

*Дубинин Е.А., к.т.н., доцент
Полянский А.С., д.т.н., профессор
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Клец Д.М., д.т.н., профессор
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»
Задорожня В.В., к.т.н., доцент
Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства им. П. Василенко*

КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЁСНЫХ МАШИН

Разработана концепция обеспечения устойчивости положения колёсных машин на различных этапах жизненного цикла. Определена структура её основных составляющих на основе современных подходов обеспечения безопасности использования колёсных машин. Разработан подход к обеспечению устойчивости шарнирно-сочленённых колёсных машин на основе использования прибора для контроля углов наклона и мобильного регистрационно-измерительного комплекса с соответствующим программным обеспечением SPSAV и DPSAV. Полученные результаты могут быть рекомендованы специалистам для использования при проектировании, производстве, сертификации и эксплуатации колёсных машин.

Ключевые слова: концепция, устойчивость положения, колёсная машина, встроенное средство контроля, программа.

*Дубінін Є.О., к.т.н., доцент
Полянський О.С., д.т.н., професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Клец Д.М., д.т.н., професор
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Задорожня В.В., к.т.н., доцент
Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка*

КОНЦЕПЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОЛОЖЕННЯ КОЛІСНИХ МАШИН

Розроблено концепцію забезпечення стійкості положення колісних машин на різних етапах життєвого циклу. Визначено структуру її основних складових на основі сучасних підходів забезпечення безпеки використання колісних машин. Розроблено підхід до забезпечення стійкості шарнірно-зчленованих колісних машин на основі використання приладу для контролю кутів нахилу і мобільного реєстраційно-вимірального комплексу з відповідним програмним забезпеченням SPSAV і DPSAV. Отримані результати можуть бути рекомендовані фахівцям для використання при проектуванні, виробництві, сертифікації та експлуатації колісних машин.

Ключові слова: концепція, стійкість положення, колісна машина, вбудований засіб контролю, програма.

*Dubinina Ye., PhD, Associate Professor
Polianskyi A., ScD, Professor
Kharkiv National Automobile and Highway University
Klets D., ScD, Professor
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
Zadorozhniaya V., PhD, Associate Professor
Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*

THE CONCEPT OF WHEELED VEHICLES POSITION STABILITY PROVISION

The concept of wheeled vehicles position stability provision on the different stages of the life cycle is developed. The structure of the main components on the basis of modern approaches to ensure the safe use of wheeled vehicles is defined. The structure includes:

– at the design stage: the definition of position stability, the development of theoretical principles on the basis of modern approaches and methods to improve the accuracy of its estimation and forecasting, the creation of structures with a high position stability and the onboard means of its control, taking into account domestic and foreign experience;

– during production: technological support of vehicles systems and components manufacturing quality, which directly influence on the stability (braking system, steering system, suspension and so on), the production of advanced onboard means of control, development of new and improvement of existing methods of test wheel machines for stability;

– at the operation stage: improvement of the approaches to the system «driver-vehicle-road conditions» in the form of compliance with conditions and rules of vehicles operation on slopes, ensuring the required level of control of units and systems technical condition, as well as the condition of the driver affecting the stability.

At the system approach to the formation and provide the vehicles stability it is necessary to solve three main tasks: to elaborate and to establish in the form of a standard required stability level; to minimize the cost of time and money for design, manufacture and operation of vehicle with the required level of stability; to provide the necessary organizational activities to ensure standards of stability in operation.

During the stages of the machines life cycle the formation and support of position stability system of parameters is going, which is defined as a standard for performance when operating to ensure safety of use. Regulatory framework of the machines stability parameters is structured by stages of the life cycle.

The principles of concept development in the design, manufacture and operation are based on a systematic, integrated approach that includes development of onboard mean of control.

The approach to provide articulated wheeled vehicles stability on the basis of use of the device to control the tilt angles and mobile registration-measuring system with appropriate software SPSAV and DPSAV is developed. Operational tests of articulated wheel tractors with nominal pulling force 30 and 40 kN confirmed the required accuracy of the estimation and the performance of the proposed equipment and software to ensure the position stability at movement in heavy road conditions.

