

УДК 629.017

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ КОЛЕСНЫХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Е.А. Дубинин, доц., к.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Выполнена экспериментальная оценка параметра устойчивости положения шарнирно-сочлененных колесных средств транспорта при их работе в различных дорожных условиях с использованием мобильного регистрационно-измерительного комплекса. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых и модернизации находящихся в эксплуатации шарнирно-сочлененных машин для повышения безопасности их движения.

*Ключевые слова:* средство транспорта, шарнирно-сочлененный, параметр устойчивости положения, безопасность движения.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПОЛОЖЕННЯ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНИХ КОЛІСНИХ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Є.О. Дубінін, доц., к.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Виконано експериментальну оцінку параметра стійкості положення шарнірно-зчленованих колісних засобів транспорту при їх роботі в різних дорожніх умовах з використанням мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових шарнірно-зчленованих машин і модернізації таких, що знаходяться в експлуатації, для підвищення безпеки їх руху.

*Ключові слова:* засіб транспорту, шарнірно-зчленований, параметр стійкості положення, безпека руху.

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF ARTICULATED WHEELED VEHICLES POSITION STABILITY

Ye. Dubinin, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),

Kharkov National Automobile and Highway University

*Abstract.* With introducing a mobile measurement system with linear acceleration sensors there was experimentally determined the parameter of position stability of the articulated wheeled vehicle on the example of HTA-200 «Slobozhanets». It was determined that the position stability was provided within the entire range of operating speeds and accelerations. The obtained results can be used to enhance the traffic safety of articulated vehicles.

*Key words:* vehicle, articulated, position stability parameter, traffic safety.

### Введение

Эксплуатация колесных шарнирно-сочлененных средств транспорта на уклонах и в условиях пересеченной местности сопряжена

с реальной опасностью опрокидывания при движении. Для оценки и предотвращения возможного опрокидывания в настоящее время разработаны различные конструктивные решения. При этом стоимость таких усо-

вершенствований конструкции или создания специальных машин достаточно высока.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является разработка специальных мобильных комплексов на современной электронной базе, позволяющих предупредить водителя о возможности опрокидывания или предотвратить аварийную ситуацию без его участия.

Для разработки таких систем необходим комплексный подход, позволяющий учесть особенности конструкции колесных машин, значения их параметров устойчивости положения. Поэтому исследования, направленные на оценку таких параметров экспериментальным путем, являются актуальными.

### Анализ публикаций

В настоящее время оценку статической устойчивости колесных машин проводят на специальных стендах [1]. Различные подходы к оценке как статической, так и динамической устойчивости средств транспорта, в том числе шарнирно-сочлененных, предложены в работах [2–5].

Предлагаемые подходы связаны с созданием и использованием специального оборудования, моделей и т.д. Проведение экспериментальных исследований возможно на основе использования мобильного регистрационно-измерительного комплекса [6, 7], адаптированного для оценки устойчивости положения.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является экспериментальная оценка параметра устойчивости положения шарнирно-сочлененных колесных средств транспорта при их работе в различных дорожных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо установить возникающие динамические возмущения, действующие на шарнирно-сочлененную машину при различных режимах работы.

### Экспериментальная оценка устойчивости положения шарнирно-сочлененных машин в различных дорожных условиях

В работе [8], с использованием метода парциальных ускорений, определены параметры сохранения динамической поперечной

устойчивости положения колесной машины при движении по поперечному уклону с учетом влияния жесткости подвески и приведенной жесткости системы «шины–грунт».

В процессе экспериментальных исследований осуществлялась проверка теоретических положений, определяющих влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на устойчивость положения шарнирно-сочлененной колесной машины на основе регистрации динамических возмущений при ее движении.

Экспериментальные исследования проводились на шарнирно-сочлененном колесном тракторе с номинальным тяговым усилием 35 кН ХТА-200 «Слобожанец» в стандартном исполнении с прицепом (рис. 1, а) и без прицепа (рис. 1, б). Выполнялась регистрация вертикальных, боковых и продольных линейных ускорений, действующих на шарнирно-сочлененный трактор и тракторный поезд при различных режимах движения в качестве технологического транспорта.

