

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.32/34-046.55

А. П. ИВАНОВА^{1*}, С. О. БАРСУКОВА^{2*}, А. В. ХАЛИМЕНДИК^{3*}, А. Н. ЧУМАК^{4*}

^{1*}Каф. «Строительство, геотехника и геомеханика», Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницкого, 19, Днепро, Украина, 49000, тел. +38 (050) 452 99 45, эл. почта ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

^{2*}Каф. «Строительство, геотехника и геомеханика», Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницкого, 19, Днепро, Украина, 49000, тел. +38 (050) 482 36 14, эл. почта sofikoivanova@gmail.com, ORCID 0000-0003-0821-1091

^{3*}Каф. «Строительство, геотехника и геомеханика», Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницкого, 19, Днепро, Украина, 49000, тел. +38 (050) 905 42 62, эл. почта khalymendyk.o.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-1311-1135

^{4*}Каф. «Строительство, геотехника и геомеханика», Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницкого, 19, Днепро, Украина, 49000, тел. +38 (050) 854 25 58, эл. почта rotwespe@gmail.com, ORCID 0000-0003-4584-4111

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ

Цель. В данной работе предполагается исследовать влияние условий и параметров микроволнового излучения на изменение физико-механических свойств строительных материалов, в частности оценить стабильность их прочностных характеристик. **Методика.** Были использованы следующие методы: исследование влияния СВЧ-нагрева на кинетику свойств изделий; определение предела прочности растворов и бетонов на сжатие; сравнительный анализ. В качестве образцов были избраны цементно-песчаные кубики размером 5×5×5 см, изготовленных согласно ДСТУ Б В.2.7-187:2009, с выдержкой для приобретения ими марочной прочности в течение 28 суток. **Результаты.** Эксперимент заключался в определении влияния мощности СВЧ-излучения и продолжительности его воздействия на изменение прочностных характеристик сухих (естественной влажности) образцов и образцов, насыщенных водой. В ходе эксперимента было проведено испытание на прочность при одноосном сжатии сухих и насыщенных водой образцов, предварительно подвергнутых воздействию СВЧ-излучения (минимальной, средней и максимальной мощности) в диапазоне времени от 1 до 3 мин. Наибольшие разрушающие воздействия СВЧ-излучения на цементно-песчаные образцы достигнуты при значениях мощности от 500 до 900 Вт и продолжительности 2–3 мин.

Научная новизна. В данной работе исследовано влияние мощности СВЧ-излучения и продолжительности его воздействия на процесс разрушения цементно-песчаных образцов. **Практическая значимость.** Установлено, что обработка материалов СВЧ-излучением облегчает процесс их разрушения. Предложенная технология позволит получить научную базу для использования СВЧ-излучения с целью разрушения не только бетона и других строительных материалов, но и горных пород. Также перспективным направлением является изучение обратной задачи – применение СВЧ-излучения при растворении бетонной или другой строительной смеси водой, что в дальнейшем, после ее затвердевания, приведет к повышению прочности изделий.

Ключевые слова: СВЧ-излучение; образцы цементно-песчаных кубиков; эксперимент; мощность излучения; прочность; процесс разрушения

Введение

В настоящее время СВЧ-энергетика играет существенную роль во многих отраслях экономики. Она относится к числу энергосберегаю-

щих, поэтому в последние годы наблюдается рост интереса к практическому использованию СВЧ-энергии в промышленных целях.

Основные направления использования энергии сверхвысоких частот:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- оттаивание мерзлых грунтов;
- разупрочнение и дробление пород;
- разделение руды на составляющие;
- полное извлечение металлов из отходов и шламов [7].

Микроволновое излучение имеет ряд преимуществ:

- быстрый и бесконтактный нагрев;
- практически к любому участку нагреваемого тела просто передается СВЧ-энергия, а не тепла;
- равномерный нагрев;
- обеспечивает возможность практически мгновенного выключения теплового воздействия на обрабатываемый материал;
- СВЧ-нагрев имеет высокий КПД преобразования СВЧ-энергии в тепловую энергию, теоретическое значение этого КПД близко к 100 %;
- высокий уровень безопасности и автоматизации.

