

11. Goncharenko D.F., Alejnikova A.I., Gudilin R. I. Kanalizacionnye tonneli i kollektory – na poroge ehkologicheskoy katastrofy. *Naukovij visnik budivnictva*. Kharkiv: KHNUBA KHOTV ABU. 2018. № 3. s. 110- 115.
12. Avariya na kanalizacijnomu kolektori v m. Kharkovi. URL: <https://kh.vgorode.ua/news/so-bytyia/354814-avariya-s-dushkom-v-kharkove-obvalylsia-kollektor>
13. Goncharenko D., Aleinikova A., Ubiivovk A. Development of a rehabilitation method for sewer tunnels at the junctions to inspection shafts. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. Series of geology and technology Sciences. 2020. 2 (440). P. 55-62.
14. Plakhotnikov K., Starkova O., Dedenova O., Bondarenko D., Demina O. Innovative Thermal Insulation Materials with Dual Properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 907 (1).
15. Pukharenko Yu.V., Nikitin V.A., Letenko D.G. (2006) Nanostrukturirovanie vody zatvoreniya kak sposob povysheniya effektivnosti plastifikatorov betonnykh smesey. *Stroitelnye materialy*. 8.№9. 11-13. [in Russian]
16. Anbari M., Massoud T., Abbas R. Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. *Journal of environmental management*. 2017. № 190. P. 91-101.

Kabus O.V., Lykhohrai V.V., Aleinikova A.I., Vynogradov V.V., Kupchynskiy Y.O. Implementation of BIM Technologies at the Wastewater Utility Network Level with the Purpose of Creating the Information Model of the City of Kharkiv. The impact of rapid urbanization on the city can be minimized through implementing the concept of smart city. Creating an information model for the city of Kharkiv is a promising area that will allow the accumulation of up-to-date information about buildings and facilities in a single space. Since water supply and wastewater disposal systems in Kharkiv have a high level of deterioration, it is appropriate to first develop Section “Wastewater disposal systems” in the city information model. The article highlights the functionality of the building information modeling for the design, construction, reconstruction and management of the urban wastewater disposal system in the city of Kharkiv with the prospect of further integrating all building and network models into a single, common city information model.

The study focuses on creating a fragment of the information model of the wastewater disposal network, which is under reconstruction, located on Grekivska Street. The stages of the study are as follows: handling initial design documents; simulating the real-world example on site according to the available drawings and current information about the building; developing construction solutions for the elements of the wastewater disposal network and building the information model of the system network according to the project; modeling the current situation of the selected fragment of the wastewater disposal network as a component of the city information model.

Upon completing all of the stages, a convenient and informative model has been obtained, which, when developing construction and organizational and technological measures to repair local damage in the existing sewer tunnel, will allow making more effective and reasonable decisions with regard to all available information. The created information model is filled not only with the main (system) parameters, but also with additional ones, which describe the condition of load-bearing structures and may contain information about performed repair. The conducted analysis has demonstrated the reasonability of developing a conceptual BIM model of a fragment of the wastewater disposal network. In the future, the wastewater disposal network model can serve as an example for the creation of other models of all utility networks in the city of Kharkiv.

Key words: wastewater disposal networks; Smart City; Smart Sewer; City Information Model; Building Information Models; corrosion; BIM technologies; sewage.

doi.org/10.29295/2311-7257-2020-102-4-142-148

УДК 691-492

Кондращенко О.В., Ніколаєв О.П., Кондратьєв А.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
(вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна; e-mail: zalesk@gmail.com; apnikolaev1946@gmail.com; andrii.kondratiev@kname.edu.ua; orcid.org/0000-0002-6739-3457, orcid.org/0000-0001-6650-447X, orcid.org/0000-0002-8101-1961)

КОМПРЕСІЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянута компресійна модель взаємодії повітря, що фільтрує, з поверхнею частинок порошкоподібного матеріалу в приладах типу ПСХ або Блейна. Показана можливість визначення густини дисперсних будівельних матеріалів з використанням методів повітропроникності. Проведено порівняльний аналіз результативності різних методів визначення величини питомої поверхні і густини тонкоподрібнених будівельних

матеріалів. Показано перевагу запропонованого компресійного методу для оцінки цих параметрів. Обґрунтовано, що для мінеральних порошків, будівельно-технічні властивості яких виявляють себе у водних суспензіях, необхідно адаптувати одержувані параметри їх дисперсності до значення проникності води. Запропоновано зіставляти густину і поверхню будівельних порошків, які визначаються методом повітропроникності при однакових умовах фільтрації повітря. Метою цих досліджень є підвищення оперативності контролю дисперсних властивостей порошкоподібних будівельних матеріалів.

Ключові слова: насипна, справжня і уявна густина, питома поверхня, пори і капіляри, фільтрація повітря, проникність води і гасу, прилад ПСХ, лазерний аналізатор.

Вступ. Дисперсність порошків, які використовують у будівництві, в значній мірі визначає властивості цих матеріалів, особливо при їх взаємодії з водою [1]. До дисперсних параметрів будівельних порошкоподібних матеріалів в основному відносять розміри частинок, величину і стан їх поверхні, а також показники густини. Розміри частинок оцінюють за допомогою ситового аналізу або лазерної дифрактометрії [2-4]. Величину питомої поверхні порошкоподібних матеріалів визначають методом повітропроникності на приладі ПСХ або Блейна [3,5], а також розраховують за даними лазерної дифрактометрії [6]. Результати, отримані за допомогою лазерних методів ґрунтуються на оцінці ефективних розмірів аналізованих частинок і не враховують стан їх поверхні. Визначення величини поверхні методом повітропроникності передбачає оцінку густини матеріалу, який аналізують, за допомогою приладу Ле-Шательє [5]. Як пікнометричну рідину в цьому приладі використовують спеціально підготовлений гас. В такому випадку одержувані значення величини питомої поверхні порошкоподібних матеріалів скоріше будуть характеризувати ту поверхню, яка доступна не для води, а для гасу, з огляду на відмінності проникності цих рідин. Дана обставина ставить під сумнів коректність застосування отриманих значень дисперсності для будівельних матеріалів, основні властивості яких виявляють себе при їх взаємодії з водою. Свого часу автори цієї статті розробили оригінальний експрес-метод визначення дисперсних параметрів портландцементу (ПЦ) з використанням приладу ПСХ [7]. Метод заснований на визначенні тривалості фільтрації повітря через вимірювальну чарунку згаданого приладу залежно від послідовної зміни в ній маси аналізованого матеріалу. Отриману залежність автори назвали компресійною, а сам метод компресійним.

Метод не вимагає пікнометричного визначення об'єму аналізованих матеріалів, а його тривалість не перевищує 30 хвилин. У даній роботі в якості густини сипких матеріалів автори мають на увазі їх уявну густину, що представляє собою співвідношення маси зразка до сумарного об'єму його частинок, включаючи об'єму їх пір і капілярів, недоступний для пікнометричного середовища, а насипну густину – як масу дисперсного матеріалу в одиниці об'єму, який він займає. Такий підхід відповідає чинній термінології і визначенням [8].

Матеріали і методи досліджень. Аналізу піддавали проби подрібненого портландцементного клінкеру (ПЦК) і цементів різних виробників, порошки доменного металургійного шлаку, кварцу, мармуру, крейди та будівельного гіпсу.

Для визначення істинної густини частинок подрібнених проб використовували прилад Ле-Шательє і аналітичні ваги ВЛР-200. Повітропроникність будівельних порошків контролювали за допомогою приладу ПСХ.

Математична модель і алгоритм розрахунку величини густини і питомої поверхні аналізованих матеріалів наведені в роботі [7].

