

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ КОЛЕСНЫХ МАШИН В ПЛОСКОСТИ ДОРОГИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОМПЛЕКСА

Д.т.н. Д. М. Клец¹, д.т.н. А. И. Бондаренко², к.т.н. А. В. Маковецкий³

1. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

2. Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков

3. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Выполнена оценка распределения угловых ускорений, развиваемых колесными машинами в плоскости дороги в реальных условиях эксплуатации. Угловые ускорения, развиваемые испытуемыми автомобилями в плоскости дороги, подчиняются законам нормального распределения.

Здійснено оцінку розподілу кутових прискорень, що розвиваються колісними машинами в площині дороги в реальних умовах експлуатації. Кутові прискорення, що розвиваються випробуваними автомобілями в площині дороги, підпадають під дію законів нормального розподілу.

A distribution of angular accelerations that reach wheeled vehicles on the road plane during real operating conditions has been estimated. Angular accelerations that reach by test cars on the road plane obey the laws of normal distribution.

Ключевые слова: колесная машина, угловые ускорения, маневренность, устойчивость, управляемость, микро-процессорный комплекс.

Введение

Показатели маневренности колесной машины можно количественно оценивать по максимальной величине внешнего или внутреннего возмущения, при воздействии которого сохраняется устойчивое движение транспортного средства (ТС). Одним из таких оценочных показателей может быть линейное или угловое ускорение, линейная или угловая скорость машины, либо ее линейное или угловое перемещение [1]. Ускорение возникает раньше скорости перемещения, а скорость перемещения – раньше перемещения. Поэтому в качестве критерия устойчивости движения следует использовать ускорение ТС (линейное или угловое), вызванное действием возмущающих силы или момента.

Анализ последних достижений и публикаций.

Исследованию динамических свойств колесных машин с помощью систем на основе акселерометров посвящен ряд работ [2, 3]. В работе [2] подчеркнута актуальность создания мобильного регистрационно-измерительного комплекса для оценки параметров движения автомобилей при кваліметрических испытаниях. Алексеевым О. П. предложен микропроцессорный комплекс [4], основанный на использовании метода

косвенных измерений динамики транспортного средства. Экспериментальные исследования динамических свойств колесных машин основываются на измерении параметров движения различными инерционными чувствительными элементами и системами в реальных условиях движения машин по дороге.

Известен прибор для дорожных испытаний ТС на основе акселерометра – «Эффект-02». Он применяется при проверке тормозных систем ТС, при выполнении автотехнической экспертизы и иных случаях, требующих оперативного контроля состояния тормозной системы. Этот прибор, как и «Sprint-SG2» использует одну измерительную ось акселерометра [5]. В таких системах информация о скорости ТС определяется путем интегрирования его продольного ускорения, а информация о пройденном пути определяется путем двойного интегрирования его продольного ускорения. Однако подобные системы определения скорости и пройденного пути ТС имеют существенные недостатки: невысокая точность косвенных измерений в связи с применением интегрирования; неточность в определении положения контрольной точки, параметры движения которой характеризуют движение ТС при плоскопараллельном движении; возможность расчета параметров движения лишь после полной остановки ТС.

Целью данного исследования является оценка распределения угловых ускорений, развиваемых колесными машинами в плоскости дороги в реальных условиях эксплуатации.

Изложение основного материала. Регистрация данных при дорожных испытаниях автомобилей выполнялась с помощью микропроцессорного комплекса ХНАДУ и GPS-антенны с использованием специализированного ПО «Accelerate v3.8.1». В качестве объектов эксперимента выбраны автомобили следующих классов: В, D, Е, J, М. Перед испытаниями контролировались параметры, характеризующие общее состояние и работоспособность систем автомобилей согласно требованиям ДСТУ 3310–96 [6]. Автомобили испытывали со снаряженной массой, испытания проводились на горизонтальном участке дороги с сухим, твердым, ровным покрытием. Метрологическое обеспечение дорожных испытаний реализовано согласно рекомендациям [2]. На первом этапе

экспериментальных исследований выполнялся маневр «змейка» на автомобилях Lada Priora (BA3–21703) и Toyota Corolla. Величины линейных и угловых ускорений, развиваемых данными автомобилями,

приведены на рис. 1–3 и рис. 5–7 соответственно. Распределения угловых ускорений, развиваемых испытуемыми автомобилями при выполнении маневра «змейка», приведены на рис. 4 и 8.