Необходимо отметить, что способ разрушения твердых структур с использованием СВЧ разрабатывается применительно к горным породам. Изучением же разрушающего влияния СВЧ-излучения на строительные материалы, в частности на бетоны и затвердевшие растворы, практически никто не занимался, как и не объединяли воедино действие таких параметров, как мощность излучения, продолжительность воздействия и влияние влажности на их физико-механические свойства.

В работах В. М. Петрова [6] дан обзор применения мощных источников электромагнитного поля СВЧ в горной промышленности для разупрочнения горных пород, приведены диэлектрические характеристики минералов, рассмотрен механизм термомеханического разрушения породы СВЧ-полем и требования к режиму разупрочнения перед помолотом, а также описаны результаты пробных экспериментов.

В свою очередь в исследованиях Н. Satish [10] указано на положительное влияние низкоэнергетических значений микроволнового излучения в диапазоне 150 Вт на образование термических трещин в структуре образцов базальтовых пород.

В своей работе D. A. Jones [14] моделирует предварительное возникновение термальных трещин в образцах рудных пород от действия

СВЧ-излучения для облегчения их последующего разрушения.

Rejman Nekoovaght [12, 13] указывает, что микроволны проникают в породу и создают макро/микроразрушения на поверхности горных пород из-за коэффициента теплового расширения внутри зерен, что облегчает процесс разрушения.

Комплексные исследования, проведенные в работе [11] посвящены практическому применению механического разрушения горных пород при помощи микроволнового излучения, также представлено трехмерное моделирование влияния СВЧ - излучения на напряжения в образцах гранита.

В статье И. А. Женжуриста [3] показано, что микроволновая обработка полем СВЧ глинистых композиций положительно отражается на прочностных свойствах обожженных изделий.

Предварительные аналитические исследования, приведенные в работе [9], показывают, что при использовании СВЧ-излучения в области химии, строительных материалов особо важную роль наряду с объемным внутренним разогревом материала играет так называемый нетермический эффект.

Влияние СВЧ-излучения на незатвердевшую бетонную или растворную смесь имеет совершенно иной результат. В процессе приготовления раствора на основе цемента проводят его облучение электромагнитным полем после растворения водой.

Если при тепловой обработке происходило нагревание верхних слоев материала и последующая передача тепла от более нагретых слоев к менее нагретым, то при обработке СВЧ-излучением происходит внутренний нагрев бетонной или растворной смеси. Облучение раствора осуществляют электромагнитным полем сверхвысокой частоты, сопровождающееся нагревом раствора.

Целесообразно применение СВЧ-излучения при удалении воды из внутренних слоев растворной смеси за счет воздействия на молекулы воды, результат заключается в повышении прочности изделий на основе цементных растворов [1, 8].

Исследования Аржанникова А. В., Быченкова В. А. и других носят несколько разрозненный характер. В работе [5] сформулированы требования к СВЧ – генератору, определен диапазон

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

электродинамических параметров, в пределах которого использование СВЧ-излучения для разрушения бетона наиболее эффективно.

Перспективным направлением исследования является не только проблема оценки качества обеспечения стабильности прочностных характеристик материалов [4], но и влияние условий микроволнового излучения на изменение их физических свойств.

В данной работе сделана попытка исследовать влияние мощности излучения и продолжительности его воздействия на процесс разрушения цементно-песчаных образцов. Это позволит получить научную базу использования СВЧ-излучения для разрушения не только бетона и других строительных материалов, но и горных пород.

Цель

Основной целью данной научной работы является исследование влияния условий и параметров микроволнового излучения на изменение физико-механических свойств строительных материалов, в частности оценка стабильности их прочностных характеристик.

Для достижения этой цели необходимо экспериментально выявить влияние длительности и мощности СВЧ-излучения на прочностные характеристики образцов цементно-песчаного раствора.

Методика

В работе были использованы следующие методы: исследование влияния СВЧ-нагрева на кинетику свойств изделий; определение предела прочности растворов и бетонов на сжатие; сравнительный анализ. Для проведения эксперимента применена печь СВЧ марки «Fairline» с диапазоном излучения: минимальный – 100 Вт, средний – 500 Вт, максимальный – 900 Вт, а также пресс KL-200/R компании «Tecnotest».

