

УДК 691.32.001.5

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.19.763

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРБЕТОНУ НА ОСНОВІ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ФУРАНОВИХ СМОЛ. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ

БЕРЕЗІЮК А. М.^{1*}, канд. техн. наук, проф.,
ПАПІРНИК Р. Б.², канд. техн. наук, доц.,
ГАННИК М. І.³, канд. техн. наук, доц.,
МАРТИШ О. П.⁴, канд. техн. наук, доц.,
ЛУПИР О. О.⁵, студ.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: bereziuk.anatoliy@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

² Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: gannyk.mykola@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3278-9232

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: martysh.oleksandra@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6126-1920

⁵ Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-76, e-mail: a.lupyr1999@gmail.com

Анотація. Постановка проблеми. Розглянуто проблему впливу капілярно-пористої структури, яка характеризується наявністю просторової ґратки із мікропор, капілярів і різних дефектів на міцність і стійкість полімербетону. **Мета статті** – оцінювання методів визначення пористості (загальний об'єм і розподіл пор за розміром) як структурної характеристики компонентів полімербетону, заповнювачів і наповнювачів. **Висновок.** Зменшення міцності фуранових композицій визначається головним чином за рахунок пороутворення в результаті незмочених агрегатів із частинок дисперсного наповнювача. Результати експериментів свідчать, що із збільшенням дисперсності наповнювача зменшується об'ємна маса зв'язуючого за умови постійності відношення п/н, що пояснюється збільшенням пороутворення в результаті нестачі полімеру і прояву ефекту захоплення повітря. У разі повного просочування мінеральних компонентів полімер розподіляється по всьому об'єму і формується безперервна і рівномірно розподільна ґратка з полімеру і його пористого простору. Відповідно полімербетон ущільнюється і створюється контакт між матрицею і полімером.

Ключові слова: полімербетон; монопори; ФА; адгезивне борошно; капіляри; мінеральні наповнювачі та заповнювачі; порометрія

RESEARCH OF THE POROUS STRUCTURE OF CONCRETE POLYMERS BASED ON THERMORACTIVE FURAN RESINS. METHODS OF POISON DETERMINATION

BEREZIUK A.M.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*,
PAPIRNYK R.B.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
GANNYK M.I.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
MARTYSH O.P.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
LUPYR O.O.⁵, *Student*

^{1*} Department of Technology of Building Production, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: bereziuk.anatoliy@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

² Department of Technology of Building Production, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

³ Department of Technology of Building Production, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: gannyk.mykola@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3278-9232

⁴ Department of Technology of Building Production, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: martysh.oleksandra@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6126-1920

⁵ Department of Technology of Building Production, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-76, e-mail: a.lupyr1999@gmail.com

Abstract. Problem statement. The problem of influence of capillary-porous structure, characterized by the presence of a spatial lattice of micropores, capillaries and various defects on the strength and stability of concrete polymer, is considered. **Purpose of the article.** Estimation of porosity determination methods (total volume and size distribution of pores) as a structural characteristic of concrete polymer components, aggregates and fillers. **Conclusion.** The drop in strength of furan compositions is mainly determined by the pore formation as a result of the accumulated wetted aggregates from the particles of the dispersed filler. The results of the experiments show that with increasing the dispersion of the filler there is a decrease in the volume of the binder under the condition of constant ratio p/n , which is explained by the increase in pore formation, which is increased due to lack of polymer and the manifestation of the effect of air trapping. The complete impregnation of the mineral components creates a polymer distribution over the entire volume and forms a continuous and evenly distributed lattice of the polymer and its porous space. Accordingly, the polymer concrete is compacted and contact is formed between the matrix and the polymer.

Keywords: *polymer concrete; monopores; FA; adhesive flour; capillaries; mineral fillers and aggregates; porometry*

Постановка проблеми. Полімербетон можна розглядати як композиційний матеріал, який складається з бетонної матриці і армувального компонента з полімеру. Цей штучний будівельний конгломерат отримують поєднанням синтетичних зв'язуючих із мінеральними наповнювачами і заповнювачами середніх і крупних фракцій. Полімерне зв'язуюче створюється у процесі сполучення низьков'язких синтетичних смол, мономерів і олігомерів із тонкодисперсними мінеральними наповнювачами, затверджувачами і різними модифікованими добавками. Наповнювачами зв'язуючого служать тонкодисперсні мінеральні порошки з питомою поверхнею 1 000...6 000 см²/г.

