

П.А. Чемоданов ст. викл.

А.В. Лисенко ст. викл.

Житомирський державний технологічний університет

В.І. Сідорко, д.т.н.

Науково-технологічний алмазний концерн НАН України

**ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
РОБОТИ МОДЕЛІ КАМЕНЕОБРОБНОГО ПОРТАЛЬНОГО
ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З КРИВОЛІНІЙНИМ
ФОРМОУТВОРЮЮЧИМ РУХОМ РОБОЧОГО СТОЛУ З
КАМ'ЯНОЮ ЗАГОТОВКОЮ ПО КОПІР-КОЛІЇ**

В статті розглянута конструкція та наведено результати роботи моделі каменеобробного портального фрезерного верстата з криволінійним формоутворюючим рухом робочого столу з кам'яною заготовкою по копір-колії під час експериментального дослідження.

Постановка проблеми. У теперішній час на Україні працює багато каменеобробних підприємств, які оснащені каменеобробними верстатами. Їх невеличка група це – верстати, які призначені для обробки складнопрофільних поверхонь кам'яних виробів, а саме: каменеобробні фрезерні верстати з ЧПК; спеціальні канатні верстати; верстати токарної групи. Решта – це група каменеобробних фрезерних верстатів (у декілька разів більша за першу групу), на яких виготовляють кам'яні вироби, вигляд яких в основному можна звести до вигляду однієї геометричної фігури – паралелепіпеда, бо ці верстати мають три основних формоутворюючих рухи. Ці рухи на каменеобробних верстатах являють собою вертикальну подачу, повздовжню горизонтальну подачу та поперечну горизонтальну подачу. Напрямки цих подач – взаємноперпендикулярні. Іноді ці верстати мають головку шпинделя, яка має можливість фіксованого повороту у вертикальній площині, або – нахил робочого столу у вертикальній площі, або поворот цього столу у горизонтальній площі. Усе це дозволяє виконувати на кам'яному виробі плоскі похилі поверхні, наприклад: фаски або плоскі поверхні, які розташовані під певним кутом одна до одної. Кам'яні вироби з такою простою геометричною формою не мають попиту за кордоном, а це призвело до того, що Україна практично експортує у інші країни сировинні блоки та бруківку по дешевій ціні, що дає малий прибуток в валюті державі.

У теперішній час для виготовлення великогабаритних виробів зі складнопрофільними поверхнями застосовують малопродуктивну

застарілу технологію просторової обробки кам'яної заготовки ручним електромеханічним інструментом по об'ємній розмітці з шаблонами. А сучасні каменеобробні верстати з ЧПК за ціною 50000€ та більше дозволяють обробляти вироби з каменю висотою у 400÷700 мм.

Усе це не дає можливості архітекторам при проектуванні ландшафтних та архітектурних форм, будівель а надалі і будівельникам широко застосовувати великогабаритні кам'яні вироби зі складнопрофільними поверхнями, а каменеобробним підприємствам їх серійно виготовляти за допомогою сучасного алмазного інструменту.

Разом з тим, у статті запропонована конструкція і описана дослідна робота моделі каменеобробного фрезерного верстату без ЧПК (формула компоновки uOXZC) для формоутворення складнопрофільних поверхонь (за рахунок кінематики верстату) на великогабаритних кам'яних виробах (з габаритами більшими понад 2,5×2,5×3 м), аналоги якої не відомі.

Метою даної роботи є визначення конструктивно – технологічних параметрів роботи моделі каменеобробного фрезерного верстату (формула компоновки uOXZC) з криволінійним формоутворюючим рухом робочого столу з кам'яною заготовкою під час експериментального дослідження.