Результати дослідження. На рисунку 1 показана динаміка зміни тривалості фільтрації повітря через робочу чарунку приладу ПСХ-2 для ПЦК і ПЦ. Кількість аналізованого матеріалу в чарунці послідовно змінювали від 9 до $12 \cdot 10^{-3}$ кг. Пробу клінкеру досліджували у початковому стані, а також додатково домелювали у лабораторному мікромлині.

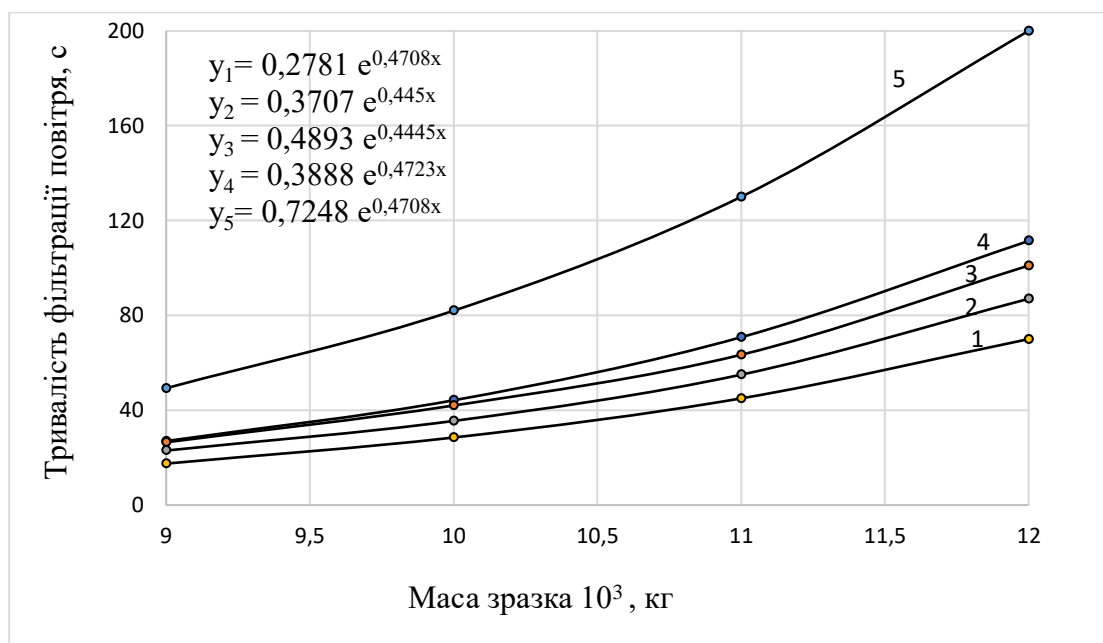


Рис. 1. Залежність тривалості фільтрації повітря від зміни маси матеріалу у вимірювальній чарунці приладу ПСХ-2:

1 – Євроцемент (ПЦК); 2 – Хайдельбергцемент (ПЦК); 3 – Хайдельбергцемент (ПЦ); 4 – Івано-Франківськцемент (ПЦ); 5 – домелений ПЦК Євроцементу

На рисунку 1 наведена група рівнянь, які в експоненціальному наближенні описують відповідні їм криві зміни тривалості фільтрації повітря (y_i) залежно від величини маси проби досліджуваного матеріалу (x_i). Використовуючи ці криві можна розрахувати параметри фільтрації повітря при різному вмісті матеріалу в робочій чарунці.

