

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.372:378.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-64-68

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ЭМУЛЯЦИИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ И НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В ТРЕНАЖЕРАХ ТЕХНИКИ ДЛЯ АПК**ФОМИН АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцентsachafomin@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8333-9015>**АПАТЕНКО АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**✉, д-р техн. наук, доцентa.apatenko@rgau-msha.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-2490-9274>**СЕВРЮГИНА НАДЕЖДА САВЕЛЬЕВНА**, канд. техн. наук, доцентnssevr@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3494-1437>**ЛОСЕВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ**, магистрант

drace140499@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Практические навыки специалистов-агроинженеров включают в себя владение управлением техническими средствами сопровождения сфер АПК. Разнообразие марок и модификаций имитаторов-тренажеров, их функциональных возможностей создает сложности получения всего спектра навыков управления транспортными и технологическими машинами. С целью расширения практических умений и навыков обучающихся проведены аналитические и патентные исследования обучающих тренажеров. Предложен имитатор, использующий технологию дополненной реальности эмуляции рельефа местности, позволяющий моделировать динамические силовые воздействия на кабину автомобиля при движении с равномерной скоростью по дорогам с разным профилем поверхности и с разными углами поворота, отображающий динамику поступательного движения зрительными образами. Воздействие вертикального рельефа дороги на машину и на кабину оператора имитируется четырьмя вертикальными линейными пневмоприводами, воздействующими на наклонную платформу с помощью устройств управления, посредством импульсов кратковременного подъема и возврата штоков. Высота подъема моделируется давлением в ресивере, длительностью открытого состояния клапана и согласуется с программой рельефа дороги. Органами управления обучаемый имитирует управление движением автомобиля по дороге. Центральное микропроцессорное устройство выдает на экран изображение дороги с видимым профилем части корпуса машины и у обучаемого, ощущающего динамическое воздействие на рецепторно-мышечную систему посредством механических перемещений кабины тренажера. Возникает психофизическое восприятие полного спектра факторов реального управления машиной. Предложенный прототип эмулятора тренажера движения технологической машины позволит повысить эффективность обучения навыков управления.

Ключевые слова: технологическая машина, управление, обучение, тренажер, эмулятор, движение, навыки.

Формат цитирования: Фомин А.Ю., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Лосев А.А. Дополненная реальность эмуляции рельефа местности и нештатных ситуаций в тренажерах техники для АПК // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 64-68. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-64-68>.

© Фомин А.Ю., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Лосев А.А., 2022



ORIGINAL PAPER

AUGMENTED REALITY OF EMULATING TERRAIN AND EMERGENCY SITUATIONS IN FARM MACHINERY SIMULATORS**ALEKSANDR YU. FOMIN**, PhD (Eng), Associate Professorsachafomin@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8333-9015>**ALEKSEYS. APATENKO**✉, DSc (Eng), Associate Professora.apatenko@rgau-msha.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-2490-9274>**NADEZHDA S. SEVRYUGINA**, PhD (Eng), Associate Professornssevr@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3494-1437>**ALEKSANDR A. LOSEV**, MSc student

drace140499@gmail.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. The practical skills of agroengineers include the skills of operating technical means used in the agricultural sector. The variety of brands and modifications of training simulators and their functionality creates difficulties in obtaining the full range

of skills required for operating transport and technological machines. To expand the practical skills of students, the authors conducted analytical and patent studies of training simulators. As a result, they present a simulator using the technology of augmented reality terrain emulation, which can simulate dynamic force effects on the vehicle cab, when driving at a uniform speed on roads with different surface profiles and rotation angles, displaying the dynamics of translational motion with visual images. The impact of the vertical road terrain on the vehicle and the operator's cabin is simulated by four vertical linear pneumatic actuators acting on the inclined platform using control devices, by means of short-term lifting and the return movement of the rods. The lifting height is modeled by the pressure in the receiver and the duration of the open state of the valve and is consistent with the road relief-modeling program. With the controls, the trainee simulates the control of the vehicle movement along the road. The central microprocessor device displays an image of the road with a visible profile of the vehicle's body part and the trainee, who feels the dynamic effect on the receptor-muscular system through mechanical movements of the simulator cabin, creates a psychophysical perception of the full range of real control factors over the machine. The proposed prototype of the training simulator for the movement of a technological vehicle will increase the effectiveness of training operating skills.

