

УДК 656.13.05

**В. М. Сирота<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц., **А. Н. Дудников<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц.,  
**Р. Р. Милушев<sup>1</sup>**, **О. Н. Шрамко<sup>1</sup>**, **Т. В. Волобуева<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц.

**1–Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «Донецкий национальный  
технический университет», г. Горловка;**

**2–Донецкая академия автомобильного транспорта, г. Донецк**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ НА РУЛЕВОМ КОЛЕСЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА, СООТВЕТСТВУЮЩИХ РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ**

*Предложено конструктивное решение нагрузочного устройства рулевого привода автотренажера, моделирующего усилия на рулевом колесе, соответствующие реальным условиям управления автомобилем, на основании проведенного исследования по определению усилия на рулевом колесе ряда автомобилей в динамике в зависимости от угла поворота рулевого колеса, скорости движения и статического радиуса рулевого колеса. Предложены мероприятия по усовершенствованию конструкции автомобильного тренажера.*

### ***Постановка решаемых проблем и задач***

Продолжающийся процесс урбанизации приводит к неуклонному увеличению удельного веса количества ДТП в городах. Так, на долю крупных промышленных центров приходится до 40 % всех несчастных случаев. Более половины погибших в ДТП – это люди в возрасте от 21 года до 45 лет, то есть наиболее дееспособная часть населения. Таким образом, высокий уровень аварийности – одна из серьезнейших проблем развития безопасности дорожного движения, актуальная не только для Украины, но и для всего мира.

Известно, что причины аварийности многообразны и лишь условно могут быть сведены к взаимодействию факторов в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» («В–А–Д–С»). И не случайно в этой формуле на первом месте стоит водитель. Согласно статистике, не только в Украине, но и в большинстве стран мира до 80 % ДТП происходит по вине именно водителей.

Естественно возникает вопрос о полноценности системы обучения водителей с учетом современного состояния автомобильного движения в мире, в частности в Украине, наиболее важная особенность которого, как отмечалось – угрожающе высокая и постоянно возрастающая аварийность по вине водителей. Современные методики обучения водителей имеют существенные теоретические разработки с учетом достижений в области исследования психомоторики человека. При этом необходимо отметить, что для реализации многих теоретических положений требуются усовершенствования и новые разработки соответствующих технических средств обучения, особенно в области автомобильных тренажеров.

### ***Анализ последних исследований***

Условия обучения человека вождению автомобиля можно разделить на две существенные группы: условия лабораторные (подготовка с применением тренажера) и условия полевые (подготовка в условиях автодрома и в условиях реальной улично-дорожной сети). Применение указанных условий на практике в той последовательности, в которой они представлены, является наиболее эффективным в рамках приобретения и закрепления навыков вождения автомобиля в современных условиях [1].

© Сирота В. М., Дудников А. Н., Милушев Р. Р., Шрамко О. Н., Волобуева Т. В., 2013

Процесс обучения вождению заложен, прежде всего, в характеристиках учебного маршрута и параметрах тренажера, которые должны максимально приближаться к реальным условиям вождения [2, 3]. В исследованиях С. Р. Певзнера [4] отмечается, что при управлении учебным автомобилем необходимо выбирать такие условия движения, чтобы обучающийся как можно реже оказывался в ситуациях, вождению в которых он еще не обучен.

В рамках подготовки водителей широко применяются технические средства обучения и имитирования условий реального движения автомобиля [2, 3]. Основными, практически доказывающими свою полезность и необходимость, техническими средствами являются автотренажеры, автодромы и учебные автомобили. Первые требования к конструкции и изготовлению автотренажеров были сформулированы практически 90 лет назад. В 70-х годах был сформирован наибольший спектр конструкций автотренажеров [2, 5, 6], однако существенных изменений в программах начальной подготовки водителей проведено не было.

Выход из экстремальных ситуаций, возникающих во время вождения автомобиля, требует освоения нестандартных, вариативных, в том числе творчески конструируемых приемов или ряда действий, экстренно выстраиваемых из ранее освоенных приемов применительно к возникшей ситуации. На этой основе формируется контраварийная подготовка водителей [7, 8].