The obtained results can be recommended to specialists for use in the design, production, certification and operation of wheel machines.

Keywords: *concept, position stability, vehicle, onboard mean of control, program.*

Введение. Обеспечение безопасности использования колёсных средств транспорта в настоящее время требует иных подходов к оценке, обеспечению и повышению показателей их эксплуатационных свойств, одним из которых является устойчивость положения колёсных машин, которое зависит от детерминированных и изменяющихся во времени факторов. Концепция обеспечения требуемого уровня устойчивости положения колёсных машин должна определять стратегию соответствующих действий на различных этапах их жизненного цикла. В настоящее время комплексный подход к формированию устойчивости положения обозначен не в полной мере, что позволяет говорить об актуальности разработки концепции обеспечения этого эксплуатационного свойства.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Решение вопросов обеспечения устойчивости положения средств транспорта во многом зависит от того, как учитываются требования к применению важнейшего принципа её оценки – комплексного и системного подходов [1 – 4]. Это обусловлено высокой степенью взаимосвязи факторов, влияющих на указанное эксплуатационное свойство, и вызывает необходимость совершенствования самой концепции обеспечения устойчивости: повышать точность оценки и прогнозирования на стадии проектирования, улучшать качество изготовления на стадии производства и соблюдать правила безопасности использования на стадии эксплуатации.

Вопросам оценки и обеспечения устойчивости положения колёсных машин посвящён ряд работ [5 – 9]. В настоящее время основное внимание уделяется созданию конструкций машин с высокими эксплуатационными свойствами. В работах [10 – 14] предлагается применение специальных бортовых систем и устройств, уменьшающих возможность возникновения аварийных ситуаций, в том числе связанных с опрокидыванием в тяжёлых дорожных условиях. Оценке влияния человеческого фактора на безопасность использования машин посвящены работы [15, 16].

Основная сложность при исследовании устойчивости положения колёсных машин заключается в том, что необходимо иметь такие методы расчёта и источники информации об изменении параметров машины, которые позволили бы прогнозировать поведение машины в различных условиях эксплуатации, предупреждая аварийные ситуации.

Концепция обеспечения устойчивости положения должна базироваться на фундаментальной науке, разделы и теоретические разработки которой позволяют решить поставленные задачи. Особое значение имеет вопрос применения математического аппарата и использование уже разработанных методов, позволяющих осуществить оценку и прогнозирование устойчивости. Математика является средством исследования. Во главе всегда должна быть инженерная проблема и для её решения должен привлекаться тот научный аппарат, который ближе всего соответствует природе изучаемого явления [3]. При решении отдельных задач возможно использование современных математических методов решения дифференциальных уравнений, энергетического и вероятностного методов, современного метода парциальных ускорений, частотного метода оценки устойчивости динамических систем. При экспериментальных исследованиях могут быть использованы методы натуральных испытаний, электрического измерения неэлектрических величин, теории вероятности, математической статистики и имитационного моделирования.

Любая машина, выполняя заданные функции, находится под воздействием окружающей среды и управляющих воздействий человека. При этом возникают разнообразные причинно-следственные связи. Воздействуя на машину, они вызывают в ней обратимые и необратимые процессы, изменяющие первоначально заложенные характеристики. Поэтому необходимо изучать источники и причины воздействий на

машину при её эксплуатации, исследовать физическую сущность процессов, снижающих устойчивость положения машины, и на основании этого создавать такие системы, которые могли бы в течение заданного времени выполнять свои функции для обеспечения безопасности использования.

Выделение не решённой ранее части общей проблемы. В настоящее время отсутствует концепция обеспечения устойчивости положения колёсных машин, позволяющая установить нормативную базу её параметров на этапах жизненного цикла, основанная на современном подходе с использованием встроенных средств контроля с соответствующим программным обеспечением.

Постановка задач. Целью работы является повышение устойчивости положения колёсных шарнирно-сочленённых машин с использованием соответствующей концепции. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать концепцию обеспечения устойчивости положения колёсных машин на этапах проектирования, производства и эксплуатации;

– на основе использования встроенных средств контроля с соответствующим программным обеспечением разработать подход к обеспечению устойчивости на примере шарнирно-сочленённых колёсных машин.