Агрегаты трансмиссии и ходовой части трактора перед началом испытаний были прогреты. Давление воздуха в шинах соответствовало инструкции по эксплуатации. Испытания проводились в различных дорожных условиях:

– на горизонтальном участке с существенными неровностями микропрофиля, движение с прицепом. Средняя скорость движения – 4,2 м/с, высота неровностей дорожного покрытия достигала 0,2 м, дорожные условия соответствовали обычным [9];

– на грунтовой дороге (пересеченная местность), движение без прицепа. Поперечные уклоны местности до  $9^{\circ}$  [10], средняя скорость движения – 4,2 м/с, высота неровностей дорожного покрытия достигала 0,3 м, дорожные условия соответствовали трудным и особо трудным [9].

В процессе движения трактора и тракторного поезда регистрировались следующие параметры: время движения, скорость движения, линейные ускорения по трем осям с четырех датчиков. Непрерывный процесс записи показаний датчиков ускорений осуществлялся с помощью специальной программы, которая позволяет одновременно регистрировать данные и сохранять их на жестком диске ПЭВМ, а также визуализировать процесс испытаний.



Рис. 1. Объекты для проведения экспериментальных исследований: а – тракторный поезд с двухосным прицепом (ХТА-200 «Слобожанец» + 2ПТС-4); б – шарнирно-сочлененный колесный трактор с номинальным тяговым усилием 35 кН ХТА-200 «Слобожанец»

Для регистрации данных при проведении экспериментальных исследований был применен мобильный регистрационно-измерительный комплекс, состоящий из трехкоординатных датчиков линейных ускорений Freescale Semiconductor модели MMA7260QT (табл. 1), а также ПЭВМ для снятия и архивации данных, разработанный творческим коллективом [6], и адаптированный для оценки устойчивости шарнирно-сочлененных машин (рис. 2).

Максимальная длина соединительного кабеля составила менее 7 метров, что позволяет

не учитывать погрешность при передаче сигнала [12]. По два датчика ускорений устанавливались на каждой полураме трактора ХТА-200 «Слобожанец» симметрично относительно их продольных осей. На рис. 3 представлены места и способ крепления датчиков линейных ускорений на передней и задней полурамах шарнирно-сочлененного трактора. При обработке сигналов датчиков, в соответствии с [13], был использован фильтр Баттерворта для снижения погрешностей измерений. Относительная погрешность измерения ускорений, с учетом погрешности установки датчиков, не превышала 3 %.

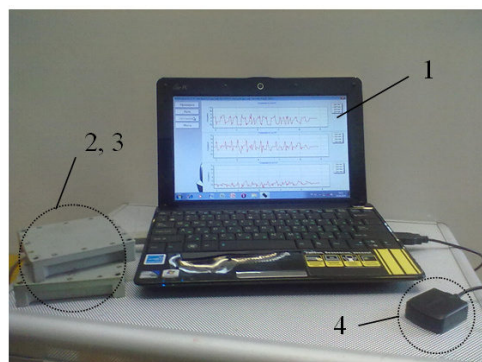


Рис. 2. Мобильный регистрационно-измерительный комплекс: 1 – ПК; 2, 3 – датчики ускорений; 4 – GPS-приемник

Таблица 1 Основные характеристики датчиков линейных ускорений Freescale Semiconductor MMA7260QT [11]

Параметр	Значение
Диапазон измерений, $\text{м/с}^2$	$\pm 14,7$
Интервал рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-40 \dots +105$
Рабочее напряжение, В	2,2–3,6
Частота снятия данных, $\text{с}^{-1}$	80
Погрешность измерений, не более, %	1

