

УДК 621.878

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.1.74

МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ АВТОГРЕЙДЕРА ПІД ЧАС ЗДІЙСНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Шевченко В. О., Олейнікова О. М., Бондаренко Д. В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Запропоновано метод забезпечення курсової стійкості автогрейдера під час здійснення технологічних операцій. Як систему адаптації автогрейдера до змінних умов експлуатації пропонується використовувати одночасно механізм повороту передніх коліс у горизонтальній площині та механізм нахилу передніх коліс у вертикальній площині. Як критерій адаптації використано показник допустимого відхилення автогрейдера від запланованої траєкторії руху на дистанції визначеної довжини. Запропонований критерій залежить від виду технологічної операції, що здійснюється, та від параметрів розроблюваного середовища. Метод забезпечення курсової стійкості автогрейдера передбачає аналіз переміщення машини вздовж робочого майданчика та розроблення рекомендацій щодо ефективного використання адаптаційної системи. На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень здійснено графоаналітичний аналіз, який дозволив надати рекомендації щодо вибору кутів повороту та нахилу коліс у функції кута поперечного нахилу опорної поверхні та коефіцієнта зчеплення.

Ключові слова: автогрейдер, курсова стійкість, гідропривід, керовані колеса, кут нахилу.

Вступ

Для здійснення різноманітних технологічних операцій автогрейдери обладнують універсальним відвалом, основною конструктивною особливістю якого є можливість вільного розташування в просторі. Довільне розташування відвала під час здійснення технологічних операцій призводить до додаткових поперечних зусиль та дестабілювальних моментів розроблюваного середовища, що може призвести до відхилення автогрейдера від запланованої траєкторії руху. Внаслідок цього погіршуються показники якості робіт, що здійснюються, виникає необхідність у додаткових проходах автогрейдера вздовж робочого майданчика. Одним із засобів вирішення проблеми утримання автогрейдера на планованій траєкторії руху є його адаптація до параметрів зусиль зовнішнього опору розроблюваного середовища.

Аналіз публікацій

Головною відмінною рисою основного робочого устаткування автогрейдера є здатність адаптуватися до типу й виду технологічної операції. Досягається це способом зміни в досить широких межах розміщення основного відвала в просторі щодо самої базової машини. Для цього до конструкції підвіски робочого органу додано такі механізми керування:

- механізм підймання-опускання відвала з роздільним приводом гідроциліндрів;
- механізм виносу тягової рами вбік;

- механізм зміни кута захоплення відвала;
- механізм висування відвала вбік щодо тягової рами [1, 2].

Зміна положення основного відвала щодо базової машини призводить до появи тангенціальних складових рівнодійних сил сумарного опору $\sum W_r$ і додаткового дестабілювального моменту в горизонтальній площині щодо центра мас машини (рис. 1, б):

$$M = \sum W_r \cdot a + \sum W_n \cdot b. \quad (1)$$

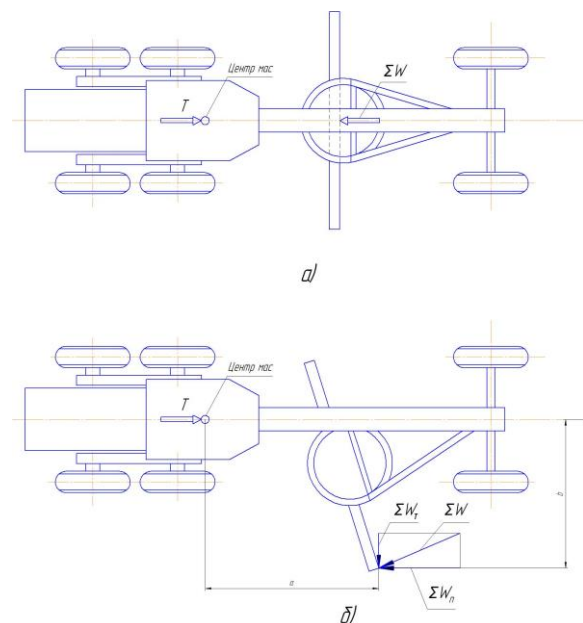


Рис. 1. Схема прикладення зусиль зовнішнього опору до основного відвала

Одночасна дія цих зусиль здатна змістити автогрейдер щодо запланованої траєкторії руху [3].