Опис конструкції та результати роботи моделі каменеобробного фрезерного верстату (формула компоновки uOXZC) з криволінійним формоутворюючим рухом робочого столу з кам'яною заготовкою під час проведення експериментальних досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена робоча модель вузла каменеобробною фрезерного верстату (рис. 1) з криволінійним формоутворюючим рухом робочого столу з кам'яною заготовкою (далі у тексті модель). Ця модель є копією (виготовлена у масштабі 1:10) майбутнього портального фрезерного верстату, а принцип дії верстату див. [1]. Після монтажу моделі на стіл мостового фрезерного верстату було таким чином створено для проведення дослідів каменеобробний верстат з формулою компоновки uOXZC). Технологічну схему останнього зображено на рис. 2.

Процес виконання експериментального дослідження було заснято кінокамерою і існує відповідне відео. Дослідний експеримент було виконано у каменеобробному цеху науково-технологічного алмазного концерну «Алкон» НАН України.

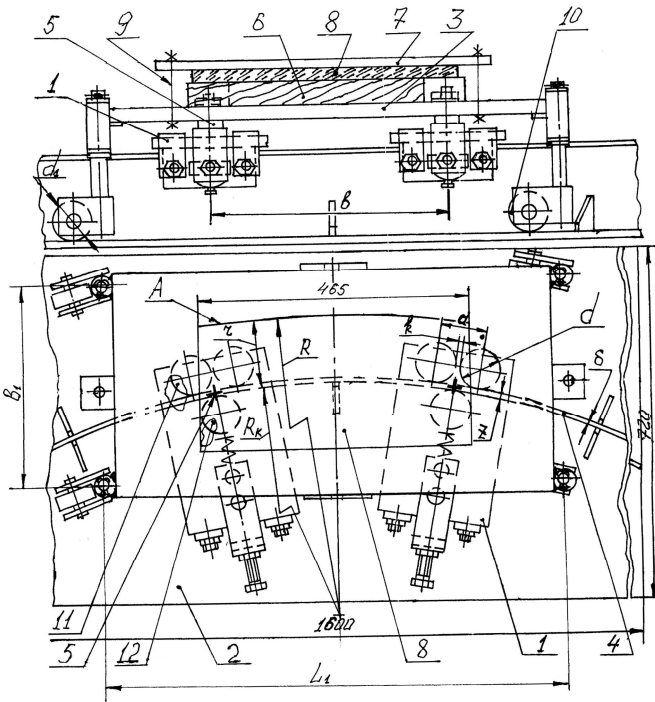


Рис. 1. Схема конструкції моделі: 1 – поворотний демпферний пристрій; 2 – нерухома основа; 3 – рухомий робочий стіл; 4 – копір-колія; 5 – ось повороту; 6 – дерев'яна прокладка; 7 – фіксуєча планка; 8 – кам'яна заготовка; 9 – деталі кріплення; 10 – опорний каточок (рухома опора); 11 – опорний ролик; 12 – натискаючий ролик

Позначення: d , мм – діаметр опорного ролика;

d_1 , мм – діаметр рухомої опори;

δ , мм – товщина листа копір-колії (для даної моделі $\delta = 5$ мм);

k , мм – зазор між опорними роликами;

a , мм – відстань між центрами опорних роликів;

b , мм – відстань між осями повороту;

R_k , мм – радіус копір-колії;

R , мм – радіус обробки кам'яної заготовки за її кресленням;

B_1, L_1 , мм – габарити розташування опор.

Геометричні параметри деталей та вузлів моделі ($a, b, k, z, R_k, R, d, B_1, L_1$) були попередньо розраховані з урахуванням їх співвідношень між собою, а саме:

1. $Z = \delta + \frac{1}{3}e$;
2. $d = d_l = 12 \cdot \delta$;
3. $k = \delta = d : 12$;
4. $a = d + k$;
5. $b = 5,833d$;
6. $R_k = 16,67 \cdot d$;
7. $R = R_k + r$;
8. $B_l = 4,833d$;
9. $L_l = 10,67d$;
10. $L = 3 \cdot L_l$,

де Z , мм – робочий зазор демпферного пристрою; e , мм – максимальний допуск на розмір R за кресленням на виріб з каменю.

Для виготовлення моделі усі деталі вузлів моделі були виготовлені за розмірами, які відповідали 14 квалітету точності.

