

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**ПОЛІЩУК АНДРІЙ ГРИГОРОВИЧ**

УДК 621.92

**ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ  
МАШИНИ ДЛЯ РІЗАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.05.04 - машини для земляних, дорожніх та лісотехнічних  
робіт

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 2023

Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Пристайло Микола Олексійович**  
Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри будівельних машин імені Ю.О.Ветрова

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Кузьмінець Микола Петрович**  
Національний транспортний університет, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну

кандидат технічних наук, доцент  
**Тітова Людмила Леонідівна**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України, доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені Миколи Петровича Момотенка

Захист відбудеться «06» грудня 2023 року о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої ради Д 26.056.08 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31.

Автореферат розісланий «06» листопада 2023 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., професор



**М.М. Ручинський**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Широке застосування машин для різання високоміцних матеріалів в будівельній індустрії обумовлено їх ефективністю виконання фінішних операцій, різних технологічних процесів. Особливе місце належить машинам для різання високоміцних матеріалів під час виконання обробки матеріалів з природного та штучного каміння на будівельних майданчиках, при будівництві дорожніх покриттів, влаштування мостів, переправ. На сучасному етапі розвитку процесів різання високоміцних матеріалів висуваються підвищені вимоги до необхідності зменшення енерговитрат, зменшення собівартості робочого інструменту, підвищення ефективності застосування дискових робочих органів. Існуючі машини для різання високоміцних матеріалів в якості робочого органу здебільшого застосовують алмазні дискові пили, які не в повній мірі задовільняють цим вимогам. Їх робота характеризується високими енергозатратами, складністю конструкції приводних машин та використанням великої кількості охолоджуючої рідини. Внаслідок цього виникає актуальна задача пошуку нових рішень розробки та обґрунтування параметрів машин для різання високоміцних матеріалів в умовах промислових майданчиків при мінімальних витратах енергії та надійності роботи. Одним із шляхів рішення даної задачі є використання абразивних армованих кругів в машинах для різання високоміцних матеріалів, обґрунтування режимів та параметрів яких і є предметом дослідження даної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з основною науково-дослідницькою тематикою кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме «Дослідження, обґрунтування та розробка комплексів машин для будівельних, дорожніх та лісотехнічних робіт» № д/р 0119U000195.

### **Мета і задачі дослідження.**

*Метою* роботи є обґрунтування режимів та параметрів робочого органу при різанні високоміцних матеріалів, на основі врахування взаємодії робочого органу машини із оброблюваним матеріалом.

Для досягнення означеної мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- здійснити огляд та аналіз машин з робочими органами для різання високоміцних будівельних матеріалів;
- розробити фізичну та математичну модель робочого процесу різання високоміцних будівельних матеріалів;
- здійснити теоретичні дослідження руху робочого органу машини для різання матеріалів із урахуванням спільної взаємодії;
- виконати експериментальні дослідження робочих режимів та параметрів машини для різання високоміцних будівельних матеріалів;
- розробити алгоритм та методику розрахунку вдосконалених режимів і параметрів, оцінити ефективність здійснених досліджень.

**Об’єкт дослідження** – процес різання високоміцних будівельних матеріалів

**Предмет дослідження** – режими і параметри машини для різання високоміцних будівельних матеріалів

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження виконані на основі математичного моделювання процесу взаємодії робочого органу, а саме абразивного армованого круга, машин для різання високоміцних матеріалів з робочим середовищем. Для теоретичних розрахунків використано програми “Mathcad MathSoft Engineering & Education, Inc. (2001i Professional)” та MS “Excel”. Для обґрунтування та проведення експериментальних досліджень були використані методи математичного моделювання та статистики. Для статистичної обробки результатів експериментальних досліджень використано пакет MS “Excel”. Збір експериментальних даних проведено за допомогою програми “Tenzo Cut”, створеної використанням компілятора “Borland turbo Pascal V7.1”. Експериментальні дослідження проводились в лабораторних умовах на Динамометричному стенді реєстрації силового навантаження. Достовірність результатів проведеного дослідження, висновків та рекомендацій, що викладені в дисертації забезпечується обґрунтованим застосуванням загальних положень класичної теорії механічних систем і суцільних середовищ.

**Наукова новизна одержаних результатів** досліджень полягає в наступному:

*вперше:*

- встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом;
- отримані аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням розподілу тепла в абразивному армованому крузі та мінімізацією робочого часу;

*удосконалено:*

- методику визначення силових параметрів машини для різання із врахуванням властивостей високоміцного будівельного матеріалу;

*отримала подальшого розвитку:*

- методика дослідження напружено-деформованого стану абразивного круга в умовах взаємодії його із оброблювальним матеріалом.

**Практичне значення отриманих результатів** роботи полягає у розробці методики створення та розрахунку машини для різання високоміцних будівельних матеріалів абразивним армованим кругом.

Результати дисертаційної роботи передано до впровадження у виробництво ТОВ «Вітал-Холдинг» (м. Кагарлик Київської обл.), ТОВ «ВП «ЕМКО» (м. Київ), ПП «КОРУНД» (м. Івано-Франківськ), ТОВ «НОВА Україна ТРЕЙД» (м. Золотоноша Черкаська обл.).

Методику проведення експериментальних досліджень впроваджено в освітній процес кафедри будівельних машин Київського національного

університету будівництва і архітектури при виконанні лабораторних робіт «Реєстрація сил опору різанню високоміцних матеріалів» з дисципліни «Технічний експеримент та випробування»

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані здобувачем особисто, зокрема: в опублікованій спільній роботі [1,2] автору належить оцінка і аналіз області застосування абразивних армованих кругів при різанні високоміцних матеріалів [3] дослідження впливу теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів; у роботі [4] встановлено закономірності силових параметрів машин для різання високоміцних матеріалів; в роботі [5] побудовано математичну модель розподілу теплоти в абразивному армованому крузі в якості робочого органу машин для різання високоміцних матеріалів; у роботі [6] побудовано фізичну модель машини для різання високоміцних матеріалів; у роботі [7] обґрунтовано результати експериментальних досліджень; у роботі [9] викладена методика проведення експериментальних досліджень різання високоміцних матеріалів абразивними армованими кругами.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення роботи доповідались та обговорювались на Науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2010р.); на 72-й науково-практичній конференції КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2011р.); на 73-й науково-практичній конференції КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2012р.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2012); на Всеукраїнська науково-практична конференція Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2012); на VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “Vznik moderni vedecke – 2012 (Praha 2012); на 5-тій Міжнародній науково практичній конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2013р); на Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference Current issues of science and integrated technologies (Milan, Italy 2023); на Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference Information activity as a component of science development (Edmonton, Canada 2023); на X Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» (Київ, НУБіП, 2023); на IV Міжнародної науково-практичної конференції «Енергоощадні машини і технології» (Київ: КНУБА, 2023); на Technologies, innovative and modern theories of scientists: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference (Graz, Austria, 2023).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 27 наукових робіт, з них 7 публікацій у фахових наукових виданнях України, 1 з яких індексується в «Web of Science Core Collection», 2 статті в іноземних наукових виданнях, 13 тез доповідей, 4 патенти України на корисну модель та

позитивне рішення про державну реєстрацію корисної моделі «Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження» / Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Почка К.І., Поліщук А.Г. (Україна); заявник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u2023 01862; заявл. 20.04.2023.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 153 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 135 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 13 таблицями, 66 рисунком. Список використаних джерел містить 109 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, задачі досліджень, висвітлено наукову новизну та практичне значення роботи.

