

УДК 622.27

В.О. Шлапак, ст. викл.

Житомирський державний технологічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ АЛМАЗНО-КАНАТОПИЛЬНИМИ ВЕРСТАТАМИ

(Представлено д.геол.н. Підвисоцьким В.Т.)

Наведено результати досліджень з визначення оптимальних технологічних параметрів розпилювання блоків декоративного каменю алмазно-канатопильними верстатами.

Вступ. Процес удосконалення та розвитку технології розпилювання облицювального каменю перебуває на етапі переходу від штрипсового розпилювання до технології дискового і алмазно-канатного розпилювання каменю. Це пов'язано з тим, що останні два способи розпилювання характеризуються меншою собівартістю робіт та кращою якістю поверхні розпилу, що в свою чергу знижує витрати при виконанні подальших операцій обробки. Однак ефективно застосування алмазно-канатного розпилювання можливе лише при детальному вивченні залежності режимів обробки від властивостей інструмента та оброблюваного каменю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий вклад в дослідження процесу розпилювання внесли такі дослідники як: О.О. Барський [1], В.О. Александров [2], Ю.Я. Берлін, Ю.І. Сичов [3], Н.Г. Картавий [4], Г.Д. Першин [5], М.Т. Бакка, П.П. Мельничук [6].

Всі теоретичні дослідження, що відносяться до розглядання поверхневого руйнування металевих і неметалевих матеріалів алмазно-абразивним інструментом, базуються на аналізі й розрахунку взаємодії одного різця (індентора) із плоскою поверхнею [6]. Геометрична форма індентора в більшості випадків приймається сферичною, однак є дослідження із впровадження конусного й циліндричного індентора. Результати, отримані для одиничного індентора, надалі узагальнюються в цілому на інструмент за допомогою коефіцієнта, що враховує множинний контакт одиничних різців.

Вивченню процесу руйнування гірських порід одиничним алмазним зерном, особливо його енергетичних та силових параметрів, присвячені численні дослідження, однак відмінності в методичному підході не дозволяють прийти до однозначних висновків.

Метою статті є визначення оптимальних технологічних параметрів процесу алмазно-канатного розпилювання блоків на основі експерименту на породах з різними фізико-механічними властивостями.

Викладення основного матеріалу статті. Процес руйнування гірської породи необхідно розглядати у взаємодії системи “порода–алмазно-абразивне зерно–інструмент”, у якій одночасно шляхом багаторазово повторюваних на мікрорівні актів взаємодії відбувається руйнування породи та інструмента. Залежно від умов контакту в системі можлива пружна або пружно-пластична взаємодія з відокремленням мікроскопічних часток матеріалу у вигляді сколювання (крихке руйнування) або різання (в'язке руйнування). Момент руйнування матеріалу породи (інструмента) настає при досягненні граничної питомої енергії, що здатні поглинути кристалічні решітки. У цьому випадку можна констатувати, що руйнування відбувається тоді, коли кристалічні решітки перестають поглинати підведену ззовні енергію. Тому з позиції енергетичної теорії механізм алмазно-абразивного руйнування носить якісний характер, який відрізняється тільки кількісними показниками, що залежать від фізико-механічних властивостей породи та інструмента і технологічних особливостей процесу з яких варто виділити умови виносу шламу із зони різання (руйнування) і умови охолодження інструмента.

Енергетичний підхід дозволяє з єдиних позицій розглядати й проводити розрахунки таких взаємозалежних критеріїв, що достатньо об'єктивно характеризують процес руйнування, продуктивність, питомі витрати енергії, стійкість інструмента.

Показники продуктивності можуть бути визначені з енергетичного принципу, що є лінійною залежністю кількості диспергованого матеріалу від механічної енергії сил алмазно-абразивного руйнування:

$$W = K \cdot P_p \cdot L_p, \quad (1)$$

де $W = b \cdot h \cdot l$ об'єм зруйнованого матеріалу; b, h, l – ширина, висота (глибина) і довжина зони руйнування або пропила, м; $P_p = \mu_p^n \cdot P_n$ – сила різання, Н; μ_p^n – коефіцієнт алмазно-абразивного різання породи; P_n – сила нормального тиску інструмента на породу, Н; $L_p = V_p \cdot t$ – сумарний шлях різання, м; V_p – швидкість різання (лінійна швидкість переміщення інструмента щодо породи), м/с; t – час взаємодії, с; $k =$

$\frac{1}{E_n}$ – коефіцієнт пропорційності, величина зворотна енергоємності руйнування матеріалу породи E_n ,

тобто фізичній константі матеріалу, що характеризує його в'язко-міцнісні властивості.

