

УДК 629.017

Оценка устойчивости положения колесных машин с учетом особенностей изменения опорного контура

Е.А. Дубинин, А.С. Полянский, Д.М. Клец, М.А. Скорик

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
(г. Харьков, Украина) dubinin-rmn@ukr.net*

Установлено, что для оценки статической устойчивости колесных машин возможно использовать различные подходы, которые имеют разную точность и затраты на их осуществление. Наиболее приемлемой является предварительная оценка устойчивости аналитически и окончательно – при помощи существующего оборудования на основе специально разработанных подходов и методов. Установлено, что наибольшая опасность опрокидывания в поперечном направлении для шарнирно-сочлененных машин существует при нахождении на предельном уклоне с максимально сложенной рамой относительно оси опрокидывания, проходящей через характерные точки конструкции, параллельной горизонтальной образующей уклона (специального стенда). Предложены рекомендуемые схемы установки шарнирно-сочлененной машины при определении угла статической устойчивости передней секции, задней секции и при блокировании шарнира. Разработан метод, повышающий точность оценки углов статической устойчивости колесных шарнирно-сочлененных машин, учитывающий особенности изменения опорного контура. Предложены зависимости для определения угла поперечной статической устойчивости секций, с учетом допущения о расположении опорных контуров машины на опорной поверхности вследствие малой высоты расположения шарнира. Установлено, на примере шарнирно-сочлененной колесной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН, что угол статической устойчивости передней секции уменьшается на 15 - 30%, задней секции – не более чем на 8 -10%. Учет углов складывания секций в пределах до 150 позволяет уточнить углы статической устойчивости до 50. Разработаны соответствующие рекомендации в нормативный документ. В результате проведенных исследований разработан метод оценки углов статической устойчивости, адаптированный для шарнирно-сочлененных колесных машин с учетом особенностей их конструкции. Практическое воплощение метода предложено в виде разработанного соответствующего программного обеспечения SPSAV (Static Position Stability of Articulated Vehicles) для предварительной оценки статической устойчивости таких машин без использования дорогостоящего оборудования. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и сертификации шарнирно-сочлененных машин, оценке устойчивости автомобилей с прицепами.

Ключевые слова: *устойчивость положения, метод оценки, колесная машина, опорный контур, нормативный документ.*

Введение. В настоящее время проблема оценки устойчивости положения колесных машин приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью сертификации их постоянно расширяющегося модельного ряда. Для шарнирно-сочлененных колесных машин такая оценка является обязательной в связи с их конструктивными особенностями, влияющими на устойчивость положения. Для оценки статической устойчивости возможно использовать различные подходы, которые имеют разную точность и затраты на их осуществление. Наиболее приемлемой является предварительная оценка устойчивости аналитически и окончательно – при помощи существующего оборудования на основе специально разработанных подходов и методов.

Анализ последних достижений и публикации. Важным показателем для колесных машин является угол поперечной статической устойчивости, который определяется при помощи специальных платформ, которые имеют возможность наклоняться, в соответствии с разработанными методами [1- 4]. В работе [5] предложен способ определения граничного угла поперечной устойчивости колесных машин с балансирной подвеской и полуприцепных машин без применения специального стендового оборудования на основе аналитического моделирования с учетом деформации шин в боковом направлении. Предложенный способ апробирован и используется в практике оценки устойчивости колесных машин [6]. Ряд авторов [7- 9] также подчеркивает, что процесс бокового опрокидывания шарнирно-

сочлененных машин характеризуется не только взаимодействием колес с опорной поверхностью, но и взаимным расположением секций.

Цель и постановка задач. Целью работы является повышение точности оценки статической устойчивости колесных шарнирно-сочлененных машин с учетом особенностей изменения опорного контура. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать метод оценки углов статической устойчивости с учетом влияния конструктивных особенностей шарнирно-сочлененных машин; разработать рекомендации в нормативные документы для предварительной оценки устойчивости положения шарнирно-сочлененных машин.

Оценивание статической устойчивости колесных машин. Наибольшая опасность опрокидывания в поперечном направлении для шарнирно-сочлененных машин существует при нахождении на предельном уклоне с максимально сложной рамой относительно оси опрокидывания, проходящей через характерные точки конструкции, параллельной горизонтальной образующей уклона (специального стенда).

