что транспортное средство с таким механическим бесступенчатый передача имеет значительное преимущества с точки зрения энергоэффективности, кинематического и силового диапазонов и могут быть успешно использованы в качестве

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

## 1. Введение

Проблемы обеспечения эффективности и экологичность транспортных средств, оснащенных возвратно-поступательным движением двигателя внутреннего сгорания (ДВС) инициируют разработку принципиально новых типов автомобильных трансмиссий, в том числе организацию их управления в эпоху 5G с использованием человеко-компьютерного взаимодействия. Как правило, двигатель внутреннего сгорания имеет небольшой кинематический и силовой диапазоны. В то же время потребитель часто должен быть рабочий диапазон изменения скорости, равный бесконечности – от режима остановки до заданного максимального значения, а также значительный диапазон силы.

Энергоэффективной является трансмиссия, которая обеспечивает такое преобразование в сочетании с двигателем внутреннего сгорания и обладает максимально возможной эффективностью.

**бесступенчатый коробка передач**  
В ряде работ наиболее перспективным считается использование гибридных, электрических и гидравлических бесступенчатых трансмиссий. Основным недостатком этих передач является двойное преобразование энергии, которое обязательно приводит к снижению эффективности. Альтернатива к таким бесступенчатый трансмиссии - это трение вариаторы, в котором нет преобразования энергии из одного вида в другой.

Однако их принципиально непоправимое недостатком является то, что полезный крутящий момент передается силами трения. В то же время нормальные силы, создающие напряжения при контакте рабочих органов, примерно в 20 раз превышают полезную тангенциальную силы, создающие крутящий момент. Наличие трения скольжения при высоких контактных напряжениях вызывает повышенный износ и снижает эффективность.

## **Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатой коробкой передач**

На основе большого количества теоретических, конструкторских и экспериментальных работ разработан принципиально новый тип механических бесступенчатой разработана трансмиссия с колебательным движением внутренних звеньев. Эта передача предназначена для использования на транспортных средствах. Он имеет регулируемые колебательные движения внутренних звеньев, муфты свободного хода (FWS) и пружинные элементы-торсионные валы.

При использовании регулируемых сил пружины, бесступенчатость работа трансмиссии обеспечивается как за счет деформации торсионных валов под нагрузкой, так и за счет регулирования амплитуды их колебаний. Испытания прототипа на испытательном стенде показали, что трансмиссия обеспечивает бесконечный кинематический и значительный диапазоны сил, во много раз превышающий диапазон существующих трансмиссий.

## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

### бесступенчатый коробка передач

Однако при установке его на транспортном средстве, как трансмиссию, необходимо учитывать инерционные и пружинные свойства сопрягаемых узлов и деталей (раздаточная коробка, кардан шестерни, конечная передача и т. Д.), который влияют его динамические свойства.

Поэтому целью работы является теоретическое и экспериментальное определение динамических характеристик транспортного средства с механическим бесступенчатый коробка передач. Решаются следующие задачи:

- развиться в Simscare окружающая среда модель системы транспортного средства: "двигатель - бесступенчатый импульсная трансмиссия - шасси - дорога";
- для реализации моделирования движения модели транспортного средства с механическим бесступенчатый передача в режиме пуска и разгона;
- определить кинематические и силовые параметры механического бесступенчатый коробка передач;

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

## бесступенчатый коробка передач

- для проведения экспериментальных исследований прототипа механического бесступенчатый импульсная передача на ходовой модели транспортного средства;
- оценить эффективность предложенной модели системы на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований

### 2. Материалы и методы

Модель системы транспортного средства: "двигатель - бесступенчатый трансмиссия - шасси - дорога" была разработана в Simscare среда для теоретического решения вышеуказанных задач. Она включает в себя подробное описание всех структурных компонентов системы с учетом взаимосвязей между ними.

На рисунке 1 показана 3D-модель и кинематическая схема экспериментального образца механической бесступенчатый коробка передач.



# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

Рис. 1. Кинематическая схема механической бесступенчатый коробка передач  
1,10 – приводной вал, 2 – рабочее колесо, 3 – кривошип, 4 – шатун, 5 – свободный ход механизм, 6 – торсионный вал, 7 – шестерня, 8 – зубчатая передача колесо, 9 – ведомый вал, 11 – шпиндель, 12 – масляный насос, 13 – шестерня, 14,15 – солнечно-планетарные колеса, 16 – червячный редуктор.

## POLYTECH | Кинематическая схема преобразователя

На рис. 2 показана кинематическая схема преобразователя колебаний без механизма управления радиусом кривошипа  $r$ . Буксировочные шатуны 12 являются шарнирно соединен с обоймой кривошипа на расстоянии  $l_1$  от оси и шарнирно соединен с коромыслами 13 механических выпрямителей, оси которых расположены на расстоянии  $l_0$  от оси приводного вала 0. Приводной вал вращается по часовой стрелке, а рабочий ход механических выпрямителей направлен против часовой стрелки. Поэтому шатуны 12 работают в напряжении во время рабочего хода.

Имеется дополнительный шатун 12', равный по длине шатуну 12, и дополнительное коромысло 13', а также треугольник азбука с шарнирами в углах, выполненными так, чтобы “а” было равно расстоянию между соединениями шатунов 12 и 12' на сепараторе, “в” равно расстоянию между осью механического выпрямителя и шарниром коромысла 13' на корпусе.