Контраварийная подготовка основной своей целью преследует обучение водителей выполнять правильные действия по предотвращению или снижению тяжести дорожно-транспортного происшествия [7, 8, 9]. Выполнение такой подготовки требует формирования зачастую специфических условий обучения водителей и соответствующей конструкции автомобильных тренажеров.

Специалисты практически всех развитых стран пытаются решить проблему подготовки водителей к действиям в экстремальных ситуациях. Можно привести целый ряд литературных свидетельств, говорящих об этом. В частности, вопросами контраварийного управления автомобилем занимаются специалисты Австралии, США, Швеции, Новой Зеландии,

Германии, Великобритании, Японии, Норвегии, Канады и других стран [7].

Научно обоснованная и методически всесторонне разработанная система подготовки водителей к действиям в критических ситуациях в других странах сложилась еще недостаточно, о чем указывает Э. С. Цыганков [7]. При этом, одним из главных пробелов в существующих концепциях подготовки водителей является отсутствие научно обоснованной методологии обучения самим приемам управления автомобилем в «экстремальных» условиях, включая описание факторов, провоцирующих возникновение критических ситуаций в рамках системы ВАДС, техники контраварийных приемов, взятых в виде выстроенной системы, и самой методики освоения и совершенствования таких действий в модельных и полевых условиях. Первоначальным этапом в совершенствовании автомобильных тренажеров для реализации указанной подготовки является моделирование усилий на рулевом колесе автомобильного тренажера, соответствующих реальным условиям управления автомобилем.

### ***Цель работы***

Рассмотренные выше аспекты раскрывают необходимость моделирования усилий на рулевом колесе автомобильного тренажера, соответствующих реальным условиям управления автомобилем и разработки соответствующих технических средств.

### ***Основная часть***

Немаловажным фактором при обучении водителей вождению автомобиля является использование эффективных автомобильных тренажеров. Одним из основных оценочных показателей конструкций, является степень приближенности имитируемых усилий на тренажере к реальным условиям. Данный фактор непосредственно влияет на сроки и результаты обучения, полученные навыки, а в дальнейшем – и на безопасность дорожного движения в целом [10, 11].

Для создания тренажеров высокой эффективности обучения необходимо на стадии проектирования закладывать как можно более реальные функциональные зависимости между входными и выходными параметрами используемых нагрузочных механизмов. В данной работе рассматривается вопрос об определении подобной зависимости для нагрузочного устройства рулевого привода тренажера, имитирующего управление автомобилем.

Нагрузка на рулевом колесе реального автомобиля зависит от целого ряда параметров:

- конструктивных (конструкция рулевого привода и рулевого механизма, конструкция управляемого моста, а точнее углы наклона шкворней, реализующие определенную статическую и динамическую стабилизацию управляемых колес, масса автомобиля, приходящаяся на управляемый мост, применяемые шины);
- эксплуатационных (техническое состояние рулевого привода и рулевого механизма, состояние шкворневых узлов, степень износа протектора шин, давление воздуха в шинах);
- условий и характера эксплуатации (продольный, поперечный профили и тип дорожного покрытия, скорость движения, степень загрузки автомобиля).

### ***Усилия на рулевом колесе автотренажера***

Для соответствия реальному автомобилю, при вращении рулевого колеса тренажера, к его ободу должна быть приложена сила, соответствующая реальным условиям управления автомобилем в процессе движения.

Определение реальных усилий, прилагаемых к рулевому колесу в зависимости от угла поворота рулевого колеса, скорости движения автомобиля и статического радиуса рулевого колеса, проводилось на автодроме. Для оценки усилий использовались автомобили ГАЗ-2410, ГАЗ-53-12, ЗИЛ-431410, ЛАЗ-695Н, Икарус-260. Статический радиус рулевого колеса и передаточное отношение рулевого механизма этих автомобилей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики рулевого механизма исследуемых автомобилей

Марка автомобиля	ГАЗ-2410	ГАЗ-53-12	ЗИЛ-431410	ЛАЗ-695Н	Икарус-260
Диаметр рулевого колеса, см	420	465	476	550	507
Передаточное отношение рулевого механизма, ед.	19,1	21,3	20	23,5	22,5

Регистрация усилий на рулевом колесе осуществлялась при помощи динамометрического колеса с электромеханической записью типа СН-15. С помощью переходников, изготовленных для вышеперечисленных марок автомобилей, динамометрическое колесо крепилось к соответствующему рулевому колесу автомобиля. Питание динамометрического колеса осуществлялось от внешнего источника напряжения 24 В. На ободе рулевого колеса наносились метки, обеспечивающие его поворот через каждые 90 град. Перед каждым испытанием производилась тарировка динамометрического колеса с рулевым колесом соответствующей марки автомобиля, так как рулевые колеса этих автомобилей имеют разные диаметры, указанные в таблице 1.

