

Чаплигіна О. М.

КРИТЕРІЇ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ АВТОГРЕЙДЕРА

Виконання технологічних операцій землерийно-транспортними машинами (ЗТМ), на відміну від інших типів машин, має складну схему навантаження. У процесі різання ґрунту відбувається блокування робочого органу машини. Його навантаження супроводжуються процесом інтенсивного гальмування машини, і сили опору на відвалі зростають. У момент мимовільного гальмування має місце процес самочинного розвороту машини навколо точки затискання відвалу. Частина призми ґрунту в такому випадку відсипається в бічній валок, зменшуючи сили опору на робочому органі, і автогрейдер продовжує прямолінійний рух. Бічні зміщення, після подібних явищ, можуть перевищувати 2 м і формують шматково-лінійну траєкторію руху, яка за своїм виглядом нагадує ламану криву. Розробка динамічної моделі ЗТМ дозволить врахувати вплив динамічних навантажень, оцінити показники курсової стійкості, а також розробити рекомендації, які дозволять уникнути явищ бокового зміщення автогрейдера.

Ключові слова: ЗТМ, автогрейдер, показники курсової стійкості, динамічне навантаження, траєкторія руху

Вступ. Для технологічних операцій, що виконуються автогрейдером, характерним є формування складного фону зовнішніх навантажень, що діють на машину. Пояснюється цей факт особливостями конструкції основного робочого обладнання і різноманітністю способів виконання операцій, пов'язаних з копанням і переміщенням ґрунтів і будівельних матеріалів. Найчастіше в процесі роботи основний відвал встановлюється з кутом захоплення відмінним від 90° . При цьому нерідко копання виконується кутом відвалу, що забезпечується його перекосом у вертикальній площині. В результаті цього координата докладання головного вектора зовнішніх опорів може зміщуватися вздовж відвалу, а сам вектор розташовуватися під кутом до напрямку руху автогрейдера. Подібне призводить до появи додаткових бічних зусиль, які можуть відхилити реальну траєкторію руху автогрейдера від планованої [1,2,3]. Порушення курсової стійкості руху машини викликає необхідність виконувати додаткові проходи, що знижує його продуктивність і збільшує собівартість виконуваних робіт. Аналіз параметрів курсової стійкості дозволить оцінити ймовірність відхилення автогрейдера з планованою траєкторії руху і розробити заходи, що будуть запобігати подібному явищу.

Актуальність. Забезпечення курсової стійкості автогрейдерів в процесі виконання технологічних операцій дозволяє підвищити їх продуктивність і одночасно знизити собівартість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До числа дослідників, що займаються проблемою курсової стійкості транспортного і спеціалізованого машинобудування, можна віднести Подригало М.А, Певзнера Я.М Фаробіна Я.Є., Литвинова А.С., Кнорова В.І., Севрова К.П., Алексееву Т.А., Артем'єва К.А. Бромберга А.А, Малиновського Є.Ю., Ковалю А.Б., Донцова І.Є., Булгакова В.М., Усенко М.В., Пришляка В.М., Циганкова Т.В., Артемова Н. П., Гуськова В.В., Ксеневича І.П., Петрова А.В. та ін.

Втрату курсової стійкості транспортних машин характеризують коефіцієнтом стійкості автомобіля [4], який дорівнює відношенню стабілізуючого моменту M_{stab} до збурюючого занос моменту $M_{возм}$ (1).

Оціночними показниками коефіцієнта стійкості є лінійні або кутові величини прискорення, швидкості або переміщення, які, в свою чергу, залежать від геометричних показників машини, її маси та реакцій з боку дороги.

$$K_{уст} = \frac{M_{stab}}{M_{возм}} = \frac{b}{a} \cdot \frac{\sqrt{\varphi^2 \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} - R_x \cdot \frac{h-r_0}{L} \right)^2 - (1-K_R)^2 \cdot R_x^2 + \frac{I_k}{r_k} \cdot V_x \cdot \omega_{kz}}}{\sqrt{\varphi^2 \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} - R_x \cdot \frac{h-r_0}{L} \right)^2 - K_R^2 \cdot R_x^2}}, \quad (1)$$

Найбільш близькою до проблематики оцінки та прогнозування курсової стійкості ЗТМ є робота, присвячена забезпеченню курсової стійкості універсальних землерийних машин [5]. Автор пропонує оцінювати показник курсової стійкості за допомогою коефіцієнта:

$$k = \frac{M_s}{M_d} > 1,2, \quad (2)$$

де M_s – момент, що утримує;

M_d – дестабілізуючий момент.