Key words: technological machine, management, training, simulator, emulator, movement, skills.

For citation: Fomin A.Yu., Apatenko A.S., Sevryugina N.S., Losev A.A. Augmented reality of emulating terrain and emergency situations in farm machinery simulators. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(4): 64-68. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-64-68>.

Введение. Эффективность развития АПК базируется на инновациях в технике и технологиях, но исполнителем и реализатором деятельности остаётся человек, компетенции которого и обеспечивают заявленные результаты [1].

Подготовка специалистов для АПК предполагает широкий спектр профессий, что требует от учебных заведений постоянного усовершенствования системы подготовки выводя на первое место компетенции практической подготовки¹ [2].

В эпоху стремительного изменения технологий и техники ключевой становится подготовка специалистов с набором первичных профессиональных компетенций, базовых умений и навыков постоянного самообучения. Данная концепция оправдана тем, что профессиональная практическая подготовка невозможна без соответствующего материально-технического обеспечения, 70% которого морально устаревает уже через 2-3 года, а загрузка учебного оборудования составляет не более 30% от общей академической нагрузки. Эффективное вложение средств на долгосрочную перспективу возможно путем использования техники и оборудования в центрах коллективного пользования с расширенной сферой применения, включающих в себя научные составляющие и пр. [3, 4]. Практические навыки специалистов агроинженеров включают в себя владение управлением техническими средствами – транспортными и технологическими машинами. Разнообразие марок и модификаций, функциональных возможностей создает сложности получения всего спектра навыков управления транспортными и технологическими машинами. В свою очередь, учебные центры не имеют достаточных средств финансирования для закупки такой техники, и, как правило, в них представлено несколько типовых марок, что переводит данный вид обучения в категорию получения первичных базовых профессиональных умений и навыков [5-7].

В работе В.Б. Дроздова современное обучение рассматривается как тотальная задача достижения компетенций, расчлененная на дифференцированные подзадачи с выделением знаковых характеристик принятия решений, управления ресурсами, временем и персоналом, характеристик умения и владения в административном, коммуникативном аспектах, выработкой лидерских качеств с пробуждением способности к рефлексии [8].

Цель исследований: расширение практических умений и навыков обучающихся путем включения в конструкцию

тренажеров технологий дополненной реальности на примере эмуляции рельефа местности и нестандартных ситуаций при выполнении агроинженерных операций.

Материалы и методы. Проведены аналитические исследования нормативных актов в сфере профессиональной инженерной подготовки, требований по подготовке высококвалифицированных специалистов, методов социально-психологической адаптации специалиста на производстве, физиологии человека, охраны труда. При разработке конструкции проведены патентные и поисковые исследования аналогов и прототипов моделей тренажеров, инновационной техники и технологии обучения в инженерной сфере.

Симуляторы и тренажеры, предназначенные для выработки первичных навыков безопасного управления транспортными и технологическими машинами, конструируются на базе кабины машины с установкой опорной стационарной или динамической платформы, экрана визуализации работы машины, программного модуля имитации внешней среды и характерных для данной машины условий работы (рис. 1).

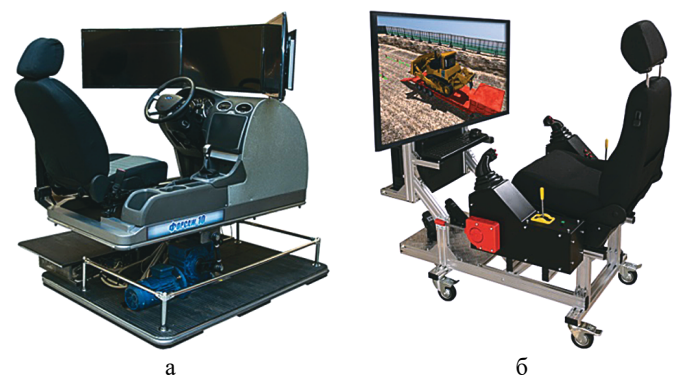


Рис. 1. Учебные тренажеры:

а – симулятор управления легкового автомобиля;
б – симулятор управления бульдозером «Бульдозер-студент»

Fig. 1. Training simulators:

a – passenger car control simulator;
b – “Bulldozer-student” control simulator

Транспортные и технологические машины являются потенциально опасными объектами техносферы для окружающей среды и человека, поэтому следует пересмотреть программы обучения управления техническими средствами, приблизить обрабатываемые практические навыки к реальным

¹ Глаголев С.Н., Дуюн Т.А., Севрюгина Н.С. Проблемы инженерного образования в области техники и технологий: Учебное пособие. М.: Директ-Медиа, 2014. 109 с.

путем расширения разработки сред дополненной реальности, формируемых программными модулями, адаптированными с механическими тренажерами эмуляторами управления транспортной или технологической машины, с имитацией всего спектра эксплуатационных операций^{2,3,4,5} [9-10].

Применение эмуляции (воспроизведение программы или системы с сохранением ее ключевых свойств и принципов работы) и симуляции (воспроизведение программы-оригинала сугубо виртуально, имитация лишь отдельных свойств, возможностей и функций системы) позволяет расширить вырабатываемые компетенции.

Эмуляторы являются более предпочтительными, поскольку предполагают создание точной модели устройства. Симуляторы же имитируют только часть поставленных задач, то есть по полноте функций являются значительно более узкими, чем эмулятор.

С учётом того, что эмулируется объект в целом, а симулируются его свойства, функции или поведение, совершенствование обучающих тренажеров остается актуальной задачей.

Результаты и их обсуждение. Типовые модели тренажерного оборудования для обучения операторов технологических машин, обслуживающих АПК, в свою конструкцию включают кабину базового транспортного или технологического средства, рулевую колонку, органы управления, расположенные в кабине, кресло оператора, микропроцессорное устройство, соединенное с контрольно-измерительными приборами и экраном для отображения вида на дорогу (рис. 2).



Рис. 2. Пример тренажера симулятора обучения на право управления транспортными средствами

Fig. 2. Example of a simulator for Driving Licence training

Тренажерное устройство работает по принципу проецирования дороги на экран, моделирования микропроцессорным устройством положения технологической машины относительно дороги и изменения положения относительно дороги с помощью органов управления. Недостатком типового устройства является несогласованность психо-физических свойств оператора, так как имитация влияния дорожного рельефа на управление передается на зрительные органы с помощью программно-вычислительных средств изменением положения машины, при этом не передавая воздействия на рецепторно-мышечную систему обучаемого.

² Новые игровые технологии в обучении персонала. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uho.ru/articles/?cat=105&pub=1512>.

³ Games – Bale Stacking. [Электронный ресурс]. URL: http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/fun-shop_US/funworld/spiele/start_lang=en_US.html.

⁴ Шраго И.Л. Тренажеры для обучения управлению промышленными объектами // Промышленные ведомости. 2009. № 9-10. Сентябрь, октябрь. Интернет-версия. URL: <http://www.promved.ru/articles/article.phtml?id=1749&номер=61> (дата обращения: 25.02.2022).

⁵ Наумов В.И. Потенциал учебных симуляторов // Школа эффективных лидеров – дистанционное обучение. [Электронный ресурс]. URL: <https://psyfactor.org/lib/naumov4.htm> (дата обращения: 18.02.2022).

Учебный тренажер, разработанный на базе модели бульдозера Cybermine, сконструированный по принципу блочно-модульной структуры, включает в себя модуль управления оператора, программно-аппаратный комплекс и динамическую платформу. Симулятор программного средства обеспечивает имитацию различных технологических операций. Эффект дополненной реальности реализуется путем визуализации дорожных и погодных условий, вплоть до звукового фона и тактильности органов управления. Базовыми технологическими машинами симуляторов являются бульдозеры фирмы Caterpillar (CAT), John Deere и Komatsu (рис. 3).