Рис. 2 Кинематическая  
схема

преобразователя

пятизвенного типа:

11 –

кривоши

12 – шатун  
II

13 – коромысло муфты свободного  
хода

Амплитуды колебаний коромысла  
муфты свободного хода (красный) и шатуна (синий),  
град.

В результате получаются **колебаний** два шарнирных параллелограмма, соединенных жестким треугольником, что обеспечивает, как и на чертежной доске, поступательное перемещение клетки. Теперь каждый шатун клетки движется по кругу с радиусом  $r$  таким же образом, как и его ось, но со смещением  $l_1$ . Таким образом, мы получаем пять одинаковых четыре звена, работающие с фазой сдвиг на  $72^\circ$  степень.

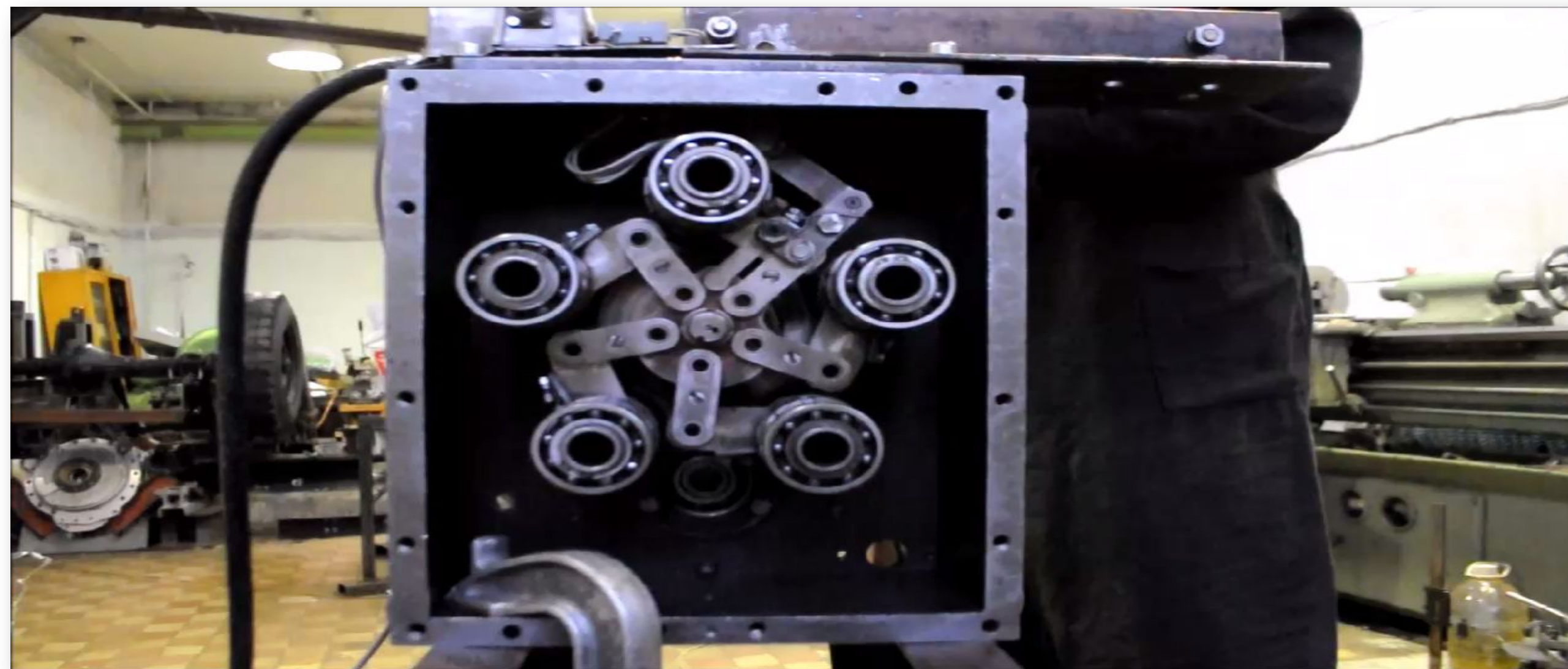


Рис.3 Кинематика генератора механических колебаний

Принцип действия механического бесступенчатый передача происходит следующим образом:

вращение приводного вала 1, состоящего из передней 1 и хвостовой 10 частей, соединенных роликом 11, с помощью шарнира-рычага механизм (общий кривошип 3, шатуны 4) преобразуется в угловые колебания ведущего элементы из пяти механических выпрямителей 5 - механизмы свободного хода. Ведущие элементы механизмов свободного хода - коромысла совершают колебательное движение со сдвигом фазы, а ведомые элементы соединены через торсионные валы 6 с шестернями 7 суммирующей коробки передач.

Центральное зубчатое колесо 8 этой коробки передач является ведомым валом 9 коробки передач. Торсионные валы растягивают момент импульсы с течением времени, обеспечивающие перекрытие и непрерывность крутящего момента на выходном валу. Поскольку имеется пять торсионных валов, работающих со сдвигом фазы 72 градуса, трансмиссия многопоточный.

Трансмиссия передает крутящий момент на ведомый вал непрерывно и несколькими потоками. Он становится импульсным только тогда, когда внутреннее передаточное число, изменяющееся от 0 до 1, достигает значения, превышающего 0,9.

Амплитуда колебаний коромысла определяется расстоянием от оси общего кривошипа 3 до оси приводного вала 9.

