

УДК 621.924

Силовий аналіз ручних кутових шліфувальних машин при роботі з зачисними абразивними кругами

Юрій Абрашкевич¹, Григорій Мачишин², Олександр Марченко³

Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03680,

¹abrashkevych.iud@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8396-7812

²machyshyn.gm@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8230-0060

³marchenko.oa@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2136-6071

Отримано 10.11.2018; прийнято 20.12.2018

DOI: 10.31493/gbdmm1892.0302

Анотація. Для виконання зачисних операцій при проведенні будівельно-монтажних робіт широке застосування отримали різноманітні робочі органи з приводом від кутових шліфувальних машин (КШМ). Такі машини відносяться до найбільш розповсюджених із різновидів ручного інструменту.

Багатофункціональність та універсальність цих машин в поєднанні з правильним підбором потрібного абразивного робочого інструменту дозволяє значно прискорити та полегшити виконання зачисних і шліфувальних операцій з досягненням необхідного ефекту.

Ринок КШМ та робочих органів до них представлений великою кількістю різних брендів та конструкцій у широкому номенклатурному і ціновому діапазоні.

Враховуючи складність роботи з такими машинами при проведенні зачисних і шліфувальних робіт та її залежність від фізичних даних та навичок оператора, поряд з технологічними та економічними показниками, повинні також враховуватись ергономічні показники. Серед них крім вібраційної, шумової і інших характеристик слід виділити залежність навантажень на рукоятках машини від зусиль на робочому органі, маси машини, її конструктивних параметрів та зміни положення рукоятки відносно машини.

Для дослідження навантаження оператора при проведенні зачисних та шліфувальних робіт розроблена математична модель роботи КШМ з зачисними кругами.

У роботі наведені результати досліджень впливу конструктивних та режимних параметрів ручних кутових шліфувальних машин на навантаженість оператора при роботі з абразивними робочими органами.

Ключові слова: кутова шліфувальна маши-

на; абразивний армований круг; навантаження на рукоятці.

ВСТУП

Зачисні абразивні армовані круги у поєднанні з використанням кутових шліфувальних машин масово застосовуються при виконанні будівельно-монтажних робіт. Вітчизняні та закордонні виробники абразивного інструменту пропонують продукцію для виконання зачисних та шліфувальних операцій з різними конструктивними та фізико-механічними властивостями для обробки різних матеріалів. Оптимальний вибір технологічних та технічних параметрів роботи машин дозволяє забезпечити зниження трудомісткості і підвищення продуктивності і якості робіт [1].

МЕТА РОБОТИ

Дослідження закономірностей роботи ручної кутової шліфувальної машини при проведенні зачистки та шліфуванні різних виробів абразивними армованими кругами.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Особливістю використання КШМ є поєднання при роботі можливостей машини, що забезпечують основний робочий рух (обертання робочого органа) з одного боку, та ручного інструменту – з іншого (потреба використання ручної сили для утримання машини в руках, сприйняття реактивних

сил та моментів, здійснення руху подачі та додаткових переміщень).

Складається тісна взаємодія в системі «оператор – ручна машина – робоче середовище», яка має ряд особливостей при проведенні зачисних операцій, а саме:

- нестабільність та відсутність жорсткості при подачі робочого органа;
- можливість виникнення перекосів у процесі роботи;
- неможливість отримання стабільної величини подачі;
- постійна зміна інтенсивності проведення роботи в межах допустимої потужності приводу;
- обмеження тангенціальних та радіальних сил, що діють на круг, потужністю приводу та індивідуальними фізичними даними оператора.

У процесі роботи КШМ крутний момент на шпинделі та обертання робочого органа створюється приводом машини. Всі інші функції – поздовжня та поперечна подачі, утримання машини та загальне управління – здійснюються оператором. При роботі з КШМ оператор може утримувати її у будь-якому положенні та забезпечувати достатньо точно направлення подачі зачисного круга.

Величина реакцій на руки оператора та їх зміна впливає на його втомлюваність, що призводить до зниження працездатності.

Силкові показники та їх зміна можуть бути визначені шляхом статичного аналізу роботи машини. Розглянемо схему (Рис. 1) дії сил на машину, що працює зі зачисним абразивним кругом.

На робочий інструмент діють наступні сили:

- P_x, P_y, P_z – складові сили різання, що діють на робочий орган машини по осям x, y, z , відповідно;
- R_{Ax}, R_{Ay}, R_{Az} – сили реакції на рукоятці A , що діють по осям x, y, z ;
- R_{Bx}, R_{By}, R_{Bz} – теж саме на рукоятці B ;
- M_{Bz} – реактивний момент на рукоятці B відносно осі z ;
- G – сила ваги КШМ з кругом;

- P_t – тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган;
- P_n – нормальна складова сили, що діє на робочий орган.

На Рис.1 використані наступні позначення: a_x, a_y, a_z – лінійні розміри положення точки прикладання реакції на рукоятці A ; b_x, b_y, b_z – теж саме на рукоятці B ; q_x, q_z – лінійні розміри положення центра сили ваги КШМ з робочим органом; h_x – висота кріплення робочого органа відносно осі двигуна КШМ; D – діаметр робочого органа; φ – кут між лінією дії нормальної складової сили різання P_n та віссю y ; γ – кут нахилу вала двигуна КШМ до горизонталі; β – кут нахилу КШМ відносно вертикальної площини.

