

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НВЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ І БЕТОНІ

*Г.П. Іванова, В.В. Коваленко, С.О. Барсукова. Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна*

Наведено результати дослідження впливу умов мікрохвильового випромінювання на зміну фізико-механічних властивостей будівельних розчинів та бетонів. Застосування НВЧ-випромінювання при видаленні води з внутрішніх шарів бетонної або розчинної суміші, за рахунок впливу на молекули води надвисокочастотного випромінювання призводить до підвищенні міцності виробів на основі розчинів цементу. Розглянута можливість використання НВЧ-випромінювання з метою руйнування не тільки бетону та інших будівельних матеріалів, але і гірських порід.

Традиційні способи впливу на гірські породи, оснований на їх механічному руйнуванні, практично приблизились до межі своїх технічних можливостей.

На сьогоднішній день з розробки нових методів руйнування гірських порід виділяються фізичні способи: електроімпульсне буріння, буріння лазером, електротермічні способи, а також представляють інтерес застосування НВЧ при руйнуванні гірських порід.

В даний час мікрохвильове випромінювання (НВЧ) представляє великі можливості для застосування в гірській справі. Основні напрямки використання енергії надвисоких частот:

- відтавання мерзлих ґрунтів;
- дезінтеграція і подрібнення порід, поділ руди на складові;
- повне вилучення металів з відходів та шлаків [1];

Мікрохвильове випромінювання має ряд переваг:

- швидкий і безконтактний нагрів;
- передача енергії, а не передача тепла;
- рівномірний нагрів;
- високий рівень безпеки та автоматизації.

Слід зазначити, що спосіб руйнування твердих структур із застосуванням НВЧ розробляється стосовно до гірських порід. Вивченням руйнівного впливу НВЧ-випромінювання на будівельні матеріали, зокрема на бетони та будівельні розчини, практично ніхто не займався, як і не об'єднували в єдину дію такі параметри, як потужність випромінювання, тривалість дії та вплив вологості на фізико-механічні властивості ані гірських порід, ані бетонів. Розробка основ способу руйнування твердих структур за допомогою НВЧ-випромінювання дозволить знизити енергоємність процесу руйнування та подрібнення різноманітних матеріалів, а також зробити значний крок у технологічне майбутнє і розвиток гірничо-видобувної галузі [2, 3].

У роботах Петрова В.М. [4] зроблено огляд застосування потужних джерел електромагнітного поля НВЧ в гірничій промисловості для руйнування гірських порід, наведені діелектричні характеристики мінералів, розглянуто механізм термомеханічного руйнування породи НВЧ полем і вимоги до режиму втрати міцності перед помелом, а також описані результати пробних експериментів.

У свою чергу в дослідженнях Н. Satish [5] вказується на позитивний вплив низькоенергетичних значень мікрохвильового випромінювання в діапазоні 150 Вт на виникнення термічних тріщин в структурі зразків базальтових порід. У роботах D.A. Jones [6] вказується на значне зниження міцності порід при використанні НВЧ-випромінювання в процесах подрібнення, що було досягнуто при впливі мікрохвильової енергії менше 0,4 кВт · год/т у порівнянні зі споживанням енергії близько 15 кВт · год/т при звичайному подрібненні.

В іншій своїй роботі D.A. Jones [7] моделює попереднє виникнення термальних тріщин в зразках рудних порід від дії НВЧ-випромінювання для полегшення їх подальшого руйнування.

В роботі Rejman Nekoovaght [8] вказує, що мікрохвилі проникають в породу і створюють

макро / мікроруйнування на поверхні гірських порід через коефіцієнт теплового розширення всередині зерен, що полегшує процес руйнування.

Так само цікавий той факт, що вплив НВЧ - випромінювання на незатверділу бетонну або розчинну суміш має зовсім інший результат.

У процесі приготування розчину на основі цементу здійснюють опромінення розчину електромагнітним полем після його змішування з водою. Якщо при тепловій обробці відбувалося нагрівання верхніх шарів матеріалу і подальша передача тепла від більш нагрітих шарів до менш нагрітих, то при обробці НВЧ - випромінюванням відбувається внутрішнє нагрівання бетонної або розчинної суміші. Опромінення розчину здійснюють електромагнітним полем надвисокої частоти, що супроводжується нагріванням розчину.

Доцільно застосування НВЧ-випромінювання при видаленні води з внутрішніх шарів бетонної або розчинної суміші, за рахунок впливу на молекули води надвисокочастотного випромінювання, результат полягає в підвищенні міцності виробів на основі розчинів цементу [9,10].

