

УДК 666.924:66.071.8

А.І. Заграй, З.І. Боровець, І.В. Луцюк, Я.М. Новіцький

ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОАКТИВУВАННЯ ГІДРАТНОГО ВАПНА

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

У роботі запропоновано метод механічного активування гідратного вапна у віброактиваторі бункерного типу. Досліджено вплив конструктивних особливостей та кута закріплення віброуючих лопатей на швидкість та ступінь диспергування гідратного вапна шляхом вимірювання зміни логарифмічного декременту згасання маси під час віброактивування. Вивчено вплив тривалості процесу віброактивування на диспергування у системі «гідратне вапно–вода». Встановлено ефективність диспергування вапна у випадку монтування лопатей під кутом 86° протягом 40–60 хв. Порівняльні дослідження міцності цементного каменю показали, що добавка віброактивованого гідратного вапна у кількості 2 мас. % приводить до збільшення міцності вапняно-цементних композицій.

Ключові слова: гідратне вапно, віброактивування, диспергування, логарифмічний декремент згасання, цементний камінь.

DOI: 10.32434/0321-4095-2021-139-6-25-31

Вступ

Гідратне вапно широко застосовується у технологіях будівельних матеріалів. Кальцію гідроксид використовується як самостійна в'язуча речовина у складах вапняно-піщаних чи інших сумішей повітряного та автоклавного тверднення, як компонент пуцоланових зв'язних систем, як складова композиційних матеріалів (наприклад, вапно-порохнянка у складі модифікованих сухих будівельних сумішей). В останні роки здійснюються дослідження у напрямі використання гідратного вапна як модифікуючої добавки у сумішах на основі портландцементу. Введення невеликих кількостей кальцію гідроксиду до складу цементних композицій дає змогу підвищити міцність затверділого виробу, не спричиняючи при цьому руйнування арматури, розтріскування цементного каменю або утворення висолів на його поверхні [1]. Ефект зростання механічних показників є особливо актуальним у рамках одного із сучасних напрямів розвитку будівельної індустрії, а саме проектування складів так званого «зеленого бетону». Одним із найважливіших критеріїв оцінювання бетонів згідно із зазначеною концепцією є показник питомої витрати цементу. У зв'язку з цим перед науковцями та технологами стоїть важли-

ве завдання одночасного збільшення механічних показників бетону та зменшення питомої витрати портландцементу на його приготування. Оскільки більша частина конструкційного бетону готується на основі портландцементу, одержання якого вимагає значної витрати палива, то використання модифікуючих добавок і, зокрема, гідратного вапна, крім екологічного матиме ще й позитивний економічний ефект. Тому здійснення досліджень у напрямі застосування високоактивного гідратного вапна та розробка складів конкурентоспроможних в'язучих матеріалів мають як науковий, так і практичний інтерес.

Питанню збільшення міцності композицій на основі портландцементу через введення до їх складу добавок-модифікаторів присвячено чимало робіт. З цією метою сьогодні у будівельній індустрії використовується широка номенклатура пластифікаторів, спеціальних хімічних і тонкомелених мінеральних добавок [2–6]. Окремі дослідження присвячені вивченню впливу невеликої кількості добавки гашеного вапна на зміну експлуатаційних властивостей бетонів на основі портландцементу [7–9], проте розробці цього напрямку приділяється недостатньо уваги. При цьому як об'єкт досліджень часто обирають зви-

чайне гашене вапно без попереднього його оброблення. Таке вапно після гашення має великий розмір коагульованих частинок $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що обумовлює незначний позитивний ефект від його використання і, як наслідок, недостатню зацікавленість у його подальших дослідженнях. Німецькою фірмою Kalk Contor¹ запропоновано підвищувати активність гідратного вапна методом його диспергування у вологому стані. Позитивна дія високодисперсного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ полягає в активній його участі у процесах хімічної взаємодії з продуктами руйнування клінкерних мінералів та інтенсифікації внаслідок цього процесів утворення гідросилікатів кальцію та їх подальшої кристалізації. Використанню механічно активованого високодисперсного гашеного вапна присвячені також роботи [1,10–12]. Для механодиспергування вапна авторами було сконструйовано спеціальний віброактиватор бункерного типу. Встановлено, що визначальне значення у процесах диспергування вапна мають конструктивні параметри вібробункера і, зокрема, кут закріплення віброуючих лопатей до прямої коливаль.

