

УДК 621.924

СИЛОВИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ РУЧНИХ МАШИН ПІД ЧАС РОБОТИ З ВІДРІЗНИМИ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ

У статті наведені результати досліджень щодо впливу конструктивних та режимних параметрів ручних кутових шліфувальних машин на завантаженість оператора під час роботи з абразивними робочими органами.

The article presents the results of research on the influence of structural and regime parameters of angular grinding machines on the load of the operator when working with cut off working organs.

Ключові слова: кутова шліфувальна машина, абразивний армований круг, навантаження на рукояті.

Різнання металопрокату відноситься до масових трудомістких процесів. У більшості випадків на будівельно-монтажних майданчиках вони виконуються ручними кутовими шліфувальними машинами, робочим органом яких є абразивні армовані круги. На ринку України представлена велика кількість таких машин різних фірм, що відрізняються потужністю приводу та конструкцією. Багатофункціональність та універсальність кутових шліфувальних машин (КШМ) у поєднанні з можливістю використання різноманітного змінного робочого обладнання дає змогу значно прискорити та полегшити виконання відрізних, шліфувальних та зачисних операцій у ході проведення будівельних, монтажних, ремонтних та інших робіт. Особливістю таких машин є поєднання властивостей машини, що забезпечує основний робочий рух, з одного боку, та ручного інструменту – з іншого, що потребує використання ручної сили для утримання машини в руках, сприйняття реактивних сил та моментів, здійснення руху подачі та додаткових переміщень. При цьому виникає тісна взаємодія в системі «оператор – ручна машина – робоче середовище», яка має ряд особливостей порівняно з верстатним обладнанням, а саме:

- нестабільність та відсутність жорсткості при подачі робочого органу;
- 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.



Ю.Д. Абрашкевич

професор кафедри «Будівельні машини ім. Ю.О. Ветрова» Київського національного університету будівництва і архітектури, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор



Г.М. Мачишин

доцент кафедри «Будівельні машини ім. Ю.О. Ветрова» Київського національного університету будівництва і архітектури, к.т.н., доцент



О.А. Марченко

інженер Київського національного університету будівництва і архітектури

Тому, враховуючи складність роботи з ручними машинами при проведенні будівельно-монтажних робіт та її залежність від фізичних даних та навиків оператора, крім технологічних та економічних показників першочергове значення мають ергономічні показники. Серед яких крім вібраційної, шумової та інших характеристик слід виділити залежність навантажень на рукоятях машини від зусиль на робочому органі, маси машини, її конструктивних параметрів та зміни положення рукоятей відносно КШМ.

У процесі роботи КШМ механічним приводом створюється крутний момент на шпинделі та здійснюється обертання робочого органу. Всі інші функції: поздовжня та поперечна подача, утримання машини та загальне управління виконує оператор. Під час роботи з КШМ опера-

тор може утримувати її у будь-якому положенні та забезпечувати достатньо точний напрямок подачі круга. При цьому, навіть при вертикальному робочому положенні осі машини, частина її ваги виконує корисну роботу – здійснює тиск на круг, тим самим полегшуючи роботу оператора. Крім цього, при роботі з КШМ місце обробки і простір у напрямку подачі знаходяться

у прямій видимості оператора, що сприяє дотриманню достатньо точного напрямку подачі.

Силові показники та їх зміна можуть бути визначені шляхом статичного аналізу машини. Розглянемо схему (рис. 1) дії сил на ручну машину, що працює з відрізним кругом (торцева робоча поверхня).

На рисунку введено наступні позначення: a_x, a_y, a_z – лінійні розміри положення точки прикладання реакції на рукояті А; b_x, b_y, b_z – те саме на рукояті В; q_x, q_z – лінійні розміри положення центру ваги КШМ з робочим органом; h_x – висота кріплення робочого органу по відношенню до осі двигуна КШМ; D – діаметр робочого органу (відрізного круга); φ – кут між радіальною складовою сили різання та вертикаллю; α – кут нахилу осі приводу (двигуна) КШМ до горизонталі; β – кут нахилу КШМ у площині круга.

Умова рівноваги системи має вид:

- 1) $\Sigma X = 0$; 2) $\Sigma Y = 0$; 3) $\Sigma Z = 0$;
- 4) $\Sigma M_x = 0$; 5) $\Sigma M_y = 0$; 6) $\Sigma M_z = 0$.

Після підстановки відповідних показників:

$$R_{Ax} + R_{Bx} = P_x + G \cdot \sin \beta = c_1; \quad (1)$$

$$R_{Ay} + R_{By} = P_y - G \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha = c_2; \quad (2)$$

$$R_{Az} + R_{Bz} = P_z - G \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha = c_3; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_{Az} a_y - R_{Ay} a_z + R_{Bz} b_y - R_{By} b_z = \\ = P_y \frac{D}{2} \sin(\varphi + \alpha) - P_z \frac{D}{2} \cos(\varphi + \alpha) - \\ - G \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot q_z = c_4; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} R_{Ax} a_z - R_{Az} a_x + R_{Bx} b_z = -P_x \frac{D}{2} \sin(\varphi + \alpha) - \\ - P_z h_x + G \cdot \sin \beta \cdot q_z + G \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot q_x = c_5; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} R_{Ax} a_y + R_{Ay} a_x + R_{Bx} b_y - M_{Bz} = \\ = -P_x \frac{D}{2} \cos(\varphi + \alpha) - P_y h_x + \\ + G \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot q_x = c_6, \end{aligned} \quad (6)$$

де $c_1, c_2 \dots c_6$ – частина рівнянь рівноваги від дії зовнішніх сил.