Експериментальні дослідження продемонстрували, що, крім силових факторів, на показники курсової стійкості істотно впливають такі характеристики опорної поверхні, як кут поперечного ухилу й коефіцієнт зчеплення [4]. Зниження значення коефіцієнта зчеплення може призвести до зменшення сил, що втримують автогрейдер на запланованій траєкторії руху. Поперечний ухил робочого майданчика призводить до появи додаткового дестабілізуючого поперечного зусилля, викликаного вагою всієї машини.

У процесі теоретичних досліджень проблеми курсової стійкості землерийних і землерийно-транспортних машин (ЗТМ) було проаналізовано статичні рівняння рівноваги цих машин і визначено коефіцієнт стійкості руху:

$$k_c = \frac{P_{ум}}{P_{дест}} \quad (2)$$

де $P_{ум}$ – утримувальне зусилля; $P_{дест}$ – дестабілізуювальне зусилля.

Аналіз конструкції сучасних автогрейдерів і патентної інформації, дозволяє класифікувати технічні рішення, які забезпечують утримання автогрейдера на планованій траєкторії руху. Відповідно до цього можна визначити три основні групи пристроїв і систем:

1) автоматизоване керування за допомогою зовнішніх систем стеження:

- супутникові системи;
- системи лазерного наведення;
- системи контролю положення за зовнішнім копіром;

2) автоматизоване керування за допомогою інформації, отриманої від датчиків, що встановлені на ЗТМ:

- системи зміни кута повороту коліс у горизонтальній площині;
- системи зміни кута повороту коліс у вертикальній площині;
- системи зміни кута повороту напіврам машини;

3) додаткові пристосування конструкції ЗТМ, які змінюють параметри самої машини та навколишнього середовища:

- системи зміни положення центра ваги ЗТМ;
- системи підвищення коефіцієнта зчеп-

лення рушіїв з опорною поверхнею;

- системи зменшення збурювальних зусиль;
- системи компенсування збурювальних зусиль додатковими робочими органами;
- системи зміни показників розроблюваного середовища та поверхні робочого майданчика.

Варто зазначити, що в більшості розглянутих досліджень конструктивних пристроїв відсутні рекомендації, які дозволяють забезпечити курсову стійкість в умовах варіювання всіх факторів, що впливають на формування траєкторії руху автогрейдера.

Одним зі способів вирішення проблеми забезпечення курсової стійкості автогрейдера в змінних умовах експлуатації є розміщення на машині спеціалізованих адаптаційних систем і механізмів, які дозволяють утримати автогрейдер на запланованій траєкторії руху.

Мета та постановка завдання

Метою є розроблення методу адаптації автогрейдера до змінних умов зовнішнього навантаження під час здійснення технологічних операцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити алгоритм адаптації автогрейдера до змінних умов експлуатації, визначити конструкцію системи, яка дозволяє його реалізувати; проаналізувати працездатність адаптаційної системи; розробити рекомендації щодо використання запропонованого методу адаптації.

Алгоритм адаптації автогрейдера до змінних умов зовнішнього навантаження

На сучасному етапі розвитку техніки адаптація машини, зокрема автогрейдера, є процесом цілеспрямованої зміни параметрів і структури машини, що складається з визначення критеріїв її функціонування. [4].