В работе [10] приведены опорные контуры для секций шарнирно-сочлененной колесной машины при наличии балансира в задней секции. При складывании секций друг относительно друга центры масс секций смещаются относительно осей опрокидывания. При этом конфигурация опорных контуров шарнирно-сочлененной машины зависит также и от угла складывания δ . При балансирном соединении секций между собой опорные контуры таких машин при $0^\circ < \delta < 90^\circ$ представляют собой для балансирной части – равнобедренный треугольник с вершиной в точке пересечения продолжения оси балансира с вертикальной плоскостью, проходящей через ось колес небалансирной части, и с основанием, проходящим через центры площадок контакта колес балансирной части машины; для небалансирной части – неправильный треугольник с вершиной в точке пересечения оси балансира с вертикальной плоскостью, проходящей через ось колес балансирной части, и с основанием, проходящим через центры площадок контакта колес небалансирной части машины [10]. После замыкания горизонтального шарнира обе секции будут иметь общий опорный контур. Ось опрокидывания машины в этом случае будет представлять собой отрезок, соединяющий между собой центры площадок контакта колес одного борта балансирной и небалансирной частей машины.

На рисунке 1 представлены рекомендуемые схемы установки шарнирно-сочлененной машины при определении угла статической устойчивости передней секции (рис. 1а), задней секции (рис. 1б) и при блокировании шарнира (рис. 1в). В данном случае балансирной является задняя секция.

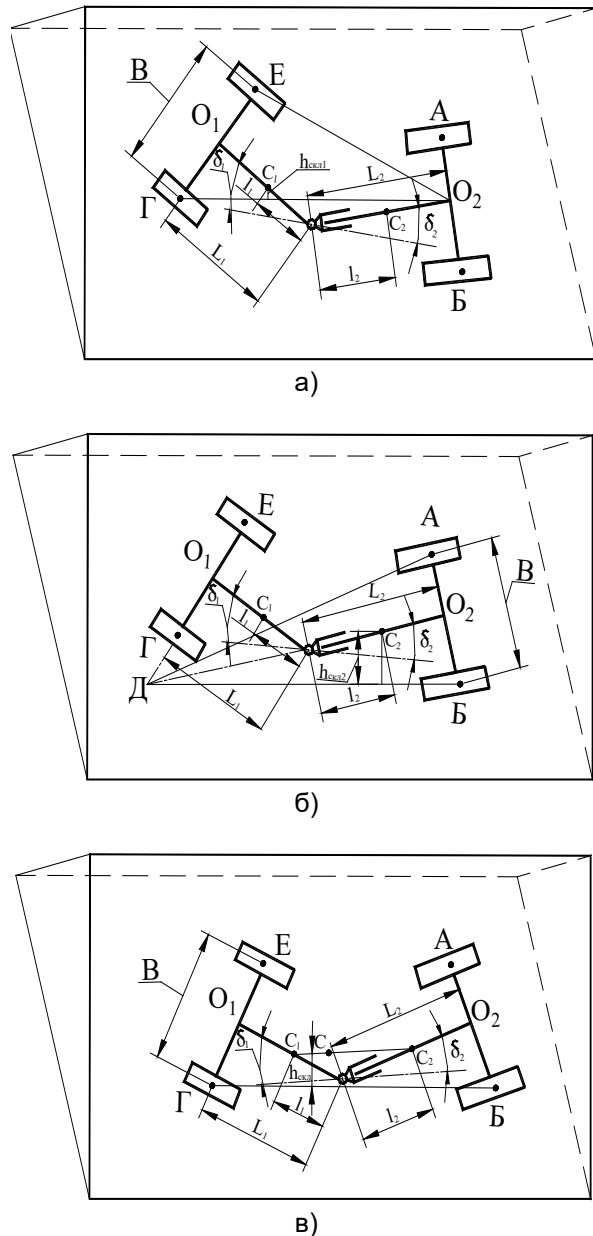


Рис. 1. Перспективные схемы определения углов статической устойчивости шарнирно-сочлененных машин

Для таких машин рекомендуется проверка устойчивости каждой секции и при блокировании шарнира с внесением предложений относительно корректировки нормативного документа

[3] в части пункта 2.2.4.3. "Трактор (машину, СХА) устанавливают на платформе стенда таким образом, чтобы продольная ось и направление движения колес были параллельны оси наклона платформы с отклонением не более 1,5°, включают стояночные тормоза и низшую передачу". Предлагается дополнить существующую формулировку таким образом: "Шарнирно-сочлененные машины устанавливаются таким образом, чтобы ось опрокидывания (определяется в зависимости от конструкции) была параллельна оси наклона платформы. Испытание проводят для каждой секции отдельно, принудительно удерживая вторую секцию от опрокидывания".