Зусилля подачі машини, тобто її переміщення по осі z , розподіляється між однією (наприклад, правою) R_{Az} та іншою (відповідно, лівою) R_{Bz} руками оператора. Співвідношення цих зусиль залежить

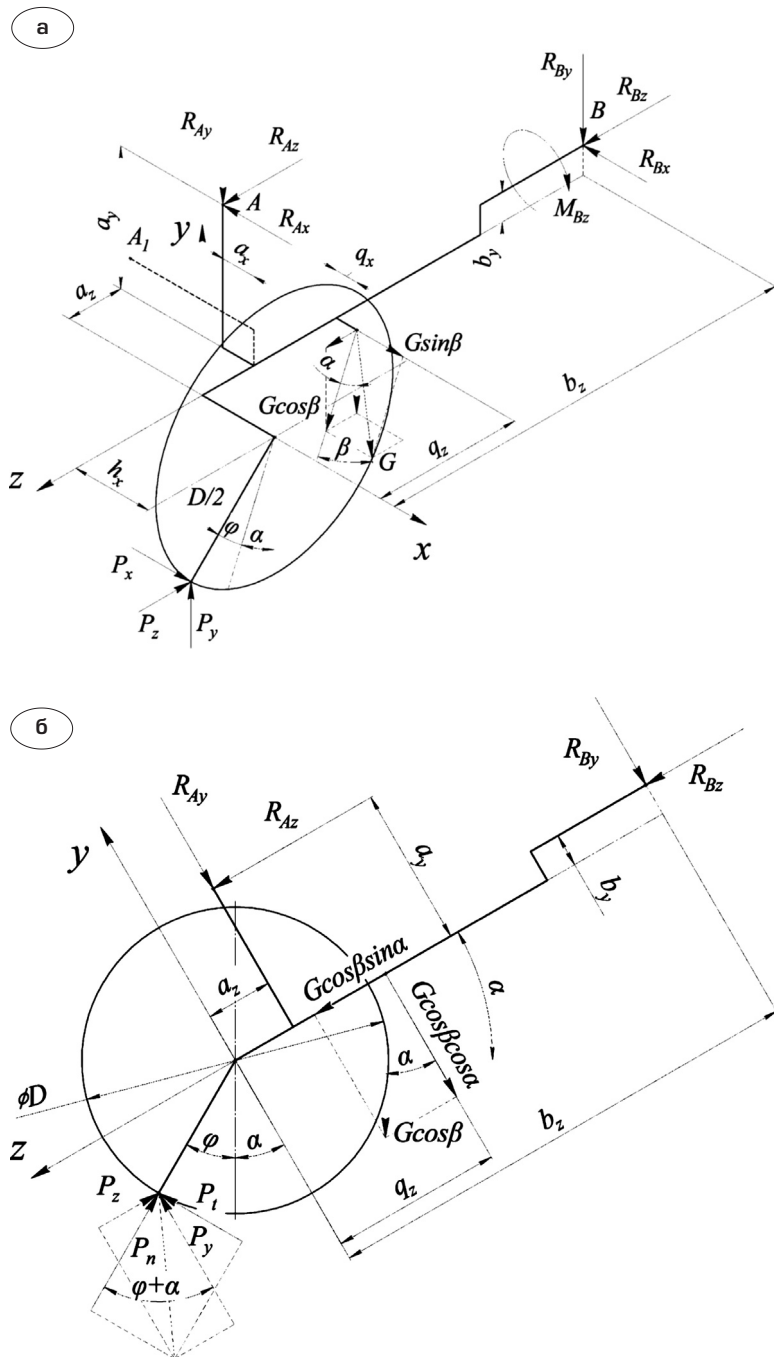


Рис. 1. Схема дії сил на ручну КШМ під час роботи з відрізним кругом:

а – загальний вигляд; б – вигляд на КШМ у проекції yz ;

P_x, P_y, P_z – сили, що діють на робочий орган машини, відповідно по осях x, y, z ; R_{Ax}, R_{Ay}, R_{Az} – сили реакції на рукояті А, що діють по осях x, y, z ; R_{Bx}, R_{By}, R_{Bz} – те саме на рукояті В; M_{Bz} – реактивний момент на рукояті В; G – сила ваги КШМ із кругом; P_n – тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган; P_r – радіальна складова сили, що діє на робочий орган.

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 (3) отримаємо:

$$R_{Az} = \frac{1}{k_z + 1} c_3; \quad R_{Bz} = \frac{k_z}{k_z + 1} c_3. \quad (7)$$

З рівнянь (1) та (5) визначимо R_{Ax} та R_{Bx} :

$$R_{Ax} = \frac{c_1 b_z - c_5 + R_{Az} a_x}{b_z - a_z}; \quad R_{Bx} = \frac{c_5 - c_1 a_z - R_{Az} a_x}{b_z - a_z}. \quad (8)$$

З рівнянь (2) та (4) визначимо R_{Ay} та R_{By} :

$$R_{Ay} = \frac{c_2 b_z + c_4 - R_{Az} a_y - R_{Bz} b_y}{b_z - a_z}; \quad (9)$$

$$R_{By} = \frac{R_{Az} a_y + R_{Bz} b_y - c_2 a_z - c_4}{b_z - a_z}.$$

З рівняння (6) визначимо:

$$M_{Bz} = \frac{1}{b_z - a_z} [c_1 (a_y b_z - a_z b_y) + c_2 a_x b_z - c_3 a_x b_y + c_4 a_x + c_5 (b_y - a_y) - c_6 (b_z - a_z) + R_{Az} (a_x - a_z)]. \quad (10)$$

Для ручних машин характерним є повне використання потужності приводу [1, 2]. Тому між величиною тангенціальної складової сили різання P_t (Н) та встановленою потужністю N (Вт) приводу машини має місце залежність

$$P_t = \frac{N}{V} = \frac{N \cdot 60}{\pi n D}, \quad (11)$$

де V – колова швидкість круга, м/с; n – частота обертання круга, об/хв.; D – діаметр відрізного круга, м.

При цьому необхідно враховувати, що за відсутності жорсткого направлення подачі, активну участь у процесі різання беруть бокові поверхні круга, що знаходяться у пропилі. У результаті чого виникають значні тангенціальні зусилля по бокових поверхнях круга з оброблюваним матеріалом, набагато більші ніж при стаціонарних умовах. Ці зусилля значно знижують ефективність роботи машини. У зв'язку з цим потужність на шпинделі КШМ можна представити наступним чином:

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

де $N_{tn} = P_{tn} V_n$ – потужність різання торцевою поверхнею круга; $N_{tx} = P_{tx} V_x$ – потужність різання

боковими поверхнями; P_{tn} , V_n – тангенціальна складова сили різання торцевою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно; P_{tx} , V_x – тангенціальна складова сили різання боковою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно.

