

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

Дубинин Е.А., Клец Д.М., Полянский А.С., Холодов А.П.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*Обоснован подход к повышению надежности эксплуатации колесной машины на основе обеспечения ее устойчивости положения за счет применения интеллектуальной бортовой системы. В качестве параметра устойчивости предложено использование коэффициента динамической устойчивости. Разработана схема обеспечения надежности эксплуатации колесной машины, основанная на снижении влияния квалификации водителя на ее устойчивость положения с учетом результатов мониторинга технического состояния. Оценка параметров выполняется мобильным регистрационно-измерительным комплексом с элементами искусственного интеллекта. Результаты исследования могут быть использованы при производстве и эксплуатации колесных машин.*

**Ключевые слова:** надежность эксплуатации, устойчивость положения, водитель, мониторинг, колесная машина.

### Введение

В настоящее время водитель по-прежнему является одним из ключевых элементов системы "водитель-машина-дорожные условия". От его субъективного восприятия дорожной ситуации и действий зависит безопасность использования машины и эксплуатационная надежность. Поэтому исследования, направленные на повышение надежности колесной машины обеспечением устойчивости положения на основе уменьшения влияния квалификации водителя на процесс управления и использования результатов мониторинга технического состояния, являются актуальными.

### Анализ последних достижений и публикаций

Мировая статистика свидетельствует о том, что в большинстве дорожно-транспортных происшествий (ДТП) виноват водитель [1]. Большая часть нарушений, повлекших ДТП, вызвана пробелами в обучении водителей, незнанием ими своих профессиональных и психофизиологических возможностей. В проведенном исследовании [2] установлено, что в аграрном секторе Украины, где на транспортных работах эксплуатируется значительное количество шарнирно-сочлененных колесных машин, к наиболее значимым производственным опасностям относятся: нарушение правил дорожного движения – 13,3%, недостатки во время обучения безопасным приемам труда – 9,9%, алкогольное и наркотическое опьянение – 8,9%, нарушения трудовой и производственной дисциплины – 8,7% и другие.

Под надежностью водителя следует понимать, по аналогии с техническими системами, его способность в течение определенного промежутка времени работать без ДТП [1]. В настоящее время одним из основных параметров, характеризующих надежность водителя как элемента системы "водитель-машина-дорожные условия" является время реакции при аварийной ситуации. Взаимодействие элементов системы подробно рассмотрено в работе [3]. Поскольку физиологические способности человека ограничены, наиболее перспективным направлением является развитие элементов искусственного интеллекта на транспорте с целью обеспечения надежности колесных машин.

## Цель и постановка задачи

Целью работы является повышение надежности колесной машины на основе обеспечения устойчивости положения при использовании бортового средства контроля параметров ее движения и технического состояния (мобильного регистрационно-измерительного комплекса (МРИК) с элементами искусственного интеллекта).

Для достижения поставленной цели необходимо разработать:

- подходы к уменьшению влияния квалификации водителя на устойчивость положения;
- подходы к мониторингу технического состояния колесной машины;
- принцип работы регистрационно-измерительного комплекса с элементами искусственного интеллекта.

**Повышение надежности колесной машины обеспечением устойчивости положения.** Для повышения эксплуатационной надежности за счет снижения вероятности опрокидывания при движении колесной машины необходимо постоянно иметь своевременную объективную информацию о ее положении в пространстве, условиях движения и техническом состоянии. Причем при достижении предельных значений параметра устойчивости необходимо наличие средств сигнализации о возможности опрокидывания. В качестве параметра устойчивости возможно использование коэффициента динамической устойчивости  $K_{ДУ}$  [4], который определяется зависимостью

$$K_{ДУ} = \frac{\omega_{тек}}{\omega_{гран}} \quad (1)$$

где  $\omega_{тек}$  – текущее значение угловой скорости колесной машины в поперечной плоскости;  $\omega_{гран}$  – предельная по условию опрокидывания угловая скорость колесной машины в поперечной плоскости.

При  $K_{ДУ} < 1$  устойчивость положения обеспечивается. При достижении  $K_{ДУ} \geq 1$  существует реальная опасность опрокидывания, необходимо применять соответствующие меры для его предотвращения.

Разработанный мобильный регистрационно-измерительный комплекс (МРИК) [5] с программным продуктом DPSAV (Dynamic Position Stability of Articulated Vehicles) (рис. 1), адаптированный для оценки устойчивости положения, позволяет оценить и повысить надежность водителя во время выполнения транспортных операций в процессе реальной эксплуатации. Предложенный подход отличается от существующих методов решения подобных задач оценкой текущих параметров устойчивости положения как в режиме реального времени, так и при анализе собранных массивов информации.