В качестве образцов были избраны цементно-песчаные кубики размером 5×5×5 см. Их предварительно приготовили из необходимого количества цементно-песчаного раствора состава 1:3 (по массе) при водоцементном отношении В/Ц = 0,45. Количество компонентов дозировали с использованием электронных весов. Цемент с песком перемешивали в течение

1 мин. Затем в центре сухой смеси сделали лунку, в которую добавили воду в необходимом количестве. Вода впитывалась в смесь в течение 30 с, после чего смесь перемешивали вручную круглым шпателем в течение 8 мин (по нормам не менее 5 мин при перемешивании вручную).

Полученной растворной смесью нормальной консистенции заполнили формы – кубики. Затем каждую форму вибрировали на вибрационном столе в течение 15 с. Данная рецептура была использована при изготовлении всех кубиков для исследования. После выдержки в течение суток кубики извлекли из форм и поместили в шкаф с влажными опилками для приобретения прочности в течение 27 суток. После 28 суток выдержки кубики были готовы для проведения эксперимента [2].

Результаты

Для проведения эксперимента были приготовлены 24 цементно-песчаных кубика. Эксперимент заключался в определении влияния мощности СВЧ-излучения и продолжительности его воздействия на изменение прочностных характеристик сухих (естественной влажности) образцов и образцов, насыщенных водой.

В ходе эксперимента было проведено испытание на прочность при одноосном сжатии сухих и насыщенных водой образцов, предварительно подвергнутых воздействию СВЧ-излучения (минимальной, средней и максимальной мощности) в диапазоне времени от 1 до 3 мин.

Для эксперимента были взяты 6 кубиков (3 сухих и 3 насыщенных водой), которые не подвергались воздействию СВЧ-излучения и служили контрольными образцами. На испытательном прессе была определена их прочность. По результатам трех испытаний среднее значение прочности образцов составило:

- для сухих – 37,2 Н/мм²;
- для насыщенных водой – 30,5 Н/мм².

На следующем этапе эксперимента были взяты 9 кубиков, которые в течение 2 ч насыщались водой. Насыщенные водой кубики были подвержены СВЧ-излучению в течение 1, 2 и 3 мин на минимальной, средней и максимальной мощности. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Прочность насыщенных водой образцов

Table 1

Strength of water saturated samples

Время воздействия СВЧ-излучения	Прочность насыщенных водой образцов, МПа (Н/мм ²)		
	Мощность 100 Вт	Мощность 500 Вт	Мощность 900 Вт
1 мин	29,64 (2,78)*	28,53 (6,42)	26,16 (14,20)
2 мин	27,65 (9,31)	27,11 (11,08)	22,92 (24,82)
3 мин	26,5 (13,08)	17 (44,24)	16,12 (47,13)

* – в скобках указана потеря прочности в % относительно контрольных образцов

На последнем этапе эксперимента были использованы очередные 9 цементно-песчаных кубиков естественной влажности. Образцы были подвержены СВЧ-излучению в течение 1,

2 и 3 мин при минимальной, средней и максимальной мощности. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность сухих образцов

Table 2

Strength of dry samples

Время воздействия СВЧ-излучения	Прочность образцов естественной влажности (сухих), МПа (Н/мм ²)		
	Мощность 100 Вт	Мощность 500 Вт	Мощность 900 Вт
1 мин	36,16 (2,7)*	36,08 (2,9)	32,23 (13,3)
2 мин	34,65 (6,8)	32,05 (13,8)	28,33 (23,8)
3 мин	33,91 (8,8)	27,7 (25,5)	27,33 (27,03)

* – в скобках указана потеря прочности в % относительно контрольных образцов

Обработка образцов СВЧ-излучением в большей степени влияет на снижение прочности насыщенных водой образцов. Это происходит из-за того, что молекулы воды, находящейся в структуре растворной смеси, при нагреве под воздействием микроволнового излучения начинают активное движение (колебания в пределах отдельных кластеров), причем в ходе этого движения происходит формирование микронарушений.