Метою цієї роботи є вивчення впливу конструктивних параметрів вібробункера на процеси диспергування $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у системі «гашене вапно–вода».

Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження слугувало гідратне вапно-порохнянка торгової марки Lhoist (Республіка Польща). Оксидний склад вапна і вміст вільної води у його складі наведено у табл. 1.

Для одержання цементних композицій як

в'язучу речовину використовували портландцемент ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н ПрАТ «Івано-Франківськцемент».

Таблиця 1

Вміст оксидів (мас.%) і вільної води (%) у складі гідратного вапна-порохнянки

CaO	MgO	CO ₂	SO ₃	Вільна вода
97,2	0,7	1,4	0,4	1,3

Для дослідження процесу віброактивування вапняного тіста застосовували вібраційний метод із використанням програмного забезпечення MathLab для перерахунку логарифмічного декременту згасання [10].

Досліджуване вапняне тісто одержано змішуванням вапна-порохнянки з водою для досягнення вологості системи 48%. Готову суміш піддавали активуванню у бункері віброактиватора.

Конструктивно (рис. 1,а) віброактиватор складається із сокироподібного бункера 1, всередині торової порожнини якого закріплено лопаті 2. Бункер здійснює гармонійні кутові коливання завдяки пружинному підвісу (торсіону) та електромагнітному приводу.

Зовнішній діаметр торової чаші D становить 500 мм, внутрішній діаметр d – 400 мм, ширина кругового каналу – 50 мм, висота – 100 мм. Оскільки тангенціальна (колова) амплітуда кутових коливань пропорційна радіусу бункера, то для інтенсивного віброактивування сумішей це є раціональним робочим органом.

Максимальне значення амплітуди коливань на краю навантаженого малов'язкою робочою

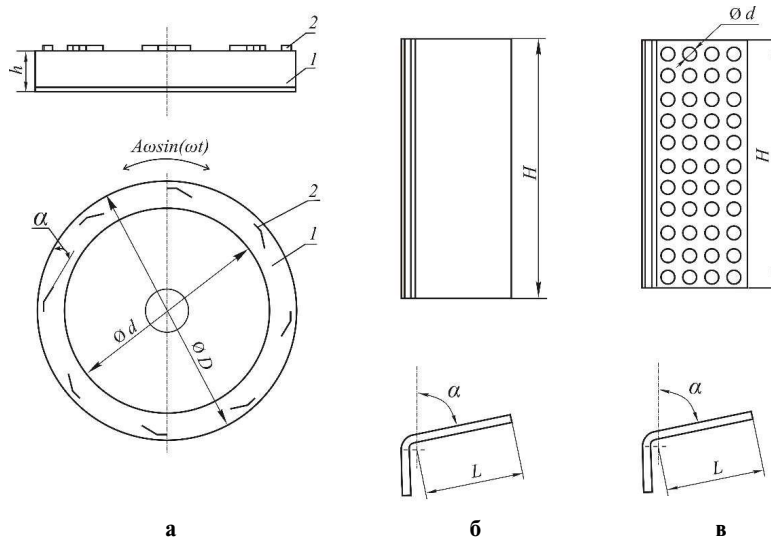


Рис. 1. Конструктивна схема віброактиватора

¹ <http://www.kalk-kontor.de/>

сумішшю бункера становить 7 мм. Зростання в'язкості суміші приводить до зменшення амплітуди коливань. Частота коливань є постійною величиною, яка дорівнює частоті змінного струму електромережі, і становить 50 Гц.

