

УДК 656.052.8
UDC 656.052.8

АМПЛИТУДОФАЗОВАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ
«АВТОМОБИЛЬ-ВОДИТЕЛЬ-ДОРОГА». ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ОТСЛЕЖИВАТЬ
БЕЗОПАСНЫЙ МАРШРУТ ДВИЖЕНИЯ

Полищук В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Осташевський С.А., кандидат технических наук, Национальная академия государственной
пограничной службы Украины, Хмельницкий, Украина

THE PEAK PHASE FREQUENCY CHARACTERISTIC OF SYSTEM "CAR-DRIVER-ROAD".
THE ABILITY ESTIMATION TO TRACE A SAFE ROUTE OF MOVEMENT

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine
Ostashevskii S.A., Candidate of Science (Engineering), National academy of government boundary
service of Ukraine, Khmelnytsky, Ukraine

АМПЛІТУДОФАЗОВА ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ
«АВТОМОБІЛЬ-ВОДІЙ-ДОРОГА». ОЦІНКА ЗДАТНОСТІ ВІДСЛІДКОВУВАТИ БЕЗПЕЧНИЙ
МАРШРУТ РУХУ

Поліщук В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Осташевський С.А., кандидат технічних наук, Національна академія державної прикордонної
служби України, Хмельницький, Україна

Постановка проблемы. Точность вождения – наиболее важное требование к управлению автомобилем. Однако, известные методы её достижения основываются в основном на субъективных оценках обучающихся, а также интуиции, опыте и рекомендациях обучающихся. Это связано с наличием известных трудностей, связанных с математическими или другими способами описания управляющих характеристик водителя. Расширение знаний о возможностях и ограничениях водителя и автомобиля может оказать важное влияние на совершенствование методов управления машиной и обучения вождению. Поскольку водитель представляет собой систему типа «черный ящик», описать которую математически практически невозможно, предлагается для данных целей использование методов, принятых в теории автоматического управления (ТАУ).

Анализ последних исследований и публикаций. Существует ряд представлений об управляемости, отражающих разнообразие методологических подходов к её оценке. Вопросы управляемости автомобиля разработаны отечественными и зарубежными учеными С.А. Чудаковым, Я.М. Певзнером, А.С. Литвиновым, Я.Е. Фаробиным, Д.А. Антоновым, Л.Л. Гинцбургом, Э. Фиалой, Д.Р. Эллисом, М. Оллеем. В современных исследованиях также обосновываются понятия управляемости и устойчивости автомобиля, предлагаются оригинальные методики исследования данных эксплуатационных свойств, [1].

Главным показателем уверенного управления автомобилем является то, как он реагирует на управляющие действия водителя. С этой точки зрения, наиболее подходящим является определение управляемости как реакции автомобиля на типичные возмущения, образованные управляющими действиями водителя и дорогой, данное А.С. Литвиновым [2]. Указанное свойство характеризуется показателями динамики автомобиля, разработанными Р.Т. Бундорфом [3], Л. Сиджелом [4], Е.Р. Хофманом, Л.Л., [5], такими как время реакции и характеристика переходного процесса управляемого движения машины.

Постановка задачи. Аргументируя результатами теоретических и экспериментальных исследований, обосновать применимость методов, принятых в ТАУ, в практике подготовки водителей и теории управления автомобилем, в частности, для описания характерных режимов слежения за маршрутом движения в задачах анализа и синтеза системы «автомобиль-водитель-дорога» (А-В-Д).

Результаты исследования. В ТАУ известен метод передаточных функций, основанный на исследовании отношений «выход-вход»; метод сервомеханизма, при котором водитель действует в