Артемов Н.П. досліджував сільськогосподарську машину шарнірно-зчленовану з робочим обладнанням. У його науковій роботі [6] враховувалися сили що розвертають машину, які діють на обладнання. Коефіцієнт керованості прямо пропорційний керуючому зусиллю і сумі сил опору з урахуванням бічних зусиль діючих на

сільськогосподарський агрегат:

$$K_{кер} = \frac{P_k}{\sum P_c}, \quad (3)$$

де P_k – керуюче зусилля;

$\sum P_c$ – сума сил опору.

Розглянуті вище залежності дозволяють на етапі проектування транспортних і сільськогосподарських машин оцінити параметри їх курсової стійкості. Запропоновані підходи можуть бути застосовані для ЗТМ, однак при визначенні утримуючих і дестабілізуючих зусиль необхідно враховувати особливості формування навантаженості автогрейдерів.

Мета роботи – розробити критерії оцінки показників курсової стійкості автогрейдера, що дозволяють спрогнозувати на етапі проектування можливість зміщення машини з планованої траєкторії руху.

Основна частина, вирішення проблеми. Експериментальні дослідження, проведені в умовах випробувального полігону ХНАДУ на автогрейдері ДЗК-251, дозволили з'ясувати закономірності втрати курсової стійкості машиною в процесі копання ґрунту. Відповідно до авторської методики [7] в процесі проведення дослідів виконувалась побудова реальних траєкторій руху автогрейдера. При цьому варіювалися кут повороту і нахилу передніх коліс.

Параметрами експериментального дослідження була швидкість руху була 1,01 м/с, з кутом захвату 90° , та кутом різання 12° . Установка коліс змінювалася у вертикальній площині від 0° до 10° , установка повороту коліс в горизонтальній площині від 0° до 15° . Автогрейдер було встановлено паралельно до базової прямої. Параметрами, що заміряються, були відстань переднього і заднього моста до базової прямої. Замір проводився на початку і в кінці шляху автогрейдера.

Зміщення автогрейдера на графіку (рис. 1) зменшилось, відносно нульових кутів, але деякі траєкторії, при досягненні відмітки пройденого шляху в 12м, почали стрімко збільшувати своє зміщення та змінили свій напрям.

Заміри проводилися при фіксованому положенні відвалу.