Дослідження Аржаннікова А.В., Биченкова В.А. та інших носять дещо розрізнений характер. В роботі [11] сформульовані вимоги до НВЧ - генератору, визначено діапазон електродинамічних параметрів, в межах якого використання НВЧ-випромінювання для руйнування бетону найбільш ефективно.

Перспективним напрямком науково-технічного дослідження є вивчення впливу умов дії мікрохвильового випромінювання на зміну фізико-механічних властивостей матеріалів.

У даній роботі зроблена спроба дослідити вплив наступних параметрів: потужності випромінювання, тривалості впливу випромінювання та вологості досліджуваних цементно-піщаних зразків на процес їх руйнування. Це дозволить отримати наукову базу для використання НВЧ випромінювання з метою руйнування не тільки бетону та інших будівельних матеріалів, але і гірських порід.

Метою даної наукової роботи є дослідження впливу умов мікрохвильового випромінювання на зміну фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів, а також проблема оцінки якості забезпечення стабільності міцності цих матеріалів.

Для цього був проведений експеримент, в результаті якого досліджувався вплив НВЧ-випромінювання, його тривалість і потужність на характеристики міцності зразків.

В роботі використовувалися наступні методи дослідження: метод дослідження впливу режимів НВЧ нагріву на кінетику властивостей виробу, метод визначення меж міцності бетонів на стиск, метод порівняльного аналізу, метод аналогій.

В роботі було використано наступне обладнання:

- випробувальний прес компанії Tecnotest (рис. 1)

- НВЧ-піч марки Fairline з діапазоном випромінювання: мінімальний - 100 Вт, середній - 500 Вт, максимальний - 900 Вт.

У якості зразків були використані цементно-піщані кубики розміром $5 \times 5 \times 5$ см. Ці кубики були попередньо приготовлені з необхідної кількості цементно-піщаного розчину за складом 1: 3 (по масі) при водоцементному відношенні $V / Ц = 0,45$. Кількість компонентів дозувались з використанням електронних ваг. Отриманою сумішшю розчину нормальної консистенції заповнювалися форми - кубики. Потім кожену форму вібрували на вібростолі протягом 15 секунд. Дана рецептура була використана при виготовленні всіх кубиків, які використовувалися в дослідженнях.

Після витримки кубиків в формочках протягом доби, формочки розбирали і кубики поміщали в шафу з вологою тирсою для витримки кубиків і набору міцності протягом решти 27 діб. Після 28 діб кубики були готові для проведення експерименту.

Для проведення експерименту були приготовлені 24 цементно-піщаних кубиків.

Експеримент полягав у визначенні впливу потужності НВЧ-випромінювання і тривалості його впливу на зміну міцності сухих (природної вологості) зразків і зразків, насичених водою.

В ході експерименту було проведено випробування на міцність на одновісний стиск сухих і насичених водою зразків, попередньо підданих дії НВЧ випромінювання (мінімальної, середньої і максимальної потужності) в діапазоні часу від 1 до 3 хвилин.



Рис. 1. Прес випробувальний Tecnotest KL-200 / R

На першому етапі експерименту були взяті 6 кубиків (3 сухих і 3 насичених водою) - контрольних зразків, які не піддавалися впливу СВЧ-випромінювання. На випробувальному пресі була визначена їх міцність (рис. 2).



Рис. 2 Випробування зразків кубиків на пресі

За результатами 3 - х випробувань середнє значення міцності склало:
 - для сухих (природної вологості) зразків 37,2 МПа;
 - для насичених водою зразків 30,5 МПа.

На другому етапі експерименту були взяті 9 кубиків, які протягом 2 годин насичувались водою. Насичені водою кубики були схильні до НВЧ випромінювання протягом 1, 2 і 3 хвилин на мінімальній, середній і максимальній потужності. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Час впливу НВЧ - випромінювання	Міцність мокрих зразків Міцність насичених водою зразків, МПа		
	Потужність 100 Вт	Потужність 500 Вт	Потужність 900 Вт
1 хвилина	29,64 (2,78)	28,53 (6,42)	26,16 (14,20)

2 хвилини	27,65 (9,31)	27,11 (11,08)	22,92 (24,82)
3 хвилини	26,5 (13,08)	17 (44,24)	16,12 (47,13)

*- в дужках вказана втрата міцності в % щодо контрольних зразків.

Таблиця 2.

Міцність сухих зразків.