Експериментальне дослідження виконувалось за попередньо складеною методикою і вирішувало наступні задачі:

1. Визначити існування самої можливості обробки криволінійної поверхні кам'яної плити за рахунок формуютьорючого руху робочого столу моделі з каменем за допомогою самоповоротних демпферних пристроїв робочого столу та криволінійної копір-колії.

2. Визначити якість обробленої поверхні кам'яної плити.

3. Визначити з конструкції моделі співвідношення між геометричними розмірами деталей та вузлів моделі.

4. Визначити технологічні параметри моделі.

Після монтажу моделі за технологічною схемою (рис. 2) алмазний профільний ролик (інструмент) було встановлено точно по середині довжини кам'яної плити 12 (заготовка), потім за допомогою ручного приводу 13 робочий стіл моделі було переміщене у крайнє ліве положення, далі була виконана поперечна подача $u = 2$ мм мостом 5 верстату. Далі за допомогою ручного приводу 13 було виконано шліфування (фрезерування) бокової поверхні кам'яної плити 12: спочатку врізання за декілька проходів, а потім шліфування (фрезерування) поверхні А (рис. 1) кам'яної плити (після досягнення розміру радіусу обробки R ,

рис. 1): 1. проти подачі; 2 по подачі. Товщина шару шліфування (фрезерування) за 1 прохід: $t_{\max} = 2$ мм.

Вихідні дані експериментального дослідження роботи моделі зведені у таблиці 1, а результати розрахунків робочих параметрів моделі зведені у таблиці 2.

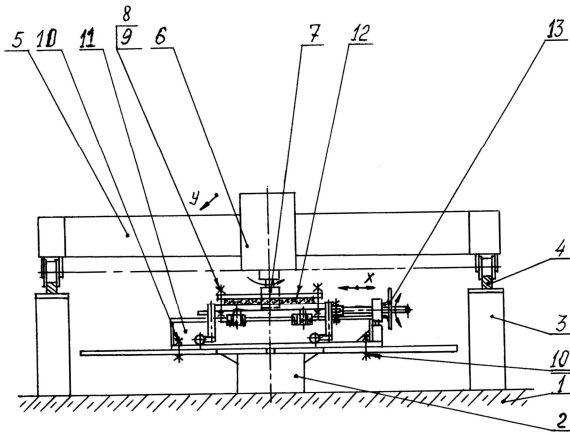


Рис. 2. Технологічна схема експериментального дослідження моделі верстата: 1. фундамент; 2. нерухомий стіл; 3. бетонна опора; 4. рейка напрямна; 5. міст верстату; 6. каретка; 7. алмазний профільний (циліндричний) ролик; 8,9,10 деталі кріплення; 11. модель верстата; 12. плита гранітна; 13. ручний привід (пара: гвинт, гайка)

Позначення: x – поздовжня подача; y – поперечна подача.

Таблиця 1

Вихідні дані, отримані при виконанні експериментального дослідження моделі верстату

| № з/п | Найменування параметрів | | | | | | | | | | Примітка |
|-------|-------------------------|--------------|---------------------------|--|-------------------------------|---|---|---|------------------------------|-------------------------------|--|
| | Час шліфування, Т | | поперечна подача t , мм | Товщина шару фрезерування за 1 прохід, t_{max} , мм | Характеристика електродвигуна | | Габарити алмазного ролика $D \times H$, мм | Габарити плити гранітної $h \times B \times L$, мм | Хід гвинта ручної подачі, мм | Матеріал | |
| | проти подачі, С | по подачі, С | | | Потужність N_p , кВт | Кількість обертів n , хв. ⁻¹ | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. | 193 | 202 | 2 | 2 | 5,5 | 1430 | Ø140×210 | 50×224×465 | 490 | Граніт капустянський червоний | Охолодження водою, зернистість алмазного ролика: 630×500 |

Примітки: 1. Шорсткість поверхні А (рис. 1) після чорнової обробки алмазним роликом: R_z 360...400; 2. Внутрішній радіус копір-колії $R_k = 1000$ мм.