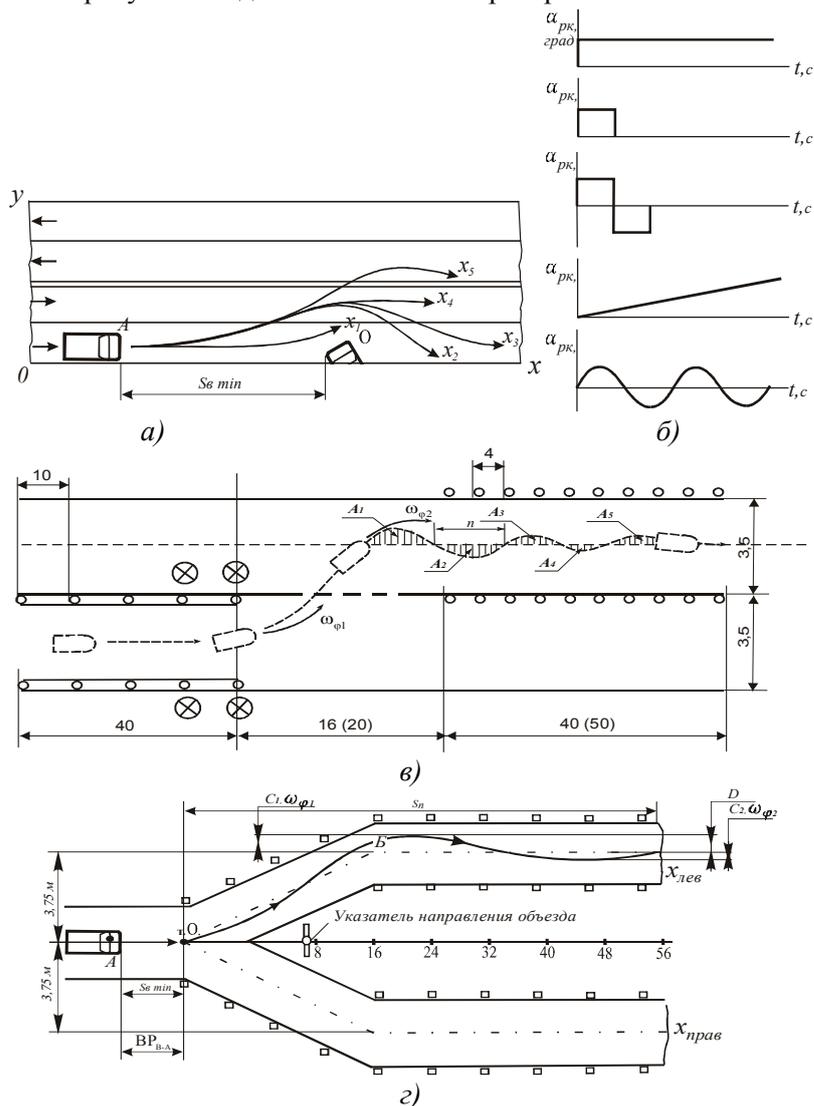
функции ошибок. Для простых задач управления автотранспортным средством (АТС) типа операторских функций «слежения» за маршрутом движения, который можно описать математически, при которых к водителю предъявляются сравнительно невысокие требования, в основном, к тонкой сенсомоторной координации управляющих действий, известен в ТАУ метод амплитудофазовой частотной характеристики (АФЧХ). Этот метод удобно применять для описания системы А-В-Д, поскольку он позволяет исследовать её поведение при различающихся частотах входного сигнала, определить степень усиления системы, фазовые задержки, степень адаптации её элементов к «входам» в систему А-В-Д, в качестве которых задаются элементы окружающего мира.

В ТАУ, по отношению к системе, любая входная координата представляет собой внешнее возмущение типа: мгновенного скачка или импульса первого рода (наезд автомобиля на неровность, рывок руля); импульс второго рода (объезд внезапно возникшего препятствия); трапециевидного сигнала (вход в поворот, движение по кругу и выход из поворота), синусоидальный сигнал, (рис.1). При этом, каждому «входу» соответствует «выход» системы А-В-Д, в качестве которого приняты: траектория и известные в ТАУ параметры переходного процесса управляемого движения АТС.

Наиболее типичный случай исследования системы А-В-Д представляет собой движение АТС, ибо при этом выявляется степень соответствия регуляторных характеристик водителя и динамики машины. Наибольшее распространение в ТАУ получил метод гармонического анализа [6].

Применительно к системе А-В-Д это один из способов оценки способности системы совершать без ошибок движение по маршруту, описываемому синусоидой («змейка»). Это движение требует точной и своевременной перекладки руля, знания и правильного восприятия характера ответных реакций АТС – т.е. его динамики.