Результати та обговорення

Процеси механічного активування суміші відбуваються як у звуковому полі, яке генерують лопаті, так і безпосередньо на самій поверхні лопаті. Із врахуванням того, що суміш відривається від лопатей внаслідок високої інтенсивності їх коливання (амплітуда віброприскорення становить 70 g), можна стверджувати, що активування відбувається саме на поверхні лопатей у віброударному режимі взаємодії суміші та лопатей.

Одним із важливих чинників, що суттєво впливають на віброактивування є розміщення лопатей, а саме кут атаки (α). Значення цього кута впливає як на величину нормальної проекції площі лопаті, так і на характер напружень у суміші, яка механічно взаємодіє із лопатями. Зменшення кута атаки призводить до зменшення нормальної складової напружень і збільшення тангенціальної, і навпаки. Значення проекції площі на нормаль до амплітуди коливань визначає потужність процесу активації.

Крім цього, існують значення кутів атаки лопатей, за яких можливий стійкий впорядкований рух суміші по колу бункера внаслідок різниці гідравлічних опорів лопатей (система дифузор–конфузор). Це важливий чинник, який приводить до постійного переміщення суміші на поверхні лопатей внаслідок її циркуляції. Швидкість руху суміші залежить від амплітуди коливань, в'язкості суміші та різниці гідравлічних опорів, тобто кутів атаки лопатей і знаходиться для досліджуваних сумішей у діапазоні 2–5 мм/с.

Варто зазначити, що під час активування зростає в'язкість суміші, яка впливає на швидкість її руху. Якщо в'язкість зростає до значення, за якого суміш не рухається або припиняється віброударний режим процесу її механічної взаємодії з лопатями, то подальше активування стає неможливим. По-перше, це залежить від потужності електромагнітного приводу: чим більшою буде потужність, тим за більших значень в'язкості буде можливе активування. По-друге, активування залежить від кількості лопатей: зі збільшенням їх кількості зростає навантаження, а, отже, зменшується амплітуда коливань за сталої потужності. Щодо кута атаки лопатей, то його зменшення призводить до змен-

шення контактної площі між лопатями та сумішшю.

У здійснених раніше дослідженнях встановлено, що усталений рух суміші існує за значень кута атаки від 25° – 30° до майже 90° [10]. Враховуючи це, у роботі вивчався процес віброактивування за такого кріплення лопатей у вібробункері:

- режим 1 – крайній кут атаки 27° ;
- режим 2 – крайній кут атаки 86° ;
- режим 3 – комбінований спосіб кріплення лопатей, який передбачав їх встановлення за схемою через одну, тобто між двома перфорованими лопатями із кутом 86° кріпилася одна неперфорована лопать із кутом 86° .

Комбінований спосіб кріплення лопатей забезпечує зменшення площі атаки та збільшення дотичних напружень.

Для оцінювання впливу конструктивних особливостей та кута закріплення віброуючих лопатей на швидкість та ступінь диспергування гідратного вапна здійснювали вимірювання зміни логарифмічного декременту згасання маси під час віброактивування (рис. 2). Логарифмічний декремент згасання є достовірним показником оцінювання зміни в'язкості у системі «гідратне вапно–вода» у широкому інтервалі вимірювань, методика визначення якого наведена у роботі [11].

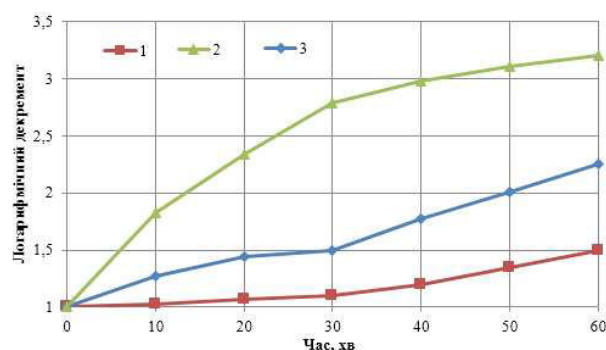


Рис. 2. Зміна логарифмічного декременту згасання вапняної маси під час віброактивування: 1 – режим 1; 2 – режим 2; 3 – режим 3

У результаті здійснених досліджень встановлено, що мінімальна інтенсивність диспергування спостерігається у випадку монтування лопатей під кутом 27° до напрямку руху гідратного вапна (рис. 2, крива 1).