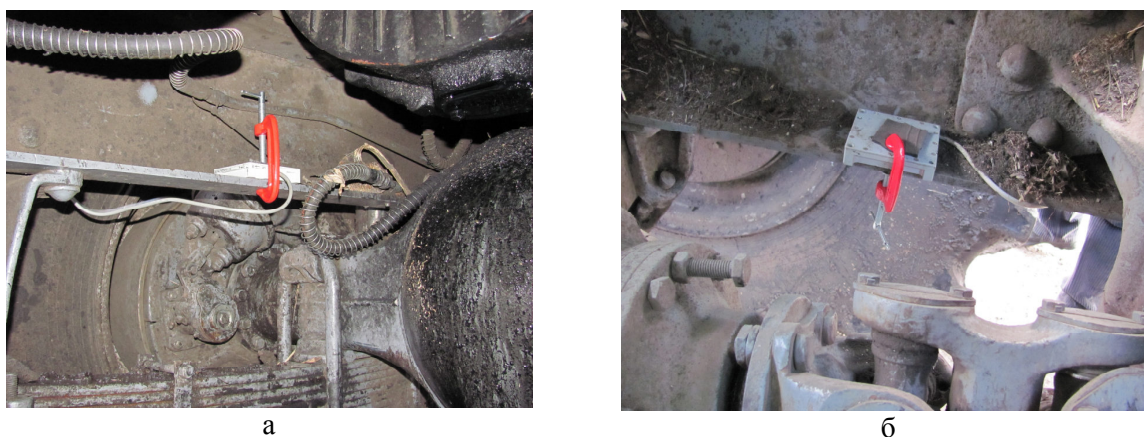


Рис. 3. Крепление трехкоординатных датчиков линейных ускорений на шарнирно-сочлененном тракторе ХТА-200 «Слобожанец»: а – крепление на передней полураме; б – крепление на задней полураме

На рис. 4 показаны вертикальные и боковые ускорения передней секции шарнирно-сочлененного трактора ХТА-200 «Слобожанец», возникающие в процессе движения с прицепом. Аналогично получены линейные ускорения передней и задней секций при движении трактора и тракторного поезда в

различных дорожных условиях, описанных выше. При помощи зависимости, полученной в работе [14], определены параметры устойчивости положения секций – угловые скорости в вертикальных плоскостях, перпендикулярных к опорной поверхности.