Последнее связано с тем, что на скоростях свыше 45 км/ч, как показали исследования соискателя [7], автомобили заметно проявляют свойства, связанные с изменением типа поворачиваемости. Все это требует от водителя высоких операторских качеств.



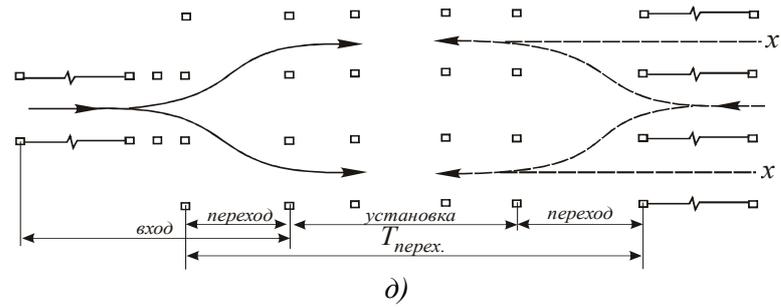


Рисунок 1 – Схемы, иллюстрирующие методы испытаний с целью определения характеристик переходного процесса системы А-В-Д при объезде внезапно возникшего препятствия – манёвра «переставка»: *а* – варианты объезда автомобилем внезапно возникших препятствий; *б* – графическое представление зависимостей угла поворота рулевого колеса от времени при выполнении различных манёвров; *в, г, д* – трассы для исследования реакций автомобиля на управляющие воздействия водителя, характерные траектории установки автомобиля на новой полосе движения после объезда препятствия – с колебательностью *С* и демпфированием *Д* поворотов автомобиля

На основе полученных результатов в виде логарифмических амплитудофазовых частотных характеристик (ЛАФЧХ) делают вывод о работоспособности конкретной системы А-В-Д, строят ЛАФЧХ водителя (рис. 2).