Мінімальні значення приросту логарифмічного декременту згасання $0,03$ – $0,04$ (табл. 2) свідчать про те, що протягом 30 хв процес дис-

Таблиця 2

Зміна логарифмічного декременту згасання під час механообробки гідратного вапна за різних режимів віброактивування

Тривалість обробки, хв	Логарифмічний декремент згасання			Приріст логарифмічного декременту згасання		
	режим 1	режим 2	режим 3	режим 1	режим 2	режим 3
0	1,00	1,00	1,00	–	–	–
10	1,03	1,83	1,27	0,03	0,83	0,27
20	1,07	2,34	1,44	0,04	0,51	0,17
30	1,10	2,79	1,59	0,03	0,45	0,15
40	1,20	2,98	1,77	0,10	0,19	0,18
50	1,35	3,10	2,01	0,15	0,12	0,24
60	1,50	3,20	2,25	0,15	0,10	0,24

пергування відбувається з найменшою швидкістю.

Після 30 хв віброактивування швидкість диспергування постійно збільшується і найвищих значень досягає за 60 хв механооброблення. На це вказує приріст логарифмічного декременту згасання у часовому інтервалі віброактивування 30–60 хв, який знаходиться в межах 0,10–0,15.

Другий граничний кут, за якого ще відбувається рух вапняної маси круговим каналом віробункера, становить 86° . За подальшого його збільшення до 90° рух вапна припиняється. Збільшення кута закріплення лопаті до напрямку руху вапна дає змогу збільшити нормальну проекцію площі лопаті, внаслідок чого інтенсивність диспергування вапна повинна значно зрости. Це повністю підтверджено експериментальними даними (рис. 2, крива 2). Вже після перших 10 хв віброактивування логарифмічний декремент згасання для кута закріплення лопатей 86° становив 1,83 порівняно з 1,03 для кута 27° , а на завершальному етапі процесу обробки після 60 хв логарифмічний декремент згасання становив відповідно 1,5 для кута 27° та 3,2 для кута 86° . При цьому, на відміну від попереднього випадку, зафіксовано протилежний характер зміни швидкості диспергування вапна. Так, максимальна швидкість диспергування у випадку закріплення лопатей під кутом 86° спостерігалась у початковий період механооброблення та зі збільшенням часу віброактивування постійно зменшувалась, про що свідчить зменшення величини приросту логарифмічного декременту згасання протягом усього періоду. Різке зменшення швидкості диспергування вапна зафіксовано після 40 хв оброблення вапна: в інтервалі від 40 до 60 хв механооброблення логарифмічний декремент згасання збільшується лише від 2,98 до 3,20. Тому оптимальною тривалістю оброблення при куті закріплення лопатей 86°

можна вважати час не менше ніж 40 хв і не більше ніж 60 хв.

За умови комбінованого способу кріплення лопатей (режим 3) основну долю диспергування вапна забезпечують лопаті, закріплені під кутом 86° . Це підтверджується значеннями логарифмічного декременту згасання, які на всьому часовому інтервалі знаходяться між показниками значень для кутів атаки 27° і 86° (рис. 2, крива 3). На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що комбінований спосіб закріплення лопатей та їх форма не є ефективними.

