

УДК 666.913

## МОДИФІКОВАНЕ ГІПСОВЕ В'ЯЖУЧЕ

КОНДРАТЬЄВА Н. В.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.,

МОРОЗ Л. В.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.,

МОРОЗ В. Ю.<sup>3</sup>, аспир.,

БЕГУН А. І.<sup>4</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup>Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, Україна, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID 0000-0002-2537-4389

<sup>2</sup>Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-3150-7472

<sup>3</sup>Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: MorozDnepr@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2435-8050

<sup>4</sup>Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37

**Анотація. Постановка проблеми.** Недолік гіпсового в'язучого – це обмежена водостійкість виробів із нього, що історично зумовило застосування продуктів на його основі переважно для внутрішніх будівельних та оздоблювальних робіт. Для регулювання процесу гідратації та структуроутворення використовують хімічні добавки, котрі вводять із додаванням води або для виробництва в'язучого. Як правило, речовини, що підвищують розчинність гіпсового в'язучого, є прискорювачами, а речовини, що зменшують розчинність, – сповільнювачами тужавлення суміші. Більшість прискорювачів та сповільнювачів тужавлення негативно впливають на кінцеву міцність суміші. Більш ефективний вплив на гіпсові в'язучі чинять добавки-пластифікатори. **Мета дослідження** – модифікування гіпсового в'язучого з метою підвищення його водостійкості та ліпшення деяких технологічних факторів (час тверднення, водогіпсове відношення тощо), що дозволяє зменшити його недоліки та розширити сферу застосування. **Висновок.** У результаті проведених досліджень досягнуто зміни основних властивостей гіпсового в'язучого за рахунок додавання добавок-пластифікаторів. Визначено найбільш ефективні добавки, що дозволяють значно знизити водо-гіпсове співвідношення, підвищити показники міцності та отримати гіпсове в'язуче більш щільної структури.

**Ключові слова:** гіпсове в'язуче; добавки пластифікатори; вплив; модифікація; властивості

## МОДИФИЦИРОВАННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

КОНДРАТЬЕВА Н. В.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.

МОРОЗ Л. В.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.

МОРОЗ В. Ю.<sup>3</sup>, аспир.,

БЕГУН А. И.<sup>4</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup>Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, м. Днипро, 49005, Украина, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID 0000-0002-2537-4389

<sup>2</sup>Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днипро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-3150-7472

<sup>3</sup>Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днипро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: MorozDnepr@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2435-8050

<sup>4</sup>Днепропетровский государственный аграрный университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (0562) 713-51-37

**Аннотация. Постановка проблемы.** Недостатком гипсового вяжущего является ограниченная водостойкость изделий из него, что исторически обусловило применение гипсовых продуктов преимущественно для внутренних строительных и отделочных работ. Для регулирования процесса гидратации и структурообразования используют химические добавки, которые вводят с водой затворения или при производстве вяжущего. Как правило, вещества, которые повышают растворимость гипсового вяжущего, называют ускорителями, а вещества, которые замедляют растворимость – замедлителями твердения смеси. Большинство ускорителей и замедлителей твердения отрицательно влияют на конечную прочность смеси. Более эффективное влияние на гипсовые вяжущие оказывают добавки-пластификаторы. **Цель исследования** – модификация гипсового вяжущего с целью повышения его водостойкости и улучшения некоторых технологических факторов (время твердения, водогипсовое отношение и т. д.), что позволит бы уменьшить его недостатки и расширить сферу применения. **Вывод.** В результате проведенных исследований были рассмотрены изменения основных свойств гипсового вяжущего при введении добавок-пластификаторов. Определены

наиболее эффективные добавки, позволяющие значительно снизить водо-гипсовое отношение, повысить прочностные характеристики и получить гипсовое вяжущее более плотной структуры.

