

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

Дубинин Е.А., к.т.н., доц., Полянский А.С., д.т.н., проф.,
Задорожня В.В., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Разработан перспективный метод испытаний средств транспорта на динамическую устойчивость положения, позволяющий количественно оценить их поперечную устойчивость при движении по неровностям. В качестве критерия оценки предложен к использованию коэффициент динамической устойчивости. Применение разработанного метода на практике позволяет получить оценку параметров устойчивости в реальном времени при эксплуатации средств транспорта. Результаты могут быть использованы при изготовлении, сертификации и эксплуатации колесных средств транспорта.

Вопросы обеспечения поперечной устойчивости средств транспорта, в особенности шарнирно-сочлененных, занимают особое место в связи с их конструкцией. В настоящее время оценку статической устойчивости проводят на специальных стендах, причем существующий технический уровень средств транспорта позволяет обеспечивать такую устойчивость и удовлетворять предъявляемым требованиям. При этом в реальных условиях эксплуатации приоритетной для обеспечения является динамическая устойчивость положения.

Известно, что угол наклона опорной поверхности, по которой средство транспорта может уверенно двигаться без опрокидывания, должен быть не более половины статического угла устойчивости, определенного на стенде. На практике измерение угла наклона поверхности в процессе движения представляет собой определенные трудности, также сложно учесть возможные динамические нагрузки от микронеровностей рельефа дороги. При этом опрокидывание возможно при наличии одновременного действия двух факторов – наклона опорной поверхности и влияния микронеровностей.

Анализ последних достижений и публикаций

В настоящее время для оценки устойчивости положения колесных машин используется большое количество параметров и критериев, разработанных различными авторами [1-6]. Все они позволяют с разной степенью точности оценить существующий технический уровень средств транспорта относительно их устойчивости положения. Часть предлагаемых критериев требует наличия

большого объема исходных данных. Поэтому вопросы разработки перспективных методов испытаний средств транспорта на устойчивость положения, основанных на определении соответствующих критериев с минимальными затратами, являются актуальными.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка перспективного метода испытаний средств транспорта на устойчивость положения. Для достижения поставленной цели необходимо разработать критерий оценки устойчивости положения и апробировать его на практике.

Метод испытаний на динамическую устойчивость положения

В развитие методов проведения испытаний средств транспорта на устойчивость предлагается метод оценки динамической устойчивости положения средств транспорта, основанный на применении метода парциальных ускорений [7]. Было получено условие сохранения динамической поперечной устойчивости положения машины при движении по поперечному уклону с учетом влияния жесткости подвески и приведенной жесткости системы "шины-грунт"

$$w_x^{ПВ} \leq \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot 1 - \cos(\alpha - \beta - \alpha_n - \alpha_k)}{h_c \cdot \left(\frac{i_x^2}{h_c^2} \cdot \cos \alpha + \sec \alpha \right)}}, \quad (1)$$

где $w_x^{ПВ}$ – угловая скорость средства транспорта в поперечной плоскости, перпендикулярной опорной поверхности, полученная при действии возмущающих факторов;

h_c – высота центра масс средства транспорта;

$\alpha, \beta, \alpha_n, \alpha_k$ – углы поперечной статической устойчивости, поперечного наклона поверхности, крена на подвеске, крена при деформации шин и опорной поверхности соответственно;

i_x – радиус инерции средства транспорта относительно горизонтальной оси, проходящей через центр масс;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

В качестве критерия устойчивости предлагается использовать коэффициент динамической устойчивости $K_{ДУ}$, который определяется по зависимости

$$K_{ДУ} = \frac{\omega_{тек}}{\omega_{гран}}, \quad (2)$$

где $\omega_{тек}$ – текущее значение угловой скорости средства транспорта в поперечной плоскости;

$\omega_{гран} = w_x^{ПВ}$ – предельная по условию опрокидывания угловая скорость средства транспорта 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.

Для определения текущего значения угловой скорости средства транспорта в поперечной плоскости $\omega_{тек}$ экспериментально устанавливаются компоненты ускорений при помощи мобильного регистрационно-измерительного комплекса (МРИК) [8], адаптированного для оценки устойчивости положения. Линейные ускорения по двум осям пересчитываются в соответствующую угловую скорость, используя результаты работы [9], по формуле

$$\omega_{тек} = \sqrt{\frac{-(a_{AY_1} + a_{BY_1}) \cdot (Y_A + Y_B) - (a_{AZ_1} + a_{BZ_1}) \cdot (Z_A + Z_B)}{(Y_A + Y_B)^2 + (Z_A + Z_B)^2}}, \quad (3)$$

где a_{AY_1}, a_{BY_1} и a_{AZ_1}, a_{BZ_1} – боковая и вертикальная компоненты линейных ускорений, регистрируемых датчиками А и В в поперечной плоскости, перпендикулярной опорной поверхности, соответственно;

Y_A, Y_B и Z_A, Z_B – расстояния от датчиков А и В до оси опрокидывания по горизонтали и вертикали соответственно.