Таблиця 2

Результати розрахунків робочих параметрів моделі верстата

| № з/п | Параметр | Формула розрахунку | Результат розрахунку | | | | Примітка |
|-------|---|--|--|---------|---|---------|--|
| | | | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1. | Робочий крутний момент M_p , н·м | $M_p = 9740 \cdot (0,5N)/n$ | Режим шліфування (фрезерування): по подачі | 18,7 | Режим шліфування (фрезерування): проти подачі | 18,7 | |
| 2. | Сила шліфування (фрезерування) F_p , Н | $F_p = M_p \cdot (0,5D)$ | | 267 | | 267 | |
| 3. | Довжина обробленої поверхні l , м | $L = \pi \cdot R \cdot 2 \cdot \arcsin[(L/2)/R] / 180^\circ$ | | 0,470 | | 0,470 | R = 1,175 м – радіус шліфування (фрезерування) кінцевий |
| 4. | Швидкість подачі V_n , м/с | $V_n = l/T$ | | 0,00243 | | 0,00232 | Ручна подача |
| 5. | Продуктивність Q , м ³ /г | $Q = 3600 \cdot V_n \cdot t \cdot h$ | | 0,001 | | 0,001 | Ручна подача |
| 6. | Кут повороту алмазного профільного ролика φ , град. | $\varphi = \arccos\left[\left(\frac{D}{2} - t\right) : \frac{D}{2}\right]$ | | 13,7° | | 13,7° | Джерело [2] |
| 7. | Нормальна сила P_n , Н | $P_n = F_p / \operatorname{tg}\varphi$ | | 3,96 | | 3,96 | Джерело [2] |
| 8. | Сила подачі (горизонтальна) P_Γ , Н | $P_\Gamma = P_n \sin\varphi \pm F_p \cdot \cos\varphi$ | | -0,002 | | 7,92 | Джерело [2] |
| 9. | Потужність привода подачі горизонтальної N_Γ , Вт | $N_\Gamma = P_\Gamma \cdot V_n / \eta$ | | 0,2 | | 734,9 | К.к.д. ручного приводу горизонтальної подачі $\eta = 25 \cdot 10^{-6}$ |

Після чорнового шліфування (фрезерування) алмазним профільним роликом гранітної плити 8 (рис. 1) по радіусу $R = 1175$ мм отримали, що його дійсний розмір на кам'яній плиті 8 (рис. 1) був: $R = 1175 \pm 0,4$ мм, при внутрішньому радіусі копір-колії – $R_k = 1000 \pm 0,35$ мм, а неперпендикулярність копір-колії 4 (рис. 1) була у межах $0,2 \dots 0,4$ мм, відповідно неперпендикулярність бокової шліфованої (фрезерованої) поверхні А (рис. 1) по радіусу R до горизонтальної поверхні гранітної плити 8 (рис. 1) була у межах $0,22 \dots 0,43$ мм і практично залежала від жорсткості шпиндельного вузла 6 (рис. 2) верстата з встановленим у нього алмазним профільним роликом 7 (рис. 2). Таким чином була отримана задовільна якість чорної обробки бокової криволінійної поверхні А (рис. 1) по радіусу R (рис. 1) гранітної плити 8 (рис. 1).

Геометричні параметри (рис. 1) деталей та вузлів моделі ($a, b, k, z, R_k, R, d, B_1, L_1$) були попередньо правильно розраховані. Нижче приведемо математичні залежності деяких геометричних параметрів моделі (рис. 1) між собою. А саме:

$$1. Z = \delta + \frac{1}{3}e;$$

$$2. d = d_1 = 12 \cdot \delta;$$

$$3. k = \delta = d:12;$$

$$4. a = d+k;$$

$$5. b = 5,833d;$$

$$6. R_k = 16,67 \cdot d;$$

$$7. R = R_k + r;$$

$$8. B_1 = 4,833d;$$

$$9. L_1 = 10,67d;$$

$$10. L = 3 \cdot L_1,$$

де Z , мм – робочий зазор демпферного пристрою; e , мм – максимальний допуск на розмір R за кресленням на кам'яну заготовку; L , мм – довжина дуги копір-колії.