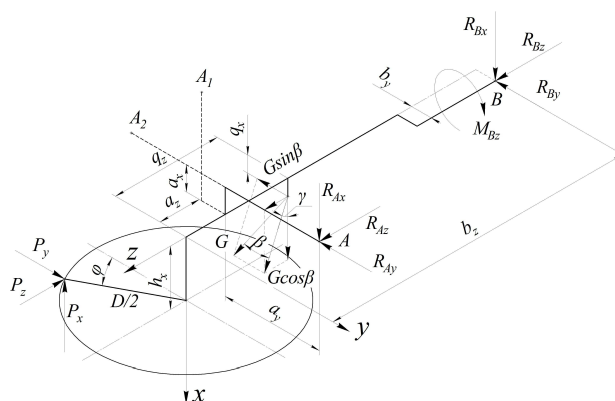


Рис. 1. Схема дії сил на ручну КШМ при роботі із зачисним кругом

Fig. 1. Scheme of forces on a hand angle grinder when working with a abrasive grinding

Сили, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z , є проекціями результуючої сили на відповідні осі. Для визначення їх величин розглянемо навантаження зачисного круга. При роботі ручними машинами характерним, як правило, є повне використання потужності приводу [1, 2]. Тому між величиною тангенціальної складової сили різання P_t та встановленою потужністю N приводу машини має місце залежність

$$P_t = \frac{N}{V} = \frac{N \cdot 60}{\pi \cdot n \cdot D}, \quad (1)$$

де V – колова швидкість круга; n – частота обертання круга; D – діаметр круга.

При цьому необхідно враховувати, що у процесі зачистки виникають як нормальні P_n (в площині диска), так і бокові P_x (перпендикулярні до площини диска) реакції (Рис.2, 3).

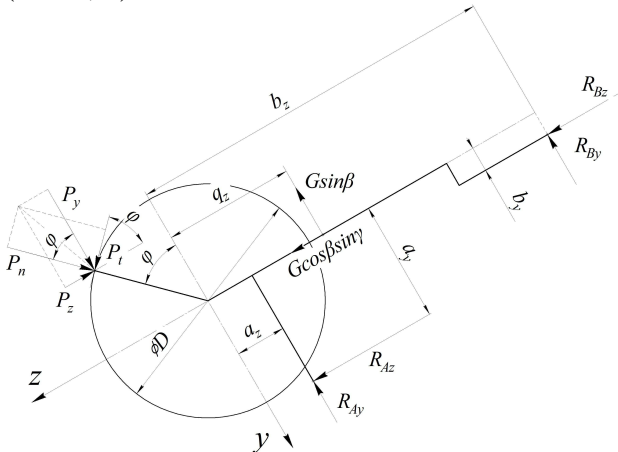


Рис. 2. Схема дії сил на ручну КШМ при зачистних роботах у проекції yz

Fig. 2. Scheme of forces on an angle machine when grinding in projection yz

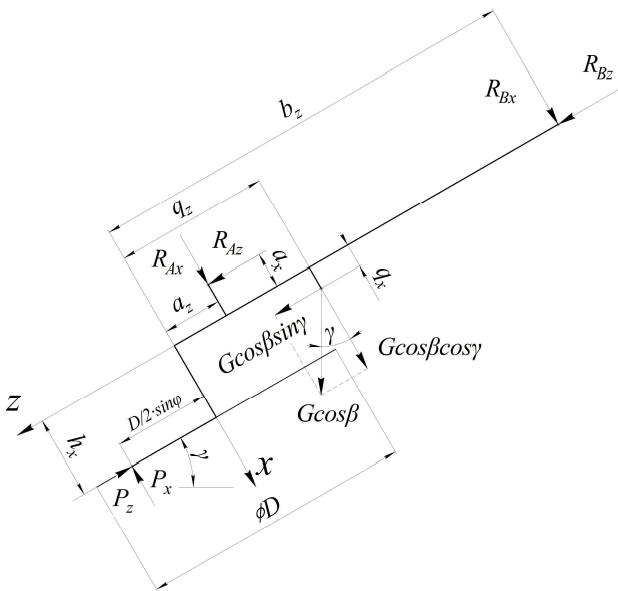


Рис. 3. Схема дії сил на ручну КШМ при зачистних роботах у проекції xz

Fig. 3. Scheme of forces on an angle machine when grinding in projection xz

Потужність на шпинделі КШМ в процесі зачистки можна представити наступним чином:

$$N = N_{tn} + N_{tx},$$

де $N_{tn} = P_{tn} \cdot V_n$ – потужність зусилля зачистки торцевою поверхнею круга; $N_{tx} = P_{tx} \cdot V_x$ – потужність зусилля зачистки боковою поверхнею; P_{tn} , V_n – тангенціальна складова сили зачистки торцевою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно; P_{tx} , V_x – тангенціальна складова сили зачистки боковою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно.

Прийемо, що тертя боковою поверхнею круга відбувається поблизу її периферії. Тоді можна вважати, що приблизно $V_x = V_n = V$. З врахуванням, що

$$\frac{P_{tn}}{P_n} = \mu_n \text{ та } \frac{P_{tx}}{P_x} = \mu_x,$$

де P_x – абсолютне значення бокового зусилля; μ_n , μ_x – коефіцієнти тертя між матеріалом, що розробляється торцевою та боковою поверхнями робочого органа відповідно. Значення коефіцієнтів тертя можуть бути пов'язані співвідношенням $k_\mu = \frac{\mu_x}{\mu_n}$. За однакових значень коефіцієнтів $\mu_n = \mu_x = \mu$ співвідношення $k_\mu = 1$. Сумарна тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган, буде дорівнювати

$$P_t = P_n \cdot \mu_n + P_x \cdot \mu_x = \mu_n (P_n + P_x \cdot k_\mu). \quad (2)$$

Величина бокової складової сили по відношенню до тангенціальної може бути представлена співвідношенням

$$\frac{P_x}{P_t} = f_x. \quad (3)$$

Тоді максимальне значення нормальної складової сили в залежності від ефективної потужності N приводу машини при дії бокового зусилля визначається з рівняння (2) з урахуванням (1) та (3):

$$P_n = P_t \frac{1 - |f_x| \cdot \mu_x}{\mu_n} = \frac{N \cdot 60 \cdot (1 - |f_x| \cdot k_\mu \cdot \mu_n)}{\pi \cdot n \cdot D \cdot \mu_n}.$$

Звідси співвідношення між тангенціальною та радіальною (нормальною) складовою сили зачистки буде дорівнювати

$$f_n = \frac{P_t}{P_n} = \frac{\mu_n}{1 - |f_x| \cdot k_\mu \cdot \mu_n}. \quad (5)$$