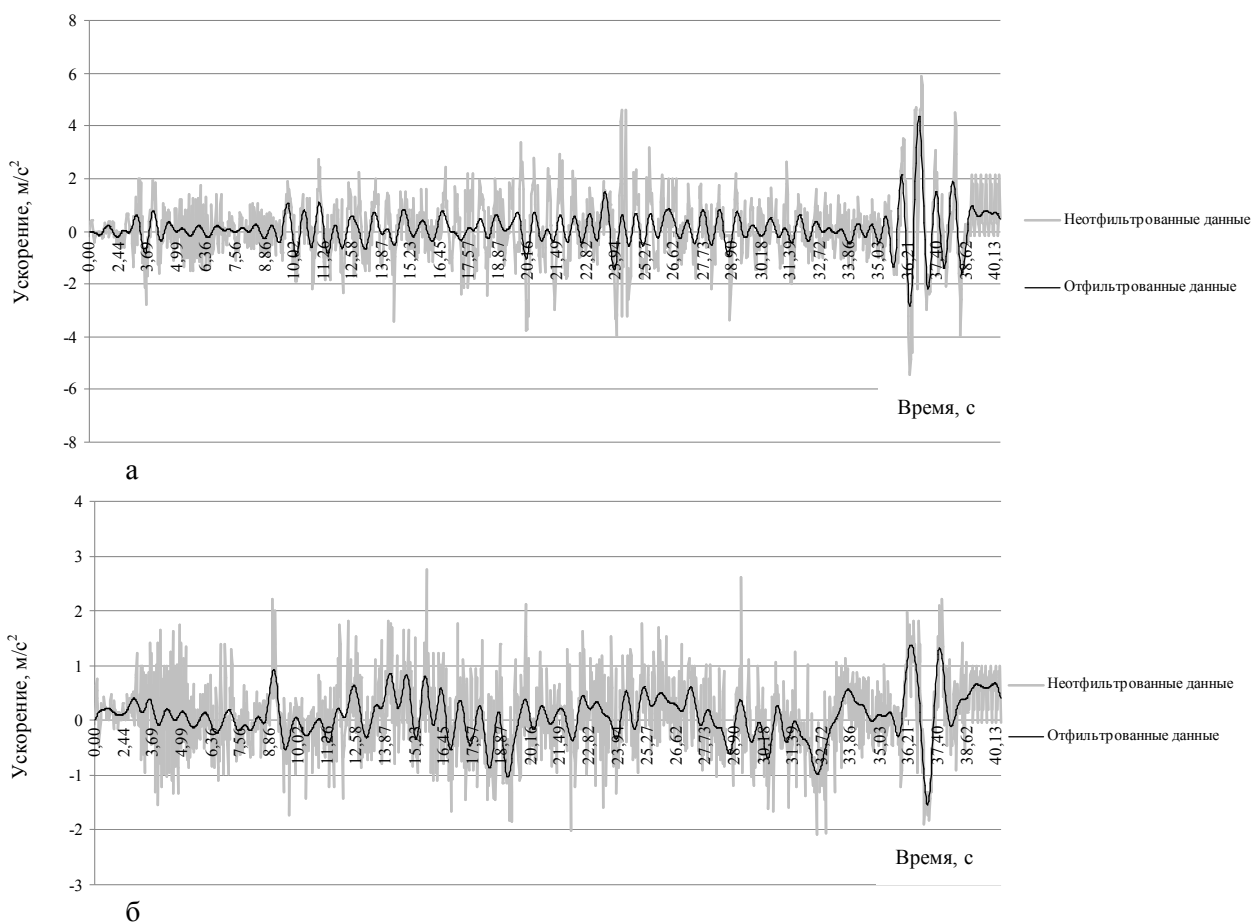


Рис. 4. Графики линейных ускорений передней секции шарнирно-сочлененного трактора ХТА-200 «Слобожанец»: а – вертикальные; б – боковые

Эти параметры сравнивались с предельно допустимыми угловыми скоростями, полученными в соответствии с результатами теоретических исследований [8] (для передней секции расчетные предельные значения при различных допустимых углах поперечных уклонов составили  $1,32-1,76 \text{ с}^{-1}$ , для задней секции –  $1,91-2,39 \text{ с}^{-1}$ ), и делался вывод о возможности возникновения опасной ситуации при движении средства транспорта.

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить динамические параметры устойчивости положения в виде угловых скоростей секций шарнирно-сочленен-

ного трактора ХТА-200 «Слобожанец» в различных условиях эксплуатации.

На рис. 5 представлены результаты исследований для движения с прицепом. Такие условия движения шарнирно-сочлененного колесного трактора являются наиболее типичными в реальной эксплуатации.

Определено, что устойчивость положения обеспечивалась на всем диапазоне рабочих скоростей и ускорений. Возникающие угловые скорости не превышали расчетные предельные значения (рис. 5).

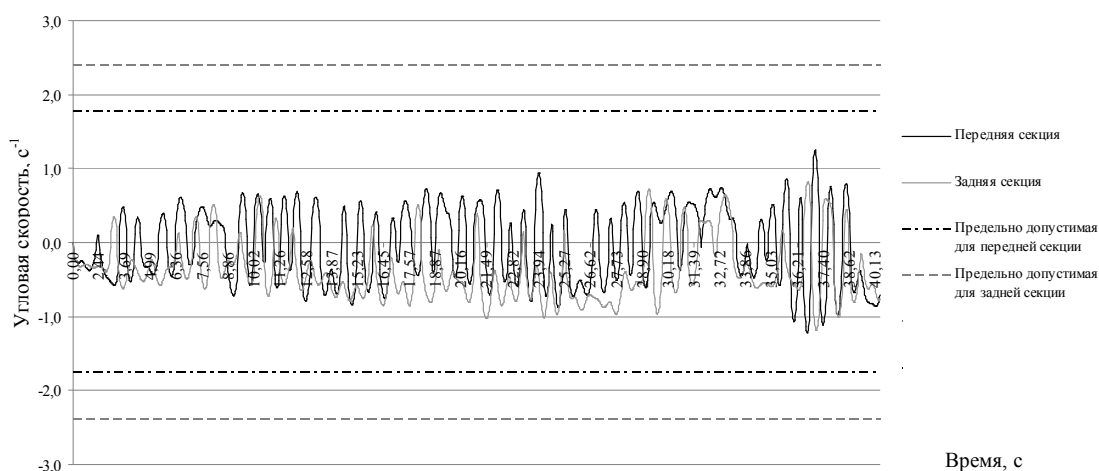


Рис. 5. График значений параметров устойчивости положения (угловых скоростей) секций шарнирно-сочлененного трактора ХТА-200 «Слобожанец» при движении с прицепом

Контроль предельных значений параметров динамической устойчивости положения (угловых скоростей секций) в режиме реального времени позволит информировать оператора звуковым или световым сигналом и своевременно снижать скорость движения средства транспорта вплоть до полной его остановки для предотвращения опрокидывания. Таким образом, повышение безопасности эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных тракторов возможно на основе применения адаптированного мобильно-регистрационного комплекса с датчиками линейных ускорений.