Під час диспергування вапна за рахунок тертя його частинок спостерігається виділення тепла. Результати вимірювання температури вапняного тіста під час віброактивування наведено на рис. 3. Характер зміни температурних кривих мас повністю узгоджується із залежностями зміни логарифмічного декременту згасання під час механооброблення і може слугувати непрямим свідченням інтенсивності процесу подрібнення частинок вапна та глибини його диспергування. Так, у разі використання лопатей,

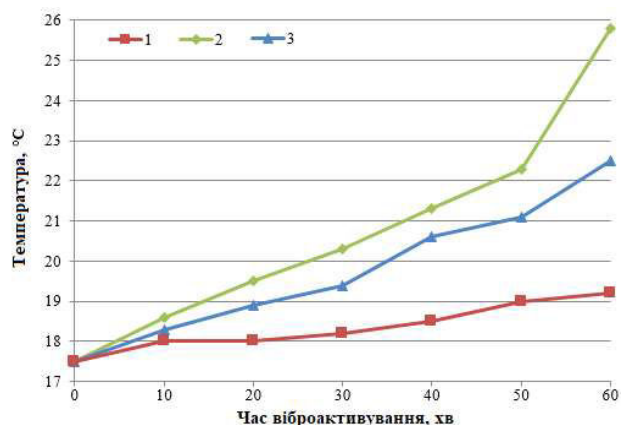


Рис. 3. Зміна температури вапняної маси під час віброактивування: 1 – режим 1; 2 – режим 2; 3 – режим 3

