

К. І. ПОЧКА

Київський національний університет будівництва і архітектури
ORCID: 0000-0002-0355-002X

Ю. Д. АБРАШКЕВИЧ

Київський національний університет будівництва і архітектури
ORCID: 0000-0001-8396-7812

М. О. ПРИСТАЙЛО

Київський національний університет будівництва і архітектури
ORCID: 0000-0003-3151-4680

А. Г. ПОЛІЩУК

Київський національний університет будівництва і архітектури
ORCID: 0000-0003-4808-9932

ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ УСТАНОВКИ ДЛЯ РІЗАННЯ ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ

У даній роботі розглянуто створення фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами для проведення експериментальних досліджень. З метою дослідження процесу взаємодії робочого органу з робочим середовищем виникає необхідність проведення експериментальних досліджень, для яких, як правило, використовуються натурні об'єкти дослідження або їх моделі. При фізичному моделюванні зберігається фізична природа явищ, але змінюється їх масштаб. Використовуючи теорему подібності та фізичне моделювання, визначено умови подібності установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, в якій взаємодія робочого органу та робочого середовища описується силовим рівнянням із врахуванням їх параметрів. При цьому параметри натурального процесу взаємодії робочого органу та робочого середовища записано через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності. В результаті ділення відповідних доданків силових рівнянь натурної установки та моделі між собою отримано систему з двох рівнянь, яка зв'язує між собою вісім невідомих величин коефіцієнтів подібності. Шість з цих величин було задано з конструктивних міркувань, а два коефіцієнти розраховано.

Отримані значення коефіцієнтів подібності дали можливість побудувати фізичну модель установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, що подібна натурній установці для різання високоабразивних матеріалів. В якості фізичної моделі установки з врахуванням коефіцієнтів подібності та передбачених задач досліджень було доопрацьовано динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА для дослідження процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом, що дозволяє провести повноцінні експериментальні дослідження з врахуванням всіх чинних факторів взаємодії робочого середовища та робочого органу під час різання з подачею води в зону різання для обезпилення робочого процесу. В якості робочого середовища запропоновано використання вогнетривкої цегли, а в якості робочого органу – абразивний армований круг для різання високоабразивних матеріалів міцністю до 60МПа.

Ключові слова: установка, фізична модель, різання, робочий орган, середовище, моделювання, коефіцієнти подібності.

К. І. ПОЧКА

Kyiv National University of Construction and Architecture
ORCID: 0000-0002-0355-002X

Yu. D. ABRASHKEVYCH

Kyiv National University of Construction and Architecture
ORCID: 0000-0001-8396-7812

M. O. PRYSTAILO

Kyiv National University of Construction and Architecture
ORCID: 0000-0003-3151-4680

A. G. POLISHCHUK

Kyiv National University of Construction and Architecture
ORCID: 0000-0003-4808-9932

CONSTRUCTION OF A PHYSICAL MODEL OF AN INSTALLATION FOR CUTTING HIGHLY ABRASIVE MATERIALS WITH ABRASIVE REINFORCED WHEELS

This paper deals with the creation of a physical model of the installation for cutting highly abrasive materials with abrasive reinforced circles for conducting experimental studies.

In order to study the process of interaction of the working body with the working environment, there is a need to conduct experimental studies, for which, as a rule, real objects of research or their models are used. In physical modeling, the physical nature of phenomena is preserved, but their scale changes. Using the theorem of similarity and physical modeling, the conditions of similarity of the installation for cutting highly abrasive materials with abrasive reinforced circles are determined, in which the interaction of the working body and the working environment is described by a force equation taking into account their parameters. At the same time, the parameters of the natural process of interaction between the working body and the working environment are recorded through the parameters of the physical model and similarity coefficients. As a result of dividing the corresponding terms of the force equations of the full-scale installation and the model, a system of two equations was obtained, which connects eight unknown values of similarity coefficients. Six of these values were specified for design reasons, and two coefficients were calculated.