Основной материал и результаты. Практическая реализация основных принципов комплексного подхода при обеспечении устойчивости положения на этапах жизненного цикла должна базироваться на последовательном решении ряда вопросов. Прежде всего необходимо определить причины низкой устойчивости на каждом этапе и насколько полно учтён в этом анализе зарубежный опыт проектирования, производства и эксплуатации подобных машин. Очень важно на этом этапе рассмотреть как можно больше альтернативных вариантов решения проблемы. При системном подходе к формированию и обеспечению устойчивости средств транспорта необходимо решить три основные задачи: обосновать и установить в виде норматива требуемый уровень устойчивости; минимизировать затраты времени и средств на проектирование, производство и эксплуатацию машин с требуемым уровнем устойчивости; обеспечить необходимые организационные мероприятия по выполнению нормативов устойчивости в эксплуатации.

Таким образом, концепция обеспечения устойчивости положения колёсных машин строится на основе комплексного подхода, который включает в себя:

– на стадии проектирования: определение понятия устойчивости положения, разработку теоретических основ на базе современных подходов и методов для повышения точности её оценки и прогнозирования, создание конструкций с высокой устойчивостью положения и встроенных средств её контроля (ВСК) с учётом отечественного и зарубежного опыта;

– на стадии производства: технологическое обеспечение качества изготовления систем и агрегатов машин, которые непосредственно влияют на устойчивость (тормозная система, рулевое управление, ходовая система и так далее), производство перспективных встроенных средств контроля, разработка новых и совершенствование существующих методов испытаний колёсных машин на устойчивость;

– на стадии эксплуатации: совершенствование подходов к системе «водитель – машина – дорожные условия» в виде соблюдения условий и правил эксплуатации машин на уклонах, обеспечение требуемого уровня контроля технического состояния агрегатов и систем, а также состояния водителя, влияющих на устойчивость.

При этом на протяжении этапов жизненного цикла машины идёт формирование и обоснование системы параметров устойчивости положения, которые задаются как норматив для выполнения при эксплуатации с целью обеспечения безопасности

использования, как показано на рисунке 1. Нормативная база параметров устойчивости машины структурирована по этапам жизненного цикла. На этапе проектирования обоснование нормативов достижимых параметров устойчивости выполняется с учётом точности оценки, влияния элементов конструкции и встроенных средств контроля. На этапе производства нормативы этих параметров обеспечиваются путём повышения качества изготовления машины, применением ВСК и современных методов испытаний. В эксплуатации их поддержание обеспечивается за счёт соблюдения скоростного режима при работе на уклонах, контроля технического состояния машины и состояния водителя.

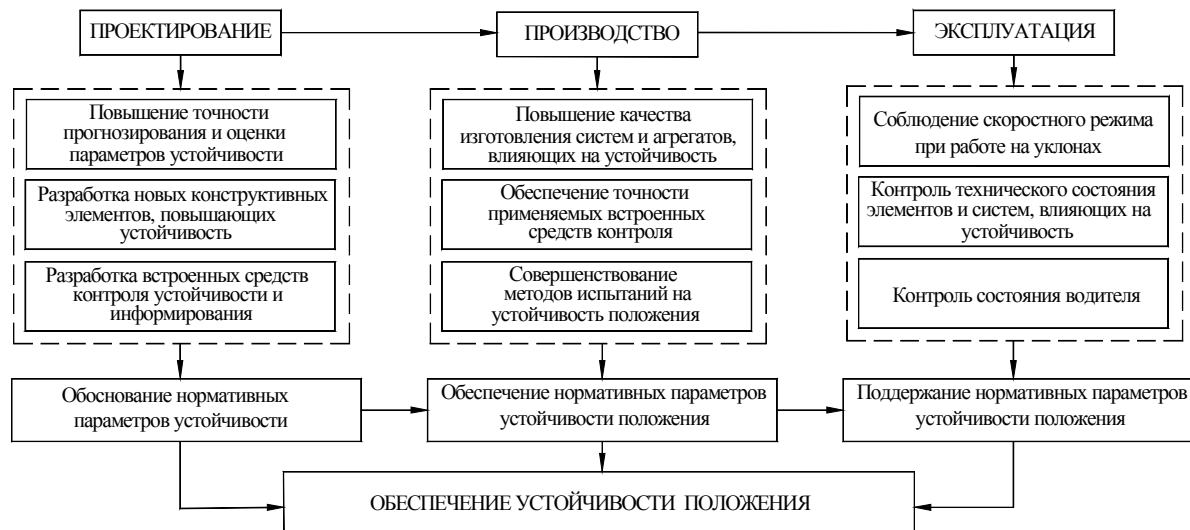


Рисунок 1 – Концепция обеспечения устойчивости положения как сложного эксплуатационного свойства