Зі схеми (див. Рис. 2) з урахуванням рівняння (5) впливає, що складові зусилля по осях y та z дорівнюватимуть

$$\begin{aligned} P_y &= P_n (\cos(\varphi) + f_n \cdot \sin(\varphi)); \\ P_z &= P_n (\sin(\varphi) - f_n \cdot \cos(\varphi)). \end{aligned}$$

Зі схеми (див. Рис. 1) дії сил на робочому інструменті в процесі зачистки умова рівноваги системи має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \sum X &= 0; \quad \sum Y = 0; \quad \sum Z = 0; \\ \sum M_x &= 0; \quad \sum M_y = 0; \quad \sum M_z = 0. \end{aligned}$$

Після підстановки відповідних показників отримаємо:

$$R_{Ax} + R_{Bx} = P_x - G \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma = m_1; \quad (6)$$

$$R_{Ay} + R_{By} = P_y - G \cdot \sin \beta = m_2; \quad (7)$$

$$R_{Az} + R_{Bz} = P_z - G \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma = m_3; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} R_{Az} \cdot a_y - R_{Ay} \cdot a_z + R_{Bz} \cdot b_y - R_{By} \cdot b_z &= \\ = P_y \frac{D}{2} \sin(\varphi) - P_z \frac{D}{2} \cos(\varphi) + \\ + G \cdot \sin \beta \cdot q_z &= m_4; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} -R_{Ax} \cdot a_z + R_{Az} \cdot a_x - R_{Bx} \cdot b_z &= \\ = P_x \frac{D}{2} \sin(\varphi) - P_z \cdot h_x + G \cdot \cos \beta \times \\ \times \cos \gamma \cdot q_x + G \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot q_x &= m_5; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} -R_{Ax} \cdot a_y + R_{Ay} \cdot a_x - R_{Bx} \cdot b_y - M_{Bz} &= \\ = P_x \frac{D}{2} \cos(\varphi) - P_y \cdot h_x + \\ + G \cdot \sin \beta \cdot q_x &= m_6, \end{aligned} \quad (11)$$

де $m_1, m_2 \dots m_6$ – частина рівнянь рівноваги від дії зовнішніх сил.

Зусилля подачі машини при її переміщення по осі z розподіляється між однією (наприклад, правою) R_{Az} та іншою (лівою) R_{Bz} руками оператора. Співвідношення цих зусиль залежить від фізичних даних та навичок оператора, його пози та умов проведення операції. Відповідно до цього приймемо

$$\frac{R_{Az}}{R_{Bz}} = k_z,$$

де k_z – коефіцієнт, що враховує розподілення зусиль подачі між обома руками оператора.

Тоді з рівняння (8) отримаємо

$$R_{Az} = \frac{k_z}{k_z + 1} m_3; \quad R_{Bz} = \frac{1}{k_z + 1} m_3. \quad (12)$$

З рівнянь (6) та (10) визначаємо R_{Ax} та R_{Bx} :

$$\begin{aligned} R_{Ax} &= \frac{m_1 \cdot b_z + m_5 - R_{Az} \cdot a_x}{b_z - a_z}; \\ R_{Bx} &= \frac{R_{Az} \cdot a_x - m_5 - m_1 \cdot a_z}{b_z - a_z}. \end{aligned} \quad (13)$$

З рівнянь (7) та (9) визначаємо R_{Ay} та R_{By} :

$$\begin{aligned} R_{Ay} &= \frac{m_2 \cdot b_z + m_4 - R_{Az} \cdot a_y - R_{Bz} \cdot b_y}{b_z - a_z}; \\ R_{By} &= \frac{R_{Az} \cdot a_y + R_{Bz} \cdot b_y - m_2 \cdot a_z - m_4}{b_z - a_z}. \end{aligned} \quad (14)$$

З рівняння (11) визначимо

$$M_{Bz} = \frac{1}{b_z - a_z} \left(\begin{array}{l} m_1(a_z b_y - a_y b_z) + \\ + m_2 a_x b_z - m_3 a_x b_y + \\ + m_4 a_x + m_5 (b_y - a_y) - \\ - m_6 (b_z - a_z) \end{array} \right) \quad (15)$$

Сумарні навантаження на рукоятках R_A та R_B визначаються через суму квадратів їх складових по осям x, y, z .

Враховуючи отримані вирази та виходячи з рівнянь (12)...(15), можна провести аналіз впливу режимів роботи, силових і конструктивних параметрів при проведенні інструментом зачисних операцій, у тому числі з урахуванням розміщення рукоятки A відносно машини (див. Рис. 1), на навантаження оператора.

На Рис. 4...10 наведено результати розрахунків зміни навантаження на робочому органі та рукоятках КШМ в положенні A, A_1 та A_2 у залежності від зміни параметрів $N, D, \varphi, \gamma, \mu, f_x$ та β при незмінних інших параметрах. Дані, що не змінювалися при розрахунках, відповідають наступним вихідним значенням: $N=2500\text{Вт}$; $D=230\text{мм}$; $G=60\text{Н}$; $n=6600\text{об/хв.}$; $k_z=1$; $\mu=0,45$; $f_x=1,25$; $\varphi=90^\circ$; $\gamma=20^\circ$; $\beta=0^\circ$; $a_z=0,05\text{м}$; $b_x=b_y=0$; $b_z=0,37\text{м}$; $q_x=q_y=0$; $q_z=0,13\text{м}$; $h_x=0,07\text{м}$. Розміщення точки прикладання реакцій до передньої рукоятки відповідають значенням:

- у положенні A : $a_x=0$; $a_y=0,12\text{м}$;
- у положенні A_1 : $a_x=0,12\text{м}$; $a_y=0$;
- у положенні A_2 : $a_x=0$; $a_y=-0,12\text{м}$.