Также пункт 2.2.4.5. "В технически обоснованных случаях измерение угла поперечной статической устойчивости проводят в рабочей комплектации, положении рабочих органов и ширине колеи, ухудшающих устойчивость машины (СХА)" предлагается записать следующим образом: "В технически обоснованных случаях измерение угла поперечной статической устойчивости проводят в рабочей комплектации, положении рабочих органов и ширине колеи, положении секций шарнирно-сочлененных машин (при максимальном угле складывания), ухудшающих устойчивость машины (СХА)".

Также необходимо учитывать смещение секций вследствие деформации шин [11]. Угол поперечной статической устойчивости секций можно найти по зависимости с учетом обозначенных выше уточнений, приняв допущение о расположении опорных контуров машины на опорной поверхности вследствие малой высоты расположения шарнира

$$\operatorname{tg} \alpha_{O1} = \frac{h_{ckл1}}{h_{c1}}; \operatorname{tg} \alpha_{O2} = \frac{h_{ckл2}}{h_{c2}}, \quad (1)$$

где $h_{ckл1}, h_{ckл2}$ – расстояния от центра масс до оси опрокидывания передней и задней секций машины соответственно $h_{ckл1} = f(\delta_1, R_{ce1}, R_{cm1})$, $h_{ckл2} = f(\delta_2, R_{ce2}, R_{cm2})$; δ_1, δ_2 – углы складывания в горизонтальной плоскости передней и задней секций машины соответственно; $R_{ce1} = R_{ce2} = R_{ce}$ – свободный радиус колеса машины; $R_{cm1} = R_{cm2} = R_{cm}$ – статический радиус колеса машины; h_{c1}, h_{c2} – высота центра масс передней и задней секций машины соответственно.

С учетом полученных уточнений, на примере шарнирно-сочлененного колесной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН ($B=1,86$ м, $R_{ce} - R_{cm} = 0...0,2$ м, $\delta_1 = \delta_2 = 0...15^\circ$, $h_{c1} = 1,04$

м, $h_{c2} = 0,75$ м, $L_1 = 1,48$ м, $L_2 = 1,38$ м, $l_1 = 1,25$ м, $l_2 = 1,1$ м), применяемой в качестве аэродромной уборочной техники, были проведены соответствующие преобразования. Результаты исследований представлены в виде графиков изменения углов статической устойчивости на примере секций шарнирно-сочлененной машины (рис. 2).

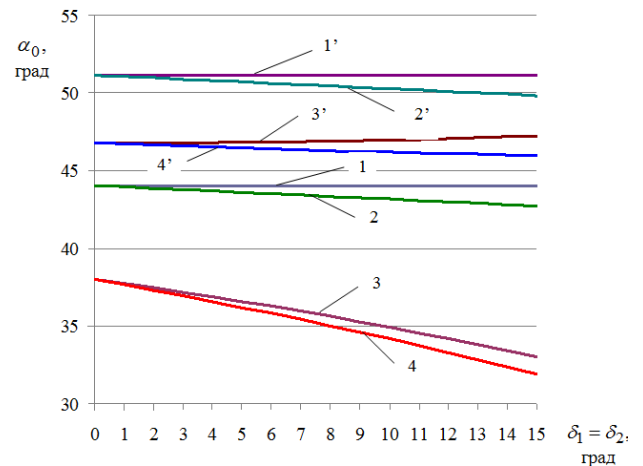


Рис. 2. Графики изменения углов статической устойчивости секций шарнирно-сочлененной машины (' – обозначена задняя секция): 1, 1', 2, 2' – рассчитанные по зависимости $\alpha_0 = \arctg(B/2h_c)$ без учета и с учетом прогиба шин соответственно; 3, 3', 4, 4' – рассчитанные в соответствии с разработанным методом без учета и с учетом прогиба шин соответственно

Установлено, что применение разработанного метода оценки статической устойчивости шарнирно-сочлененных колесных машин позволяет существенно повысить точность такой оценки с учетом особенностей изменения опорного контура. Для выбранных параметров шарнирно-сочлененной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН установлено, что угол статической устойчивости передней секции уменьшается на 15-30%, задней секции – не более чем на 8-10%. Учет углов складывания секций в пределах до 15° позволяет уточнить углы статической устойчивости до 5° . Это связано, прежде всего, с конструктивными особенностями машины и расположением соединительного шарнира. Результаты исследований хорошо согласуются с результатами определения статической устойчивости тракторов "Кировец", основанных на силовом анализе секций трактора [12].