Оскільки автогрейдер здійснює технологічні операції в умовах змінюваного зовнішнього навантаження й змінних параметрів розроблюваного середовища й опорної поверхні, для його адаптації необхідна наявність пристосувань і механізмів, що дозволяють змінювати параметри самої машини з метою відповідності критеріям адаптації. Сучасні автогрейдери вже обладнані достатньо великою кількістю штатних систем і механізмів, що регулюють геометричні й кінематичні параметри машини та її робочого обладнання. Для вирішення проблеми забезпечення курсової стійкості автогрейдера ми пропонуємо

використовувати механізми, які вже встановлені на машині.

На основі численних методик синтезу адаптивних систем [6, 7, 8] був розроблений алгоритм адаптивного методу, що дозволяє забезпечити необхідний рівень показників курсової стійкості автогрейдера. Цей алгоритм складається з таких етапів:

1) обґрунтування та розроблення критеріїв адаптації;

2) вибір систем регулювання зі штатних механізмів, вже встановлених на автогрейдері, які дозволяють ефективно адаптувати машину до змінних параметрів, що визначають технологічну операцію, яка здійснюється;

3) аналіз роботи запропонованої адаптаційної системи;

4) розроблення рекомендацій, що дозволяють ефективно використовувати адаптаційну систему.

Обґрунтування та розроблення критеріїв адаптації

Обґрунтування критеріїв курсової стійкості та динамічної моделі руху автогрейдера потребували експериментального дослідження, яке було проведено на навчально-науковій базі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ННБ ХНАДУ). В експерименті фіксували траєкторію руху машини в процесі здійснення технологічних операцій. Експериментальні дослідження проводилися в літній період на ґрунті II категорії. Як базову машину використовували автогрейдер Крюківського вагонобудівного заводу ДЗк-251.

Експериментальні дослідження довели, що траєкторію руху автогрейдера можна визначити декількома способами:

– коли робочий опір на відвалі порівняно невеликий, формується лінійна траєкторія руху автогрейдера. Ситуації відхилення реальної траєкторії руху автогрейдера від запланованої не фіксувались;

– коли коефіцієнт зчеплення рушіїв з опорною поверхнею незначний, зафіксовано рух вздовж криволінійної траєкторії під час здійснення технологічних операцій;

– у процесі різання ґрунту було зафіксовано кусочно-лінійну траєкторію руху автогрейдера. Машина спочатку рухається прямолінійно, потім у міру зростання зовнішніх опорів вона гальмується, розвертається навколо точки блокування відвала й далі продовжує прямолінійне переміщення.

Варто зазначити, що під час втрати курсової стійкості поперечне зміщення машини є поступовим на довжині захватки. Більшість технологічних операцій автогрейдера рекомендовано здійснювати з перекриттям проходів, критерієм курсової стійкості в першому наближенні є коефіцієнт перекриття проходів k_n або відповідне йому поперечне зміщення краю відвала машини ε_l .

У цьому випадку критерію $y_p(x)$ курсової стійкості на дистанції, довжиною l , має відповідати така умова:

$$y_p(x) \leq y_n(x) \pm \varepsilon_l, \quad (3)$$

де y_p – поперечне зміщення машини під час руху вздовж реальної траєкторії руху; y_n – поперечне зміщення машини під час руху вздовж запланованої траєкторії руху.

Значення ε_l визначені на основі довідкової інформації, наведеної в літературі [9]. Аналіз типових технологічних операцій, що здійснює автогрейдер (рис. 2), дозволив визначити залежності для параметра ε_l :

– операція зарізання, променева схема розроблення:

$$\varepsilon_l = (k_n - 1) \cdot B \cdot k_v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varepsilon; \quad (4)$$

– операція зарізання, пошарова схема розроблення:

$$\varepsilon_l = (k_n - 1) \cdot k_0 \cdot B \cdot k_v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varepsilon; \quad (5)$$

– переміщення ґрунту:

$$\varepsilon_l = (k_n - 1) \cdot k_0 \cdot B \cdot k_v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varepsilon, \quad (6)$$

де B – ширина відвала; α – кут захоплення відвала; ε – кут перекошування відвала у вертикальній площині; k_0 – коефіцієнт, що визначає, яка частина відвала здійснює операцію зарізання; k_v – коефіцієнт варіації допустимого бокового зміщення; k_n – емпіричний коефіцієнт, який залежить від типу розроблюваного ґрунту [9].