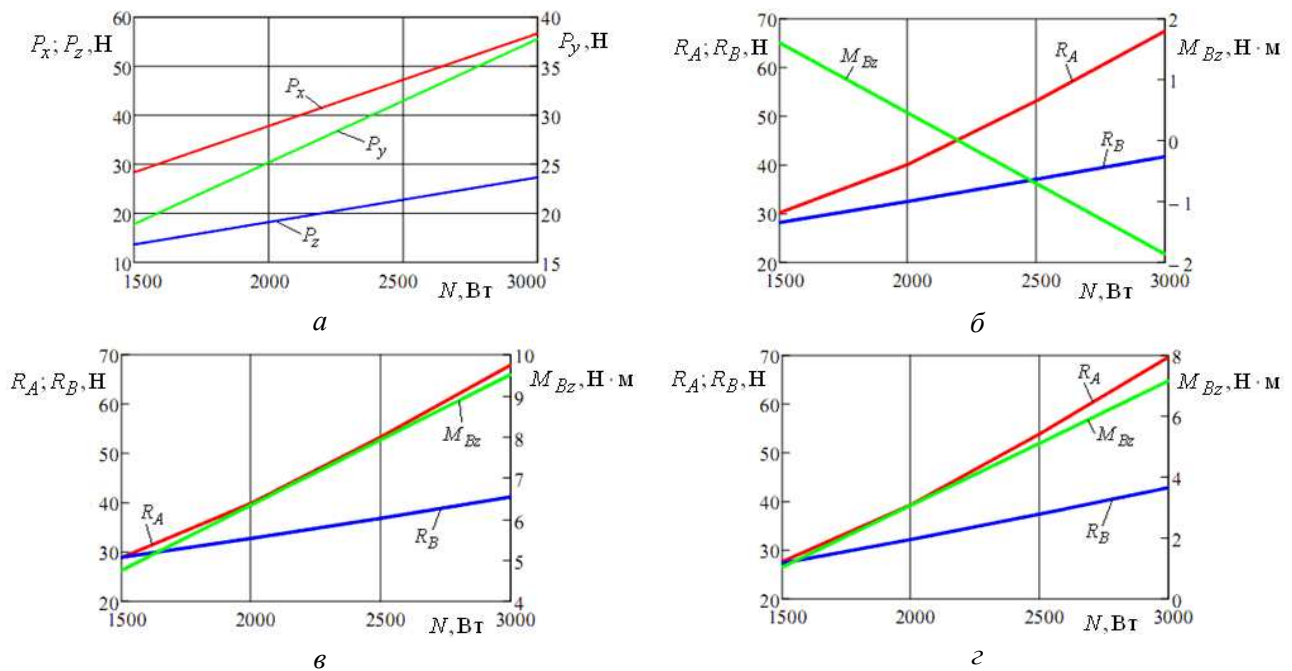


Рис. 4. Залежність сил та реакцій від потужності N :
 а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; б – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; в – те саме, при положенні A_1 ; г – те саме, при положенні A_2

Fig. 4. Dependence of forces and reactions on power N :
 а – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; б – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; в – the same, with the position A_1 ; г – the same, with the position A_2

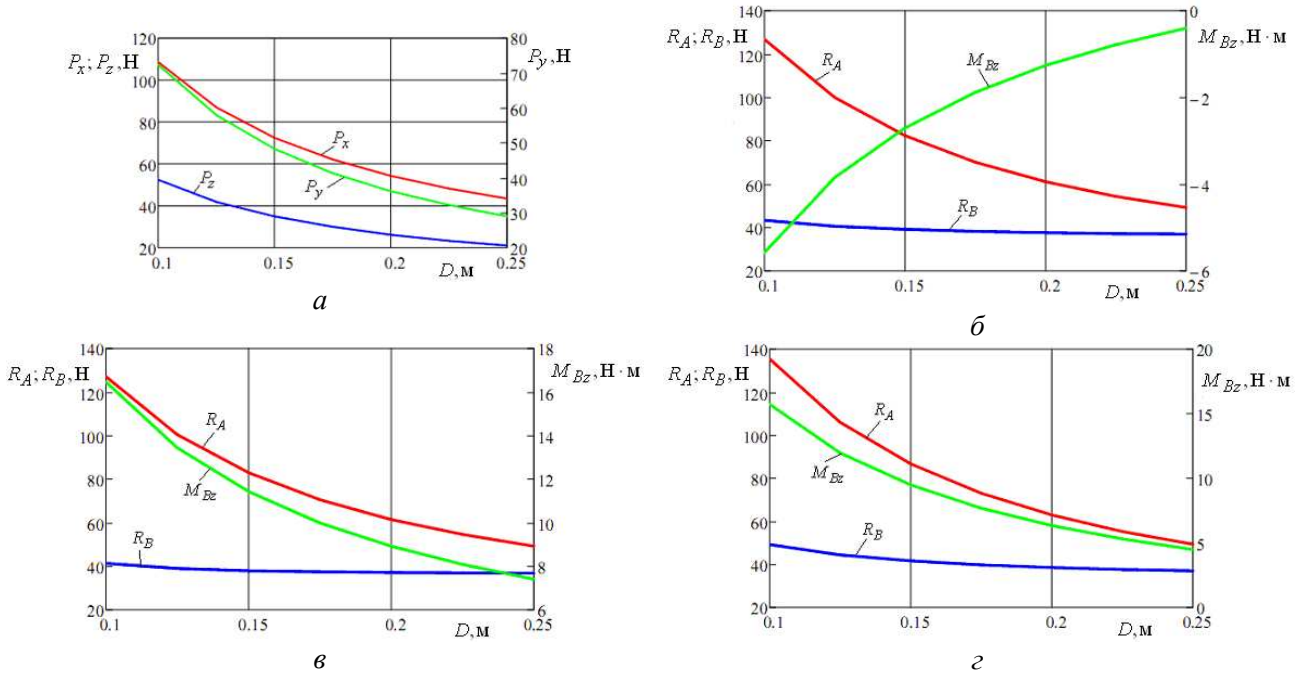


Рис. 5. Залежність сил та реакцій від діаметра D :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 5. Dependence of forces and reactions on diameter D :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