В результате проведенных исследований разработан метод оценки углов статической устойчивости, адаптированный для шарнирно-

сочлененных колесных машин с учетом особенностей их конструкции. Практическое воплощение метода предложено в виде разработанного соответствующего программного обеспечения SPSAV (Static Position Stability of Articulated Vehicles) для предварительной оценки статической устойчивости таких машин без использования дорогостоящего оборудования.

Выводы.

1. Разработан метод, повышающий точность оценки углов статической устойчивости колесных шарнирно-сочлененных машин с учетом взаимного складывания секций, позволяющий учесть особенности изменения опорного контура.

2. Разработаны рекомендации в нормативный документ. Предварительная оценка устойчивости на примере шарнирно-сочлененной колесной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН показала, что угол статической устойчивости передней секции уменьшается на 15 - 30%, задней секции – не более чем на 8 -10% вследствие конструктивных особенностей.

3. Учет углов складывания секций в пределах до 15° позволяет уточнить углы статической устойчивости до 5°.

Литература

1. Горбатов В. Спосіб визначення кута поперечної статичної стійкості тракторів і сільськогосподарських машин / В. Горбатов // Техніка АПК. – 2006. – № 12. – С. 15.

2. Лілевман І. Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільськогосподарських машин методом фізичного моделювання / І. Лілевман, О. Лілевман, З. Терещук // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 5. – С. 37- 39.

3. ГОСТ 12.2.002-91. ССБТ. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – Введ. 1992-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 61 с.

4. СОУ 74.3-37-133:2004. Випробування сільськогосподарської техніки. Трактори, машини і обладнання для рослинництва, тваринництва, кормовиробництва та стаціонарні сільськогосподарські. Методи оцінки безпечності та ергономічності [Текст]. – Чин. 2006-08-01. – К.: Мінагрополітики України, 2004. – 80 с.

5. Лілевман І. Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості колісних та напівпричіпних машин із застосуванням аналітичного моделювання / І. Лілевман, О. Лілевман, М. Подольський // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 1 (52). – С. 32 - 35.

6. М 5.4-04:2009 Методика визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільгоспмашин з балансируючою підвіскою керованих коліс та напівпричіпних машин без використання спеціального стендового обладнання. – Введ. 2009-12-16. – Херсон: Південно-українська філія УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. – 19 с.

7. Боклаг В.М. Анализ общей устойчивости шарнирно-сочлененных колесных машин: автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / В.М. Боклаг. – Харьков, 1964. – 21 с.

8. Колышкин В.И. Устойчивость трактора с шарнирно-сочлененной рамой / В сб. научн. тр. МИИСП: Совершенствование сельскохозяйственных тракторов и автомобилей. – М., 1979. – С. 16 - 20.

9. Маршак С.Ф. Статическая и динамическая устойчивость одноосных тягачей с полуприцепами: автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / С.Ф. Маршак. – М., 1966. – 20 с.

10. РД 50-233-81. Надежность в технике. Оценка параметров безопасности колесных и гусеничных машин по опрокидыванию. Характеристики динамической и статической устойчивости. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 62 с.

11. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз [и др.]; под общ. ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

12. Шувалов Е.А. Теория и расчет трактора „Кировец” / Е.А. Шувалов, А.В. Бойков, Б.А. Добряков, М.Г. Пантюхин. Под общей редакцией А.В. Бойкова. – Л.: Машиностроение, 1980. – 208 с.

References

1. Horbatov V. Sposib vyznachennya kuta poperechnoyi statychnoyi stiykosti traktoriv i sil's'kohospodars'kykh mashyn [Method of determining the angle of transverse static stability of tractors and agricultural machines] / V. Horbatov // Tekhnika APK. 2006. # 12. p. 15.