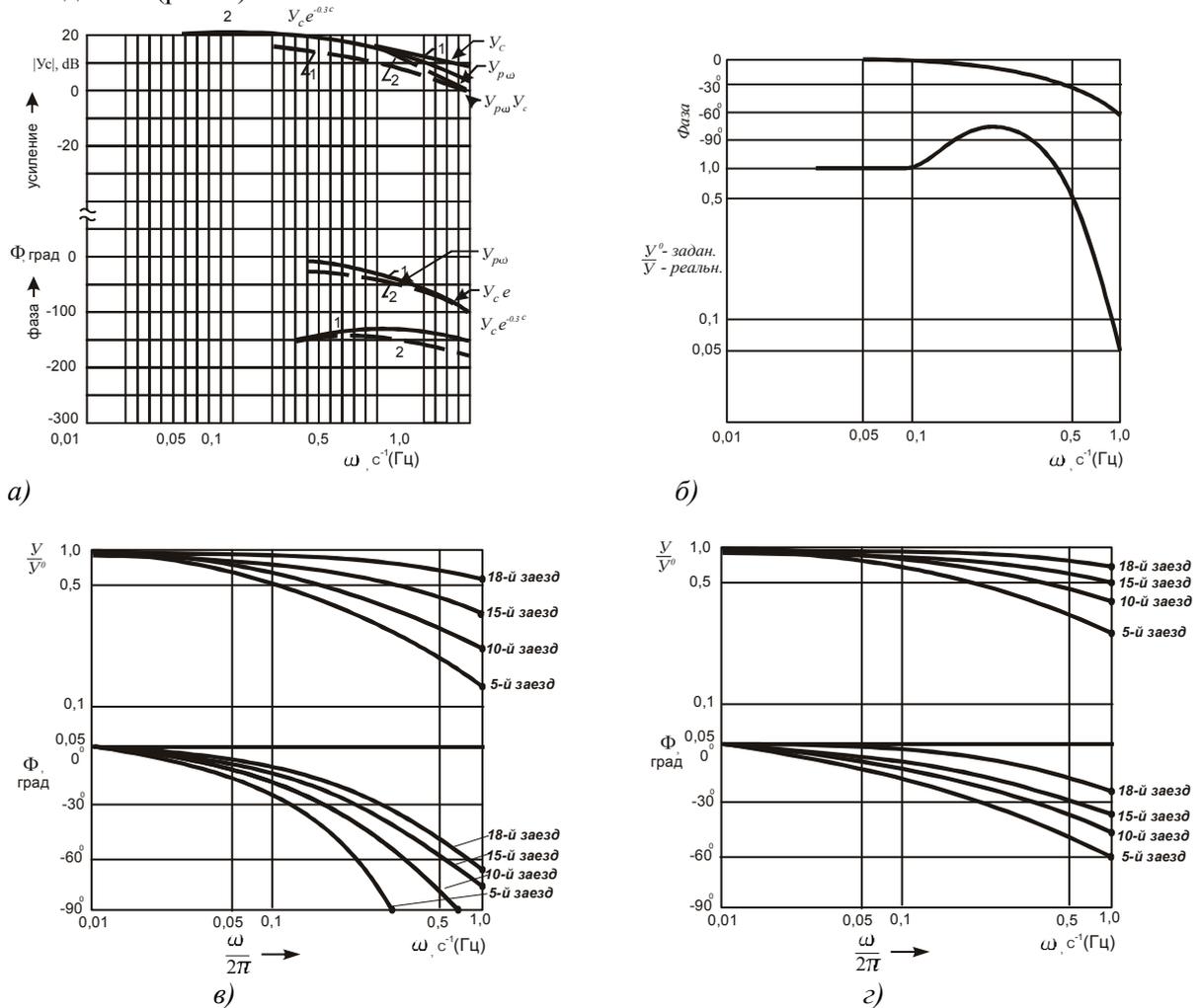


Рисунок 2 – Способы управления в системе А-В-Д с позиции ТАУ и методы их описания: *а, б* – ЛАФЧХ и функции для случая поворота автомобиля на маршруте «змейка» *в* – ЛАФЧХ системы А-В-Д, характеризующая степень становления навыка управления автомобилем молодого водителя; *г* – ЛАФЧХ системы А-В-Д, характеризующая степень становления навыка управления автомобилем опытного водителя

Исследования проводились при различных скоростях, обеспечивающих развертывание параметров движения (линейная заданная амплитуда Y^0 , реальная амплитуда Y - боковая координата движения, фазовая задержка Φ по частоте (рис. 2). Если известны способности системы А-В-Д обеспечить гармонические перемещения, делаются выводы о способности системы двигаться по маршруту, «взятому наугад». При этом учитывается возможность разложения любой кривой маршрута, «взятого наугад», в ряд Фурье [6] на сумму синусоидальных маршрутов, различающихся частотой ω и амплитудой A .

Как показали исследования соискателя [7,8], на основе анализа экспериментально полученных ЛАФЧХ системы А-В-Д можно оценивать и прогнозировать работоспособность и успешность обучения водителей вождению (рис. 2).

Маршрут движения представляет собой синусоиду с частотой ω , (1):

$$\omega = 2\pi V_a / L_B, \quad (1)$$

где L_B - длина волны.

При этом, движение автомобиля через время, определяемое характеристикой переходного процесса системы, становится близким к синусоиде, но с другой амплитудой Y и фазовой задержкой Φ из-за инерционности реакций водителя и автомобиля, (2):

$$Y(t) = Y^0 \cos(\omega t - \varphi) = Y^0 [(1 - \cos V_{at} / L_B)], \quad (2)$$

где $Y(t)$ – боковое смещение автомобиля по осевой линии;

Y^0 - заданный маршрут.

С помощью траектографа сравнивают точность отслеживания синусоидального маршрута, строят ЛАФЧХ, определяют коэффициент усиления системы. Построение ЛАФЧХ системы А-В-Д подробно освещено в публикациях соискателя [7,8].

С использованием описанной методики строился синусоидальный маршрут (рис. 1). Для проведения испытания привлекались водители, различающиеся опытом и психофизиологическими характеристиками; автомобили, различающиеся маркой и характеристиками поворачиваемости. При движении по синусоиде автомобили развивали скорость до 70-80 км/ч. Траектории отмечались на дороге с помощью гидропневмотраектографа.

С увеличением скорости увеличивалась частота управляющих действий водителей, изменялись величины боковых сил $P_{\delta i}$, действующих на автомобили. Изменялась чувствительность автомобиля к повороту и, в целом, к боковому перемещению Y/Y^0 . Так, для автомобилей с избыточной поворачиваемостью чувствительность к повороту повышалась, - для одного и того же бокового перемещения водитель «затрачивал» меньший угол поворота α_{pk} рулевого колеса. То есть, коэффициент усиления Y/α_{pk} системы А-В-Д увеличивался.

