

¹ **Таха Лотфі**, аспірант, orcid.org/0000-0002-3489-911X

¹ Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків,

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧОГО РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ З ДОБАВКАМИ ЗОЛИ-УНОСА І МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ

Анотація. Розглянуто аспекти розширення сфери застосування неармованих виробів, зокрема, труб з достатніми показниками міцності, підтверджено об'єктивну необхідність розробки відповідних складів бетону та технології ущільнення, а також номенклатури та параметрів добавок. У статті викладено тенденції підвищення характеристик міцності бетону за рахунок раціоналізації способів ущільнення бетону із застосуванням відходів. Підтверджено, що для матеріалу труб необхідним є забезпечення підвищеної міцності виробу на розтяг. Після ущільнення є необхідним видалення рідини з бетону, що забезпечує максимальне зближення та об'єднання частинок твердої фази. Для визначення впливу кожного з факторів дослідження міцності бетону на розтяг використано метод ітерацій. Розглянуті способи ущільнення бетонної суміші, відповідно до особливостей та реологічних властивостей яких при ущільненні реалізуються два принципи: видалення зайвого залученого повітря та надлишкової води з малорухливих і жорстких сумішей зовнішнім впливом та видалення повітря з високорухливих сумішей. Особливу увагу приділили технології ущільнення пресуванням, вакуумуванням та вібровакуумуванням. Зразки бетону, що ущільнений пресуванням та вібровакуумуванням, забезпечили одержання бетону практично однакової структури з ущільненням усіх складових. Наведено результати випробувань, електронна мікроскопія цементного каменю, рентгенограми, отримані при різних способах ущільнення. Зафіксовано збільшення ступеня кристалічності за рахунок більшої швидкості досягнення пересичення рідкої фази цементного тесту при гідратації. При обробці результатів досліджень проведено регресійний аналіз, отримано аналітичні моделі прогнозування параметрів. Отримано результати, що дрібнозерниста бетонна суміш при ущільненні пресуванням забезпечує підвищення міцності за умови пресування шарами.

Ключові слова: бетон, технологія, добавка, відходи, міцність, ущільнення.

Вступ

Сьогодні великий потенціал має тенденція до оптимізації параметрів бетонних виробів. Розвиваючись у цьому напрямі, необхідно покращувати показники міцності бетону під час сприйняття зовнішніх навантажень. Для розширення області застосування неармованих виробів з достатніми показниками міцності існує об'єктивна необхідність розробки відповідної складів бетону та технології ущільнення, а також номенклатури та параметрів добавок [1, 2].

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Мікрокремнезем застосовується як високоактивна мінеральна добавка до бетону і цементу [3] і призначена для приготування бетонів високих класів за міцністю і марок водонепроникності, а також високої корозійної стійкості. Зола-унос Зміївської ТЕС – тонкодисперсний матеріал, що складається з мікроскопічних частинок розміром від сотих часток мікрона до 0,14 мм, що утворюється з мінеральної частини твердого палива. За допомогою електрофільтрів зола уловлюється і в сухому стані відбирається золовідбірниками на виробничі потреби або разом із водою та шлаком пускається на золовідвал. Зола-унос складається в основному зі скляних сферичних частинок з варіацією вмісту кальцію та заліза [5-7].

Постановка задачі

Відповідно до проведених досліджень Ван-Доловського А.Г. та Юніса Б.М. [6, 7] для матеріалу

труб необхідним є забезпечення підвищеної міцності матеріалу на розтяг (Rbt). Теоретичному обґрунтуванню було піддано способи підвищення цього показника: вдосконалення технології (спосіб ущільнення), варіативність складу, запровадження ефективних добавок.

Були розглянуті способи ущільнення бетонної суміші, відповідно до особливостей та реологічних властивостей яких при ущільненні реалізують два принципи: видалення зайвого залученого повітря та надлишкової води з малорухливих і жорстких сумішей силовим зовнішнім впливом та видалення повітря з високорухливих сумішей [8, 9].