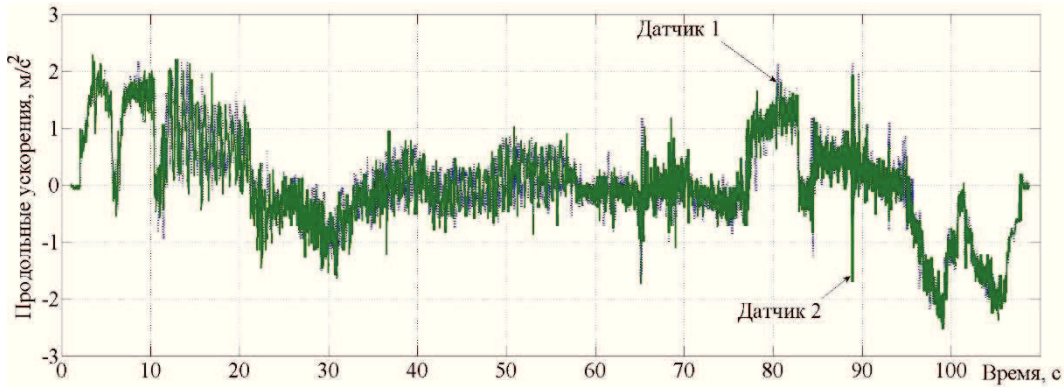


Рис. 1. Зависимость продольных ускорений, развиваемых автомобилем Lada Priora (BA3–21703) от времени его движения

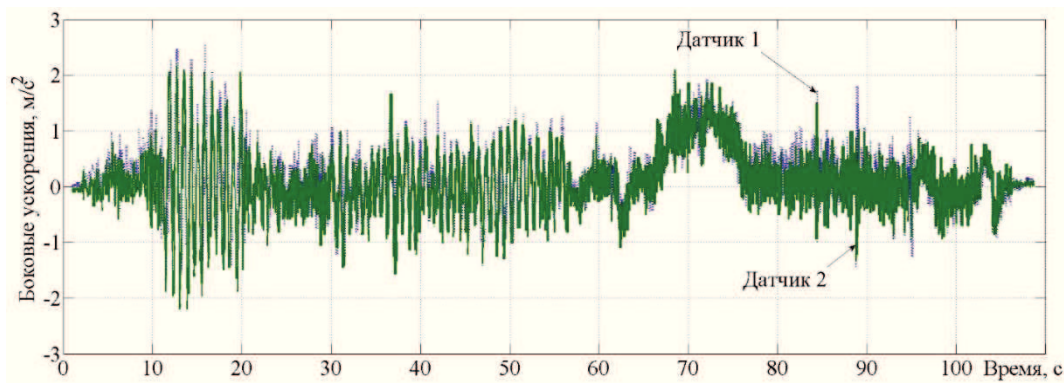


Рис. 2. Зависимость боковых ускорений, развиваемых автомобилем Lada Priora (BA3–21703) от времени его движения

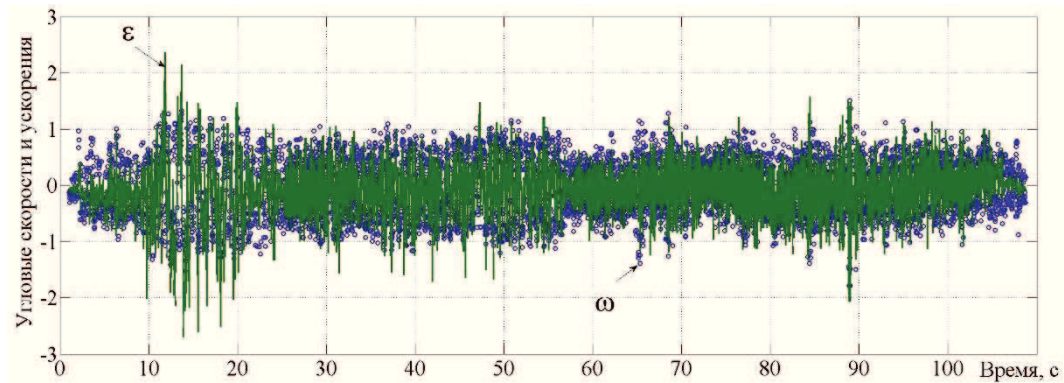


Рис. 3. Угловые скорости и ускорения автомобиля Lada Priora (BA3–21703) в плоскости дороги от времени его движения