The obtained values of the similarity coefficients made it possible to build a physical model of an installation for cutting highly abrasive materials with abrasive reinforced circles, which is similar to a full-scale installation for cutting highly abrasive materials. As a physical model of the installation, taking into account the coefficients of similarity and the intended tasks of the research, a dynamometric stand for registering the force load of the author's design of KNUCA was refined for researching the process of cutting highly abrasive materials with an abrasive reinforced wheel, which allows to conduct full-fledged experimental studies taking into account all valid factors of the interaction of the working environment and the working body during cutting with the supply of water to the cutting area to dedust the work process. The use of refractory bricks is proposed as the working environment, and the abrasive reinforced wheel for cutting highly abrasive materials with a strength of up to 60MPa is used as the working body.

Key words: installation, physical model, cutting, working body, environment, simulation, similarity coefficients.

Постановка проблеми

З метою перевірки адекватності теоретичних досліджень проводяться експериментальні дослідження з наступним порівняльним аналізом результатів отриманих в процесі теоретичних і експериментальних досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень як правило використовуються натурні об'єкти дослідження та їх моделі [1]. В натурному експерименті засоби експериментального дослідження взаємодіють безпосередньо з об'єктом дослідження, а при модельному експерименті – з його змодельованим прототипом. При проведенні модельних експериментальних досліджень модель виступає як засіб експериментальних досліджень та безпосереднім об'єктом досліджень [2–4].

В наш час створення натуральної установки для різання високоабразивних матеріалів (вогнетривів) абразивним армованим кругом з метою проведення експериментальних досліджень привело б до значної затрати часу та коштів. Враховуючи це, постає задача створення фізичної моделі даної установки і проведення на ній повноцінних експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Фізичне моделювання зберігає фізичну природу явищ, але змінює їх масштаб [1]. Сенс фізичного моделювання полягає в тому, щоб за результатами дослідів на моделях можна було достовірно оцінити характер ефектів і кількісні взаємозв'язки між величинами, які визначають фізично подібні явища в натурних умовах [1–4].

В основу фізичного моделювання закладено теорію подібності [1], що опирається на аналіз розмірностей, а саме: об'єкти є подібними, якщо у відповідні моменти часу у відповідних точках об'єктів значення змінних величин, що характеризують стан одного об'єкта (натури), пропорційні відповідним значенням величин іншого об'єкта (моделі). В подібних об'єктах характеристики натурального об'єкта можуть бути отримані простим перерахунком із характеристик модельного об'єкта, що визначається експериментально. Для всіх величин відповідної розмірності таким множником є коефіцієнт подібності.

В якості критеріїв подібності для побудови фізичної моделі використовуються безрозмірні комплекси, які являють собою відношення відповідних складових рівнянь взаємодії робочого органу з середовищем реального об'єкта і моделі [1–4].

Отже, методологія моделювання робочих процесів різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами базується на теорії подібності.

Умови фізичного моделювання робочого процесу різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами [5–7] передбачають, що: визначаючі критерії подібності різання високоабразивних матеріалів для моделі і оригіналу повинні бути однаковими; однойменні фізичні параметри рівнянь, що описують робочий процес, складених для моделі і оригіналу, повинні бути відповідно пропорційними; процес взаємодії абразивних армованих кругів з середовищем в моделі і оригіналі повинен належати до одного класу явищ і описуватися однаковою системою рівнянь; модель і оригінал абразивних армованих кругів і системи в цілому повинні бути геометрично подібні; початкові умови, що характеризують робочий процес в моделі, повинні бути подібні відповідним умовам оригіналу; граничні умови моделі повинні бути подібні граничним умовам оригіналу.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є визначення параметрів та побудова фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами.

Викладення основного матеріалу дослідження

На рис. 1 представлено установку для різання каменя абразивним інструментом [8]. Установка складається зі станини 1, робочої головки маятникового типу 2, на який встановлено електродвигун 3, клинопасової передачі 4 і робочого інструменту 5 (абразивний армований круг), який може охолоджуватися за допомогою системи замкнутої циркуляції води 6. Робочий стіл 7 встановлений на роликових опорах 8 і переміщується по напрямних пристрою 9, має пази 10 для кріплення інвентарних пристосувань, при різанні вогнетривкої цегли. Переміщення столу в горизонтальному напрямку здійснюється за допомогою гідроциліндра 11. Робочий стіл обладнаний притисковою пластиною 12 для кріплення плоских виробів, наприклад, облицзовальних плит. Її закріплення проводиться за допомогою двох гідроциліндрів 13 та 14, розташованих на бічних поверхнях столу. В робочому столі є канали 15, по яких вода надходить у відстійник. Переміщення робочої головки у вертикальному положенні виконується за допомогою гідроциліндрів 16.

