

Чаплигіна О.М.

**ВПЛИВ ПОЛОЖЕННЯ ПЕРЕДНІХ КОЛІС У ПРОСТОРИ НА ТРАЄКТОРІЮ РУХУ АВТОГРЕЙДЕРА**

Запропоновано відхилення від запланованої траєкторії руху машини охарактеризувати показником втрати курсової стійкості автогрейдера - бічним зміщенням. В результаті проведення експериментального дослідження на автогрейдері ДЗк-251, виробництва Крюковського вагонобудівного заводу, отримано експериментальні результати повного факторного експерименту, проведено дисперсійний аналіз отриманих даних, визначено значущі фактори, які впливають на траєкторію руху. Знайдено бокові зміщення траєкторії руху машини, зроблені висновки, розроблено та видано патент на корисну модель «Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування кута повороту коліс».

**Ключові слова:** рух автогрейдера, траєкторія, бічне зміщення, показники курсової стійкості, дестабілізуючий момент.

**Актуальність дослідження.** На автогрейдер в процесі виконання робочих операцій діють бокові навантаження на робочий орган, які можуть привести до відхилення від запланованої траєкторії руху машини. Одним з показників втрати курсової стійкості автогрейдера є бічне зміщення. Процес бічного зміщення автогрейдера неодноразово фіксувався при проведенні експериментальних досліджень [1].

**Постановка проблеми.** Землерийно-транспортні машини в робочому режимі зазнають додаткові навантаження, що діють на робочий орган. Автогрейдер, крім позацентрового впливу навантажень на основний відвал, має нестандартне конструктивне розташування робочого органу, що призводить не тільки до бічного зміщення машини, але і її розвороту навколо точки затискання відвалу.

Причиною цього, є нерівномірна навантаженість по бортах машини [2,3], і коефіцієнти, що характеризують курсову стійкість безпосередньо залежать від граничних навантажень, які діють на кромку основного відвала.

Спеціалісти, які досліджують поведінку сільськогосподарських машин [4] з шарнірносочленованим робочим обладнанням, яке кріпиться позаду базової машини, вважають, що коефіцієнт характеризуючий курсову швидкість залежить від відношення керуючого зусилля до суми сил опору.

**Мета роботи** – визначення впливу положення передніх коліс у просторі на бічне зміщення автогрейдера.

**Рішення задачі.** Для проведення експериментального дослідження було розроблено методику [5]. Бічне відведення автогрейдера фіксувалось на ділянці 20 м на ґрунті II категорії при відносній вологості ґрунту 18% - 20%. Змінними параметрами експерименту були прийняті:

- кут установки коліс у вертикальній площині  $\beta$
- кут установки коліс у горизонтальній площині  $\gamma$

Незмінними параметрами експериментального дослідження була: швидкість руху 1.01 м/с, кутом установки відвалу в плані  $90^\circ$ , кут різання  $12^\circ$ . Установка коліс змінювалася у вертикальній площині від  $0^\circ$  до  $10^\circ$ , установка повороту коліс в горизонтальній площині від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ . Автогрейдер було встановлено паралельно до базової прямої. Забір проводився на початку і в кінці шляху автогрейдера.

Величини бокового зміщення автогрейдера, отриманні в процесі проведення експериментального дослідження, представлені в табл. 1.

**Таблиця 1 – Зміщення траєкторії руху автогрейдера при установці нахилу передніх коліс в вертикальній та повороту коліс в горизонтальній площині**

Заріз автогрейдера		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Зміщення автогрейдера	$\beta = 0^\circ, \gamma = 0^\circ$	0,15	0,3	0,7	0,85	1,2	1,35	1,7	1,8	2,2	2,48	2,8
	$\beta = 0^\circ, \gamma = 10^\circ$	0	-0,2	-0,31	-0,4	-0,6	-0,9	-1,48	-1,8	-2,34	-3,1	-3,7
	$\beta = 15^\circ, \gamma = 0^\circ$	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,15	1,3	1,5	1,48	2,2
	$\beta = 15^\circ, \gamma = 10^\circ$	0	-0,55	-1,02	-1,56	-2,2	-2,8	-3,6	-4,2	-4,8	-5,48	-6,3