Час впливу НВЧ - випромінювання	Міцність зразків природної вологості (сухих), МПа		
	Потужність 100 Вт	Потужність 500 Вт	Потужність 900 Вт
1 хвилини	36,16 (2,7)	36,08 (2,9)	32,23 (13,3)
2 хвилини	34,65 (6,8)	32,05 (13,8)	28,33 (23,8)
3 хвилини	33,91 (8,8)	27,7 (25,5)	27,33 (27,03)

*- в дужках вказана втрата міцності в % щодо контрольних зразків.

Після проведення дослідів встановлена залежність міцності цементно-піщаних кубиків від потужності НВЧ випромінювання і часу його впливу на зразки, яка представлена у вигляді діаграм (рис. 3, 4.)

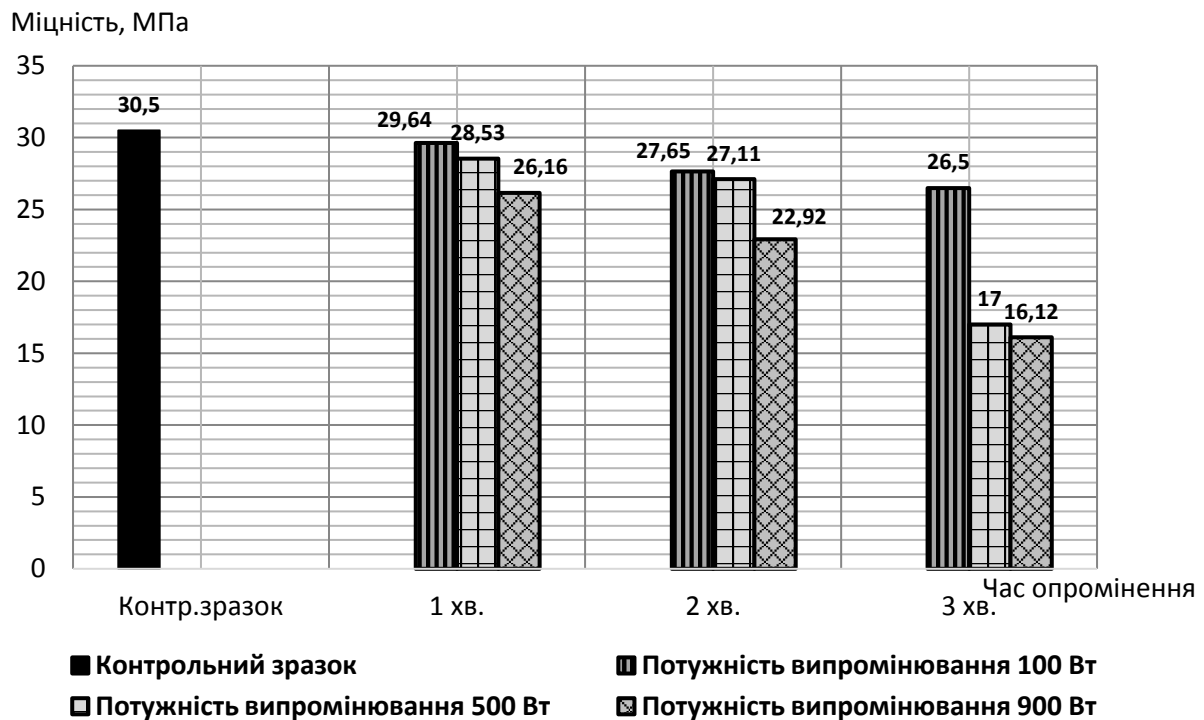


Рис. 3. Зниження міцності зразків насичених водою в залежності від потужності НВЧ - випромінювання і тривалості впливу

Ступінь зниження середніх параметрів міцності цементно-піщаних зразків є значно більшою для насичених водою кубиків, ніж для зразків з природною вологістю. Порівнюючи відповідні діаграми на рис. 3 та рис. 4 можна зробити висновки, що після насичення цементно-піщаних зразків водою вони втрачають міцність, що слідує із показників контрольних зразків. Обробка зразків НВЧ - випромінюванням в більшій мірі впливає на насичені водою зразки через те, що наявна в значній кількості вода в структурі бетонного тіла негативно впливає на міцність зразка через те, що при нагріві під впливом мікрохвильового випромінювання молекули води розпочинають активний рух (коливання в межах окремих кластерів), при чому в ході цього руху відбувається формування мікро порушень.