На рисунке 2 представлена блок-схема метода оценки и повышения надежности водителя при обеспечении безопасности использования на примере шарнирно-сочлененной машины в различных условиях эксплуатации [6].

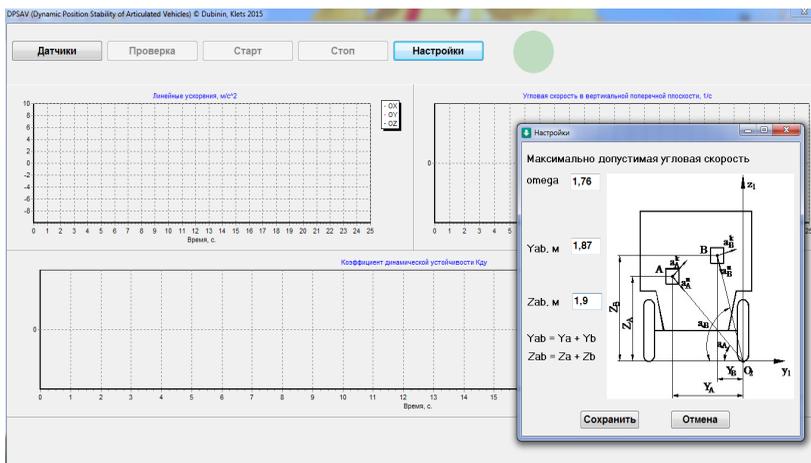


Рис.1. Внешний вид экранной формы программы DPSAV с окном настроек

Исходя из того, что у водителей отношение и мотивация к выполнению транспортных операций с соблюдением требований по безопасности могут быть различными, основной эффект для повышения устойчивости положения может быть получен за счет улучшения информативности и обеспечения корректирующих воздействий в процессе движения при помощи МРИК. Все выходы контролируемого параметра за пределы зон записываются в память МРИК. Предельные значения зон выбраны с учетом существующих наработок по установлению критерия боковой устойчивости [7] и времени реакции водителя [8].

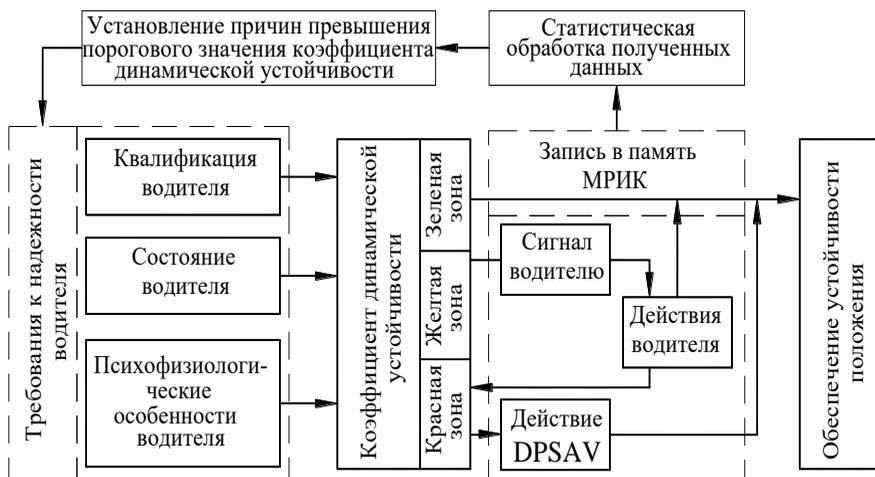
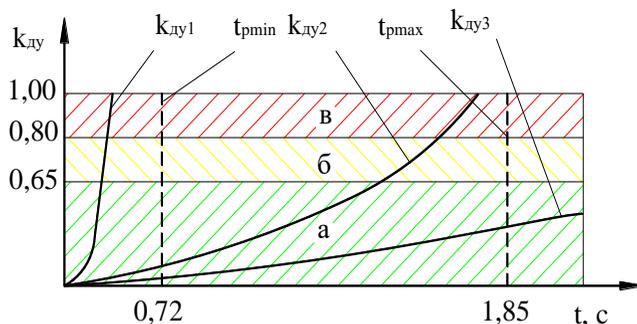


Рис.2. Схема оценки и повышения надежности водителя как элемента системы "водитель-машина-дорожные условия"

Схема взаимодействия водителя с системой, с учетом его времени реакции  $t_p$  на аварийную ситуацию, представлена на рисунке 3.



