

УДК 629.017

*Е. А. ДУБІНИН*, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харків

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА**

Выполнена количественная оценка комплексного влияния условий эксплуатации шарнирно-сочлененных средств транспорта на их устойчивость против опрокидывания при движении. Использование угловой скорости в качестве критерия позволяет отслеживать процессы, происходящие при движении средства транспорта по неровностям, и своевременно информировать водителя об опасности возникновения аварийной ситуации. Полученные результаты позволяют повысить безопасность эксплуатации шарнирно-сочлененных средств транспорта.

**Ключевые слова:** средство транспорта, шарнирно-сочлененный, комплексное влияние, условия эксплуатации, устойчивость положения, безопасность.

**Введение.** Условия эксплуатации и техническое состояние средства транспорта в значительной степени влияют на безопасность транспортных работ. Важнейшие из условий эксплуатации – уклоны местности, микронеровности дорожного покрытия, скорость движения, интенсивность маневрирования, коэффициент сцепления с опорной поверхностью и т.д. При использовании шарнирно-сочлененных средств транспорта оценка влияния указанных выше условий является актуальной вследствие необходимости обеспечения устойчивости положения при движении как с прицепом, так и без него.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Учет влияния различных факторов на устойчивость положения движущихся средств транспорта, в том числе и шарнирно-сочлененных, приводится в работах [1-4]. При этом отмечается, что скорость движения часто ограничивается не мощностью двигателя, а различными факторами, в том числе – устойчивостью [5]. В то же время вопросы обеспечения устойчивости положения шарнирно-сочлененных машин и количественной оценки комплексного влияния условий эксплуатации на безопасность изучены не в полной мере.

**Цель исследования, постановка задачи.** Целью работы является повышение безопасности использования шарнирно-сочлененных средств транспорта путем введения корректирующих воздействий с учетом различных условий эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить весомость эксплуатационных факторов и провести количественную оценку их влияния на устойчивость положения шарнирно-сочлененных средств транспорта.

**Материалы исследований.** Наиболее травмоопасными являются транспортные операции, в процессе выполнения которых в хозяйствах происходит подавляющее большинство зарегистрированных дорожно-транспортных происшествий с опрокидыванием трактора [6]. Оценка весомости эксплуатационных факторов возможна на основе опроса операторов, а также анализа статистической информации. Так, в соответствии с данными [7], более 15% случаев опрокидывания шарнирно-сочлененных тракторов происходит на местности с крутизной боковых склонов до 5<sup>0</sup> (рис. 1), характерной для основной части территории Украины [1].

© Е.А. Дубинин, 2015

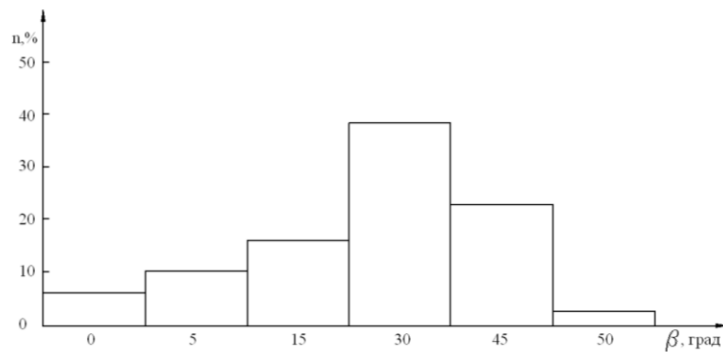


Рисунок 1 – Распределение случаев опрокидывания тракторов типа Т-150К в зависимости от крутизны бокового склона  $\beta$

Более 50% случаев опрокидывания шарнирно-сочлененных тракторов происходит на различных дорожных покрытиях с  $\varphi \geq 0,65$  (рис. 2) [7].