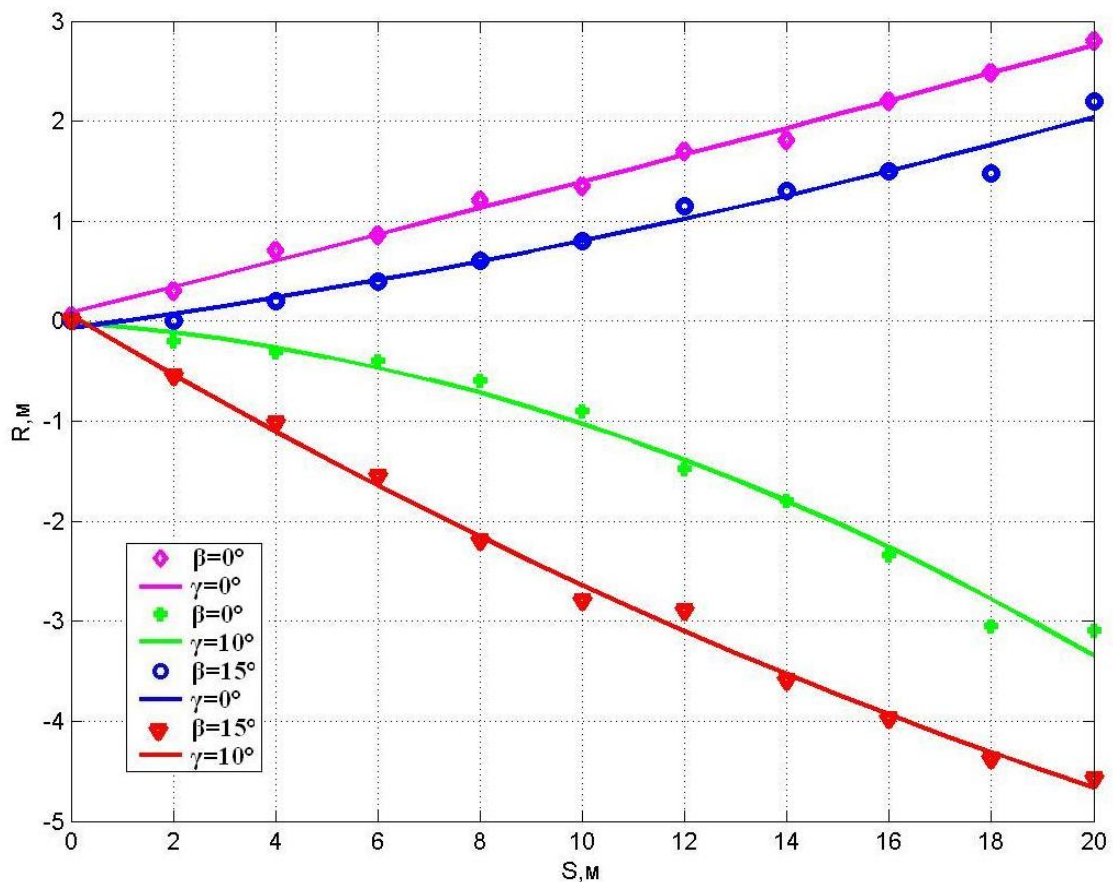


Рис. 1 – Графік зміщення траєкторій руху автогрейдера при установці нахилу коліс в вертикальній площині кута $\beta=0^\circ \dots 15^\circ$ та при установці повороту коліс в горизонтальній площині $\gamma=0^\circ \dots 10^\circ$

Особливість формування траєкторії руху автогрейдера полягає в тому, що вона складається з лінійних ділянок, розгорнутих під кутом один до одного (рис.2).

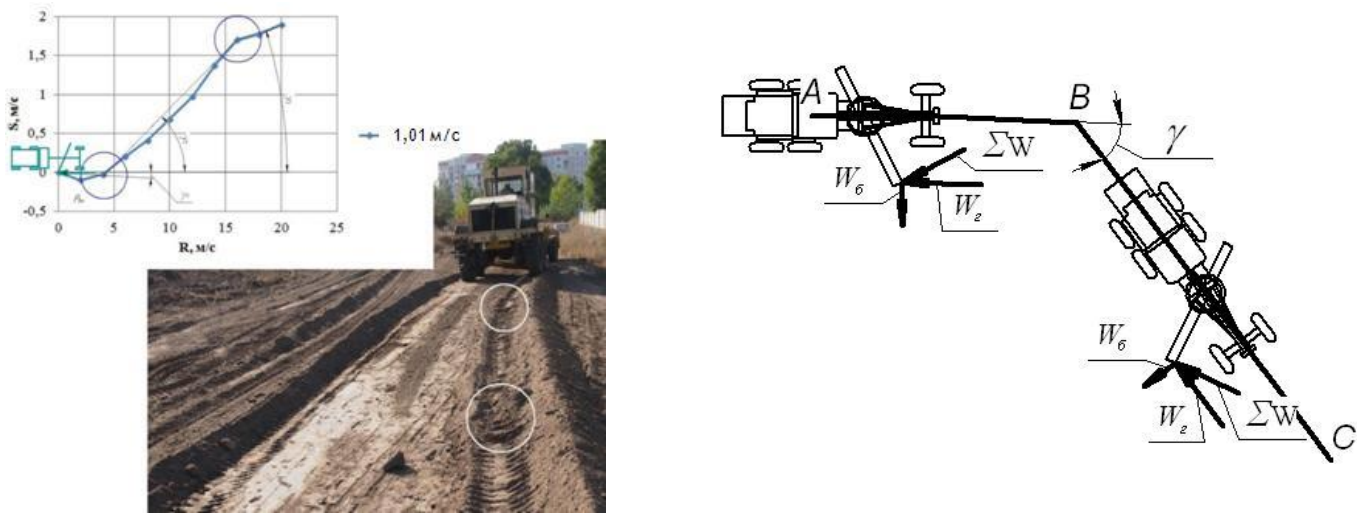


Рис. 2. – Типова форма траєкторії руху автогрейдера, отримана в результаті проведення експериментів