Оскільки тертя боковою поверхнею у процесі різання відбувається поблизу її периферії, то можна приблизно рахувати, що $V_x = V_n = V$. А враховуючи, що

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

де $|P_x|$ – абсолютне значення бокового зусилля; μ_n , μ_x – відповідно коефіцієнт тертя між матеріалом, що розрізається торцевою та боковою поверхнями робочого органу, значення коефіцієнтів тертя можуть бути пов'язані через співвідношення $k_\mu = \frac{\mu_x}{\mu_n}$, за однакових значень кое-

фіцієнтів тертя по поверхнях диска $\mu_n = \mu_x = \mu$ співвідношення $k_\mu = 1$.

Тоді сумарна тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган:

$$P_t = P_n \mu_n + |P_x| \cdot \mu_x = \mu_n (P_n + |P_x| \cdot k_\mu). \quad (12)$$

Величина бокової складової, що діє на робочий орган, по відношенню до тангенціальної може бути представлена співвідношенням

$$\frac{P_x}{P_t} = f_x. \quad (13)$$

Тоді максимальне значення нормальної складової сили в залежності від ефективної потужності N приводу машини при дії бокового зусилля визначається з рівняння (12) з урахуванням (11) та (13):

$$P_n = P_t \frac{1 - |f_x| \cdot \mu_x}{\mu_n} = \frac{N \cdot 60 (1 - |f_x| \cdot k_\mu \mu_n)}{\pi \cdot n \cdot D \cdot \mu_n}. \quad (14)$$

Звідси співвідношення тангенціальної до радіальної (нормальної) складової сили різання буде:

$$f_n = \frac{P_t}{P_n} = \frac{\mu_n}{1 - |f_x| \cdot k_\mu \cdot \mu_n}. \quad (15)$$

Зі схеми (див. рис. 1, б) дії сил на робочому органі з урахуванням рівняння (15) впливає, що складові зусилля на крузі по осях y та z дорівнюють:

$$P_y = P_n [\cos(\varphi + \alpha) + f_n \cdot \sin(\varphi + \alpha)]; \quad (16)$$

$$P_z = P_n [\sin(\varphi + \alpha) - f_n \cdot \cos(\varphi + \alpha)]. \quad (17)$$

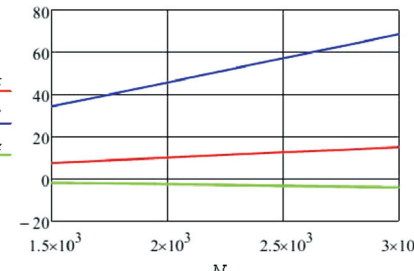
Враховуючи отримані вирази та виходячи з рівнянь (7)...(10), можна провести аналіз впливу режимів роботи, силових і конструктивних параметрів, у тому числі розміщення рукояті A в різних положеннях (див. рис. 1), на навантаження оператора.

У таблицях 1–6 наведено дані зміни навантаження на рукоятях в положенні A та A_1 у залежності від N , D , φ , α , μ , f_x при незмінних інших параметрах. Дані відповідають наступним вихідним значенням розрахункових величин: $N = 2500$ Вт; $D = 230$ мм; $G = 60$ Н;

Таблиця 1

Зміна сил та реакцій при зміні потужності N КШМ

N , Вт	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н
1500	7,549	34,329	-1,972
2000	10,065	45,772	-2,629
2500	12,581	57,215	-3,286
3000	15,098	68,658	-3,944

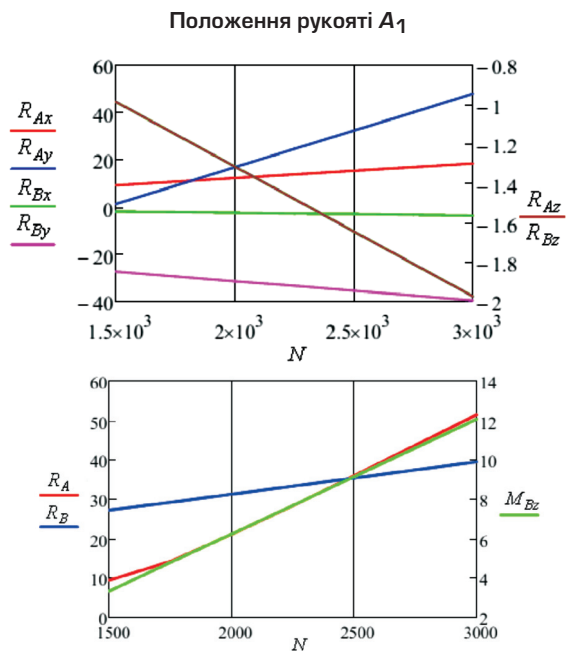
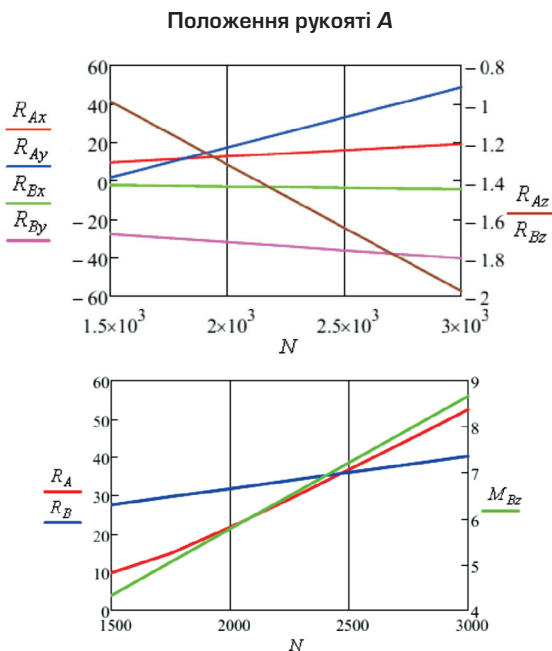