**У першому розділі** «Оцінка та аналіз машин та пристроїв для різання і обробки високоміцних матеріалів» здійснено аналіз конструкцій та параметрів машин для різання високоміцних матеріалів. Проведено огляд конструкцій машин та пристроїв для різання і обробки високоміцних матеріалів безпосередньо на будівельно-монтажних майданчиках. Огляд та аналіз засвідчує необхідність значного застосування такого класу машин від нарізання пазів в конструкціях та стінах до різання легкого та важкого залізобетону, при улаштуванні та ремонту доріг, кладки та природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків різних діаметрів. Разом з тим, застосування подібного класу машин стримується відсутністю загальноприйнятої моделі системи «машина – оброблювальний матеріал» із врахування діючих сил взаємодії ріжучого інструменту із оброблювальним матеріалом та впливу температури, які виникають в зоні контакту і в зв'язці круга. Потребується проведення досліджень конструкцій робочих органів машин, уточнення та врахування діючих сил взаємодії ріжучого інструменту із оброблювальним матеріалом, уточнення фізичної та математичної моделі системи «машина – оброблювальний матеріал».

**У другому розділі** «Теоретичні дослідження параметрів та режимів робочого процесу машин для різання високоабразивних матеріалів» визначена модель та здійснені дослідження системи «машина – оброблювальний матеріал» із врахування діючих сил взаємодії ріжучого інструменту із оброблювальним матеріалом. Досліджено вплив теплових процесів, що протікають під час різання, які залежать від режимів роботи, довжини дуги контакту між кругом і виробом, конструкції бокових поверхонь круга, а також від його висоти та інших параметрів, що багато в чому визначають ефективність застосування абразивного інструменту.

Рівняння теплопровідності абразивного армованого круга має вигляд:

$$c^e \rho^e \cdot \frac{\partial T^e}{\partial t} = \lambda^e \left[ \frac{1}{z^2} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \cdot z^2 \cdot \frac{\partial T'}{\partial z} + \frac{1}{z^2} \cdot \frac{\partial^2 T^e}{\partial \varphi^2} \right]. \quad (1)$$

Враховуючи, що основні процеси передачі тепла виходять поблизу ріжучої кромки і відстань, на якій відбувається значна зміна температури, значно менше, тоді замість (1) можна записати:

$$c' \rho' \cdot \frac{\partial T'}{\partial t} = \lambda' \cdot \frac{\partial^2 T'}{\partial \varphi^2}. \quad (2)$$

Граничні умови рівності теплових потоків по різному записуються в залежності від кута  $\varphi$ . У місці контакту деталі з кругом  $\varphi \in [0; \varphi_0]$ , граничні умови виглядають:

$$0 = \lambda' \frac{\partial T'}{\partial z} \Big|_{r=R} + \alpha \cdot T \cdot (r = R). \quad (3)$$

За межами зони контакту круг охолоджується повітрям, граничні умови виглядають:

$$q = \lambda' \frac{\partial T'}{\partial z} \Big|_{r=R} - \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} + (mc + m'c') \cdot T \cdot (r = R), \quad (4)$$

де  $q$  - миттєве виділення тепла в точці;  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі;  $(mc + m'c') \cdot T \cdot (r = R)$  - теплота, що видаляється разом зі стружкою;  $(r = R)$  - температура в зоні різання.

Ці дві граничні умови можна об'єднати в одну, для всіх кругів, якщо ввести функцію  $\Phi(\varphi; \varphi_0) = \Phi$ , так що,

$$\Phi(\varphi; \varphi_0) = \begin{cases} 1; & \varphi \in [0; \varphi_0] \\ 0; & \varphi \in [\varphi_0; 2\pi] \end{cases}. \quad (5)$$

Використовуючи цю функцію, можна записати граничні умови для всієї ріжучої кромки круга:

$$q\Phi = -\lambda' \frac{\partial T'}{\partial z} \Big|_{r=R} + \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} + (mc + m'c') \cdot T \cdot (r = R) \cdot \Phi + [1 - \Phi] \cdot \alpha T (r = R). \quad (6)$$

Очевидно, що залежність температури зв'язки круга ( $T^*$ ) від часу буде двоякою. З однієї сторони  $T^*$  буде змінюватись з подачею круга в виріб, що обробляється («повільна» залежність від часу), з другої сторони,  $T^*$  буде змінювати своє значення на протязі одного оберту круга («швидка» залежність). Короткочасний вплив високої температури не руйнує бакелітову зв'язку. Тому визначальна залежність, яка вимірюється на практиці є «повільна» залежність. Введемо середню по періоду обертання температуру:

$$\tilde{T} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} T d\varphi. \quad (7)$$

Очевидно, що для виробу,  $\tilde{T} = T$  так як кутової залежності для  $T$  немає, граничні умови для  $T'$  можуть бути визначено із (6) інтегруванням по  $d\varphi$ :

$$Q \cdot l = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_l + \lambda' \cdot 2\pi R \cdot \frac{\partial \tilde{T}'}{\partial z} \Big|_{r=R} + (mc + m'c') \cdot T \cdot (r=R) \cdot 2\pi R + \alpha 2tr \cdot \tilde{T}'(r=R) \cdot (1-l). \quad (8)$$

Рівняння (2) переходить в ( $\tau$  - час вимірний в періодах обертання):

$$c'\rho' \cdot \frac{\partial \tilde{T}'}{\partial z} = \lambda' \cdot \frac{\partial^2 \tilde{T}'}{\partial z^2}. \quad (9)$$

Рішення для нього буде:

$$T' = \sum_{\lambda} e^{-a\lambda^2 t} (A_{\lambda} \cos \lambda x + B_{\lambda} \sin \lambda x) \quad (10)$$

Існує декілька способів зменшення температури  $T$  і відповідно, збільшення зносостійкості кругів. Перший спосіб полягає у зменшенні довжини дуги контакту, і відповідно, збільшенні довжини контакту і часу охолодження периферії круга. За такої умови відбувається інтенсивний відвід тепла в середину круга за рахунок підвищення температуропровідності круга.

Для визначення енергії в роботі прийнято допущення, що тангенціальна складова зусилля різання враховує ці процеси в цілому.