Коефіцієнт k_0 залежить від товщини стружки різання ґрунту та величини кута перекошування відвала у вертикальній площині, які зі свого боку залежать від типу технологічної операції. Згідно з аналітичним

аналізом значення коефіцієнта становить від 0,2 до 0,65.

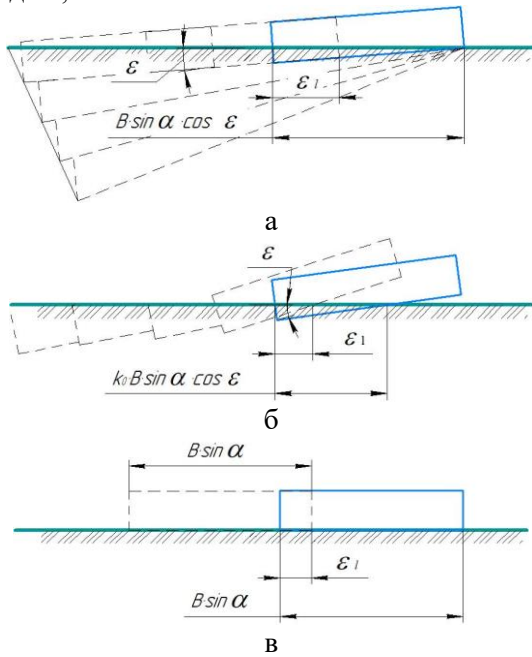


Рис. 2. Розрахункові схеми типових технологічних операцій, що здійснює автогрейдер: а – операція зарізання, променева схема розроблення; б – операція зарізання, схема розроблення; в – переміщення ґрунту

Коефіцієнт варіації k_v визначається нормативними вимогами до якості роботи та техніко-економічними показниками, що характеризують роботу автогрейдера. Цими показниками є собівартість одиниці продукції і продуктивність. Розрахунки коефіцієнта в цьому випадку змінюються в межах від 0,05 до 0,25.

Результати розрахунків значень допустимого зміщення ε_l для $k = 0,1$ наведені на рис. 3–5.

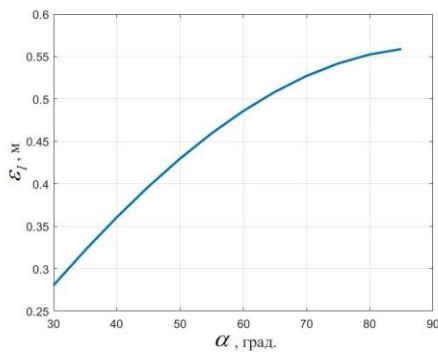


Рис. 3. Графік залежності допустимого поперечного зміщення ε_l від кута захоплення α

під час здійснення операції переміщення ґрунту

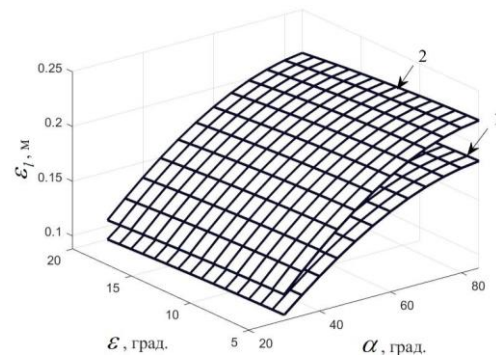


Рис. 4. Графік залежності допустимого поперечного зміщення ε_l від кута захоплення α та кута перекошування відвала у вертикальній площині ε під час здійснення операції зарізання ґрунту з використанням променевої схеми: 1 – ґрунт розпушений ($k_n = 1,6$); 2 – ґрунт непорушеної структури ($k_n = 1,8$)

Значення ε_l змінюється в діапазоні від 0,033 м до 0,186 м. Межі допустимих значень ε_l залежать від типу технологічної операції та від фізико-механічних характеристик розроблювального ґрунту. Збільшення кута захоплення від 40° до 60° спричиняє збільшення ε_l на 34 %–36 %. Збільшення кута перекошування у вертикальній площині від 5° до 20° сприяє зниженню значень ε_l на 5 %–8 %.