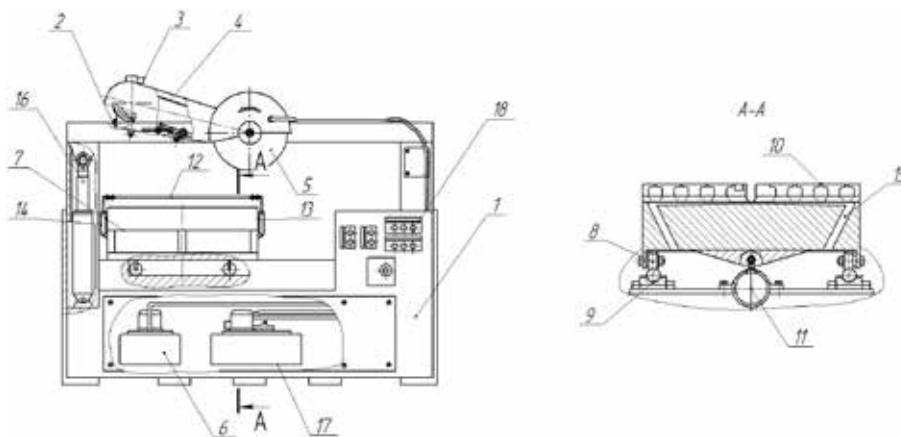


Рис. 1. Установка для різання високоабразивних матеріалів абразивним інструментом

Установка працює в такий спосіб [8]: матеріал, що підлягає різанню, наприклад, вогнетривка цегла, затискається пластиною на робочому столі. За допомогою гідроциліндрів опускається відрізний круг на задану глибину різання і здійснюється подача робочого столу в зону різання з встановленою швидкістю подачі. Установка також обладнана системою замкнутої циркуляції води для знепилювання процесу різання та підвищення ефективності використання ріжучого інструменту. Також на установці встановлено систему слідування, мета якої полягає у підвищенні якості роботи шляхом автоматичного регулювання глибини різання в процесі зношення робочого органу.

Призначення слідуючого гідроприводу – переміщення навантаженого робочого органу за заданим законом та із заданою швидкістю забезпечуючи при цьому необхідне підсилення вихідної потужності.

Використовуючи теорему подібності та фізичне моделювання [1], визначено умови подібності установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, в якій взаємодія робочого органу та робочого середовища описується рівнянням [7]:

$$N = K_z \cdot \frac{V_n^{1+x}}{V_p^y} \cdot \sigma_g \cdot H^{z_1} + K_n \cdot V_p^{x_1} \cdot \sigma_g \cdot H^{y_1}, \tag{1}$$

де N – потужність, що витрачається на процес взаємодії робочого органу з робочим середовищем;

K_z – коефіцієнт, що залежить від складу абразивної маси круга, m ;

x, x_1, y, y_1, z_1 – показники степені, які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем;

σ_g – тимчасовий опір одноосному стисканню породи, H/m^2 ;

H – глибина різання, m ;

V_n – швидкість подачі, m/c ;

V_p – колова швидкість різання, m/c ;

K_n – коефіцієнт, що залежить від конструкції круга, m .

Колову швидкість різання можна представити через розміри робочого органу та кутову швидкість його обертання:

$$V_p = \omega \cdot \frac{d}{2}, \tag{2}$$

де d – діаметр робочого органу;

ω – кутова швидкість обертання робочого органу.