Рис. 3. Симуляторы бульдозера Cybermine⁶

Fig. 3. CYBERMINE ThoroughTec Simulation of a bulldozer

Закрытая кабина позволяет создать эффект реального управления машиной, воспроизводимого на экране кругового обзора модулем видеосвязи. Психофизическое восприятие рельефа местности обеспечивается изменением угла наклона кресла обучаемого, соотнесенного с реальным наклоном передвигающегося бульдозера по местности.

Предлагается альтернативная конструкция обучающего тренажера технологических машин с включением технологий дополненной реальности на примере эмуляции рельефа местности и нештатных ситуаций при выполнении операций в АПК (рис. 4) [11].

Предлагаемый имитатор предназначен для моделирования динамических силовых воздействий на кабину автомобиля при движении с равномерной скоростью по дорогам с разным профилем поверхности и с разными углами поворота при отображении динамики поступательного движения зрительными образами.

Центральное микропроцессорное устройство (ЦМПУ) выдает на экран изображение дороги с видимым профилем передней части корпуса автомобиля, которое пространственно отображается на центральном экране, расположенном на лобовом стекле автомобиля. На боковых экранах проектируется отображение, имитирующее вид в зеркалах заднего вида. Органами управления обучаемый водитель имитирует управление движением автомобиля по дороге. Перемещение изображения дороги и окружающего рельефа зависит от задаваемой скорости движения и точки наблюдения⁷ [12].

⁶ Симуляторы бульдозера. URL: <https://www.thoroughtec.com/ru/cybermine-симуляторы-бульдозера> (дата обращения: 18.02.2022).

⁷ МС ГОСТ 12.2.120-2015. Система стандартов безопасности труда «Кабины и рабочие места операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Общие требования безопасности».

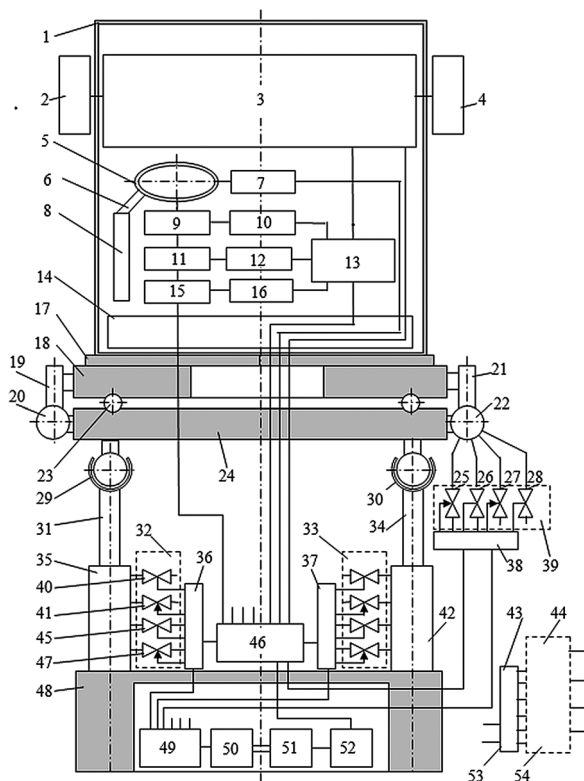


Рис. 4. Функциональная схема тренажера-имитатора:

- 1 – кабина машины; 2, 3, 4 – модуль экранов кругового обзора;
 5, 6, 7, 8 – блок рулевого управления;
 9 – контрольно-измерительные приборы;
 10 – блок электронного управления;
 11, 15 – механические органы управления;
 12, 16 – механо-электрические устройства;
 13 – микропроцессорное устройство; 14 – кресло оператора;
 17 – опора основания; 18 – поворотная платформа;
 19, 21 – дуговые штоки; 20, 22 – дуговые пневмоприводы;
 23 – подшипники качения; 24 – наклонная платформа;
 25, 47 – регулируемый газовый клапан высокого давления;
 26, 45 – нерегулируемый газовый клапан;
 27, 41 – регулируемый газовый спусковой клапан;
 28, 40 – нерегулируемый газовый клапан;
 29, 30 – шарнирные узлы; 31, 34 – подвижные штоки;
 32, 33, 39, 44 – клапанная модель управления пневмопривода;
 35, 42 – линейные пневмоприводы;
 36, 37, 38, 43 – устройство управления клапанами;
 46 – центральное микропроцессорное устройство имитатора (ЦМПУИ);
 48 – основание тренажера-имитатора; 49 – ресивер;
 50 – пневмокомпрессор; 51 – электродвигатель;
 52 – устройство управления