Після обробки експериментальних даних було отримано рівняння регресії в натуральному вигляді [8]:

$$y = 3,56 - 0,082 \cdot \beta - 0,076 \cdot \gamma + 0,017 \cdot \beta \cdot \gamma \quad (4)$$

За допомогою рівняння регресії було побудовано графік (рис. 3) залежності зміни кутів у просторі передньої вісі рушіїв автогрейдера

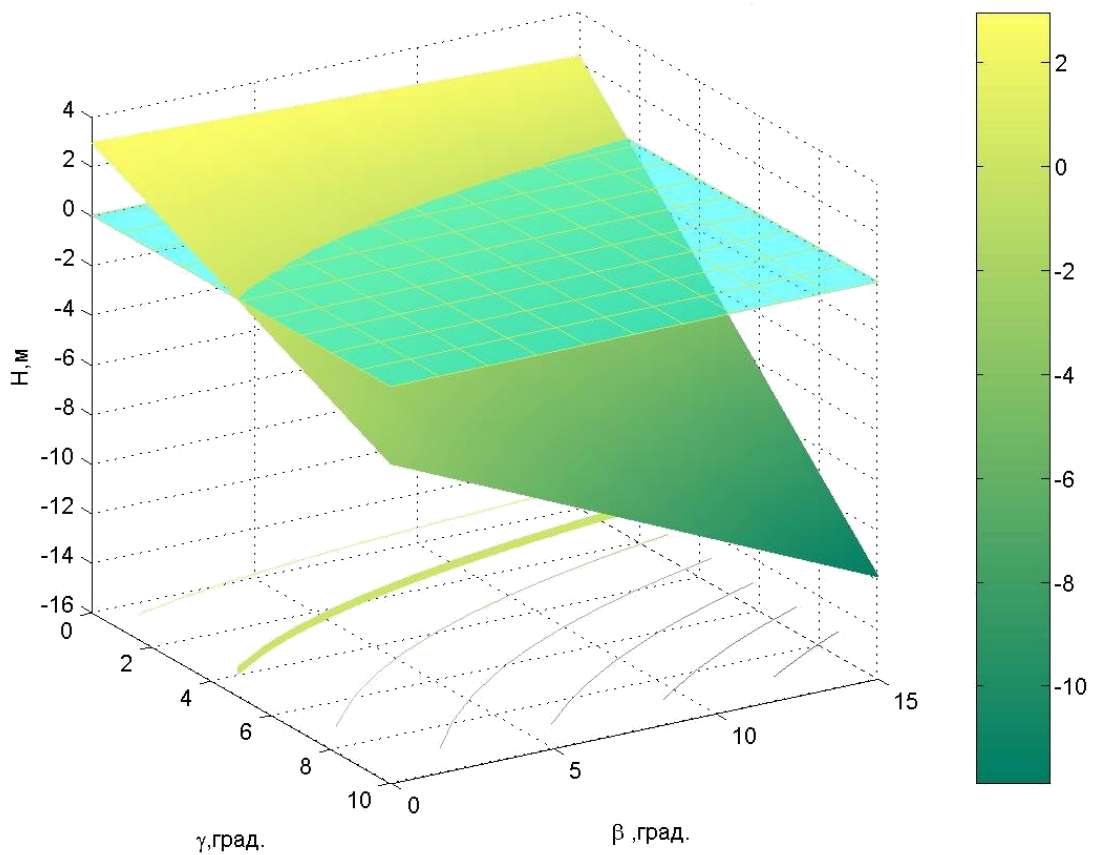


Рис. 3 – Графік залежності відведення автогрейдера від показників установки колів в вертикальній (0°-15°) та горизонтальній (0°-10°) площині.

Експериментальні дослідження довели, що зміна геометричних характеристик машини дозволить досягти її втримання на планованій траєкторії руху для встановлених технологічних ситуацій. Це засвідчує факт існування критеріїв курсової стійкості і їх залежність від характеристик технологічного процесу і геометричних параметрів самої машини.

З фізичної точки зору, процес руху автогрейдера відбувається наступним чином. На ділянці траєкторії АВ виконується різання ґрунту і формування з нього призми перед відвалом. Це призводить до зростання значень головного вектора зовнішніх опорів $\sum W$. У точці В машина зупиняється і одночасно повертається навколо точки стопоріння відвалу, яка збігається з координатою докладання головного вектора зовнішніх опорів $\sum W$. В процесі повороту автогрейдера обсяг призми ґрунту зменшується, а отже і зменшується значення $\sum W$.