Замінивши у формулі (1) колову швидкість різання V_p виразом (2), отримано:

$$N = K_z \cdot \frac{V_n^{1+x}}{\left(\omega \cdot \frac{d}{2}\right)^y} \cdot \sigma_\sigma \cdot H^{z_1} + K_n \cdot \left(\omega \cdot \frac{d}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_\sigma \cdot H^{y_1}, \quad (3)$$

Для виконання умов подібності процесів, що відбуваються при взаємодії з середовищем фізичної моделі оригіналу робочого органу необхідне дотримання рівності геометричних і динамічних критеріїв подібності [1–4]. При цьому параметри натурального процесу взаємодії робочого органу та робочого середовища записано через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності:

$$\begin{aligned} N_H &= \lambda_N \cdot N_M; & K_{zH} &= \lambda_{K_z} \cdot K_{zM}; & V_{nH} &= \lambda_{V_n} \cdot V_{nM}; & \omega_H &= \lambda_\omega \cdot \omega_M; \\ d_H &= \lambda_d \cdot d_M; & \sigma_{\sigma H} &= \lambda_{\sigma_\sigma} \cdot \sigma_{\sigma M}; & H_H &= \lambda_H \cdot H_M; & K_{nH} &= \lambda_{K_n} \cdot K_{nM}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $N_H, K_{zH}, V_{nH}, \omega_H, d_H, \sigma_{\sigma H}, H_H, K_{nH}$ – параметри натурної установки;

$N_M, K_{zM}, V_{nM}, \omega_M, d_M, \sigma_{\sigma M}, H_M, K_{nM}$ – параметри фізичної моделі;

$\lambda_N, \lambda_{K_z}, \lambda_{V_n}, \lambda_\omega, \lambda_d, \lambda_{\sigma_\sigma}, \lambda_H, \lambda_{K_n}$ – відповідні коефіцієнти подібності.

Тоді можна записати рівняння, подібні рівнянню (3), для натурної установки та її моделі, які мають вигляд:

$$N_H = K_{zH} \cdot \frac{V_{nH}^{1+x}}{\left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\sigma H} \cdot H_H^{z_1} + K_{nH} \cdot \left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\sigma H} \cdot H_H^{y_1}; \quad (5)$$

$$N_M = K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{z_1} + K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{y_1}. \quad (6)$$

Виходячи з подібності моделі і натурної установки, поділено відповідні доданки рівнянь (5) і (6) між собою і записано співвідношення:

$$\frac{N_H}{N_M} = \frac{K_{zH} \cdot \frac{V_{nH}^{1+x}}{\left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\sigma H} \cdot H_H^{z_1}}{K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{z_1}} = \frac{K_{nH} \cdot \left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\sigma H} \cdot H_H^{y_1}}{K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{y_1}}. \quad (7)$$

Використавши для цих співвідношень параметри натурального процесу через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності (4), отримано:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_N \cdot N_M}{N_M} &= \frac{(\lambda_{K_z} \cdot K_{zM}) \cdot \frac{(\lambda_{V_n} \cdot V_{nM})^{1+x}}{\left[(\lambda_\omega \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}\right]^y} \cdot (\lambda_{\sigma_\sigma} \cdot \sigma_{\sigma M}) \cdot (\lambda_H \cdot H_M)^{z_1}}{K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{z_1}} = \\ &= \frac{(\lambda_{K_n} \cdot K_{nM}) \cdot \left[(\lambda_\omega \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}\right]^{x_1} \cdot (\lambda_{\sigma_\sigma} \cdot \sigma_{\sigma M}) \cdot (\lambda_H \cdot H_M)^{y_1}}{K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\sigma M} \cdot H_M^{y_1}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Згрупувавши у рівності (8) параметри за розмірностями, отримано:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_N \cdot N_M}{N_M} &= \left(\frac{\lambda_{K_z} \cdot K_{zM}}{K_{zM}}\right) \left(\frac{\lambda_{V_n} \cdot V_{nM}}{V_{nM}}\right)^{1+x} \left[\frac{\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}}{(\lambda_\omega \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}}\right]^y \left(\frac{\lambda_{\sigma_\sigma} \cdot \sigma_{\sigma M}}{\sigma_{\sigma M}}\right) \left(\frac{\lambda_H \cdot H_M}{H_M}\right)^{z_1} = \\ &= \left(\frac{\lambda_{K_n} \cdot K_{nM}}{K_{nM}}\right) \cdot \left[\frac{(\lambda_\omega \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}}{\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}}\right]^{x_1} \cdot \left(\frac{\lambda_{\sigma_\sigma} \cdot \sigma_{\sigma M}}{\sigma_{\sigma M}}\right) \cdot \left(\frac{\lambda_H \cdot H_M}{H_M}\right)^{y_1} \quad \square \end{aligned} \quad (9)$$