Для автомобилей с недостаточной поворачиваемостью коэффициент усиления Y/α_{pk} увеличивался с меньшей интенсивностью. Одновременно увеличивались в системе фазовые задержки. Так, при $\omega_y = 1,0$ Гц и $v_a = 50$ км/ч фазовая задержка достигала 80° . Водители сравнительно легко приспосабливались к изменению боковой чувствительности автомобиля Y/α_{pk} и хуже – к фазовым задержкам. Этот обнаруженный автором факт подтверждает предположение Э. Фиалы [9], что система А-В-Д для обеспечения устойчивости при частоте 0,4 - 1,0 Гц должна обеспечиваться в системе управления фазовым упреждением в $30^\circ - 90^\circ$. Подтверждаются повышенные требования к экстрополярным способностям водителя. Фазовые задержки должны учитываться при синтезе систем А-В-Д.

Построенная по результатам испытаний ЛАФЧХ водителя (рис. 2) показывает, что водитель способен успешно работать только в области низких частот 0,6 - 1,0 Гц, пропускает или игнорирует более высокие частоты сигналов на «выходе», слабо реагирует на сверхнизкочастотные сигналы.

Как видно, построенные на основе испытаний или расчетным путем ЛАФЧХ системы А-В-Д или отдельных ее элементов могут быть использованы для оценки эффективности

(работоспособности) системы в задачах слежения, преобразующих свойств системы, успешности обучения, а также для прогнозирования успешности управления автомобилями на маршрутах движения.

Вывод. Указанный метод исследования, принятый в ТАУ, может быть использован в теории управления АТС для описания характерных режимов слежения за маршрутом движения в задачах анализа и синтеза системы А-В-Д. Элементы ТАУ, касающиеся исследований управляемости АТС, в т.ч. системы А-В-Д, должны находить отражение в учебных программах подготовки водителей и оценки их работоспособности на характерных (по типу исследуемых) маршрутах.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Шадрин С.С. Методика расчетной оценки управляемости и устойчивости автомобиля на основе результатов полигонных испытаний: дис. кандидата техн. наук: 05.05.03 / Шадрин Сергей Сергеевич. – М., 2009. – 135 с.
2. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / Литвинов А.С. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
3. Bundorf R.T. The use of the variable stability vehicle in handling research. Detroit: GMR Lab., GMP – 455, 1965.
4. Segel L. Theoretical prediction and experimental substantiation of the response of the automobile to steering control. Proc. Inst.Meeh.Eng (Auto. Dir), No. 7, pp. 310 - 330, 1956.
5. Hoffman E.R. Human factors of automobile steering control. SAE – Austrobasic, 1969. Vol.29, No. 6, pp. 191 – 198.
6. Бесекерский В.А., Теория систем автоматического управления / Бесекерский В.А., Попов Е.П. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
7. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. наук. праць за матеріалами VI між нар. наук.-прак. конф., 21 – 23 жовт. 2013 р./ М-во освіти і науки України, Вінниц. націон. техн. ун-т [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 192 с.
8. Fiala E. Frequengönge für Fahrer und Fahrend. Automobile Ind., 1966, pp. 79 – 84.

REFERENCES

1. Shadrin S.S. *Metodika raschetnoy otsenki upravlyayemosti i ustoychivosti avtomobilya na osnove rezultatov poligonnykh ispytaniy* Cand. Diss[Methodology of estimation of controllability and stability of the car based on the results of ground tests. Cand. Diss].Moskva, 2009. 135 p. (Rus)
2. Litvinov A.S. *Upravlyaemost I ustoychivost avtomobilya*. [Vehicle handling and stability] Moskva, 1971. 416p. (Rus)
3. Bundorf R.T. The use of the variable stability vehicle in handling research. Detroit: GMR Lab., GMP – 455, 1965.(Eng)
4. Segel L. Theoretical prediction and experimental substantiation of the response of the automobile to steering control. Proc. Inst.Meeh.Eng (Auto. Dir), No. 7, pp. 310 - 330, 1956. (Eng)
5. Hoffman E.R. Human factors of automobile steering control. SAE – Austrobasic, 1969. Vol.29, No. 6, pp. 191 – 198. (Eng)
6. Besekersky V.A. *Teoriya system avtomaticheskogo upravlinnya*. [Theory of Automatic Control Systems] Moskva, 2003. 752p. (Rus)
7. *Suchasni teynologiyi ta perspektivy rozvytku avtomobilnoho transportu*. [Modern technologies and prospects of development of motor transport] collection of scientific labours after materials VI between plank beds. sciences. (21.10 – 23.10. 2013)(Ukr)
8. Fiala E. Frequengönge für Fahrer und Fahrend. Automobile Ind., 1966, pp. 79 – 84. (Eng)