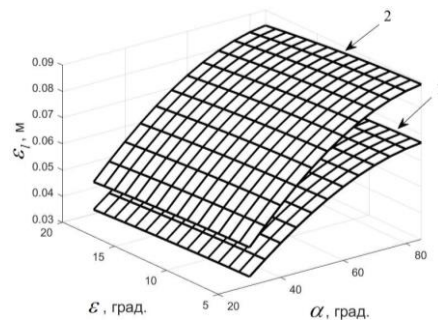


Рис. 5. Графік залежності допустимого поперечного зміщення ε_l від кута захоплення α та кута перекошування відвала у вертикальній площині ε під час операції зарізання ґрунту кутом відвала: 1 – ґрунт розпушений ($k_n = 1,6$); 2 – ґрунт непорушеної структури ($k_n = 1,8$)

Аналіз роботи адаптаційної системи

Аналіз конструкцій сучасних автогрейдерів дозволив визначити системи, які найбільше впливають на геометричні показники траєкторії руху машини. До таких належать механізм нахилу передніх коліс у вертикальній площині та механізм повороту передніх коліс у горизонтальній площині.

Наступний етап методики адаптації автогрейдера до змінних зовнішніх умов навантаження передбачає розроблення рекомендацій, що дозволяють утримати машину на запланованій траєкторії руху в межах призначеного значення критерію адаптації. Досягти цього можна двома способами:

- через теоретичне дослідження на основі розроблення математичної моделі процесу руху автогрейдера й аналізу визначеної траєкторії;

- через аналіз результатів експериментальних досліджень.

У запропонованому дослідженні враховані результати багатофакторного експерименту, проведеного авторами в умовах полігона ХНАДУ на автогрейдері ДЗК-250. За незмінних геометричних характеристик встановлення відвала в процесі експерименту варіювалися попередньо певні найбільш значимі фактори: кут поперечного ухилу опорної поверхні, коефіцієнт зчеплення коліс автогрейдера з опорною поверхнею, кут повороту передніх коліс у горизонтальній площині й кут їхнього нахилу у вертикальній площині. Аналіз отриманих результатів продемонстрував, що кут поперечного ухилу й коефіцієнт зчеплення є дестабілізуючими факторами, водночас варіація кутів встановлення передніх коліс дозволяє утримувати автогрейдер на запланованій траєкторії руху.

Таким чином, вибір раціональних значень цих кутів дозволяє адаптувати автогрейдер до змінних умов експлуатації й забезпечити траєкторію його руху в межах заданого критерію адаптації.

На основі проведеного експериментального дослідження були отримані рівняння регресії, які поєднують між собою всі чотири змінних параметри [10].

Отримані регресійні рівняння дозволяють у графічному й чисельному видах визначити рівень впливу одночасної зміни декількох факторів на показники курсової стійкості, зокрема на відхилення автогрейдера від запланованої траєкторії руху.

Графіки залежності бічного зсуву H автогрейдера від кута повороту передніх коліс у

горизонтальній площині та кута нахилу у вертикальній площині для різних поперечних ухилів опорної поверхні наведені на рис. 6.