Принципы разработки концепции при проектировании, производстве и эксплуатации основаны на системном, комплексном подходе, включающем создание встроенного средства контроля. Современные колёсные машины оснащены различными ВСК, в том числе и бортовыми компьютерами. С их помощью водитель в режиме реального времени может отслеживать большое количество параметров работы. Такие системы должны удовлетворять требования по надёжности и достоверности отображаемой информации, обладать высокой эргономичностью при работе с ними. Немаловажной для конечного потребителя этих машин является величина затрат на установку и обслуживание систем, необходимость достаточной квалификации водителей при работе с ними. При этом современная система должна быть достаточно простой в эксплуатации, дешёвой и надёжной.

В настоящее время недостаточно внимания уделяется изучению проблемы обеспечения устойчивости положения отечественных и зарубежных машин, особенно с шарнирно-сочленённой рамой. При этом они оборудованы бортовыми информационными системами, которые контролируют до 200 параметров [4], среди которых имеются приборы и системы, обеспечивающие безопасную эксплуатацию.

Для оценки динамических характеристик мобильных машин творческим коллективом разработан мобильный регистрационно-измерительный комплекс (МРИК) [17] с датчиками линейных ускорений ММА7260QT [18]. Он позволяет определять большое количество параметров на принципиально новой основе – с использованием метода парциальных ускорений. Основные параметры представлены в таблице 1 [19].

Таблица 1 – Параметры мобильных машин, определяемые с помощью МРИК

Определение параметров сопротивления движению	Суммарная сила сопротивления качению колёс; сила сопротивления воздуха; суммарный коэффициент дорожного сопротивления; фактор обтекаемости
Оценка устойчивости	Продольные ускорения колёсных машин; боковые ускорения колёсных машин; вертикальные ускорения колёсных машин; линейная скорость
Оценка управляемости	Параметры манёвренности; угловые скорости; угловые ускорения; мгновенные радиусы поворота
Определение тягово-скоростных характеристик	Тяговая сила на колёсах в режиме реального времени; мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления движению автомобиля
Определение мощностных показателей	Свободная (используемая для разгона) мощность двигателя; мощность двигателя, затрачиваемая на движение
Определение мгновенного КПД	—

Для комплексной оценки и обеспечения устойчивости положения колёсных шарнирно-сочленённых машин в режиме реального времени возможно применение программы SPSAV (Static Position Stability of Articulated Vehicles), представленной на рис. 2,а, и прибора контроля статических углов наклона (рис. 2,б) [20], а также МРИК, (рис. 2,в), с соответствующим программным обеспечением DPSAV (Dynamic Position Stability of Articulated Vehicles), представленным на рис. 2,г.

а)

Ввод исходных данных:

Колеса B, м	1.90	Расстояние от передней оси до центра L1, м	1.48
Высота центра масс Hc1, м	1.94	Расстояние от задней оси до центра L2, м	1.48
Высота центра масс Hc2, м	0.76	Расстояние от центра масс задней оси до центра L2, м	1.05
Угол поворота δ1, град	180	Расстояние от центра масс задней оси до центра L2, м	1.1
Угол поворота δ2, град	150		
Диаметр колеса стального A ст, м	1.2		
Диаметр колеса стального B ст, м	1.4		