Заповнювачами служать піщано-щебеневі фракції з пружністю зерен до 50 мм, серед полімербетонів, отриманих на різних терморективних смолах (фуранових, епоксидних, карбамідних, фенолоформальдегідних та ін.).

Найбільш поширені фуранові полімербетони на основі мономерів ФА і ФАМ. Фуранові зв'язуючі й полімербетони на їх основі мають універсальну хімічну стійкість у розчинах кислот, лугів, нафтопродуктів, тваринних жирах,

рослинних оліях та інших середовищах, окрім деяких розчинників і сильних окиснювачів.

Наповнювачі являють собою матеріал із типовою капілярно-пористою структурою, яка характеризується наявністю просторової ґратки з мікропор, капілярів і різних дефектів, утворених як під час приготування полімербетону, так і в процесі його твердіння.

У разі повного просочування мінеральних наповнювачів і заповнювачів полімер розподіляється по всьому об'єму і формується безперервна й рівномірно розподілена ґратка з полімеру та його пористого простору. Таким чином полімербетон ущільнюється і створюється контакт між матрицею і полімером, що зумовлює властивості композиту.

Аналіз публікацій. Аналіз сучасних експериментальних і літературних даних [1–7] показує значну перевагу застосування фуранових смол на основі мономерів ФА і ФАМ для отримання полімербетонів.

Як затверджувач фуранових смол у більшості випадків використовується бензосульфокислота.

Застосування цих матеріалів зменшує пористу структуру полімербетону, а, відповідно, і на його міцність.

Мета статті – оцінювання методів визначення пористості (загальний об'єм і розподіл пор за розміром) як структурної характеристики компонентів полімербетону, заповнювачів і наповнювачів.

Результати досліджень. На основі отриманих даних для загальної пористості полімербетону, визначеної методом водонасичення, можна судити про потенційні можливості матеріалу для

просочування термореактивними фурановими смолами і на їх основі зробити відповідні висновки про пористу структуру.

Посилювальна дія мінеральних наповнювачів зумовлена фізико-хімічними взаємодіями в контактній зоні полімер – наповнювач».

У міру збільшення дисперсності наповнювача безперервно зростає роль поверхневих явищ, оскільки все більша частина полімеру переходить у міжфазний шар (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив загального об'єму пор на пороутворення

Склад	Добавка	P_{o}^d , г/см ³	P_{o}^t , г/см ³	H_p , %	Загальний об'єм на пористість у бетоні		
					за формулою (1), %	через водонасиченість	живильна порозиметрія
1	0	1,986	1,958	–	24,50	24,84	14,86
2	0	2,096	2,137	1,92	18,62	20,61	8,30
3	0,1	1,880	1,843	–	29,20	28,41	12,46
4	0,1	2,050	2,240	8,48	21,78	21,85	9,82
5	0,2	1,970	2,023	2,61	24,31	24,89	9,77
6	0	2,011	2,023	0,59	22,29	22,57	10,40
7	0,1	1,996	2,119	5,80	24,10	24,03	12,53
8	0,1	1,876	1,884	0,42	26,92	29,05	20,81
9	0,1	2,032	2,023	–	21,70	22,91	11,34
10	0	2,090	2,158	3,15	17,85	20,02	13,50
11	0	2,065	2,128	2,96	20,66	20,96	8,66
12	0	2,035	2,114	3,74	22,52	24,89	14,02

У розглянутому аспекті досить важливо врахувати кількісну залежність між міцністю і дисперсністю наповнювача.

Об'єднувальною ланкою кінцевого впливу на міцність полімербетону постає такий фактор як структура пористості. Із цією метою проводилися дослідження на міцність зразків на основі фуранової смоли, наповненої андезитовим борошном і борошном із бою кислотостійкої цегли, а також молотим кварцовим піском із питомою поверхнею від 1 000 до 4 000 см²/г.

Згідно з таблицею 1 ми визначили вплив загального об'єму пор наповнювача і заповнювача на пороутворення. Відношення п/н змінювалося від 0,4 до 0,8. На кривих зміни міцності (рис. 1) залежно від питомої поверхні наповнювача можна виділити три області: перша (питома поверхня 1 000... 2 000 см²/г) характеризується інтенсивним

збільшенням міцності в міру зростання дисперсності наповнювача, що пояснюється переходом полімеру в тонкоплівковий орієнтовний стан.