В процессе эксперимента вначале записывались усилия, прикладываемые к рулевому колесу в статике. При этом управляемые колеса поворачивались от нейтрального до крайне правого (левого) положения через 90 град. Затем осуществлялась регистрация усилий при

движении автомобилей со скоростью 10, 20 и 30 км/ч. При повороте рулевого колеса на каждые 90 град. в соответствии с имеющимися метками производилась задержка поворота на 1–2 с для регистрации усилий.

Для каждого значения скорости движения производилось по три повторных измерения и определялось среднее значение усилия. Исследования проводились путем постановки независимых опытов с использованием теории планирования эксперимента с варьированием факторов на различных уровнях, где:

X1 – статический радиус колеса (принималось во внимание также и передаточное отношение рулевого механизма для каждого типа автомобиля);

X2 – скорость движения автомобилей;

X3 – угол поворота рулевого колеса.

На основании полученных значений были построены графики в зависимости от угла поворота рулевого колеса, скорости движения автомобиля и статического радиуса рулевого колеса (например, для автомобиля ГАЗ-2410, рисунок 1).

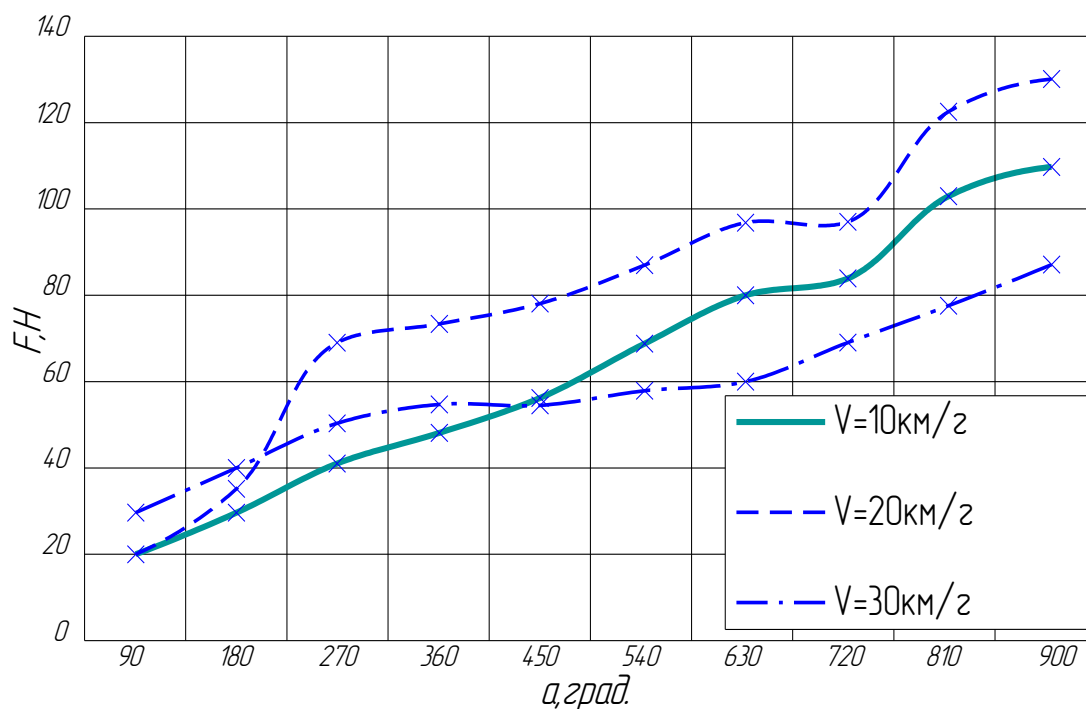


Рисунок 1 – Зависимость усилия на ободу от угла поворота рулевого колеса автомобиля ГАЗ-2410 в динамике  $F = f(\alpha)$ , полученные по результатам эксперимента

Полученные экспериментальные кривые (рисунок 1) показывают разброс измеряемых значений усилия на рулевом колесе. Однако уравнения регрессии, описывающие исследуемые зависимости, сглаживают зафиксированные отклонения методом наименьших квадратов.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании и изготовлении тренажеров, которые имели бы усилия на рулевом колесе автомобиля, достаточно близкие к реальным.

