

А. І. Заграй<sup>1</sup>, З. І. Боровець<sup>1</sup>, І. В. Луцюк<sup>1</sup>, Я. М. Новіцький<sup>2</sup>  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
<sup>1</sup>кафедра хімічної технології силікатів,  
<sup>2</sup>кафедра технічної механіки та динаміки машин  
andrii.i.zahrai@lpnu.ua

## КРИТЕРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ СИСТЕМИ ГІДРАТНЕ ВАПНО-ВОДА

<https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.023>

Досліджено процес диспергування гашеного вапна у віброактиваторі бункерного типу. Вивчено характер зміни в'язкості вапняного тіста під час механічної обробки вібраційним методом та ротаційним віскозиметром. Встановлено, що процес віброактивування гідратного вапна послідовно проходить стадії пропорційного зростання динамічної в'язкості, сповільнення її зростання та припинення диспергування. Показано ефективність використання вібраційного методу визначення в'язкості системи гідратне вапно – вода.

**Ключові слова:** гідратне вапно, віброактивоване вапно, вапняно-колоїдна система, диспергування вапна, динамічна в'язкість, вібраційний метод визначення в'язкості.

### Вступ

В індустрії будівельних матеріалів вапно є однією із основних в'язучих речовин і може застосовуватися як самостійно, так і у вигляді добавки у складах різноманітних сумішей, розчинів тощо. У поєднанні з портландцементом вапно використовують у виробництві інноваційних легких пористих бетонів [1, 2]. Як модифікуюча добавка до традиційних портландцементних сумішей введення гашеного вапна у певній кількості дає змогу покращити комплекс експлуатаційних властивостей затверділих бетонів і розчинів.

Останнім часом спостерігається постійне зростання попиту на оздоблювальні матеріали, виготовлені на основі гідратного вапна. До них належать вапняні фарби для внутрішнього та зовнішнього застосування, реставраційні матеріали та суміші, реноваційні розчини. У великих кількостях негашене та гашене вапно використовують для отримання автоклавних виробів [3], зокрема пористих автоклавних силікатних матеріалів, призначених для теплоізоляції промислових і цивільних будівель, випуск яких останнім часом значно зростає. Крім того, активно здійснюються дослідження із розробки нових складів вапняно-пуцоланових в'язучих, які використовують для приготування традиційних будівельних розчинів і бетонів, у складах ніздрюватих бетонів автоклавного та неавтоклавного твердіння [4, 5]. Тому проведення наукових до-

сліджень у напрямку розширення сфери застосування гідратного вапна, відпрацювання технологічних параметрів його попередньої підготовки, оптимізації складів композицій із його використанням залишається актуальним технологічним та науковим завданням.

### Постановка проблеми

Використання вапна позитивно впливає на покращення експлуатаційних властивостей виробів, що зумовлює його широке застосування у будівельних технологіях [5, 6]. Зокрема, для різного асортименту виробів вапно дає змогу підвищити показники міцності, збільшити тріщиностійкість, паро- та повітропроникність тощо. При цьому позитивна дія гідратного вапна визначається розміром частинок  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Після гасіння гідратне вапно є грубодисперсною коагульованою системою, що значною мірою стримує його позитивний вплив на формування структури затверділих виробів та покращення їхніх експлуатаційних характеристик. Тому одним із ефективних способів підвищення активності гідратного вапна є його диспергування, тобто зменшення розмірів частинок  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до високодисперсних. Фірмою Kalk Kontor [7] запатентована технологія отримання високодисперсного і відповідно високоактивного гідратного вапна методом його подрібнення у десольвері у водному середовищі. У роботі [8] запропоновано метод

механічного диспергування  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  у пасто-подібному стані у спеціально сконструйованому вібробункері. Під час досліджень було виявлено, що зі збільшенням тривалості віброактивування внаслідок диспергування відбувається зміна консистенції вапна від в'язко-текучого стану до утворення твердої пластичної маси. При цьому на цілому часовому проміжку досліджень наявними стандартними методами випробувань немає можливості описати процес загуснення числовими значеннями. Класичне визначення густоти коагульованої вапняної системи за методом Віка придатне лише на невеликому часовому проміжку експерименту. Тому для кількісного числового опису усього процесу віброактивування гідратного вапна, виявлення характерних закономірностей диспергування необхідний пошук та розробка нових нетрадиційних для даної технології методів вимірювання та контролю зміни консистенції вапняної маси під час обробки.