### Выводы

1. Установлено, что угловые скорости секций шарнирно-сочлененного колесного трактора ХТА-200 «Слобожанец» (в плоскостях, перпендикулярных к опорной поверхности), при работе в различных дорожных условиях, не

превышали предельные значения для передней секции  $1,32-1,76 \text{ с}^{-1}$ , для задней секции –  $1,91-2,39 \text{ с}^{-1}$ .

2. Контроль угловых скоростей в режиме реального времени позволит в ручном режиме или автоматически, с использованием бортовых систем, снижать скорость движения колесной машины вплоть до остановки, исключив возможность ее опрокидывания.

### Литература

1. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности: ГОСТ 12.2.002-91. ССБТ. – Введ. 1992-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 61 с.
2. Лілевман І. Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільськогосподарських машин методом фізичного моделювання / І. Лілев-

- ман, О. Лілевман, З. Терещук // Техніка і технології АПК: наук.-виробн. журнал. – 2010. – №5 (8). – С. 37–39.
3. Задорожня В.В. Підвищення безпеки використання колісних машин при виконанні транспортних робіт на поперечному схилі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / В.В. Задорожня. – Х., 2014. – 20 с.
  4. Боклаг В.М. Анализ общей устойчивости шарнирно-сочленённых колесных машин: автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук / В.М. Боклаг. – Х., 1964. – 21 с.
  5. Кальченко Б.И. Комплексная оценка динамической устойчивости и плавности хода колесных тракторов / Б.И. Кальченко, Н.М. Кириенко, Н.А. Дорошенко, Е.Н. Резников // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 7. – С. 6–10.
  6. 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.
  7. Клец Д.М. Разработка мобильного регистрационно-измерительного комплекса для проведения динамических испытаний колесных машин / Д.М. Клец // Вісник Національного транспортного університету: науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2012. – Вип. 25. – С. 234–241.
  8. Дубинин Е.А. Прогнозирование динамической устойчивости положения шарнирно-сочлененных средств транспорта методом парциальных ускорений / Е.А. Дубинин, А.С. Полянский // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета: сб. науч. трудов. – Симферополь: НИЦ КИПУ. – 2013. – Вып. 40. – С. 37–41.
  9. Павлов В.А. Транспортные прицепы и полуприцепы / В.А. Павлов, С.А. Муханов. – М.: Воениздат, 1981. – 191 с.
  10. Двали Р.Р. Механическая тяга в горной местности / Р.Р. Двали, В.В. Махалдиани. – М.: Наука, 1970. – 233 с.
  11. MMA7260QT. ±1,5g–6g Three Axis Lowg Micromachined Accelerometer / Technical Data. – Freescale Semiconductor. – 2008. – 12 p.
  12. Полянский А.С. Оценка влияния длины соединительных кабелей датчиков, температуры и вибрации на точность измерения ускорений / А.С. Полянский, Д.М. Клец, Е.А. Дубинин, Н.П. Артемов, В.Н. Плетнев, В.В. Задорожня // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – Вип. 15, Ч. 2. – С. 208–211.
  13. 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.
  14. Клец Д.М. Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений / Д.М. Клец, Е.А. Дубинин // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: зб. наук. пр. – 2014. – Вип. 151. – С. 373–378.