Поворот машини відбувається за рахунок поперечного ковзання коліс, при цьому реєструється практично 100% буксування ведучих коліс. Після повороту знову відбувається переміщення автогрейдера по прямолінійній траєкторії. Надалі цей процес може повторюватися [9].

Для коректного опису руху автогрейдера була розроблена його динамічна модель. Особливістю моделі є те, що рух машини описується двома різними системами диференціальних рівнянь другого ступеня [10]. На першому етапі розглядається плоский рух автогрейдера (рис. 4, а), для якого можна записати значення коефіцієнту:

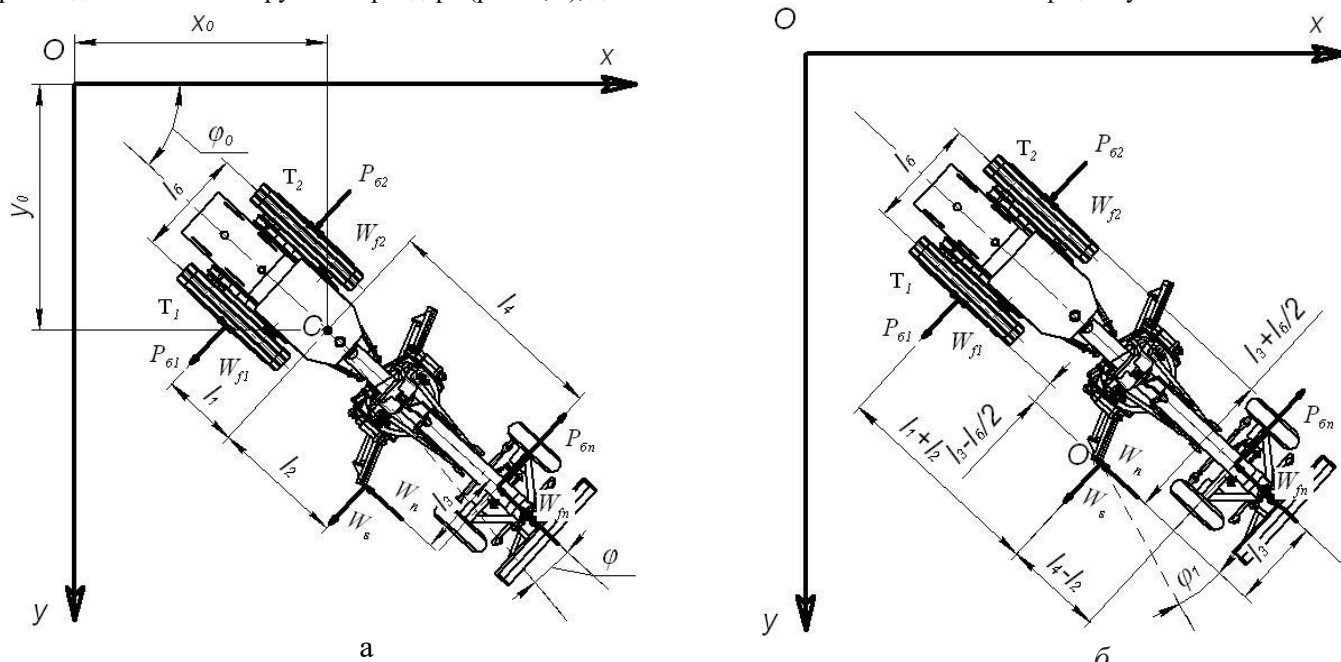


Рис. 4 – Динамічна схема руху автогрейдера: а – етап плоского руху автогрейдера; б – етап повороту автогрейдера відносно точки блокування відвалу

$$k_1 = \frac{\sum M_{y0}}{\sum M_{деcm}} = \frac{T_1 \cdot \frac{l_6}{2} + W_{f2} \cdot \frac{l_6}{2} + (P_{61} + P_{62}) \cdot l_1 + P_{6n} \cdot l_4}{T_2 \cdot \frac{l_6}{2} + W_{f1} \cdot \frac{l_6}{2} + W_n \cdot l_3 + W_s \cdot l_2} \leq 1; \quad (5)$$

де T_1, T_2 – тягові зусилля, що розвиваються відповідно правим і лівим бортами;

W_{f1}, W_{f2} – сили опору перекошування коліс правого і лівого балансира;

W_{fn} – сила опору перекошування коліс переднього моста;

P_{61}, P_{62}, P_{6n} – сили опору бічному ковзанню коліс правого і лівого балансірів, а також переднього моста.