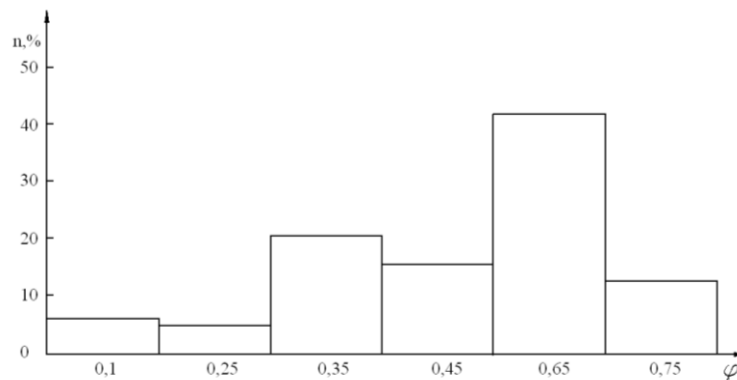


Рисунок 2 – Распределение случаев опрокидывания тракторов типа Т-150К в зависимости от дорожных условий

В реальных условиях движения изучение влияния отдельных факторов на устойчивость положения недостаточно информативно, так как при движении на шарнирно-сочлененное средство транспорта оказывает комплексное влияние их большое количество. Реализация предлагаемого подхода позволяет оценивать возможность возникновения аварийной ситуации по выходному параметру (критерию устойчивости).

В соответствии с проведенной оценкой весомости эксплуатационных факторов для шарнирно-сочлененных колесных тракторов, экспериментальные исследования проводились в следующих 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 [8] (рис. 3а);

- при переезде единичного препятствия высотой 0,2 м на горизонтальном участке. Скорость движения 0,7 м/с, дорожные условия соответствовали обычным [8] (рис. 3б);

– на грунтовій дорозі (пересіченна місцевість), рух без причепа. Поперечні уклони місцевості до  $\beta_{\max} = 9^{\circ}$  [9], середня швидкість руху 4,2 м/с, висота нерівностей дорожнього покриття досягала 0,3 м, дорожні умови відповідали важким і особливо важким [8] (рис. 3в).



Рисунок 3 – Проведення експериментальних досліджень на шарнірно-сочлененому тракторі ХТА-200 “Слобожанець” і тракторному поїзді: а – висота нерівностей 0,2 м; б – переїзд єдиного перешкоди; в – висота нерівностей 0,3 м

В результаті проведених експериментальних досліджень отримані величини лінійних прискорень по осі відносно трьох координатних осей, які, відповідно до залежностей [10], були перетворені в кутові прискорення і швидкості секцій. В якості критерію стійкості для шарнірно-сочленених машин визначені кутові швидкості секцій в поперечних площинах, перпендикулярних опорній поверхні [11].

На основі отриманих параметрів здійснено вибір розподілу випадкових величин. Найбільш підходящим є нормальний розподіл величин кутових швидкостей секцій трактора при його русі (рис. 4-5). Адекватність отриманих результатів була підтверджена значеннями критерію Std. Err. [12], який для отриманих результатів не перевищував 0,004.

В табл. 1 наведені результати статистичної обробки величин кутових швидкостей секцій шарнірно-сочлененого трактора ХТА-200 “Слобожанець”.

Угловая скорость секций при переезде единичного препятствия не превышала  $1,2 \text{ с}^{-1}$ , что сопоставимо с максимальными значениями при движении на горизонтальном участке с существенными неровностями микропрофиля.