Вплив мікрохвильового випромінювання на цементно-піщані зразки природної вологості (сухі) призводить до зниження в них міцності від 2,7% до 13% при діапазоні НВЧ-

випромінювання від 100 до 900 Вт протягом 1 хвилини, до 8,8% - 27% в тих же діапазонах потужності випромінювання при впливі протягом 3-х хвилин (див. табл. 1, 2).

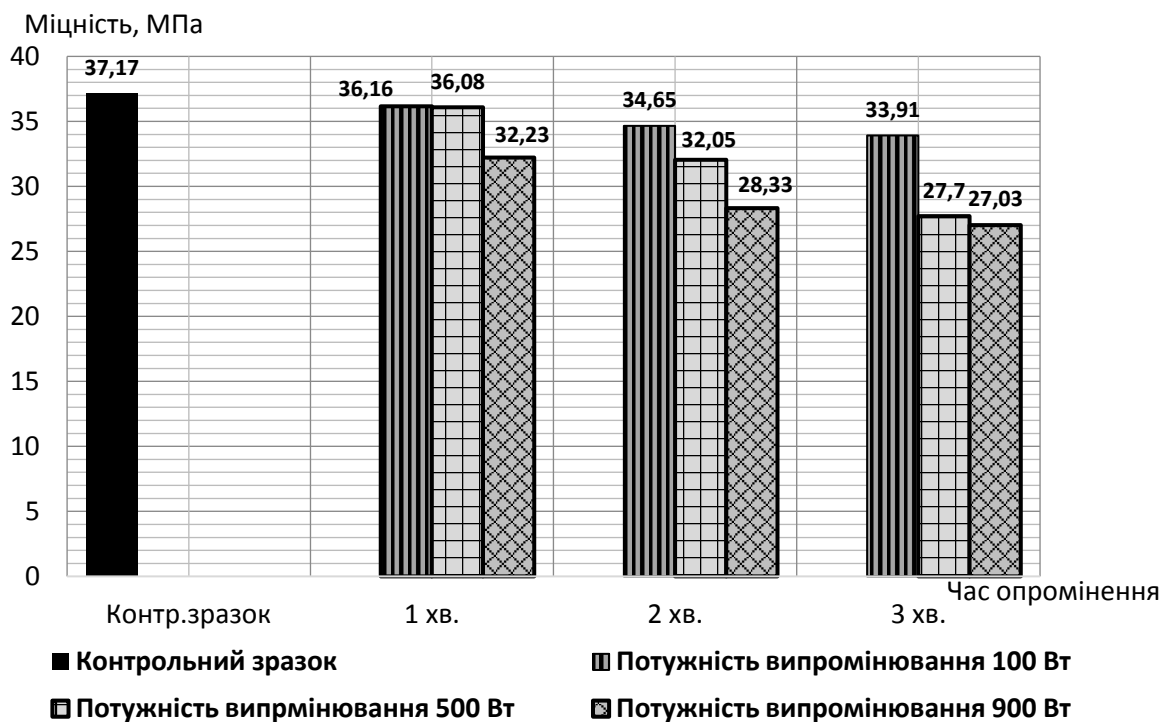


Рис. 4. Зниження міцності зразків природної вологості (сухих) в залежності від потужності НВЧ - випромінювання і тривалості впливу.

Найбільший вплив НВЧ-випромінювання на зниження міцності зразків (при потужності випромінювання 900 Вт і тривалості його дії 3 хвилини) спостерігається при попередньому замочуванні зразків – зниження в міцності до 47% в порівнянні з 27% зниження міцності при сухих зразках.

Найбільші руйнівні впливи НВЧ-випромінювання на цементно-піщані зразки досягнуті при значеннях потужності випромінювання від 500 до 900 Вт протягом впливу від 2-х до 3-х хвилин.

Висновки. В ході проведених досліджень виявлено, що найбільший вплив НВЧ-випромінювання на формування штучних тріщин та мікропорушень в цементно-піщаних зразках спостерігається при попередньому насиченні кубиків водою, використанні мікрохвильового випромінювання потужністю від 500 до 900 Вт і опроміненні зразків впродовж 3 хвилин.

При менших термінах опромінення спостерігається дещо менші показники втрати цементно-піщаними зразками початкової міцності контрольних зразків. Слід відзначити що контрольний зразок насичений водою мав лише 82% міцності сухого зразка.

Зволоження цементно-піщаного розчину перед наступним опроміненням мікрохвильовим випромінюванням сприяє створенню в бетонному тілі мікропорушень і, відповідно, спрощує процес руйнування.