Воздействие микроволнового излучения на цементно-песчаные образцы естественной влажности (сухие) приводит к снижению их прочности от 2,7 до 13 % при диапазоне СВЧ-излучения от 100 до 900 Вт в течение 1 мин, от 8,8 до 27 % при воздействии в тех же диапазо-

нах мощности в течение 3 мин (рис. 1).

Но следует отметить, что перспективным направлением дальнейших исследований является изучение обратной задачи, а именно применение СВЧ-излучения при растворении бетонной или другой смеси водой, что в дальнейшем, после ее затвердевания, приведет к повышению прочности изделий.

Наибольшее воздействие СВЧ-излучения на снижение прочности образцов (при мощности излучения 900 Вт и продолжительности его действия 3 мин) наблюдается при предварительном их замачивании – до 47 % по сравнению с 27 % снижения прочности в сухих образцах (рис. 2).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

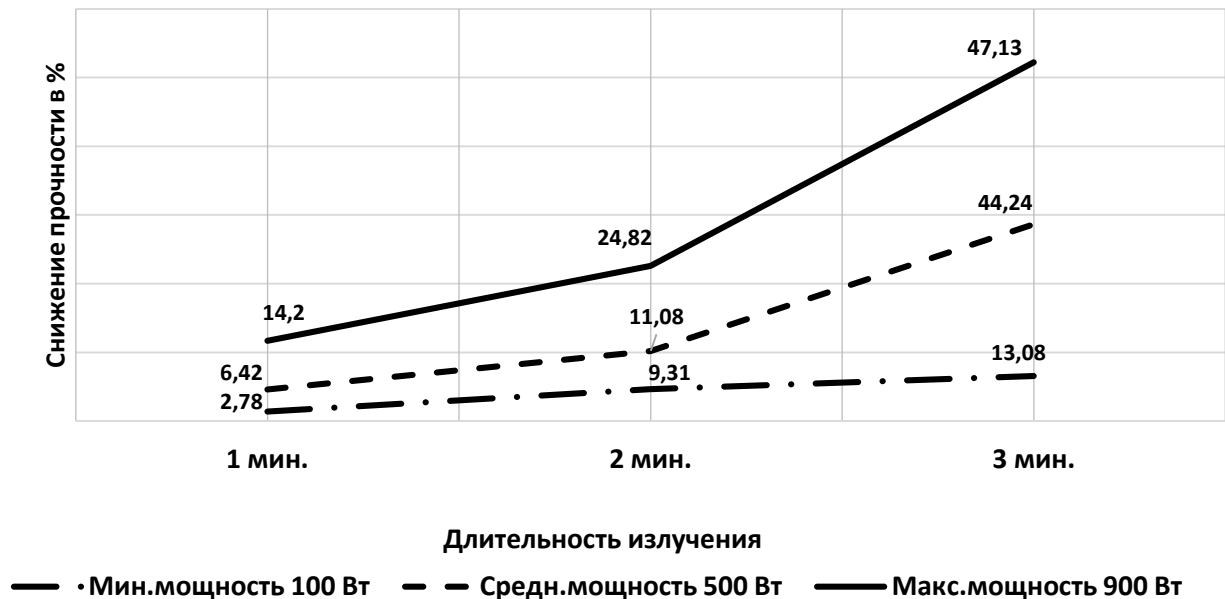


Рис. 1. Снижение прочности сухих образцов в % в зависимости от длительности излучения

Fig. 1. The strength reduction of dry samples in %, depending on the duration of radiation