При цьому траєкторія руху будь-якої точки, розташованої на робочій поверхні абразивного інструменту, близька до кола, оскільки швидкість його подачі мала в порівнянні з окружною.

Враховується, що процес руйнування оброблюваного матеріалу здійснюється тільки за рахунок дії тангенціальних сил, рівномірно розподілених по всій площі контакту.

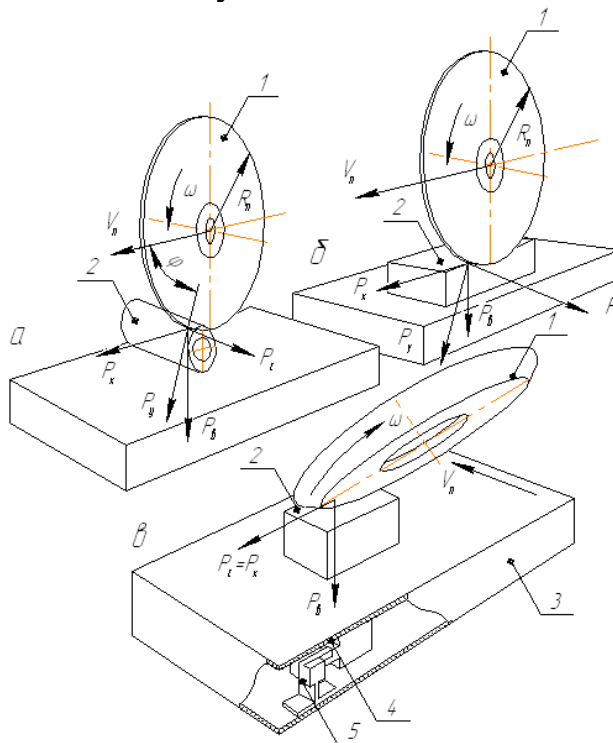


Рисунок 1 – Схема розподілу зусиль, що діють на абразивний круг при різанні: а – труби; б – листового матеріалу; в – зачистці

Тангенціальні сили  $P_z$  рівномірно розподілені по усій площі контакту і пов'язані з нормальними  $P_y$  відношенням



$$P_z = K_m \cdot P_y \quad (11)$$

Робота, затрачена на руйнування матеріалу при різанні і зачистці, може бути визначеною за залежностями:

$$dA_o = P_z \cdot dl_k, \quad (12)$$

або

$$dA_o = q_v \cdot dV = q_v \cdot H \cdot a_c \cdot dl_k, \quad (13)$$

де  $q_v$  – коефіцієнт, що враховує витрати енергії на руйнування одиничного об'єму матеріалу в одиницю часу;  $dV$  – елементарний зруйнований об'єм матеріалу, м<sup>3</sup>;  $dl_k$  – елементарна довжина майданчика по дузі контакту, м

$$a_c = \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o \cdot dl_k \quad (14)$$

де  $a_c$  – глибина зрізу, що відповідає довжині контакту  $l_k$ , м,  $\varphi_o$  – центральний кут, що характеризує розмір зони контакту, рад.

Маємо

$$P_z = q_v \cdot H \cdot a_c \quad (15)$$

$$P_z = q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o \cdot dl_k \quad (16)$$

Враховуючи, що

$$\varphi_o = \frac{l_k}{R_0} \quad (17)$$

отримуємо

$$P_z = q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o \cdot dl_k \quad (18)$$

$$P_z = R_0 \cdot q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0}\right) \quad (19)$$

Потужність на різання і зачистку, рівна

$$N = P_z \cdot V_p \quad (20)$$

$$N = R_0 \cdot q_v \cdot H \cdot V_n \cdot \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0}\right) \quad (21)$$

Отримані результати за силовими параметрами використані при створенні машин для різання високоміцних матеріалів з дисковим робочим органом.

**У третьому розділі** «Експериментальні дослідження робочого процесу машини різання високо абразивних матеріалів» приведені експериментальні дослідження режимів роботи, визначення тангенціальних зусиль сил різання на розробленій та створеній машині для різання високоміцних матеріалів абразивним армованим кругом.

Для визначення параметрів фізичної моделі використано принципи теорії подібності. Виходячи із співвідношення між коефіцієнтами подібності реальної машини для різання високоміцних матеріалів абразивними

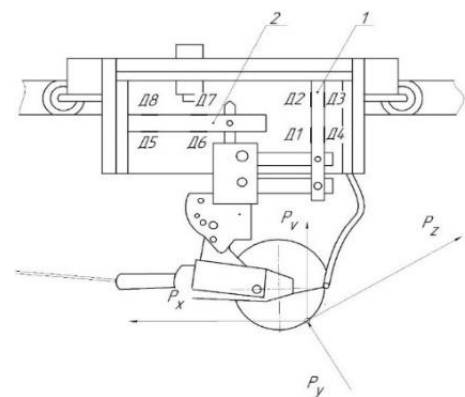
армованими кругами та моделі:  $\frac{\lambda_{K_z} \cdot \lambda_{V_n}^{1+x} \cdot \lambda_{\sigma_6} \cdot \lambda_H^{z_1}}{\lambda_N \cdot \lambda_{\omega}^y \cdot \lambda_d^y} = 1$ ;  $\frac{\lambda_{K_n} \cdot \lambda_{\omega}^{x_1} \cdot \lambda_d^{x_1} \cdot \lambda_{\sigma_6} \cdot \lambda_H^{y_1}}{\lambda_N} = 1$ , де

$\lambda_N, \lambda_{K_z}, \lambda_{V_n}, \lambda_{\omega}, \lambda_d, \lambda_{\sigma_6}, \lambda_H, \lambda_{K_n}$  – відповідні коефіцієнти подібності. Були прийняті такі коефіцієнти подібності  $\lambda_d = 3,2$ ,  $\lambda_N = 2,5$  та  $\lambda_{V_n} = 1$ . При цьому показники степенів системи, які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем прийняті такі їх числові значення:  $x = 0,75$ ,  $x_1 = 0,7$ ,  $y = 0,75$ ,  $y_1 = 0,75$ ,  $z_1 = 0,7$ , а решту було визначено з наведених вище залежностей  $\lambda_{\omega} = 0,312$  та  $\lambda_H = 2,857$ .

Враховуючи отримані коефіцієнти подібності було реконструйовано існуючий стенд реєстрації силового навантаження КНУБА, як машину для дослідження процесу різання високоміцних матеріалів абразивним армованим кругом (рис. 2). Така реконструкція стенду дала можливість 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. У якості матеріалу, що підлягав різанню була вибрана вогнетривка цегла. Для вимірювання сил, що виникають при різанні, були використанні тензометричні датчики, які забезпечують точність вимірювання. Так, на бокових поверхнях тензометричної балки 1 (рис 2), рухомого органу машини, наклеєні тензодатчики Д1-Д4, що реєструють дотичну силу  $P$ , яка діє на абразивний армований круг. На горизонтальній тензометричній балці 2 – тензодатчики Д5-Д8, що реєструють нормальну силу  $N$ , яка діє під час різання вогнетривкої цегли на абразивний армований круг. Групи тензодатчиків включено в електричні мостові схеми вимірювальної апаратури.