Обробка експериментальних даних складається з наступних обов'язкових етапів: кодування факторів (табл. 2.), складання план-матриці експерименту, рандомізація дослідів [6,7]. Кодування факторів необхідне для переводу натуральних факторів (кута повороту коліс у горизонтальній та кута нахилу у вертикальній площинах) в безрозмірні величини, щоб мати можливість збудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту.

Таблиця 2 – Кодування змінних

Інтервал варіювання та рівень факторів	Нахил у вертикальній площині, °	Нахил у горизонтальній площині, °
Нульовий рівень $x_i = 0$	5	7,5
Інтервал варіювання $\delta_i$	5	5
Нижній рівень $x_i = -1$	0	0
Верхній рівень $x_i = +1$	10	15
Кодове позначення	$x_1$	$x_2$

Зв'язок між кодовим і натуральним виразом фактору задається формулою:

$$x_i = \frac{X_i - x_{i0}}{\delta_i} \quad (1)$$

де  $X_i$  - натуральне значення фактору;  
 $x_{i0}$  - значення і-го фактору на нульовому рівні;  
 $\delta_i$  - інтервал варіювання і-го фактора.

Після розрахунків усіх розрахунків перевірка відтворюваності експерименту по критерію Кохрена, дала позитивний результат:

$$G = \frac{0,0081}{0,0081 + 0,0009 + 0,0036 + 0,0025} \leq G_{(0,05; f_a; f_u)}; 0,5364 \leq 0,9065 \quad (2)$$

Коефіцієнти регресії знаходилися за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{n}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot \bar{y}_u}{n}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot \bar{y}_u}{n}; \quad (3)$$

Перевірка адекватності моделі виконується за допомогою критерію Фішера:

$$F = \frac{S_{aa}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{aa}; f_y)}; \quad F = \frac{1,6257}{0,377} \leq F_{(0,05; 1; 4)}; \quad 4,31 \leq 7,7086 \quad (4)$$

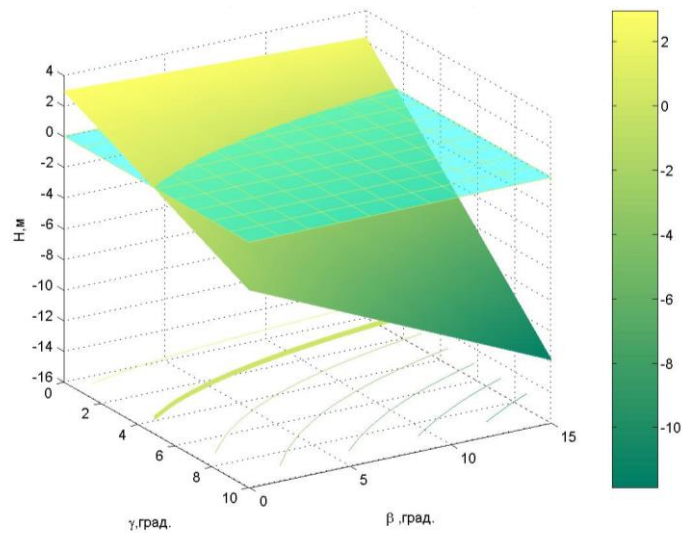
Оцінка значущості коефіцієнта регресії виконувалася за допомогою критерію Ст'юдента:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05; f_y)} \frac{s_y}{\sqrt{n}}; \quad \Delta b_i = 2,7764 \frac{\sqrt{0,00377}}{\sqrt{4}} = 0,04 \quad (5)$$

Рівняння регресії в натуральному вигляді факторів має вигляд:

$$y = 3,56 - 0,082 \cdot \beta - 0,076 \cdot \gamma + 0,017 \cdot \beta \cdot \gamma \quad (6)$$

За допомогою рівняння регресії було побудовано графік (рис. 1) залежності зміни кутів у просторі передньої вісі рушіїв автогрейдера.