N , Вт	Сили реакції на рукояті у положенні A , Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
1500	9,653	1,845	-0,986	-2,105	-27,516	-0,986	9,877	27,614	4,332
2000	12,871	17,459	-1,315	-2,806	-31,688	-1,315	21,731	31,839	5,776
2500	16,089	33,074	-1,643	-3,508	-35,860	-1,643	36,817	36,068	7,220
3000	19,307	48,689	-1,972	-4,209	-40,032	-1,972	52,415	40,301	8,663

Зміна відповідного параметра									
2,00	2,00	26,39	2,00	2,00	1,45	2,00	5,31	1,46	2,00

N , Вт	Сили реакції на рукояті у положенні A_1 , Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
1500	9,284	1,475	-0,986	-1,735	-27,146	-0,986	9,452	27,219	3,332
2000	12,378	16,967	-1,315	-2,313	-31,195	-1,315	21,043	31,308	6,242
2500	15,473	32,458	-1,643	-2,891	-35,243	-1,643	35,995	35,400	9,153
3000	18,567	47,950	-1,972	-3,470	-39,292	-1,972	51,457	39,494	12,064

Зміна відповідного параметра									
2,00	2,00	32,51	2,00	2,00	1,45	2,00	5,44	1,45	3,62



$n = 6600$ об/хв.; $k_z = 1$; $\mu = 0,52$; $f_x = 0,25$; $\varphi = 30^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $\beta = 0^\circ$; $a_z = 0,05$ м; $b_x = b_y = 0$; $b_z = 0,37$ м; $q_x = q_y = 0$; $q_z = 0,13$ м; $h_x = 0,07$ м. При розташуванні передньої рукояті: – в положенні А: $a_x = 0$; $a_y = 0,12$ м; – в положенні А₁: $a_x = 0,12$ м; $a_y = 0$.

Аналіз залежностей (7)–(12) та побудованих на їх основі кривих, зображених в табл. 1, показує, що зміна потужності N КШМ дозволяє збільшити силове навантаження на робочому органі, одночасно збільшуючи навантаження

Таблиця 2

Зміна сил та реакцій при зміні діаметра круга D (зносі)

D , м	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н
0,1	18,086	140,992	-2,133
0,15	12,057	93,994	-1,422
0,2	9,043	70,496	-1,067
0,25	7,234	56,397	-0,853

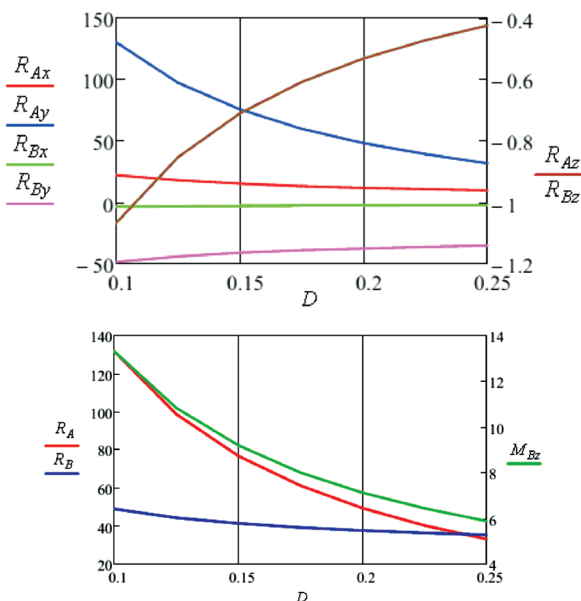
D , м	Сили реакції на рукояті у положенні А, Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
0,1	21,858	129,725	-1,067	-3,772	-48,734	-1,067	131,558	48,891	13,296
0,15	15,043	75,251	-0,711	-2,986	-41,257	-0,711	76,743	41,371	9,181
0,2	11,635	48,014	-0,533	-2,593	-37,519	-0,533	49,407	37,612	7,124
0,25	9,591	31,672	-0,427	-2,357	-35,276	-0,427	33,095	35,357	5,890

Зміна відповідного параметра									
	2,28	4,10	2,50	1,60	1,38	2,50	3,98	1,38	2,26

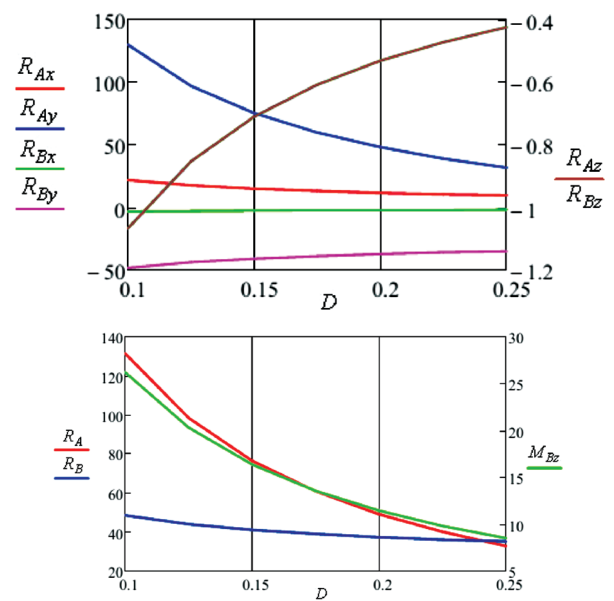
D , м	Сили реакції на рукояті у положенні А ₁ , Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
0,1	21,458	129,325	-1,067	-3,372	-48,334	-1,067	131,098	48,463	26,172
0,15	14,776	74,985	-0,711	-2,719	-40,990	-0,711	76,43	41,086	16,361
0,2	11,435	47,814	-0,533	-2,393	-37,319	-0,533	49,166	37,399	11,456
0,25	9,431	31,512	-0,427	-2,197	-35,116	-0,427	32,896	35,187	8,512

Зміна відповідного параметра									
	2,28	4,10	2,50	1,53	1,38	2,50	3,99	1,38	3,07