З рівняння (1) визначаємо три взаємозалежних показники продуктивності процесів алмазно-абразивного руйнування породи:

– об'ємна продуктивність руйнування:

$$Q = \frac{W}{t} = K \cdot P \cdot V_p; \quad (2)$$

– продуктивність розпилювання:

$$\Pi = \frac{Q}{b} = k \frac{P_p V_p}{b}; \quad (3)$$

– швидкість подачі інструмента:

$$V_n = \frac{Q}{bl} = \frac{n}{l} = k \frac{P_p V_p}{bl}. \quad (4)$$

Перший показник продуктивності (3) застосовується для характеристики процесу шліфування, а також для порівняльної оцінки ефективності при розпилюванні природного каменю різними способами (дисковими, штрипсовими, канатними пилами та ін.). Другий показник характеризує продуктивність розпилювання алмазно-абразивних пил, а третій поряд з характеристикою процесів розпилювання застосовується як показник інтенсивності алмазного буріння. Основні режимні параметри, що характеризують процес розпилювання: швидкість різання, швидкість робочої подачі, глибина різання, довжина пропилу, тиск різання, витрата охолоджуючої рідини. Принципова схема канатного розпилювання наведена на рисунку 1.

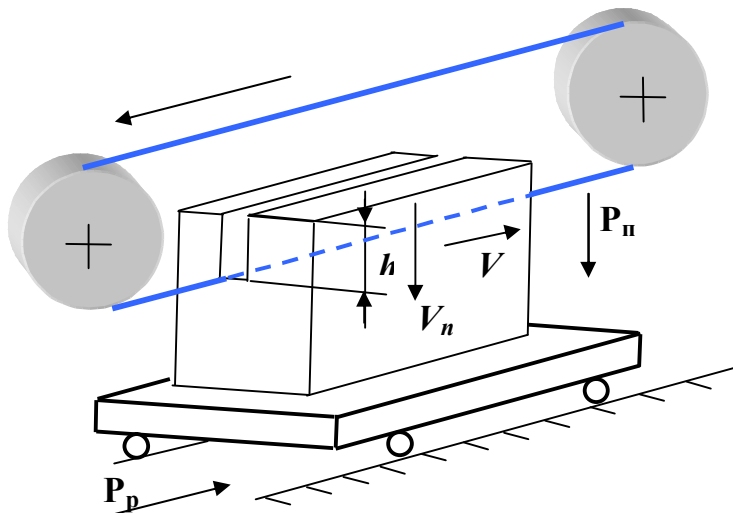


Рис. 1. Принципова схема канатного розпилювання:

V_p – швидкість різання, м/с; V_n – швидкість робочої подачі, м/с; h – глибина різання, м; P_n – тиск різання, Н; P_p – зусилля різання, Н

Оскільки режимні параметри верстата визначають продуктивність, матеріало- та енергомісткість різання, а відповідно й економічну ефективність процесу, то вивчення їх впливу на продуктивність є першочерговою задачею нашої роботи.

Серед розглянутих вище режимних параметрів керованими є швидкість різання, тиск різання і витрата охолоджувальної рідини. Слід також зазначити, що вплив тиску різання є другорядним, в той час, як швидкість різання визначає швидкість робочої подачі, глибину різання і зусилля різання.

Тому досить актуальним є вивчення впливу швидкості різання на продуктивність розпилювання і на питому витрату алмазів, оскільки ці показники значною мірою визначають економічну ефективність алмазно-канатного розпилювання.

Одним із основних параметрів, від якого залежить продуктивність різання є швидкість різання. Дослідимо її вплив на продуктивність розпилювання. Конструкція верстата моделі “4000/15” дозволяє регулювати швидкість різання (периферичну) в межах 22–28 м/с. Проведемо вплив швидкості різання на

продуктивність при розпилюванні блока Жезелівського граніту. Продуктивність різання ми будемо вимірювати за допомогою секундоміра і спеціального пристрою, який дозволяє вимірювати глибину пропилю дистанційно. Такий спосіб вимірювання глибини пропилю дозволить без зупинки виробничого процесу оцінити вплив швидкості різання на продуктивність.