а – "зеленая зона"; б – "желтая зона"; в – "красная зона"

**Рис.3. Взаимодействие водителя с системой обеспечения динамической устойчивости при сложной задаче и неблагоприятных условиях работы**

При высокой интенсивности возрастания коэффициента динамической устойчивости  $K_{дл1}$ , например при значительной скорости движения, не соответствующей дорожным условиям, водителю недостаточно профессиональных качеств и реакции для управления процессом стабилизации машины. В этом случае функцию стабилизации машины должен выполнить мобильный регистрационно-измерительный комплекс. Статистическая обработка результатов может дать полную картину на любом промежутке времени эксплуатации относительно выполнения требований к безопасности использования шарнирно-сочлененных машин как в единичном случае, так и в случае использования парка машин. При частых выходах в "желтую зону" возникают вопросы к организации процесса перевозок (маршрут, дорожные условия и так далее). При многократном выходе параметра в "красную зону" возникают вопросы к надежности данного водителя как элемента системы "водитель-машина-дорожные условия".

Как показывают проведенные ранее исследования [4–8], в настоящее время основной упор для систем обеспечения устойчивости положения делается на системы контроля параметров движения и информирования водителя. Для исключения водителя из процесса управления при возникновении аварийных ситуаций необходимо передавать интеллектуальной электронной бортовой системе функции коррекции его действий и включения модуля автоматического управления. Это возможно только лишь при наличии достоверной информации о возможности опрокидывания колесной машины и соответствующем техническом состоянии ее элементов и систем, задействованных в процессе предотвращения аварийной ситуации.

Предложена структурная схема обеспечения надежности эксплуатации колесной машины, основанная на снижении влияния квалификации водителя как элемента системы "водитель-машина-дорожные условия" на ее устойчивость положения с учетом результатов мониторинга технического состояния (рис. 4).



**Рис.5. Структурная схема обеспечения надежности эксплуатации колесной машины**

MРИК и система мониторинга технического состояния будут усовершенствованы на основе учета ранее полученных результатов по созданию перспективной интеллектуальной платформы в работе [9].

В результате проведенных исследований [9] определены атрибуты инноваций (основные компоненты; функции; уровень технизации и реализуемой стратегии, а также быстрдействие) (таблица 1). На основе проведенного анализа в работе предложена интеллектуальная платформа Vehicle Maneuver-ability Improvement System (VMIS). Реализация разработанной платформы возможна с помощью нечеткой логики управления и объектно-ориентированного программирования.

Таблица 1

**Анализ новейших систем управления маневренностью и устойчивостью колесных машин [9]**

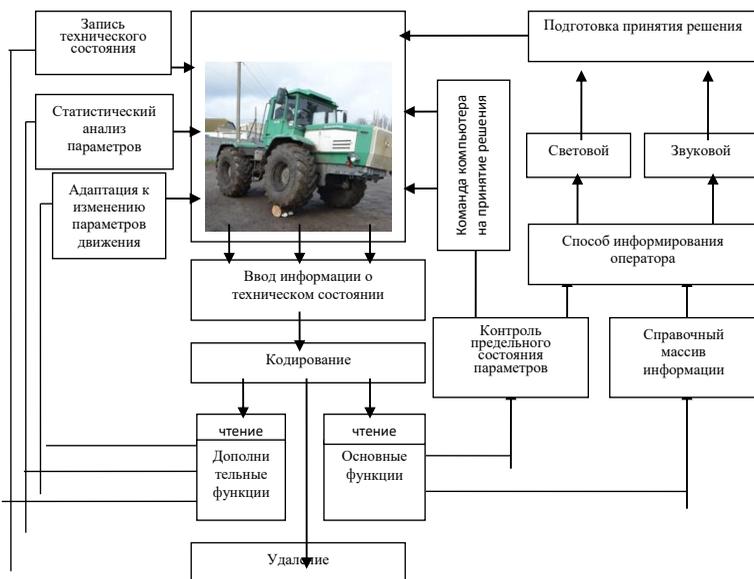
Атрибуты инноваций	Аналог I	Аналог II	Аналог III	Предлагаемая интеллектуальная платформа
Название системы	VDC; ESP	APIA	CAPS	VMIS
Производитель	Robert Bosch GmbH	Continental Automotive Systems	Robert Bosch GmbH	ХНАДУ
Год выпуска	1995	2005	2007	2018
Ориентировочная стоимость	111\$ + ABS	300\$ + ESP + Adaptive Cruise Control	около 30% стоимости автомобиля	версия CM - 30\$; версия PM - 30\$ + ESP + RAS