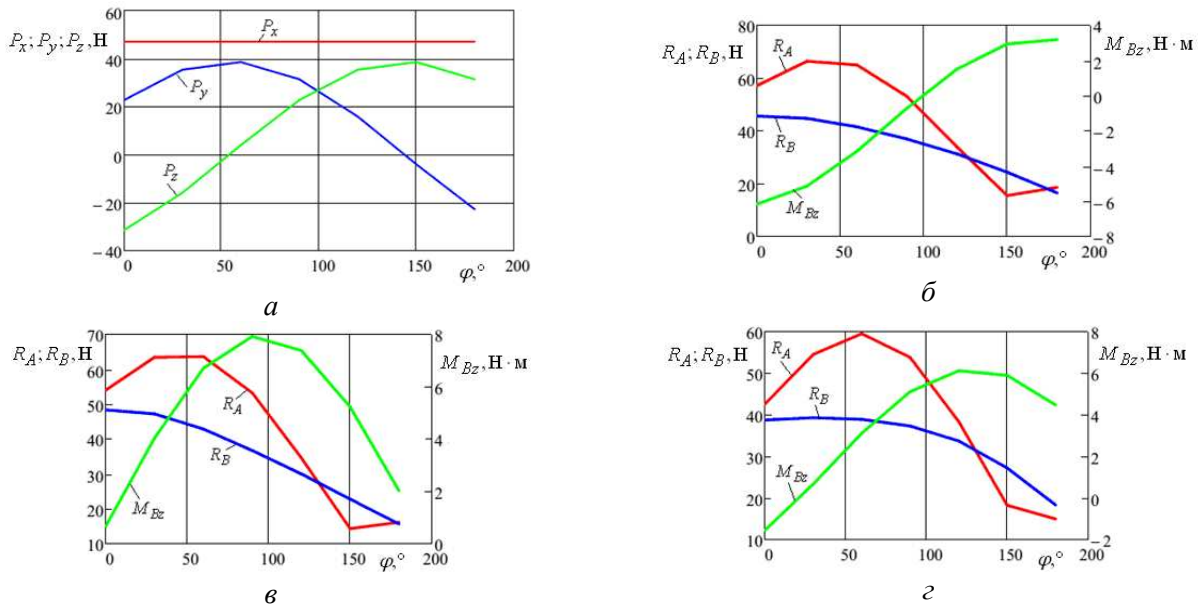


Рис. 6. Залежність сил та реакцій від кута φ :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 6. Dependence of forces and reactions from the angle φ :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

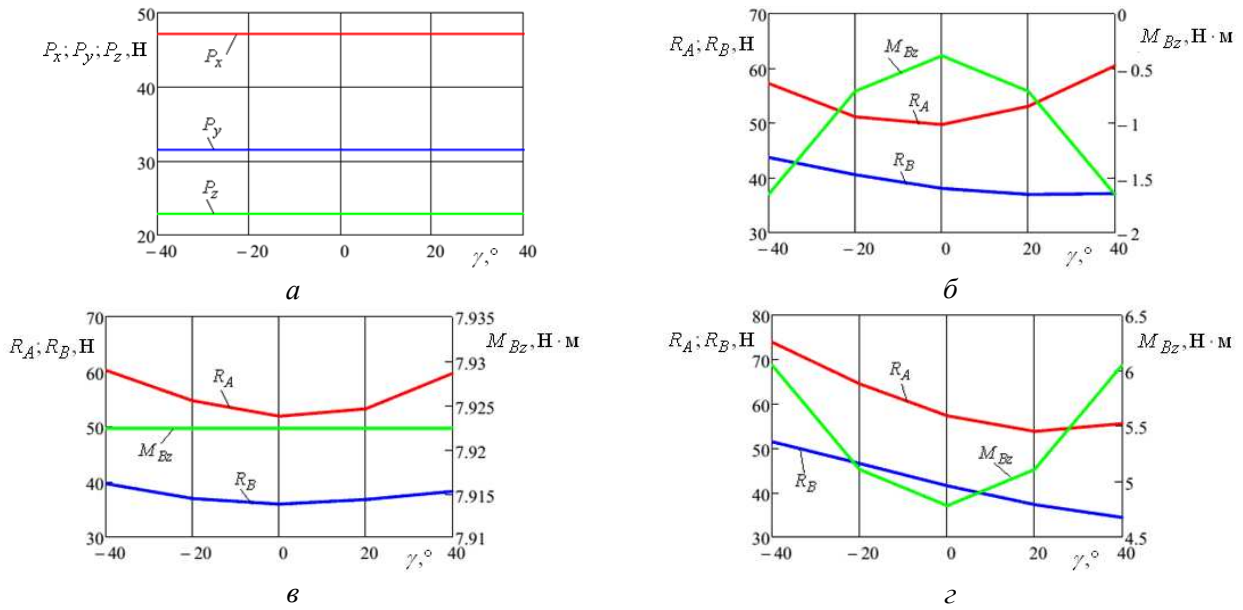


Рис. 7. Залежність сил та реакцій від кута γ :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 7. Dependence of forces and reactions from the angle γ :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