С целью упрощения разработки нагрузочного устройства для имитации усилия  $F$  на рулевом колесе тренажера каждой марки автомобиля, полученные данные необходимо проанализировать на основании интегральной зависимости для скорости движения  $V = 10 \dots 30$  км/ч (рисунок 2).

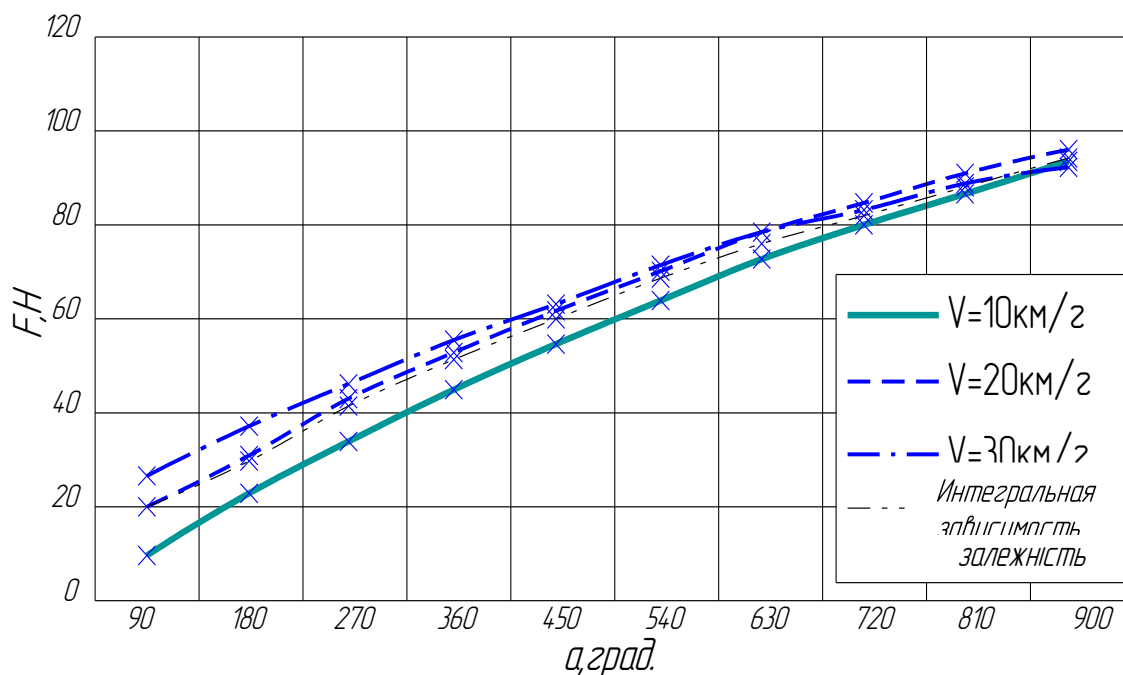


Рисунок 2 – Зависимость усилия от угла поворота рулевого колеса автомобиля ГАЗ-2410 в динамике  $F = f(\alpha)$ , полученные по уравнениям регрессии

### Общие принципы работы тренажера

Управляющие действия обучаемого воспринимаются оптоэлектронными и потенциометрическими датчиками. Эти датчики преобразуют управляющие действия в электрические сигналы, которые воспринимаются компьютером.

Формирователь сигналов осуществляет их первичную обработку, преобразуя в прямоугольные импульсы. Последние поступают на входы цифро-аналогового преобразователя и формирователя режимов работы, которые систематизируют и преобразуют их в импульсы одинаковой продолжительности с определенной частотой, которая зависит от положения соответствующего органа управления.