Суть методу полягає в зіставленні значення питомої поверхні для двох близьких за масою проб одного й того ж матеріалу [8]. Рівняння розрахунку величини питомої поверхні при цьому будуть мати наступний вигляд:

$$S_1 = K/\rho_1 [m_1^3 / (1 - m_1)^2]^{1/2} \cdot [1/\eta]^{1/2} \cdot \tau_1^{1/2} \quad (1)$$

$$S_2 = K/\rho_2 [m_2^3 / (1 - m_2)^2]^{1/2} \cdot [1/\eta]^{1/2} \cdot \tau_2^{1/2}, \quad (2)$$

де S – питома поверхня частинок порошку, $\text{м}^2/\text{кг}$; K – постійна приладу згідно його паспорту, $\text{кг}/\text{пуаз}^{1/2} \text{ с}^{1/2}$; m – коефіцієнт пористості проби у вимірювальній чарунці, відн. од.; ρ – уявна густина аналізованого матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$; η – в'язкість повітря при температурі під час дослідів (табличні дані), пуаз; τ – час фільтрації повітря через вимірювальну чарунку, с.

Як вже було раніше сказано при незначній зміні маси одного і того ж матеріалу можна прирівняти праві частини рівнянь 1 і 2:

$$K/\rho_1 [m_1^3 / (1 - m_1)^2]^{1/2} \cdot [1/\eta]^{1/2} \cdot \tau_1^{1/2} = K/\rho_2 [m_2^3 / (1 - m_2)^2]^{1/2} \cdot [1/\eta]^{1/2} \cdot \tau_2^{1/2}. \quad (3)$$

Перетворивши рівняння 4 відносно ρ і виразивши коефіцієнт пористості проби (m) через її масу (M) і об'єм вимірювальної чарунки (V) можна записати:

$$\rho = \{M_2 \cdot [(M_1/M_2)^2 \cdot (t_2/t_1)]^{1/3} - M_1\} / V \cdot \{[(M_1/M_2)^2 \cdot (t_2/t_1)]^{1/3} - 1\}, \quad (4)$$

Встановивши таким чином параметри і-тих величин ρ в експериментальному інтервалі зміни маси матеріалу, можна визначити характер її функції як $\rho_i = f(m_i)$, де m_i поточні значення маси зразка у робочій чарунці.

На рисунку 2 приведені значення ρ_i , розрахованих на основі експоненціальних рівнянь y_1 і y_5 (рис. 1) для вихідного і домеленого ПЦК Євроцементу.

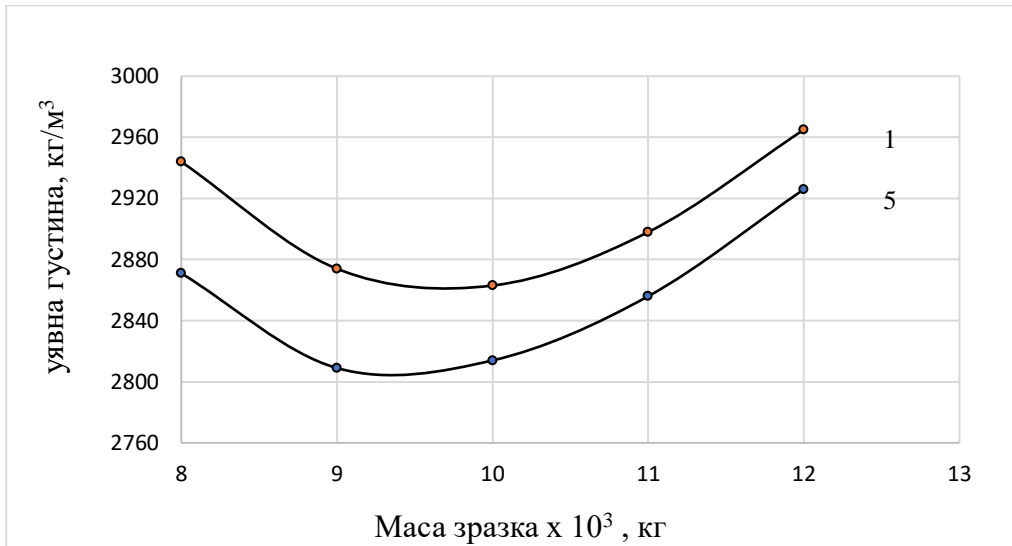


Рис. 2. Залежність одержаних значень уявної густини від маси матеріалу у вимірjuвальній чарунці для проб ПЦК Євроцементу заводського і додаткового помелу:

1 – вихідна проба, 5 – домелена

Наявність екстремуму на наведених кривих відповідає мінімальній кількості матеріалу, яка здатна забезпечити рівномірне заповнення всього робочого простору чарунки. З цього випливає, що значення щільності заповнення чарунки в точці мінімуму на кривих 1 і 5 (рис. 2) відповідає величині насипної густини аналізованих проб.

Значення уявної густини зразків на отриманих кривих в точці мінімуму також відповідає моменту початку опору, який чинить поверхня всіх частинок аналізованого матеріалу повітрю, що просмоктується. Подальше поетапне збільшення маси зразка в робочому просторі чарунки призводить до подальшого ускладнення повітропроникності. При цьому відбувається збільшення глибини проникнення повітря, що фільтрується, у відкриті пори і капіляри аналізованих порошків, а значить і зростання результатів і-тих значень їх уявної густини. На думку авторів, уявна густина матеріалу, адаптована до проникності води, відповідає її мінімальному значенню на компресійній кривій (рис. 2). Саму величину питомої поверхні при цьому можна розрахувати за формулою 1 або 2 підставивши до неї значення ρ_{\min} . Після обробки кривих (на рисунку 2) були отримані наступні результати для вихідної і домеленої проби ПЦК: $\rho_{\text{насіпна}} - 1307$ і 1253 кг/м³; $\rho_{\text{уявна}} - 2860$ і 2800 кг/м³; $S = 264$ і 435 м²/кг, відповідно.

Як показують отримані результати, при домелі проби ПЦК відбулося зростання величини його питомої поверхні і зменшення уявної і насипної густини.

На рисунку 3 показана динаміка зміни тривалості фільтрації повітря через робочу чарунку приладу ПСХ для порошків кварцу та мармуру, а на рисунку 4 – для проб шлаку і будівельного гіпсу.

Значення дисперсних параметрів для всіх аналізованих матеріалів, отримані запропонованим компресійним методом і традиційним аналізом, наведені в таблиці 1.

Аналіз даних, наведених у таблиці 1, показує, що величини уявної густини і питомої поверхні досліджуваних зразків, отриманих з використанням рідинної пікнометрії, мають більш високі значення відносно результатів компресійного методу. Така відмінність пов'язана з проявом високої проникності гасу. Проведений свого часу аналіз підтвердив, що гас проникає набагато глибше в дефекти порошкоподібних матеріалів, ніж вода і повітря, що фільтрується [7]. Що стосується результатів насипної густини, то вони практично не залежать від способу їх визначення.

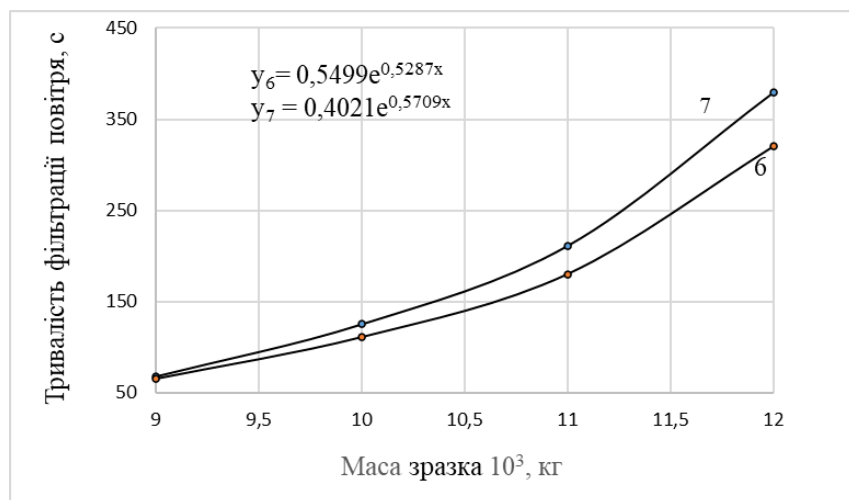


Рис. 3. Залежність тривалості фільтрації повітря від зміни маси матеріалу у вимірювальній ча-
рунці приладу ПСХ-2:

6, 7 – кварцовий та мармуровий порошок, відповідно

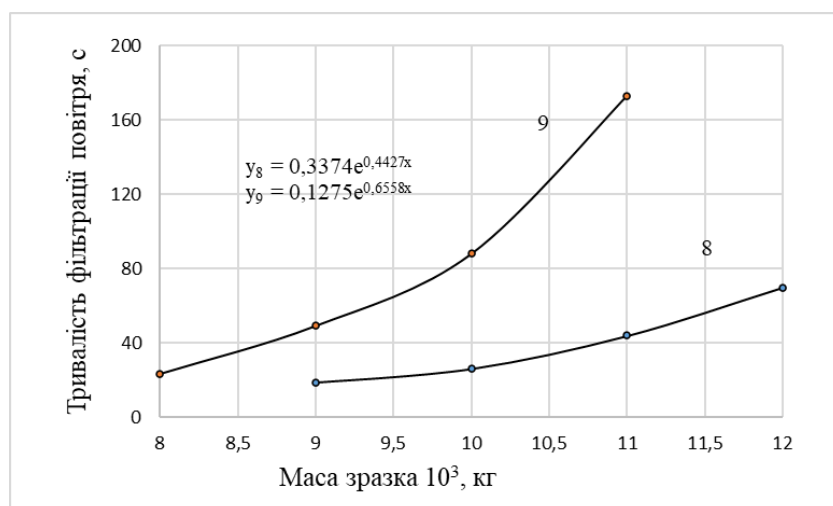


Рис. 4. Залежність тривалості фільтрації повітря від зміни маси матеріалу:

8 – мелений шлак; 9 – гіпс будівельний

Таблиця 1 – Значення дисперсних параметрів будівельних матеріалів

№ п/п	Найменування матеріалів	Питома поверхня, м²/кг	Насипна густина, кг/м³	Уявна густина, кг/м³
1	ПЦК Євроцемент	264/280	1307/1320	2860/2890
2	ПЦК Хайдельбергцем	295/305	1280/1285	2900/2950
3	ПЦ Хайдельбергцем	337/352	1307/1290	2970/3050
4	ПЦ Ів.Франківськ	325/340	1267/1285	2790/2950
5	Домел проби № 1	435/455	1253/1230	2805/2840
6	Порошок кварцу	422/444	1120/1170	2520/2610
7	Порошок мармуру	388/403	1000/990	2300/2380
8	Шлак доменний	278/296	1333/1380	2975/2990
9	Гіпс будівельний	258/277	933/1055	2030/2060

*) Примітка: в чисельнику результати компресійного методу, а в знаменнику –традиційного аналізу.

Висновки. В результаті проведених досліджень було обґрунтовано, що для мінеральних порошків, будівельно-технічні властивості яких проявляються у водяній суспензії,

необхідно адаптувати одержувані параметри їх дисперсності до значення проникності води.

Показана необхідність зіставлення уявної густини і питомої поверхні будівельних порошків, які визначаються методом повітропроникності при однакових умовах фільтрації повітря.

Проведені дослідження показали перевагу пропонованого компресійного методу визначення уявної густини і питомої поверхні порошкоподібних будівельних матеріалів відносно традиційних методів з використанням відомих приладів Ле-Шательє, Товарова и Блейна. Тим більше, що оперативність пропонованого компресійного методу дозволяє рекомендувати його для організації поточного контролю стабільності режиму роботи помірного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Балера, М. Д., Гордієнко А. Т. Процес подрібнення у вібраційних млинах. *Науковий вісник будівництва*. 2020. Т. 99. №1. С. 8-16.
2. ДСТУ Б EN 196-6:2015 Методи випробування цементу. Частина 6. Визначення тонкості помелу (EN 196-6:2010, IDT). Чинний від 01.07.2016. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 11 с.
3. Болотских О. Н. *Европейские методы физико-механических испытаний цемента*. 2-е изд-е. Харьков: ЮНИСОФТ, 2015. 87 с.
4. Панкевиц А., Хюбнер Т., Таусенев Д. Гранулометрический анализ цемента при его производстве. *Цемент и его применение*. 2009. С. 46-50.
5. Бутт Ю. М., Тимашев В. В. *Практикум по химической технологии вяжущих материалов*: учебное пособие для хим. и техн. спец. ВУЗов. М.: Стройиздат, 1973. 504 с.
6. Румянцев В. Гранулометрический анализ с помощью лазерных анализаторов серии SALD компании SHIVADZU. *Аналитика*. 2013. № 6 (13). С. 60-62.
7. Николаев А. П., Кондращенко Е. В. *Вязущие свойства портландцемента. Контроль и анализ*: монография. Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. 82 с.
8. ISO 12154:2014 Determination of density by volumetric displacement – Skeleton density by gas pycnometry. Published. Geneva, 2014. 15 p.

REFERENCES:

1. Balera, M. D., Gordienko A. T. Proces po-dribnennya u vibracijnikh mlinakh. *Naukovij visnik budivnictva*. 2020. T. 99. №1. C. 8-16.
2. DSTU B EN 196-6:2015 Metodi viprobuvannya cementu. Chastina 6. Vznachennya tonkosti pomelu (EN 196-6:2010, IDT). Chinnij vid 01.07.2016. Kiiiv: Ministerstvo regional'nogo rozvitku, budivnictva ta zhitlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukraïni, 2016. 11 s.
3. Bolotskikh O. N. *Evropejskie metody fiziko-mekhanicheskikh ispytanij cementa*. 2-e izd-e. Khar'kov: YUNISOFT, 2015. 87 s.
4. Pankevic A., Khyubner T., Tausenev D. Granulometricheskij analiz cementa pri ego proizvodstve. *Cement i ego primenenie*. 2009. S. 46-50.
5. Butt YU. M., Timashev V. V. *Praktikum po khimicheskoy tekhnologii vyazhushchikh materialov*: uchebnoe posobie dlya khim. i tekhn. spec. VUZov. M.: Strojizdat, 1973. 504 s.
6. Rumyancev V. Granulometricheskij analiz s pomoshch'yu lazernykh analizatorov serii SALD kompanii SHIVADZU. *Analitika*. 2013. № 6 (13). S. 60-62.
7. Nikolaev A. P., Kondrashchenko E. V. *Vyazhushchie svoystva portlandcementa. Kontrol' i analiz*: monografiya. Khar'kov: KHNUGKH im. A. N. Beketova, 2017. 82 s.
8. ISO 12154:2014 Determination of density by volumetric displacement – Skeleton density by gas pycnometry. Published. Geneva, 2014. 15 p.

Kondrashchenko E. V., Nikolaev A. P., Kondratiev A. V. COMPRESSION METHOD FOR DETERMINATION OF DISPERSION PROPERTIES OF THE POWDERED MATERIALS. The paper deals with the compression model of interaction of the filterable air with the surface of particles of the powdered material in the PSC device or Blaine apparatus. Possibility of determination of the density of dispersive construction materials with the use of air permeability methods is shown. The comparative analysis of effectiveness of the various methods of determination of the value of specific surface and density of finely ground construction materials is carried out. The advantage of the proposed compression method for evaluation of these parameters is demonstrated. The justification is given that for the mineral powders with the construction and technical properties manifested in the aqueous suspension it is necessary to adapt the obtained parameters of their dispersity to the value of water permeability. It is

proposed to compare the density and surface of the construction powders determined by the air permeability method under the same conditions of air filtration.

Key words: true and apparent density, specific surface, pores and capillaries, air filtration, water and kerosene permeability, PSC device, laser analyzer.

doi.org/10.29295/2311-7257-2020-102-4-148-155

УДК 624.072.012

Мольський М.М., Якименко М.В., Спіранде К.В., Ізбаш Ю.М.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: mihailmolskiy@gmail.com, mvp88@ukr.net,
spirande.karina@kstuca.kharkov.ua, izbash91@gmail.com; orcid.org/0000-0003-2093-6423,
orcid.org/0000-0003-1865-4339, orcid.org/0000-0002-5552-7817, orcid.org/0000-0002-0936-0518)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ КОМПОЗИТНОЇ ПОЛІМЕРНОЇ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ

Наведені результати експериментальних досліджень механічних властивостей неметалевої композитної арматури періодичного профілю типу «А» на основі скло- і базальторовінгу, а також результати досліджень впливу параметрів армуючого шару на зчеплення неметалевої арматури з бетоном. Композитна арматура являє собою силовий стрижень з рівномірно розташованим на поверхні та під кутом до його поздовжньої осі анкерним шаром. Анкерний шар виготовлено з термореактивної смоли та безперервно армуючого наповнювача. Арматура типу «А» формується шляхом вдавлювання армуючого джгута в силовий стрижень, при цьому на поверхні утворюються виступи. В результаті експериментальних досліджень визначено деформативно-міцнісні характеристики контрольних зразків неметалевої композитної арматури з різними типами захватних і анкерних пристроїв на анкерних ділянках: тимчасового опору на розтяг, модуля пружності і відносного подовження при розриві. Визначено вплив параметрів анкерного шару на зчеплення арматури з бетоном. Окремим етапом досліджень було вимірювання геометричних параметрів зразків для випробувань на висмикування (внутрішнього та зовнішнього діаметрів стрижнів, кроку періодичного профілю та параметрів анкерного шару) згідно діючим технічним умовам. Визначення міцності зчеплення неметалевої композитної арматури з бетоном проводилось висмикуванням арматурних стрижнів з бетонних кубів. Методика випробувань відпрацьовувалась в лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Харківського національного університету будівництва та архітектури.

Ключові слова: бетон, неметалева композитна арматура, базальтоволоконна арматура, скловолоконна арматура, ровінг, випробування на зчеплення, випробування висмикуванням.

Вступ. Композитна полімерна арматура (далі по тексту АКП) має високу механічну міцність, а її низький модуль пружності знижує величину втрат при попередньому напруженні конструкцій. Перевагами АКП є висока міцність на розрив (більше 800 МПа), неохильність до корозії та гниття; близькість коефіцієнтів теплового розширення АКП та бетону; діелектричні властивості, радіопрозорість, магнітоінертність, мала вага.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні дослідження неметалевої композитної арматури розпочались ще на початку 60-х років ХХ століття в НДІБК (ЦНІІСК), КІБІ, Львівському політехнічному інституті, в Науковій частині Харківського Промбуд-НДІпроекти та інших закладах. Але проблеми формування періодичного профілю на поверхні неметалевої арматури не були вирішені остаточно. За кордоном на даний час достатньо широко використовують неметалеву арматуру в США, Канаді, Японії, країнах Євро-союзу [1]. В Україні фундаментальні цілеспрямовані дослідження неметалевої композитної арматури на основі базальто- і склоровінгу для армування бетонних конструкцій, розробка нормативної документації і впровадження її в будівельну галузь були проведені під керівництвом д.т.н. проф. Климова Ю.А. (КНУБА) [2].

При цьому висока вартість композитної арматури значно звужує області раціонального застосування конструкцій з бетону армованого полімерною композитною арматурою. Однак, незважаючи на це, вже в даний час АКП може бути ефективно використана для