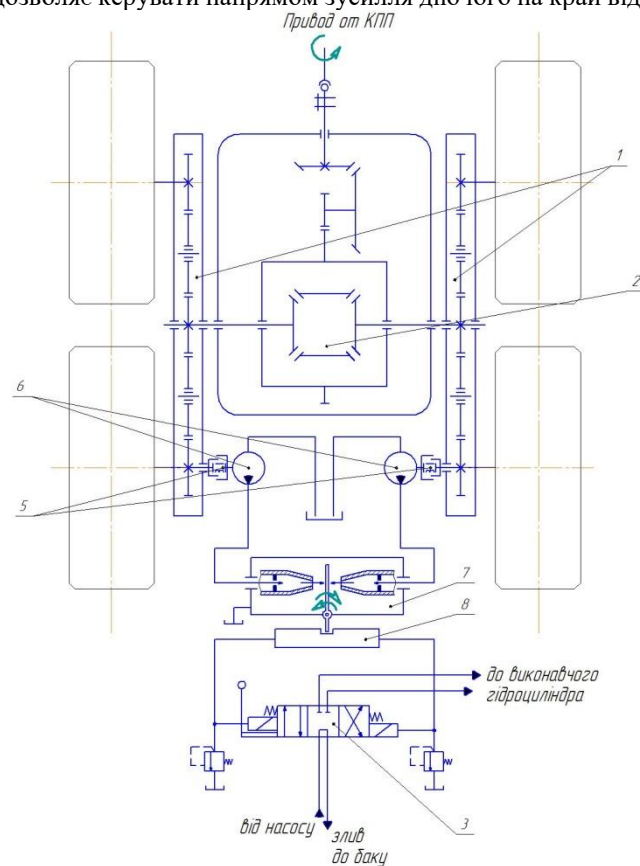


**Рис. 1. Графік залежності відведення автогрейдера від показників установки коліс в горизонтальній площині(0°-10°) та вертикальній(0°-15°) площині**

Регресійний аналіз наочно засвідчив (рис.1), що зміна геометричних параметрів машини істотно впливає на траєкторію руху та дозволяє досягти прямолінійного руху автогрейдера для розроблення ґрунту по заданих технологічних параметрах. Для цих умов роботи в процесі різання ґрунту рекомендовані спільні кути повороту передньої вісі від 0° до 3° в горизонтальній площині та кути нахилу від 0° до 6° в вертикальній площині, при яких бокове відведення не перевищуватиме  $\pm 0,3$  м.

Для забезпечення стабілізації траєкторії руху ЗТМ було запропоновано корисну модель, яка відноситься до коліс і шин, зокрема до автогрейдерів, може бути використана для стабілізації траєкторії руху ЗТМ. [8]

В основу запропонованої корисної моделі поставлено завдання вдосконалити гідравлічну систему машини (рис.2) таким чином, щоб дійсна траєкторія руху машини не відхилялася від запланованої, за допомогою системи управління ходовим обладнанням, а саме повороту коліс передньої осі у горизонтальній площині, коригуючи напрямок траєкторії руху, яке дозволяє керувати напрямом зусилля діючого на край відвалу автогрейдера(рис.4).



**Рис. 2. Схема автогрейдера з модернізованим регулюванням подачі гідравлічної рідини: 1- редуктора; 2- диференціал; 3- гідророзподільник; 4- гідроциліндр; 5- фрикційні муфти; 6- гідронасоси; 7- пристрій типу сопло-заслінка; 8- електромеханічний перетворювач.**

Для коригування траєкторії руху вихідні магістралі гідророзподільника 3 з'єднані з виконавчими порожнинами силових гідроциліндрів 4 змінює нахил колісного обладнання на кут  $\alpha$  у горизонтальній площині (рис. 3).