Частина зусиль, що діють на машину, викликають дестабілізуючий вплив ($\sum M_{деcm}$), а частина – утримують машину на планованій траєкторії руху ($\sum M_{y0}$).

На другому етапі руху, в момент блокування відвалу, можливий поворот машини щодо точки прикладання головного вектора опорів копання O_1 (рис. 4,б).

Критерій втрати курсової стійкості на другому етапі руху має вигляд:

$$k_2 = \frac{\sum M_{y0}}{\sum M_{ocem}} = \frac{(P_{\sigma 1} + P_{\sigma 2}) \cdot (l_1 + l_2) + W_{f1} \cdot (l_3 - \frac{l_6}{2}) + W_{f2} \cdot (l_3 + \frac{l_6}{2}) + P_{\sigma n} \cdot (l_4 - l_2) + W_{fn} \cdot l_3}{\left[I_c + m \cdot (\frac{l_6^2}{4} + l_3^2) \right] \cdot \ddot{\phi}_1 + T_1 \cdot (l_3 - \frac{l_6}{2}) + T_2 \cdot (l_3 + \frac{l_6}{2})} \leq 1; \quad (6)$$

Висновки. На підставі результатів проведених експериментальних досліджень процес зміщення автогрейдера з планованою траєкторії характеризується двома динамічними моделями - плоский рух в процесі розробки ґрунту і поворот навколо точки блокування відвалу. Для оцінки ймовірності відхилення машини від планованої траєкторії запропоновано використовувати два критерії втрати курсової стійкості відповідних кожному з етапів руху. Оскільки в процесі виконання операцій копання ґрунту зовнішні зусилля, які діють на автогрейдер змінюються, значення коефіцієнтів в нерівностях (5) і (6) необхідно перераховувати на кожному дискретному кроці розрахунку.

Рекомендовані спільні кути повороту передньої вісі від 0° до 3° в горизонтальній площині та кути нахилу від 0° до 6° в вертикальній площині, які дійсні для бокового відведення не більше 0,3 м. Найбільше впливає на курсову стійкість автогрейдера зміна кута установки передніх коліс у горизонтальній площині, змінюється траєкторія руху машини відносно початкового напрямку і при відповідній установці повороту коліс може взагалі його виключити. Зміна нахилу кута у вертикальній площині, по результатам експерименту, зменшила бокове зміщення на 30%, що безпосередньо позитивно впливає на результати роботи та загальну економічність процесів, виконуваних автогрейдером.

Для уникнення ситуацій бокового зміщення було отримано патент на корисну модель № 120651 «Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування повороту коліс» [11]. Запропонований спосіб дозволяє створити протидію напрямку величині дестабілізуючого моменту в горизонтальній площині, що дозволяє утримати машину на запланованій траєкторії.