Fig. 4. Functional diagram of the simulator:

- 1 – car cab; 2, 3, 4 – module of circular viewing screens;
 5, 6, 7, 8 – steering unit; 9 – control and measuring instruments;
 10 – electronic control unit; 11, 15 – mechanical controls;
 12, 16 – mechanical and electrical devices; 13 – microprocessor device;
 14 – operator's seat; 17 – base support; 18 – rotary platform;
 19, 21 – arc rods; 20, 22 – arc pneumatic actuators;
 23 – rolling bearings; 24 – inclined platform;
 25, 47 – adjustable high-pressure gas valve;
 26, 45 – unregulated gas valve; 27, 41 – adjustable gas release valve;
 28, 40 – unregulated gas valve; 29, 30 – hinge assemblies;
 31, 34 – movable rods; 32, 33, 39, 44 – valve control model of a pneumatic actuator;
 35, 42 – linear pneumatic actuators;
 36, 37, 38, 43 – valve control device;
 46 – central microprocessor device simulator;
 48 – base simulator; 49 – receiver; 50 – pneumatic compressor;
 51 – electric motor; 52 – control device

Динамические, ускоряющие воздействия на кабину оператора оказывают поворот рулевого колеса и вертикальный рельеф дороги или поверхности земли, по которой движутся предполагаемые колеса машины.

Воздействие вертикального рельефа дороги на машину и на кабину оператора имитируется четырьмя вертикальными линейными пневмоприводами, воздействующими на наклонную платформу. Независимое изменение давления в каждом пневмоприводе позволяет наклонять платформу в любую сторону. Шарнирные соединения оказывают вертикальное силовое воздействие на платформу независимо от положения рабочих штоков других пневмоприводов. Плавным изменением давления в пневмоприводах осуществляется имитация плавной топологии дороги. Соразмерные с диаметром колес препятствия и неровности вызывают ударные воздействия, имитируемые нерегулируемыми клапанами за счет резкой подачи и выпуска газа в пневмоприводах. Управление работой клапанов осуществляется согласованием работы устройств управления клапанами пневмоприводов с программой рельефа дороги. При наличии вертикальных изменений функции изображения дороги в программе предусматриваются либо плавное изменение управляющего сигнала, либо резкое его изменение.

При наклоне дороги, например, на подъеме, на устройства управления двух передних вертикальных пневмоприводов поступает сигнал, открывающий регулируемые клапаны согласно наклону дороги. При снижении угла подъема регулируемым спусковым клапаном давление в переднем пневмоприводе снижается, и штоки передних пневмоприводов опускаются, угол наклона кабины уменьшается. Таким же образом с помощью клапанов осуществляются наклон кабины вперед при спуске, наклон назад при подъеме, а с помощью парной работы боковых клапанов – боковые наклоны.

Автономное управление каждым пневмоприводом позволяет одновременно осуществлять поворот, наклон и моделирование дорожных неровностей.

Таким образом, предлагаемый эмулятор тренажера движения технологической машины позволяет, используя программные среды дополненной реальности, создать психо-физическое восприятие обучаемым полного спектра факторов реального управления машиной.

Сопоставительный анализ показывает, что динамическое воздействие на кабину, а соответственно на обучаемого оператора, позволяет дополнительно к зрительным образам и моторным действиям по управлению осуществлять динамическое воздействие на рецепторно-мышечную систему обучаемого посредством механических перемещений кабины тренажера. Это существенно повышает эффективность обучения в условиях, приближенных к реальным по воздействию дорожного рельефа и поворотов. Выработка мышечных рефлексов существенно повышает усвоение практики вождения машиной и может сократить срок обучения для приобретения навыков в сравнении с обучением зрительными образами, соответственно сократить затраты на обучение в 1,2...1,5 раза. Приобретение моторных навыков и избегание аварийных ситуаций может оцениваться улучшением показателей среднестатистических ожидаемых экономических и социальных потерь [12].