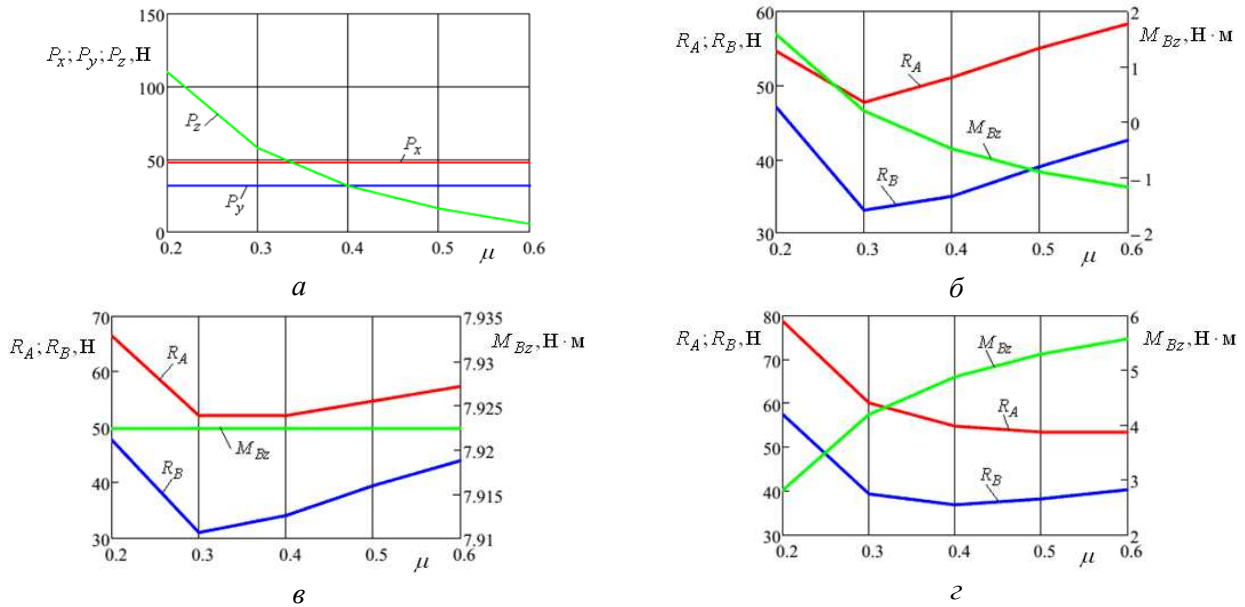


Рис. 8. Залежність сил та реакцій від коефіцієнта μ :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 8. Dependence of forces and reactions from the coefficient μ :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

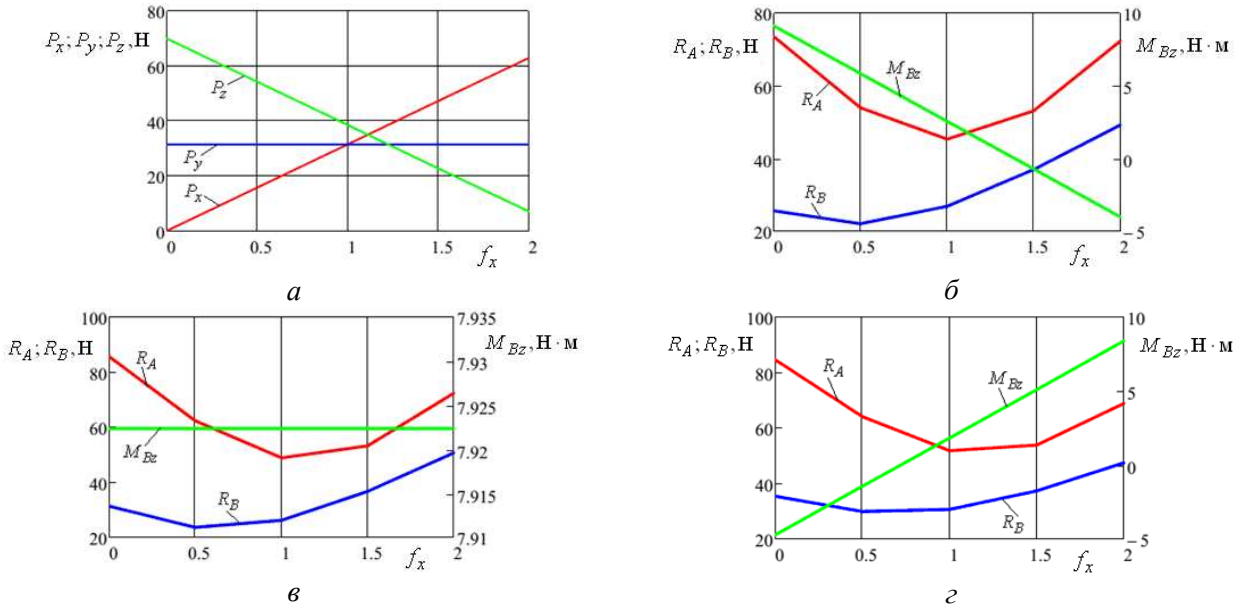


Рис. 9. Залежність сил та реакцій від коефіцієнта f_x :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 9. Dependence of forces and reactions from the coefficient f_x :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