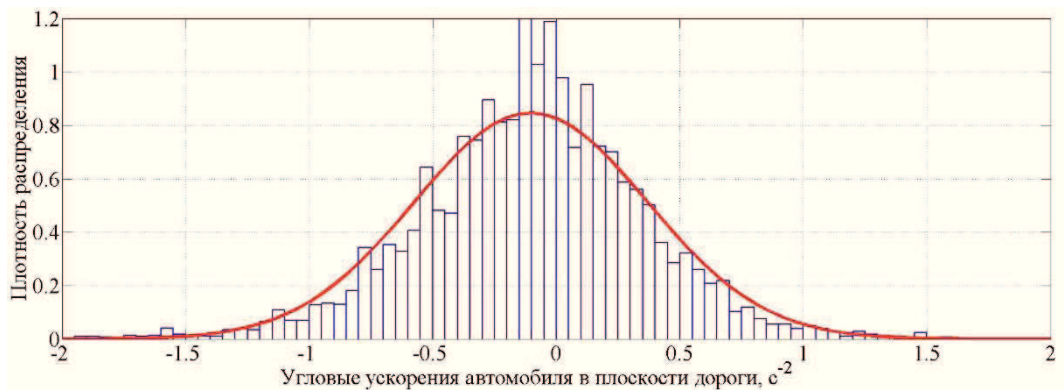


Рис. 4. Распределение угловых ускорений, развиваемых автомобилем Lada Priora (BA3–21703) при выполнении маневра «змейка»

Угловые ускорения в плоскости дороги при произвольной установке акселерометров определялись с помощью выражения [2]

$$\varepsilon = \frac{(a_{AX_1} - a_{BX_1})(Y_B - Y_A) + X_{AB}(a_{AY_1} - a_{BY_1})}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}. \quad (1)$$

Угловые скорости автомобиля при произвольной установке акселерометров определялись из выражения

$$\omega = \text{sign}[(a_{AY_1} - a_{BY_1})(Y_B - Y_A) + X_{AB}(a_{AX_1} - a_{BX_1})] \times \sqrt{\frac{(a_{AY_1} - a_{BY_1})(Y_B - Y_A) + X_{AB}(a_{AX_1} - a_{BX_1})}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}}. \quad (2)$$

Анализ графиков, приведенных на рис. 4 и 8 показывает, что угловые ускорения, развиваемые испытуемыми автомобилями Lada Priora (BA3-21703) и Toyota Corolla в плоскости дороги, подчиняются законам нормального распределения.

Математическое ожидание составляет 0,1 м/с² и 0,054 м/с² соответственно, а среднее квадратичное отклонение 0,47 м/с² и 1,28 м/с².

На втором этапе экспериментальных исследований выполнялся маневр «double line change» на автомобилях В, D, Е, J и М классов. Выполнение указанного маневра предполагало двойную смену полосы движения автомобиля. Угловые ускорения, развиваемые испытуемыми автомобилями в плоскости дороги и законы их распределения приведены на рис. 9–10.

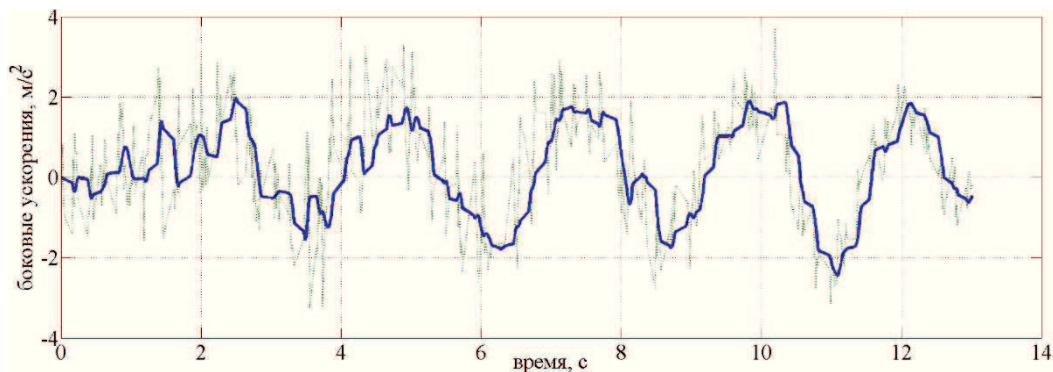


Рис. 5. Зависимость боковых ускорений, развиваемых автомобилем Toyota Corolla от времени его движения (датчик 1)