Положення рукояті А



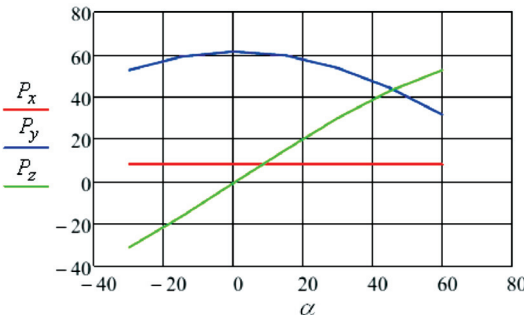
Положення рукояті А₁



Таблиця 3

Зміна сил та реакцій при зміні кута α

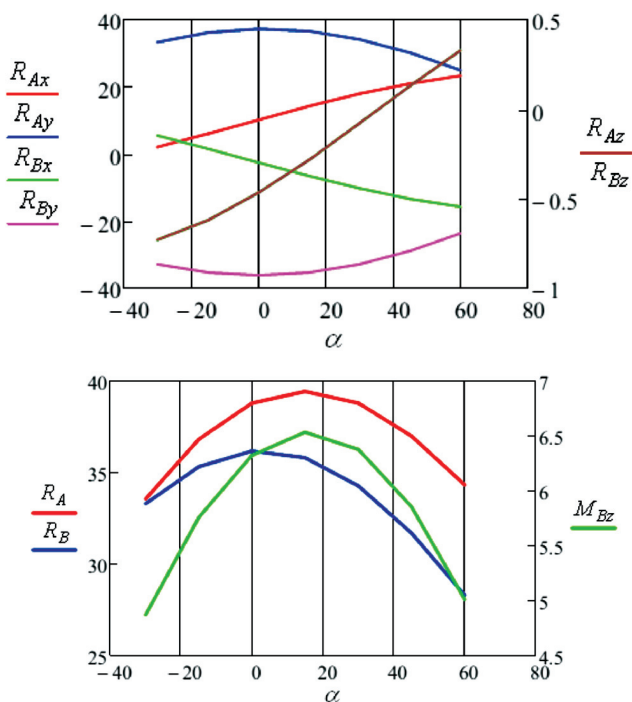
$\alpha, ^\circ$	P_x, H	P_y, H	P_z, H
-30	7,863	52,624	-31,454
-15	7,863	58,972	-16,762
0	7,863	61,301	-0,927
15	7,863	59,452	14,97
30	7,863	53,552	29,847
45	7,863	44,002	42,69
60	7,863	31,454	52,624



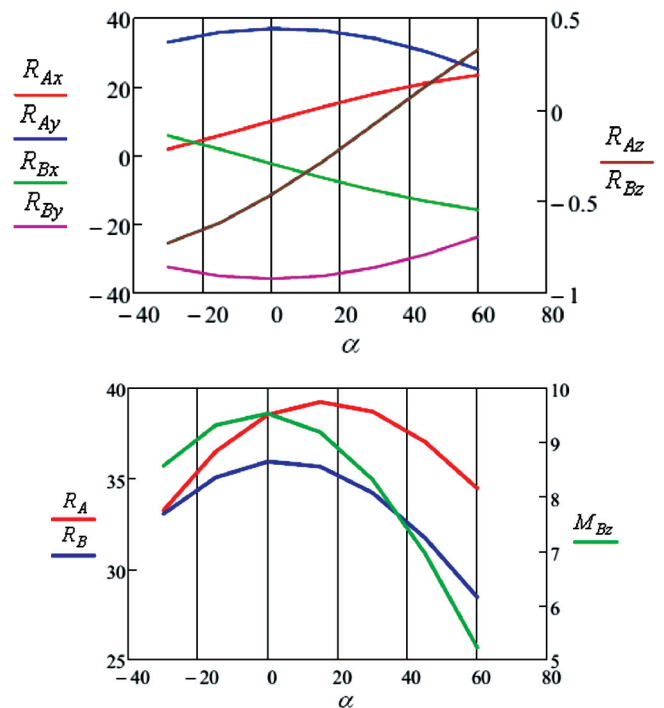
$\alpha, ^\circ$	Сили реакції на рукояті у положенні А, Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_b	M_{Bz}
-30	2,212	33,452	-0,727	5,652	-32,789	-0,727	33,533	33,281	4,867
-15	6,157	36,254	-0,616	1,707	-35,238	-0,616	36,778	35,285	5,752
0	10,302	37,356	-0,464	-2,439	-36,056	-0,464	38,754	36,141	6,319
15	14,365	36,683	-0,28	-6,502	-35,187	-0,28	39,396	35,783	6,530
30	18,068	34,28	-0,076	-10,205	-32,69	-0,076	38,751	34,246	6,37
45	21,16	30,312	0,132	-13,297	-28,736	0,132	36,967	31,664	5,851
60	23,429	25,048	0,331	-15,566	-23,594	0,331	34,299	28,268	5,007

$\alpha, ^\circ$	Сили реакції на рукояті у положенні А ₁ , Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_b	M_{Bz}
-30	1,939	33,179	-0,727	5,924	-32,517	-0,727	33,244	33,06	8,569
-15	5,926	36,023	-0,616	1,938	-35,007	-0,616	36,512	35,066	9,324
0	10,128	37,183	-0,464	-2,265	-35,882	-0,464	38,54	35,956	9,536
15	14,26	36,578	-0,28	-6,397	-35,082	-0,28	39,261	35,661	9,190
30	18,04	34,252	-0,076	-10,176	-32,661	-0,076	38,712	34,21	8,311
45	21,21	30,361	0,132	-13,346	-28,786	0,132	37,036	31,729	6,958
60	23,554	25,172	0,331	-15,69	-23,718	0,331	34,475	28,44	5,222

Положення рукояті А



Положення рукояті А₁



на руки оператора. Реакція на передній рукояті (положення А та А₁) збільшується більш інтенсивно, при положенні А реакція R_A збільшується у 5,3 рази, а R_B в 1,46 рази; величина моменту

відносно осі z (M_{Bz}) збільшується удвічі. При установленні рукояті в положення А₁: R_A – збільшується у 5,44 рази; R_B – у 1,45; M_{Bz} – у 3,62 рази. Зміна положення рукояті практично не впливає