2. Lilevman I. Vyznachennya hranychnoho kuta poperechnoyi statychnoyi stiykosti mobil'nykh sil's'kohospodars'kykh mashyn metodom fizychnoho modelyuvannya [Determination of the boundary angle of transverse static stability of mobile agricultural machines by the method of physical modeling] / I. Lilevman, O. Lilevman, Z. Tereshchuk // Tekhnika i tekhnolohiyi APK. 2010. # 5. pp. 37- 39.

3. GOST 12.2.002-91. SSBT. Tekhnika sel's'kohozyaistvennaya. Metody otsenki bezopasnosti. [Agricultural machinery. Methods of safety assessment] – Vved. 1992-07-01. – M.: Izd-vo standartov. 1991. 61 p.

4. SOU 74.3-37-133:2004. Vyprobuvannya sil's'kohospodars'koyi tekhniky. Traktory, mashyny i obladdnannya dlya roslynnytstva, tvarynyntstva,

kormovyrobnytstva ta statsionarni sil's'kohospodars'ki. Metody otsinky bezpechnosti ta erhomichnosti [Testing of agricultural machinery. Tractors, machinery and equipment for crop, livestock, feed production and agricultural stationary. Methods for assessing safety and ergonomics]. – Chyn. 2006-08-01. – K.: Minahropolityky Ukrayiny, 2004. 80 p.

5. Lilevman I. Vyznachennya hranychnoho kuta poperechnoyi statychnoyi stiykosti kolisnykh ta napivprychipnykh mashyn iz zastosuvanniam analytychnoho modelyuvannya [Determination of the boundary angle of transverse static stability of wheel and semitrailer machines with the use of analytical modeling] / I. Lilevman, O. Lilevman, M. Podol's'kyi // Tekhnika i tekhnolohiyi APK. 2014. # 1 (52). pp. 32-35.

6. М 5.4-04:2009 Metodyka vyznachennya hranychnoho kuta poperechnoyi statychnoyi stiykosti mobil'nykh sil'hospmashyn z balansyrnoyu pidviskoyu kerovanykh kolis ta napivprychipnykh mashyn bez vykorystannya spetsial'noho stendovoho obladdannya. [Method of determination of the boundary angle of transverse static stability of mobile agricultural machinery with a balancing suspension of driven wheels and semi-trailer machines without the use of special bench equipment] – Vved. 2009-12-16. – Kherson: Pivdenno-ukrayins'ka filiya UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. 2009. 19 p.

7. Boklag V.M. Analiz obshchei ustoichivosti sharnirno-sochlenennykh kolesnykh mashin [Ana-

lysis of the overall stability of articulated wheeled vehicles]: avtoref. diss. na soisk. stepeni kand. tekhn. nauk / V.M. Boklag. – Khar'kov. 1964. 21 p.

8. Kolyshkin V.I. Ustoichivost' traktora s sharnirno-sochlenennoi ramoi [Stability of tractor with articulated frame] / V sb. nauchn. tr. MII SP: Sovershenstvovanie sel'skokhozyaistvennykh traktorov i avtomobilei. – M. 1979. pp. 16-20.

9. Marshak S.F. Statische i dinamicheskiye ustoichivost' odnoosnykh tyagachei s polupritsepami [Static and dynamic stability of uniaxial tractors with semi-trailers]: avtoref. diss. na soisk. Stepeni kand. tekhn. nauk / S.F. Marshak. – M. 1966. 20 p.

10. RD 50-233-81. Nadezhnost' v tekhnike. Otsenka parametrov bezopasnosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po opokidyvaniyu. Kharakteristiki dinamicheskoi i staticheskoi ustoichivosti. [Reliability in the technique. Estimation of parameters of safety of wheel and crawler vehicles on tipping. Characteristics of dynamic and static] – M.: Izdvo standartov. 1981. 62 p.

11. Rabota avtomobil'noi shiny [The work of the car tires] / V.I. Knoroz [i dr.]; pod obshch. red. V.I. Knoroza. – M.: Transport. 1976. 238 p.

12. Shuvalov E.A. Teoriya i raschet traktora „Kirovets” [Theory and calculation of tractor "Kirovets"] / E.A. Shuvalov, A.V. Boikov, B.A. Dobryakov, M.G. Pantyukhin. Pod obshchei redaktsiei A.V. Boikova. – L.: Mashinostroenie. 1980. 208 p.