Рекомендовані параметри обробки зразків для полегшення процесу руйнації дрібнозернистого бетону:

- попереднє насичення бетону водою;
- потужність НВЧ-випромінювання для отримання найкращих результатів 900 Вт;
- тривалість обробки випромінюванням 2-3 хв.

При відсутності можливості насичення бетону водою, ефект від дії мікрохвильового випромінювання потужністю 900 Вт при тих самих термінах опромінення (2 - 3 хв.) буде на 62 - 65 % менший (остаточна міцність сухих зразків складатиме 27 МПа, проти 17 МПа для вологих зразків).

Проведені дослідження, на наш погляд, перспективні при вирішенні актуальної екологічної проблеми атомної енергетики - очищення і "реабілітації" будівель, забруднених радіоактивними відходами. В основі такого методу очищення лежать два процеси: 1) відколи на вільній поверхні під дією ударної хвилі, що генерується при локальному нагріві поверхневого шару твердого тіла потужним НВЧ-випромінюванням; 2) крихке руйнування приповерхневого шару при зсувній деформації через сильну анізотропність напруженого стану. До безперечних переваг методу очищення з використанням потужних імпульсних потоків НВЧ-випромінювання відносяться дистанційне керування процесом, яке гарантуватиме відсутність прямого контакту персоналу з радіоактивними забрудненнями, відносна безпека використовуваного в технології електромагнітного випромінювання і, нарешті, можливість створення мобільної установки. У зв'язку з вищесказаним становить інтерес визначення характерних параметрів НВЧ-випромінювання, що забезпечує руйнування поверхневого шару бетону, який використовується на атомних станціях.

Можливе використання НВЧ-випромінювання в технології виготовлення бетонів, залізобетонів, будівельних розчинів та сумішей. Надалі ці дослідження можна розширити і провести дослідження визначення можливості використання НВЧ - випромінювання в якості способу руйнування скельних порід.

Список літератури

1. Рахманкулов Д.Л., Шавшукова С.Ю., Вихарева И.Н., Чанышев Р.Р. Опыт применения энергии микроволн в горном деле. // Башкирский химический журнал. Том 15 №2 - 2008 г., с.114-117.
2. А. П. Иванова. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона. / Иванова А.П., Труфанова О.И. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту», №5 (53) Днепропетровск – 2014, с. 150-156.
3. Иванова А.П. К вопросу о причинах разрушения надшахтных сооружений. / Иванова А.П., Фалина О. В.// Збірник наукових праць. Вісник НТУ України «Київський політехнічний інститут». Випуск 25, Київ – 2014, с. 82 - 87
4. Петров В.М. Новые применения радиоэлектроники: разупрочнение горных пород мощным электромагнитным полем СВЧ. // Радиоэлектроника и Телекоммуникации. – 2002. - №2(20) с. 35 – 41, №3 (21) с. 49 – 55, №4 (22) с. 63-73.
5. H. Satish, J. Ouellet, V. Raghavan and P. Radziszewski: Investigating microwave assisted rock breakage for possible space mining applications// Mining Technology, 2006, Vol. 115, p.34-40.
6. D.A. Jones, S.W. Kingman, D.N. Whittles, I.S. Lowndes: The influence of microwave energy delivery method on strength reduction in ore samples// Chemical Engineering and Processing 46 (2007), p. 291-299.
7. D.A. Jones, S.W. Kingman, D.N. Whittles, I.S. Lowndes: Understanding microwave assisted breakage//Minerals Engineering, 18 (2005), p.659–669.
8. Pejman Nekoovaght, Nima Gharib, and Ferri Hassani: Microwave Assisted Rock Breakage for Space Mining// American Society of Civil Engineers <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479179.044>
9. Диденко А.Н., Дмитриев М.С., Коляскин А.Д. Высокотемпературное воздействие СВЧ-излучения на несовершенные диэлектрики // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2008, №2, с. 55-63.
10. Ревенко Б. С. Получение ячеистых бетонов с привлечением СВЧ-технологий // «Молодой учёный» - 2017. - № 14 (148) с. 118 - 119
11. А. В. Аржанников, В.А. Быченков, П.В. Калинин, Г.В. Коваленко, В.С. Койдан, Ю.Н. Лазарев, К. И. Меклер, П. В. Петров, А. В. Петровцев. О возможности разрушения поверхности бетона мощными импульсами СВЧ-излучения // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т. 41, №3, с. 26 – 33.