Друга (питома поверхня 2 000...3 000 см²/г) характеризується незначною зміною міцності і третя (3 000...4 000 см²/г) і зниженням показників міцності фуранових композицій.

Зменшення міцності відбувається головним чином за рахунок пороутворення в результаті закапсулювання незмочених агрегатів із частинок дисперсного наповнювача. Результати експериментів (табл. 2) свідчать, що із збільшенням дисперсності наповнювача зменшується об'ємна маса зв'язуючого за умови постійності відношення п/н, що пояснюється збільшенням пороутворення через нестачу полімеру і прояви ефекту захоплення повітря.

Міцність за стиску, МПа

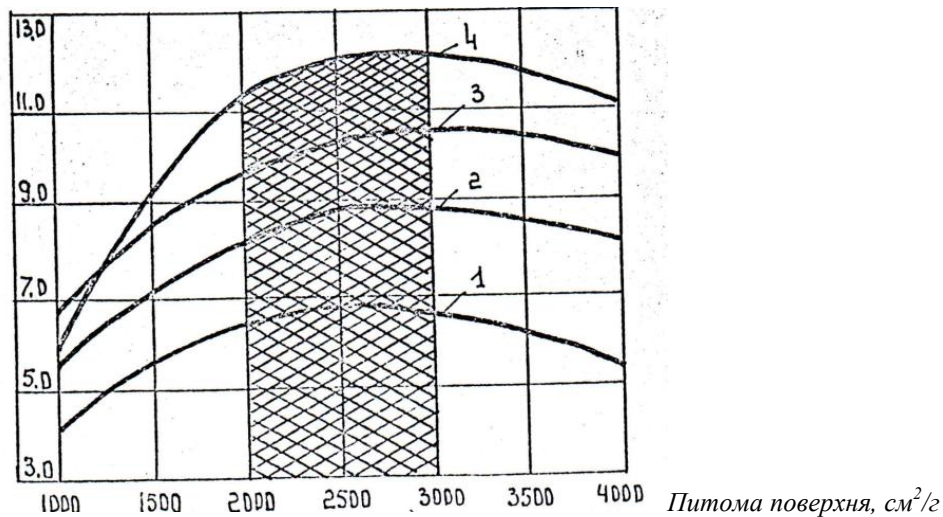


Рис. 1. Залежність міцності фуранових зв'язуючих від питомої міцності наповнювача:
 1 – $n/n = 0,4$; 2 – $n/n = 0,5$; 3 – $n/n = 0,6$; 4 – $n/n = 0,7$

Таблиця 2

Щільність зв'язуючого залежно від дисперсності наповнювача (андезитового борошна)

Дисперсність наповнювача, $\text{см}^2/\text{г}$	Густина, $\text{г}/\text{см}^3$ за п/н				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
S = 1 000	1,935	1,932	1,910	1,900	1,868
S = 1 500	1,933	1,930	1,907	1,898	1,864
S = 2 000	1,930	1,926	1,903	1,894	1,860
S = 2 500	1,927	1,921	1,900	1,891	1,856
S = 3 000	1,925	1,917	1,896	1,887	1,852
S = 3 500	1,920	1,912	1,892	1,884	1,847
S = 4 000	1,918	1,908	1,886	1,880	1,843

Для дослідження використовували полімербетон різного складу з таких компонентів:

- зв'язуючого;
- затверджувача;
- мінерального наповнювача;
- заповнювачів, піску й щебеню.

Примітка: всі вказані матеріали супроводжуються сертифікатом і контрольним аналізом хімічної лабораторії заводу.

Зв'язуючі форфурацетонові мономери ФА або ФАМ (МРТ-605-1618-73) являють собою рідину коричневого кольору, нерозчинну у воді. Потрапляння води в мономер ФА і ФАМ не допускається.

Затверджувач – бензосульфокислота – БСК (ТУ МХП-307-54) являє собою кристалічну масу темно-сірого кольору.

Наповнювач – андезитове борошно (ВТУМПОМ-54).

Заповнювачі – пісок і щебінь отримують із відходів бою кислотостійкої кераміки, головним чином бою цегли (ДСНУ 4731-93) шляхом дроблення і просіювання на фракції крупністю: пісок 0,14...5 мм і щебінь 5...10 та 10...20 мм.