Принципова схема пристрою для дистанційного вимірювання продуктивності показана на рисунку 2.

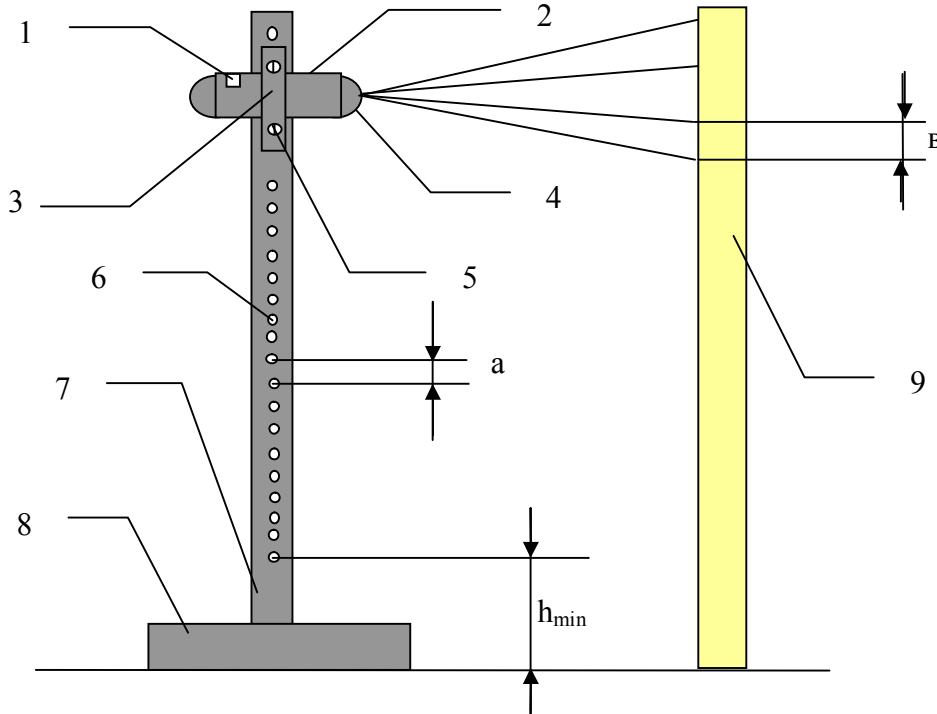


Рис. 2. Принципова схема пристрою для дистанційного вимірювання продуктивності різання

Пристрій складається з основи 8, вертикальної стійки 7, у якій на відстані a просвердлені отвори діаметром 6 мм, лазерної указки 2, на якій встановлена розсіювальна насадка 4. Лазерна указка кріпиться до вертикальної стійки за допомогою хомута 3, який фіксується на стійці за допомогою болтів 5. Вмикається пристрій за допомогою перемикача 1. При вмиканні приладу на поверхню, що досліджується 9 проєктується розсіяний лазерний промінь у вигляді квадратної сітки, відстань v між лініями якої залежить від відстані від насадки до об'єкта, що досліджується (на відстані $3 \text{ м } v = 3 \text{ см}$).

Схема проведення експерименту показана на рисунку 3.