Амплитуда изменяется поводком 2 путем поворота его относительно оси входного вала с помощью механизма управления, состоящего из двух одинаковых планетарные шестерни 14 и 15 объединены общим приводом.

Солнечная шестерня планетарной передачи 14 жестко соединена с ведущим валом 1. Эпицикл эта планетарная передача соединена с червячной передачей 16 через ее наружное зубчатое кольцо и промежуточные шестерни. Эпициклическая шестерня ряда 15 жестко соединена с корпусом коробки передач.

Когда эпициклические шестерни планетарных рядов 14 и 15 неподвижны, солнечные шестерни этих рядов вращаются с одинаковой частотой вращения, которая совпадает с приводным валом и общим водилом вращается с частотой, пропорциональной характеристике  $K$  планетарных рядов.

При регулировании амплитуды колебаний вращение колеса 16 обеспечивает пропорциональное вращение солнечной шестерни планетарного ряда 15 относительно солнечной шестерни ряда 14 на угол

$$\Delta\varphi = -K\varphi_3$$

где  $K$  - характеристика планетарных рядов 14 и 15,

$\varphi_3$  – угол поворота регулируемой эпициклической шестерни планетарного ряда 14.

Солнечная шестерня 15 ряда разворачивает общий кривошип 3 относительно вращающегося вала 1 через рабочее водило 2, что приводит к изменению амплитуды колебаний коромысла механизма свободного хода 5.

Система смазки трансмиссии включает в себя внешний масляный насос 12 с редукционным клапаном. Насос приводится в движение от приводного вала 9 через шестерню 13 и ролик 11.



Рис. 4. Работа импульсной передачи без нагрузки



# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатой коробкой передач

На рис. 5 показана кинематическая схема ходового испытательного образца транспортного средства с механическим бесступенчатый коробка передач.

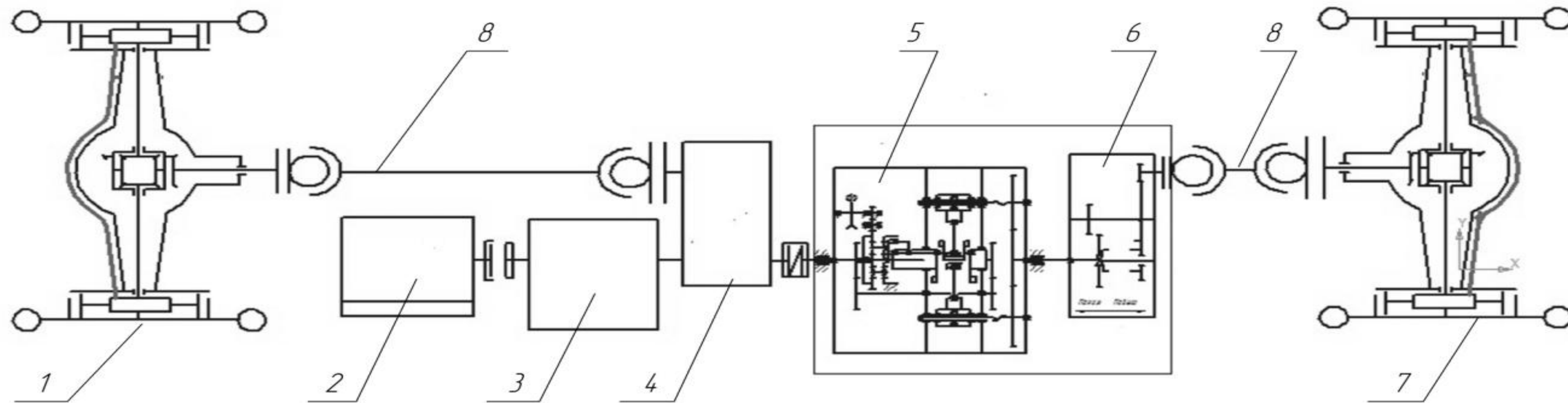


Рис. 5. Кинематическая схема работающего испытательного образца' коробка передач. 1 - передняя ось, 2 - двигатель внутреннего сгорания, 3 - стандартная коробка передач, 4 – стандартная раздаточная коробка, 5 – прототип механической бесступенчатый коробка передач, 6 – раздаточная коробка заднего моста, 7 – задний мост, 8 – карданный привод.

## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатой коробкой передач

Развитая механическая бесступенчатая трансмиссия установлена на раме автомобиля. Механическое бесступенчатый трансмиссия соединена со стандартной трансмиссией автомобиля с помощью пружинной промежуточной муфты. Раздаточная коробка заднего моста установлена на выходном валу коробки передач и выполняет функцию мультипликатора, который необходим для получения "прямого" привода от двигателя к задней оси транспортного средства.

То бесступенчатый корпус коробки передач установлен на подшипниках и с помощью датчика силы (регистрирует реактивный момент на корпусе) фиксируется от поворота рамы транспортного средства. Ходовой испытательный образец оснащен двигателем мощностью 69 кВт (95 л.с.) двигатель, вес ходового испытательного образца составлял 1953 кг. При тестировании прямой привод (четвертая передача) включается в стандартной коробке передач, т. е. скорость вала двигателя внутреннего сгорания равна скорости входного вала механического бесступенчатый коробка передач.

**Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой**

**бесступенчатый коробка передач**

В этом случае передняя ось в стандартной трансмиссии выключена. Использование стандартной коробки передач и стандартной раздаточной коробки предусмотрено только при движении задним ходом.

## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

Теоретическое исследование **бесступенчатый коробка передач** динамики транспортного средства, оснащенного регулируемым механическим бесступенчатый передача основана на Matlab программная среда и ее Simscare и приложения Simulink. То Simscare модель "Бесступенчатый Трансмиссия" (рис. 6) впервые подробно обсуждался на предыдущей лекции.

Можно сформировать "Попутный маневр" блок в Simscare, который формирует подачу топлива в двигатель внутреннего сгорания во время пуска и разгона транспортного средства с бесступенчатый коробка передач. Внешние и частичные характеристики бензина двигатель с переменной подачей топлива представлен в "Блок" Двигатель".

**Теоретическое и экспериментальное исследование динамики  
транспортного средства, оснащенного механической регулируемой  
бесступенчатый коробка передач**

Инжир. 6.В simscape модель механического регулируемого бесступенчатый коробка передач

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

Инжир. 7. Структура блок "Двигатель"

Структура блока "Двигатель" показана на рисунке 5. Входными параметрами блока являются подача топлива (дроссельная заслонка,%) и частота вращения двигателя ( $n_{\text{инжиниринг}}$ ); выходным параметром является крутящий момент двигателя (Нм). Характеристики двигателя описаны в виде таблицы в "2-D LookupTable\_Engine"раздел.

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

Инжир. 8.В simscape модель: Двигатель-Бесступенчатый трансмиссия-Автомобиль-Дорога

Фигура 8 показывает полную Simscape модель системы: двигатель - бесступенчатый трансмиссия - транспортное средство – дорога.

Блок "Дифференциал" обеспечивает симметричное распределение потока мощности по колесам транспортного средства.

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

Инжир. 9.В simscape модель подсистемы "Транспортное средство"

Simscape модель подсистемы транспортного средства и встроенный в нее модуль "Кузов транспортного средства" показаны на рисунке 9.

Модель основана на стандартных блоках Matlab программная среда, Simulink и Simscape области применения – "Шина", "Кузов транспортного средства".



## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

### бесступенчатый коробка передач

Параметры, характеризующие динамические свойства транспортного средства, а также преобразующие свойства бесступенчатый передачи определяются на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований. Среди этих параметров можно выделить:

входной  $M_1$  и выходной  $M_2$  крутящие моменты бесступенчатый трансмиссия, входные  $n_1$  и выходные  $n_2$  обороты трансмиссионных валов, изменения скорости  $V$  транспортного средства, изменения коэффициента преобразования крутящего момента в зависимости от скорости транспортного средства  $K_T = f(V)$ , эффективность механического бесступенчатый коробка передач  $\eta = f(V)$ .

Кроме того, был определен угол поворота торсионного вала, а также проведено измерение из параметров, обеспечивающих управление требуемым режимом движения транспортного средства, осуществлялось: амплитуда колебаний коромысла механизмов свободного хода и положение педали управления подачей топлива.

**бесступенчатый коробка передач**

Экспериментальное измерение и регистрация проводились с использованием модульной измерительно-вычислительной системы, работающей на базе персонального компьютера типа IBM PC со специальными PowerGraph Программное обеспечение.

В качестве иллюстрации на рисунке 8 показан фрагмент обработанного осциллограмма регистрация процесса ускорения транспортного средства.

**Теоретическое и экспериментальное исследование динамики  
транспортного средства, оснащенного механической регулируемой  
бесступенчатый коробка передач**

Инжир. 10.В иллюстрация метода обработки экспериментальных данных в PowerGraph программа

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач



Рис. 11 Процесс ускорения транспортного средства с механической регулировкой бесступенчатый коробка передач