Виклад основного матеріалу

Технологія ущільнення пресуванням. Одним із ефективних методів ущільнення дрібнозернистого бетону є пресування. При цьому методі знижуються сили внутрішнього тертя, в'язкість та структурна міцність суміші, в результаті великі зерна суміші розміщуються найбільш щільно, а порожнечі між ними заповнюються цементним розчином. У процесі ущільнення рідкої фази (вода) відбувається ряд перетворень. Три шари у структурі рідини: адсорбційний (міцно пов'язана рідина у вигляді подвійного електричного шару); дифузійний (рихлов'язана рідина структурована слабше, ніж адсорбційний); вільна рідина (будова вільної води звичайна - у процесі пресування грає роль мастила, забезпечуючи вільне переміщення та зближення частинок твердої фази).

Після пресування необхідно її видалення, що

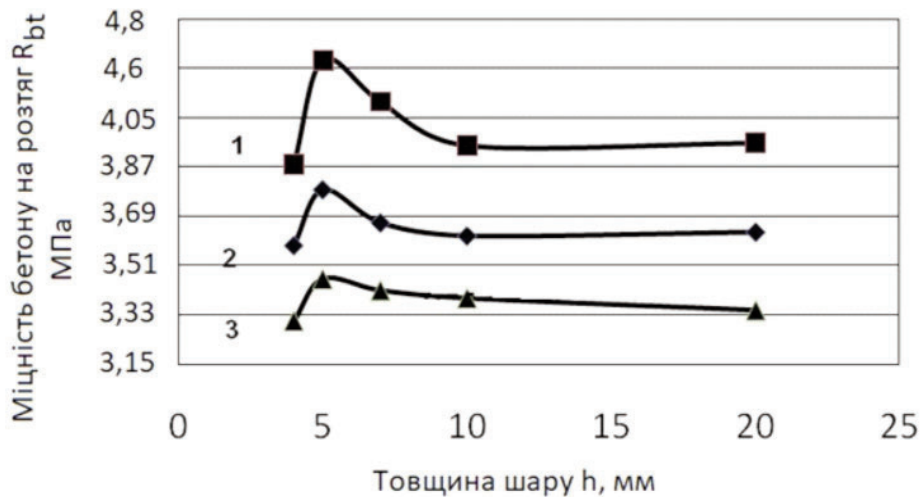


Рис. 1. Вплив товщини шару пресування бетону на міцність на розтяг (R_{bt}):
1 В/Ц=0,5; 2 В/Ц=0,4; 3 В/Ц=0,65

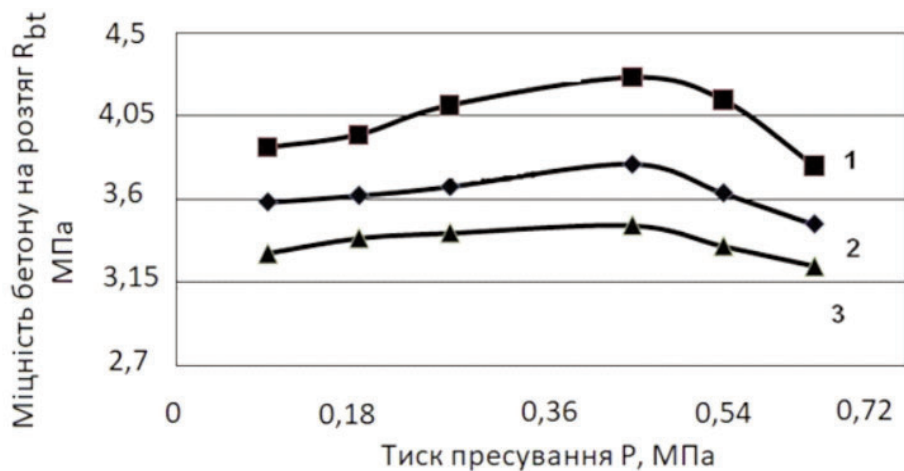


Рис. 2. Залежність міцності на розтяг R_{bt} від тиску пресування P:
1 В/Ц=0,5; 2 В/Ц=0,4; 3 В/Ц=0,65.