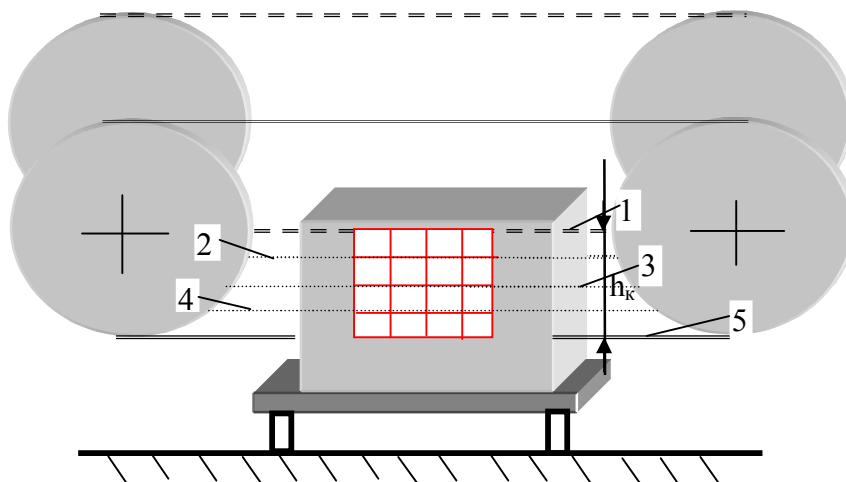


Рис. 3. Схема виконання вимірювань

За допомогою описаного вище пристрою на поверхню блока перед початком розпилювання проектується квадратна сітка з відомими параметрами ($b = 3$ см). Сітку розміщуємо трохи нижче верхньої грані блока, для того, щоб виключити з дослідження стадію запилювання каната, яка за своїми параметрами відрізняється від безпосереднього розпилювання, і на даному етапі досліджень не враховується. Після того, як алмазний канат досягне верхньої межі спроектованої сітки (позиція 1) здійснюється відлік за секундоміром і записується виміряне значення при досягненні канатом другої горизонтальної смуги (позиція 2), не зупиняючи секундомір, після цього аналогічні операції виконують при досягненні канатом наступних горизонтальних смуг (позиції 3–5). Таким чином отримується чотири значення відрізків часу, за які канат виконує різання певної площі. Площа пропилу визначається як добуток відстані між смугами (у даному випадку 3 см) на довжину блока. Як об'єкт дослідження був використаний гранітний блок Жежелівського родовища (межа міцності на стискання 143 МПа). Розпилювання здійснювалось алмазним канатом, діаметр якого 11 мм. Розміри блока 2 x 1 x 1 м.

Для дослідження впливу швидкості різання на продуктивність в кожному пропили були прийняті різні швидкості 22 м/с, 23 м/с, 24 м/с, 25 м/с, 26 м/с, 27 м/с, 28 м/с. Результати експерименту наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Дослідження залежності продуктивності від швидкості різання

Швидкість різання, м/с	Відлік за секундоміром при глибині пропилу відносно лазерної сітки, см					Продуктивність, м/год.	Продуктивність, м ² /год.
	3	6	9	12	середній		
22	210	211	214	213	212	0,51	1,02
23	206	210	208	207	208	0,52	1,04
24	202	204	203	202	203	0,53	1,06
25	196	199	200	197	198	0,55	1,09
26	196	197	196	198	197	0,55	1,10
27	195	196	194	196	195	0,55	1,11
28	193	192	192	191	192	0,56	1,13

Графічно залежність продуктивності розпилювання від швидкості різання представлено на рисунку 4.

Аналітично залежність продуктивності від швидкості різання можна описати залежністю вигляду:

$$Q = 0,018 \cdot v_p + 0,6268, \quad (5)$$

де Q – продуктивність розпилювання, м²/год.; v_p – швидкість різання, м/с.

Залежність отриманих параметрів характеризується коефіцієнтом кореляції 0,96, що свідчить про досить тісний взаємозв'язок отриманих результатів.