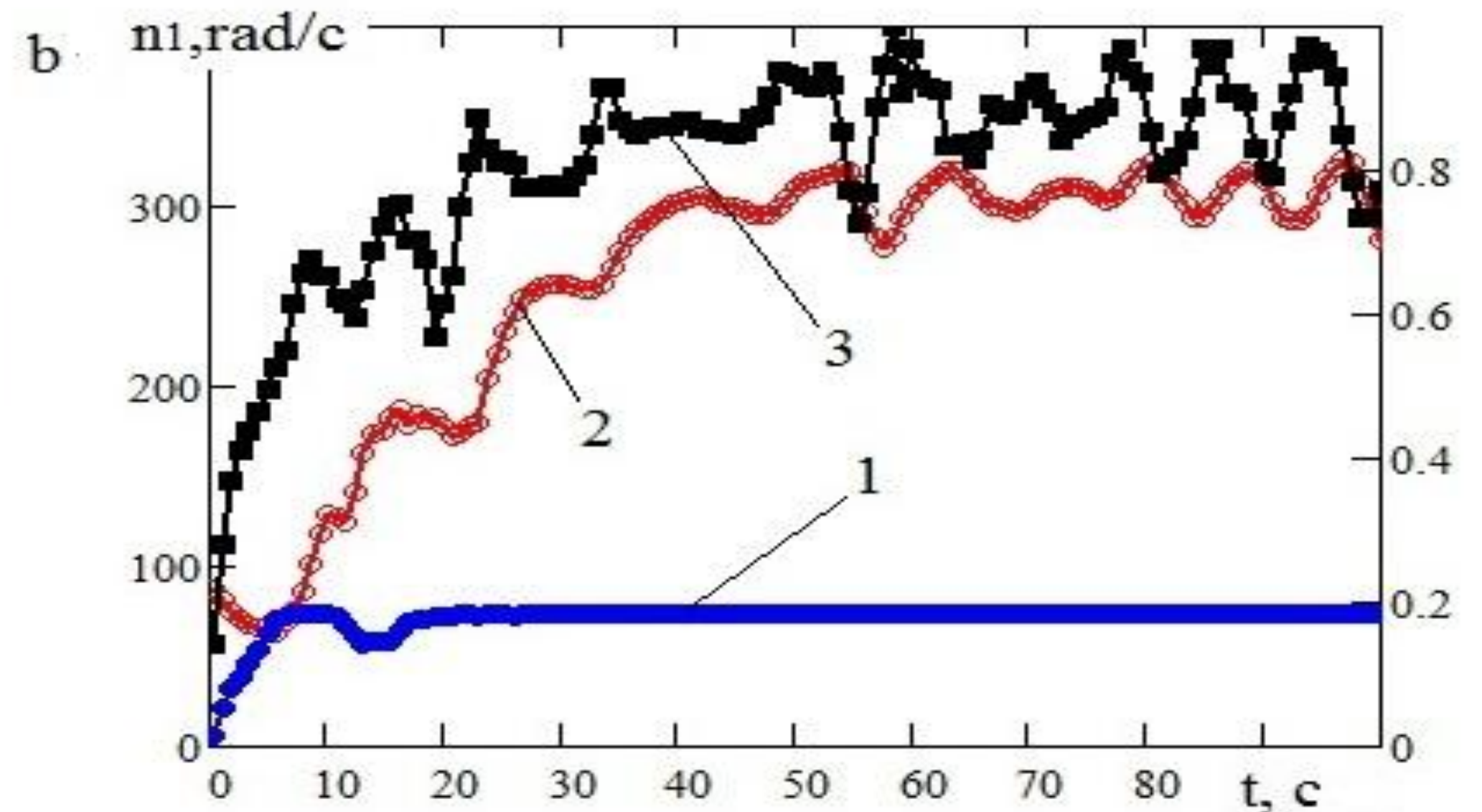
## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

В ходе теоретического моделирования и тестовых заездов в бесступенчатый трансмиссия: запуск стоя осуществляется путем увеличения амплитуды колебаний муфт свободного хода (механических выпрямителей) до значения, соответствующего 0,5 хода педали "газа", вызывающего увеличение крутящего момента двигателя. Дальнейшее увеличение хода педали приводит к увеличению частоты вращения входного вала бесступенчатый коробка передач. Смысл такого регулирования заключается в оптимизации режима загрузки двигателя внутреннего сгорания, чтобы значительно повысить энергоэффективность транспортного средства.

Фигура 11.а показывает вид измерительной дорожка. Характеристика прямого сечения имела продольную уклон не более 0,5 % на участке длиной не более 50 м; поперечный уклон не более 3 %

## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

Фигура 11.б показаны средние значения амплитуды колебаний муфты коробки передач механизма свободного хода, положения педали управления и изменения частоты вращения вала двигателя во время тестовых заездов. Эти зависимости были использованы при теоретическом моделировании движения транспортного средства с механическим бесступенчатым передаточным механизмом.



Инжир. 11.а - вид измерительного участка маршрута; (б) реализованные управляющие воздействия, 1 - амплитуда колебаний коромысла муфты свободного хода, рад; 2 - частота вращения двигателя внутреннего сгорания; 3 - положение педали управления.

**бесступенчатый коробка передач**

Приведены экспериментальные данные и результаты моделирования динамических характеристик транспортного средства при разгоне данные представлены на рис. 12 ... 17. Сравнение данных стимуляции движения транспортного средства в Simscare окружающая среда и экспериментальные значения показывают удовлетворительную сходимость. Разница не превышает 10 ... 15%.

Анализируя углы поворота торсионного вала (см. рис. 16.), можно сделать вывод о необходимости уточнения модели моделирования работы муфт свободного хода. В эксперименте наблюдается значительное вращение торсионного вала в противоположную направлению рабочего хода (рис. 16. б.).

На рис. 17 показаны экспериментальные зависимости коэффициента преобразования крутящего момента и эффективности бесступенчатый трансмиссия в зависимости от скорости автомобиля.