Скоротивши вирази в рівності (9), отримано співвідношення між коефіцієнтами подібності:

$$\lambda_N = \frac{\lambda_{K_z} \cdot \lambda_{V_n}^{1+x} \cdot \lambda_{\sigma_s} \cdot \lambda_H^{z_1}}{(\lambda_\omega \cdot \lambda_d)^y} = \lambda_{K_n} \cdot (\lambda_\omega \cdot \lambda_d)^{x_1} \cdot \lambda_{\sigma_s} \cdot \lambda_H^{y_1} \quad (10)$$

Розділивши всі елементи рівності (10) на λ_N , отримано систему рівнянь:

$$\frac{\lambda_{K_z} \cdot \lambda_{V_n}^{1+x} \cdot \lambda_{\sigma_s} \cdot \lambda_H^{z_1}}{\lambda_N \cdot \lambda_\omega^y \cdot \lambda_d^y} = 1; \quad \frac{\lambda_{K_n} \cdot \lambda_\omega^{x_1} \cdot \lambda_d^{y_1} \cdot \lambda_{\sigma_s} \cdot \lambda_H^{y_1}}{\lambda_N} = 1 \quad (11)$$

Система з двох рівнянь (11) зв'язує між собою вісім невідомих величин. Шість з цих величин можна задати довільно, а дві величини, що залишились, можна визначити з системи рівнянь (11). Оскільки передбачається, що процес взаємодії робочого органу з робочим середовищем на фізичній моделі та на натурній установці ідентичні, приймаємо коефіцієнт подібності, що впливає на тимчасовий опір одноосному стисканню породи $\lambda_{\sigma_s} = 1$. Абразивний армований круг для фізичної моделі та натурної установки виготовляється за однією методикою та рецептурою [9], що дозволяє прийняти значення коефіцієнтів подібності, які впливають на склад абразивної маси круга та на його конструкцію $\lambda_{K_z} = 1$ та $\lambda_{K_n} = 1$. З конструктивних міркувань було задано коефіцієнти подібності $\lambda_d = 3,2$, $\lambda_N = 2,5$ та $\lambda_{V_n} = 1$.

Значення показників степенів системи рівнянь (11), які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем, прийнято з врахуванням праць [5–7]: $x = 0,75$, $x_1 = 0,7$, $y = 0,75$, $y_1 = 0,75$, $z_1 = 0,7$.

Підставивши задані коефіцієнти подібності та значення показників степенів в систему рівнянь (11), було визначено величини коефіцієнтів, що залишились $\lambda_\omega = 0,312$ та $\lambda_H = 2,857$.

Отримані співвідношення дають можливість побудувати фізичну модель установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, що буде подібна натурній установці для різання високоабразивних матеріалів.

В якості фізичної моделі установки з врахуванням коефіцієнтів подібності та передбачених задач досліджень було доопрацьовано динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА [4] для дослідження процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом (рис. 2), що дозволяє провести повноцінні експериментальні дослідження з врахуванням всіх чинних факторів взаємодії робочого середовища та робочого органу під час різання з подачею води в зону різання для обезпилення робочого процесу. Кінематична схема лабораторного стенду зображена на рис. 3.