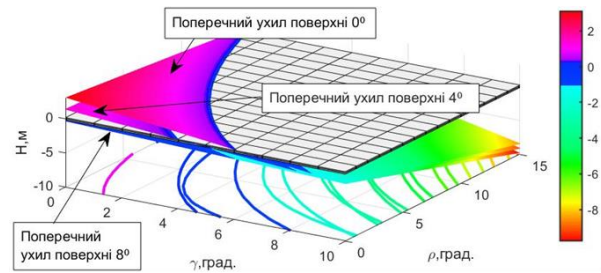


Рис. 6. Графік залежності бічного зсуву автогрейдера від кутів повороту в горизонтальній площині та нахилу у вертикальній площині передніх коліс для різних значень поперечного ухилу опорної поверхні

Аналогічні графіки, але для різних коефіцієнтів зчеплення наведені на рис. 7. Всі побудовані поверхні нелінійні. Найбільші відхилення автогрейдера від запланованої траєкторії руху зареєстровані за кута повороту передніх коліс у горизонтальній площині $\gamma = 10^\circ$ та кута нахилу передніх коліс у вертикальній площині $\rho = 10^\circ$ й становлять 8.4...9.7 м на довжині захватки 20 м. У ситуаціях, коли $\gamma = 0^\circ$ та $\rho = 0^\circ$, відхилення дорівнюють 1.4...3.2 м.

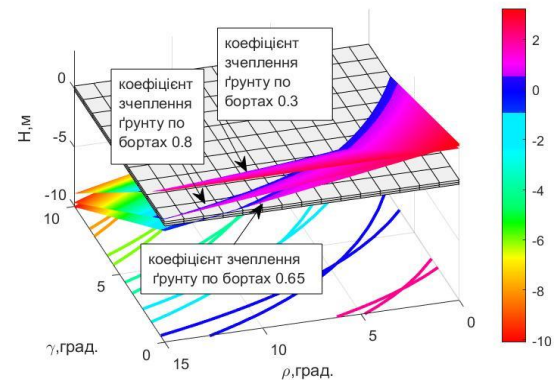


Рис. 7. Графік залежності бічного зсуву автогрейдера від кутів повороту в горизонтальній площині та нахилу у вертикальній площині передніх коліс для різних коефіцієнтів зчеплення

Аналіз рівнянь регресії доводить, що задані значення поперечного ухилу та коефіцієнти зчеплення дають можливість визначити співвідношення між кутами γ і ρ за яких критерій курсової стійкості буде дійсним. Графічно множина значень знаходиться в

зоні перетину побудованих поверхонь відносно нульового зміщення на відстані $\pm \varepsilon_l$. На графіках, які наведено на рис. 8 та 9, множина прийнятних значень кутів γ і ρ розташована між двома кривими.

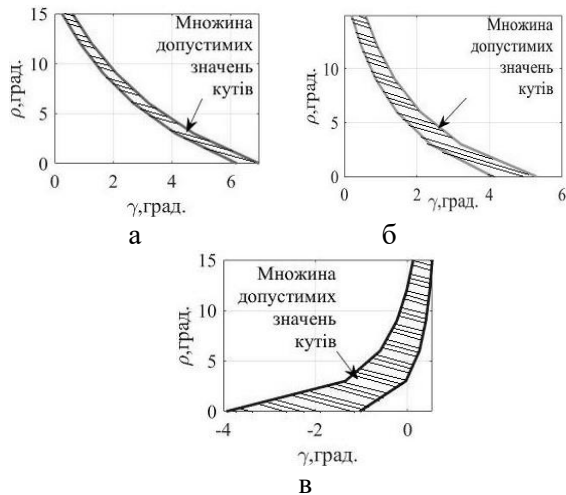


Рис. 8. Графічні залежності, які дозволяють визначити співвідношення кутів γ і ρ , що забезпечують допустиме бокове зміщення автогрейдера в межах $\varepsilon_l = \pm 0,18$ м: а – поперечний ухил опорної поверхні 0° ; б – поперечний ухил опорної поверхні 4° ; в – поперечний ухил опорної поверхні 8°

Результати розрахунків для змінних значень коефіцієнта зчеплення наведено на рис. 9.