Наповнювачі і заповнювачі повинні бути сухими, допускається вологість не вище 0,5 %. При наявності води вище 0,5 % матеріали піддаються сушінню. Кислотостійкість визначається за ДСНУ 4731-93.

Не допускається потрапляння в матеріали карбонатних домішок, запилення вапняним пилом, а також інших побічних домішок і забруднень.

Контрольну перевірку матеріалів на вогкість і хімічний аналіз згідно з ДСНУ і ТУ проводять у хімічній лабораторії.

Як зв'язуюче полімергерметика використовується ФАЕД-20. Він являє собою сполуку фурфурол-ацетонової смоли з епоксидною.

Як затверджувач ФАЕД використовується поліетиленполіамін – рідина ПЕПа.

Пробні зразки (кубики $5 \times 5 \times 5$ см) виготовляли із вказаних компонентів. Технологія приготування полімербетонної суміші така:

1. Сухі компоненти (андезитове борошно, пісок і щебінь) окремо надходять у бункер – наповнювач. Зв'язуючі ФА, ФАМ після перевірки якості і усереднення надходять у місткість – наповнювач.

Для розігрівання БСК і за необхідності підігріву ФА, ФАМ передбачене нагрівальне устаткування.

Усі компоненти потрапляють у дозатори. Сухі компоненти прийнятого складу по масі засипають у проміжний бункер, а потім у бетонозмішувач.

Мономери ФА, ФАМ і розплавлене БСК через рідинні дозатори надходять у бетономішалку по трубопроводах.

2. Перемішування полімербетонної суміші здійснюється послідовно.

Спочатку у змішувач завантажують сухі матеріали – наповнювач і заповнювачі, які перемішують протягом 3...4 хв.

Потім у бетонозмішувач вводять зв'язувальну речовину – ФА, ФАМ і суміш перемішують 3...4 хв.

Розплавлений затверджувач БСК із температурою 40...50 °С невеликим струменем вводять у підготовлену суміш і ретельно перемішують протягом 3...4 хв, до отримання однорідної маси чорного кольору.

3. Приготовлена полімербетонна суміш через розвантажувальний люк бетонозмішувача надходить у короб, потім транспортується для укладання в опалубку.

На практиці відомі різні методи визначення структури пористого простору матеріалів: фізичні, фізико-хімічні,

адсорбційні, ртутна порометрія, мікроскопічні, емпіричні тощо [3]. Більша частина цих методів розглянута і проаналізована у праці [4] але – тільки ті, які прийнятні для визначення пористості полімербетону.

Необхідно зазначити, що кожний із цих методів має основний недолік – неможливість дати повне уявлення про структуру пористого простору через обмежений діапазон вимірювання розподілу пор за розміром. Дослідження пористості також проблематичне через наявність різних за хімічним складом матеріалів – наповнювачів, заповнювачів і полімерів.

Для отримання достовірних даних щодо характеристик пористого простору матеріалів застосовували різні методи.

Загальний об'єм пор у наповнювачах і заповнювачах визначається за допомогою водонасичення за такою методикою.

Попередньо змішані до постійної маси за температури 105 °С пробні зразки поміщають у камеру, де створюється вакуум порядку 20÷30 мм рт. ст. Цей вакуум підтримується протягом 30...60 хв залежно від розміру зразків для повного видалення повітря із зразка. Після цього подається вода, вакуумується ще 4...5 хв для видалення внесеного з водою повітря, і тиск підвищують до атмосферного. Зразки витримують під водою ще 24 год., після чого визначають їх масу у водонасиченому стані. За кількістю поглиненої води визначають об'єм зв'язаних мікропор і капілярів, що контактують між собою та із поверхнею зразка.

Для визначення загальної пористості застосовано також метод, який полягає на несполученій воді [5], з урахуванням корегування на об'єм пор, утворених у процесі захоплення повітря і початку ущільнення (H_v) за формулою (1):

$$H_{\text{заг.}} = H_i + H_v, \quad (1)$$

де $H_{\text{заг.}}$ – загальний об'єм пор; H_i – теоретично розрахований об'єм пор у полімербетоні за формулою (2):

$$H_i = \left(V - \frac{w * \rho_{\text{з.н.}}}{\rho_{\text{зв.в.}}} \right) * 100 \%, \quad (2)$$

де V – кількість води, $\text{см}^3/\text{см}^3$, $P_{з.н.}$ – вихідна кількість наповнювачів і заповнювачів, $\text{г}/\text{см}^3$; $\rho_{зв.в}$ – питома вага зв'язаної води, $\text{г}/\text{см}^3$; W – ступінь гідратації.