В процессе движения средства транспорта датчики ускорений непрерывно с частотой 80 с^{-1} фиксируют величины компонент линейных ускорений, которые, в соответствии с конструктивными особенностями машины и местами установки датчиков, в режиме реального времени могут быть пересчитаны в текущую угловую скорость. Полученное значение параметра сравнивается с определенными по формуле (1) граничными значениями для различных допустимых углов поперечного наклона опорной поверхности. Угол наклона средства транспорта возможно определять с использованием МРИК [10] либо дополнительного оборудования – инклинометров. Предлагаемый перспективный метод был апробирован на практике при эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных тракторов с номинальным тяговым усилием 35 кН.

Эксплуатационные испытания проводились в различных дорожных условиях [11]. На рис. 1, 2 приведены примеры результатов проведенных исследований в виде графиков.

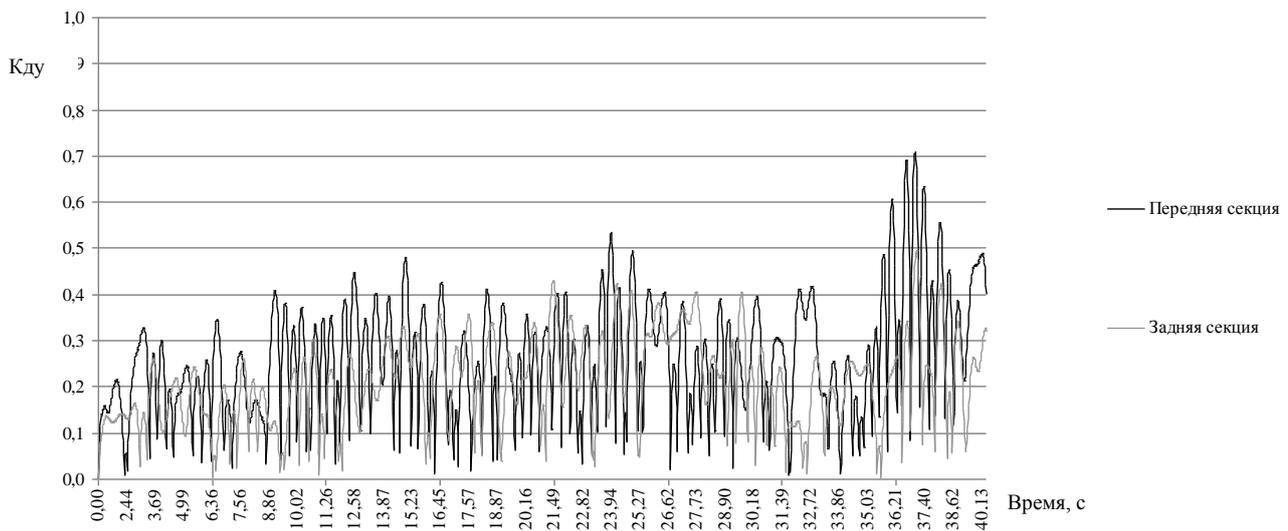


Рис. 1. Графики значений коэффициента динамической устойчивости положения при движении по дороге с существенными неровностями ($V_{\text{средн}} = 4,2$ м/с, $h_{\text{н макс}} = 0,2$ м)

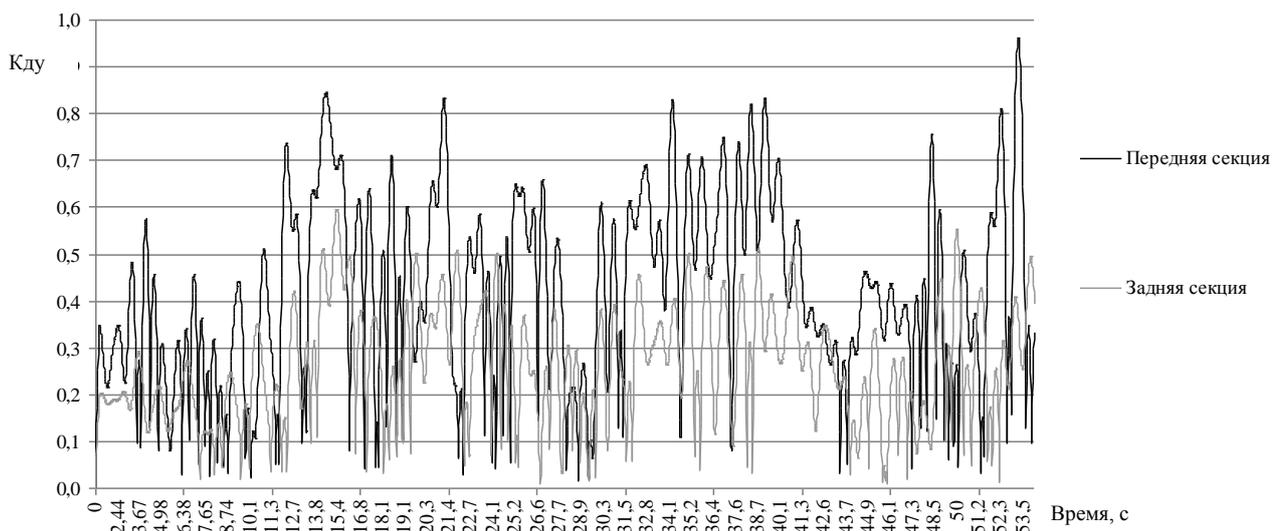


Рис. 2. Графики значений коэффициента динамической устойчивости положения при движении по пересеченной местности ($V_{\text{средн}} = 4,2$ м/с, $h_{\text{н макс}} = 0,3$ м)