Таблиця 4

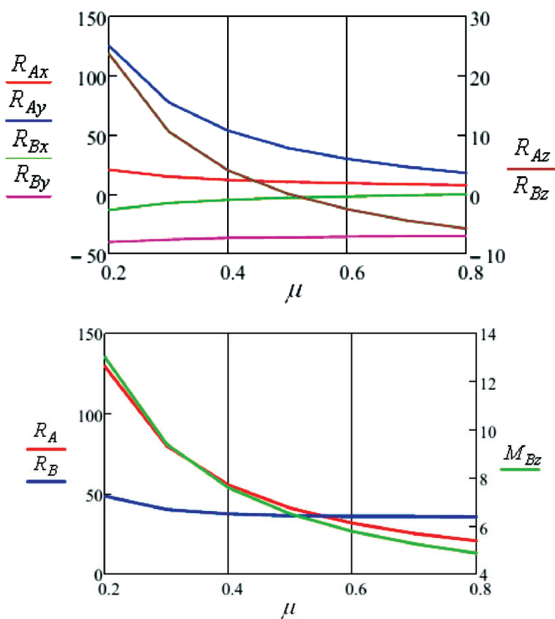
Зміна сил та реакцій при зміні коефіцієнта μ

μ	P _x , Н	P _y , Н	P _z , Н
0,2	7,863	145,115	47,463
0,3	7,863	99,715	21,25
0,4	7,863	77,016	8,146
0,5	7,863	63,396	0,282
0,6	7,863	54,316	-4,96
0,7	7,863	47,831	-8,704
0,8	7,863	42,966	-11,513

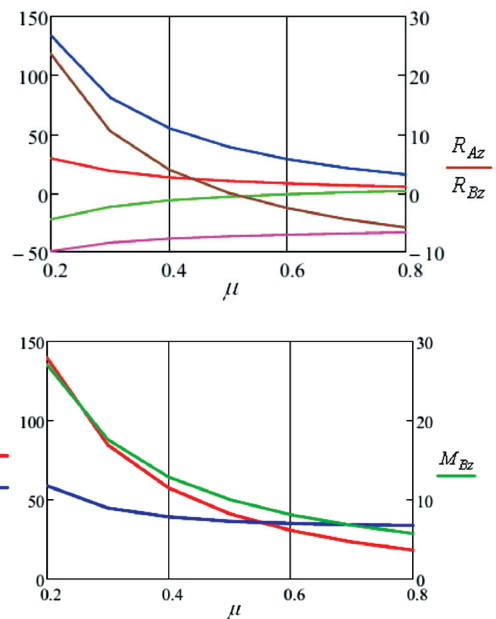
μ	Сили реакції на рукояті у положенні А, Н								
	R _{Ax}	R _{Ay}	R _{Az}	R _{Bx}	R _{By}	R _{Bz}	R _A	R _B	M _{Bz}
0,2	20,887	125,193	23,731	-13,024	-40,079	23,731	129,123	48,364	13,003
0,3	15,154	77,615	10,626	-7,29	-37,9	10,626	79,791	40,03	9,382
0,4	12,287	53,826	4,073	-4,423	-36,81	4,073	55,36	37,298	7,572
0,5	10,567	39,552	0,141	-2,703	-36,156	0,141	40,94	36,258	6,486
0,6	9,420	30,037	-2,48	-1,557	-35,721	-2,48	31,577	35,84	5,762
0,7	8,601	23,24	-4,352	-0,738	-35,409	-4,352	25,16	35,683	5,245
0,8	7,987	18,142	-5,756	-0,123	-35,176	-5,756	20,641	35,64	4,857

μ	Сили реакції на рукояті у положенні А ₁ , Н								
	R _{Ax}	R _{Ay}	R _{Az}	R _{Bx}	R _{By}	R _{Bz}	R _A	R _B	M _{Bz}
0,2	29,787	134,093	23,731	-21,923	-48,978	23,731	139,396	58,674	27,032
0,3	19,138	81,6	10,626	-11,275	-41,884	10,626	84,485	44,658	17,555
0,4	13,814	55,353	4,073	-5,951	-38,337	4,073	57,196	39,01	12,817
0,5	10,620	39,605	0,141	-2,756	-36,209	0,141	41,005	36,314	9,973
0,6	8,490	29,107	-2,48	-0,627	-34,791	-2,48	30,421	34,884	8,078
0,7	6,969	21,608	-4,352	0,895	-33,777	-4,352	23,117	34,068	6,724
0,8	5,828	15,983	-5,756	2,035	-33,017	-5,756	17,96	33,577	5,709

Положення рукояті А



Положення рукояті А₁



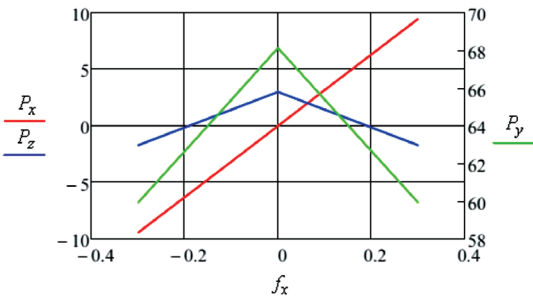
на величину сумарної реакції на рукоятях, але збільшується момент M_{Bz} . Збільшення потужності призводить до значного збільшення складових навантаження, що діє по осі y . З точки

зору рівноваги реакцій на руки оператора найбільш ефективним, при прийнятих вихідних умовах, є використання КШМ потужністю $N \approx 2500$ Вт, де $R_A \approx R_B$.