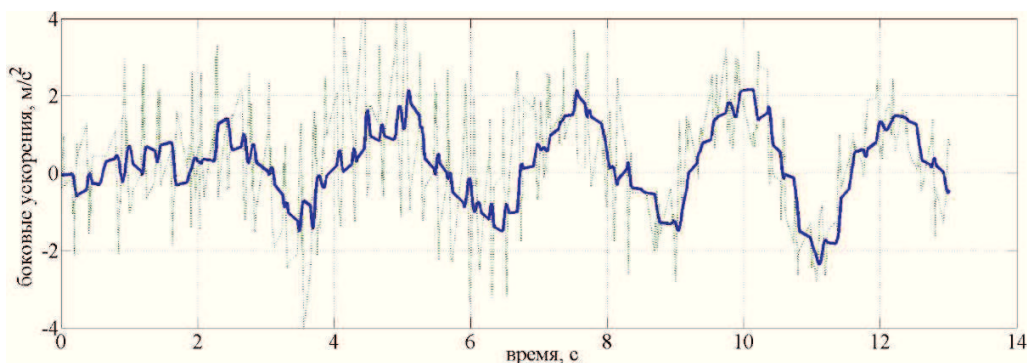


Рис. 6. Зависимость боковых ускорений, развиваемых автомобилем Toyota Corolla от времени его движения (датчик 2)

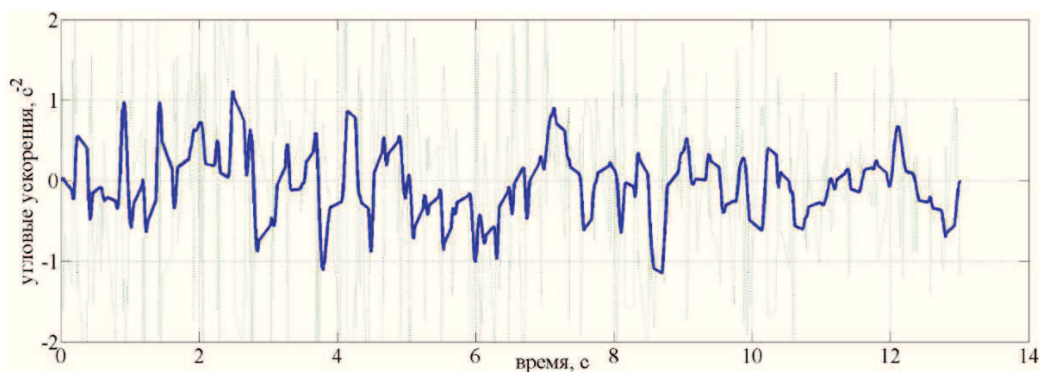


Рис. 7. Угловые ускорения, развиваемые автомобилем Toyota Corolla в плоскости дороги

Параметры нормального распределения величин угловых ускорений испытуемых автомобилей в плоскости дороги сведены в таблицу 1.

Анализ рис. 9–10 показывает, что при выполнении маневра «double line change» можно выделить две группы

законов распределения величин угловых ускорений автомобиля в плоскости дороги: I группа: автомобили J и М классов, $\varepsilon_{\max} = \text{до } 4 \text{ с}^{-2}$; II группа: автомобили В, D и Е классов, $\varepsilon_{\max} = 4 \dots 8 \text{ с}^{-2}$.

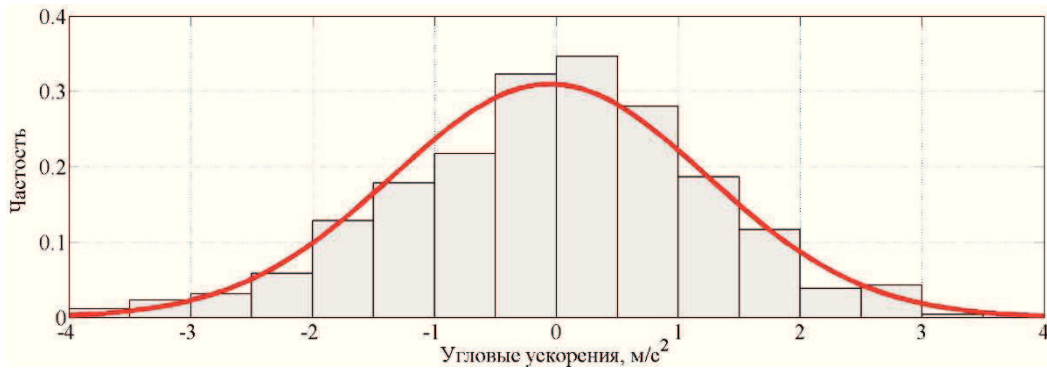


Рис. 8. Распределение угловых ускорений, развиваемых автомобилем Toyota Corolla при выполнении маневра «змейка»