Таким образом, предложенный перспективный метод испытаний средств транспорта на устойчивость положения предполагает выполнение следующего алгоритма:

Определение предельной по условию опрокидывания угловой скорости средства транспорта в поперечной плоскости $\omega_{\text{гран}}$ для различных углов наклона опорной поверхности.

Установка на средство транспорта МРИК, адаптированного для оценки динамической устойчивости положения, получение компонент линейных ускорений.

Определение текущих значений угловой скорости средства транспорта в поперечной плоскости $\omega_{тек}$ (для шарнирно-сочлененных – для каждой секции в отдельности).

Расчет критерия устойчивости – коэффициента динамической устойчивости $K_{дв}$. При $K_{дв} < 1$ устойчивость положения обеспечивается. При достижении $K_{дв} \geq 1$ существует реальная опасность опрокидывания.

Дальнейшее развитие предлагаемого метода заключается в создании бортовых систем для прогнозирования и предотвращения опрокидывания на основе информирования водителя соответствующим звуковым или световым сигналом или автоматизации процесса уменьшения скорости движения вплоть до полной остановки средства транспорта.

Выводы

Разработан перспективный метод испытаний средств транспорта на устойчивость положения с использованием мобильного регистрационно-измерительного комплекса, адаптированного для таких исследований.

Предложен критерий оценки устойчивости положения $K_{дв}$, равный отношению текущего значения угловой скорости средства транспорта в поперечной плоскости к предельному по условию опрокидывания. При $K_{дв} < 1$ устойчивость положения обеспечивается. При достижении $K_{дв} \geq 1$ необходимо применять меры для предотвращения опрокидывания.

Предложенный метод испытаний апробирован на практике, получена количественная оценка поперечной устойчивости при движении по неровностям на примере шарнирно-сочлененного колесного трактора с номинальным тяговым усилием 35 кН. В рассмотренных условиях эксплуатации $K_{дв}$ достигал 0,94, что подтверждает необходимость дальнейшей автоматизации процесса уменьшения скорости движения вплоть до полной остановки средства транспорта.

Список литературы

1. Львов Е.Д. Теория трактора / Львов Е.Д. – М.: Машгиз, 1960. – 252 с.
2. Гинцбург Б.Я. Тракторы и автомобили. Раздел: ”Теория и расчет тракторов и автомобилей”. Уч. пособие / Гинцбург Б.Я. – М.: Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования, 1964. – 91 с.
3. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов / Коновалов В.Ф. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
4. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. Изд. 2-е / Трепененков И.И. – М.: Машгиз, 1963. – 271 с.
5. Матюхов Г.Ф. К вопросу о поперечной устойчивости трактора / Г.Ф. Матюхов // Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – № 9. – С. 9-12.
6. 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. – Харків, 2014. – 20 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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., 2014. – Вип. 151. – С. 373-378.
10. Клец Д.М. Определение угла продольного наклона автомобиля при проведении динамических испытаний / Д.М. Клец // Транспортне машинобудування. – 2011. – № 18. – С. 24-29.
11. Павлов В.А. Транспортные прицепы и полуприцепы / В.А. Павлов, С.А. Муханов. – М.: Воениздат, 1981. – 191 с.

Анотація

ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ НА СТІЙКІСТЬ ПОЛОЖЕННЯ

Дубінін Є.О., Полянський О.С., Задорожня В.В.

Розроблено перспективний метод випробувань засобів транспорту на динамічну стійкість положення, що дозволяє кількісно оцінити їх поперечну стійкість при русі нерівностями. В якості критерію оцінки запропонований до використання коефіцієнт динамічної стійкості. Застосування розробленого методу на практиці дозволяє отримати оцінку параметрів стійкості в реальному часі при експлуатації засобів транспорту. Результати можуть бути використані при виготовленні, сертифікації та експлуатації колісних засобів транспорту.

Abstract

PERSPECTIVE METHOD OF VEHICLES TESTING ON POSITION STABILITY

Ye. Dubinin, O. Polyanskyi, V. Zadorozhnya

The perspective method of vehicle testing on dynamic position stability which makes it possible to quantify their lateral stability when driving over bumps is developed. The dynamic stability coefficient is proposed to be used as an assessment criterion. Application of the developed method in practice allows to measure sustainability parameters in real-time operation of vehicles. The results can be used in manufacture, certification and operation of wheeled vehicles.

Key words: test method, criterion, vehicle, position stability