а



б

Рисунок 2 – Машина для реєстрації силового навантаження: а- загальний вигляд; б- схема розташування тензодатчиків на рухомому органі машини.

Вимірювальна та реєструюча апаратура включала: блок та кабель живлення, модуль АЦП (аналого-цифровий перетворювач), шестиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування, кабель передачі сигналу

(інтерфейс SCI – Serial Communication Interface), та персональний комп'ютер (ПК). Процес реєстрації та вимірювання здійснювався шляхом подачі цифрового сигналу на ПК для подальшої обробки за допомогою спеціально написаної програми “Tenzo Cut”. Швидкість подачі абразивного армованого круга в зону різання встановлювалась за допомогою підключення приводного електродвигуна через частотний перетворювач «Frecon» FR150A.

Регулювання швидкості подачі виконувалось за допомогою зміни частоти струму двигуна  $f$  від якої залежить синхронна частота. Кількість обертів абразивного армованого круга встановлювалась за допомогою регулятора приводної машини, в якості якої використовувалась ручна кутошліфувальна машина. Вимірювання кількості обертів виконувалось за допомогою цифрового фототахометра. На рисунку 3 приведено встановлення дослідного зразка на установці.



Рисунок 3. Встановлення дослідного зразка на установці.

В результаті проведення експерименту відбувалася реєстрація сигналу в реальному часі на екрані комп'ютера у вигляді графіка. Програмою досліджень було передбачено одночасно реєструвати дані з двох груп датчиків (рис. 4), приводити дані до загальної ординати зображення (рис. 5).

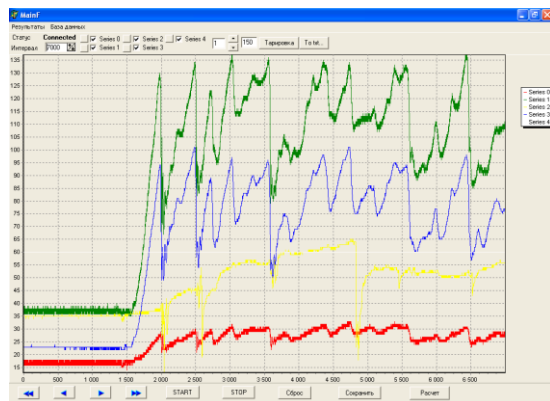


Рисунок 4 – Вигляд відтвореного сигналу на екрані

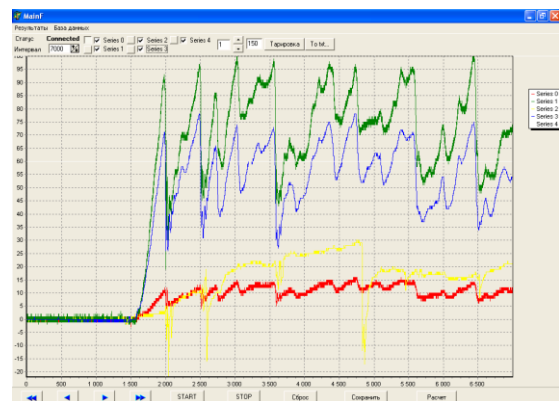
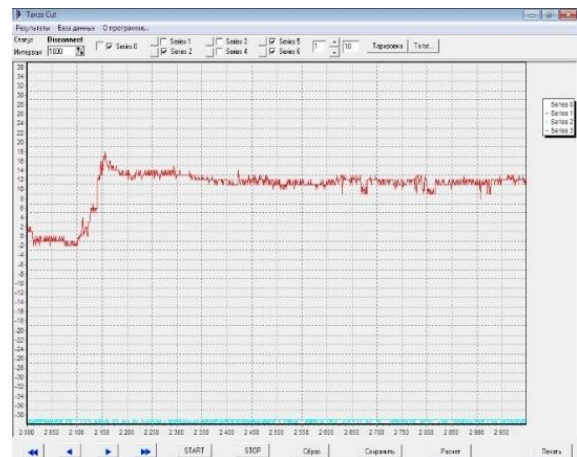


Рисунок 5 – Приведення даних до загальної ординати зображення

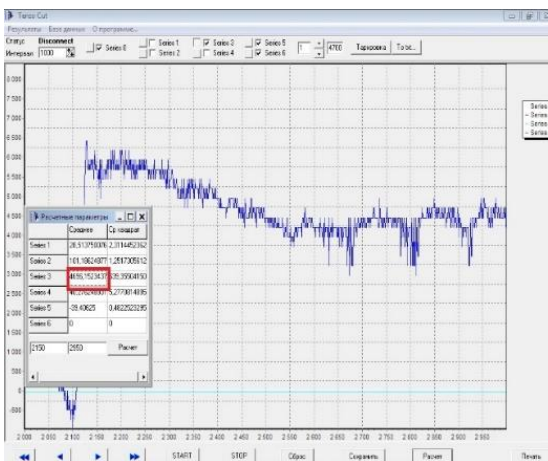
Сигнал підсилювався сучасними інструментальними підсилювачами виробництва Analog Devices. В якості аналогоцифрового перетворювача (АЦП) використаний 10-ти розрядний модуль, який входить до складу мікроконтролера сімейства PIC (Peripheral Interface Controller). Отже, реєстрація даних вимірювань здійснювалась за допомогою високотехнологічного вимірювально-реєструючого обладнання, що дозволило швидко і без повторювань з першочергових даних отримати достатньо точні оцінки взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом. Отримані результати у вигляді масиву точок зафіксовано в режимі реального часу (рис.6).



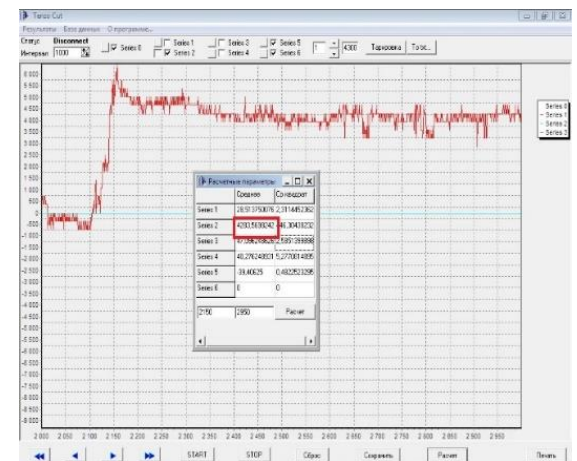
a



b



c



d

Рисунок 6. Осцилограми тангенціальних зусиль різання вогнетривкої цегли на експериментальній установці при  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_n = 0,007 \text{ м/с}$  (а, с) та  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_n = 0,008 \text{ м/с}$  (b, d): а, b – результати у вигляді масиву точок зафіксованих в режимі реального часу (осцилограми); с, d – осцилограми приведені до початку горизонтальної осі координат та програмно перераховані в силові значення (проведене тарування).