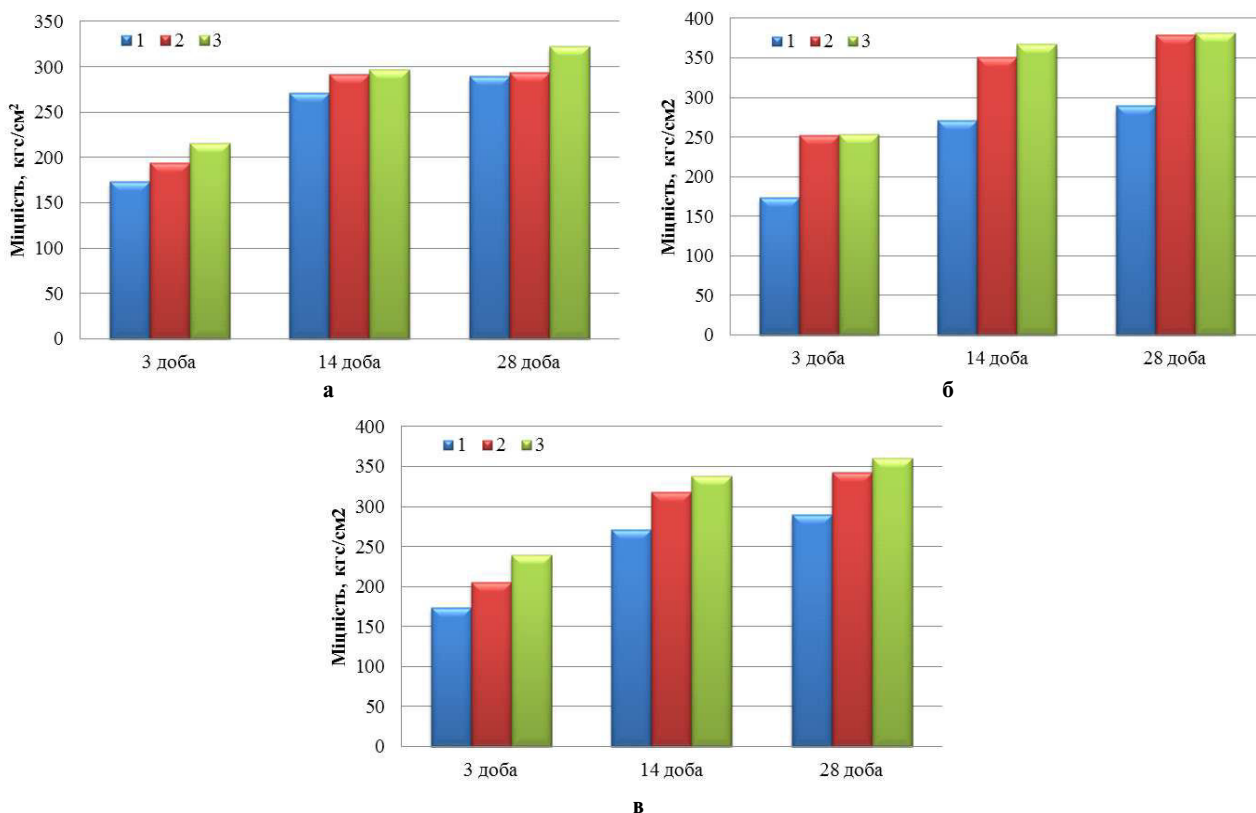


Рис. 4. Зміна механічної міцності цементних зразків у віці 3, 14 та 28 діб тверднення:
 а – режим 1; б – режим 2; в – режим 3, 1 – без добавки; 2 – з добавкою 2% вапна, віброактивованого 30 хв;
 3 – з добавкою 2% вапна, віброактивованого 60 хв

закріплених під кутом 86° внаслідок інтенсивнішого диспергування маса вапна розігрівається більшою мірою і, порівняно з початком оброблення, через 60 хв її температура збільшується на $9,6^{\circ}\text{C}$. Натомість, у разі використання лопатей, закріплених під кутом 27° , за увесь час віброактивування температура маси зростає всього лише на $1,7^{\circ}\text{C}$. Аналогічно, як і з логарифмічним декрементом згасання, температурні показники маси у разі комбінованого використання лопатей знаходяться між двома вище зазначеними режимами віброактивування.

Ступінь дисперсності гідратного вапна визначає його хімічну активність, що у випадку використання його як модифікуючої добавки у складі портландцементних композицій повинно супроводжуватись підвищенням експлуатаційних і, зокрема, міцнісних характеристик. У попередніх дослідженнях [1] встановлено, що оптимальною кількістю добавки диспергованого вапняного тіста з вологістю приблизно 50% є його вміст 2% (або 1% у перерахунку на суху речовину). Результати, отримані при введенні зазначеної кількості добавки віброактивованого вапна (рис. 4), повністю узгоджується із залеж-

ностями отриманими під час вивчення впливу конструктивних особливостей монтування віброуючих лопатей на процес диспергування вапна.

Назагал, добавка гідратного вапна, віброактивованого за усіма трьома режимами, позитивно впливає на збільшення міцності зразків (рис. 4). При цьому мінімальний приріст міцності порівняно з вихідним зразком портландцементу без добавки спостерігається у разі використання вапна, віброактивованого за кута атаки 27° (рис. 4,а). Так, на 28-му добу тверднення міцність зразків при стиску відповідно становить 290 кг/см^2 для портландцементних зразків без добавки і 323 кг/см^2 для зразків із добавкою вапна, активованого при зазначеному куті кріплення лопатей протягом 60 хв. Очевидно, що збільшення тривалості віброактивування вапна забезпечує вищий ступінь його диспергування і, як наслідок, більшу активність у напрямку підвищення механічної міцності зразків.

Натомість, введення добавки гідратного вапна, активованого за кута атаки 86° протягом 60 хв (рис. 4,в) забезпечує максимальні показники міцності для всіх термінів тверднення. Так, границя міцності на 28 добу становить

382 кгс/см² для зразків із добавкою вапна, активованого за вказаним режимом, і 290 кгс/см² для цементних зразків без добавки. Для комбінованого способу використання лопатей (рис. 4,б), аналогічно як і в попередніх випадках, показники міцності знаходяться посередині між двома крайніми варіантами кріплення лопатей.

Висновки

На підставі здійснених досліджень підтверджена ефективність механічного диспергування Са(ОН)₂ у системі “гашене вапно–вода” у сконструйованому віброактиваторі бункерного типу. Встановлено, що кут атаки лопатей у вібробункері є важливим і ефективним чинником впливу на процес диспергування гідратного вапна. Порівняльні дослідження механічного диспергування за різних режимів кріплення лопатей показали, що максимальний ступінь дисперсності вапна досягається за використання суцільних неперфорованих віброуючих лопатей, закріплених під кутом 86° до напрямку коливань. При цьому оптимальна тривалість механооброблення гідратного вапна становить 40–60 хв.