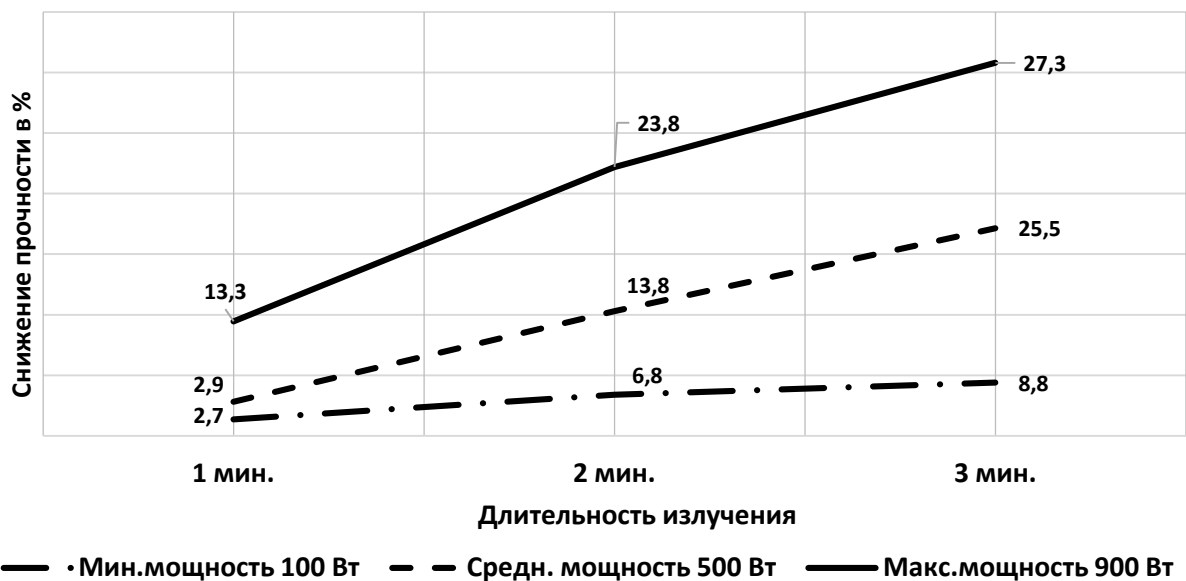


Рис. 2. Снижение прочности влажных образцов в % в зависимости от длительности излучения

Fig. 2 The strength reduction of wet samples in %, depending on the duration of radiation

Наибольшие разрушающие воздействия СВЧ-излучения на цементно-песчаные образцы достигнуты при значениях мощностей от 500 до 900 Вт в течение от 2 до 3 мин.

Научная новизна и практическая значимость

В процессе исследований установлено, что наибольшее влияние СВЧ-излучения на формирование искусственных трещин и микрона-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

рушений в цементно-песчаных образцах наблюдается при их предварительном насыщении водой и использовании мощности излучения от 500 до 900 Вт в течение 3 мин.

При меньшей продолжительности облучения наблюдаются несколько меньшие показатели потери цементно-песчаными образцами прочности относительно контрольных образцов. Однако следует отметить, что контрольный образец насыщенного водой цементно-песчаного раствора (или, по сути, мелкозернистого бетона) имел лишь 82 % прочности сухого образца.

Увлажнение цементно-песчаного раствора перед последующим микроволновым облучением способствует созданию в бетонном теле микронарушений и, соответственно, упрощает процесс разрушения.

Выводы

Установлены рекомендованные параметры обработки образцов для облегчения процесса разрушения цементно-песчаного раствора:

- предварительное насыщение бетона водой;
- мощность СВЧ-излучения для получения лучших результатов 900 Вт;
- продолжительность обработки излучением 2–3 мин.

При отсутствии возможности насыщения бетона водой эффект от действия микроволнового излучения мощностью 900 Вт с той же продолжительностью (2–3 мин) будет на 62–65 % ниже (прочность сухих образцов состав-

ляет 27 МПа по сравнению с 17 МПа для влажных).

Проведенные исследования, на наш взгляд, перспективны при решении одной из актуальных экологических проблем, а именно очистки и «реабилитации» строений, загрязненных радиоактивными отходами. В основе такого метода очистки лежат два процесса: 1) отколы на свободной поверхности под действием ударной волны, генерируемой при локальном нагреве поверхностного слоя твердого тела мощным СВЧ-излучением; 2) хрупкое разрушение приповерхностного слоя при сдвиговой деформации из-за сильной анизотропности напряженного состояния. К несомненным достоинствам метода очистки с использованием мощных импульсных потоков СВЧ-излучения относятся дистанционное управление процессом, гарантирующее отсутствие прямого контакта персонала с радиоактивными загрязнениями, относительная безопасность используемого в технологии электромагнитного излучения и, наконец, возможность создания мобильной установки. В связи с вышесказанным представляет интерес определение характерных параметров СВЧ-излучения для разрушения поверхностного слоя бетона, использующегося на атомных станциях.