Була проведена серія дослідів, обробка яких заносилися у відповідні таблиці. Усереднені значення тангенціального зусилля різання наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Значення тангенціального зусилля різання  $P_z$ , Н, отримані експериментальним шляхом

$V_p$ , м/с	Швидкість подачі $V_n$ , м/с				
	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
40	3411	3903	4320	4714	5113
60	2611	3013	3306	3618	3921
80	2215	2508	2713	3007	3206

На основі даних табл. 1 побудовано графіки зміни тангенціальної сили різання в залежності від швидкості подачі при значеннях колової швидкості різання  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 60 \text{ м/с}$  та  $v_p = 80 \text{ м/с}$  (рис. 7).

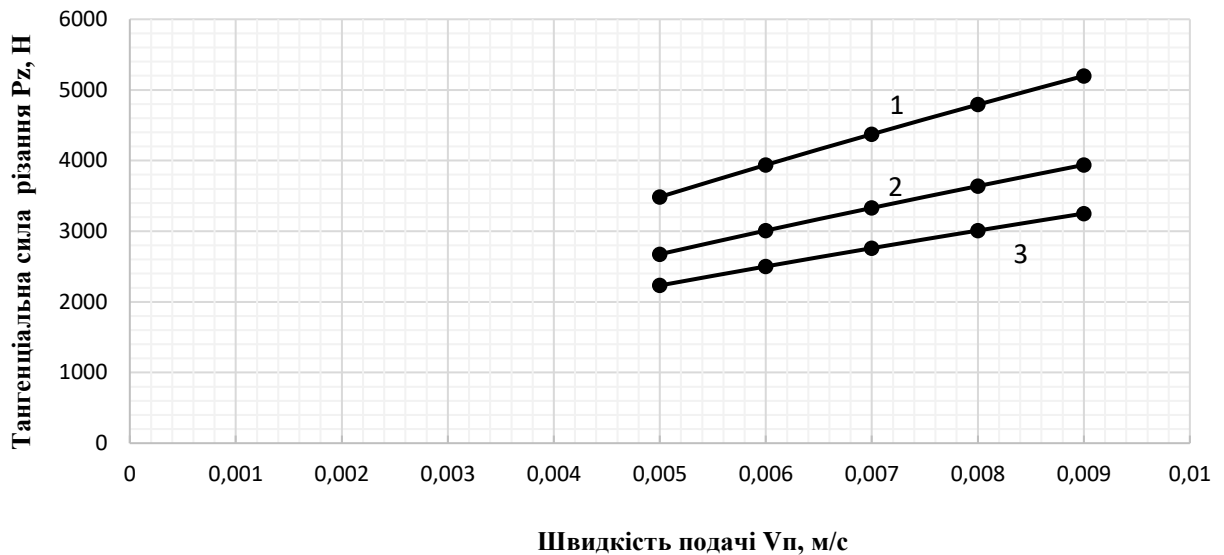


Рисунок 7. Графіки зміни тангенціальної сили різання, отриманої експериментальним шляхом, в залежності від швидкості подачі:

$$1 - v_p = 40 \text{ м/с}; 2 - v_p = 60 \text{ м/с}; 3 - v_p = 80 \text{ м/с}$$

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальними результатів показав, що похибка між теоретичними та експериментальними значеннями визначених параметрів не перевищує 13,8 % (рис 8).

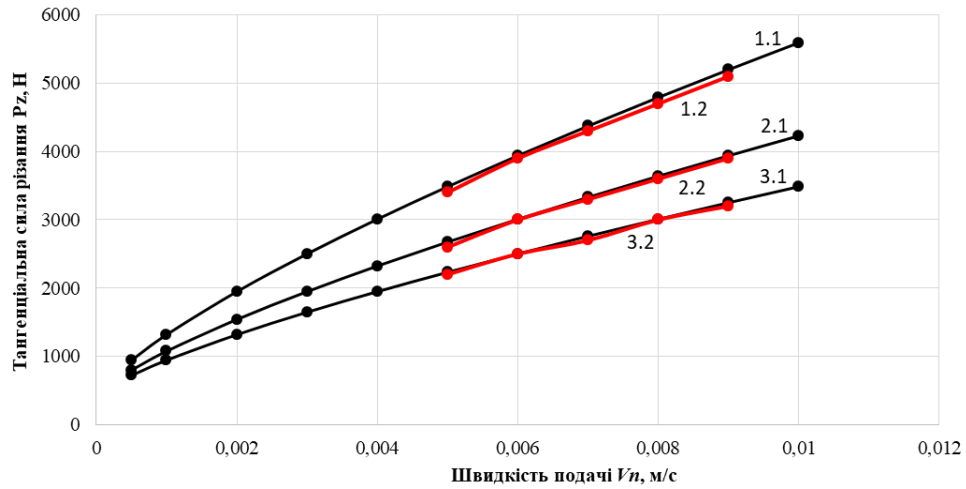


Рисунок 8. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальними результатами тангенціальних зусиль різання:

1.1, 2.1, 3.1 – теоретичні дані при  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 60 \text{ м/с}$  та  $v_p = 80 \text{ м/с}$ ;

1.2, 2.2, 3.2 – експериментальні дані при  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 60 \text{ м/с}$  та  $v_p = 80 \text{ м/с}$

У четвертому розділі «Практична реалізація результатів досліджень та оцінка їх ефективності» приведені основні положення методів розрахунку, графіки та таблиці рекомендованих параметрів, алгоритм розрахунку та конструктивні рішення, щодо створення машин для різання матеріалів. Запропоновано спосіб приготування абразивної маси для виробництва абразивних кругів, що застосовується при різанні гірських порід (пісчаники, мармур, туф, базальт) та будівельних матеріалів (гіносові та високоглиноземні вогнетривкі вироби) міцністю на одновісний стиск до 60 МПа. У якості прикладу на рисунку 10 проведені результати розрахунків тангенціального зусилля різання, при швидкостях подачі робочого органу в межах від  $v_n = 0,0005 \text{ м/с}$  до  $v_n = 0,02 \text{ м/с}$  з кроком  $\Delta v_n = 0,001 \text{ м/с}$ , при значеннях колової швидкості різання  $v_p = 20 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 30 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 50 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 60 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 70 \text{ м/с}$ ,  $v_p = 80 \text{ м/с}$  та  $v_p = 90 \text{ м/с}$