#### Матеріали та методи досліджень

Для досліджень використовувалось гідратне вапно-порохнянка фірми Lhoist (Республіка Польща). Вміст основних оксидів у гідратному вапні, % мас.:  $\text{CaO}$  – 97,2;  $\text{MgO}$  – 0,7;  $\text{CO}_2$  – 1,4;  $\text{SO}_3$  – 0,4. Вміст вільної води – 1,3 %.

У технології будівельних матеріалів в'язкість вапняних сумішей традиційно оцінюють непрямим способом за визначенням їхньої нормальної густоти за допомогою приладу Віка [9, 10]. При цьому нормальну густоту вапняного тіста встановлюють за його консистенцією, при якій товчачик приладу Віка, занурений у стандартне кільце, що заповнене тістом, під власною вагою не доходить на визначену величину до дна кільця. Даний метод є цілком непридатним для дослідження процесів диспергування гідратного вапна під час його віброактивування, оскільки, по-перше, він не дає числових значень в'язкості системи, а по-друге, ним можна користуватись лише у вузько обмеженому інтервалі рухливості вапняної суміші. На початкових етапах віброактивування за відносно невеликої в'язкості системи товчачик тривалий час вільно занурюється у тісто, легко досягаючи дна, відтак на короткому проміжку можна зафіксувати зміну величини його занурення у тісто, а далі з продовженням процесу віброактивування внаслідок значного збільшення в'язкості системи він взагалі не занурюється у тісто.

У першій фазі механічної активації гідратного вапна в'язкість колоїдної системи з великою точністю можна вимірювати за допомогою ротаційного віскозиметра "RION" типу VT-04 (рис. 1). Цей метод базується на вимірюванні обертального моменту, який виникає на осі ротора у вигляді циліндра, зануреного у вапняне тісто під час його обертання [11]. Даний прилад дає змогу вимірювати числові значення в'язкості системи в інтервалі від 0,01 до 400 Па·с. Однак за допомогою ротаційного віскозиметра у досліджуваній системі можна здійснювати вимірювання в інтервалі 10–40 Па·с, оскільки в процесі подальшого загуснення системи прилад стає нечутливим до збільшення в'язкості системи. Через це під час подальшого віброактивування за допомогою ротаційного віскозиметра неможливо оцінювати та контролювати процеси диспергування вапна.

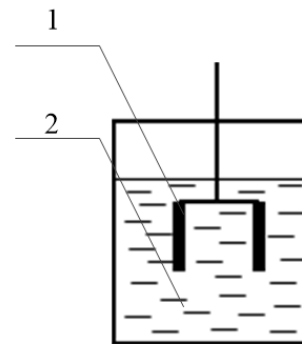


Рис. 1. Принципова схема ротаційного віскозиметра: 1 – ротор; 2 – колоїдна система

У зв'язку з цим поряд із двома зазначеними методами для досліджень процесу диспергування вапна було використано вібраційний метод визначення в'язкості [12], який заснований на визначенні змін параметрів вимушених коливань тіла під час занурення його у в'язке середовище. Цей метод передбачає створення складної електромеханічної коливальної системи [13].

Динамічна в'язкість  $\eta$ , Па·с, визначається за формулою:

$$\eta = \frac{k - k'}{\tau \cdot C} \quad (1)$$

де  $k'$  і  $k$  – логарифмічний декремент згасання коливань не завантаженого приладу і приладу з в'язким середовищем відповідно;  $\tau$  – тривалість одного повного коливання, с;  $C$  – константа, що визначається типом вимірювального приладу (найкраще визначити для середовища відомої в'язкості).

Логарифмічний декремент згасання коливань визначається за формулою:

$$k = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} \quad (2)$$

де  $A$  – значення амплітуди згасаючих коливань;  $t$  – часова координата;  $T$  – період коливань.

Амплітуда коливань у часі вимірюється спеціальним давачем – акселерометром АНС 014-03. Діапазон вимірювальних прискорень становить від 0,5 до 300 м/с<sup>2</sup>. Робочий діапазон частот – від 1 до 125 Гц.

Часові розгортки згасаючих коливань вимірюються та зберігаються у пам'яті комп'ютера за допомогою триканального цифрового осцилографа марки OWON серії VDS1022 із половою пропуску в 25 МГц.

Логарифмічний декремент згасання коливань визначається з їхніх часових розгортки за формулою 2. Константа  $C$  може бути обчислена за формулою 1, за умови визначення динамічної в'язкості вапняного тіста  $\eta$  віскозиметром.