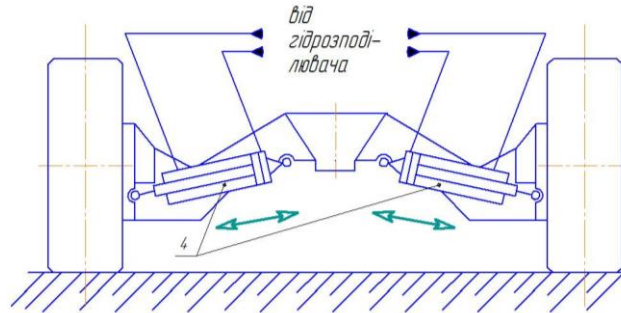


Рис. 3. Схема роботи гідроциліндрів автогрейдера встановлених на передній керуючій вісі.

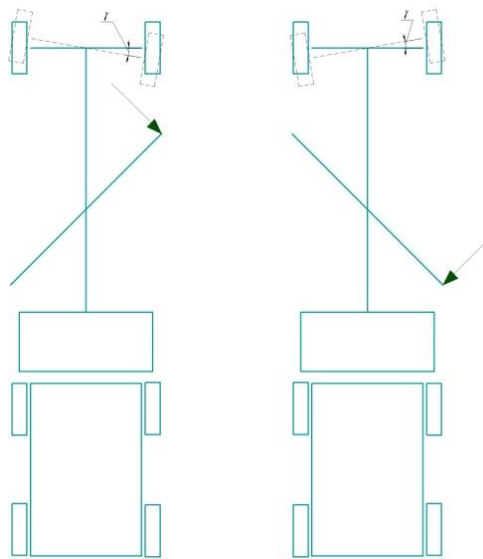


Рис. 4. Схема напрямку головного вектору сил опору на відвалі автогрейдера.

**Висновки** 1. Рекомендовані спільні кути повороту передньої вісі від  $0^\circ$  до  $3^\circ$  в горизонтальній площині та кути нахилу від  $0^\circ$  до  $6^\circ$  в вертикальній площині, які дійсні для бокового відведення не більше 0,3 м. 2. 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. 3. Зміна нахилу кута у вертикальній площині, по результатам експерименту, зменшила відведення майже на 1/3, що безпосередньо позитивно впливає на результати роботи та загальну економічність процесів, виконуваних автогрейдером.

#### Литература

1. Чаплыгина А.М. Экспериментальное исследование показателей курсовой устойчивости автогрейдера / А.М.Чаплыгина // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2015 – Вып. 2(70) – С. 342–353.
2. Севров К.П. Автогрейдеры. Конструкции, теория, расчет / К.П. Севров, Б.В. Горячко, А.А. Покровский. – М. – Машиностроение, 1970. – С. 95–121
3. Дорожные машины / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг [и др.]. -М.: Машиностроение, 1972. - Ч. I. Машины для земляных работ. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - 504с.
4. Артёмов Н.П. Повышение устойчивости движения пахотного агрегата при изменении технических параметров системы управления. – Харьков.: дис., 2006. — 27 с.
5. Пат. 108314 Україна, МПК G01B 5/20 E02F 3/00. Спосіб визначення показників курсової стійкості землерийно-транспортних машин/ Шевченко В.О., Чаплигіна О.М.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. — No u201600577; заявл. 25.01.16; публ. 11.07.16, Бюл. No13.

6. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техника, 1975. – 168 с.
7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий./ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Наука, 1977. – 280 с.
8. Пат. 120651 Україна, МПК F 16 H 39/00, F 16 H 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'noye issledovaniye pokazately kursovoy ustoychivosti avtogreydera / A.M.Chaplygina // Visnik natsional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannya. Zbírnik naukovikh prats'. – Rívne : NUVGP, 2015 – Vyp. 2(70) – S. 342–353.
2. Sevrov K.P. Avtogreydery. Konstruktsii, teoriya, raschet / K.P. Sevrov, B.V. Goryachko, A.A. Pokrovskiy. – М. – Mashinostroyeniye, 1970. – S. 95–121
3. Dorozhnyye mashiny / Т. V. Alekseyeva, К. А. Artem'yev, А. А. Bromberg [i dr.]. -М.: Mashinostroyeniye, 1972. - СН. I. Mashiny dlya zemlyanykh robot. - Izd. 3-ye, pererab. i dop. - 504s.
4. Artomov N.P. Povysheniye ustoychivosti dvizheniya pakhotnogo agregata pri izmenenii tekhnicheskikh parametrov sistemy upravleniya. – Khar'kov.: dis., 2006. — 27 s.
5. Pat. 108314 Ukraїna, МПК G01B 5/20 E02F 3/00. Sposib viznachennya pokaznikiv kursovoї stiykostі zemleriyno-transportnikh mashin/ Shevchenko V.O., Chaplygina O.M.; zayavnik i patentovlasnik Kharkivs'kiy natsional'niy avtomobil'no-dorozhniy universitet. — No u201600577; zayavl. 25.01.16; publ. 11.07.16, Byul. No13.
6. Vinarskiy M.S. Planirovaniye eksperimenta v tekhnologicheskikh issledovaniyakh / M.S. Vinarskiy, M.V. Lur'ye. – К.: Tekhnika, 1975. – 168 s.
7. Adler YU.P. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy./ YU.P. Adler, Ye.V. Markova, YU.V. Granovskiy. – Izd. 2-ye, dop. i pererab. – М.: Nauka, 1977. – 280 s.
8. Pat. 120651 Ukraїna, МПК F 16 H 39/00, F 16 H 43/00. Sistema stabilizatsii traektorii rukhu avtogreydera za dopomogoyu koriguvannya kuta povorotu kolis / Shevchenko V.O., Chaplygina O.M., Shcherbak O.V., Maksimiv YU.M.; vlasnik Kharkivs'kiy natsional'niy avtomobil'no-dorozhniy universitet. – № 2017 05441; zayavl. 02.06.2017; publ. 10.11.2017, Byul.№ 21.

Предложено отклонение от запланированной траектории движения машины охарактеризовать показателем потери курсовой устойчивости автогрейдера - боковым смещением. В результате проведения экспериментального исследования на автогрейдере ДЗК-251, производства Крюковского вагоностроительного завода, получены экспериментальные результаты полного факторного эксперимента, проведен дисперсионный анализ полученных данных, определены значимые факторы, влияющие на траекторию движения. Найдено боковые смещения траектории движения машины, сделаны выводы, разработан и выдан патент на полезную модель «Система стабилизации траектории движения автогрейдера с помощью корректировки угла поворота колес».

**Ключевые слова:** движение автогрейдера, траектория, боковое смещение, показатели курсовой устойчивости, дестабилизирующий момент.

It is proposed to characterize the deviation from the planned trajectory of the machine movement as an indicator of loss of course stability of the motor grader - lateral displacement. As a result of the experimental study on the motor grader DZK-251, produced by the Kryukov wagon-building plant, the experimental results of the full factor experiment were obtained, the variance analysis of the obtained data was conducted, significant factors influencing the trajectory of motion were determined. The lateral displacements of the machine trajectory were found, the conclusions were drawn, a patent for the utility model "Motor grader trajectory stabilization system by adjusting the wheel angle" was developed and issued.

**Key words:** motor grader movement, trajectory, lateral displacement, indexes of course stability, destabilizing moment.

**Чаплыгина А.М.** Украина, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра Строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова, ассистент.

**e-mail:** [olexandrachaplygina@gmail.com](mailto:olexandrachaplygina@gmail.com)