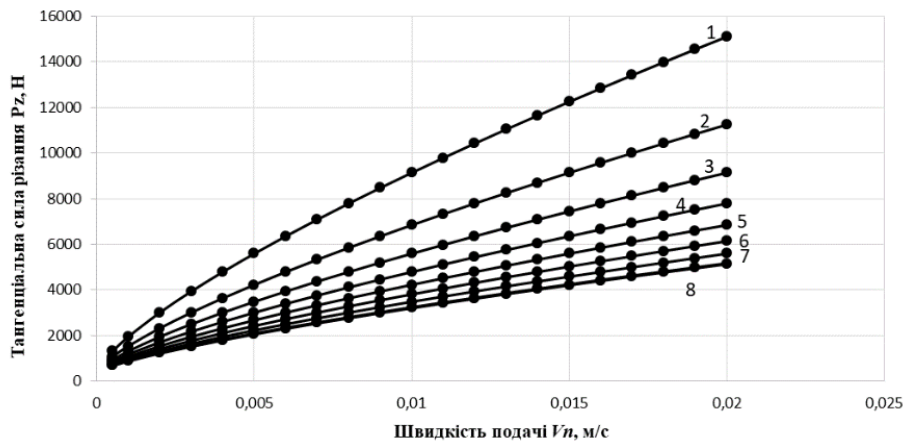


Рисунок 10. Графік зміни тангенціальної сили різання в залежності від швидкості подачі: 1 –  $v_p = 20 \text{ м/с}$ ; 2 –  $v_p = 30 \text{ м/с}$ ; 3 –  $v_p = 40 \text{ м/с}$ ; 4 –  $v_p = 50 \text{ м/с}$ ;

5 –  $v_p = 60 \text{ м/с}$ ; 6 –  $v_p = 70 \text{ м/с}$ ; 7 –  $v_p = 80 \text{ м/с}$ ; 8 –  $v_p = 90 \text{ м/с}$ .

Алгоритм визначення основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів приведено на рисунку 11.

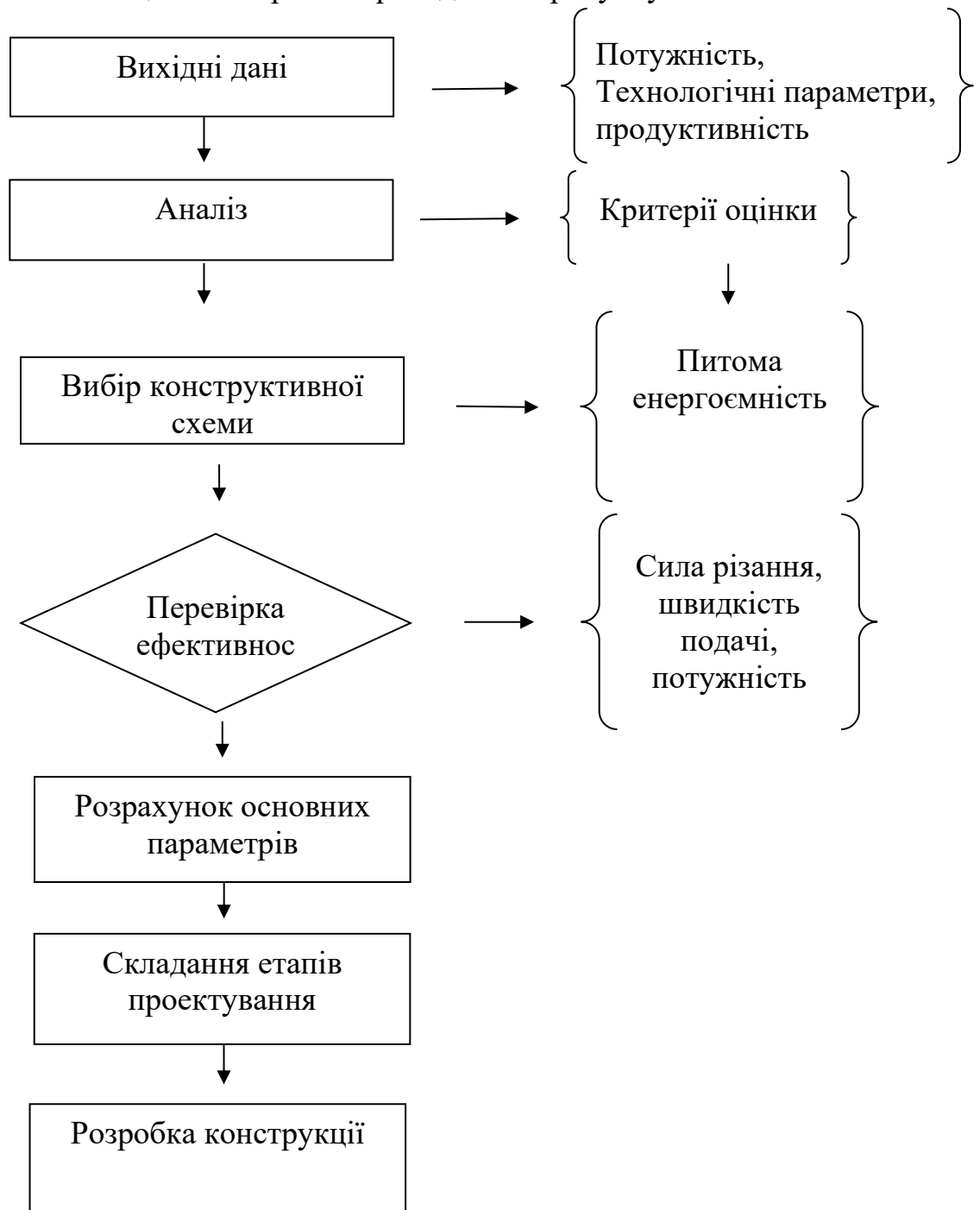


Рисунок 11. Алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів.

Розроблена конструкція відрізного верстату (рис.12), який забезпечує зменшення енергоємності процесу різання заготовок.