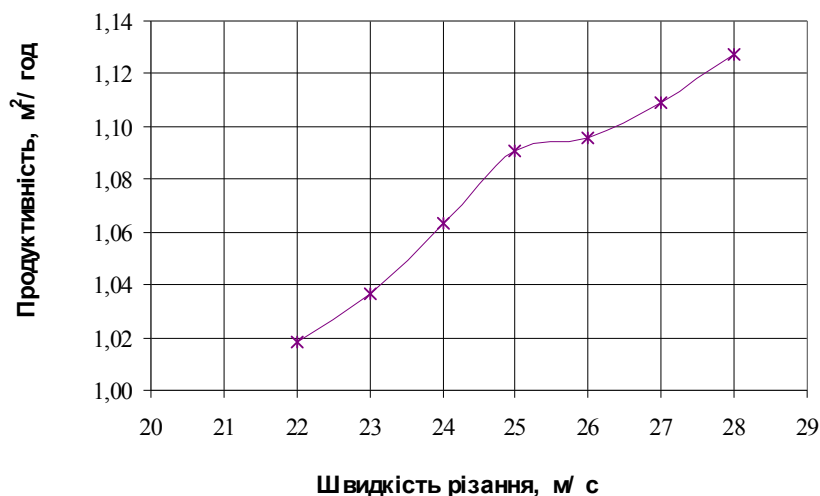


Рис. 4. Залежність продуктивності розпилювання від швидкості різання

Дослідження отриманого графіка залежності продуктивності розпилювання від швидкості різання свідчить про те, що для Жежелівського граніту продуктивність рівномірно зростає при збільшенні швидкості різання до 25 м/с, після чого динаміка зростання значно погіршується. Це можна пояснити погіршенням умов експлуатації інструмента (погіршення охолодження, збільшення питомого навантаження тощо).

Отже, досить нагальним є дослідження впливу конструкції інструмента на ефективність розпилювання.

В першу чергу необхідно дослідити залежність витрати алмазу від швидкості різання.

Розглянемо послідовність визначення маси алмазів. Об'єм алмазоносної частини рівний:

$$V = \pi \cdot L \cdot (R_1^2 - R_2^2), \quad (6)$$

де L – довжина різального елемента; R_1 і R_2 – зовнішній і внутрішній радіуси алмазоносного шару.

Далі знаходиться об'єм V_a , який займають алмази в алмазоносному шарі при певній концентрації K . При 100 % концентрації, незалежно від виду зв'язки і зернистості, алмазні зерна займають 0,25 об'єму алмазоносного шару.

Маса алмазів в одному елементі буде дорівнювати:

$$G = \gamma V_a = 0,25 \gamma V K, \quad (7)$$

де γ – густина алмазів.

Визначимо масу алмазів в різальному елементі.

Для різання використано алмазний канат фірми “Діамант Ді” (Україна). У даному випадку зовнішній і внутрішній радіуси алмазоносного шару рівні відповідно 11 і 10 мм. Довжина різального елемента – 10 мм.

Об'єм алмазоносного шару в см^3 складає:

$$V = 3,14 \cdot 1,0 \cdot (1,1^2 - 1,0^2) \approx 0,659. \quad (8)$$

Концентрація алмазів дорівнює 75 %. В цьому випадку об'єм, який займають алмази в алмазоносному шарі, в см^3 складає:

$$V_a = 0,659 \cdot 0,25 \cdot 0,75 \approx 0,124. \quad (9)$$

Маса алмазів в г буде дорівнювати:

$$G = 3,52 \cdot 0,124 \approx 0,435, \quad (10)$$

де густина природних алмазів – 3,52 $\text{г}/\text{см}^3$.

Маса алмазів в каратах (одиниця маси – карат дорівнює 0,2 г): $0,229 : 0,2 = 2,176$.

Для знаходження питомої витрати алмазів в інструменті визначається лінійний знос алмазних різальних елементів шляхом вимірювання їх діаметра до і після роботи.

Довжина алмазного каната 17,6 м, крок установки алмазних сегментів 35 мм, кількість алмазних сегментів в контурі 503 шт. Дослідження проводились при розпилюванні блока Жежелівського граніту розміри 2 x 1 x 1 м на плити товщиною 20 мм. Заміри витрат інструмента здійснювались за допомогою мікрометра після виконання кожних 5 пропилів, що відповідає площі різання 10 м^2 .

Питома витрата алмазів по робочому контуру, віднесена до одиниці поверхні розпилю, дорівнює:

$$q = \frac{\Delta G \cdot n_c}{S_p} \text{ карат/м}^2, \tag{11}$$

де ΔG – різниця між масою алмазів до початку розпилювання і після закінчення, карат; n_c – кількість алмазних сегментів в контурі, шт.; S_p – площа розпилу, м².

Результати виконаного дослідження наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати виконаного дослідження

Швидкість різання, м/с	Радіус алмазного сегмента, мм		Об'єм алмазоносного шару, см ³	Маса алмазів G, карат	ΔG , карат	Питома витрата алмазів, карат/м ²
	початковий	кінцевий				
0	11,000	11,000	0,659	2,176	–	–
22	11,000	10,999	0,659	2,174	0,002	0,115
23	10,999	10,998	0,658	2,171	0,002	0,115
24	10,998	10,996	0,657	2,167	0,005	0,229
25	10,996	10,993	0,655	2,160	0,007	0,344
26	10,993	10,989	0,652	2,151	0,009	0,458
27	10,989	10,984	0,648	2,140	0,011	0,573
28	10,984	10,978	0,644	2,126	0,014	0,687

Графічна залежність витрат алмазів від швидкості різання для Жежелівського граніту представлена на рисунку 5.