Введення віброактивованого вапна як модифікуючої добавки у склади сумішей на основі портландцементу у кількості 2% приводить до зростання міцності зразків на 28-му добу тверднення на 12–30%.

Отримані результати можуть бути використані при розробці складів будівельних розчинів, ніздрюватих бетонів автоклавного та неавтоклавного тверднення, реставраційних матеріалів та сумішей на основі гідратного вапна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Вплив диспергованого вапна на тверднення цементного каменю* / Заграй А.І., Боровець З.І., Новіцький Я.М., Чекайло М.В., Якимечко Я.Б. // *Хімія, технологія речовин та їх застосування*. – 2019. – Т.2. – № 2. – С.55-61.
2. *Вплив спиртів як добавок-прискорювачів тверднення на властивості цементу* / Флейшер Г.Ю., Токарчук В.В., Василькевич О.І., Свідерський В.А. // *Технол. аудит та резерви виробництва*. – 2014. – Т.4. – № 1. – С.31-36.
3. *Вплив добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем* / Плуґін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плуґін О.А., Афанасьєв О.В. // *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. темат. вип.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. – 2015. – № 21(1130). – С.14-22.
4. *Толмачов С.М.* Дослідження сумісності суперпластифікаторів і цементів // *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – 2015 – № 31. – С.176-182.
5. *Гнатюк І.А., Токарчук В.В.* Пластифіцирующая добавка для цементов на основе отработанных растительных масел // *Актуальные научные исследования в современном мире*. – 2019. – № 11(55). – Ч.1. – С.83-85.
6. *Ефективність дії пластифікаторів в бетонах на основі лужного шлакопортландцементу* / Гоц В.І., Рунова Р.Ф., Руденко І.І., Ластівка О.В. // *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. – 2013. – № 49. – С.98-103.
7. *Synthesis of nano calcium hydroxide in aqueous medium* / Samanta A., Chanda D.K., Das P.S., Ghosh J., Mukhopadhyay A.K., Dey A. // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2016. – Vol.99. – P.787-795.
8. *Hewlett P.C., Liska M.* Lea's chemistry of cement and concrete. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019. – 896 p.
9. *Kurdowski W.* Cement and concrete chemistry. – Springer Netherlands, 2014. – 700 p.
10. *Кримерії дослідження процесу диспергування системи гідратне вапно–вода* / Заграй А.І., Боровець З.І., Луцук І.В., Новіцький Я.М. // *Хімія, технологія речовин та їх застосування*. – 2020. – Т.3. – № 2. – С.23-27.
11. *The effect of vibro-activation time on the properties of highly active calcium hydroxide* / Yakymchko Ya., Lutsyuk I., Jaskulski R., Dulnik J., Kropyvnytska T. // *Buildings*. – 2020. – Vol.10. – Art. No. 111.
12. *Yakymchko Ya., Jaskulski R., Lutsyuk I.* New ways of utilizing lime in modern building technology // *Mater. Struct. Technol.* – 2019. – Vol.2. – No. 1. – P.61-69.

Надійшла до редакції 24.04.2021

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF VIBRO-ACTIVATION OF HYDRATED LIME

A.I. Zahrai, Z.I. Borovets', I.V. Lutsyuk, Ya.M. Novitskyi*
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
* e-mail: andrii.i.zahrai@lpnu.ua

The method of mechanical activation of hydrated lime in a vibrating activator of bunker type was offered in this work. The influence of design features and angle of fixing of vibrating blades on the speed and degree of dispersion of hydrated lime was investigated by measuring the change in the logarithmic decrement of mass attenuation during vibro-activation. The effect of the duration of the vibro-activation process on the dispersion in the system «hydrated lime–water» was studied. The efficiency of lime dispersion was shown in the case of mounting the blades at the angle of 86° for 40–60 minutes. Comparative studies of the strength of cement stone showed that the addition of vibro-activated hydrated lime in an amount of 2 wt.% leads to an increase in the strength of lime-cement compositions.