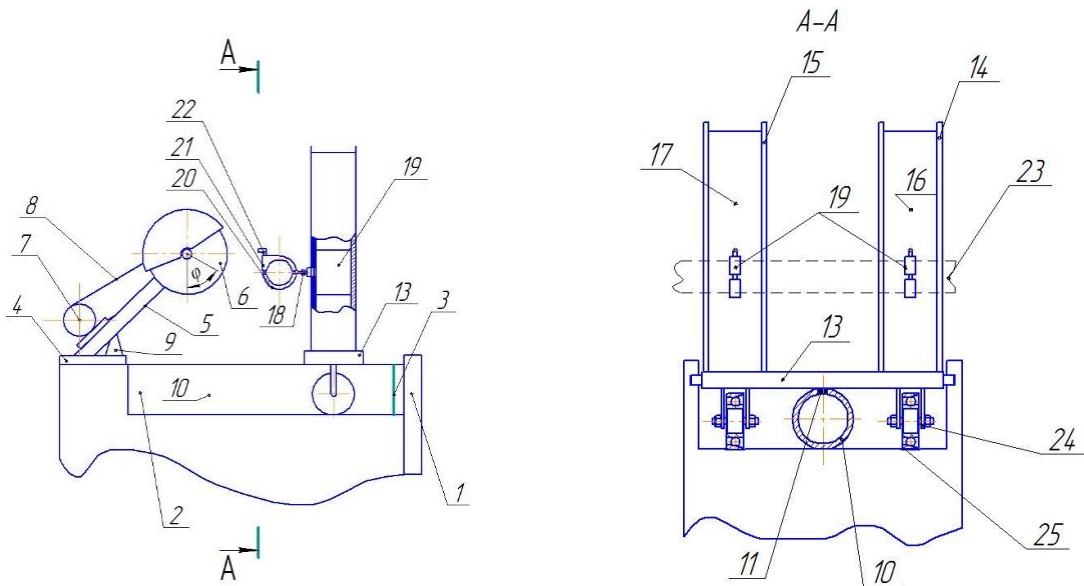


Рисунок 12. Схема конструкції верстату для різання заготовок.

Відрізний верстат має П-подібну раму 1, яка складається з бічних стінок 2 і перекладини 3. На перекладині 3 встановлено на основі 4 стояк 5 з пильним диском, наприклад, абразивним кругом 6 і двигуном 7, з'єднаних приводним пасом 8, стояк 5 з основою 4 з'єднано опорою 9. До перекладини 3, паралельно бічним стінкам 2 приєднано циліндричний корпус безштокового циліндру 10. У корпусі 10 циліндра розташовано поршень, який поділяє внутрішню порожнину корпусу 10 на ліву та праву. У верхній частині корпусу 10 виконано повздовжній паз у якому розташовано водило 11, що прикріплене до поршня, причому у повздовжньому пазу знаходиться гідроізоляція (а.с. №1508016 А1 кл. F15 В 16/06). Ліві та праві порожнини за допомогою трубопроводу з'єднуються з гідравлічною системою. Зверху корпусу 10 до водила 11 приєднана платформа 13, на якій закріплено у вертикальних напрямляючих 14 і 15 встановлено циліндричні корпуси безштокових циліндрів 16 і 17. До водил безштокових циліндрів 16 і 17 через круговий шарнір 18 закріплено затискуючі пристрої 19, які складаються з основи 20, до яких шарнірно приєднані притискуючі кришки 21. У притискуючих кришках 21 та основи 20 зроблено наскрізні отвори де знаходиться фіксатор 22. У затискуючі пристрої 10 встановлюється заготівка 23. Затискуваний пристрій 19 має можливість переміщення вздовж корпусу безштокового циліндра разом з їх поршнями. До платформи 13 приєднано напрямляючі 24, в яких змонтовані підшипники кочення 25.

Платформа 13 з напрямляючими 14 і 15 з циліндричними корпусами 16 і 17 безштокових циліндрів із закріпленими на них затискуваними пристроями 19 і підшипниками кочення 25 мають можливість переміщення вздовж бічних стінок 2.



### **Висновки по розділу**

1. Приведені основні положення методів розрахунку режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, що базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень.

2. Запропоновано алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, розрахунки за які дають можливість вибору типу ріжучого органу, його раціональних параметрів на основі порівняння та оцінки різних типів.

3. Наведено конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами на корисну модель.

### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу обґрунтування режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів. Результати здійсненого аналізу існуючих робіт, виконані теоретичні та експериментальні дослідження надали можливість зробити наступні висновки.

1. Огляд та аналіз засвідчує охоплення значного застосування такого класу машин від нарізання пазів в конструкціях та стінах до різання легкого та важкого залізобетону, при улаштуванні та ремонту доріг, кладки та природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків. Існує низка різних конструктивних рішень машин для різання та обробки матеріалів, до яких відносяться також штучний та природний камінь. Основна конструктивна відмінність полягає у призначенні та способами керування роботою машин.

2. Розраховані критерії ефективності параметрів (1.1 -1.3), числові значення яких наведені в таблиці 1.8, засвідчують значну розбіжність між собою (наприклад, такий важливий критерій, як вплив витрат енергії на глибину різання  $h$  коливається в межах від 5,83 до 48,70). Очевидно, що це є свідченням різного підходу до конструювання робочих органів і машини в цілому та відсутністю загальноприйнятої моделі робочого процесу різання.

3. Оцінка експлуатаційних показників робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю показала наявність великої кількості технологічних факторів та їх сполучень, що виникають як в процесі їх виготовлення, так і при експлуатації. Обумовлюється це тим, що абразивні армовані круги в процесі роботи знаходяться в складному напруженому стані, що виникає в результаті дії нормальних, відцентрових, згинаючих, та тангенціальних сил.

4. Виконаними теоретичними та експериментальними дослідженнями визначені силові параметри та напружений стан абразивних робочих кругів із врахуванням фізико – механічних властивостей робочих органів машин в процесі виникаючих діючих сил взаємодії із оброблювальним матеріалом.

5. Встановлені важливим аспектом реалізації ефективності різання природного й штучного каміння та нарізання пазів в конструкціях і стінах є виконані дослідження врахування процесів виділення тепла при взаємодії робочих органів машин із оброблювальним матеріалом.

6. Встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом та отримані аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням розподілу тепла в абразивному армованому крузі та мінімізацією робочого часу.

7. Розроблено основні положення методики та алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, розрахунки за яким дають можливість вибору типу ріжучого органу, його раціональних параметрів на основі порівняння та оцінки різних типів.

8. Наведено конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами на корисну модель. Результати досліджень передано до впровадження у виробництво ТОВ «Вітал-Холдинг» (м. Кагарлик Київської обл.), ТОВ «ВП «ЕМКО» (м. Київ), ПП «КОРУНД» (м. Івано-Франківськ), ТОВ «НОВА Україна ТРЕЙД» (м. Золотоноша Черкаська обл.).

Методику проведення експериментальних досліджень впроваджено в освітній процес кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури при виконанні лабораторних робіт «Реєстрація сил опору різанню високоміцних матеріалів» з дисципліни «Технічний експеримент та випробування»

## СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Поліщук А.Г. Застосування алмазного та абразивного інструменту для різання кам'яних матеріалів // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2010. – №76. – С. 45-48.

2. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. Підвищення експлуатаційних показників абразивного інструменту // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2012. – Вип. 80 – С. 30-37.

3. Абрашкевич Ю., Поліщук А. [Дослідження впливу теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів](#) // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2013. – Вип. 81. – С. 39-44.

4. Абрашкевич Ю., Рашківський В., Поліщук А., Човнюк О. [Силові параметри машин з абразивним інструментом](#) / Ю. Абрашкевич, // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – Вип. 85. – С. 67-71.