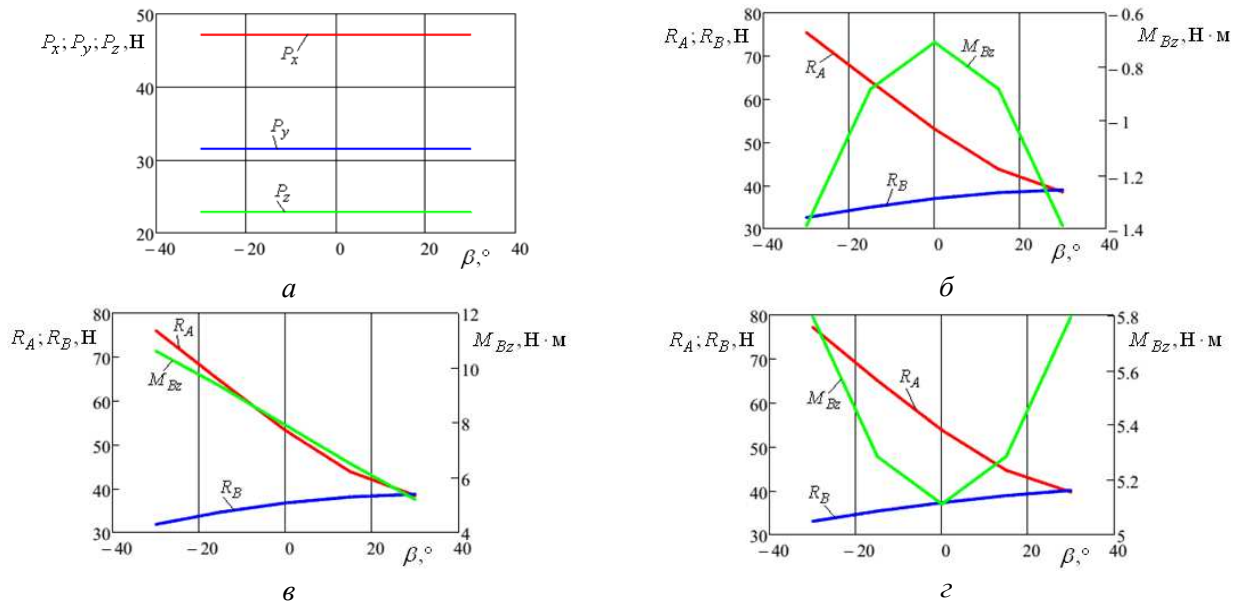


Рис. 10. Залежність зміни сил та реакцій від кута β :

a – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z ; $б$ – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукоятки в позиції A ; $в$ – те саме, при положенні A_1 ; $г$ – те саме, при положенні A_2

Fig. 10. Dependence of forces and reactions from the angle β :

a – the forces acting on the grinding tool P_x, P_y, P_z ; $б$ – reaction R_A, R_B and the moment M_{Bz} at the position of the handle in the position A ; $в$ – the same, with the position A_1 ; $г$ – the same, with the position A_2

Умова використання повної потужності КШМ залежить від фізичного стану та професійних навичок оператора та обмежується технічними параметрами машини. Збільшення потужності N використання машини (див. Рис. 4) дозволяє пропорційно збільшити навантаження на робоче середовище, одночасно збільшуючи навантаження на руки оператора. При цьому реакція на передній рукоятці (положення A , A_1 та A_2) збільшується більш інтенсивно порівняно з реакціями на рукоятці B приблизно на 50...60%.

Зміна положення передньої рукоятки мало впливає на значення реакцій на рукоятках (різниця складає приблизно 3%), але значно впливає на величину і характер зміни моменту M_{Bz} відносно осі z . Так, величина M_{Bz} при положенні передньої рукоятки в позиції A при збільшенні потужності N знижується, змінюючи напрямок, та має близьке до нуля значення при $N \approx 2250$ Вт. При положеннях A_1 та A_2 момент M_{Bz} пропорційно збільшується у два та сім разів відповідно.

Важливим параметром роботи зачисної машини є діаметр робочого інструменту. Діаметр має початкове значення (новий інструмент), який може змінюватися у процесі роботи (зношуватися). Зменшення діаметра зачисного круга в результаті зносу за умови використання повної потужності та незмінності частоти обертання збільшує навантаження на оператора.

Так, при положенні передньої рукоятки у позиції A або A_1 навантаження на руку оператора збільшується в 2,58 рази по відношенню до значення характерного для нового (початкового) діаметру, а в положенні A_2 – в 2,75 рази.

Зменшення діаметра від початкового значення в 2,5 рази призводить і до збільшення навантаження на руку оператора на рукоятці B . Якщо передня рукоятка встановлена у позиції A , реакція R_B збільшується приблизно у 1,17 рази, якщо в позиції A_1 у 1,12 рази, а A_2 – у 1,33 рази.

Момент M_{Bz} при положенні A збільшу-

ється у 13,6 рази, при положенні A_1 – у 2,2 рази, при A_2 – 3,5 рази. При цьому в положенні A момент M_{Bz} має найменші значення за величиною порівняно з іншими положеннями (див. Рис. 5).

Реакції на рукоятках змінюються нелінійно і мають мінімальні значення сумарного навантаження $|R_A| + |R_B|$ та моменту M_{Bz} при більших значеннях діаметра інструменту, що дає можливість встановлення його початкового значення (для нового інструменту) у залежності від технічних характеристик машини.

Суттєво впливає на характер та величину навантажень положення точки контакту зачисного круга з робочим середовищем, який характеризується кутом φ (див. Рис.6). Рівномірність навантаження на рукоятках ($|R_A| \approx |R_B|$) має місце при $\varphi \approx 130^\circ$ за близького до максимального значення моменту M_{Bz} . Як видно з графіків, вибір положення передньої рукоятки, як і величина кута φ , найбільше впливають на значення і напрямок дії моменту M_{Bz} , мінімальне значення якого (близько нуля) відповідає куту $\varphi \approx 100^\circ$ при положенні A .

Значення кута γ залежить від технічних характеристик зачисного абразивного інструменту, умов роботи та, як і значення кута φ , встановлюється оператором.

Зміна кута γ (див. Рис. 7) при незмінних інших параметрах незначно впливає на зміну сумарних навантажень на рукоятках і приводить до суттєвого перерозподілу величини їх складових у напрямку осей x, y, z . Це надає можливості для вибору найбільш зручного положення оператора при проведенні робіт. Необхідно зауважити незмінність моменту M_{Bz} при зміні кута γ за розташування передньої рукоятки в положенні A_1 , але з максимальним значенням по величині порівняно зі значеннями M_{Bz} в положеннях передньої рукоятки A та A_2 .

Величина відношення тангенціального зусилля до нормального на інструменті, що

характеризується коефіцієнтом μ , залежить від фізико-механічних характеристик інструмента та робочого матеріалу.

Зміна μ (див. Рис. 8) при незмінній величині зусилля притиску P_x приводить до перерозподілу величини та напрямку дії складових навантаження на рукоятках у напрямку осей x, y, z . Сумарні реакції змінюються нелінійно і мають мінімальні значення сумарного навантаження $|R_A| + |R_B|$ в діапазоні $\mu = 0,3 \dots 0,4$.