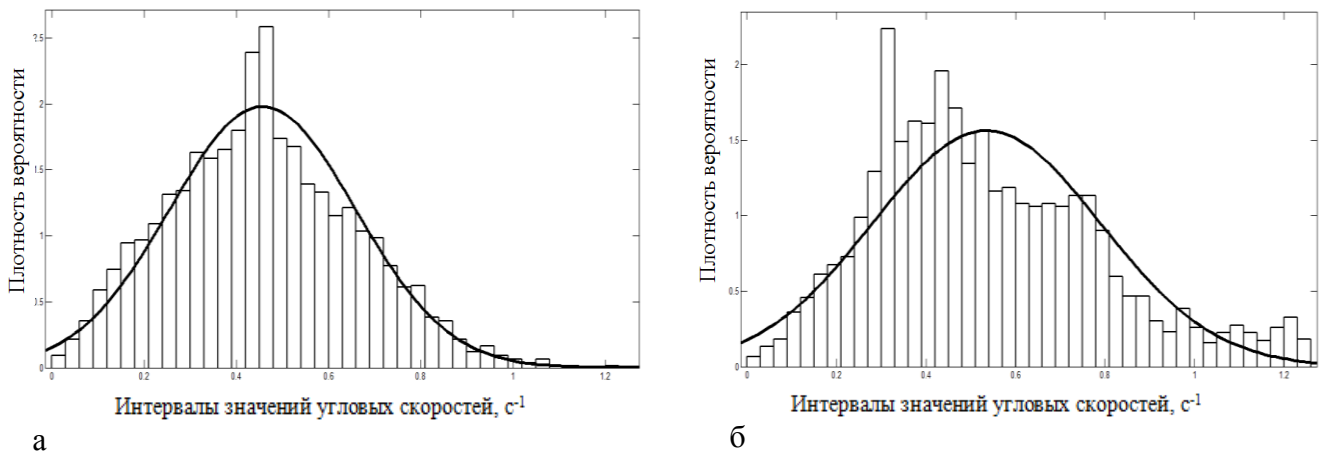


Рисунок 4 – Гистограммы распределения угловых скоростей при движении на горизонтальном участке с существенными неровностями:  
а – передняя секция; б – задняя секция

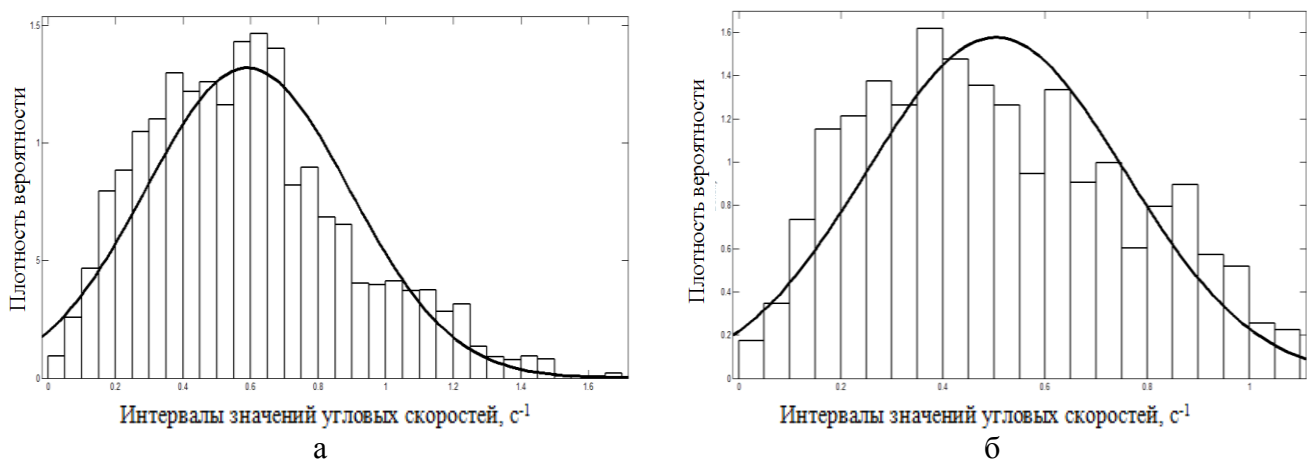


Рисунок 5 – Гистограммы распределения угловых скоростей при движении по пересеченной местности: а – передняя секция; б – задняя секция

**Результаты исследований.** Полученные в результате исследования данные позволяют определить влияние наиболее весомых эксплуатационных факторов на устойчивость положения шарнирно-сочлененных средств транспорта. При движении по пересеченной местности величины угловых скоростей достигали  $1,66 \text{ с}^{-1}$  для передней и  $1,42 \text{ с}^{-1}$  для задней секций (наиболее опасные условия движения). Установлено, что средние величины угловых скоростей секций в условиях пересеченной местности превышали аналогичный критерий устойчивости положения для случая движения на горизонтальном участке с существенными неровностями микропрофиля более чем в 1,2 раза для передней секции и существенно не отличались

для задньої секції. При цьому отримані максимальні значення кутових швидкостей секцій в цих же умовах руху відрізнялися не більше ніж на 35%.