**Ключевые слова:** гипсовое вяжущее; добавки-пластификаторы; влияние; модификация; свойства

## MODIFIED GYPSUM BINDER

KONDRATEVA N. V.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

MOROZ L. V.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

MOROZ V. Yu.<sup>3</sup>, *post-graduate*,

BEGUN A. I.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1</sup>PHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology», 8, Gagarin av., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID 0000-0002-2537-4389

<sup>2</sup>PHEI «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24a, Chernyshevskoho str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-3150-7472

<sup>3</sup>PHEI «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24a, Chernyshevskoho str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: MorozDnepr@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2435-8050

<sup>4</sup>PHEI «Dnepropetrovsk State Agrarian-Economic University», 25 Voroshylov str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 713-51-37

**Summary. Statement of the problem.** A disadvantage of the gypsum binder is the limited water resistance of products that historically led to the use of gypsum products mostly for internal construction and finishing works. To regulate the process of hydration and structure formation of the use of chemical additives that are introduced with the mixing water or in the production of the binder. As a rule, substances that increase the solubility of the gypsum binder referred to as the hardening accelerator, and substances which retard the solubility of the inhibitors of hardening of the mixture. Most accelerators and retarders hardening affect adversely on the final strength of the mixture. More effective impact on gypsum binder additives have plasticizers. **The purpose of the article.** Getting gypsum binder modified with the aim of improving its water resistance and improvement of some technological factors (the time of hardening, water gypsum ratio, etc.) would reduce its shortcomings and expand the scope of application of the binder. **Conclusion.** The result of the research reviewed changes in the basic properties of the gypsum binder with the introduction of additives, plasticizers, and selected the most effective supplements to significantly reduce water gypsum ratio, to improve strength properties and to obtain gypsum binder more dense structure.

**Keywords:** gypsum binder; additives; plasticizers; impact; modification; properties

**Постановка проблеми.** Одне з найдавніших мінеральних в'язучих - гіпсове, сировиною для виробництва якого є як природний камінь, так і відходи промисловості. Світові запаси цього в'язучого складають 3 млрд т. При цьому розвідані запаси гіпсу складають понад 7500 млн т. В Україні запаси оцінюють на рівні 450 млн т.

Серед переваг гіпсового в'язучого перед іншими типами в'язучих – висока швидкість тужавлення, що дозволяє скоротити терміни проведення робіт та збільшити оборотність оснастки та обладнання, зменшуючи при цьому витрати. Не можливо не зазначити нейтральність будівельних гіпсових розчинів, їх меншу небезпеку для робітників, більшу екологічність гіпсових будівельних матеріалів.

Недолік гіпсового в'язучого - обмежена водостійкість виробів із нього, що історично зумовило застосування продуктів на його основі переважно для внутрішніх будівельних та оздоблювальних робіт. На

відміну від цементно-піщаної суміші, котру можна використовувати без модифікації в як кладкову суміш, штукатурку, стяжку та клей для плитки, систему на основі гіпсового в'язучого неодмінно потрібно модифікувати добавками [2; 3].

**Аналіз публікацій.** Для регулювання процесу гідратації та структуроутворення використовують хімічні добавки, котрі вводять під час додавання води або виробництва в'язучого. Вивченням впливу добавок на тверднення та формування структури неводостійких гіпсових в'язучих займалися О. О. Пашенко, В. Д. Глуховський, М. А. Саницький, А. В. Ушеров-Маршак, Р. Ф. Рунова, П. В. Кривенко, В. Б. Ратінов, К. Н. Рожкова, Т. І. Розенберг, П. Роланд, В. Риддель, Л. Шассевен та інші.

Згідно з П. Роландом, присутність у гіпсовому в'язучому добавок, котрі сприяють підвищенню або зниженню його розчинності, створює умови для прискорення або уповільнення процесів гідратації. При цьому швидкість гідратації залежить як від

природи розчиненої речовини, так і від її концентрації в розчині. Як правило, речовини, що підвищують розчинність гіпсового в'язучого, є прискорювачами, а речовини, що зменшують розчинність – сповільнювачами тужавлення суміші. Більшість прискорювачів та сповільнювачів тужавлення негативно впливають на кінцеву міцність суміші. Більш ефективний вплив на гіпсові в'язучі чинять добавки-пластифікатори [1; 5].

**Мета дослідження** - отримання гіпсового в'язучого з підвищеною водостійкістю та поліпшеними технологічними факторами (час тверднення, водо-гіпсове відношення та ін.), що зменшить його недоліки та розширить сферу застосування.

**Виклад матеріалу.** Зміна водостійкості гіпсового в'язучого нероздільно пов'язана з отриманням матеріалу більш щільної структури. Один зі способів ущільнення структури готового виробу - це регулювання водо-гіпсового відношення за допомогою добавок-пластифікаторів різноманітного походження.

Для досліджень використовували такі матеріали:

1. Гіпсове в'язуче марки Г5 Н – II згідно з ДСТУ Б В.2.7-82, виробництва ПАТ «Гіпсовик», м. Кам'янець-Подільський [4].

2. Добавки-пластифікатори торгівельних марок:

а) ТОВ «МЦ Баухемі» - MC-Power Flow 2695 та Power Flow 7915;

б) ТОВ «Сіка Україна» - Sika Viscocrete G та Sika Plastiment 1135;

в) ТОВ «Стахема Львів-сервіс» - Staheplast 156;

г) ТОВ «Coral» – N4Sm.

Визначення властивостей гіпсового в'язучого (нормальна густина (В/Г), терміни тужавлення ( $\tau_{\text{поч}}$ ,  $\tau_{\text{кін}}$ ), міцність при згині ( $R_{\text{зг}}$ ) та стиску ( $R_{\text{ст}}$ )) виконувалось згідно з ДСТУ Б В.2.7-82 [4].

Спочатку визначили властивості гіпсового в'язучого без добавок. Потім - зміну показників цих властивостей у результаті додавання до суміші добавок-пластифікаторів.

Добавки додавали до суміші в максимальній рекомендованій кількості (табл.).

Із результатів досліджень видно, що додавання усіх добавок викликає до значне зменшення водо-гіпсового співвідношення. Так, при додаванні Sika Viscocrete G водо-гіпсове співвідношення зменшилося на 18,7 %, MC-Power Flow 2695 – на 14 %, Staheplast 156 – 13 %, Power Flow 7915 – 10 %, Coral N4Sm – 9 %, Sika Plastiment 1135 – 7 %.

Додавання до суміші добавки Coral N4Sm викликає значне збільшення термінів тужавлення (з 12 до 43 хв – кінець тужавлення). Таке подовження термінів тужавлення зумовлює наявність у зразках значної кількості вологи в віці 2 годин. Наявність надмірної вологи спричинює до зниження показників міцності під час випробувань за стандартною методикою. Оскільки добавка зменшує показники міцності, вона не може бути застосована для модифікації гіпсового в'язучого.

Power Flow 7915 торгівельної марки МС «Баухемі» збільшує показники міцності в'язучого, але має ефект прискорення термінів тужавлення з 12 до 8 хвилин (кінець тужавлення). Такі терміни тужавлення будуть обмежувати робочий об'єм суміші, що використовується для виконання робіт, та виключатимуть можливість застосування цієї суміші у виробничих умовах.

Sika Plastiment 1135 має мінімальний пластифікувальний ефект серед добавок, що розглядаються, та практично незначний вплив на показники міцності суміші. Така добавка не забезпечить необхідного ущільнення структури матеріалу та є найменш ефективною серед тих, що розглядалися, за впливом на властивості гіпсового в'язучого.

Найбільш ефективна, серед тих, що досліджувалися, добавка Sika Viscocrete G. За її додавання спостерігається значний пластифікувальний ефект (табл.) порівняно з існуючим приростом показників міцності (міцність при згині – 70 %, міцність при стиску – 40 %) та достатнім сповільненням термінів тужавлення – з 12 до 29 хвилин (кінець тужавлення).

Як альтернативні можуть бути використані добавки MC-Power Flow 2695,

Staheplast 156. У разі зменшення водо-гіпсового співвідношення на 13 % добавка Staheplast 156 забезпечує приріст показників міцності – міцність при згині 23 %, міцність при стиску 28 % та незначний вплив на терміни тужавлення – сповільнення в межах 2 хвилин.

MC-Power Flow 2695 за пластифікувального ефекту в 14 % має менш значний вплив на показники міцності, але

сповільнює терміни тужавлення з 12 до 21 хвилини (кінець тужавлення).

Оскільки до гіпсового в'язучого додавали добавки у максимальній рекомендованій кількості, прийнято рішення про проведення другого етапу досліджень, під час якого більш детально визначали вплив трьох найбільш ефективних добавок за введення їх у різній кількості.

Таблиця

**Вплив добавок на властивості гіпсового в'язучого Г5 Н ІІ**

	Гіпсове в'язуче	Сіка, Viscocrete G	MC Баухемі, 2695	Стахема, STP 156	MC Баухемі, 7915 Power floor	Корал, N4Sm	Сіка, Plastiment 1135
Призначення добавки		суперпластифікатор для гіпсових сумішей	суперпластифікатор для бетонних сумішей	гіперпластифікатор для бетонних сумішей	прискорювач тужавлення	поліфункціональна добавка, уповільнювач термінів тужавлення	пластифікатор для бетонних сумішей
Максимальна рекомендована кількість добавки, %	0	0,8	5	1,5	2	1,5	1
В/Г	0,66	0,473	0,52	0,53	0,557	0,567	0,59
$\tau_{\text{поч.}}$ , хв-сек.	8-10	22-10	14-20	10-50	6-20	39-50	12-00
$\tau_{\text{кін.}}$ , хв-сек.	12-20	29-10	21-10	14-10	8-10	43-00	15-15
$R_{\text{зг.}}$ , МПа	2,2	3,74	2,2	2,71	2,55	1,59	2,18
$R_{\text{ст.}}$ , МПа	2,38	3,34	2,83	3,5	3,31	1,78	2,47

Результати досліджень наведені на рисунках 1, 2.

Аналіз побудованих залежностей показав, що ефективне зменшення водо-гіпсового співвідношення відбувається лише у випадку додавання добавок у межах рекомендованої кількості (рис. 1, а). Додавання добавки MC-Power Flow 2695 в кількості від 2,5 до 5 % зменшує водо-гіпсове співвідношення в досить малих межах ( $B/G = 0,5-0,52$ ).

Найбільш ефективний уповільнювач термінів тужавлення - добавка Sika Viscocrete G (рис. 1, а, б). Менш ефективно на терміни тужавлення впливає добавка MC-Power Flow 2695. Найменше сповільнення спостерігається у разі додавання добавки Staheplast 156.

Додавання всіх трьох добавок у кількості більше рекомендованої спричинює значне зменшення показників міцності (рис. 2, а, б). Максимальний приріст показників міцності можна спостерігати у випадку додавання добавки Sika Viscocrete G в кількості 0,8 % та MC-Power Flow 2695 в кількості 2-2,5 %. Додавання до гіпсового в'язучого добавки Staheplast 156 також викликає приріст показників міцності, але зміни цих показників відбуваються менш закономірно.

Ефективна кількість цієї добавки складає від 0,5 до 1,5 %. Проведення другого етапу досліджень підтвердило отримані під час першого етапу результати та дозволило скорегувати кількість добавок-пластифікаторів, а саме виявило можливість зменшення кількості добавки MC-Power Flow 2695 з 5 до 2 %.

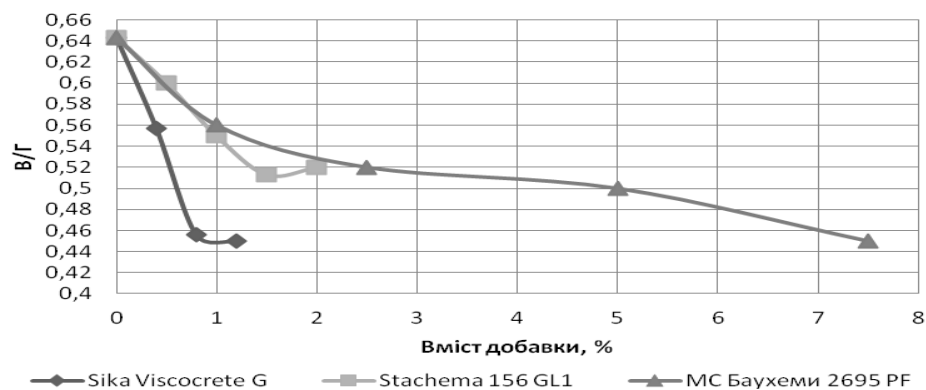
Під час визначення показників міцності гіпсового в'язучого спостерігалось підвищення температури у виготовлених зразках. Тому було відстежено вплив добавок-пластифікаторів на температуру гідратації суміші (рис. 3). Кількість добавки, що додавалася, корегувалася у відповідності з результатами досліджень, отриманими раніше. Температуру гідратації спочатку визначали для гіпсової суміші без добавок, а потім для гіпсової суміші з добавками-пластифікаторами.

Для гіпсової суміші без добавок крива зміни температури (рис. 3) гідратації виглядає таким чином: з 3-ї хвилини тузавлення спостерігається плавний підйом

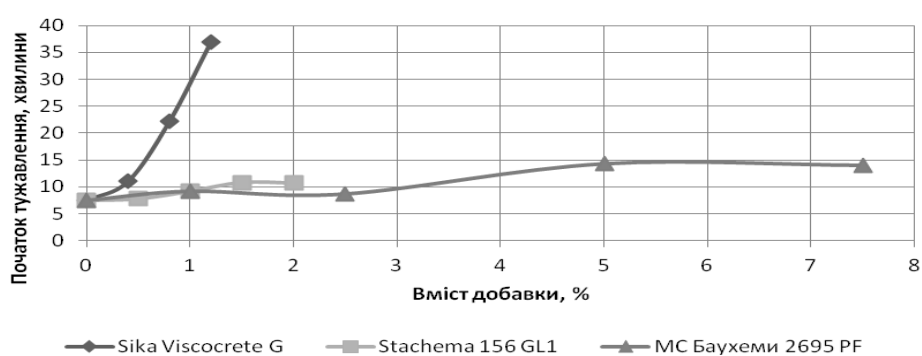
температури. На 20-й хвилині досягається максимальна температура гідратації – 38 °С. У проміжку з 20-ї до 29-ї хвилини температура гідратації незмінна. Після 29-ї хвилини починається плавне зниження показників температури.

Додавання добавок-пластифікаторів викликає підвищення максимальної температури гідратації суміші. Так, додавання добавки MC-Power Flow 2695 практично не змінює температурні показники на ділянці кривої в області підйому температури. Проміжок часу, що припадає на підвищення температури, збільшується до 24 хвилин.

а)



б)



в)

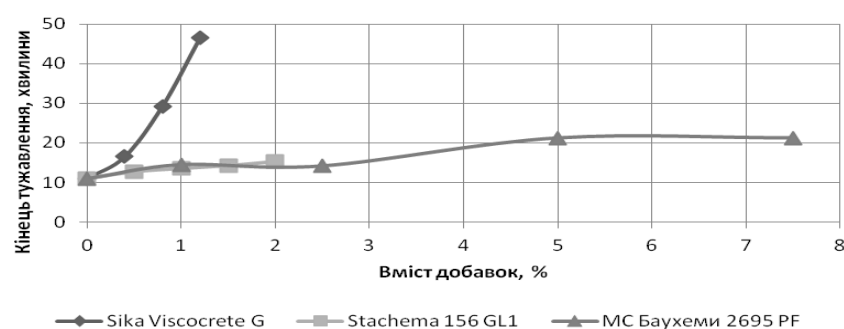
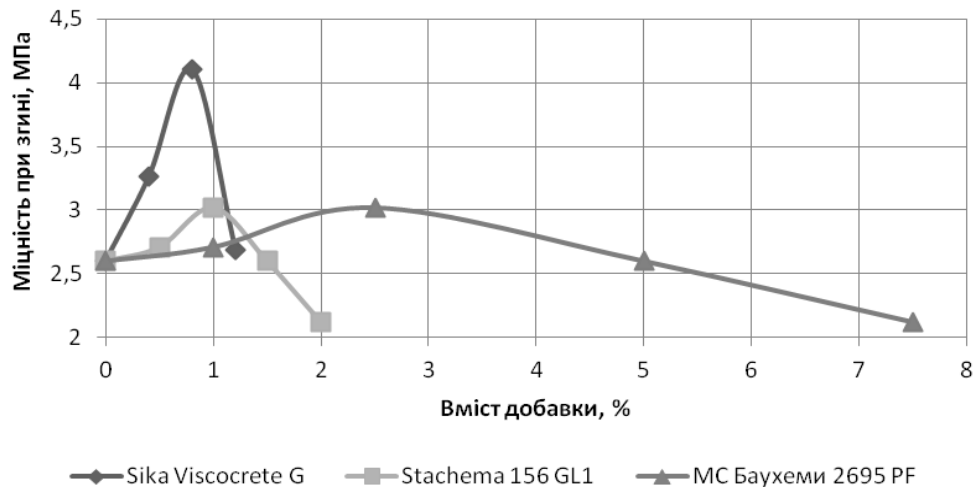


Рис. 1. Залежність основних властивостей гіпсового в'язучого від вмісту добавок пластифікаторів: а водо-гіпсове співвідношення; б початок тузавлення; в кінець тузавлення

*a*



*б*

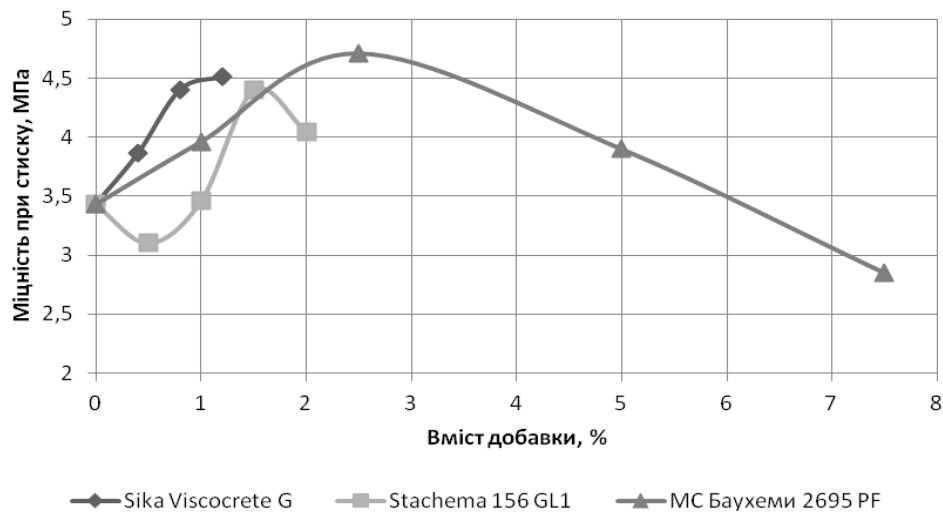


Рис. 2. Залежність основних властивостей гіпсового в'язучого від вмісту добавок пластифікаторів:  
а міцність при згині; б міцність при стиску

Максимальна температура гідратації збільшується до 41 °С. Проміжок часу, на якому зберігається максимальна температура, дуже короткий (лише 3 хвилини), після чого (починаючи з 27-ї хвилини) спостерігається зниження температури.

Під час зниження температури можна спостерігати місця збереження (до 5 хв) певного показника температури.

Суміш, що містить добавку Staheplast 156, має довший проміжок часу в період підйому температури (27 хв). Максимальна

температура гідратації – 40 °С та зберігається впродовж 5 хвилин. Потім відбувається її зниження. Під час зниження також спостерігаються певні проміжки часу з однаковим температурним показником.

Найдовший проміжок часу, що характеризується підйомом температури, має суміш із добавкою Sika Viscocrete G: 31 хвилина. Максимальна температура гідратації складає 41 °С і зберігається впродовж 9 хвилин, після чого відбувається її зменшення.

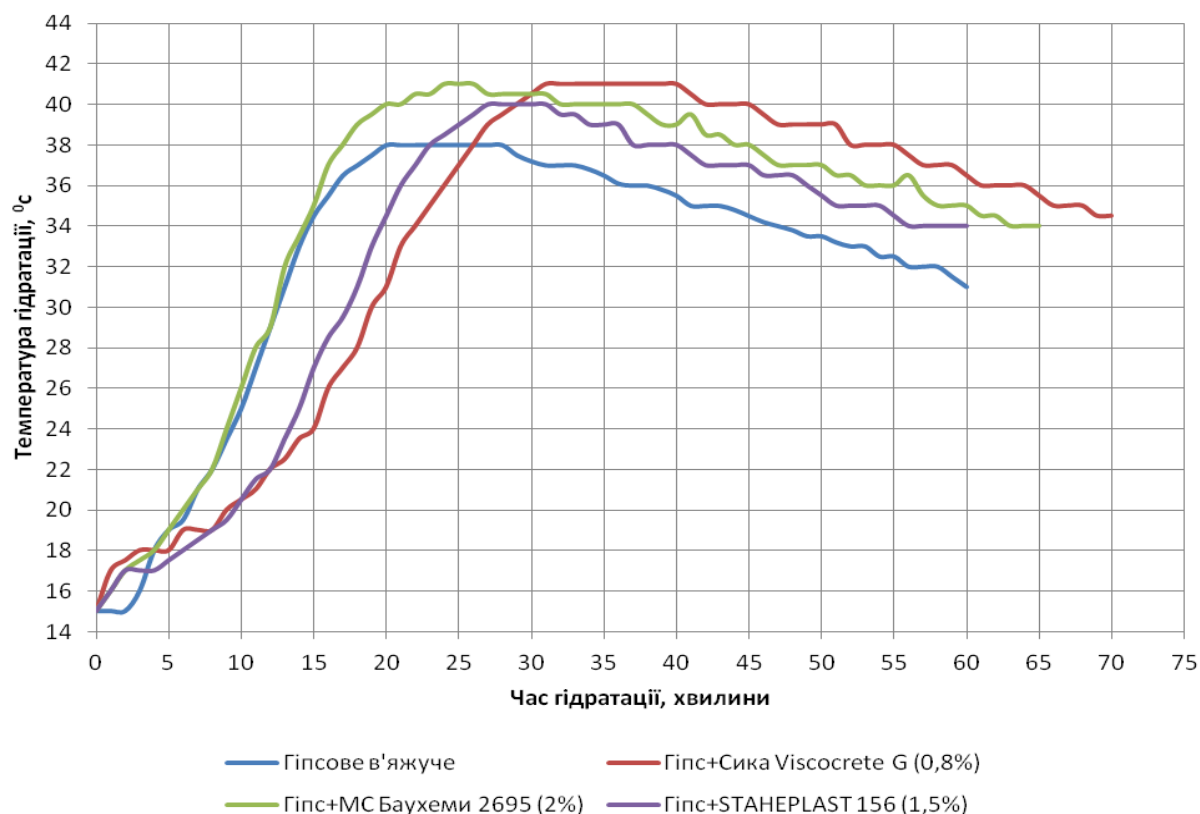


Рис. 3. Зміна температури гідратації в процесі тверднення гіпсової суміші

**Висновок.** У результаті проведених досліджень розглянуто зміни основних властивостей гіпсового в'язучого внаслідок додавання добавок пластифікаторів, а також визначено найбільш ефективні добавки, що дозволяють значно знизити водо-гіпсове співвідношення, підвищити показники міцності та отримати гіпсове в'язуче більш щільної структури.

Під час проведення досліджень встановлено:

1. Додавання усіх добавок викликає значне зменшення водо-гіпсового співвідношення. Найбільш ефективна серед тих, що досліджувалися, добавка Sika Viscocrete G. За її додавання спостерігається значний пластифікувальний ефект (табл.) порівняно з існуючим приростом показників міцності (міцність при згині – 70 %, міцність при стиску – 40 %) та достатнім

сповільненням термінів тужавлення – з 12 до 29 хвилин (кінець тужавлення).

2. Як альтернативні можуть бути використані добавки MC-Power Flow 2695, Staheplast 156.

3. Другий етап досліджень підтвердив отримані під час першого етапу результати та дозволив скорегувати кількість добавок-пластифікаторів, а саме виявив можливість зменшення кількості добавки MC-Power Flow 2695 з 5 до 2 %.

4. Під час визначення показників міцності гіпсового в'язучого спостерігалось підвищення температури у виготовлених зразках.

5. Максимальна температура гідратації гіпсового в'язучого – 38 °C. Додавання до суміші добавок викликає збільшення температури гідратації до 40-41 °C.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Влияние добавок на схватывание, твердение и формирование структуры гипсовых вяжущих веществ // ГРИСстрой. Новые технологии. Гипсовые материалы и изделия. Технологии работ. – Режим доступа: <http://www.grisstroy.ru/component/content/article/538.html>.

2. В'яжучі речовини / Р. Ф. Рунова, Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, Ю. Л. Носовський. – Київ : Основа, 2012. – 448 с.
3. Пашенко О. О. В'яжучі матеріали / О. О. Пашенко, В. П. Сербін, О. О. Старчевська. – Київ : Вища школа, 1995. – 416 с.
4. Будівельні матеріали. В'яжучі гіпсові. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-82:2010. – Чинний від 2011-03-01 ; на заміну ДСТУ Б В.2.7-82-99, РСТ УССР 1599-79. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
5. Твердение строительного гипса // ВосЦемПродукт. Строительные вяжущие материалы, технологии производства и применение вяжущих материалов. Гипсовые вяжущие вещества. – Режим доступа: <http://www.voscem.ru/articles/vyagugie-materialy/gips/tverdenie/>.

## REFERENCES

1. *Vliyanie dobavok na svyatyvanie, tverdenie i formirovanie struktury gipsovykh vyazhushchix veshchestv* [The effect of additives on the setting, solidification and structure formation of gypsum binders]. *GRISstroy. Novye tehnologii. Gipsovye materialy i izdeliya. Tekhnologii rabot* [GRISstroy. New technologies. Gypsum materials and products. Technology of work]. Available at: <http://www.grisstroy.ru/component/content/article/538.html>. (in Russian).
2. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovskiy Yu.L. *Vyazhuchi rehovyny* [Binders]. Kyiv: Osнова, 2012, 448 p. (in Ukrainian).
3. Pashchenko O.O., Serbin V.P. and Starchevska O.O. *Vyazhuchi materialy* [Binding materials]. Kyiv: Vyshcha shkola, 1995, 416 p. (in Ukrainian).
4. *Budivelni materialy. Viazhuchi gipsovi. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-82:2010* [Building materials. Gypsum binders. Technical conditions: the State Standards of Ukraine B V.2.7-82:2010]. *Chynnyi vid 2011-03-01* [Dated 2011-03-01]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. (in Ukrainian).
5. *Tverdenie stroitel'nogo gipsa* [The hardening of gypsum plaster]. *VosCemProdukt. Stroitel'nye vyazhushhie materialy, texnologii proizvodstva i primeneniye vyazhushchix materialov. Gipsovye vyazhushhie veshchestva* [VosCemProdukt. Building binder materials, manufacturing technique and application of binder materials. Gypsum binders]. Available at: <http://www.voscem.ru/articles/vyagugie-materialy/gips/tverdenie/>. (in Russian).

*Рецензент: Шпірько М. В., д-р т. н., проф.*

Надійшла до редколегії: 2.03.2017 р. Прийнята до друку: 13.03.2017 р.