

УДК 621.878

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.155

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА УСТАНОВКИ ВІДВАЛА АВТОГРЕЙДЕРА В ПЛАНІ НА ЙОГО МАКСИМАЛЬНЕ ЗУСИЛЛЯ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ВИНИКНЕННЯ ВАЖКОПЕРЕБОРНОЇ ПЕРЕШКОДИ

Щукін О. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** У статті запропоновано залежність, яка дає змогу оцінити вплив кута захоплення основного відвала автогрейдера в плані на максимальне зусилля, що припадає на його робочий орган. У цьому разі враховується випадковість процесу появи важкопереборної перешкоди. Визначено, що зі збільшенням кута встановлення відвала в плані зростає максимальне зусилля на останньому за умови перешкоди. Досліджено вплив категорії ґрунту на максимальне зусилля, яке припадає на робочий орган. Найбільшого значення максимальне зусилля досягає на третій категорії ґрунту за умови прямо встановленого відвала.

**Ключові слова:** моделювання, різання, кут встановлення, зусилля, відвал автогрейдера, робоча операція.

### Вступ

Робота автогрейдера відбувається в різних ґрунтових умовах, а окремі робочі операції відрізняються одна від одної схемами прикладання зовнішніх навантажень і по-різному формують навантаженість вузлів робочих органів (РО). Усе експлуатаційне навантаження РО можна розкласти на складники, що класифікуються за характерними ознаками. Формування навантаженості походить від нормального робочого навантаження, граничних очікуваних навантажень і граничного випадкового навантаження. Нормальне робоче навантаження визначає ресурс робочого устаткування. Отже, статистичні характеристики навантаженості загалом можуть бути постійними. Однак у кожному конкретному випадку сума накопичених втомних пошкоджень не залежить від послідовності виникнення навантажувальних режимів [1]. Це дає змогу уявити роботу автогрейдера як таку, що складається з окремих типових режимів навантаження, які визначаються також відповідними ґрунтовими умовами.

### Аналіз публікацій

Як відомо, у процесі роботи машини мають місце такі операції її робочого циклу: зарізання (або заглиблення відвалу в ґрунт), безпосередньо різання та завершення різання, що супроводжується підйомом відвала. Можливий також удар відвалу автогрейдера об перешкоду. З усіх операцій найбільший вплив на ніж чинить безпосередньо різання ґрунту, оскільки воно за тривалістю становить понад 90 % часу робочого циклу машини [1–5].

У цьому разі значний вплив на РО чинить зіткнення з важкопереборною перешкодою в ґрунті.

Основна частина часу роботи припадає на режими, за яких РО здійснює відносно повільні вертикальні та кутові переміщення. Середня швидкість кутових переміщень мала порівняно зі швидкістю переміщення самої машини. Такі режими роботи називаються квазісталими. Випадкове значення зусилля на робочому органі автогрейдера формується через дію всіх складових опорів. Однак складові зусилля опору змінюються незначно залежно від розмірів і форми призми волочиння. Тому в стаціонарному режимі ці зусилля вважаються постійними. Випадкові коливання навантаження на робочому органі формуються за рахунок зміни сил різання [5].

Експерименти, проведені з РО відвального типу в умовах зв'язаних однорідних ґрунтів, показують істотні високочастотні коливання сил різання [5]. У реальних умовах під час різання ґрунту широкими ножами присутнє не одне відколювання ґрунту, а послідовність відколів, що відбуваються одночасно. Пульсації, що є причиною таких відколів, не можуть бути виявлені через демпфірування їх масами РО.

### Мета та постановка завдання

Метою є визначення впливу кута встановлення робочого органа (відвала) автогрейдера на максимальне зусилля, що припадає на робочий орган під час удару об важкопереборну перешкоду для різних категорій ґрунту.

### Дослідження впливу кута встановлення робочого органа автогрейдера на максимальне зусилля, яке діє на нього

Унаслідок дослідження процесу різання, зарізання, стопоріння й удару автогрейдера об важкопереборну перешкоду авторами статті було оцінено навантаженість РО, що дає змогу отримати зміну горизонтального зусилля  $R_x$  на ножі залежно від часу на трьох різних категоріях ґрунту [1]. У цьому разі важливо наголосити, що значний вплив на максимальне зусилля, як під час зарізання та стопоріння, так і під час удару, чинить кут  $\alpha$  встановлення відвала автогрейдера в плані (рис. 1).