Досліди показали, що треба поліпшити конструкцію опор рухомого робочого столу 3 (рис. 1), які були виготовлені у вигляді самовстановлюючихся ролярних роликів (роль роликів грали опорні каточки 10, рис. 1), а саме:

1. замість опорних каточків 10, рис. 1 встановлювати кулькову опору з кулькою діаметру d_1 (з очищуючим пристроєм кульки від налипання шламу, пилу та іншого бруду);

2. ця кулькова опора повинна мати регулювання свого положення по висоті (з жорсткою фіксацією цієї кулькової опори на потрібній

висоті) для отримання суворо горизонтального положення поверхні рухомого робочого столу 3 (рис. 1).

Щодо копір-колії 4, рис. 1. Для досліду на цій моделі верстату була виготовлена копір – колія з листової сталі з товщиною $\delta = 5\text{мм}$ з радіусом $R = 1000 \pm 0,35\text{ мм}$. Але при виготовленні копір-колії для верстату можливе застосування товщини листа копір-колії $\delta \geq 10\text{мм}$ і тоді отримуємо проблему: як гнути по радіусу R_k сталеву полосу з товщиною $\delta \geq 10\text{мм}$ (або по змінному радіусу R_k , коли треба отримати хвилястого вигляду у плані бокову поверхню кам'яного виробу, або у вигляді параболи, чи іншої будь-якої кривої). Частково, для копір-колії зі сталевій полоси товщиною $\delta = 5 \dots 10\text{мм}$ можна застосувати принцип способу фасонного гнуття труб [3]. А взагалі, для виготовлення сталевій копір-колії (криволінійної радіусу R_k у плані, або зі змінним радіусом R_k у плані, чи у вигляді будь-яких кривих) товщиною $\delta \geq 5\text{мм}$, можливе застосування набору однакових за довжиною і висотою прямолінійних сталевих елементів копір-колії з їх надійною фіксацією між собою і – до нерухомій основи 2, рис. 1. Довжина (l_1) у плані такого елемента повинна бути витримана у межах: $l_1 = (a-3)_{,2}\text{ мм}$.

Вихідні дані та розрахункові технологічні параметри, які отримані у результаті експериментального дослідження даної робочої моделі верстату та верстату з ЧПК [5] та прогнозованого проектного верстата зведено у таблицю 3.

Величини параметрів $v_p, F_p, Q, N_{mk}, \varphi_{max}, F_m, P_p$ визначаються за доволі простими відомими розрахунками, які в даній статті не показано [2].

Таблиця 3

Вихідні дані та розрахункові технологічні параметри роботи моделі верстата і проектного верстата