Возможно использование СВЧ-излучений в технологии изготовления бетонов, строительных растворов и смесей, а также при переработке, цементировании жидких и твердых радиоактивных отходов, в частности их захоронении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Высокотемпературное воздействие СВЧ-излучения на несовершенные диэлектрики / А. Н. Диденко, М. С. Дмитриев, А. Д. Коляскин, Ю. Д. Пименов // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2008. – № 2. – С. 55–63.
2. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с.
3. Женжурист, И. А. Эффективность микроволновой обработки глинистых композиций при подборе шихты в технологии керамики / И. А. Женжурист // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 60–65.
4. Иванова, А. П. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона / А. П. Иванова, О. И. Труфанова // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 150–156. doi: <http://doi.org/10.15802/stp2014/30453>
5. О возможности разрушения поверхности бетона мощными импульсами СВЧ-излучения / 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 // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41, № 3. – С. 26–33.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Опыт применения энергии микроволн в горном деле / Д. Л. Рахманкулов, С. Ю. Шавшукова, И. Н. Ви- харева, Р. Р. Чанышев // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15, № 2. – С. 114–117.
7. Петров, В. М. Новые применения радиоэлектроники: разупрочнение горных пород мощным электро- магнитным полем СВЧ / В. М. Петров // Радиоэлектроника и Телекоммуникации. – 2002. – № 2 (20). – С. 35–41 ; № 3 (21). – С. 49–55 ; № 4 (22). – С. 63–73.
8. Ревенко, Б. С. Получение ячеистых бетонов с привлечением СВЧ-технологий / Б. С. Ревенко // Моло- дой учёный. – 2017. – № 14 (148). – С. 118–119.
9. Сердюк, В. Р. Теоретические предпосылки внедрения СВЧ-излучений при активации золы-унос для бетонных смесей / В. Р. Сердюк, А. С. Сидлак // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка : наук.-тех. зб. – Київ, 2015. – Вип. 56. – С. 104–110.
10. Investigating microwave assisted rock breakage for possible space mining applications / H. Satish, J. Ouellet, V. Raghavan, P. Radziszewski // Mining Technology. – 2006. – Vol. 115. – P. 34–40. doi: <https://doi.org/10.1179/174328606x101902>
11. Nekoovaght, P. Microwave Assisted Rock Breakage for Space Mining: Earth and Space 2014 [Электронный ресурс] / P. Nekoovaght, N. Gharib, F. Hassani // American Society of Civil Engineers. – Режим доступа: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479179.044> – Загл. с экрана. – Проверено : 30.05.2019. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784479179.044>
12. Nekoovaght, P. The influence of microwave irradiation on rocks for microwave-assisted underground excava- tion / P. Nekoovaght, N. Gharib, F. Hassani // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2016. – Vol. 8. – P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.004>
13. Numerical study of the influence of irradiation parameters on the microwave-induced stresses in granite / M. Toifl, P. Hartlieb, R. Meisels, T. Antretter, F. Kuchar // Minerals Engineering. – 2017. – Vol. 103-104. – P. 78–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.011>
14. Understanding microwave assisted breakage / D. A. Jones, S. W. Kingman, D. N. Whittles, I. S. Lowndes // Minerals Engineering. – 2005. – Vol. 18. – Iss. 7. – P. 659–669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.011>

Г. П. ІВАНОВА^{1*}, С. О. БАРСУКОВА^{2*}, О. В. ХАЛИМЕНДИК^{3*}, О. М. ЧУМАК^{4*}

^{1*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (050) 452 99 45, ел. пошта ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

^{2*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (050) 482 36 14, ел. пошта sofikoivanova@gmail.com, ORCID 0000-0003-0821-1091

^{3*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (050) 905 42 62, ел. пошта khalymendyk.o.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-1311-1135

^{4*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (050) 854 25 58, ел. пошта rotwespe@gmail.com, ORCID 0000-0003-4584-4111

АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ НВЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ Й БЕТОНИ