5. Abrashkevich Yu., Prystailo M., Polishchuk A. Mathematical model of heat distribution in an abrasive wheel // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2022. – Вип. 100 – С. 5-11. – DOI: 10.32347/gbdmm.2022.100.0101.

6. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Побудова фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2022. – № 3 (82). – С. 30-36. – DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2022.3.4.

*Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародної наукометричної бази Web of Science:*

7. Maksimyyuk Yu.V., Pochka K.I., Abrashkevych Yu.D., Prystailo M.O., Polishchuk A.G. Analysis of derriking and slewing of the tower crane with consideration to driving mechanisms characteristics // Опір матеріалів і теорія споруд. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 110. – С. 361–374.

*Статті у наукових періодичних виданнях іншої держави:*

8. Abrashkevich Y., Pochka K., Prystailo M., Polishchuk A. Technologies installation for cutting stone with abrasive and diamond tool // ТЕКА. Semi-Annual Journal of Agri-Food Industry. DOI: 10.12912/27197050/139346. – 2022. – 22(1). – Р. 33-39.

9. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Методика проведення експериментальних досліджень різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами // Modern Engineering and Innovative Technologies. – 2023. – Issue 25, Part 1. – Р. 3-16. DOI: 10.30890/2567-5273.2023-25-01-016.

*Тези наукових доповідей:*

10. Поліщук А.Г. Розпилювальний пристрій з гасінням коливань // Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА: тези доповідей. – В 2-х частинах. – Ч.1. – К.: КНУБА, 2010. – С. 100, 101.

11. Поліщук А.Г. Обґрунтування основних параметрів і розробка обладнання для різання каменю абразивним і алмазним інструментом // Збірник тез студентських доповідей 72-ї науково-практичної конференції. – Частина 2. – К.: КНУБА, 2011. – С. 24, 25.

12. Поліщук А.Г. Обладнання для різання каменю абразивним і алмазним інструментом // Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА: тези доповідей. – В 2-х частинах. – Ч.1. – К.: КНУБА, 2011. – С. 103, 104.

13. Поліщук А.Г., Орищенко В.В. Особливості різання будівельних матеріалів абразивним і алмазним інструментом // Збірник тез студентських доповідей 73-ї науково-практичної конференції. – К.: КНУБА, 2012. – С. 134.

14. Поліщук А.Г. Механізм роботи абразивних армованих кругів для різання високоабразивних матеріалів міцністю на одноосний стиск до 60 МПа // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): тези доповідей. – Херсон, 2012. – Том 2. – С. 106-110.

15. Поліщук А.Г. Установка для різання каменя абразивним і алмазним інструментом // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012): тези доповідей. – Херсон, 2012. – С. 125-129.

16. Поліщук А.Г. Спосіб виготовлення абразивних кругів // Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “Vznik moderni vedecke – 2012”. – Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. – P. 25-31.

17. Поліщук А.Г. Відрізний станок з системою слідкування // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): тези доповідей. – Херсон, 2013. – Том 2. – С. 135-138.

18. Абрашкевич Ю.Д., Почка К.І., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Розробка установки для різання високоабразивних матеріалів алмазними дисками та абразивними армованими кругами // Current issues of science and integrated technologies: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. – Milan, Italy. – January 10-13, 2023. – P. 656-663.

19. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Визначення параметрів фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами // Information activity as a component of science development: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. – Edmonton, Canada. – April 04-07, 2023. – P. 561-570.

20. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Розробка методики проведення експериментальних досліджень різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 23-24 лютого 2023 р. – Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2023. – С. 414-417.

21. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Програма і методика проведення експериментальних досліджень різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Енергоощадні машини і технології» 23-25 травня 2023 р. – Київ: КНУБА, 2023. – С. 414-417.

22. Почка К.І., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Результати експериментальних досліджень процесу різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами. // Technologies, innovative and modern theories of scientists: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. – Graz, Austria. – May 23-26, 2023. – P. 505-513.

*Патенти України на корисну модель:*

23. Патент України на корисну модель № 52979, МПК В23D 45/00 (2009). Відрізний верстат / Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г., Щербина Т.Ф. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u2009 13409; заявл. 23.12.2009; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18.

24. Патент України на корисну модель № 57929, МПК В23D 45/00 (2011.01). Розпилувальний пристрій з гасінням коливань / Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u2010 05576; заявл. 07.05.2010; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 6.

25. Патент України на корисну модель № 73906, МПК В24D 3/00 (2012.01). Спосіб виготовлення абразивного інструменту / Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u 2012 03848; заявл. 29.03.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.

26. Патент України на корисну модель № 80173, МПК В23D 45/00 (2013.01). Відрізний станок з системою слідкування / Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u 2012 15029; заявл. 27.12.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.

27. Позитивне рішення про державну реєстрацію корисної моделі «Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження» / Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Почка К.І., Поліщук А.Г. (Україна); заявник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u2023 01862; заявл. 20.04.2023.

## АНОТАЦІЯ

**Поліщук А.Г. Обґрунтування режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.04 - машини для земляних, дорожніх та лісотехнічних робіт. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2023.

Дисертацію присвячено дослідженню та обґрунтуванню режимів і параметрів робочого органу машин для різання високоміцних матеріалів.

Приведені основні положення методів розрахунку режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, що базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень.

Проведені експериментальні дослідження режимів роботи, визначення тангенціальних зусиль сил різання на розробленій та створеній машині для різання високоміцних матеріалів абразивним армованим кругом.

Запропоновано алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, розрахунки за які дають

можливість вибору типу ріжучого органу, його раціональних параметрів на основі порівняння та оцінки різних типів.

Наведено конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами на корисну модель.

**Ключові слова:** різання, високоміцні матеріали, абразив, абразивний круг, зусилля, швидкість різання, швидкість подачі.

## ANNOTATION

**Polishchuk A.G. Substantiation of modes and parameters of the working body of the machine for cutting high-strength materials.** –Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.05.04 - machines for earthworks, road and forestry works. – Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the study and substantiation of the modes and parameters of the working body of machines for cutting superhard materials.

The main provisions of the methods for calculating the modes and parameters of the working body of the machine for cutting high-strength materials, based on the results of theoretical and experimental studies, are given.

Experimental studies of operating modes, determination of tangential forces of cutting forces on the developed and created machine for cutting high-strength materials with an abrasive reinforced wheel were carried out.

An algorithm for calculating the main parameters of the working body of a machine for cutting high-strength materials is proposed, calculations for which make it possible to select the type of cutting body, its rational parameters on the basis of comparison and evaluation of different types.

The design solutions of machines for cutting high-strength materials, the novelty of which is confirmed by patents for a utility model, are presented.

**Keywords:** cutting, high-strength materials, abrasive, abrasive wheel, force, cutting speed, feed rate.