Полученные импульсы через устройство согласования поступают в компьютер, где обрабатываются по соответствующей программе.

Электромагнитная муфта, установленная на рулевом валу и усиленная источником момента сопротивления, позволяет моделировать граничные углы поворотов рулевого колеса и силы сопротивления поворотам.

Функциональная схема автотренажера представлена на рисунке 3.

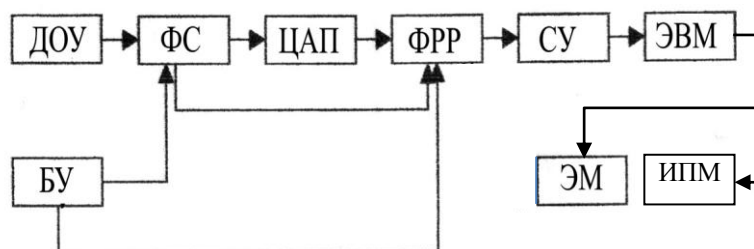


Рисунок 3 – Функциональная система автотренажера

ДОУ – датчики органов управления; ФС – формирователь сигналов; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; ФРР – формирователь режимов работы; СУ – согласующее устройство; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; БУ – блок управления; ЭМ – электромагнитная муфта; ИПМ – источник противомомента.

Структурная схема рулевого привода тренажера представлена на рисунке 4.

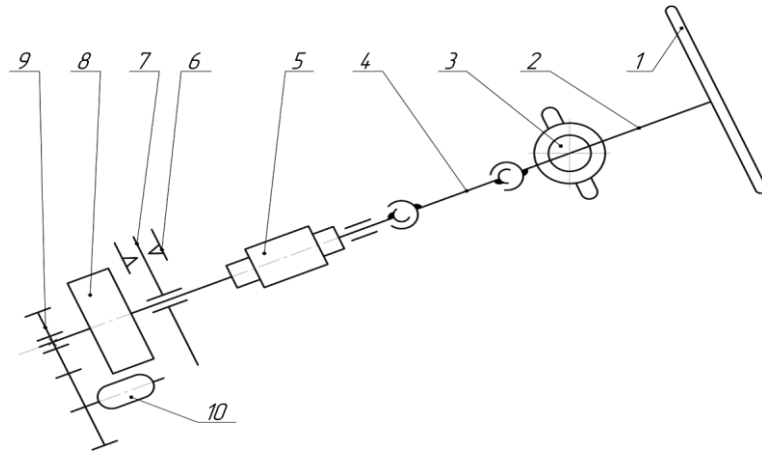


Рисунок 4 – Структурная схема рулевого привода автотренажера

1 – рулевое колесо; 2 – рулевой вал; 3 – механизм изменения и фиксации угла наклона рулевого колеса; 4 – карданная передача; 5 – опора и ограничитель вращения рулевого колеса; 6 – оптоэлектронный датчик; 7 – перфорированный диск; 8 – электромагнитная муфта; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель постоянного тока

Конструкция рулевого привода автотренажера позволяет имитировать рабочие места вышеперечисленных марок автомобилей, измерять и считывать электрический сигнал угла поворота рулевого колеса с целью моделирования реальных усилий на рулевом колесе автотренажера. Для получения тарированного противомомента при вращении рулевого колеса разработана функциональная схема нагрузочного устройства рулевого привода автомобильного тренажера (рисунок 5).