| Параметр | Експериментальне дослідження | | Теоретичне дослідження | | | | | | Вихідні дані |
|----------------------------------|------------------------------|-------|------------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------------|
| | | | | | | | | | |
| $D_2, \text{м}$ | 0,025 | 0,14* | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | |
| $v_n \times 10^{-3}, \text{м/с}$ | 1,5 | 2,36 | 2 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4,5 | |
| $H_\phi, \text{м}$ | 0,15 | 0,21 | 0,15 | 0,15 | 0,2 | 0,2 | 0,25 | 0,35 | |
| $n_s, \text{хв.}^{-1}$ | 5300 | 1430 | 5300 | 5300 | 3570 | 2140 | 1910 | 1430 | |
| $N_{ps}, \text{кВт.}$ | 2,67 | 5,5 | 5,5 | 7,5 | 9 | 12 | 15 | 20 | |
| $h_n, \text{м}$ | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,35 | |
| $\varphi, \text{рад.}$ | 1,096 | 0,192 | 0,816 | 0,632 | 0,6 | 0,512 | 0,528 | 0,499 | |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|
| c (t) | 2,8 | 0,52 | 3,2 | 4 | 5,2 | 6,4 | 8,4 | 9,2 | Розрахункові технологічні параметри |
| γ | 0,2 | 0,24 | 0,4 | 0,53 | 0,75 | 1 | 1 | 1 | |
| λ | 1,909 | 145,026 | 2,749 | 6,2 | 5,531 | 9,092 | 8,202 | 9,438 | |
| t_{max} , м | 0,01 | 0,002 | 0,012 | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,032 | 0,035 | |
| v_p , м/с | 6,93 | 10,5 | 14 | 28 | 28 | 28 | 30 | 30 | |
| F_p , Н | 392 | 267 | 404 | 276 | 312 | 437 | 510 | 680 | |
| $Q \times 10^{-5}$, м ³ /хв. | 2,7 | 1,7 | 8,8 | 22 | 63 | 105 | 192 | 340 | |
| F_m , Н | 59 | 80,7 | 80,9 | 54 | 67,3 | 87,4 | 102 | 136 | |
| N_{MK} , кВт. | 0,4 | 0,83 | 1,1 | 1,47 | 1,85 | 2,4 | 3 | 4 | |
| P_f , Н | 0,058 | 2,65 | 2,26 | 2,99 | 8,65 | 19,4 | 28,41 | 54,34 | |
| P_p , Н | 333 | 186 | 323 | 222 | 245 | 350 | 408 | 544 | |
| P_f/P_p , % | 0,02 | 1,42 | 0,7 | 1,35 | 3,53 | 5,54 | 6,96 | 9,99 | |
| φ_{max} , рад. | 1,37 | 0,24 | 1,02 | 0,79 | 0,75 | 0,64 | 0,66 | 0,61 | |
| Порода | Сірий граніт | Граніт Капустяньського родовища (МОДЕЛЬ) | Сірий граніт | | | | | | |
| обладнання | 5-ти позиційний верстат з ЧПК | | Проектний верстат | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Позначення у таблиці 3:

D – діаметр алмазного профільного ролика або фрези (інструмента);

v_n – швидкість подачі робочого столу;

H_ϕ – товщина (довжина) інструмента;

n_i – кількість обертів шпинделя;

N_p – робоча потужність шпинделя;

h_n – товщина гранітної плити;

φ – попередній (перед максимальним φ_{max}) кут повороту інструмента [2];

$\gamma = h_n / H_\phi$ - коефіцієнт, відображаючий зону контакту інструмента за товщиною плити;

λ – випадкова величина (залежить від фізико-механічних характеристик граніта, v_n , v_p , зернистості інструмента, радіусу кривизни обробки та інш.);

t_{max} – величина максимально можливої товщини шару каменю що знімається за один прохід інструмента;

v_p – швидкість різання;

F_p – дотична сила шліфування (фрезерування);

Q – продуктивність процесу шліфування (фрезерування), що забезпечується роботою верстату, моделі;

F_M – колова сила, яку інструмент створює як маховик;

N_{mk} – потужність, яку інструмент запасав як маховик;

P_I – сила дії шламу на тіло інструмента в зоні контакту інструменту з гранітною плитою;

$P_p = (F_p - F_M)$ – сила шліфування (фрезерування) без врахування сили F_M , остання епізодично задіюється при шліфуванні (фрезеруванні) інструментом можливих значно міцніших і твердіших включень, які зустрічаються в тілі гранітної заготовки;

Величини параметрів v_p , F_p , Q , N_{mk} , φ_{max} , F_M , P_p визначаються за доволі простими відомими розрахунками, які в даній статті не показано [2].