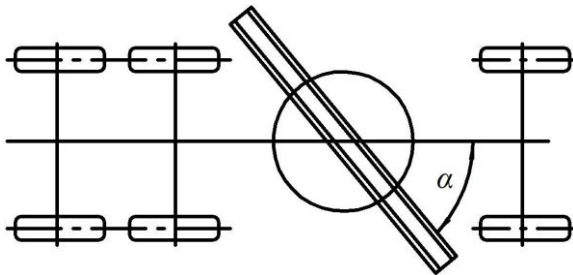


Рис. 1. Кут встановлення відвала автогрейдера в плані  $\alpha$

Під час моделювання навантаженості РО автогрейдера кут установлення відвала  $\alpha$  в плані приймали в межах від  $10^\circ$  до  $90^\circ$ , з огляду на конструктивні міркування можливості встановлення відвала в процесі роботи. Таке припущення дало змогу встановити зміну максимального горизонтального зусилля на ножі відвала, що має коливальний характер, залежно від частоти зіткнення важкопереборної перешкоди під час виконання робочих операцій.

У процесі теоретичних досліджень впливу кута відвала на максимально можливе зусилля, що припадає на ніж, нами постійними приймалися початкова швидкість руху за умови виконання робочих операцій  $v_n = 1,7$  м/с; парціальна жорсткість механізму зміни кута різання відвала, наведена до різальної крайки відвала  $C_{yp} = 8564,2$  кН/м [7]; жорсткість двох гідроциліндрів механізму підйому відвала  $C_z = 5000$  кН/м [7]; коефіцієнт опору перекошуванню  $f = 0,1$  [7]. Здебільшого математичне очікування чинного навантаження має відповідати максимальній використовуваній потужності:

$$m_R = \bar{X} = T_0 - W_f. \quad (1)$$

Математична модель навантаження є добутком стаціонарних нормованих випадкових флуктуацій (випадкових відхилень від серед-

нього значення) і стаціонарного імпульсного потоку (часового тренду) з випадковою амплітудою, які є статистично незалежними. Статистичні характеристики випадкового процесу знаходять за відомими статистичними характеристиками випадкових флуктуацій і часового тренду [7]. Виконані на кафедрі будівельних і дорожніх машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету дослідження [7] свідчать про те, що випадкові експериментальні оцінки кореляційних функцій випадкового процесу навантаження РО автогрейдера можуть апроксимуватися експоненціальною залежністю вигляду:

$$K(\tau) = D^2(R_x) \cdot e^{-\gamma|\tau|}, \quad (2)$$

де  $\gamma = \frac{v_n \cdot \ln |0,05|}{2(a_1 + d_1)}$  – дійсна частина частоти

навантаження РО;  $D^2(R_x) = \varepsilon(T_0 - W_f)$ , – дисперсія, кН;  $T_0$  – тягове зусилля, відповідне до реалізованої двигуном потужності, кН;  $\varepsilon$  – табличне значення коефіцієнта варіації. Коефіцієнт варіації, що вказує на розкид випадкової величини  $R_x$ , істотно залежить від технології виготовлення ножа автогрейдера. Очевидно, що основною характеристикою випадкового процесу, який є появою важкопереборної перешкоди, є середнє число за деякий рівень  $x$  протягом певного проміжку часу  $T$ . Тоді середнє число появи (математичне очікування) важкопереборної перешкоди за одиницю часу (рис. 2) становить [7]:

$$\bar{n}_x = \int_0^{T_1} v \cdot f(xv) dv, \quad (3)$$

де  $v$  – швидкість зміни процесу, м/с.

Під час опису випадкового процесу навантаження для гауссівського процесу вираз густини ймовірності двовимірного розподілу має такий вигляд [6]:

$$f(x, v) = \frac{1}{2\pi S_x \sigma_v} e^{-\left[ \frac{(x-\bar{x})^2}{2S_x^2} + \frac{v^2}{2\sigma_v^2} \right]}, \quad (4)$$

де  $\sigma_v = K_v(\tau)|_{\tau=0} = -\frac{d^2 K(\tau)}{d\tau^2} = \varepsilon(T_0 - W_f)$ .