За даними [5; 6] $\rho_{зв.в} = 1,19 \text{ г}/\text{см}^3$, а ступінь гідратації прийнятий $W = 20 \%$.

Об'єм пор H_v отримується як різниця між теоретичними ($\rho_{от}$) і дійсними ($\rho_{од}$) об'ємними масами зразків, що досліджуються за формулою (3):

$$H_v = \frac{\rho_{от}^T - \rho_{од}^D}{\rho_{от}^T} * 100\% \quad (3)$$

Для оцінювання загального об'єму пор у полімербетоні ($H_{п.б.}$) використано різницю між загальною пористістю бетону ($H_{заг}$) і об'ємом полімеру ($V_{п.}$):

$$H_{п.б.} = H_{заг} - V_{п.}, \% \quad (4)$$

Кількість полімерів у полімербетоні перебуває у прямій залежності з його загальною пористістю. Оскільки полімери заповнюють до 70 % пор, через неможливість проникнення мономера у систему, дрібні пори, випаровування останнього в процесі полімеризації і усихання, визначення $V_{п.}$ буває неточним. В нашому дослідженні об'єм полімеру визначається на базі його маси, що міститься у зразку ($m_{п.}$), його питомої ваги (прийнята за літературними даними $1,05 \text{ г}/\text{см}^3$) і об'єму зразка за формулою (5):

$$V_{п.} = \frac{m_{п.}}{1,05 * V_{о.зр.}} * 100\% \quad (5)$$

де $V_{о.зр.}$ – об'єм зразка.

Паралельні дослідження щодо визначення об'єму і розподілу пор за розміром проведено ртутним порометром типу «Карло Ерба» з максимальним тиском 150 МПа. За допомогою цього методу побудовано інтегральні й дифференціальні криві пористості наповнювачів, заповнювачів і полімербетону у діапазоні пор із радіусом від 50 до 75 000 А. Для зразків полімербетону кут змочування між ртуттю і полімером було прийнято за $155 \text{ }^\circ\text{C}$ [7].

Оскільки за високого тиску можливе розтріскування полімеру, що цілком

заповнює деякі пори у полімербетоні, отримані результати використовувалися тільки для якісного оцінювання пористості.

Отримані результати щодо загального об'єму пор у заповнювачі і наповнювачі, визначені вищеописаними методами, наведені в таблиці 2.

Порівняно близькі значення $H_{об}$ отримані шляхом водонасичення і за формулою (2) експериментально-теоретичного методу дають підставу вважати, що цим методом можна порівняно легко отримати досить точну для практичної мети інформацію щодо загального об'єму пор у матеріалі. Відносно більш низькі значення для $H_{об}$, отримані на ртутному порометрі, пов'язані з обмеженими можливостями приладу, а також із можливістю визначення об'єму пор, утворених у результаті захоплення повітря і недостатнього ущільнення. На основі отриманих даних для загальної пористості полімербетону, визначеної методом водонасичення, можна судити про потенційні можливості матеріалу для просочення термореактивними фурановими смолами.

У зв'язку з порівняно легким проведенням експерименту цей метод може застосовуватися, як попередній, з достатньою точністю для вирішення термодогічних питань отримання полімербетону.

Показники загального об'єму пор у полімербетоні, розраховані за формулою (4), визначені методом водонасичення і за даними ртутного порометра, наведені в таблиці 3: 1 – склад; 2 – загальний об'єм пор у полімербетоні, 3 – за формулою (4); 4 – ртутна порометрія; 5 – метод водонасичення.

Найвищі значення $H_{п.б.}$ отримані за формулою (4), в той же час як результати двох інших методів дають порівняно більш низькі значення. В результаті просочування частина пор у полімербетоні повністю заповнюється термореактивними фурановими смолами, через що можна чекати утворення ізольованих (не зв'язаних між собою) пор, в які неможливий доступ

води або ртуті. Метод ртутної порометрії, хоч і має похибки, поки єдиний, за допомогою якого можна отримати уявлення про розподіл пор полімербетону за розмірами в широкому діапазоні.