Застосований (у 5-ти позиційному верстаті з ЧПК і в моделі) робочий інструмент створював два основних рухи – обертання навколо своєї осі та переміщення з кареткою (або відносно переміщення робочого столу). При цьому вектор швидкості різання v_p по відношенню до вектора швидкості переміщення v_n міняє своє розташування від паралельного до перпендикулярного. Із-за цього товщина шару утвореного стиснутого шламу, як функція кута повороту інструмента, буде мати вигляд [4]:

$$t(\varphi) = t_{max} \cdot \sin \varphi + 0,5 \cdot D \cdot (1 - \sqrt{1 - (2t_{max} / D)^2 \cdot \cos^2 \varphi}) .$$

Далі отримано (для складнопрофільної обробки граніту) можливість визначити t_{max} з рівняння:

$$D \cdot t_{max} - \lambda \cdot h_n \cdot t_{max} + 0,25 \cdot D^2 \left[\pi \int_0^{\varphi+\Delta\varphi} \sqrt{1 - (2t_{max} / D)^2 \cos^2 \varphi} \, d\varphi \right] = 0 .$$

Прийнявши, що шлам, який знаходиться в зоні кута φ , у вигляді шару (що стискується) кінцевої товщини t , а ширина B в плані гранітної незруйнованої плити значно більша t і при значній різниці їх модулів пружності, силу дії шламу P_I на тіло інструмента з врахуванням того, що її максимум зміщений від положення, що визначається кутом повороту інструмента $\varphi = 0,5\pi$ в бік, протилежний напрямленню обертання барабана, можливо визначити за залежністю [4]:

$$P_I = \frac{D}{2} \int_0^{\gamma \cdot H_\varphi} \int_\varphi^{\varphi+\Delta\varphi} l_\Delta \cdot c(t) / t(\varphi) \cdot \sin \alpha \varphi \cdot d\varphi \cdot dH_\varphi ,$$

де $c(t)$ – випадкова величина, яка характеризує пружні якості стиснутого шару шламу;

$$l_{\Delta} = 2,14 \frac{D}{2} (1 - \sin \varphi) \quad \text{при} \quad \frac{\pi}{4} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}; \quad l_{\Delta} = 2,14 \frac{D}{2} (1 - \cos \varphi) \quad \text{при}$$

$0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}$ – переміщення інструмента (або робочого столу), яке

відповідає куту повороту інструмента; $\alpha = 0,2 - 0,3$ – величина, яка враховує зміщення максимуму сили дії шламу P_1 ;

При рішенні вищенаведених аналітичних виразів величини λ , $\Delta\varphi$, $c(t)$ обирали виходячи з результатів експериментального дослідження моделі і 5-ти позиційного верстата з ЧПК.

Жорсткість і міцність шпинделю моделі (з інструментом, у якого $D = 0,14 \text{ м}^*$) в декілька разів менша за жорсткість і міцність шпинделю 5-ти порційного верстата з ЧПК, що призвело до певних відмінностей параметрів моделі у її вихідних даних та її розрахункових технологічних параметрах (табл. 3): при виконанні експериментів шпиндель моделі дозволив досягнути $t_{\max.} = 0,002 \text{ м}$.

За розрахунками (табл. 3) отримано наступне: при збільшенні D зростають v_n , v_p , N_p , Q , h_n , t_{\max} , P_1/P_p (див. рис.3). Зростання P_1 доволі значне; наприклад: $P_1/P_p = 9,99\%$ при $D=0,4 \text{ м}$ (див. табл. 3). Це може привести до виникнення явища “налипання” шламу на поверхні різку каменю і на інструменті і – до виникнення значних вібраційних коливань шпіндельного вузла і усього верстата в цілому що призведе до виходу з ладу робочого інструмента та шпіндельного вузла верстату, особливо при обробці великогабаритних кам’яних виробів робочим інструментом, який має значні розміри і вагу.