Таблиця 5

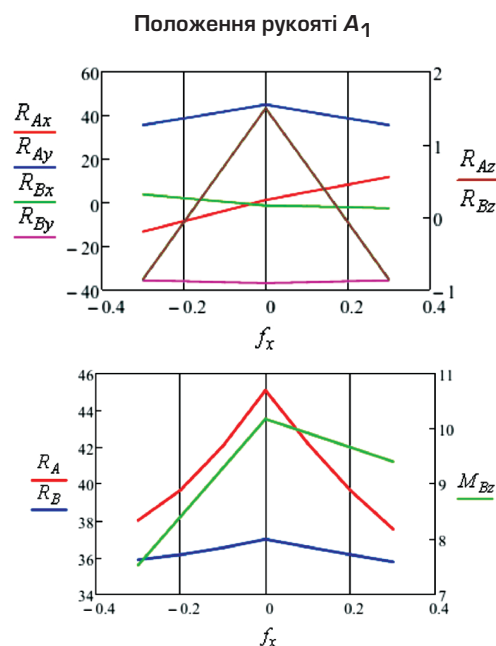
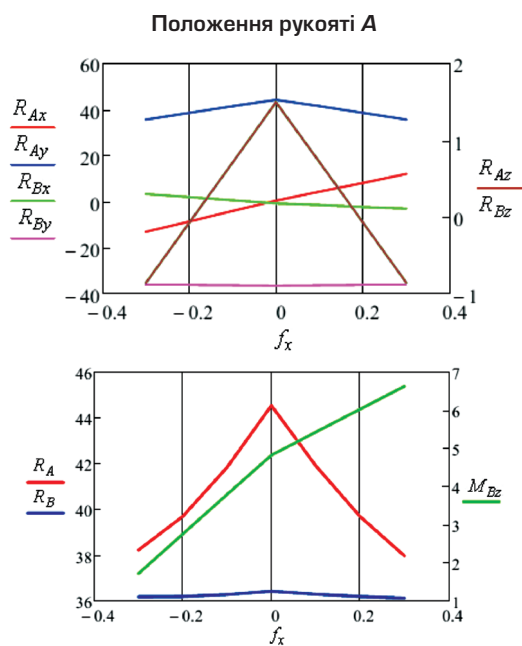
Зміна сил та реакцій при зміні коефіцієнта f_x

f_x	P_x, H	P_y, H	P_z, H
-0,3	-9,436	59,939	-1,714
-0,2	-6,291	62,663	-0,141
-0,1	-3,145	65,387	1,432
0	0	68,111	3,004
0,1	3,145	65,387	1,432
0,2	6,291	62,663	-0,141
0,3	9,436	59,939	-1,714



f_x	Сили реакції на рукояті у положенні А, Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
-0,3	-12,981	35,929	-0,857	3,545	-35,99	-0,857	38,212	36,175	1,714
-0,2	-8,435	38,784	-0,071	2,144	-36,121	-0,071	39,69	36,185	2,749
-0,1	-3,889	41,638	0,716	0,743	-36,252	0,716	41,826	36,267	3,784
0	0,657	44,493	1,502	-0,657	-36,383	1,502	44,523	36,42	4,818
0,1	4,515	41,638	0,716	-1,37	-36,252	0,716	41,889	36,285	5,419
0,2	8,373	38,784	-0,071	-2,082	-36,121	-0,071	39,677	36,181	6,019
0,3	12,231	35,929	-0,857	-2,795	-35,99	-0,857	37,964	36,109	6,619

f_x	Сили реакції на рукояті у положенні А1, Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
-0,3	-13,302	35,608	-0,857	3,866	35,669	-0,857	38,021	35,888	7,529
-0,2	-8,461	38,757	-0,071	2,171	-36,095	-0,071	39,67	36,16	8,411
-0,1	-3,62	41,907	0,716	0,475	-36,52	0,716	42,069	36,53	9,293
0	1,220	45,056	1,502	-1,22	-36,946	1,502	45,098	36,997	10,175
0,1	4,784	41,907	0,716	-1,638	-36,52	0,716	42,185	36,564	9,919
0,2	8,347	38,757	-0,071	-2,056	-36,095	-0,071	39,646	36,153	9,664
0,3	11,910	35,608	-0,857	-2,474	-35,669	-0,857	37,556	35,765	9,408



Таблиця 6

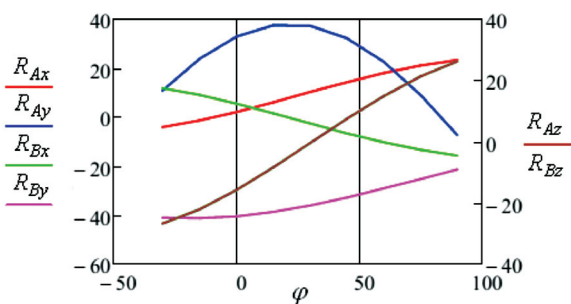
Зміна сил та реакцій при зміні кута φ

$\varphi, ^\circ$	P_x, H	P_y, H	P_z, H
-30	7,863	29,847	-53,552
-15	7,863	42,69	-44,002
0	7,863	52,624	-31,454
15	7,863	58,972	-16,762
30	7,863	61,301	-0,927
45	7,863	59,452	14,97
60	7,863	53,552	29,847
75	7,863	44,002	42,69
90	7,863	31,454	52,624

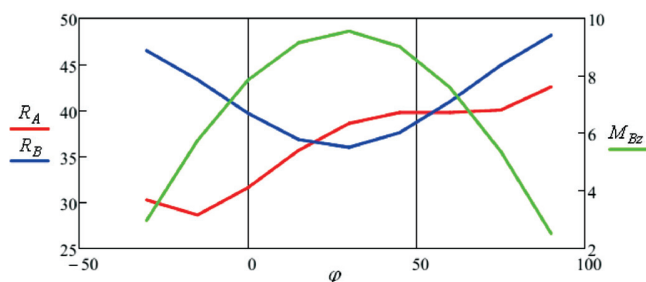
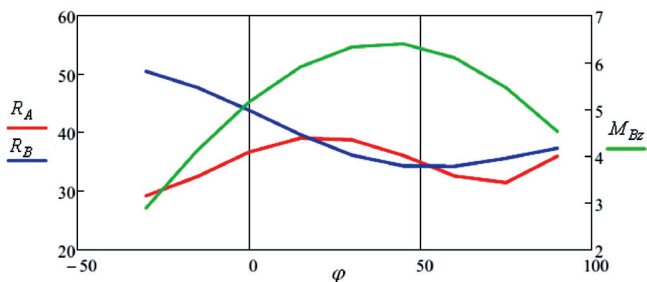
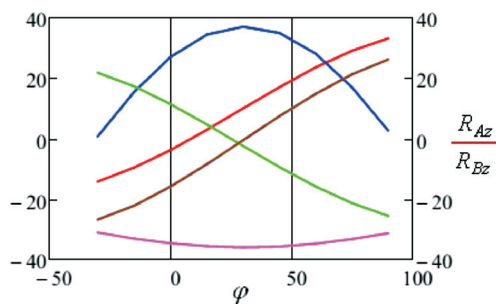
$\varphi, ^\circ$	Сили реакції на рукояті у положенні А, Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
-30	-4,035	10,855	-26,776	11,899	-41,008	-26,776	29,173	50,4	2,890
-15	-1,265	23,915	-22,001	9,128	-41,224	-22,001	32,52	47,611	4,123
0	2,212	33,048	-15,727	5,652	-40,424	-15,727	36,666	43,742	5,148
15	6,157	37,633	-8,381	1,707	-38,661	-8,381	39,043	39,596	5,897
30	10,302	37,356	-0,464	-2,439	-36,056	-0,464	38,754	36,141	6,319
45	14,365	32,238	7,485	-6,502	-32,786	7,485	36,079	34,252	6,385
60	18,068	22,626	14,924	-10,205	-29,075	14,924	32,575	34,237	6,089
75	21,16	9,176	21,345	-13,297	-25,174	21,345	31,426	35,583	5,453
90	23,429	-7,195	26,312	-15,566	-21,351	26,312	35,959	37,289	4,520