Таблиця 1 – Результати статистическої обробки величин кутових швидкостей секцій трактора

Варіант руху	Секція	Математическе очікування	Середнє квадратическе відхилення	Закон розподілення величини кутової швидкості $\omega$
Рух з двохосним причепом на ділянці з суттєвими нерівностями мікропрофіля ( $V_{\text{середн}} = 4,2$ м/с, $\beta = 0^\circ$ , $h_{\text{н max}} = 0,2$ м)	передня	0,46	0,201	$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,201} \cdot e^{-\frac{(\omega-0,46)^2}{2 \cdot 0,201^2}}$
	задня	0,55	0,255	$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,255} \cdot e^{-\frac{(\omega-0,55)^2}{2 \cdot 0,255^2}}$
Рух без причепа на ділянці з пересіченною місцевістю ( $V_{\text{середн}} = 4,2$ м/с, $\beta_{\text{max}} = 9^\circ$ , $h_{\text{н max}} = 0,3$ м)	передня	0,58	0,302	$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,302} \cdot e^{-\frac{(\omega-0,58)^2}{2 \cdot 0,302^2}}$
	задня	0,53	0,261	$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,261} \cdot e^{-\frac{(\omega-0,53)^2}{2 \cdot 0,261^2}}$

Таким образом, использование критерия угловой скорости позволяет оценивать процессы, происходящие при движении средства транспорта по неровностям и своевременно информировать водителя об опасности возникновения аварийной ситуации звуковым или световым сигналом. Применение средств автоматизации позволит снизить влияние субъективных факторов, исключив из цепочки принятия решения водителя. Такие бортовые средства контроля на современной элементной базе смогут существенно снизить вероятность опрокидывания на основе постоянного мониторинга процесса движения, сравнения текущих угловых скоростей секций с критическими для исследуемой машины, и определения управляющего сигнала для тормозной системы с целью повышения устойчивости вплоть до полной остановки шарнирно-сочлененной машины.

**Выводы.** Выполнена количественная оценка (по критерию угловой скорости) комплексного влияния условий эксплуатации шарнирно-сочлененных средств транспорта на их устойчивость против опрокидывания при движении. Установлено, что при движении в условиях пересеченной местности средние значения угловых

скоростей больше в 1,2 раза для передней и существенно не отличаются для задней секции, чем на горизонтальном участке с существенными неровностями микропрофиля. Максимальные значения угловых скоростей секций в этих же условиях движения отличались не более чем на 35%. Создание электронных средств позволяет повысить точность прогнозирования возможности опрокидывания и своевременно, в автоматическом режиме, воздействовать на системы управления. Предложенный подход позволяет повысить безопасность работы средств транспорта.