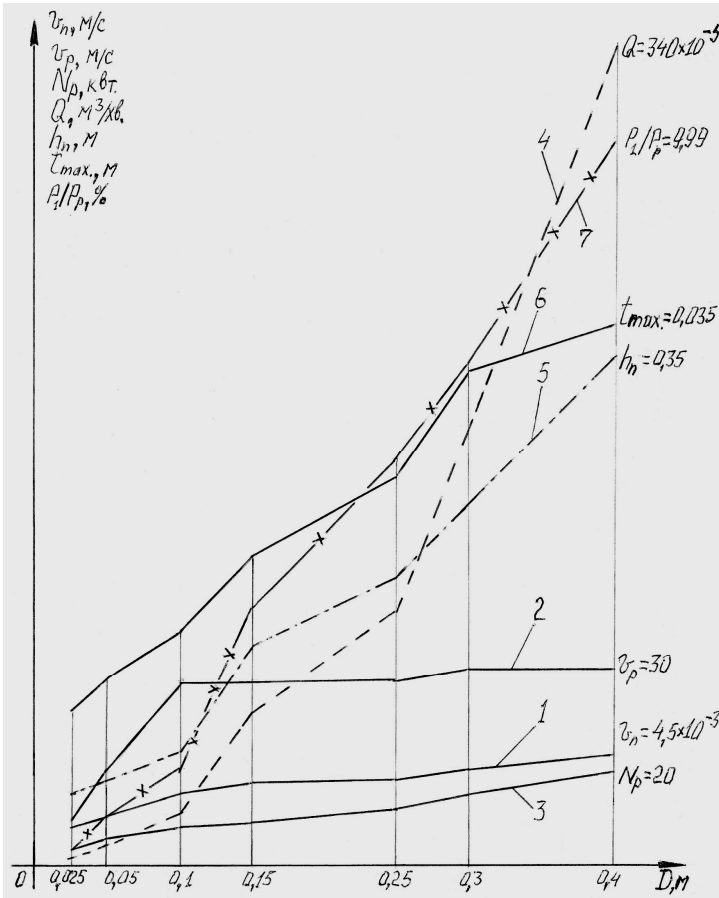


Рис. 3. Графіки залежностей:

1. $v_n = f(D)$; 2. $v_p = f(D)$; 3. $N_p = f(D)$; 4. $Q = f(D)$; 5. $h_n = f(D)$;
6. $t_{max} = f(D)$; 7. $P_1/P_p = f(D)$

Висновки:

1. Експериментальне дослідження моделі довело на практиці можливість обробки з задовільною якістю криволінійної поверхні кам'яної плити за рахунок формоутворюючого руху робочого столу за допомогою самоповоротних демпферних пристроїв робочого столу та криволінійної копії-колії.

2. За результатами експериментального дослідження була підтверджена правильність аналітичних виразів для визначення геометричних параметрів вузлів та деталей як для моделі так і для майбутнього каменеобробного верстату.

3. Необхідно надалі дослідити процес впливу зміни величин параметрів коливань шпіндельної групи (та проектного верстата в цілому) в залежності від зміни величини сили дії шлама на профільний ролик (інструмент) під час фрезерування (шліфування) граніту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Патенти на винахід № 89277; № 89297 : каменеобробні порталні фрезерно-окантувальні верстати. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 11.01.2010.
2. *Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я.* Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. – М. : Стройиздат, 1985. – 312 с.
3. Патент на винахід № 86486 : спосіб фасонного безролікового гнуття труб по радіусу понад 1 м. Зареєстрованого в Державному реєстрі патентів України на винаходи 24.04.2009.
4. *Бойко М.Г.* Навантаження вугілля очисними комбайнами. – Донецьк : РВА Дон НТУ, 2002. – 157 с.
5. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сборник научных трудов. – Вып. 13. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2010. – 560 с.
6. *П.А. Чемоданов, В.І. Сідорко.* Експериментальне дослідження параметрів технологічної системи ВПД та робочих режимів п'ятипозиційного каменеобробного фрезерного верстату з ЧПК.

ЧЕМОДАНОВ Петро Арисович – старший викладач кафедри геотехнологій ім. проф. Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– каменеобробні верстати.

ЛИСЕНКО Антон Вікторович – старший викладач кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання;

- оптимізація маркшейдерських робіт.

СІДОРКО Володимир Ігорович – доктор технічних наук, Науково-технологічний алмазний концерн НАН України.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки природного та синтетичного каменю.

Подано 10.05.2011