Л і т е р а т у р а

1. Чаплыгина А.М. Экспериментальное оценка показателей курсовой устойчивости автогрейдера/ А.М Чаплыгина // Вестник НУВГП. – Рівне: Изд-во НУВГП, 2015. – № 2(70) – С. 342 – 353.
2. Chaplygina O. Methods to determine measures providing a motor-grader road-holding ability/ O. Chaplygina, V. Shevchenko, Zh. Beztseynaya // "Machines, Technologies, Materials" INTERNATIONAL JOURNAL, issue 12/2015, ISSN 1313-0226 – Sofia, Bulgaria: Publisher scientific technical union of mechanical engineering, 2015 p.78-83
3. Chaplygina A.M. Road-holding ability of the motor grader in the process of performing work operations / A.M.Chaplygina, V.O.Shevchenko, Zh.P. Beztseynaya // VIII International Conference. Heavy Machinery-НМ 2014 Proceedings – Zlatibor, 2014 – С. 59–67. Устойчивость колесных машин при заносе и способы ее повышения / [Подригалю М.А., Волков В.П., Доброгорский М.В., Степанов В.Ю.]. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 335 с.
4. Клец Д.М. Оценка влияния моментов, действующих на направляющие колеса, на показатели устойчивости и управляемости автомобиля / Д.М. Клец // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – №29(1002). – С. 149-155.
5. Коваль А.Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних землерийних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт» / А.Б. Коваль. – Дніпропетровськ, 2014. – 21 с.
6. Артемов Н.П. Повышение устойчивости движения пахотного агрегата при изменении технических параметров системы управления : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини и средства механизации сельскохозяйственного производства» / Н.П. Артемов. – Х., 2006. – 179 с.
7. Пат. 120651 Україна, МПК F 16 Н 39/00, F 16 Н 43/00. Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування кута повороту коліс / Шевченко В.О., Чаплигіна О.М., Щербак О.В., Максимів Ю.М.; власник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № 2017 05441; заявл. 02.06.2017; публ. 10.11.2017, Бюл.№ 21.
8. Чаплигіна О.М., Максимів Ю.М. «Дослідження бічного відведення автогрейдера при коригуванні передніх коліс у просторі»/ Підвищення ефективності будівельних, дорожніх і підйомно-транспортних машин, вып.4. – 121с.
9. Shevchenko V. The analytical research of the process of forming the motor-grader motion path at implementation of working operations / V. Shevchenko, A. Chaplygina, Zh. Beztseynaya // International scientific journal trans & motauto world, issue 2/2017, ISSN 2367-8399 – Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0, Sofia, Bulgaria, 2017 – С. 81–84.
10. Назаров Л.В., Воронович А.В. Нагрузки на заднюю тележку автогрейдера при ударе отвала о препятствие //Сб. науч. трудов: Строительство. Материаловедение. Машиностроение; Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование.– Днепропетровск: ПГАСА, 2007. Вып. 39.- С. 41-50.
11. Пат. 120651 Україна, МПК F 16 Н 39/00, F 16 Н 43/00. Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування кута повороту коліс / Шевченко В.О., Чаплигіна О.М., Щербак О.В., Максимів Ю.М.; власник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № 2017 05441; заявл. 02.06.2017; публ. 10.11.2017, Бюл.№ 21.