#### References

1. GOST 12.2.002-91. SSBT. *Tekhnika sel'skokhozyaistvennaya. Metody otsenki bezopasnosti* [State Standard 12.2.002-91. Agricultural engineering. Methods for safety assessing]. Moscow, Publ. of standards, 1991. 61 p.
2. Lilevman I., Lilevman O., Tereshchuk Z. *Vyznachennya hranychnoho kuta poperechnoyi statychnoyi stiykosti mobil'nykh sil'skohospodars'kykh mashyn metodom fizychnoho modelyu-vannya* [Determination of the limiting angle of the transverse static stability of mobile agricultural machines by physical modeling]. *Tekhnika i tekhnolohiyi APK: nauk.-vyrobn. zhurnal*, 2010, Vol. 5 (8). pp. 37–39.
3. Zadorozhnyja V.V. *Pidvishhennja bezpeki vikoristannja kolisnih mashin pri vikonanni transportnih robit na po-perechnomu shili*. Avtoreferat kand. tekhn. nauk [Improving the safety of wheeled vehicles in the performance of transportation work in cross slope. Cand. tech. sci. aref. of diss.]. Kharkiv, 2014. 20 p.

4. Boklag V.M. *Analiz obshchei ustoichivosti sharnirno-sochlenennykh kolesnykh mashin*. Avtoref. diss. na soisk. stepeni kand. tekhn. nauk [Analysis of the overall sustainability articulated wheeled vehicles. Cand. tech. sci. aref. of diss.]. Kharkov, 1964. 21 p.
5. Kal'chenko B.I., Kirienko N.M., Doroshenko N.A., Reznikov E.N. Kompleksnaya otsenka dinamicheskoi ustoichivosti i plavnosti khoda kolesnykh traktorov [Comprehensive assessment of wheel tractors dynamic stability and smooth running]. *Traktory i sel'skokhozmashiny*, 1987, Vol. 7. pp. 6–10.
6. Podryhalo M.A., Korobko A.I., Klets D.M., Fayst V.L. *Systema dlya vyznachennya parametriv rukhu avto-transportnykh zasobiv pry dynamichnykh (kvalimetrychnykh) vyprovuvannyakh* [System for determining the parameters of motor traffic in the dynamic (qualimetric) tests]. Patent Ukr. № 51031, 2010.
7. Klets D.M. Razrabotka mobil'nogo registratsionno-izmeritel'nogo kompleksa dlya provedeniya dinamicheskikh ispytaniy [Development of mobile registration measurement system for dynamic testing of wheeled vehicles]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk* [Proceedings of the National Transport University. Scientific and Technical Collection], 2012, Vol. 25. pp. 234–241.
8. Dubinin E.A., Polyanskii A.S. Prognozirovanie dinamicheskoy ustoichivosti polozheniya sharnirno-sochlenennykh sredstv transporta metodom partial'nykh uskorenij [Prediction of articulated vehicles dynamic stability by method of partial accelerations]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta: sb. nauch. trudov* [Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University: Collection of scientific works], 2013, Vol. 40. pp. 37–41.
9. Pavlov V.A., Mukhanov S.A. *Transportnye pritsepy i polupritsepy* [Transportation trailers]. Moscow, Voenizdat Publ., 1981. 191 p.
10. Dvali R.R., Makhaldiani V.V. *Mekhanicheskaya tyaga v gornoi mestnosti* (Mechanical traction in mountainous terrain). Moscow, Nauka Publ., 1970. 233 p.
11. MMA7260QT. ±1.5g-6g Three Axis Lowg Micromachined Accelerometer / Technical Data. Freescale Semiconductor. 2008. 12 p.
12. Polyanskii A.S., Klets D.M., Dubinin E.A., Artemov N.P., Pletnev V.N., Zadorozhnyaya V.V. Otsenka vliyaniya dliny soedinitel'nykh kabelej datchikov, temperatury i vibratsii na tochnost' izmereniya uskorenij [Assessment of effect of connecting cables length of sensors, temperature and vibration on the accuracy of accelerations measurement]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya* [Journal of East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2013, Vol. 15, P. 2. pp. 208–211.
13. ECE/TRANS/180/Add.8 Electronic stability control systems. Geneva, 2008. 116 p.
14. Klets D.M., Dubinin E.A. Metod opredele-niya parametrov dvizeniya sredstv transporta s pomoshch'yu datchikov uskorenij [Method of determination of vehicle motion parameters by means of acceleration sensors]. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Problemy nadiynosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsiyi sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva: zb. nauk. prats'* [Bulletin KNTUA them. Petro Vasilenko. Problems of reliability of machines and mechanization of agricultural production: Collection of scientific works], 2014, Vol. 151. pp. 373–378.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 марта 2015 г.