Keywords: hydrated lime; vibro-activation; dispersion; logarithmic decrement of damping; cement stone.

REFERENCES

1. Zahraj AI, Borovetz ZI, Novitskyi YaM, Chekaylo M, Yakymchko YaB. Vplyv dyspergovanogo vapna na tverdnennya tsementnogo kamenyu [Influence of a dispersed lime on tightening cement stone]. *Chem Technol Appl Subst.* 2019; 2(2): 55-61. (in Ukrainian). doi: 10.23939/ctas2019.02.055.
2. Flejsher GYu, Tokarchuk VV, Vasyl'kevych OI, Sviders'kyi VA. Vplyv spirtiv yak dobavok-pryskoryuvachiv tverdnennya na vlastyvoli tsementu [Effect of alcohols as additives accelerating tightening on the properties of cement]. *Tekhnologichniy Audyt ta Rezervy Vyrobnystva.* 2014; 4(1): 31-36. (in Ukrainian).
3. Plugin AA, Romanenko OV, Kalinin OA, Plugin OA, Afanas'ev OV. Vplyv dobavok superplastyfikatoriv i pryskoryuvachiv tverdnennya na kinytyku naboru mitsnosti tsementnym kamenem [Effect of fluidifiers and additives accelerating tightening on the kinetics of hardening of cement stone]. *Visn Nats Tekhn Univ «KhPI».* 2015; 21(1130): 14-22. (in Ukrainian).
4. Tolmachov SM. Doslidzhennya sumisnosti superplastyfikatoriv i tsementiv [Study of compatibility of fluidifiers and cements]. *Resursoekonomni Materialy, Konstruktsii, Budivli ta Sporudy.* 2015; (31): 176-182. (in Ukrainian).
5. Gnatyuk YA, Tokarchuk VV. Plastifitsiruyushchaya dobavka dlya tsementov na osnove otrabotannykh rastitel'nykh masel [Plasticizing additive for cements based on spent vegetable oils]. *Aktual'nye Nauchnye Issledovaniya v Sovremennom Mire.* 2019; 11(55): 83-85. (in Russian).
6. Gots VI, Runova RF, Rudenko II, Lastivka OV. Efektyvnist' diyi plastyfikatoriv v betonakh na osnovi luzhnogo shlakoportlandtsementu [Efficiency of action of plasticizing agent in concretes based on alkali slag portland cement]. *Budiveli'ni Materialy, Vyroby ta Sanitarna Tekhnika.* 2013; (49): 98-103. (in Russian).
7. Samanta A, Chanda DK, Das PS, Ghosh J, Mukhopadhyay AK, Dey A. Synthesis of nano calcium hydroxide in aqueous medium. *J Am Ceram Soc.* 2016; 99: 787-795. doi: 10.1111/jace.14023.
8. Hewlett P, Liska M, editors. *Lea's chemistry of cement and concrete*, 5th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2019. 896 p.
9. Kurdowski W. *Cement and concrete chemistry*. Springer Netherlands; 2014. 700 p. doi: 10.1007/978-94-007-7945-7.
10. Zahraj AI, Borovetz ZI, Lutsyuk IV, Novitskyi YaM. Kryterii doslidzhennya protsesu dysperguvannya systemy gidratne vapno-voda [Criteria for research of the process of dispersion of the system of hydrate lime-water]. *Chem Technol Appl Subst.* 2020; 3(2): 23-27. (in Ukrainian). doi: 10.23939/ctas2020.02.023.
11. Yakymchko Ya, Lutsyuk I, Jaskulski R, Dulnik J, Kropyvnytska T. The effect of vibro-activation time on the properties of highly active calcium hydroxide. *Buildings.* 2020; 10(6): 111. doi: 10.3390/buildings10060111.
12. Yakymchko Ya, Jaskulski R, Lutsyuk I. New ways of utilizing lime in modern building technology. *Mater Struct Technol.* 2019; 2(1): 61-69. doi: 10.31448/mstj.02.01.2019.61-69.