Мета. У цій роботі передбачено дослідити вплив умов і параметрів мікрохвильового випромінювання на зміну фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів, зокрема оцінити стабільність їх міцності. **Методика.** Було використано наступні методи: дослідження впливу НВЧ-нагрівання на кінетику властивостей виробів; визначення межі міцності розчинів і бетонів на стиск; порівняльний аналіз. Як зразки було взято цементно-піщані кубики розміром 5×5×5 см, виготовлені згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009, із витримкою для набуття ними марочної міцності протягом 28 діб. **Результати.** Експеримент полягав у визначенні впливу потужності НВЧ-випромінювання й тривалості його впливу на зміну міцності сухих (природної вологості) зразків і зразків, насичених водою. У ході експерименту було проведено випробування на міцність у разі одновісного стискання сухих і насичених водою зразків, які попередньо зазнали впливу НВЧ-випромінювання (мінімальної, середньої й максимальної потужності) в діапазоні часу від 1 до 3 хв. Найбільший руйнівний вплив НВЧ-випромінювання на цементно-піщані зразки досягнутий за значення

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

потужності від 500 до 900 Вт і тривалості 2–3 хв. **Наукова новизна.** У цій роботі досліджено вплив потужності НВЧ-випромінювання і тривалості його дії на процес руйнування цементно-піщаних зразків. **Практична значимість.** Установлено, що параметри обробки матеріалів НВЧ-випромінюванням полегшує процес їх руйнування. Запропонована технологія дозволить отримати наукову базу для використання НВЧ-випромінювання з метою руйнування не тільки бетону й інших будівельних матеріалів, але й гірських порід. Також перспективним напрямком є вивчення зворотньої задачі – застосування НВЧ-випромінювання під час замішування бетонної або іншої будівельної суміші з водою, що в подальшому, після її затвердіння, призведе до підвищення міцності виробів.

Ключові слова: НВЧ-випромінювання; зразки цементно-піщаних кубиків; експеримент; потужність випромінювання; міцність; процес руйнування

G. P. IVANOVA^{1*}, S. O. BARSUKOVA^{2*}, O. V. KHALYMENDYK^{3*}, O. M. CHUMAK^{4*}

^{1*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», National Technical University «Dnipro Polytechnic», D. Yavornytskyi Av., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 905 42 62, e-mail ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

^{2*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», National Technical University «Dnipro Polytechnic», D. Yavornytskyi Av., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 905 42 62, e-mail sofikoivanova@gmail.com, ORCID 0000-0003-0821-1091

^{3*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», National Technical University «Dnipro Polytechnic», D. Yavornytskyi Av., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 905 42 62, e-mail khalymendyk.o.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-1311-1135

^{4*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», National Technical University «Dnipro Polytechnic», D. Yavornytskyi Av., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 854 25 58, e-mail rotwespe@gmail.com, ORCID 0000-0003-4584-4111

ANALYSIS AND PERSPECTIVES OF RESEARCH ON THE INFLUENCE OF MICROWAVE RADIATION ON MORTARS AND CONCRETES

Purpose. In this work, we study the influence of the conditions and parameters of microwave radiation on the change in the physico-mechanical properties of building materials, in particular the problem of assessing the stability of their strength characteristics. **Methodology.** The following methods were used in the work: the study of the influence of microwave heating on the kinetics of the products` properties, the determination of the ultimate compression strength of mortars and concrete and comparative analysis. 5×5×5 cm cement-sand cubes made according to the SSU B V.2.7-187: 2009 were used as samples. They were cured during 28 days for grade strength acquiring. **Findings.** The experiment was to determine the effect of microwave radiation power and the duration of its influence on changes in the strength characteristics of dry (natural moisture) and water-saturated samples. In the course of the experiment, the uniaxial compression strength of dry and water-saturated samples previously subjected to microwave radiation (minimum, average, and maximum power) during 1-3 minutes was performed. The greatest destructive effects of microwave radiation on cement-sand samples are achieved at power values from 500 to 900 W and duration from 2 to 3 minutes. **Originality.** In this work, the effect of the following parameters of microwave radiation is investigated: the radiation power and the duration of its effect on the destruction process of cement-sand samples. **Practical value.** The established parameters of processing samples with microwave radiation facilitate the process of their destruction. This will provide a scientific basis for the use of microwave radiation in order to destroy not only concrete and other building materials, but also rocks. Also a promising direction is the study of the inverse problem – the use of microwave radiation when dissolving the concrete or mortar mixture in water, which later, after its solidification, will lead to product strength increase from these mixtures.