Із сумарної оцінки результатів стосовно загальної пористості, отриманих методами водонасичення і за формулою (4) для полімербетону, можна обчислити значення

цієї характеристики і на її основі зробити відповідні висновки про пористу структуру.

За допомогою інтегральних і диференціальних кривих пористості бажано виконувати тільки якісне оцінювання перерозподілу пор за розміром у результаті просочення і полімеризації мономеру в просторі пор наповнювачів і добавок.

Таблиця 3

Показники загального об'єму пор

Склад (1)	$H_{об}, \%$	$V_p, \%$	Загальний об'єм на пористість бетонополімеру (2)		
			за формулою (3)	живильна порозиметрія (4)	через водонасиченість (5)
1	24,84	15,34	9,50	4,17	2,48
2	20,61	11,90	8,71	2,93	1,61
3	28,41	16,52	11,89	5,26	3,91
4	21,85	12,05	9,80	2,46	1,98
5	24,89	14,88	10,01	5,12	2,19
6	22,57	11,82	10,75	3,22	2,89
7	24,03	13,88	10,15	3,59	2,63
8	29,05	16,62	12,43	7,13	4,12
9	22,91	12,58	10,33	3,05	2,54
10	20,02	11,03	8,99	3,14	1,65
11	20,96	11,4	9,55	3,72	2,72
12	24,85	13,82	11,03	3,05	3,79

Висновки. Зниження міцності фуранових композицій відбувається головним чином за рахунок пороутворення в результаті занагеульованих незмочених агрегатів із частинок дисперсного наповнювача.

Результати експериментів свідчать, що із збільшенням дисперсності наповнювача зменшується об'ємна маса зв'язуючого за умови постійності відношення п/н, що

пояснюється збільшенням пороутворення у результаті нестачі полімеру і прояву ефекту захоплення повітря.

У разі повного просочення мінеральних компонентів полімеру розподіляється по всьому об'єму і формується безперервна і рівномірно розподілена ґратка з полімеру і його пористого простору. Відповідно, полімербетон ущільнюється і створюється контакт між матрицею і полімером.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов Ю. М. Перспективы применения бетонполимеров и полимербетонов в строительстве. Москва : Строительство, 2011. 92 с.
2. Милков С., Крумов В. Дослідження пористої структури бетону і бетонополімеру. Київ : Технічна думка, 2010. № 4. С. 35–39.
3. Шейкин А. Е. Структура, прочность и трещиностойчивость цементного камня. Москва : Строительство, 2013. 112 с.
4. Pore Structure and Properties of Materials : Proceeding of the International Symposium. P. 1. Acad. Prague, 2013. Pp. 47–52.
5. Горчаков Г. И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. Москва : Строительство, 2011. 101 с.
6. Невиль А. М. Свойства бетона. Москва : Строительство, 2001. 49 с.
7. Whiting D., Kline E. Cement and Concrete Research. Vol. 7. 2007. Pp. 55–60.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. *Perspektivy primeneniya betonpolimerov i polimerbetonov v stroitel'stve* [Prospects for the use of concrete polymers and polymer concrete in construction]. Moscow : Stroitel'stvo Publ., 2011, 92 p. (in Russian).
2. Myl'kov S. and Krumov V. *Doslidzhennya porystoyi struktury betonu i betonopolimeru* [Investigation of the porous structure of concrete and concrete polymer]. Kyiv : Tekhnichna Dumka Publ., 2010, no. 4, pp. 35–39. (in Ukrainian).
3. Sheikyn A.Ye. *Struktura, prochnost' i treschinoustojchivost' cementnogo kamnya* [Structure, strength and crack resistance of cement stone]. Moscow : Stroitel'stvo Publ., 2013, 112 p. (in Russian).
4. Pore Structure and Properties of Materials : Proceeding of the International Symp. P. 1. Acad. Prague, 2013, pp. 47–52.
5. Horchakov H.I. *Sostav, struktura i svoystva cementnyh betonov* [Composition, structure and properties of cement concrete]. Moscow : Stroitel'stvo Publ., 2011, 101 p. (in Russian).
6. Nevyly A.M. *Svoystva betona* [Properties of concrete]. Moscow : Stroitel'stvo Publ., 2001, 49 p. (in Russian).
7. Whiting D., Kline E. Cement and Concrete Research. Vol.7, 2007, pp. 55–60.

Надійшла до редакції: 01.06.2021.