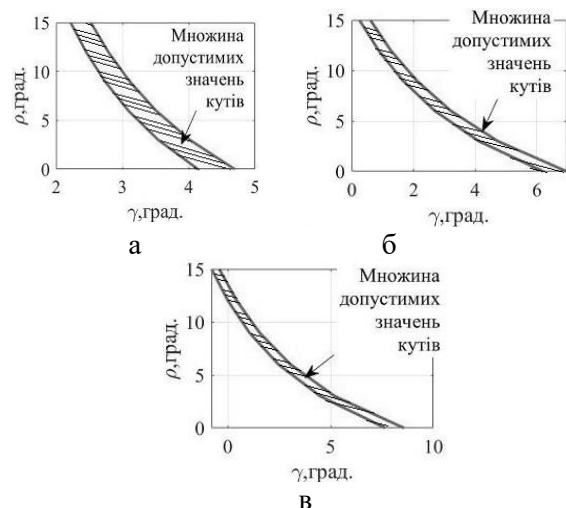


Рис. 9. Графічні залежності, які дозволяють визначити співвідношення кутів γ і ρ , що забезпечують допустиме бокове зміщення автогрейдера в межах $\varepsilon_l = \pm 0,18$ м: а – коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,3; б – коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,65; в – коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,8

У такий спосіб адаптація автогрейдера за критерієм курсової стійкості для різних кутів поперечного ухилу опорної поверхні й коефіцієнтів зчеплення зводиться до вибору кутів встановлення коліс одночасно в горизонтальній і вертикальній площинах із рекомендованих кількостей.

Висновки

Проведене дослідження довело, що запропонована методика адаптації автогрейдерів до змінних умов експлуатації дозволяє синтезувати систему адаптації, яка відповідає вибраним критеріям.

Для автогрейдерів класичної конструкції система адаптації зводиться до вибору кута повороту передніх коліс у горизонтальній площині та відповідного йому кута нахилу у вертикальній площині відповідно до наведених графічних залежностей.

Література

1. Caterpillar. URL: <https://www.caterpillar.com/> (дата звернення: 13.04.2023).
2. Komatsu. URL: <https://www.komatsu.jp/en> (дата звернення: 13.04.2023).
3. The analytical research of the dynamic loading effect on the road-holding ability characteristic signs of earth-moving machine / Shevchenko V., Chaplygina A, Krasnokutsky V., Logvinov E. International scientific journal trans & motauto world – Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0. 2018. Vol. 3 (2018). Issue 2. P. 57–61.
4. Shevchenko V. O., Beztseynaya Zh. P., Chaplygina A. M. Methods to determine measures providing a motor-grader road-holding ability: IX International conference for young researchers. Technical sciences. Industrial management. Proceedings. Burgas. 2015. P. 52–57.
5. Rastrigin L. A. Adaptation of Complex System. Riga: Zinatne, 1981).
6. Ioannou P., Fidan B. Adaptive Control Tutorial. Philadelphia, 2006. doi.org/10.1137/1.9780898718652.
7. Fidan B., Ioannou P. A. Adaptive Control Toolbox for use with MATLAB & Simulink. 2001–2014.
8. Tertychny-Dauri V. Y. Optimal Synthesis of Adaptive Mechanical Systems Imposed by General Constraints. Adaptive Mechanics. Mathematics and Its Applications. 2002. Vol 538. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0787-0_10/.
9. Машины для земляных работ: навч. посіб. / Хмара Л. А. та ін. Рівне, Дніпропетровськ, Харків, 2010. 575 с.
10. Mathematical model of a motor-grader movement in the process of performing working opera-

tions / Shevchenko V., Chaplyhina O., Pimonov I., Reznikov O. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Dnipro, 2020. doi:10.1088/1757-899X/985/1/012009.