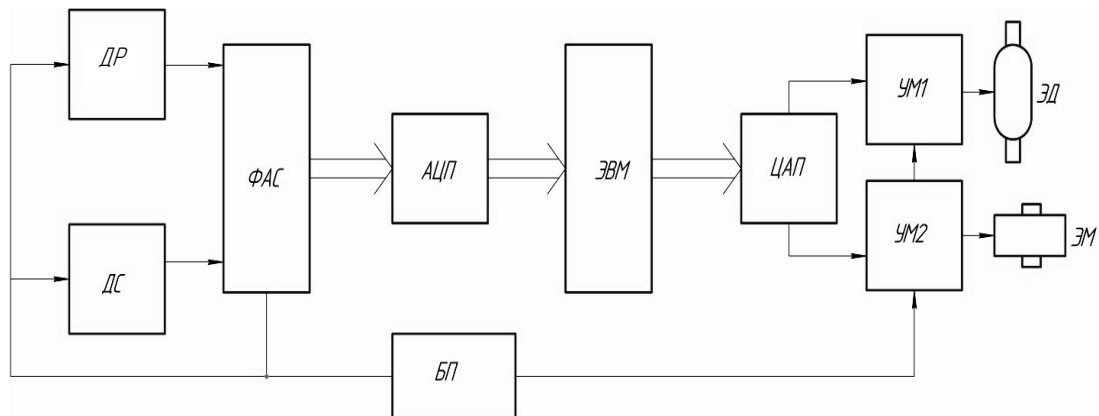


Рисунок 5 – Функциональная схема нагрузочного устройства рулевого привода автотренажера

ДР – датчик рулевого колеса; ДС – датчик скорости; ФАС – формирователь аналогового сигнала; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

Рулевое колесо оснащено двумя фотоэлектрическими датчиками в виде оптоэлектронных пар и перфорированным непрозрачным диском. Принцип формирования сигналов, поступающих с датчиков угла поворота рулевого колеса, заключается в считывании числа зубцов диска при его повороте. При вращении рулевого колеса датчики вырабатывают две импульсные последовательности, поступающие на входы контроллера, которые сдвинуты по фазе на  $\pi$  за счет пространственного размещения датчиков вдоль перфорации диска (рисунок 6).

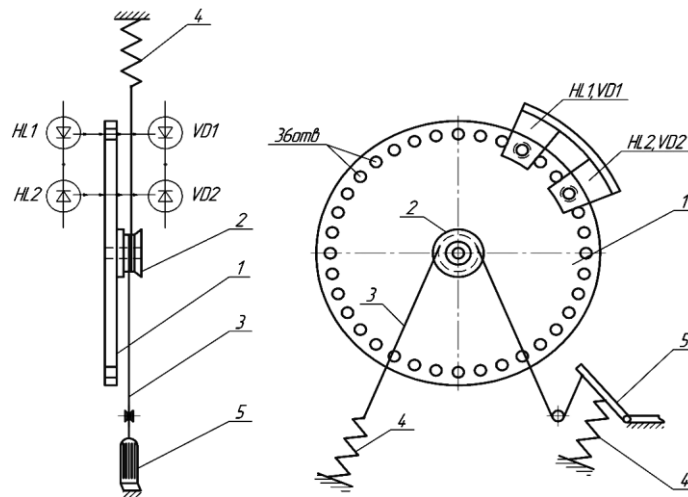


Рисунок 6 – Схема оптоэлектронного датчика автомобильного тренажера для подготовки водителей

HL1, HL2 – светодиоды; VD1, VD2 – фотодиоды; 1 – непрозрачный перфорированный диск; 2 – шкив; 3 – струна; 4 – возвратные пружины; 5 – педаль

После обработки и преобразования информация в аналоговой форме поступает на вход АЦП РСІ – 1713. Указанное завершает описание принципа работы усовершенствованной части автомобильного тренажера с имитацией нагрузки на рулевом колесе.

### **Выводы**

Таким образом, в работе смоделированы усилия на рулевом колесе автомобильного тренажера, соответствующие реальным условиям управления автомобилем, предложена конструкция усовершенствованного тренажера, обеспечивающего возможность проводить подготовку водителей в условиях, приближенных к реальным.