**Список литературы:** 1. *Амельченко П.А.* Колесные тракторы для работы на склонах / *П.А. Амельченко, И.П. Ксенович, В.В. Гуськов, А.И. Якубович.* – М.: Машиностроение, 1978. – 245 с. 2. *Коновалов В.Ф.* Динамическая устойчивость тракторов / *Коновалов В.Ф.* – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с. 3. *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. 4. *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. 5. *Цыпцын В.И.* Влияние конструкций тягово-сцепных соединений на динамику торможения тракторных поездов / *В.И. Цыпцын, П.П. Гамаюнов, С.А. Алексеев* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №4. – С. 29-30. 6. *Дорошенко Н.А.* Обоснование и разработка методов выбора параметров трактора типа Т-150К по показателям плавности хода и устойчивости на транспортных работах: автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 „Автомобили и тракторы” / *Н.А. Дорошенко.* – Харьков, 1990. – 26 с. 7. *Илинич И.М.* Об оценке защитных свойств кабин мощных колесных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой / *И.М. Илинич, Н.М. Кириенко* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1983. – №1. – С. 10-12. 8. *Павлов В.А.* Транспортные прицепы и полуприцепы / *В.А. Павлов, С.А. Муханов.* – М.: Воениздат, 1981. – 191 с. 9. *Двали Р.Р.* Механическая тяга в горной местности / *Р.Р. Двали, В.В. Махалдиани.* – М.: Наука, 1970. – 233 с. 10. *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. праць. – Х.: ФОП Томенко Ю.І. – Вип. 151. – С. 373-378. 11. *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. 12. Everitt, B.S. (2003) The Cambridge Dictionary of Statistics, CUP. ISBN 0-521-81099-X – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_error](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_error). – Дата звертання: 12 листопада 2014.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Amel'chenko P.A., Ksenevich I.P., Gus'kov V.V., Yakubovich A.I.* Kolesnye traktory dlya raboty na sklonakh. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 245 p. 2. *Konovvalov V.F.* Dinamicheskaya ustoichivost' traktorov. Moscow: Mashinostroenie, 1981. 144 p. 3. *Kal'chenko B.I., Kirienko N.M., Doroshenko N.A., Reznikov E.N.*

Kompleksnaya otsenka dinamicheskoi ustoichivosti i plavnosti khoda kolesnykh traktorov. Traktory i sel'skokhozmashiny, 1987, No 7, pp. 6-10. **4.** *Amel'chenko P.A., Lomako G.A., Furunzhiev R.I.* Analiz i optimizatsiya sistem stabilizatsii sklonokhodov. Traktory i sel'skokhozmashiny, 1986, No 11, pp. 16-18. **5.** *Tsyptsyn V.I., Gamayunov P.P., Alekseev S.A.* Vliyaniye konstruksii tyagovo-stsepynykh soedinenii na dinamiku tormozheniya traktornykh poezdov. Traktory i sel'skokhozyaistvennyye mashiny, 2001, No4, pp. 29-30. **6.** *Doroshenko N.A.* Obosnovaniye i razrabotka metodov vybora parametrov traktora tipa T-150K po pokazatelyam plavnosti khoda i ustoichivosti na transportnykh rabotakh: avto-ref. diss. na soisk. uchenoi stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.03 „Avtomobili i traktory”. Kharkov, 1990. 26 p. **7.** *Ilinich I.M., Kirienko N.M.* Ob otsenke zashchitnykh svoistv kabin moshchnykh kolesnykh traktorov s sharnirno-sochlenennoi ramoii. Traktory i sel'khoz mashiny, 1983, No1, pp. 10-12. **8.** *Pavlov V.A., Mukhanov S.A.* Transportnye pritsepy i polupritsepy, Moskow: Voenizdat, 1981, 191 p. **9.** *Dvali R.R., Makhaldiani V.V.* Mekhanicheskaya tyaga v gornoi mestnosti. Moskow: Nauka Publ., 1970, 233 p. **10.** *Klets D.M., Dubinin E.A.* Metod opredeleniya parametrov dvizheniya sredstv transporta s pomoshch'yu datchikov uskorenii. Visnyk KhNTUS-H im. P. Vasylenka. Problemy nadiynosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsiyi sil'skohospodars'koho vyrobnytstva: Zb. nauk. prats', Kharkov, 2014, Vol. 151, pp. 373-378. **11.** *Dubinin E.A., Polyanskii A.S.* Prognozirovaniye dinamicheskoi ustoichivosti polozheniya sharnirno-sochlenennykh sredstv transporta metodom partsial'nykh uskorenii. Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta: Sb. nauch. trudov, Simferopol': NITs KIPU, 2013, Vol. 40, pp. 37-41. **12.** *Everitt, B.S.* (2003) The Cambridge Dictionary of Statistics, CUP. ISBN 0-521-81099-X Web. 12 November 2014 < [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_error](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_error) >

*Поступила (received) 22.01.15*