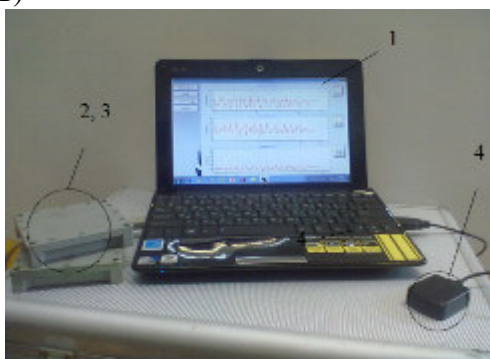
Результаты расчётов:

Угол поперечной статической устойчивости передней осью δ1, град	32
Угол поперечной статической устойчивости задней осью δ2, град	48

б)



в)



г)

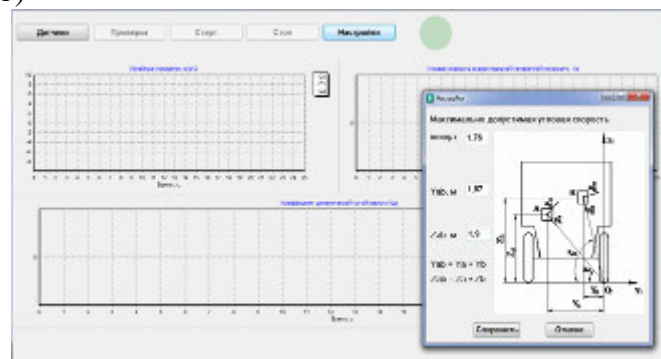


Рисунок 2 – Средства контроля и обеспечения устойчивости положения

Реализация предложенной концепции обеспечения устойчивости положения с использованием специализированных ВСК с соответствующим программным обеспечением приведена в виде блок-схемы на рисунке 3.

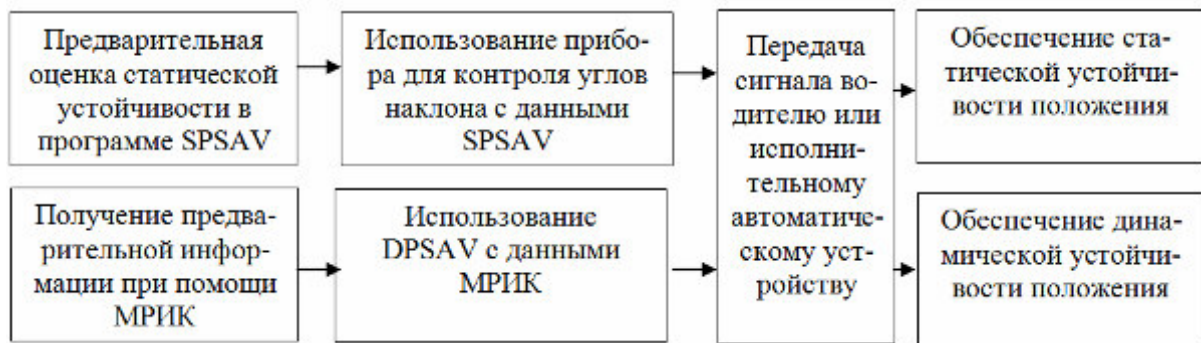


Рисунок 3 – Реализация концепции обеспечения устойчивости положения колёсных машин

Эксплуатационные испытания шарнирно-сочленённых колёсных тракторов с номинальными тяговыми усилиями 30 и 40 кН подтвердили необходимую точность оценки и быстродействие предложенных приборов и программного обеспечения для контроля и обеспечения устойчивости положения во время движения в тяжёлых дорожных условиях. При этом максимальная погрешность определения параметров мобильных машин не превышала 4 %.

Выводы:

1. Разработана концепция обеспечения устойчивости положения колёсных машин, позволяющая установить нормативную базу её параметров на этапах жизненного цикла: на этапе проектирования – с учётом точности прогнозирования и оценки, влияния элементов конструкции и наличия ВСК; на этапе производства – с учётом качества изготовления машины, точности ВСК и современных методов испытаний; в эксплуатации – с учётом режимов работы, технического состояния машины и состояния водителя.

2. Разработан подход к обеспечению устойчивости положения колёсных машин на основе использования ВСК в виде прибора для контроля углов наклона и мобильного регистрационно-измерительного комплекса с соответствующим программным обеспечением SPSAV и DPSAV. Максимальная погрешность определения параметров мобильных машин не превышает 4 %.