### **Список литературы**

1. Типові навчальний план і програми підготовки водіїв на право керування автотранспортними засобами категорій «В» і «С» / МОН України. – К.: Виробничо-видавниче підприємство «КОМПАС», 1995. – 64 с.
2. Типові навчальні план і програму підготовки водіїв на право керування автотранспортними засобами категорій «В» і «С» (Standard Training Program on Licensing of Drivers to Drive Vehicles of Category B and C) / МОН України. – К.: Виробничо-видавниче підприємство «КОМПАС», 1995. – 64 с.
3. Гаврилов Э. В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Э. В. Гаврилов. – Х., 1990. – 450 с.
4. Gavrilov E. V. Teoreticheskiye osnovy proektirovaniya i organizatsii usloviy dorozhnogo dvizheniya s uchetom zakonornostey povedeniya voditeley: diss. na soiskaniye uchenoy stepeni d-ra tekhn. nauk (Theoretical Basis of Engineering and Management of Road Traffic Conditions Considering Regularities of Drivers' Behaviour: Thesis for the Degree of Doctor of Engineering) / E. V. Gavrilov. – Kh., 1990. – 450 s.
5. Жиделев М. А. Психолого-педагогические аспекты конструирования и применения тренажеров / М. А. Жиделев, В. Я. Дымерский. – Вопросы психологов, 1980. – № 6. – С. 174–175.
6. Zhidelev M. A. Psikhologo-pedagogicheskkiye aspekty konstruirovaniya i primeneniya trenazherov (Psychological and Pedagogical Aspects of Engineering and Use of Training Simulators) / M. A. Zhidelev, V. Ya. Dymerskiy. – Voprosy psikhologov, 1980. – № 6. – S. 174–175.
7. Певзнер С. Р. Вождение автомобиля / С. Р. Певзнер. – М.: Транспорт, 1972. – 128 с.
8. Pevzner S. R. Vozhdeniye avtomobilya (Driving) / S. R. Pevzner. – М.: Transport, 1972. – 128 s.
9. Гуслиц В. С. Автомобильные тренажеры / В. С. Гуслиц, Н. А. Игнатов, В. А. Илларионов. – М.: Транспорт, 1975. – 96 с.
10. Guslits V. S. Avtomobilnyye trenazhery (Automobile Training Simulators) / V. S. Guslits, N. A. Ignatov, V. A. Illarionov. – М.: Transport, 1975. – 96 s.
11. Мельник А. А. Тренажеры для обучения водителей / А. А. Мельник. – К.: Техника, 1973. – 140 с.
12. Melnik A. A. Trenazhery dlya obucheniya voditeley (Training Simulators for Drivers) / A. A. Melnik. – К.: Tekhnika, 1973. – 140 s.

7. Цыганков Э. С. Высшая школа водительского мастерства / Э. С. Цыганков. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2002. – 432 с.  
Tsygankov E. S. Vysshaya shkola voditelskogo masterstva (School of Art of Driving) / E. S. Tsygankov. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2002. – 432 s.
8. Методические рекомендации по контраварийной подготовке водителей автобусов. – К.: Минтранс УССР, 1987. – 184 с.  
Metodicheskiye rekomendatsii po kontravariynoy podgotovke voditeley avtobusov (Methodological Recommendations on Defensive Driving Training of Bus Drivers). – К.: Mintrans USSR, 1987. – 184 s.
9. Евтюков С. А. Экспертиза ДТП: справочник / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб.: ДНК, 2006. – 528 с.  
Yevtyukov S. A. Ekspertiza DTP: spravochnik (Road Traffic Accident Review: Reference Book) / S. A. Yevtyukov, Ya. V. Vasilyev. – SPb.: DNK, 2006. – 528 s.
10. Тарашчак И. Полнее использовать тренажеры / И. Тарашчак. – Гражд. авиация, 1980. – № 12. – С. 18.  
Tarashchak I. Polneye ispolzovat trenazhery (To Use Training Simulators More Thoroughly) / I. Tarashchak. – Grazhd. aviatsiya, 1980. – № 12. – S. 18.
11. Чебышев А. Е. Некоторые проблемы разработки перспективных автомобильных тренажеров / А. Е. Чебышев, И. А. Венгров, В. И. Фитисов. – М.: Изд-во ЦБНТИ Минтранса РСФСР, 1989. – Вып. 6. – 72 с. – (Серия «Вопросы безопасности движения и охраны труда»)  
Chebyshev A. Ye. Nekotoryye problemy razrabotki perspektivnykh avtomobilnykh trenazherov (Some Problems on Development of Prospective Automobile Training Simulators) / A. Ye. Chebyshev, I. A. Vengrov, V. I. Fitisov. – М.: Izd-vo TSBNTI Mintransa RSFSR, 1989. – Vyp. 6. – 72 s. – (Seriya “Voprosy bezopasnosti dvizheniya i okhrany truda”).

Рецензент: канд. техн. наук, доц. М. А. Мастепан, АДІ ДонНТУ  
Стаття надійшла до редакції: 05.11.2013