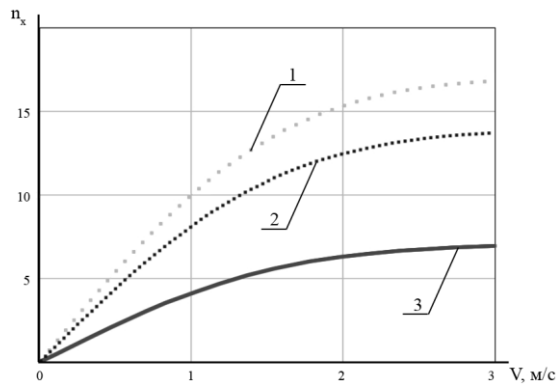


Рис. 2. Графік залежності середнього числа появи важкопереборної перешкоди за одну зміну в процесі виконання робочих операцій від швидкості пересування автогрейдера  $v$  для різних типів ґрунтів: 1 – I категорія ґрунту; 2 – II категорія; 3 – III категорія

Або

$$\sigma_v = \sqrt{-\left[\frac{\ddot{K}(\tau)}{K(\tau)}\right]_{\tau=0}}. \quad (5)$$

$S_x$  – стандарт процесу, величина якого може бути визначена як середньоквадратичне відхилення процесу зміни навантаження  $R_x$ :  $S_x^2 = K(0) = D^2(R_x)$  [3].

На рис. 3 зображено графік зміни максимального зусилля  $P_{\max} = \max(R_x)$  на кромці ножа відвала під час удару об важкопереборну перешкоду залежно від кута встановлення відвала в плані  $\alpha$  для трьох категорій ґрунту.

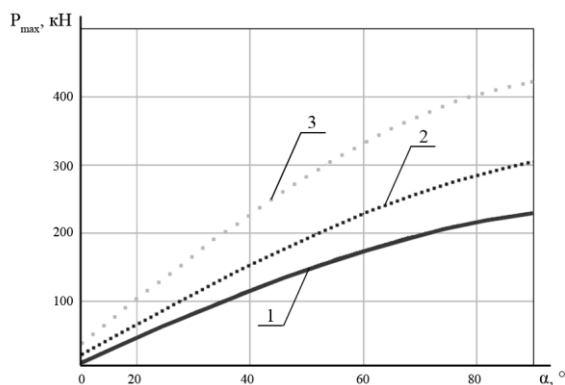


Рис. 3. Залежність  $P_{\max}$  від кута встановлення робочого органа  $\alpha$ : 1 – I категорія ґрунту; 2 – II категорія; 3 – III категорія

Сила опору копанню  $R_x$  була прикладена до бічного краю відвала [8].

Апроксимуючи залежність  $P_{\max}=f(\alpha)$ , отримаємо:

$$P_{\max}(\alpha) = A \cdot \sin\left(B \cdot \frac{\alpha - C}{80}\right) + D. \quad (6)$$

У (6) величина коефіцієнтів для різних категорій ґрунту наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів А, В, С і D

Категорія ґрунту	A	B	C	D
I	248	1,22	4,8	-9
II	303	1,27	9,7	18
III	381	1,38	11,5	48

### Висновки

Отримана залежність дає змогу оцінити вплив кута встановлення відвала автогрейдера в плані на максимальне зусилля, що приходить на його РО, з урахуванням випадкового процесу появи перешкоди. Зі збільшенням кута  $\alpha$  встановлення відвала в плані зростає максимальне зусилля на відвалі під час зіткнення з перешкодою  $P_{\max} = \max(R_x)$ . Суттєвий вплив на величину  $P_{\max}$  також має і категорія ґрунту. Своєї найбільшої величини максимальне зусилля на РО досягає 420 кН на третій категорії ґрунту за умови прямоствановленого відвала ( $\alpha=90^\circ$ ). У перспективі передбачається підтвердження отриманої залежності максимального зусилля від кута захоплення відвала під час виконання реальних робочих операцій автогрейдером на ґрунтах різних категорій.