Выводы

1. Дано обоснование целесообразности пересмотра программы обучения управления техническими средствами с приближением отрабатываемых практических навыков к реальным: посредством расширения разработки сред дополненной

реальности, формируемыми программными модулями, адаптированными к механическим тренажерам-эмуляторам управления транспортной или технологической машины, с имитацией всего спектра эксплуатационных операций.

2. Предложенный прототип эмулятора тренажера движения технологической машины позволяет дополнительно

к зрительным образам и моторным действиям по управлению осуществлять динамическое воздействие на рецепторно-мышечную систему обучаемого посредством механических перемещений кабины тренажера, повышать эффективность обучения в условиях, приближенных к реальным по воздействию дорожного рельефа и поворотов.

Библиографический список

- Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. Дополнение целевых индикаторов развития АПК: обеспеченность инновационных технологий техническими средствами сопровождения // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции, п. Правдинский Московской области, 8-10 июня 2020 г. Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. С. 491-499. EDN: LDTRJP
- Широков Ю.А. Профессионально-педагогические проблемы минимизации профессиональных рисков трактористов-машинистов // Агроинженерия. 2020. № 4 (98). С. 66-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-4-66-72>
- Зеркин Д.Г., Фомин А.Ю., Эйсмунт В.В. Система образования как основной инструмент повышения безопасности дорожного движения транспортными средствами // Chronos. 2020. № 3 (42). С. 31-34. EDN: URCTYM
- Лебедев С.А., Фомин А.Ю. Новая программа автомобильной подготовки военных водителей // Инновационные технологии в учебном процессе и производстве: Материалы Межвузовской научно-практической конференции, Москва, 20-23 марта 2017 г. М.: Государственный университет управления, 2017. С. 154-157. EDN: ZFFEQJ
- Сахапов Р.Л. Новые парадигмы инженерного образования // Техника и технология транспорта. 2020. № 1 (16). С. 17. EDN: UOXFLG
- Глаголев С.Н., Севрюгина Н.С. Эффективность функционирования системы «Владелец-автомобиль-сервис» как результат выбора ее акцентуемой компоненты // Автомобильная промышленность. 2012. № 6. С. 10-11. EDN: TMSMSJ
- Севрюгина Н.С., Миронов А.В., Апатенко А.С. Моделирование периметра обзорности с рабочего места оператора машин природообустройства на примере экскаватора // Техника и оборудование для села. 2020. № 6 (276). С. 18-21. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-6-18-21>
- Дроздов В.Б., Зеленин А.Н. Использование тренажеров с мультимедийными технологиями при изучении сельскохозяйственных машин // Аграрный вестник Урала. 2011. № 12-1 (91). С. 31-35. EDN: PAQSLT
- Родионов Ю.В., Ветохин А.С. Динамический автотренажер // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4 (35). С. 90-93. EDN: OODUKX
- Asanova S., Matisakov Zh.K., Atamkulova M.T. Application of training simulators in teaching programming. *Izvestiy Oshskogo technologicheskogo university*, 2018; 2: 104-107. EDN: IDIARD
- Патент № 2652696 С2 Российская Федерация, МПК G09B9/02. Имитатор дорожный тренажера транспортного средства: № 2016103413 / Н.Л. Пузевич, С.С. Волков, А.А. Слободян, В.М. Подчинок, С.В. Демихов, Д.В. Прокофьев, А.Ю. Фомин; заявл. 02.02.2016; опубл. 28.04.2018. EDN: JJGKQH
- Фомин А.Ю., Васильченко В.Ф. Метод оценки степени формирования навыков вождения // Современные материалы, техника и технология: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции: В 3 т. Курск, 27 декабря 2013 г. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2013. С. 241-243. EDN: SZBDOD

Критерии авторства

Фомин А.Ю., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Лосев А.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. Фомин А.Ю., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Лосев А.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 18.03.2022

Одобрена после рецензирования 12.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