$\varphi, ^\circ$	Сили реакції на рукояті у положенні А ₁ , Н								
	R_{Ax}	R_{Ay}	R_{Az}	R_{Bx}	R_{By}	R_{Bz}	R_A	R_B	M_{Bz}
-30	-14,076	0,814	-26,776	21,940	-30,967	-26,776	30,261	46,446	2,970
-15	-9,515	15,664	-22,001	17,379	-32,974	-22,001	28,635	43,282	5,742
0	-3,686	27,150	-15,727	11,549	-34,526	-15,727	31,592	39,658	7,846
15	3,014	34,490	-8,381	4,849	-35,518	-8,381	35,621	36,814	9,140
30	10,128	37,183	-0,464	-2,265	-35,882	-0,464	38,540	35,956	9,536
45	17,172	35,045	7,485	-9,308	-35,593	7,485	39,737	37,544	9,006
60	23,665	28,223	14,924	-15,801	-34,671	14,924	39,740	40,920	7,587
75	29,165	17,181	21,345	-21,301	-33,179	21,345	40,017	44,835	5,376
90	33,297	2,672	26,312	-25,433	-31,218	26,312	42,522	48,101	2,522

Положення рукояті А



Положення рукояті А₁



Зміна діаметра круга (табл. 2) за умови використання повної потужності та незмінності частоти обертання збільшує навантаження на оператора: на рукояті A – в чотири рази, на рукояті B – приблизно в 1,4 рази, та момент M_{Bz} : при положенні A – збільшується у 2,26 рази, а при положенні A_1 – приблизно утричі.

Зміна кута α (табл. 3) при незмінних інших параметрах незначно впливає на зміну сумарних навантажень на рукоятях КШМ, але призводить до суттєвого перерозподілу їх складових у напрямку осей x , y , z . Що показує можливість вибору найбільш зручного положення оператора при проведенні робіт.

На зміну навантажень на рукоятях машини впливає величина відношення тангенціального до нормального зусилля на крузі, що характеризується коефіцієнтом μ (табл. 4), який залежить від характеристик круга та оброблюваного матеріалу, а також колової швидкості. Найменші сумарні навантаження на рукоятях КШМ $|R_A| + |R_B|$ мають місце при збільшенні коефіцієнта μ .

Вплив μ на навантаження на рукоятях A та B різний. Навантаження R_A значно знижується на усьому діапазоні μ від 0,2 до 0,8 приблизно у 6,5 рази, у той час як R_B різко знижується в діапазоні μ від 0,2 до 0,5, після чого стабілізується. Момент M_{Bz} з ростом μ зменшується приблизно у 2,5 рази для обох положень рукояті A . При зміні положення рукояті з положення A в положення A_1 при збільшенні значення μ від 0,2 до 0,8 зміна реакцій R_A та R_B змінюється від 7 % до 15 %, відповідно до зміни μ , а момент M_{Bz} – від 100 % до 17 % відповідно.

Зміна коефіцієнта f_x (табл. 5) значно не впливає на величину реакцій R_A та R_B , але впливає на напрямок дії цих реакцій. На величину M_{Bz} вплив зміни коефіцієнта f_x більш суттєвий, особливо у положенні A , де момент різниться практично у п'ять разів. При положенні A_1 максимальний момент M_{Bz} відповідає зна-

ченню $f_x = 0$, при зміні f_x відбувається зниження величини M_{Bz} на 10 % – 30 %.

Суттєво впливає на навантаження положення круга відносно оброблюваного матеріалу, яке характеризується кутом φ (табл. 6). Рівномірність навантаження на рукоятях КШМ, тобто $|R_A| \approx |R_B|$ має місце при $\varphi \approx 15^\circ \dots 25^\circ$, за максимального значення моменту M_{Bz} . Зі зміною кута від значень $\varphi \approx 15^\circ \dots 25^\circ$ навантаження R_A та R_B збільшуються, а момент M_{Bz} – зменшується. У діапазоні $\varphi \approx 15^\circ \dots 45^\circ$ всі навантаження змінюються незначно у діапазоні до 5 % – 7 % для обох положень рукояті A .

Отже, можна дійти висновку, що навантаження на рукоятях КШМ 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, якість та безпечність проведення робіт.

Методика розрахунку та проведеній на її основі аналіз дозволяють обґрунтовано підійти до вибору основних параметрів машини, режимів та прийомів роботи.

[1] Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М. Зменшення енергетичних витрат при різанні металопрокату на монтажних ділянках. // «Промислове будівництво та інженерні споруди» – 2017. – № 2 – С. 43–46.

[2] Механізація трудомістких процесів / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Смірнов, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський. – Київ: КНУБА, 2006. – 180 с. – (КНУБА).

Надійшла 19.04.2019 р. 