Лабораторний стенд, що дозволяє виконувати динамометричні вимірювання, має таку будову: станина 1, на якій на направляючих балках за допомогою роликів 2 встановлено візок 3, до нього через тензометричні балки 4 і 5 закріплено утримувач 6, в якому через адаптер 7 закріплено ручну кутову шліфувальну машину потужністю $N = 2,2 \text{ кВт}$ з абразивним армованим кругом діаметром $d = 125 \text{ мм}$ та частотою обертання $n = 3000 \dots 11000 \text{ об/хв}$. Візок 3 оснащений механізмом підйому та опускання 8 з рукояткою 9. Можливість горизонтального переміщення візка 3 здійснена за допомогою передачі гвинт–гайка 11, клинопасової передачі 12 з передаточним числом $u = 2,5$ та електродвигуна 13 потужністю $N = 2,5 \text{ кВт}$ і частотою обертання ротора $n = 980 \text{ об/хв}$ з пультом керування 14 та кінцевими вимикачами 15. На візку 3 встановлено механізм тарування 16 для горизонтальної балочки 5 та механізм тарування 17 для вертикальної балочки 4. На монтажній поверхні 18, за допомогою механічних лещат 19, жорстко закріплюється дослідний матеріал 20.



Рис. 2. Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА

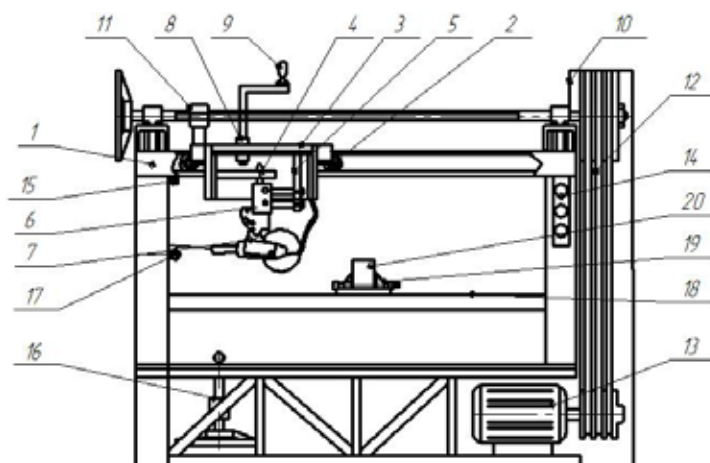


Рис. 3. Кінематична схема лабораторного стенда

Адаптер дозволяє встановити на візок кутову шліфувальну машину з абразивним армованим кругом в якості робочого органу у режимі різання, як представлено на рис 4. Для подачі води в зону різання використовувалось додатково встановлене сопло з можливістю регулювання кількості подачі води з приводом від електродвигуна.



Рис. 4. Встановлення дослідного зразка на стенді

Представлений лабораторний стенд дозволяє проводити повноцінні експериментальні дослідження по визначенню силових параметрів процесу взаємодії робочого органу з робочим середовищем. В якості робочого середовища запропоновано використання вогнетривкої цегли, а в якості робочого органу – абразивний армований круг для різання високоабразивних матеріалів міцністю до 60МПа.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень використовуючи теорему подібності та фізичне моделювання, визначено умови подібності установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, в якій взаємодія робочого органу та робочого середовища описується силовим рівнянням із врахуванням їх параметрів.

2. Визначено коефіцієнти подібності, що були використані при відображенні параметрів натурального процесу взаємодії робочого органу з робочим середовищем через параметри фізичної моделі.

3. Отримані значення коефіцієнтів подібності дали можливість побудувати фізичну модель установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, що подібна натурній установці для різання високоабразивних матеріалів.

4. В якості фізичної моделі установки з врахуванням коефіцієнтів подібності та передбачених задач досліджень було доопрацьовано динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА для дослідження процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом,

що дозволяє провести повноцінні експериментальні дослідження з врахуванням всіх чинних факторів взаємодії робочого середовища та робочого органу під час різання з подачею води в зону різання для обезпилення робочого процесу.

5. В якості робочого середовища запропоновано використання вогнетривкої цегли, а в якості робочого органу – абразивний армований круг для різання високоабразивних матеріалів міцністю до 60МПа.