**PI POLYTECH** Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

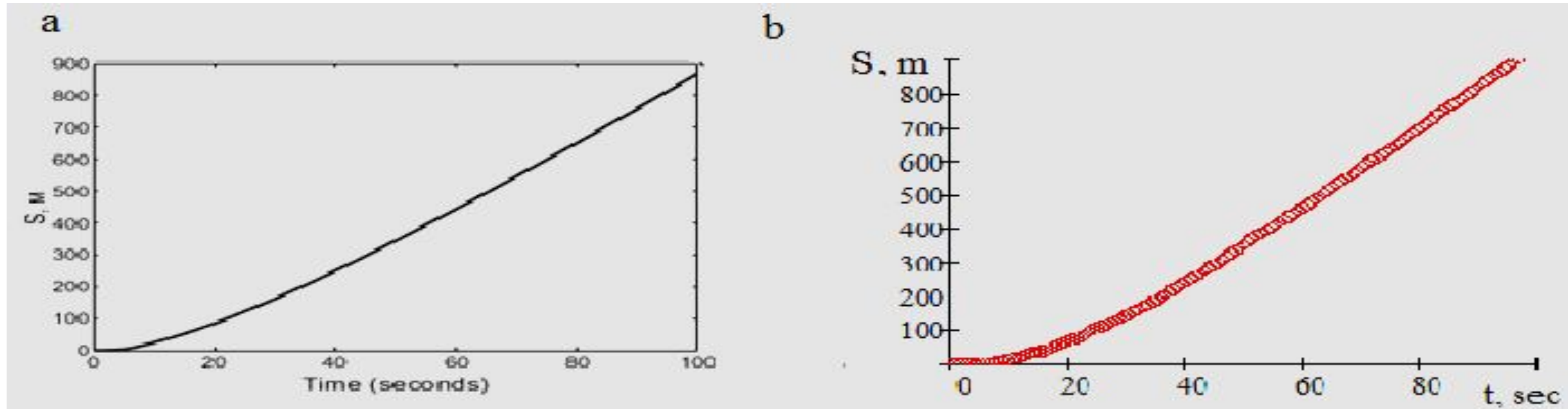


Рис. 12.(а) Результаты моделирования пройденного пути  $S$ ; (б) результаты экспериментов.

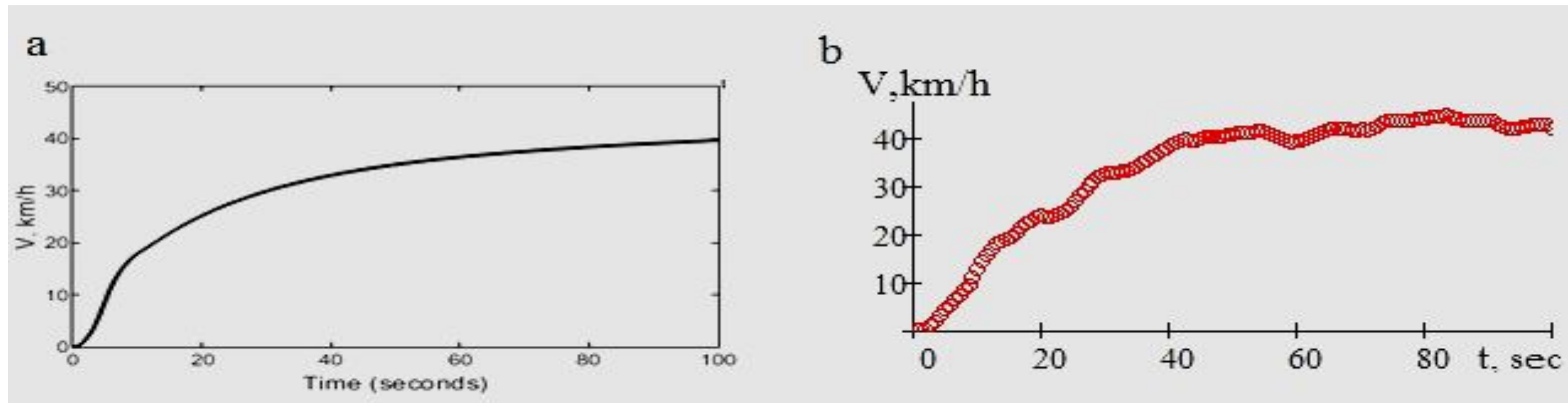


Рис. 13.(а) Результаты моделирования скорости  $V$ ; (б) результаты экспериментов.



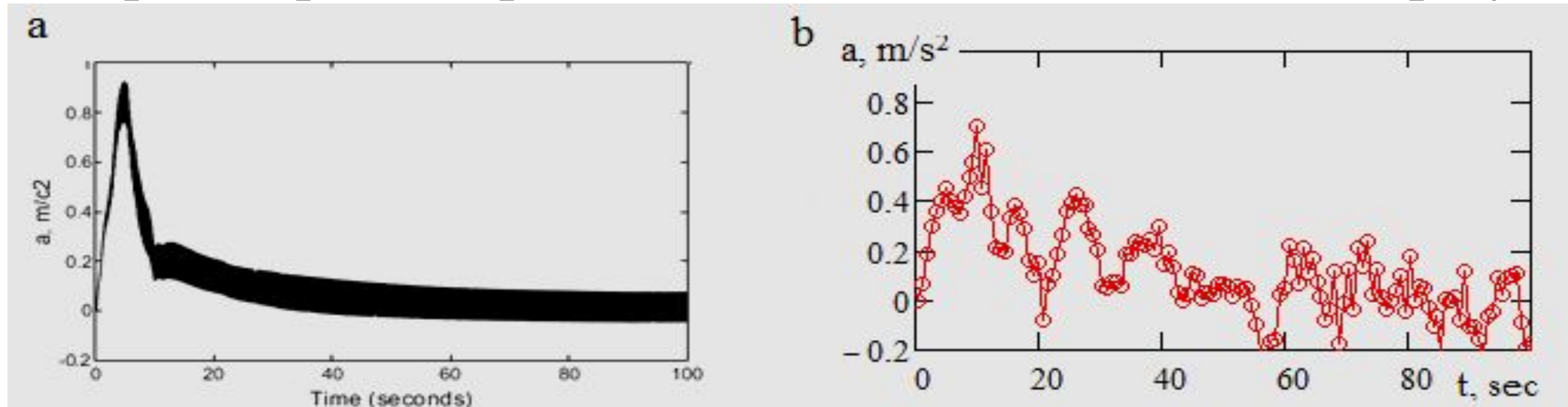


Рис. 14.(а) Результаты моделирования ускорения а; (б) результаты экспериментов.