РЕФЕРАТ

Полищук В.П. Амплитудофазовая частотная характеристика системы «автомобиль-водитель-дорога». Оценка способности отслеживать безопасный маршрут движения. / В.П. Полищук, С.А. Осташевский // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28.

В статье предложен подход к использованию метода построения логарифмической амплитудофазовой частотной характеристики и метода гармонического анализа принятых в теории автоматического управления, в практике подготовки водителей и теории управления автомобилем, в частности, для описания характерных режимов следования по маршруту движения в задачах анализа и синтеза системы «автомобиль-водитель-дорога».

Объект исследования — логарифмическая амплитудофазовая частотная характеристика «автомобиль-водитель- дорога».

Цель работы - обосновать возможность применения методов, принятых в теории автоматического управления, на практике подготовки водителей и в теории управления автомобилем.

Метод исследования – методы синтеза систем автоматического управления

На сегодняшний день, в теории автомобиля практически не существует четких методических подходов как для описания и оценке работы водителя по управлению автомобилем, так и для оценки эффективности функционирования системы «автомобиль-водитель-дорога» в целом. Установлена идентичность работы системы «автомобиль-водитель-дорога» с системой автоматического регулирования, в которой в качестве автоматического регулятора выступает водитель, а в качестве регулируемого объекта - автомобиль. На основе данного допущения предлагается применять методы теории автоматического регулирования и управления для расширения знаний о возможностях и ограничениях водителя и автомобиля, совершенствования методов управления машиной и обучения вождению.

Результаты статьи могут быть внедрены в учебные программы подготовки водителей, оценку их работоспособности на сложных, по типу исследуемых, маршрутах движения.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – программная реализация построения амплитудофазовых частотных характеристик системы «автомобиль-водитель-дорога».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АМПЛИТУДОФАЗОВАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПЕРЕХОДНОЙ ПРОЦЕСС, УПРАВЛЯЕМОСТЬ АВТОМОБИЛЯ, СИСТЕМА «АВТОМОБИЛЬ-ВОДИТЕЛЬ-ДОРОГА»

ABSTRACT

Polischuk V.P, Ostashevskij S.A. The Peak phase frequency characteristic of system "car-driver-road". The ability estimation to trace a safe route of movement. Visnyk National Transport University. – Kyiv. National Transport University. 2013. – Vol. 28.

In article the approach to use of a method of construction of the logarithmic PEAK PHASE frequency characteristic and a method of the harmonious analysis accepted in the automatic control theory, in practice of preparation of drivers and the driving theory, in particular, for the description of characteristic modes of following on a movement route in problems of the analysis and synthesis of system "car-driver-road" is offered.

Object of research - the logarithmic peak phase frequency characteristic «the car-driver - road».

The work purpose - to prove possibility of application of the methods accepted in the theory of automatic control, in practice of preparation of drivers and in the driving theory.

Research method - methods of synthesis of systems of automatic control

For today, in the car theory practically there are no accurate methodical approaches as for the description and an assessment of works of the driver on a driving, and for an estimation of efficiency of functioning of system "car-driver-road" as a whole. Identity of work of system "car-driver-road" with automatic control system in which as an automatic regulator the driver acts, and as adjustable object - the car is established. On the basis of the given assumption it is offered to apply methods of the theory of automatic control and management to expansion of knowledge of possibilities and restrictions of the driver and the car, perfection of management methods by car and training to driving.