References

1. Chaplygina A.M. `Eksperimental'noe otsenka pokazatelej kursovoj ustojchivosti avtogrejdera/ A.M Chaplygina // Vestnik NUVGP. – Rivne: Izd-vo NUVGP, 2015. – № 2(70) – S. 342 – 353.
2. Chaplygina O. Methods to determine measures providing a motor-grader road-holding ability/ O. Chaplygina, V. Shevchenko, Zh. Bezsennaya // "Machines, Technologies, Materials "INTERNATIONAL JOURNAL, issue 12/2015, ISSN 1313-0226 – Sofia, Bulgaria: Publisher scientific technical union of mechanical engineering, 2015 p.78-83
3. Chaplygina A.M. Road-holding ability of the motor grader in the process of performing work operations / A.M.Chaplygina, V.O.Shevchenko, Zh.P. Bezsennaya // VIII International Conference. Heavy Machinery-HM 2014 Proceedings – Zlatibor, 2014 – S. 59–67.Ustojchivost' kolesnyh mashin pri zanose i sposoby ee povysheniya / [Podrigalo M.A., Volkov V.P., Dobrogorskij M.V., Stepanov V.Ju.]. – Har'kov: Izd-vo HNADU, 2006. – 335 s.
4. Klets D.M. Otsenka vlijanija momentov, dejstvujuschih na napravljajuschie koleasa, na pokazateli ustojchivosti i upravljaemosti avtomobilja / D.M. Klets // Visnik NTU «HPI». – 2013. – №29(1002). – S. 149-155.
5. Koval' A.B. Vznachennja umov zabezpechennja kursovoi stijkosti universal'nih zemlerijnih mashin : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk : spets. 05.05.04 «Mashini dlja zemljanih, dorozhnih i lisotekhnichnih robit» / A.B. Koval'. – Dnipropetrovs'k, 2014. – 21 s.
6. Artemov N.P. Povyshenie ustojchivosti dvizhenija pahotnogo agregata pri izmenenii tehniceskikh parametrov sistemy upravlenija : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk : spets. 05.05.11 «Mashiny i sredstva mehanizatsii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva» / N.P. Artemov. – H., 2006. – 179 s.
7. Pat. 120651 Ukraïna, MPK F 16 H 39/00, F 16 H 43/00. Sistema stabilizatsii traektorii ruhu avtogrejdera za dopomoguju koriguvannja kuta povorotu kolis / Shevchenko V.O., Chaplygina O.M., Scherbak O.V., Maksimiv Ju.M.; vlasnik Harkivs'kij natsional'nij avtomobil'no-dorozhnij universitet. – № 2017 05441; zajavl. 02.06.2017; publ. 10.11.2017, Bjul.№ 21.
8. Chaplygina O.M., Maksimiv Ju.M. «Doslidzhennja bichnogo vidvedennja avtogrejdera pri koriguvanni perednih kolis u prostori»/ Pidvischennja effektivnosti budivel'nih, dorozhnih i pidjomno-transportnih mashin, vyp.4. – 121s.
9. Shevchenko V. The analitical research of the process of forming the motor-grader motion path at implementation of working operations / V. Shevchenko, A. Chaplygina, Zh. Bezsennaya // International scientific journal trans & motauto world, issue 2/2017, ISSN 2367-8399 – Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0, Sofia, Bulgaria, 2017 – S. 81–84.
10. Nazarov L.V., Voronovich A.V. Nagruzki na zadnjuju telezhku avtogrejdera pri udare otvala o prepjatstvie //Sb. nauch. trudov: Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie; Intensifikatsija rabochih protsessov stroitel'nyh i dorozhnyh mashin. Serija: Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie.– Dnepropetrovsk: PGASA, 2007. Vyp. 39.- S. 41-50.
11. Pat. 120651 Ukraïna, MPK F 16 H 39/00, F 16 H 43/00. Sistema stabilizatsii traektorii ruhu avtogrejdera za dopomoguju koriguvannja kuta povorotu kolis / Shevchenko V.O., Chaplygina O.M., Scherbak O.V., Maksimiv Ju.M.; vlasnik Harkivs'kij natsional'nij avtomobil'no-dorozhnij universitet. – № 2017 05441; zajavl. 02.06.2017; publ. 10.11.2017, Bjul.№ 21.

Выполнение технологических операций землеройно-транспортными машинами (ЗТМ), в отличие от других типов машин, имеет сложную схему нагружения. В процессе резания грунта, происходит блокирование рабочего органа машины. Его нагружение сопровождается процессом интенсивного торможения машины, и силы сопротивления на отвале многократно возрастают. В момент непроизвольного торможения имеет место процесс самопроизвольного разворота машины вокруг точки заземления отвала. Часть призмы грунта в таком случае отсыпается в боковой валик, уменьшая силы сопротивления на рабочем органе, и автогрейдер продолжает прямолинейное движение. Боковые смещения, после подобных явлений, могут превышать 2 м и формируют кусочно-линейную траекторию движения, по своему виду напоминающую ломаную кривую. Разработка динамической модели ЗТМ позволит учесть воздействие динамических нагрузок, оценить показатели курсовой устойчивости, а так же разработать рекомендации которые позволят избежать явлений бокового смещения автогрейдера.

Ключові слова: ЗТМ, автогрейдер, показатели курсовой устойчивости, динамическое нагружение, траектория движения

The implementation of technological operations by earth-moving machines (EMM), unlike other types of machines, has a complex loading scheme. In the process of cutting the soil, blocking the working body of the machine. Its loading is accompanied by a process of intensive braking of the machine, and the resistance forces on the heap multiply. At the moment of involuntary braking, the process of spontaneous turning of the machine around the pinch point of the blade takes place. Part of the prism of the soil in this case is poured into the side roller, reducing the resistance forces on the working body, and the motor grader continues its straight-line movement. Lateral displacements, after such phenomena, can exceed 2 m and form a piecewise linear trajectory of motion, in its appearance resembling a broken curve. The development of a dynamic model of EMM will allow to take into account the impact of dynamic loads, to evaluate the indicators of course stability, as well as to develop recommendations that will allow to avoid the phenomena of lateral movement of the motor grader.

Key words: earth-moving machines (EMM), motor grader, road-holding ability, characteristic signs, dynamic loading, path of motion

Чаплигіна О.М., асистент кафедри «Будівельні та дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету