

## РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 666.9.017:[691.311+661.872\*053.2-12]

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220920.147.682

### МЕХАНІЗМ ГІДРАТАЦІЇ ТА ВЛАСТИВОСТІ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ РОЗЧИНІВ

ГРИШКО Г. М., канд. техн. наук, доц.

Кафедра цивільної інженерії, технології будівництва та захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: [gryshko.anna0101@gmail.com](mailto:gryshko.anna0101@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Анотація. Постановка проблеми.** Один із багатьох факторів, що впливають на механізм реакцій твердіння, – це величина твердої поверхні за взаємодії різних фаз. Зміна їх співвідношення впливає на морфологію кристалів, форму блоків та структуру каркасу. У теперішній час виготовлення конструкцій та виробу на основі мінеральних в'язучих речовин виготовляють здебільшого із застосуванням ПАР, але теоретичні питання їх впливу на морфологію та структуру каркаса і, відповідно, на властивості матеріалів, недостатньо вивчені. **Мета статті** – дослідити процес гідратації та властивості дисперсно-армованих розчинів. **Висновок.** Аналіз наведених результатів свідчить, що крім розмірних параметрів значний вплив на структуру мають властивості і вигляд дискретних волокон, а саме, поверхня, її активність і величина. Вплив цих факторів пов'язаний із процесами гідратації системи і формуванням контактної шару волокно – матриця. Активна поверхня не тільки збільшує тверду поверхню розділу, а й впливає на фізико-хімічні процеси твердіння. Зміна величини неактивної поверхні викликає збільшення або зменшення армувальної дії волокон. Основний недолік такої поверхні – низька міцність контактної шару, і передача навантаження волокно – матриця здебільшого потребує збільшення довжини дискретних волокон. У зв'язку із цим необхідно приділити увагу впливу виду поверхні на процеси гідратації систем на основі мінеральних в'язучих. Якщо розглядати гідратацію як фізико-хімічну взаємодію компонентів, стає зрозумілим, що наявність нерозчинних складових впливає безпосередньо на процес формування структури. Цей процес залежить від етапу перемішування, хімічних реакцій і умов твердіння. Перший етап характеризується розподілом складових в об'ємі та залежить від їх властивостей. Це здебільшого розміри, гранулометрія і поверхня.

**Ключові слова:** гідратація; дисперсно-армовані розчини; структура; поверхня розділу

### МЕХАНИЗМ ГИДРАТАЦИИ И СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

ГРИШКО А. Н., канд. техн. наук, доц.

Кафедра гражданской инженерии, технологии строительства и защиты окружающей среды, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: [gryshko.anna0101@gmail.com](mailto:gryshko.anna0101@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Аннотация. Постановка проблемы.** Одним из многочисленных факторов, влияющих на механизм реакций твердения, является величина твердой поверхности при взаимодействии различных фаз. Изменение их соотношений влияет на морфологию кристаллов, форму блоков и структуру каркаса. В настоящее время в практическом изготовлении конструкций и изделий на основе минеральных вяжущих веществ применяются ПАВ, но теоретические вопросы их влияния на морфологию и структуру каркаса и, соответственно, на свойства материалов изучены недостаточно. **Цель статьи** – исследовать процесс гидратации и свойства дисперсно-армированных растворов. **Вывод.** Анализ приведенных результатов показывает, что кроме размерных параметров значительное влияние на структуру оказывают свойства и вид дискретных волокон, а именно, поверхность, ее активность и величина. Влияние этих факторов связано с процессами гидратации системы и формированием контактного слоя волокно – матрица. Активная поверхность не только увеличивает твердую поверхность раздела, но и влияет на физико-химические процессы твердения. Изменение величины неактивной поверхности приводит к увеличению или уменьшению армирующего действия волокон. Основным недостатком такой поверхности – низкая прочность контактного слоя, и передача нагрузки волокно – матрица в основном требует увеличения длины дискретных волокон. В связи с этим следует уделить внимание влиянию вида

поверхности на процессы гидратации систем на основе минеральных вяжущих. При рассмотрении гидратации как физико-химического взаимодействия компонентов становится понятно, что наличие нерастворимых составляющих оказывает влияние непосредственно на процесс формирования структуры. Данный процесс зависит от этапа перемешивания, химических реакций и условий твердения. Первый этап характеризуется распределением составляющих в объеме и зависит от их свойств. В основном это размеры, гранулометрия и поверхность.

**Ключевые слова:** гидратация; дисперсно-армированные растворы; структура; поверхность раздела

## HYDRATION MECHANISM AND PROPERTIES OF DISPERSE-REINFORCED SOLUTIONS

HRYSHKO H.M., *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

Department of Civil Engineering, Construction Technology and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: [gryshko.anna0101@gmail.com](mailto:gryshko.anna0101@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Abstract. Problem statement.** One of many factors impacting the mechanism of hardening reactions is the hard surface area at the interaction of different phases. Changing their ratios affects the morphology of crystals, shape of blocks, and scaffold structure. Today, surfactants are used for the production of structures and products based on mineral binders; however, theoretical issues related to their impact on the morphology and structure of the scaffold, and therefore on the properties of materials, have not been sufficiently studied. **The purpose of the article.** To study the hydration process and properties of disperse-reinforced solutions. **Conclusion.** The analysis of the provided results shows that besides the dimensional parameters, the structure is highly influenced by the properties and type of discrete fibers, particularly, the surface, surface activity, and surface area. The impact of these factors is associated with the system hydration processes and formation of a fiber-matrix contact layer. The active surface not only increases the solid interface, but also affects the physical and chemical hardening processes. Changing the value of the inactive surface either increases or reduces the reinforcement effect of fibers. The main disadvantage of such a surface is the low strength of the contact layer; besides, fiber-matrix load transfer basically requires an increase in the length of discrete fibers. Consequently, attention should be drawn to the impact of surface types on the hydration processes of systems based on mineral binders. If we consider hydration as a physicochemical interaction of components, it becomes clear that the presence of insoluble components directly impacts the structure formation process. This process depends on the mixing phase, chemical reactions, and hardening conditions. The first phase is characterized by the distribution of components throughout the volume and depends on their properties. These are mainly the dimensions, particle size distribution, and surface.

**Keywords:** hydration; disperse-reinforced solutions; structure; interface

**Вступ.** Один із численних факторів, що впливають на механізм реакцій твердіння, – це величина твердої поверхні за взаємодії різних фаз. Зміна їх співвідношень впливає на морфологію кристалів, форму блоків і структуру каркаса [1].

Значний вплив на процес гідратації також має зміна поверхні розділу твердої і рідкої фаз у процесі гідратації.

Сьогодні виготовлення конструкцій і виробів на основі мінеральних в'язучих речовин здійснюється із застосуванням поверхнево-активних речовин (ПАР), але теоретичні питання їх впливу на морфологію і структуру каркаса, і, відповідно, на властивості матеріалів, недостатньо вивчені [1].

**Мета статті** – дослідити процес гідратації та властивості дисперсно-армованих розчинів.

**Аналіз літератури.** Структура затверділої суміші – це результат процесів перемішування складових суміші і їх фізико-хімічних взаємодій. Одними з чинників, що впливають на процес перемішування і технологію укладання, бачаться реологічні властивості [2].

У працях [3; 4] зазначається, що на в'язкість системи значно впливає міжзерновий прошарок. Пластична деформація стає можливою лише завдяки зсувові рідкого середовища, тобто напруга зсуву  $\tau$ , при якій деформація  $u$  буде пропорційною відносній відстані між

твердими частинками та рідкою фазою. Таким чином, параметр насичення розчину заповнювачем залежить від співвідношення обсягу твердої і рідкої фаз і визначає ступінь збільшення в'язкості розчину, яка є функцією змінних:

$$\eta_p = f(x, u, h) \quad (1)$$

де  $x$  – співвідношення рідкої та твердої фаз;  $u$  – швидкість потоку;  $h$  – товщина прошарку.

В'язкість суміші великою мірою залежить від гранулометричного складу і форми зерен заповнювача. Особливо це помітно у випадку введення компонентів, довжина яких у кілька разів перевищує їх ширину. До таких заповнювачів можна віднести дискретні волокна. Розвиток і вдосконалення технологічного процесу і виготовлення конструкцій неможливі без відомостей про реологічні властивості цих сумішей, оцінки впливу дискретного армування волокнами різних видів на реологічні властивості сумішей [5].

Дослідження реологічних властивостей опору зсувові у функції деформації зсуву  $\tau = f(\epsilon)$  проводилися за допомогою вібровіскозиметра ротаційного типу. Для запису деформації зсуву за заданої напруги використовували прилад Вейлера – Ребіндера модифікованої конструкції [6], а для визначення вібраційної в'язкості – щілинний вібраційний віскозиметр. Реологічні характеристики розраховувалися за формулами [4]:

$$\epsilon = 3Q/2bh^2, \quad (2)$$

$$P = \Delta Ph/l, \quad (3)$$

$$\eta_v = \frac{2}{3} \Delta Ph^3 b / Ql, \quad (4)$$

де  $\epsilon$  – градієнт швидкості,  $C^{-1}$ ;  $P$  – напруга зсуву Н/м;  $h$ ,  $b$ ,  $l$  – товщина, ширина, довжина щілини, см;  $\Delta P$  – ізобарний тиск,  $дн/см^2$ ;  $Q$  – витрата суспензії,  $см^3/с$ .

**Результати дослідження.** Результати досліджень, проведених у лабораторіях

ДВНЗ ПДАБА, ДВНЗ УДХТУ м. Дніпро із застосуванням композицій на основі різних мінеральних в'язучих (гіпсових, цементних, вапняних тощо) дали можливість визначити принципове призначення використання певних видів волокон і їх вплив на реологічні характеристики.

Суміші, армовані волокнами, поведуться як псевдоньютонівські рідини (рис. 1):

$$\eta = \frac{P}{\epsilon} = const \quad (5)$$

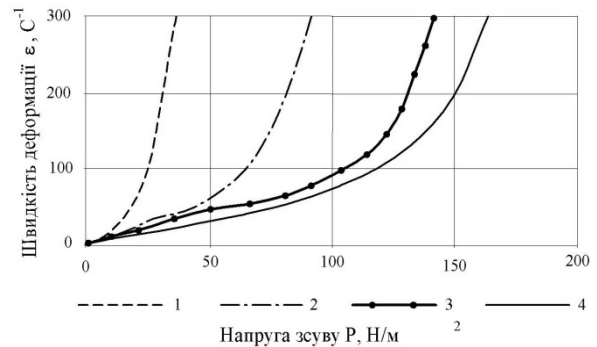


Рис. 1. Залежність швидкості деформації ( $\epsilon$ ) від напруги зсуву ( $P$ ) у сумішах, армованих вискомодульними волокнами: 1 – 0 % волокон; 2 – 0,5 %; 3 – 1,5 %; 4 – 2 %.

Зменшення вібров'язкості супроводжується збільшенням кута нахилу віброграм над віссю  $P$ . Деформація напруги залежить також від виду і довжини волокон. Процентний вміст волокна впливає на пластичність (рис. 1) [7].

Дослідження свідчать, що за довжини волокон щонайбільше 1,5...2 діаметри заповнювача і низьких значеннях процентного вмісту система поводить як двофазна, тобто має мезоструктуру, відповідно до класифікації І. М. Грушка [8]. У разі збільшення довжини і процентного вмісту волокон структура розчину, армованого дисперсними волокнами, переходить до третьої підгрупи і стає вже більш подібною за реологічними властивостями до сумішей із крупним заповнювачем (рис. 1).

Дослідження сумішей, армованих дискретними волокнами, показали, що великий вплив на реологічні властивості мають діаметр волокон і відношення довжини волокон до їх діаметра  $l/d$  (рис. 2).

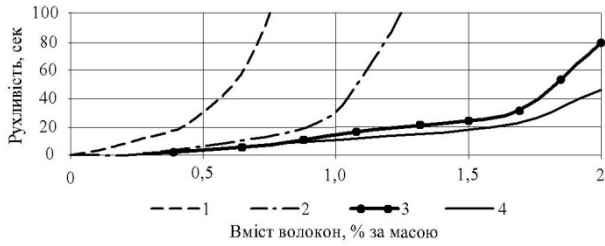


Рис. 2. Графіки залежності зміни рухливості суміші від довжини ( $l_0$ ) і вмісту волокон: 1 –  $l_0 = 20$  мм; 2 –  $l_0 = 15$  мм; 3 –  $l_0 = 10$  мм; 4 –  $l_0 = 5$  мм

Аналіз рисунків 1 і 2 показав, що розміри, кількість і природа волокон істотно впливають на в'язкість суміші. Отже, існує певна залежність в'язкості від цих параметрів [9].

Для визначення довжини, процентного вмісту і впливу волокон на в'язкість суміші вводили волокна різної довжини, збільшуючи їх вміст (рис. 3).

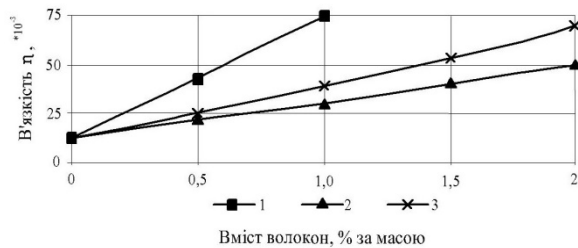


Рис. 3. Графіки залежності в'язкості сумішей ( $\eta$ ) від вмісту і довжини волокон ( $l$ ): 1 –  $l = 52$  мм; 2 –  $l = 26$  мм; 3 –  $l = 3$  мм

Уведення високомодульних МКВ (мулітокремнеземистих волокон) різної довжини змінює в'язкість армованої суміші, до того ж, не лінійно, про що свідчить кут нахилу  $\alpha$  (рис. 3).

Кут нахилу кривої (рис. 2, 3) залежності в'язкості суміші від кількості дисперсних волокон різко змінюється при досягненні їх критичного вмісту, який залежить також від їх довжини.

В'язкість розчинної суміші (рис. 2), армованої волокнами довжиною 20 мм, різко змінюється за їх вмісту 0,5 % масової частки. Зменшення довжини волокон дозволяє збільшити кількість армувального компонента, крива 2 (рис. 2). Перегин кривих настає за в'язкості 25...50 с. Це вказує, що існує залежність в'язкості розчинної суміші від співвідношення

довжини та діаметра дисперсних волокон і їх кількісного вмісту [9]:

$$\eta_a = \eta_p + \eta_p \cdot \mu \cdot \frac{l}{d}, \quad (6)$$

$$\eta_a = \eta_p \left(1 + \frac{\delta_M}{\delta_E} \cdot \frac{l}{d}\right), \quad (7)$$

де  $\eta_a$  – в'язкість армованого розчину, с;  $\eta_p$  – в'язкість розчину, с; 0...1;  $l$  – довжина волокон, мм;  $d$  – діаметр волокон, мм;  $\mu$  – концентрація армувального компонента:

$$\mu = \frac{\delta_M}{\delta_E}, \quad (8)$$

де  $\delta_M, \delta_E$  – напруги, тобто відповідні межі міцності матриці та волокон, МПа.

Для визначення реологічних властивостей розчинів здебільшого застосовуються два параметри: рухливість і водоутримувальна здатність розчинної суміші. Рухливість розчинної суміші – характеризуючий параметр легкоукладальності розчину. Показником служить глибина занурення еталонного конуса в розчинну суміш за дії власної ваги. Цей показник найбільш простий та прийнятний і у виробничих умовах дозволяє застосовувати таку методику.

Дослідження показали, що глибина занурення конуса при введенні волокон, вміст яких є критичним, різко змінюється. Збільшення кількості волокон призводить до більш помітного зниження глибини занурення, яка також залежить від довжини волокон (рис. 4) [10].

Відношення  $l/d$  впливає на міцність контактної шару між волокном і матрицею [11]. У разі зменшення значення відношення  $l/d$  волокно стає більш жорстким, а за значення  $l/d = 1$  – набуває форми, подібної до куба або кулі, що й стає причиною зниження в'язкості.

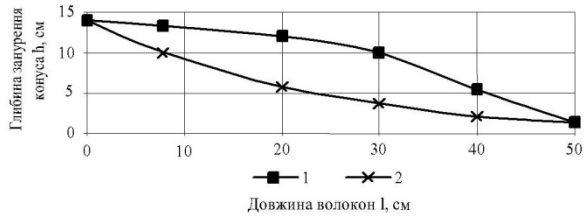


Рис. 4. Графіки залежності зміни глибини занурення конуса ( $h$ ) від довжини ( $l$ ) і кількісного вмісту волокон: 1 – 1%; 2 – 2%

Значну роль відіграють поверхнево-активні речовини. По-перше, їх застосування сприяє рівномірному введенню волокон. Деякі типи волокон неможливо навіть увести і рівномірно розподілити в обсязі. По-друге, знижує в'язкість і, відповідно, В/Т. В окремих випадках їх використовують для підвищення міцності адгезійного шару.

Ефективність волокон у композитах залежить від їх довжини та міцності контактного шару. Критична довжина волокон  $L_{кр}$  відповідає стану напружень, за якого відбувається розрив замість висмикування.

Важливим фактором впливу на ефективність функціонування волокна постає його відносне подовження при розриві або модуль пружності. Ефективний спосіб підвищення міцності композиційного матеріалу – застосування волокон, модуль пружності й міцність яких значно вищі за відповідні показники зміцнювальної матриці [12], тобто  $E_v/E_m > 1$ ,  $R_b/R_m > 1$ .

Для армування поризованих композицій можна використовувати волокна різного діаметра – від 1 до 100 мкм. Залежно від властивостей волокон, а саме еластичності, довжина волокон може становити від 1,1 до 300 мм. Спосіб розподілу волокон в об'ємі істотно впливає на фізико-механічні характеристики компонентів. Найбільш сприятливим фактором стає розташування волокон у тілі перегородок пор, що майже неможливо в разі армування волокнами з високим модулем пружності. Низькомодульні волокна здебільшого розташовуються в товщі перегородки за рахунок більш низької жорсткості.

У результаті дослідження закономірностей армування виробів із

пористих бетонів дисперсним волокном можна виділити позитивні й негативні сторони цього процесу [13]. До позитивних належать: за невеликих значень граничної напруги зсуву значно збільшується пластична в'язкість пінобетонної суміші, що викликає зменшення значень пластичності. Підвищення в'язкості суміші сприяє збільшенню тиску газу в порах, що може зумовити формування полідрічних пор із мінімальною товщиною міжпорових перегородок або їх ущільнення, тобто створюються передумови виникнення обмеженого стану при гідратації цементу.

Негативна сторона дисперсного армування поризованих композиційних матеріалів є: необхідність збільшення рідкої фази для зниження в'язкості та збільшення значень граничного напруження зсуву і пластичної в'язкості [14].

Синтетичні волокна мають низку переваг перед металевою арматурою: значно менша щільність волокон забезпечує збереження низької щільності, а гнучка структура не дозволяє матеріалу розтріскуватися, підвищуючи його міцність. Уведення таких волокон у поризовані суміші дозволяє в 2...2,5 рази збільшити міцність під час вигину, щонайбільше в 1,5 рази – міцність під час стиснення, в 7...9 разів – ударостійкість вихідних пористих композицій. Поліпшення порової структури матеріалу в результаті дисперсного армування сприяє зниженню водопоглинання і капілярного підсосу [15], що забезпечує поліпшення експлуатаційних характеристик виробів і конструкцій.

Фіброве армування майже повністю виключає появу і розвиток усадкових тріщин у процесі твердіння та подальшої експлуатації матеріалу [16].

**Висновок.** Аналіз наведених результатів свідчить про те, що, окрім розмірних параметрів, значний вплив на структуру мають властивості та вид дискретних волокон, а саме: поверхня, її активність і величина. Вплив цих факторів пов'язаний із процесами гідратації системи і формуванням контактного шару волокно – матриця. Активна поверхня не тільки

збільшує тверду поверхню розділу, а й впливає на фізико-хімічні процеси твердіння. Зміна величини неактивної поверхні викликає збільшення або зменшення армувальної дії волокон.

Основний недолік такої поверхні – низька міцність контактного шару, і передача навантаження волокно – матриця вимагає збільшення здебільшого довжини дискретних волокон.

Якщо розглядати гідратацію як фізико-хімічну взаємодію компонентів, стає зрозумілим, що наявність нерозчинних складових впливає безпосередньо на процес формування структури. Цей процес залежить від етапу перемішування, хімічних реакцій та умов тверднення.

Перший етап характеризується розподілом складових в об'ємі та залежить від їх властивостей. Це здебільшого розміри, гранулометрія і поверхня

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Толмачев С. Н., Величенко Е. А., Мисько Т. М. Исследование механизма структурообразования прессованных цементно-песчаных бетонов углеродными наночастицами. *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 61–63.
2. Фишер Х.-Б., Кривенко П. В., Саницкий М. А. Исследование процесса стабилизации свойств гипсовых вяжущих. *Строительные материалы и изделия*. 2013. № 1. С. 3–6.
3. Пунагин В. Н., Деревянко В. Н. Реологические свойства дисперсно-армированных растворов покрытий. *Вопросы химии и химической технологии*. 2001. № 2. С. 72–76.
4. Деревянко В. Н., Пунагин В. Н., Горидько Д. В., Пунагин В. В. Перспективы применения композиционных материалов в строительном производстве. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2004. № 3. С. 34–41.
5. Деревянко В. Н., Саламаха Л. В., Кушнир Е. Г., Щудро Е. С., Смоглий А. Г. Стойкость базальтового волокна в различных средах. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. № 2–3. С. 33–38.
6. Ничипоренко С. Н. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики : монография. Київ : Наукова думка, 1968. 147 с.
7. Кондратьева Н. В., Деревянко В. Н., Шибко М. И. К вопросу определения параметров армирующих волокон в композиционных материалах. *Вопросы химии и химической технологии*. 2004. № 3. С. 105–108.
8. Грушко И. М., Ильин А. Г., Рашевский С. Г. Прочность бетона на растяжение. Харьков : изд. ХГУ, 1973. 115 с.
9. Кондратьева Н. В., Шибко М. И., Скидан Л. В. Реологические свойства дисперсно-армированных смесей. *Новини науки Придніпров'я*. 2006. № 2. С. 34–38.
10. Деревянко В. Н., Скидан Л. В., Кондратьева Н. В. и др. Дисперсно-армированные бетоны. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2007. № 7. С. 13–16.
11. Деревянко В. Н., Саламаха Л. В., Потийко Л. А., Кушнир Е. Г., Евсеенко Н. П., Соколова Л. С., Щелокова Т. А. Композиционные материалы, армированные дискретными волокнами. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2009. Вып. 48, ч. 2. С. 131–137.
12. Goldfein S. Fibrous reinforcement for Portland cement. *Modern Plastics*. 1965. № 8 (42). Pp. 156–160.
13. Edgington I., Hahnadt D. I. Steel fibre reinforced concrete. The effect on fibre orientation of compaction by vibration. *Materials et Construction*. 1972. Vol. 5, № 25. Pp. 41–44.
14. Скидан Л. В., Потийко Л. А., Салаха Али М. Н. Влияние дисперсного армирования на прочность матрицы. *Хімія і сучасні технології* : тези доповідей III Міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпропетровськ, 2007. С. 230.
15. Волошин В. Ф., Деревянко В. Н., Шаповалова О. В., Кондратьева Н. В. Повышение стойкости технической пены. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2003. № 6. С. 14–19.
16. Деревянко В. Н., Деревянко В. Н., Кондратьева Н. В., Клименко Р. В. Химические полимерные волокна для армирования композиционных материалов. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2004. Вып. 27. С. 185–191.

## REFERENCES

1. Tolmachov S.M., Velichenko O.A. and Misko T.M. *Issledovaniye mekhanizma strukturoobrazovaniya pressovannykh tsementno-peschanykh betonov uglerodnymi nanochastitsami* [Study of Structure Formation

Mechanisms of Sand and Cement Concretes Pressed With the Use of Nanoparticles]. *Stroitelnyie materialy* [Construction materials]. 2011, no. 9, pp. 61–63. (in Russian).

2. Fischer H.-B., Kryvenko P.V. and Sanytskyi M.A. *Issledovaniye protsessa stabilizatsyi svoistv gipsovykh viazhushchikh* [Study of the Process of Stabilization of Properties of Gypsum Binders]. *Stroitelnyie materialy i izdeliya* [Building Materials and Products]. 2013, no. 1, pp. 3–6. (in Ukrainian).

3. Punahin V.M. and Derevianko V.M. *Reologhicheskkiye svoistva dispersno-armirovannykh rastvorov pokrytiy* [Rheological Properties of Disperse Reinforced Mortars for Coatings]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology]. 2001, no. 2, pp. 72–76. (in Ukrainian).

4. Derevianko V.M., Punahin V.M., Goridko D.V. and Punahin V.V. *Perspektivy primeneniya kompozitsyonnykh materialov v stroitelnom proizvodstve* [Prospects of Using Composite Materials in the Construction Industry]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2004, no. 3, pp. 34–41. (in Ukrainian).

5. Derevianko V.M., Salamaha L.V., Kushnir Ye.H., Shchudro Ye.S. and Smohlii A.H. *Stoikost bazaltovogo volokna v razlichnykh sredah* [Resistance/Stability of Basalt Fiber in Different Media]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2010, no. 2–3, pp. 33–38. (in Ukrainian).

6. Nichiporenko S.N. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur v tekhnologii stroitelnoy keramiki* [Physical-Chemical Mechanics of Disperse Structures in Technology of Building Ceramics]: monograf. Kyiv : Naukova Dumka Publ., 1968, 147 p. (in Ukrainian).

7. Kondratieva N.V., Derevianko V.M. and Shybko M.I. *K voprosu opredeleniya parametrov armiruyushchikh volokon v kompozitsyonnykh materialakh* [On the Issue of Estimating the Properties of Reinforcement Fibers in Composite Materials]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology]. 2004, no. 3, pp. 105–108. (in Ukrainian).

8. Grushko I.M., Ilyin A.G. and Rashevskiy S.G. *Prochnost betona na rastiazheniye* [Tensile Strength of Concrete]. Harkov : HGU Publ., 1973, 115 p. (in Ukrainian).

9. Kondratieva N.V., Shybko M.I. and Skidan L.V. *Reologhicheskkiye svoistva dispersno-armirovannykh rastvorov pokrytiy* [Rheological Properties of Disperse Reinforced Mixtures]. *Novyny nauky Prydniprovya* [News of Science of Prydniprovya]. 2006, no. 2, pp. 34–38. (in Ukrainian).

10. Derevianko V.M., Skydan L.V., Kondratieva N.V. and oth. *Dispersno-armirovannyye betony* [Disperse Reinforced Concretes]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2007, no. 7, pp. 13–16. (in Ukrainian).

11. Derevianko V.M., Salamaha L.V., Potiiko L.O., Kushnir Ye.H., Yevseienko N.P., Sokolova L.S. and Shcholokova T.A. *Kompozitsyonnyie materialy, armirovannyye diskretnymi voloknami* [Discrete Fiber Reinforced Composite Materials]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashynostroyeniye* [Construction, Materials Science, Machine Engineering]. 2009, iss. 48, p. 2, pp. 131–137. (in Ukrainian).

12. Goldfein S. Fibrous Reinforcement for Portland Cement. *Modern Plastics*. 1965, no. 8 (42), pp. 156–160.

13. Edgington I. and Hahnhaht D.I. Steel Fiber Reinforced Concrete. The Effect on Fiber Orientation of Compaction by Vibration. *Materiaux et Construction*. 1972, vol. 5, no. 25, pp. 41–44. (in Germany).

14. Skydan L.V., Potiiko L.O. and Salah Ali M.N. *Vliyanie dispersnogo armirovaniya na prochnost matritsy* [The Impact of Disperse Reinforcement on the Strength of Matrix]. *Khimiia i suchasni tekhnologii : tezy dopovidei III Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh* [Chemistry and Modern Technology : mater. III Intern. sc.-tech. conf. of students, postgraduate students and young scientists]. Dnipropetrovsk, 2007, p. 230. (in Ukrainian).

15. Voloshyn V.F., Derevianko V.M., Shapovalova O.V. and Kondratieva N.V. *Povysheniye stoykosti tekhnicheskoy peny* [Improving Industrial Foam Stability]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2003, no. 6, pp. 14–19. (in Ukrainian).

16. Derevianko V.M., Derevianko V.M., Kondratieva N.V. and Klimenko R.V. *Khimicheskyye polimernyye volokna dlia armirovaniya kompozitsyonnykh materialov* [Man-Made Polymer Fibers for the Reinforcement of Composite Materials]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashynostroyeniye* [Construction, Materials Science, Machine Engineering]. 2004. iss. 27, pp. 185–191. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 27.08.2020.