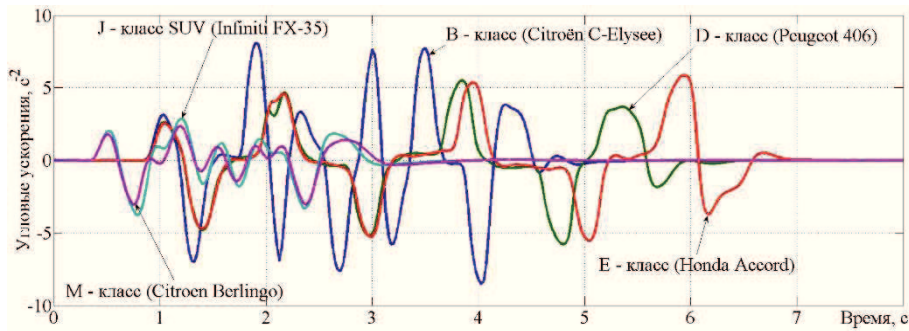


Рис. 9. Угловые ускорения, развиваемые автомобилями в плоскости дороги при выполнении маневра «double line change»

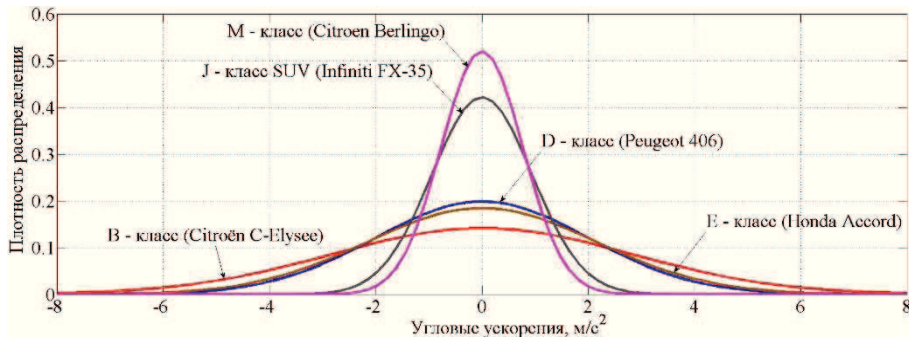


Рис. 10. Законы распределения угловых ускорений, развиваемых автомобилями при выполнении маневра «double line change»

Таблица 1

Параметры нормального распределения значений угловых ускорений

Автомобиль	Критерий Колмогорова	Ср. квадратическое отклонение, м/с ²	Мат. ожидание, м/с ²	Закон распределения угловых ускорений автомобиля
1	2	3	4	5
В – класс (Citroën C-Elysee)	0,20859	2,82	$1,74 \cdot 10^{-7}$	$f(x) = \frac{1}{2,82 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x+1,74 \cdot 10^{-7})^2}{2 \cdot 2,82^2}}$
D – класс (Peugeot 406)	0,15941	2,0	$5,22 \cdot 10^{-6}$	$f(x) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-5,22 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 2^2}}$
E – класс (Honda Accord)	0,15342	2,16	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$f(x) = \frac{1}{2,16 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-1,3 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 2,16^2}}$
J – класс SUV (Infiniti FX-35)	0,18923	0,94	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$f(x) = \frac{1}{0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-8,7 \cdot 10^{-8})^2}{2 \cdot 0,94^2}}$
M – класс (Citroën Berlingo)	0,16340	0,76	$5,83 \cdot 10^{-8}$	$f(x) = \frac{1}{0,76 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x+5,83 \cdot 10^{-8})^2}{2 \cdot 0,76^2}}$

Выводы.

Угловые ускорения, развиваемые испытуемыми автомобилями Lada Priora (BA3–21703) и Toyota Corolla в плоскости дороги, подчиняются законам нормального распределения.