### Література

1. Щукін О. В. Підвищення ресурсу різальних елементів робочих органів землерийно-транспортних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. Харків: ХНАДУ, 2014. 198 с.
2. Венцель Є. С., Орел О. В., Щукін О. В. Підвищення якості мастил, палив і трибовузлів машин. Харків: ФОП Бровін О.В., 2017.
3. Венцель Є. С., Щукін О. В. Закономірність зміни ресурсу різальних елементів автогрейдерів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2016. № 73. С. 245–249.
4. Венцель Є. С., Щукін О. В. Дослідження поверхні тертя ножів автогрейдера з іонно-плазмовим покриттям. *Проблеми трибології*. 2015. № 4. С. 64–67.
5. Шевченко В. О., Чаплигіна О. М. Визначення показників курсової стійкості автогрейдера на основі дослідження його аналітичної моделі руху. *Вісник Харківського національного авто-*

мобільно-дорожнього університету. 2020. Вип. 88. С. 43–50.

6. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин: підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
7. Щукін О. В. Підвищення ресурсу різальних елементів робочих органів землерійно-транспортних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. Харків, 2014. 198 с.
8. Mathematical model of a motor-grader movement in the process of performing working operations / V. Shevchenko et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Dnipro, 2020. DOI:10.1088/1757-899X/985/1/012009.

### References

1. Shchukin, O. V. (2014) Increasing the resource of cutting elements of working bodies of earthmoving and transport machines: Cand: 05.05.04. Kharkiv, 198 p.
2. Ventsel, E. S., Orel, O. V., Shchukin, O. V. (2017) Improving the quality of oils, fuels and machine tribunals. Kharkiv.
3. Ventsel, E. S., Shchukin, O. V. (2016) Regularity of changes in the resource of cutting elements of motor graders. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, no. 73, pp. 245–249.
4. Ventsel, E. S., Shchukin, O. V. (2015) Investigation of the friction surface of motor grader knives with ion-plasma coating. *Problems of tribology*, no. 4, pp. 64–67.
5. Shevchenko, V. O., Chaplygina, O. M. (2020) Determination of indicators of the course stability of the motor grader based on the study of its analytical model of movement. *Bulletin of Kharkiv National Automobile, Motor Vehicle and Road University*, issue 88, pp. 43–50.
6. Kanarchuk, V. E., Polyansky, S. K., Dmitriev, M. M. (2003) Reliability of machines: a textbook. Kyiv, 424 p.
7. Shchukin, O. V. (2014) Increasing the resource of cutting elements of working bodies of earthmoving and transport machines: Candidate of Technical Sciences: 05.05.04. Kharkiv, 198 p.
8. Shevchenko, V., Chaplyhina, O., Pimonov, I., Reznikov, O., Ponikarovska, S. (2020) Mathematical model of a motor-grader movement in the process of performing working operations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Dnipro. DOI:10.1088/1757-899X/985/1/012009.

**Щукін Олександр Вікторович**, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, alexhome88@gmail.com, тел. +38 097-996-76-41.

### Studying the impact of the angle of motor grader blade installation in the plan on its maximum force, considering the random process of occurring difficulty in overcoming the obstacle

**Abstract. Problem.** The operation of a motor grader takes place in different soil conditions, and individual work operations differ from each other in the patterns of external loads and form differently the load on the components of the working bodies. **Goal.** The goal is to determine the effect of the angle of installation of the motor grader working body (blade) on the maximum force exerted by the working body when it hits an obstacle that is difficult to overcome for different categories of soil. **Methodology.** In the process of studying the state of the matter, the method of analysis was used, and in theoretical studies – the analytical method, which is based on the theory of interaction of working bodies with the developed environment, as well as the provisions of the theory of reliability, probability and mathematical statistics. **Results.** As a result of studying the process of cutting, stopping, and hitting an obstacle, we have assessed the load of the working body. **Originality.** A dependence has been proposed that allows us to estimate the influence of the angle of capture of the motor grader main blade in the plan on the maximum force exerted by its working body. This takes into account the randomness of the process of appearing a difficulty to overcome an obstacle. It was found that with an increase in the angle of the blade in the plan, the maximum force on the latter increases when it encounters an obstacle. The influence of the soil category on the maximum force exerted by the working body is investigated. The maximum force reaches its highest value in the third soil category when the blade is installed directly. **Practical value.** It is planned to confirm the obtained dependence of the maximum force on the angle of the blade grip during real work operations by a motor grader on soils of various categories.

**Key words:** modeling, cutting, installation angle, force, motor grader blade, work operation.

**Shchukin Oleksandr**, Cand. of Technical Sciences, Assistant Professor, of the Department of Construction And Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, alexhome88@gmail.com, tel. +38 097-996-76-41.