Основные компоненты		ABS (антиблокировочная система), ASR (система регулирования крутящего момента двигателя), ACR (система управления активной подвеской), APS (система контроля рулевого управления)	Адаптивный круиз-контроль; электронная система торможения; сенсорный кластер; трансмиттер; педаль акселератора с обратной связью; модули контроля двери, люка и сиденья; натяжитель ремня; датчик обнаружения препятствий и фронтального удара	Гидравлический модулятор давления; система контроля подушек безопасности; радар; видео-датчик; активное рулевое управление; система навигации; датчики систем активной безопасности	версия CM – 2 акселерометра;  версия PM – 2 акселерометра + ESP + RAS (Rear Active Steer)
Уровень технизации		Механизированный	Автоматизированный	Автоматизированный	Интеллектуализированный
Уровень реализуемой стратегии		1	2	2	4
Ф У Н К Ц И И	Основные	прогноз номинального поведения автомобиля; определение фактического поведения автомобиля	обнаружение препятствий; прогноз вероятности столкновения	обеспечение активной и пассивной безопасности, устойчивости и управляемости, предотвращение заноса на начальном этапе	определение дорожных, климатических и техногенных условий; предотвращение возникновения заноса (иммунитет автомобиля); контроль давления в шинах; обеспечение показателей маневренности автомобиля с учетом его технического состояния

	Вспомогательные	самодиагностика компонентов системы	обнаружение дорожных знаков, помощь при парковке	защита пешеходов, повышение комфорта, помощь при парковке, мониторинг слепых зон	самообучение системы; самодиагностика компонентов системы и показателей автомобиля; контроль микроклимата; регенерация энергии; взаимосвязь с другими участниками движения, в том числе автоматическая подача сигнала об опасном участке дороги или состоянии автомобиля другим участникам дорожного движения; защита от постороннего вмешательства в работу систем
	Управленческие	выработка управляющих сигналов - управление скольжением колес; управление боковым уводом колес	автоматическое торможение в случае определения неизбежной аварии, поддержка автомобиля в выбранной полосе движения, контроль рулевого управления	управление продольной, вертикальной и боковой динамикой автомобиля, автоматическое включение фар и стеклоочистителей	упреждающее управление (устойчивость против заноса); управление продольной, вертикальной и боковой динамикой автомобиля; адаптивный круиз-контроль
Быстродействие		до 100 изм./с	до 100 изм./с	до 100 изм./с	200 изм./с

Для обеспечения надежности эксплуатации также необходимо иметь информацию о неисправностях, возникающих при работе агрегатов и систем, участвующих в предотвращении возможных опрокидываний. Как коррекция действий водителя при возникновении опасных ситуаций, так и включение модуля автоматического управления при наличии достоверной информации об опасности опрокидывания возможны только лишь в случае соответствующего технического состояния таких агрегатов и систем.

Функциональная структура предлагаемой системы определена с учетом использования и развития накопленного опыта по сбору и учету статистической информации об отказах и неисправностях, специфики использования этой информации, требований директивных документов и перспектив совершенствования процесса эксплуатации техники по состоянию (рис. 6).



**Рис.6. Функциональная схема мониторинговой системы колесной машины**

Программное обеспечение системы содержит: набор основных программ, обеспечивающих ввод информации в память; формирование справочных массивов; поиск информации по любым реквизитам основной записи и их обработку; статистический анализ и выдачу результата; набор вспомогательных программ для контроля исходной информации, восстановления, корректировки и дублирования справочных массивов информации. Основная идея мониторинговых систем заключается в наблюдении и проверке соответствия уровня сигналов их эталонным аналогам, заложенным в память. Если уровень сигнала выходит за допустимые пределы, система трактует это как неисправность и заносит в память специальное сообщение.

Стандартизация бортовой диагностики позволила установить три основных критерия, которым должна удовлетворять информационная система:

- система должна быть унифицированной;
- о возникновении любых неисправностей, которые могут вызвать ухудшение работы, водитель должен быть извещен;
- информация о неисправности должна быть зафиксирована и сохранена в памяти с возможностью ее извлечения.

Во многих современных системах предусмотрена адаптация к изменению параметров движения. Для своей адаптации система постоянно следит за различными характеристиками и со временем вычисляет их средние значения. В зависимости от показаний датчиков система постоянно корректирует управляющие сигналы на исполнительные органы. Использование накопленной информации о средних значениях позволяет быстрее приспособиться практически к любым изменениям условий движения. По мере износа деталей средние значения параметров меняются и адаптивная система приспосабливается к новым условиям. Если адаптированный параметр выходит за допустимые пределы, появляется сигнал неисправности.