References

- Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Dopolnenie tselevykh indikatorov razvitiya APK: obespechennost' innovatsionnykh tekhnologiy tekhnicheskimi sredstvami soprovozhdeniya [Addition of target indicators for the development of the agro-industrial sector: provision of innovative technologies with technical means of support] *Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: Materialy XII Mezhduнародной nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii, Pravdinskiy settlement, Moscow region, June 08-10, 2020*: Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskomu obespecheniyu agropromy' shlennogo kompleksa, 2020: 491-499. (In Rus.)
- Shirokov Yu.A. Professional'no-pedagogicheskie problemy minimizatsii professional'nykh riskov traktoristov-mashinistov [Professional and pedagogical problems of minimizing professional risks of tractor drivers]. *Agricultural Engineering*, 2020; 4(98): 66-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-4-66-72> (In Rus.)
- Zerkin D.G., Fomin A.Yu., Eysmunt V.V. Sistema obrazovaniya kak osnovnyy instrument povysheniya bez-opasnosti dorozhnogo dvizheniya transportnymi sredstvami [Education system-as the main tool for improving road safety on part of vehicles]. *Khronos*, 2020; 3(42): 31-34. (In Rus.)
- Lebedev S.A. Fomin, A.Yu. Novaya programma avtomobil'noy podgotovki voennykh voditeley [New training program of military vehicle drivers]. In: *Innovatsionnye tekhnologii v uchebnom protsesse i proizvodstve: Materialy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Moscow, March 20-23, 2017. Moscow, Gosudarstvennyi universitet upravleniya, 2017: 154-157. (In Rus.)
- Sahapov R.L. Noveye paradigmy inzhenernogo obrazovaniya [New paradigms of engineering education]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2020; 1(16): 17. (In Rus.)
- Glagolev S.N., Sevryugina N.S. Effektivnost' funktsionirovaniya sistemy "vladelets-avtomobil'-servis" kak rezul'tat vybora ee aktsentiruemykh komponenty [Effectiveness of the "car owner-car-service" system as a result of choosing its accentuated component]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2012; 6: 10-11. (In Rus.)
- Sevryugina N.S., Mironov A.V., Apatenko A.S. Modelirovanie perimetra obzornosti s rabocheho mesta operatora mashin prirodobustroystva na primere ekskavatora [Modeling the visibility perimeter from the operator's workplace of environmental engineering machines as exemplified by an excavator]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2020; 6(276): 18-21. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-6-18-21> (In Rus.)
- Drozhdov V.B., Zelenin A.N. Ispol'zovanie trenazherov s mul'timediynymi tekhnologiyami pri izuchenii sel'skokhozyaystvennykh mashin [Use of simulators with multimedia technologies in the study of agricultural machines]. *Agrarniy vestnik Urals*, 2011; 12 (91). <http://avu.usaca.ru/ru/issues/30/articles/1559> (In Rus.)
- Rodionov Yu.V., Vetokhin A.S. Dinamicheskyy avtotrenazher [Dynamic auto-trainer]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2011; 4(35): 90-93. (In Rus.)
- Asanova S., Matisakov Zh.K., Atamkulova M.T. Application of training simulators in teaching programming. *Izvestiya Oshskogo technologicheskogo universiteta*, 2018; 2: 104-107. (In Kirghiz)
- Puzevich N.L., Volkov S.S., Slobodyan A.A., Podchinok V.M., Demikhov S.V., Prokofiev D.V., Fomin A.Yu. Imitator dorozhnyy trenazhyora transportnogo sredstva [Vehicle training simulator]: RF Patent No. 2652696 C2, MPK G09B9/02. No. 2016103413, 2018. (In Rus.)
- Fomin A.Yu., Vasil'chenkov V.F. Metod otsenki stepeni formirovaniya navykov vozheniya [Method of assessing the development of driving skills]. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: materialy 3-ey Mezhduнародной nauchno-prakticheskoy konferentsii: In three vol., Kursk, December 27, 2013*. Kursk, Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyi universitet, 2013: 241-243. (In Rus.)

Contribution

A.Yu. Fomin, A.S. Apatenko, N.S. Sevryugina, A.A. Losev performed theoretical studies and, based on the results obtained, wrote the manuscript. A.Yu. Fomin, A.S. Apatenko, N.S. Sevryugina, A.A. Losev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 18.03.2022

Approved after reviewing 12.05.2022

Accepted for publication 24.05.2022