Keywords: microwave radiation; samples of cement-sand cubes; experiment; radiation power; strength; destruction process

REFERENCES

1. Didenko, A. N., Dmitriev, M. S., Kolyaskin, A. D., & Pimenov, Y. D. (2008). Vysokotemperaturnoe vozdeystvie SVCh-izlucheniya na nesovershennyye dielektriki. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika*, 2, 55-63. (in Russian)
2. Budivelni materialy. Tsementy. Metody vyznachennia mitsnosti na zghyn i stysk, 18 DSTU B V.2.7-187:2009 (2010). (in Ukrainian)
3. Zhenzhurist, I. A. (2015). Efficiency of Micro-Wave Treatment of Clay Compositions when Selecting the Charge in Technology of Ceramics. *Stroitel'nye Materialy*, 4, 60-65. (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

4. Ivanova, H. P., & Trufanova, O. I. (2014). Analysis and Application Prospects of Effective Resources-Saving Technologies in Concrete Manufacture. *Science and Transport Progress*, 5(53), 150-156. doi: <http://doi.org/10.15802/stp2014/30453> (in Russian)
5. Arzhannikov, A. V., Bychenkov, V. A., Kalinin, P. V., Kovalenko, G. V., Koydan, V. S., Lazarev, Y. N., ... Petrovtsev, A. V. (2000). O vozmozhnosti razrusheniya poverkhnosti betona moshchnymi impulsami SVCh-izlucheniya. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 41(3), 26-33. (in Russian)
6. Rakhmankulov, D. L., Shavshukova, S. Y., Vikhareva, I. N., & Chanyshv, R. R. (2008). Opyt primeneniya energii mikrovoln v gornom dele. *Bashkir chemistry journal*, 15(2), 114-117. (in Russian)
7. Petrov, V. M. (2002). Novye primeneniya radioelektroniki: razuprochnenie gornykh porod moshchnym elektromagnitnym polem SVCh. *Radioelektronika i Telekommunikatsii*, 2(20), 35-41, 3(21), 49-55, 4(22), 63-73. (in Russian)
8. Revenko, B. S. (2017). Obtaining Cellular Concrete with the Assistance of Microwave Technologies. *Young Scientist*, 14(148), 118-119. (in Russian)
9. Serdyuk, V. R., & Sidlak, A. S. (2015). Theoretical Background of Microwave Radiation Introduction Activation Fly Brought Out for Concrete Mixtures. *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*, 56, 104-110. (in Russian)
10. Satish, H., Ouellet, J., Raghavan, V., & Radziszewski, P. (2006). Investigating microwave assisted rock breakage for possible space mining applications. *Mining Technology*, 115(1), 34-40. doi: <https://doi.org/10.1179/174328606x101902> (in English)
11. Nekoovaght, P., Gharib, N., & Hassani, F. (2015). Microwave Assisted Rock Breakage for Space Mining: Earth and Space 2014. *American Society of Civil Engineers*. Retrieved from <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784479179.044> doi: <https://doi.org/10.1061/9780784479179.044> (in English)
12. Nekoovaght, P., Gharib, N., & Hassani, F. (2016). The influence of microwave irradiation on rocks for microwave-assisted underground excavation. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.004> (in English)
13. Toifl, M., Hartlieb, P., Meisels, R., Antretter, T., & Kuchar, F. (2017). Numerical study of the influence of irradiation parameters on the microwave-induced stresses in granite. *Minerals Engineering*, 103-104, 78-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.011> (in English)
14. Jones, D. A., Kingman, S. W., Whittles, D. N., & Lowndes, I. S. (2005). Understanding microwave assisted breakage. *Minerals Engineering*, 18(7), 659-669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.011> (in English)

Поступила в редколлегию: 06.02.2019

Принята к печати: 04.06.2019