Момент M_{Bz} із зростанням μ при положенні рукоятки A нелінійно зменшується зі зміною напрямку його дії та при $\mu \approx 0,33$ дорівнює нулю. При розташуванні рукоятки в положенні A_1 момент не змінюється при зміні μ і становить 7,92 Н·м, в положенні A_2 нелінійно збільшується приблизно у два рази при збільшенні μ у три рази.

Зміна коефіцієнта f_x (див. Рис. 9) визначає величину сили притиску зачисного круга та за умови повного використання потужності КШМ приводить до перерозподілу навантаження на робочому інструменті і до зміни величини і напрямку складових навантажень на рукоятках у напрямку осей x, y, z .

Також на їх значення впливає позиція встановлення передньої рукоятки. Так, при положенні A_1 складові реакцій R_{Ay} та R_{By} , а також момент M_{Bz} , не змінюються при зміні f_x . Величина моменту M_{Bz} суттєво змінюється при інших положеннях передньої рукоятки: при положенні A знижується з нульовим значенням при $f_x \approx 1,35$; при положенні A_2 – збільшується з нульовим значенням при $f_x \approx 0,7$.

Нахил машини у вертикальній площині, що характеризується кутом β (див. Рис.10), більше впливає на зміну реакції на передній рукоятці (до 40...45% за нахилу у 30°). Для рукоятки B зміна становить приблизно 10...12%. Найменші значення моменту M_{Bz} при положенні передньої руко-

ятки в позиції A становлять 0,71 Н·м при $\beta = 0$.

ВИСНОВКИ

Навантаження на рукоятках КШМ у процесі роботи в режимі зачистки або шліфування залежать не тільки від конструктивних параметрів і режимів роботи машини, умов підходу машиною до місця обробки (технологічні умови), але і від взаємного розташування робочого інструменту та виробу, від зносу інструменту, його технічного стану, фізичного стану та навичок оператора. Загалом це впливає на зручність утримання машини в руках оператора, його меншу втомлюваність, що безпосередньо впливає на підвищення якості, продуктивності та безпеки проведення робіт.

На виникнення та розвиток втомлюваності оператора першочергово впливають тривалість та умови роботи, вид та параметри робочого інструменту (круга), сила ваги КШМ з інструментом, потужність приводу, швидкість робочого інструменту, компоновка машини. У свою чергу, втомлюваність впливає на зусилля, які оператор прикладає до машини як, наприклад, на зусилля притискання P_x , та одночасно знижує точність утримання машини відносно робочої зони.

Методика розрахунку та проведений на її основі аналіз дозволяють обґрунтовано підійти до вибору основних параметрів, режимів та прийомів роботи з ручними кутовими машинами, оснащеними зачисними абразивними кругами при проведенні будівельно-монтажних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Обладнання** для монтажних робіт: підручник / Ю.Д. Абрашкевич, Л.С. Пелевін, В.П. Рашківський. – К: КНУБА, 2016. – 232 с.
2. **Абрашкевич Ю.Д.**, Пелевін Л.С., Мачишин Г.М. Зменшення енергетичних витрат при різанні металопрокату на монтажних ділянках. Науково виробничий журнал «Промислове будівництво та інженерні споруди» 2/2017. – С. 43-46.

3. **Кінематичні** та силові параметри машин з абразивними армованими кругами / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський, Д.А. Соловей. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №78. – С. 59-65.
4. **Абрашкевич Ю.Д.** Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, В.П. Тишковець // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – №85. – С. 54-59.
5. **Абрашкевич Ю.Д.** Эксплуатация абразивных армированных кругов / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Е. Пелевин, Г.Н. Мачишин // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2016. – №4. – С. 30-32.

REFERENCES

1. **Abrashkevich Yu.D., Pelevin L.E., Rashkovsky V.P., 2016.** Equipment for installation work. Kyiv, KNUBA Publ., 232. (in Ukraine).
2. **Abrashkevich Ju.D., Pelevin L.E., Machishin H.N., 2017.** Reducing energy costs when cutting metal in assembly areas. Scientific production magazine "Industrial construction and engineering structures", Nr.2, 43-46. (in Ukraine).
3. **Abrashkevich Yu.D., Pelevin L.E., Rashkovsky V.P., Solovey D.A., 2011.** Kinematical and power parameters of machines with abrasive reinforced circles. Mining, construction, road and reclamation machines, Nr. 78.59-65. (in Ukraine).
4. **Abrashkevich Ju.D., Machishin H.N., Tishkovec V.P., 2015.** Effect of reinforcement on the safety of the operation of abrasive wheels. Mining, construction, road and reclamation machines, Nr.85. 54-59. (in Ukraine).
5. **Abrashkevich Ju.D., Pelevin L.E., Machishin H.N., 2016.** Operation of abrasive reinforced wheels. Assembly and special works in construction. Monthly scientific, technical and production magazine, Nr. 4, 30-32. (in Russian).

Force analysis of parameters of manual angle grinders when working with abrasive grinding wheels

Yury Abrashkevich, Hrigoriy Machyshyn, Oleksandr Marchenko

Abstract. Various working bodies with an actuator from angular grinding machines have been widely used to perform sweeping operations during construction and installation work. This machine is one of the most commonly used types of hand tools.

The versatility of such machines, combined with the correct selection of the desired abrasive tool, can significantly accelerate and facilitate the execution of retractable and grinding operations to achieve the desired effect.

The market for angle grinders and work tools is represented by a large number of different brands and designs in a wide range of product range and price range.

Taking into account the complexity of working with such machines in the course of retractable and grinding works and its dependence on the physical data and skills of the operator, along with technological and economic indicators, ergonomic indicators should be prioritized. Among these, in addition to the vibration, noise and other characteristics, the dependence of loads on the arms of the machine on the efforts on the working body, the weight of the machine, its design parameters and the position of the arms should be highlighted.

To study the load of the operator during the grinding work, a mathematical model of the operation of a grinding machine with retractable circles was developed.

The paper presents the results of research on the influence of structural and mode parameters of hand angle grinding machines on the operator's load when working with abrasive working organs.

Key words: abrasive reinforced circle, modifier, cutting, rocks, refractory materials.