При выполнении маневра «double line change» можно выделить две группы законов распределения величин угловых ускорений автомобиля в плоскости дороги: I группа: автомобили J и M классов, $\varepsilon_{\max} = \text{до } 4 \text{ с}^{-2}$; II группа: автомобили B, D и E классов, $\varepsilon_{\max} = 4 \dots 8 \text{ с}^{-2}$.

Максимальная неопределенность измерения угловых ускорений, развиваемых автомобилем в плоскости дороги не превышает $0,1121 \text{ с}^{-2}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Клец Д. М. и др.]. – X. : Миськдрук, 2012. – 220 с.

УДК 681.532:69.002.5

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ МАНИПУЛЯТОРА

К.т.н. А.Г. Гурко, к.т.н. М.Н. Кравцов, А.В. Лебединский, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

На примере двухзвенного робота-манипулятора выполнена оценка энергетической эффективности траекторий, полученных наиболее распространенными методами. В качестве критерия эффективности принято количество работы, затраченной на реализацию траекторий.

На прикладі дволанкового робота-маніпулятора виконана оцінка енергетичної ефективності траєкторій, отриманих найбільш поширеними методами. Критерієм ефективності було прийнято кількість роботи, витраченої на реалізацію траєкторій.

Using two-arm manipulator as an example, energy efficiency assessment of trajectories has been completed with the help of the most common methods. As a criterion of efficiency, the amount of expended work for trajectory execution has been accepted.

Ключевые слова: манипулятор, планирование траектории, энергоэффективность, работа

Введение

Современная промышленность не может обходиться без качественных роботизированных систем и, в частности, промышленных роботов-манипуляторов (ПРМ). ПРМ являются неотъемлемой частью любого производства, начиная от лазерной резки и заканчивая сложными технологическими операциями при изготовлении автомобилей.

Высокое энергопотребление при работе ПРМ на сегодняшний день является весьма распространенной проблемой, которая снижает экономический эффект от их применения.

Одним из путей повышения энергетической эффективности использования ПРМ является планирование оптимальных с энергетической точки

2. Подригало М. А. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань тягово-транспортних машин / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец [та ін.] // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 87–99.

3. Подригало М. А. Застосування методу паралельних спостережень при випробуваннях автомобілів / М. А. Подригало, О. С. Полянський, Д. М. Клец [та ін.] // Вісник ХНТУ. – 2011. – Т. 16. – № 1. – С. 57–62.

4. Гаврилов Э. В. Принципы работы мобильных вычислительных комплексов / Э. В. Гаврилов, О. П. Алексеев, О. П. Смирнов // Информационные технологии. – X., 1999. – С. 139–141.

5. Коробко А. І. Застосування акселерометрів при динамічних випробуваннях автомобілів / А. І. Коробко. // Праці ТДАТУ. – Т. 5. – Вип. 9. – Мелітополь, 2009. – С. 193–197.

6. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи вивчення основних параметрів випробуваннями : ДСТУ 3310–96. – [Чинний від 1997–01–01]. – К. : Держстандарт України, 1996. – 13 с. – (Національні стандарти України).

зрения траекторий его звеньев. Под планированием траекторий ПРМ подразумевается определение такой зависимости присоединённых координат от времени, которая бы обеспечила прохождение рабочего инструмента (схвата) за заданное время из начальной точки пространства в конечную через последовательность узловых точек, и удовлетворяла при этом заданным ограничениям [1].

Постановка цели и задач

Целью данной работы является повышение эффективности использования ПРМ за счёт реализации оптимальных с энергетической точки зрения траекторий присоединённых координат. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализ наиболее распространённых методов планирования траекторий ПРМ;
- построение имитационной модели ПРМ;
- планирование траекторий различными методами и оценка их энергетической эффективности.

Анализ публикаций

Эффективное планирование траектории движения является ключевой проблемой при реализации робототехнических систем, в связи с чем разработано большое количество различных решений данной задачи [1–10]. Однако при этом, как правило, основное внимание уделяется точности прохождения схвата через контрольные точки и быстродействию ПРМ [1–8], в то время как вопросу энергоэффективности таких решений уделяется недостаточно внимания. К таким работам, относятся, в частности, [9, 10] в которых для построения оптимальных с энергетической точки зрения траекторий использованы, соответственно, методы динамического программирования и генетических алгоритмов. Эти