Литература

1. Беленький П. Е. Метод системного анализа в организации производственных процессов / П. Е. Беленький. – М. : Экономика, 1972. – 151 с.
2. Ковалёва Л. Н. Многофакторное прогнозирование на основе рядов динамики / Л. Н. Ковалёва. – М. : Статистика, 1980. – 102 с.
3. Флейшман Б. С. Основы системологии / Б. С. Флейшман. – М. : Радио и связь, 1982. – 368 с.
4. Полянский А. С. Формирование свойств надёжности автотракторных двигателей в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации: дис. д-ра техн. наук: 05.22.20 / Полянский Александр Сергеевич. – Харьков, 2004. – 381 с.
5. Джонс И. С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия / И. С. Джонс; пер. с англ. С. Р. Майзельса под ред. Р. В. Ротенберга. – М. : Машиностроение, 1979. – 208 с.

6. Кулько П. А. Прогнозирование показателей поперечной устойчивости автомобилей на поворотах / П. А. Кулько, А. П. Кулько, Т. А. Галицина // Известия ВолгГТУ. – 2010. – № 3 (10). – С. 58 – 61.
7. Поспелов Ю. А. Устойчивость трактора / Ю. А. Поспелов – М. : Машиностроение, 1966. – 247 с.
8. Мамити Г. И. Совершенствование расчёта устойчивости трициклов / Г. И. Мамити, С. Х. Плиев, В. Б. Тедеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2014. – № 11. – С. 25 – 29.
9. Задорожня В. В. Підвищення безпеки використання колісних машин при виконанні транспортних робіт на поперечному схилі: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / В. В. Задорожня. – Харків, 2014. – 20 с.
10. Амельченко П. А. Анализ и оптимизация систем стабилизации склоноходов / П. А. Амельченко, Г. А. Ломако, Р. И. Фурунжиев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 11. – С. 16 – 18.
11. Калашиян Р. Т. Изыскание и исследование противоопрокидывающего устройства для повышения устойчивости тракторных сельскохозяйственных агрегатов при работе на склонах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Р. Т. Калашиян. – Ереван, 1979. – 23 с.
12. Poongodi P. Automatic Safety System for Automobiles / P. Poongodi, P. Dineshkumar // International Journal of Technological Exploration and Learning. – 2013. – Vol. 2, Iss.6. – P. 331 – 333.
13. Active control of quarter-car suspension system using linear quadratic regulator / V. M. Nandedkar, K. R. Borole, G. J. Vikhe, M. P. Nagarkar // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 2011. – Vol. 3. – P. 364 – 372.
14. Ягубов В. Ф. Принципы построения бортовых информационно-управляющих систем колёсных и гусеничных машин / В. Ф. Ягубов, А. Г. Стрелков, А. Н. Шапкин // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М., 2009. – С. 525 – 534.
15. Венгеров И. А. Актуальные вопросы безопасности дорожного движения (повышение профессиональной надёжности водителей) / И. А. Венгеров, А. А. Пинт. – М. : Знание, 1987. – 64 с.
16. Park K. S. Human reliability with probabilistic learning in discrete and continuous conceptualization and modeling / K. S. Park // Microelectron and Reliability. – 1985. – № 1. – P. 157 – 166.
17. 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 ХНАДУ. – № u201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
18. MMA7260QT. $\pm 1.5g - 6g$ Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer / Technical Data. – Freescale Semiconductor. – 2008. – 12 p.
19. Метод парциальных ускорений и его приложение в динамике мобильных машин / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало, А. С. Полянский, Д. М. Клец, А. И. Коробко, В. В. Задорожня; под. ред. М. А. Подригало. – Х. : Міськдрук, 2012. – 220 с.
20. Повышение безопасности выполнения транспортных работ колёсными средствами транспорта / А. С. Полянский, Д. М. Клец, Е. А. Дубинин, В. В. Задорожня, Н. М. Кириенко // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow : Polish Academy of Sciences, 2014. – Vol. 16, No. 7. – P. 125 – 130.

© Дубинин Е.А., Полянский А.С., Клец Д.М., Задорожня В.В.
Надійшла до редакції 25.11.2015 р.