Results of article can be introduced in curriculums of preparation of drivers, an estimation of their working capacity on difficult, as investigated, movement routes.

The forecast of the assumption of development of object of research - program realization of construction peak phase frequency characteristics of system "car-driver-road".

KEYWORDS: THE PEAK PHASE FREQUENCY CHARACTERISTIC, TRANSITIVE PROCESS, CONTROLLABILITY OF THE CAR, SYSTEM "CAR-DRIVER-ROAD"

РЕФЕРАТ

Полищук В.П. Амплитудофазова частотна характеристика системи «автомобіль-водій-дорога». Оцінка здатності відслідковувати безпечний маршрут руху. / В.П. Полищук, С.А. Осташевский // Вестник Национального транспортного университета. – К.: НТУ, 2013. – Вып. 28.

В статті запропоновано підхід, що до використання методу побудови логарифмічної амплітудо фазової частотної характеристики та методу гармонічного аналізу, прийнятих в теорії автоматичного управління, в практиці підготовки водіїв та в теорії управління автомобілем, зокрема,

для описання характерних режимів слідування за маршрутом руху в задачах аналізу і синтезу системи «автомобіль-водій-дорога».

Об'єкт дослідження - логарифмічна амплітудо фазова частотна характеристика системи «автомобіль-водій-дорога».

Мета роботи – обґрунтувати можливість застосування методів, прийнятих в теорії автоматичного управління, в практиці підготовки водіїв та теорії управління автомобілем.

Метод дослідження - методи синтезу систем автоматичного управління.

На сьогоднішній день, в теорії автомобіля майже не існує чітких методичних підходів як для опису та оцінки роботи водія з керування автомобілем, так і для оцінки ефективності функціонування системи «автомобіль-водій-дорога» в цілому. Встановлено ідентичність роботи системи «автомобіль-водій-дорога» із системою автоматичного регулювання, в якій в якості автоматичного регулятора виступає водій, а в якості об'єкта, що регулюється – автомобіль. На основі такого припущення запропоновано застосовувати методи теорії автоматичного регулювання та управління для розширення знань про можливості та обмеження водія та автомобіля, вдосконалення методів керування машиною та навчання водінню.

Результати статті можуть бути впроваджені в навчальних програмах підготовки водіїв, розробку сучасних методів оцінки їх працездатності на складних, за типом досліджуваних, маршрутах руху.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – програмна реалізація побудови амплітудо фазових частотних характеристик системи «автомобіль-водій-дорога».

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АМПЛІТУДОФАЗОВА ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, КЕРОВАНІСТЬ АВТОМОБІЛЯ, СИСТЕМА «АВТОМОБІЛЬ-ВОДІЙ-ДОРОГА»

АВТОРИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою «Транспортні системи та безпека дорожнього руху», e-mail: tsbdr@ukr.net тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.432.

Осташевський Сергій Анатолійович, Національний транспортний університет, асистент кафедри «Транспортні системи та безпека дорожнього руху», e-mail: astash73@mail.ru , тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.435.

AUTHOR:

Polishchuk V.P., Ph.D., Engineering (Dr.) professor, National Transport University, head of the department of Transport systems and traffic safety, e-mail: tsbdr@ukr.net tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 432.

Ostashevskii Sergey Anatolyevich, National Transport University, assistant lecturer department of Transport systems and traffic safety, e-mail: astash73@mail.ru, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 435.

АВТОРЫ:

Полищук Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, Национального транспортного университета, заведующий кафедрой «Транспортные системы и безопасность дорожного движения», e-mail: tsbdr@ukr.net тел. +380442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 432.

Осташевский Сергей Анатольевич, Национальный транспортный университет, аспирантка кафедры «Транспортные системы и безопасность дорожного движения», e-mail: astash73@mail.ru, тел. +380442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 435.

РЕЦЕЗЕНТИ:

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою «Міжнародні перевезення та митний контроль»

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор Академії муніципального управління, декан факультету «Управління міським господарством»

REVIEWERS:

Prokudin George Semenovich, doctor of technical Sciences, Professor, national transport University, head of Department of the International transportations and customs control»

Kiselev Vladimir Borisovich, doctor of technical Sciences, Professor of the Academy of municipal management, the Dean of the faculty of «urban Management».