## Выводы

1. Обоснован подход к повышению надежности эксплуатации обеспечением устойчивости положения колесной машины с использованием измерительного комплекса с элементами искусственного интеллекта. Обобщены методы и принципы информационного обеспечения (мониторинга) и диагностирования колесных машин, что позволяет повысить их контролепригодность и создаёт предпосылку для повышения эксплуатационной надёжности.

2. Концепция интеллектуальной платформы для повышения надежности предполагает оценку параметров движения, технического состояния машины, а также дорожных, климатических и техногенных условий с помощью различных датчиков и обработку полученной информации в центральном блоке автоматического управления с целью выработки управляющих сигналов для различных функциональных подсистем колесной машины.

3. Предложенный подход позволяет, на основе использования интеллектуальной бортовой системы, снизить влияние квалификации водителя на устойчивость положения при движении колесной машины с учетом результатов мониторинга ее технического состояния.

## Список использованных источников

1. Венгеров И.А. Актуальные вопросы безопасности дорожного движения (повышение профессиональной надежности водителей) / И.А. Венгеров, А.А. Пинт. – М.: Знание, 1987. – 64 с.

2. Подобед І.М. Прогнозування виробничого травматизму в аграрному секторі економіки України: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Подобед Іван Мефодійович. – К., 2008. – 20 с.

3. Говорущенко Н.Я. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). Изд. 2, перераб. и дополн. / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Х.: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

4. Дубинин Е.А. Перспективный метод испытаний средств транспорта на устойчивость положения / Е.А. Дубинин, А.С. Полянский, В.В. Задорожня // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. праць. – Х., 2015. – Вип. 156. – С. 553-559.

5. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М.А., Коробко А.І., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. – № u201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

6. Дубинин Е.А. Фактор надежности водителя как элемента системы "водитель-машина-дорожные условия" в обеспечении устойчивости положения колесной машины / Е.А. Дубинин // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: науковий журнал. – Харків, 2016. – №5. – С. 64-69.

7. Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/ Add.8 – [Введены в Глобальный регистр. 2008-06-26] – Женева: Глобальный регистр. Организация объединённых наций, 2008. – 116 с.

8. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда / Ротенберг Р.В. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.

9. Клец Д.М. Научные основы системного обеспечения маневренности автомобиля с применением новых принципов действия и элементов искусственного интеллекта / Д.М. Клец // Сборник научных трудов ПолНТУ. – 2013. – № 1 (36). – С. 113 – 123.

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОЛІСНИХ МАШИН ВДОСКОНАЛЕННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ БОРТОВИХ СИСТЕМ

Дубінін Є., Клец Д., Полянський О., Холодов А.

*Обґрунтовано підхід до підвищення надійності експлуатації колісної машини на основі забезпечення її стійкості положення за рахунок застосування інтелектуальної бортової системи. Як параметр стійкості запропоновано використання коефіцієнта динамічної стійкості. Розроблено схему забезпечення надійності експлуатації колісної машини, засновану на зниженні впливу кваліфікації водія на її стійкість положення з урахуванням результатів моніторингу технічного стану. Оцінювання параметрів виконується мобільним реєстраційно-вимірювальним комплексом з елементами штучного інтелекту. Результати дослідження можуть бути використані при виробництві та експлуатації колісних машин.*

**Ключові слова:** надійність експлуатації, стійкість положення, водій, моніторинг, колісна машина.

### Abstract

## IMPROVING THE RELIABILITY OF WHEELED MACHINES BY IMPROVEMENT OF INTELLECTUAL ONBOARD SYSTEMS

Y.Dubinin, D.Klets, A.Polyanskyi, A.Kholodov

*The approach to improving the reliability of operation of the wheeled vehicle on the basis of ensuring its stability by using an intelligent onboard system is substantiated. The use of the dynamic stability coefficient is proposed as a stability parameter. The scheme has been developed to ensure the reliability of the wheeled vehicle operation, based on reducing the influence of driver qualifications on its stability, taking into account the results of monitoring the technical condition. Parameter estimation is performed by a mobile registration-measuring complex with elements of artificial intelligence. The results of the study can be used in the production and operation of wheeled vehicles.*

**Keywords:** reliability of operation, stability, driver, monitoring, wheeled vehicle.