Анотація

Оцінка стійкості положення колісних машин з урахуванням особливостей зміни опорного контуру

Є.О. Дубінін, О.С. Полянський, Д.М. Клец, М.О. Скорик

Встановлено, що для оцінки статичної стійкості колісних машин можливо використовувати різні підходи, які мають різну точність і витрати на їх здійснення. Найбільш прийнятною є попередня оцінка стійкості аналітично і остаточно – за допомогою існуючого обладнання на основі спеціально розроблених підходів і методів. Встановлено, що найбільша небезпека перекидання в поперечному напрямку для шарнірно-зчленованих машин існує при знаходженні на граничному ухилі з максимально складеної рамою щодо осі перекидання, що проходить через характерні точки конструкції, паралельної горизонтальній утворюючій ухилу (спеціального стенду). Запропоновано рекомендовані схеми установки шарнірно-зчленованої машини при визначенні кута статичної стійкості передньої секції, задньої секції і при блокуванні шарніра. Розроблено метод, що підвищує точність оцінки кутів статичної стійкості колісних шарнірно-зчленованих машин, що враховує особливості зміни опорного контуру. Запропоновано залежності для визначення кута поперечної статичної стійкості секцій, з урахуванням припущення про розташування опорних контурів машини на опорній поверхні внаслідок малої висоти розташування шарніра. Встановлено, наприкладі шарнірно-зчленованої колісної машини з номінальним тяговим зусиллям 30 кН, що кут статичної стійкості передньої секції зменшується на 15-30%, задньої секції - не більше ніж на 8-10%. Врахування кутів складання секцій в межах до 150 дозволяє уточнити кути статичної стійкості до 50. Розроблено відповідні рекомендації в нормативний документ. В результаті проведених досліджень розроблений метод оцінки кутів статичної стійкості, адаптований для шарнірно-зчленованих колісних машин з урахуванням особливостей їх конструкції. Практичне втілення методу запропоновано у вигляді розробленого відповідного програмного забезпечення SPSAV (Static Position Stability of

Articulated Vehicles) для попередньої оцінки статичної стійкості таких машин без використання високо-вартісного обладнання. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні і сертифікації шарнірно-зчленованих машин, оцінці стійкості автомобілів з причепами.

Ключові слова: *стійкість положення, метод оцінки, колісна машина, опорний контур, нормативний документ.*

Abstract

Evaluation of wheel machines sustainability with account of support contour modification features

Ye.A. Dubinin, A.S. Polianskyi, D.M. Klets, M.A. Skorik

It is established that to evaluate the static stability of wheeled vehicles it is possible to use different approaches that have different accuracy and costs for their implementation. The most acceptable is the preliminary assessment of stability analytically and finally – with the help of existing equipment based on specially developed approaches and methods. It has been established that the greatest danger of rollover in the transverse direction for articulated machines exists when located at the maximum slope with the maximum folded frame relative to the tilting axis passing through the characteristic points of the structure parallel to the horizontal slope generator (special stand). The recommended schemes for the installation of articulated vehicles are proposed for determining the angle of static stability of the front section, the rear section and at the blocking of the hinge. A method is developed that improves the accuracy of estimating the angles of static stability of wheeled articulated vehicles, taking into account the features of the change in the support contour. Dependences are proposed for determining the angle of the transverse static stability of sections, taking into account the assumption of the location of the support contours of the machine on the supporting surface due to the low height of the hinge arrangement. It is established, on the example of articulated wheeled vehicle with a nominal pulling force of 30 kN, that the angle of static stability of the front section decreases by 15 - 30%, the rear section – by no more than 8 - 10%. Accounting for the angles of folding sections up to 150 allows you to specify the angles of static stability to 50. The corresponding recommendations in the regulatory document have been developed. As a result of the conducted researches, a method for estimating the angles of static stability, adapted for articulated wheeled vehicles, taking into account the features of their design, has been developed. The practical implementation of the method is proposed in the form of the developed SPSAV (Static Position Stability of Articulated Vehicles) software for preliminary assessment of the static stability of such machines without the use of expensive equipment. The obtained results can be used in the design and certification of articulated vehicles, the evaluation of the stability of cars with trailers.

Keywords: *position stability, estimation method, wheeled vehicle, support contour, normative document.*

Представлено від редакції: М.А. Подригало / Presented on editorial: M.A. Podryhalo

Рецензент: Р.В. Антощенко / Reviewer: R.V. Antoshhenkov

Подано до редакції / Received: 19.06.2018