*Опис процесу віброактивування вапняного тіста.* Вапно-порохнянку в кількості 4 кг попередньо змішували з водою для досягнення вологості системи 48 %. Отримане вапняне тісто завантажували у віброактиватор, бункер 1 якого (рис. 2) здійснює гармонійні кругові коливання з частотою 50 Гц та амплітудою 7 мм.

Всередині концентричного каналу ( $D \times d \times h = 500 \times 400 \times 100$  мм) бункера жорстко закріплено лопаті 2, які розташовані дотично під деяким кутом 20 ° до зовнішньої стінки. Під час коливань лопаті активно взаємодіють із тістом, а анізотропія гідравлічного опору каналів призводить до повільного загального руху тіста (5–7 мм/с) по колу бункера, внаслідок чого система усереднюється.

Після механічного замішування з водою отримане тісто піддавали механічній обробці у віброактиваторі протягом 120 хв. При цьому через кожні 5 хв визначали в'язкість колоїдної системи за допомогою ротаційного віскозиметра, вібраційним методом за розрахунком логарифмічного декременту згасання коливань, а також оцінювали за допомогою приладу Віка. Перед початком віброактивування вихідна система характеризувалася динамічною в'язкістю 12 Па·с. Після перших 5 хв механічної обробки динамічна в'язкість змінилася незначно і збільшилася до 12,5 Па·с (рис. 3, ділянка 1 – зона постійної в'язкості).

Очевидно на цьому початковому етапі обробки відбувається усереднення суміші, вирівнювання вологості на усіх її мікроділянках, внаслідок чого в'язкість системи практично не змінюється. Під час подальшої обробки від 10 до 80 хв в'язкість системи збільшується за прямолінійною залежністю (рис. 3, ділянка 2 – зона пропорційного зростання) від 12,5 до 55 Па·с.

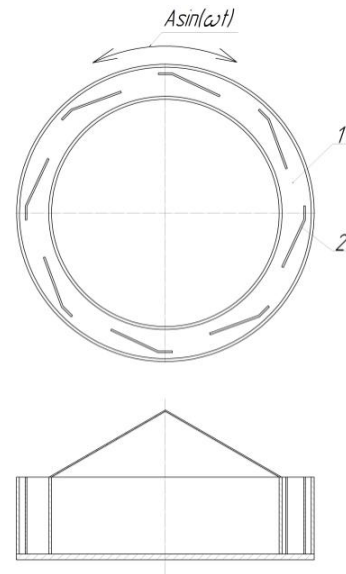


Рис. 2. Бункер віброактиватора

У роботі [8] зазначено, що під час віброактивування відбувається поступове диспергування великих конгломератів Ca(OH)<sub>2</sub> на частинки меншого розміру, внаслідок чого зростає їхня питома поверхня. Це, своєю чергою, приводить до орієнтації навколо них щораз більшої кількості фізично-зв'язаної води, внаслідок чого відбувається зменшення кількості вільної вологи і як наслідок загуснення системи. У цій зоні пропорційного зростання в'язкості ротаційним віскозиметром можна вимірювати в'язкість у часовому інтервалі 0–45 хв та діапазоні числових значень в'язкості 12,5–35 Па·с. Після 50 хв (в'язкість 37,5 Па·с) прилад стає нечутливим до подальшого збільшення динамічної в'язкості та в подальшому за його допомогою вже не можна вивчати процеси, що відбуваються під час віброактивування колоїдної системи.

Починаючи з 35 хв обробки суміші непряму оцінку зміни в'язкості системи можна здійснювати за допомогою приладу Віка (рис. 4). Проте, як зазначалось раніше, цей метод не дає змоги отримати числові значення в'язкості та є

придатним аналогічно як і метод визначення в'язкості за допомогою ротаційного віскозиметра

в обмеженому часовому інтервалі від 35 до 70 хв віброактивування.