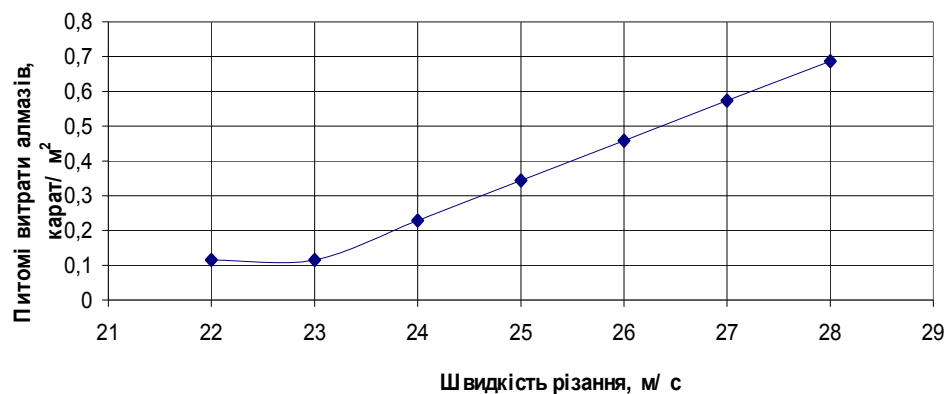


Рис. 5. Залежність питомих витрат алмазів від швидкості різання при алмазно-канатному розпилюванні високоміцних гранітів

Аналітично розглянуту вище залежність можна описати рівнянням такого вигляду:

$$q = 0,0068 \cdot V_p^2 - 0,2389 \cdot V_p + 2,0418, \text{ карат/м}^2. \tag{12}$$

Коефіцієнт кореляції 0,92, що свідчить про досить тісний зв'язок між параметрами, що досліджуються.

Висновки. Аналіз отриманих результатів (рис. 5) дозволяє зробити висновок, що найбільш оптимальними швидкостями різання при розпилюванні високоміцних гранітів є 22–23 м/с. При подальшому збільшенні швидкості різання спостерігається чітка тенденція до збільшення витрати інструмента, що призводить до значного збільшення собівартості розпилювання і тому є небажаним.

Отже, зіставивши отримані результати впливу швидкості різання на продуктивність і витрати алмазів, можна зробити висновок, що для розпилювання високоміцних гранітів швидкість різання недоцільно збільшувати вище 23 м/с.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Барский А.А. Расчет параметров блоков природного камня / А.А. Барский // Строительные материалы. – 1988. – № 7. – С. 15–16.

2. *Александров В.А.* Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом / *Александров В.А.* – К. : Наукова думка, 1979. – 239 с.
3. *Берлин Ю.Я.* Обработка строительного декоративного камня / *Ю.Я. Берлин, Ю.И. Сычев, И.Я. Шалиев.* – Л. : Стройиздат, 1979. – 232 с.
4. *Картавий Н.Г.* Оборудование для производства облицовочных материалов из природного камня / *Н.Г. Картавий, Ю.И. Сычев, И.В. Волуев.* – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
5. *Першин Г.Д.* Пути повышения эффективности распиловки природного камня алмазно-дисковыми пилами по системе “Skaleta” / *Г.Д. Першин, С.И. Чоботарев* // Добыча, обработка и применение природного камня : сб. науч. тр. – Магнитогорск : МГТУ, 2002. –С. 117–129.
6. *Бакка Н.Т.* Инструмент и материалы для добычи и обработки природного камня / *Н.Т. Бакка, П.П. Мельничук.* – Житомир : ЖИТИ, 2002. – 436 с.

ШЛАПАК Володимир Олександрович – старший викладач кафедри геотехнологій ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- розробка родовищ будівельних корисних копалин;
- технологія обробки природного облицовального каменю.

Подано 06.06.2011