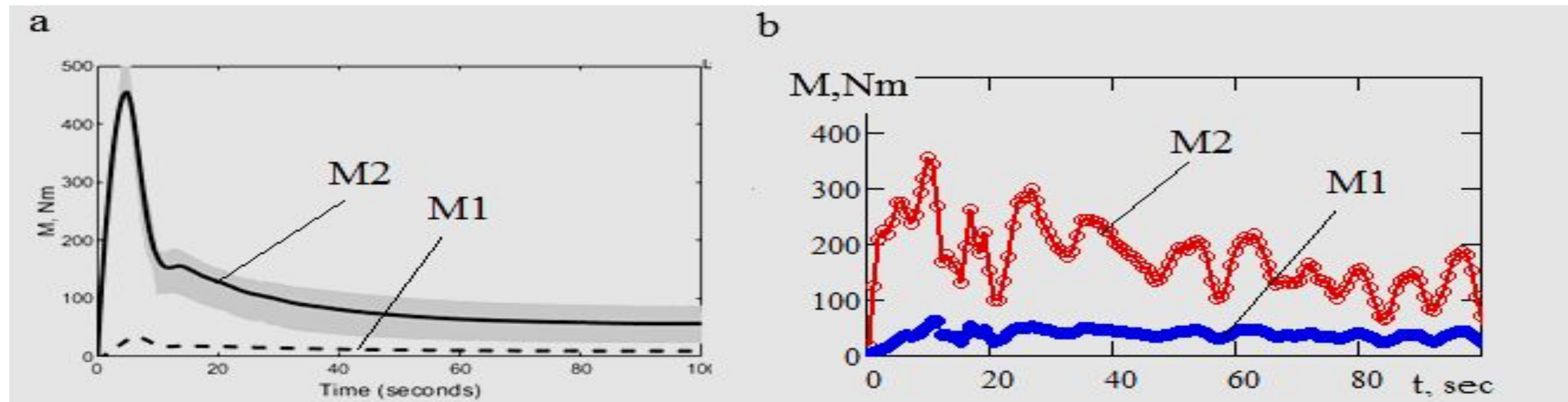


Рис. 15.(а) Результаты расчета крутящего момента M2 и M1; (б) результаты эксперимента.

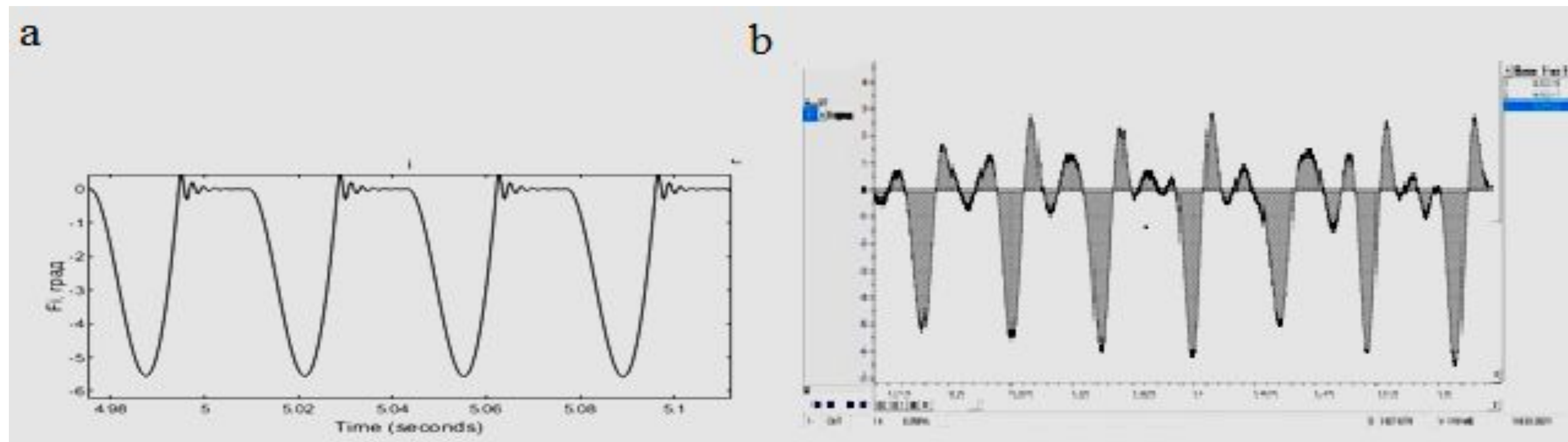


Рис. 16.(а) Результаты расчета углов закрутки торсионного вала на 5-6 секундах процесса ускорения; (б) результаты экспериментов (фрагмент осциллограмма).

# Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой

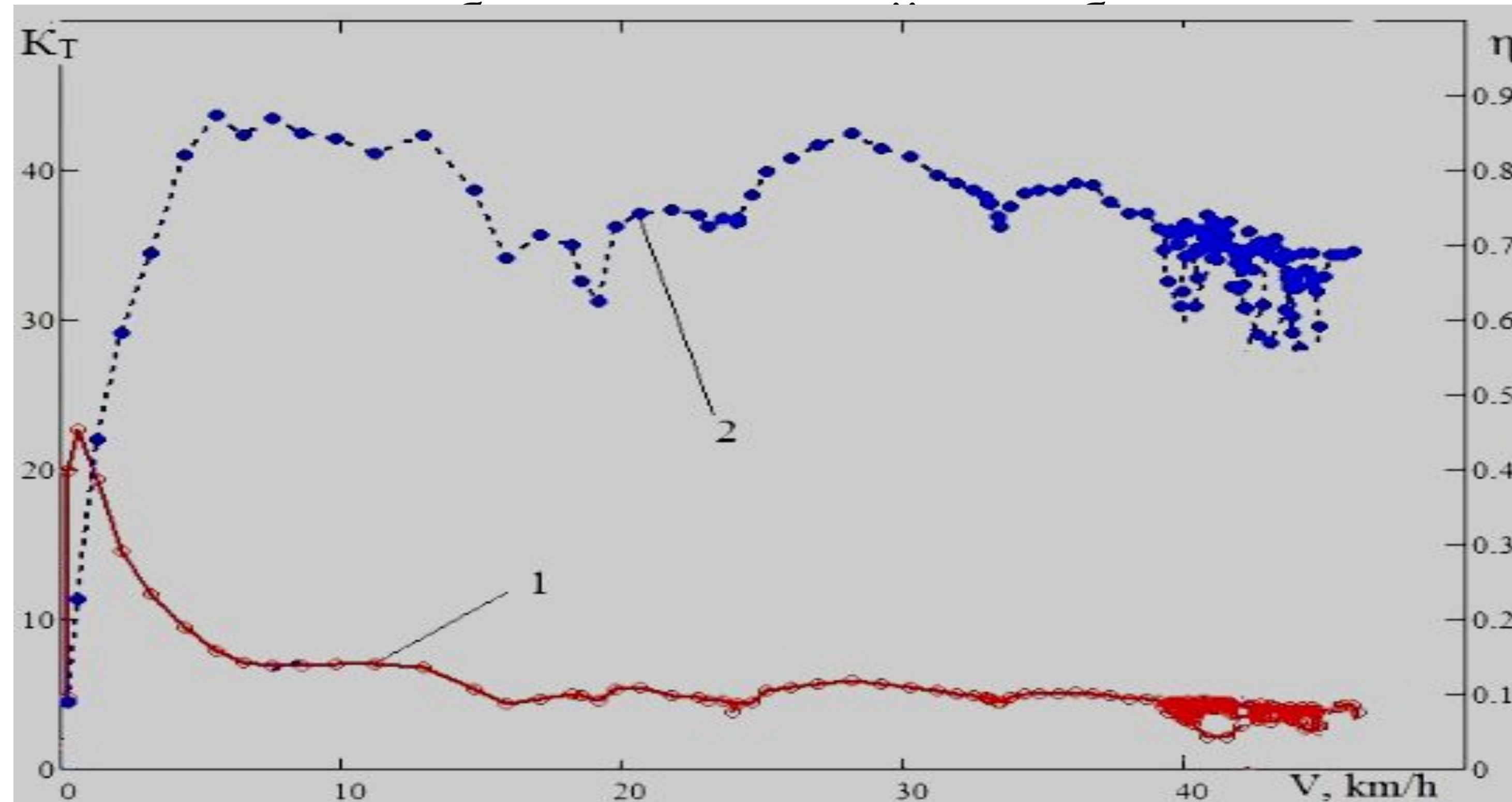


Рис. 17. Экспериментальные значения коэффициента преобразования крутящего момента  $K_T$  и КПД  $\eta$  механической бесступенчатой трансмиссии в зависимости от скорости автомобиля  $V$ , 1 -  $K_T$ ; 2 -  $\eta$

## Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач

По результатам дорожных испытаний прототипа транспортного средства, значения коэффициента трансформации крутящего момента  $K_T$  достигают 22, а максимальная эффективность механического бесступенчатый передача составляет 0,9.

### 3.Выводы

Результаты исследования показывают, что использование в транспортном средстве механических бесступенчатый трансмиссия с колебательным движением внутренних звеньев, с механизмами свободного хода и торсионными валами позволяет преобразовывать механическую энергию с высокой эффективностью, обеспечивая автоматическое увеличение крутящего момента на выходном валу трансмиссии при уменьшении частоты ее вращения или плавное увеличение частоты ее вращения при одновременном уменьшении крутящего момента.

## **Теоретическое и экспериментальное исследование динамики транспортного средства, оснащенного механической регулируемой бесступенчатый коробка передач**

Максимальный коэффициент преобразования крутящего момента  $K_T$  достигает 22 лет.

Это гарантирует плавное ускорение транспортного средства и автоматическое изменение передаточного числа при изменении сопротивления движению или подачи топлива в двигатель.

Механическое бесступенчатый передача, рассмотренная в этой статье, превосходит известны бесступенчатые трансмиссии с точки зрения диапазона преобразования крутящего момента, эффективности и простоты конструкции.

Все вышесказанное показывает, что существуют теоретически разработанные и экспериментально проверенные технические решения, позволяющие повысить экологичность и эффективность использования транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Эти решения связаны с использованием данного типа механических бесступенчатый коробка передач.

Спасибо вам за ваше  
внимание