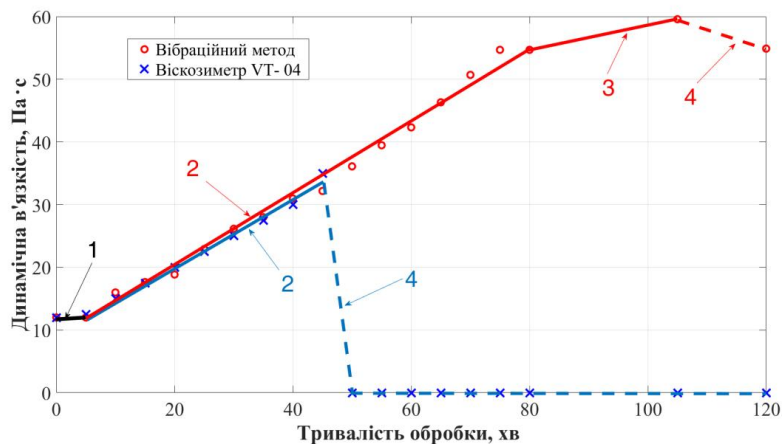


Рис. 3. Значення в'язкості вапняного тіста в процесі віброактивування (1 – зона постійної в'язкості; 2 – зона пропорційного зростання; 3 – зона зменшеного зростання; 4 – зона нечутливості приладу)

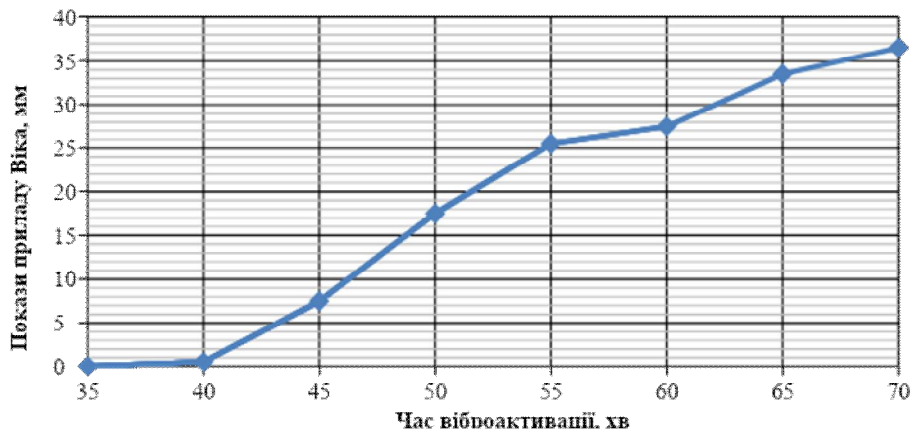


Рис. 4. Залежність показів приладу Віка від часу віброактивації вапняного тіста

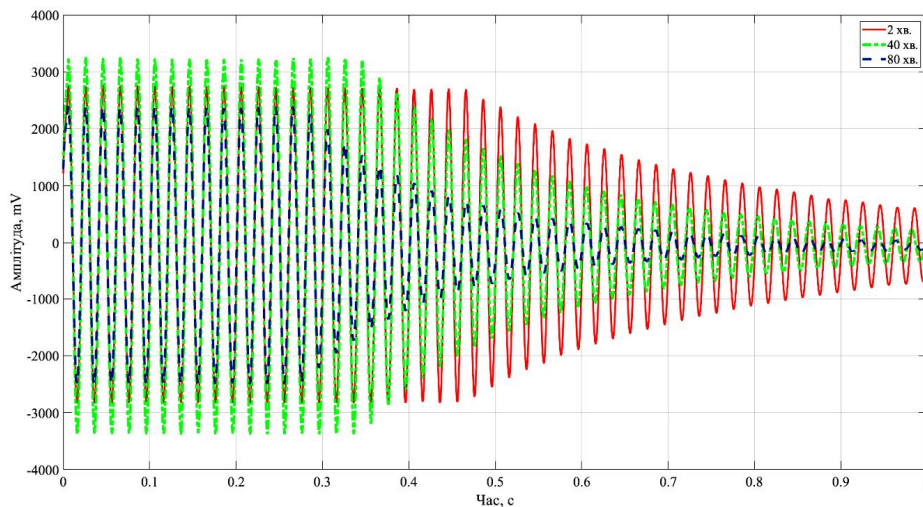


Рис. 5. Залежність амплітуди згасання коливань від часу віброактивування

Як показали дослідження єдиним методом, що дає можливість отримувати достовірні значення динамічної в'язкості та контролювати процес диспергування у системі гідратне вапно – вода є метод вібраційного визначення в'язкості. Наочно суть цього методу, який дає змогу оцінити характер залежності амплітуди згасання коливань вапняного тіста після 2, 40 та 80 хв віброактивування наведено на рис. 5.

Після 80 хв обробки суміші (рис. 3, ділянка 3) на кривій зміни в'язкості вапняного тіста під час віброактивування спостерігається зона зменшеного зростання в'язкості. Це, очевидно, пов'язано з тим, що внаслідок значного збільшення питомої поверхні системи під час диспергування різко зменшується кількість вільної води, що супроводжується її загусненням.

### Висновки

Отже, в результаті проведених експериментів встановлено ефективність використання вібраційного методу визначення в'язкості колоїдних систем, зокрема системи гідратне вапно – вода, який дає можливість отримати достовірні числові значення динамічної в'язкості та контролювати процес диспергування гашеного вапна на всьому етапі проведення досліджень.

### References

1. Fomina YE. V., Strokova V. V., Kudayarova N. P. (2013) Osoblyvosti vykorystannya nehashenoho vapna v hazobetonі avtoklavnoho tverdінnya, (5), 29–34. [in Ukrainian]

2. Rudenko O. V. (2009). Vyrobnystvo vapna ta spozhyvannya enerhiyi v shakhtnykh i obertovykh pechakh. *Budivnystvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannya: seriya Teoriya i praktyka vyrobnystva i zastosuvannya hazobetonu v budivnytvi: zb. naukovі pratsi*, (4), 294–308. [in Ukrainian]

3. Ubriako P. (1998). Doslidzhennya hidratatsiyi vapnyano-putsolanovykh zv'yazuyuchykh. *Zhurnal termichnoho analizu*, (52), 1047–1054. [in Ukrainian]

4. Kuznyetsova H. V., Morozova N. N., Khozin V. H. (2015) Karbonatni poroshky pry vyrobnytvi sylikatnoyi tsehly na vapni bez dobavok, (7), 10–12. [in Ukrainian]

5. Mamytov A. S. (2016) Doslidzhennya vlastyvvostey tsementiv z vapnyakovym napovnyuvachem, (1), 244–248. [in Ukrainian]

6. Khalyullin M. I., Rakhimov R. Z., Heyfullin A. R. (2012) Kompozytni hipsovi v'yazhuchi rechovyny z dodavanyam vapna, keramzytobetonu ta superplastyfikatoriv, (4), 351–355. [in Ukrainian]

7. Dribnohidratovane vapno vid Kalk Kontor. Rezhym dostupu: <https://www.kalk-kontor.de/> [in Ukrainian]

8. Zahray A. I., Borovets' Z. I., Novyts'kyy Ya. M., Chekaylo M. V., Yakimechko Ya. B. (2019). Vplyv dyspersnoho vapna na zatverdінnya tsementnoho kamenyu. *Khimiya, tekhnolohiya rechovyn ta yikh zastosuvannya*, 2 (2), 55–61. [in Ukrainian]

9. DSTU B V.2.7-90: 2011 Vapno budivel'ne. Tekhnichni umovy. [in Ukrainian]

10. DSTU B V.2.7-100-2000 Dobavky aktyvni, mineral'ni dlya tsementiv. Metody vyprobuvan'. [in Ukrainian]

11. Bilets'kyy V. S. (2013) *Mala hirnycha entsyklopediya*, (3). [in Ukrainian]

12. Kolchunov V. I. (2004). *Teoretychna ta prykladna hidromekhanika*: Pidruchnyk. Posibnyk.-K.: NAU. - 336s. [in Ukrainian]

13. Nikerov V. A. (2018) *Fizyka*, 60–62. [in Ukrainian]

**A. I. Zahrai, Z. I. Borovets, I. V. Lutsyuk, Ya. M. Novitskyi**

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical Technology of Silicate Materials,  
Department of Technical Mechanics and Machine Dynamics  
andrii.i.zahrai@lpnu.ua

### CRITERIA FOR RESEARCH OF THE PROCESS OF DISPERSION OF THE SYSTEM OF HYDRATE LIME-WATER

The process of dispersion of slaked lime in a vibrating activator of the bunker type is investigated. The nature of the change in the viscosity of lime dough during machining by vibration and rotary viscometer has been studied. It is established that the process of vibroactivation of hydrated lime successively goes through the stages of proportional growth of dynamic viscosity, slowing down its growth and cessation of dispersion. The efficiency of using the vibration method for determining the viscosity of the hydrated lime – water system is shown.

**Key words:** hydrated lime, vibroactivated lime, lime-colloidal system, lime dispersion, dynamic viscosity, vibration viscosity determination method