References

1. Caterpillar. URL: [https://www.caterpillar.com/\(data obrashcheniya: 13.04.2023\)](https://www.caterpillar.com/(data obrashcheniya: 13.04.2023)).
2. Komatsu. URL: [https://www.komatsu.jp/en \(data obrashcheniya: 13.04.2023\)](https://www.komatsu.jp/en (data obrashcheniya: 13.04.2023)).
3. The analytical research of the dynamic loading effect on the road-holding ability characteristic signs of earth-moving machine / Shevchenko V., Chaplygina A, Krasnokutsky V., Logvinov E. International scientific journal trans & motauto world – Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0. 2018. Vol. 3 (2018). Issue 2. P. 57–61.
4. Shevchenko V. O., Beztseynaya Zh. P., Chaplygina A. M. Methods to determine measures providing a motor-grader road-holding ability: IX International conference for young researchers. Technical sciences. Industrial management. Proceedings. Burgas. 2015. P. 52–57.
5. Rastrigin L. A. Adaptation of Complex System. Riga: Zinatne, 1981).
6. Ioannou P., Fidan B. Adaptive Control Tutorial. Philadelphia, 2006. doi.org/10.1137/1.9780898718652.
7. Fidan B., Ioannou P. A. Adaptive Control Toolbox for use with MATLAB & Simulink. 2001–2014.
8. Tertychny-Dauri V. Y. Optimal Synthesis of Adaptive Mechanical Systems Imposed by General Constraints. Adaptive Mechanics. Mathematics and Its Applications. 2002. Vol 538. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0787-0_10/.
9. Mashiny dlya zemlyanykh rabot: ucheb. Posobiye / Khmara L. A. i dr. Rovno, Dnepropetrovsk, Kharkov, 2010. 575 s.
10. Mathematical model of a motor-grader movement in the process of performing working operations / Shevchenko V., Chaplyhina O., Pimonov I., Reznikov O. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Dnipro, 2020. doi:10.1088/1757-899X/985/1/012009.

Шевченко Валерій Олександрович: кандидат технічних наук; доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна valery03102016@gmail.com, тел. +38 067-283-87-68,

Олейнікова Олександра Михайлівна, кандидат технічних наук; доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Яро-

слава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна olexandrachaplygina@gmail.com тел. +38093-349-06-07,

Бондаренко Дмитро Володимирович, аспірант каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна dbndrnk@gmail.com, тел. +38 066-995-57-87.

The method of ensuring the road-holding ability of the motor grader during the performance of technological operations

Abstract. Problem. The article proposes a method of ensuring course stability of a motor grader during technological operations. As a system for adapting the motor grader to changing operating conditions, it is proposed to simultaneously use the mechanism for turning the front wheels in the horizontal plane and the mechanism for tilting the front wheels in the vertical plane. **Goal.** Development of a method of adapting a motor grader to changing external load conditions during technological operations. **Methodology.** As a criterion for adaptation, the index of permissible deviation of the motor grader from the planned trajectory of movement at the distance of the given length was used. **Originality.** The proposed criterion depends on the type of technological operation performed and the type of parameters of the developed environment. **Results.** The method of ensuring road-holding ability of the motor grader involves the analysis of the movement of the machine on the work site and the development of recommendations for the effective use of the adaptation system. **Practical value.** On the basis of the obtained results of experimental studies, a graphical and analytical analysis was performed, which made it possible to provide recommendations on the choice of turning angles and inclination of the wheels as a function of the angle of the transverse inclination of the support surface and the coefficient of adhesion.

Key words: motor grader, road-holding ability, hydraulic drive, steerable wheels, angle of inclination.

Shevchenko Valerii, associate professor, candidate of technical sciences, Department of construction and road machines, Kharkiv National Automobile and Road University, valery03102016@gmail.com tel. +38 067-283-87-68,

Oleinskova Olexandra, candidate of technical sciences, Department of construction and road machines, Kharkiv National Automobile and Road University, olexandrachaplygina@gmail.com tel. +38093-349-06-07,

Bondarenko Dmitrii, undergraduate, Kharkiv National Automobile and Road University, dbndrnk@gmail.com, tel. +38 066-995-57-87.