Список використаної літератури

1. Ловейкін В.С. Теорія технічних систем: навчальний посібник / В.С. Ловейкін, І.І. Назаренко, О.Г. Онищенко. – Київ-Полтава: ІЗМН-ПДТУ, 1998. – 175 с.
2. Ловейкін В.С. Побудова фізичної моделі роликкової формувальної установки з рекуперативним приводом / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Техніка будівництва. – 2007. – № 20. – С. 26-31.
3. Ловейкін В.С. Динаміка роликкової формувальної установки. Монографія / В.С. Ловейкін, К.І. Почка. – К.-Ромни: КНУБА, «ІСА-Інтерпапір», 2009. – 228 с.
4. Пелевін Л.Є. Обґрунтування вибору геометричних та динамічних параметрів моделювання різання ґрунту наконечником з консоллю / Л.Є. Пелевін, М.О. Пристайло // Техніка будівництва. – 2012. – № 28. – С. 70-75.
5. Абрашкевич Ю.Д. Підвищення експлуатаційних показників абразивного інструменту / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, А.Г. Поліщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2012. – Вип. 80 – С. 30-37.
6. Абрашкевич Ю. Дослідження впливу теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів / Ю. Абрашкевич, А. Поліщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2013. – Вип. 81. – С. 39-44.
7. Абрашкевич Ю. Силові параметри машин з абразивним інструментом / Ю. Абрашкевич, В. Рашківський, А. Поліщук, О. Човнюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – Вип. 85. – С. 67-71.
8. Патент України на корисну модель № 80173, МПК В23D 45/00 (2013.01). Відрізний станок з системою слідування / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, А.Г. Поліщук (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № у 2012 15029; заявл. 27.12.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.
9. Патент України на корисну модель № 73906, МПК В24D 3/00 (2012.01). Спосіб виготовлення абразивного інструменту / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, А.Г. Поліщук (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № у 2012 03848; заявл. 29.03.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.

References

1. Loveikin V.S., Nazarenko I.I., Onyshchenko O.H. Teoriya tekhnichnykh system [Theory of technical systems]: navchalnyi posibnyk [study guide]. Kyiv-Poltava, IZMN-PDTU [Institute of the content of teaching methods – Poltava State Technical University], 1998, 175 p.
2. Loveikin V.S., Pochka K.I. Pobudova fizychnoyi modeli rolykovoyi formovalnoyi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom [Construction of a physical model of a roller forming unit with a recuperative drive]. Tekhnika budivnytstva [Construction technology], 2007, No. 20, pp. 26-31.
3. Loveikin V.S., Pochka K.I. Dynamika rolykovoyi formovalnoyi ustanovky [Dynamics of the roller forming unit]. Monohrafiya [Monograph]. Kyiv-Romny, KNUCA, «ISA-Interpapier», 2009, 228 p.
4. Pelevin L.E., Prystailo M.O. Obhruntuvannya vyboru heometrychnykh ta dynamichnykh parametriv modelyuvannya rizannya hruntu nakonechnykom z konsollyu [Justification of the choice of geometric and dynamic parameters of soil cutting modeling with a tip with a console]. Tekhnika budivnytstva [Construction technology], 2012, No. 28, pp. 70-75.
5. Abrashkevych Y.D., Pelevin L.E., Polishchuk A.G. Pidvyshchennya ekspluatatsiynykh pokaznykiv abrazyvnoho instrumentu [Increasing the operational performance of an abrasive tool]. Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], 2012, No. 80, pp. 30-37.
6. Abrashkevych Y., Polishchuk A. Doslidzhennya vplyvu teplovykh protsesiv na robotozdatnist vidriznykh instrumentiv [Study of the influence of thermal processes on the performance of cutting tools]. Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], 2013, No. 81, pp. 39-44.
7. Abrashkevych Y., Rashkivskiy V., Polishchuk A., Chovnyuk O. Sylovi parametry mashyn z abrazyvnym instrumentom [Power parameters of machines with an abrasive tool]. Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], 2015, No. 85, pp. 67-71.
8. Abrashkevych Y.D., Pelevin L.E., Polishchuk A.G. Vidriznyy stanok z systemoyu slidkuvannya [Cutting machine with tracking system]. Patent UA, no. 80173, 2013.
9. Abrashkevych Y.D., Pelevin L.E., Polishchuk A.G. Sposib vyhotovlennya abrazyvnoho instrumentu [The method of manufacturing an abrasive tool]. Patent UA, no. 73906, 2012.