забезпечує максимальне зближення та об'єднання через адсорбційну та рихлозв'язану рідину частинок твердої фази. Для визначення впливу кожного з факторів дослідження міцності бетону під час розтягу проводилося методом ітерацій. Високий рівень ущільнення бетонної суміші характеризується коефіцієнтом ущільнення $0,98 \div 1,0$. Для проведення випробувань міцності бетону, ущільненого пресуванням, був виготовлений пуансон, що входить у форму «вісімки» із зазором 1мм. При ущільненні варіювалися: В/Ц, тиск P і товщина шарів h. Результати випробувань представлені на рис. 1. Залежність $R_{bt}=f(V/C)$ представлена рівнянням регресії:

$$R_{bt} = -0.0649h^2 + 1.6211h + 37.35 \quad (1)$$

Встановлено вплив товщини пресованого шару та тиску пресування на міцність бетону. Визначено область їх оптимальних значень (рис. 2), в результаті отримано рівняння регресії:

$$R_{bt} = -0.4291P^2 + 3.444P + 39.507 \quad (2)$$

Технологія ущільнення вакуумуванням та вібровакуумуванням. Зважаючи на те, що методом поща-

рового пресування фасонні частини виготовити неможливо, досліджено можливість виготовлення таких виробів з ущільненням бетонної суміші вібрацією, для того, щоб міцність провіброваного бетону відповідала міцності пресованого, розглянута можливість віброущільнення у поєднанні з вакуумуванням.

Вібровакуумування забезпечує позитивні властивості бетону як інтенсивне зростання міцності в початковий період твердіння, скорочення часу на теплову обробку виробів, зменшення металомісткості технологічного обладнання тощо [8]. Для ущільнення бетонних сумішей амплітуда коливань знаходиться в межах $0,3 \div 0,7$ мм при частоті коливань близько 3000 за хвилину. Було досліджено вплив В/Ц та часу вакуумування на міцність при розтягуванні (рис. 3, 4).

На рис. 5 представлена електронна мікроскопія цементного каменю, що отримано при різних способах ущільнення бетонної суміші.

Представлені фото показують, що зразки бетону, ущільненого пресуванням та вібровакуумуванням, забезпечують одержання бетону практично однакової структури з ущільненням усіх складових.

Також було проведено рентгенівські дослідження (установка ДРОН-2,0 в випромінюванні Си, котрі

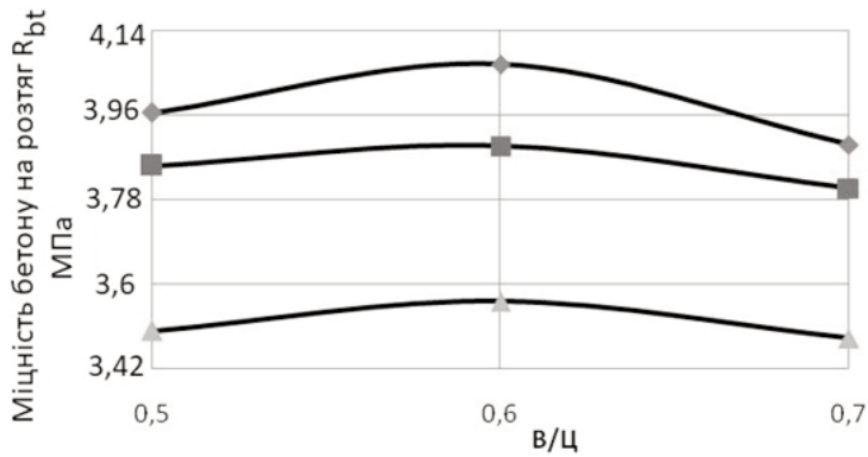


Рис. 3. Вплив В/Ц на міцність на розтяг при ущільненні вібровакуумуванням:
 1 – тривалість вакуумування 1 хв.; 2 – те ж, 3 хв.; 3 – те ж, 2 хв.

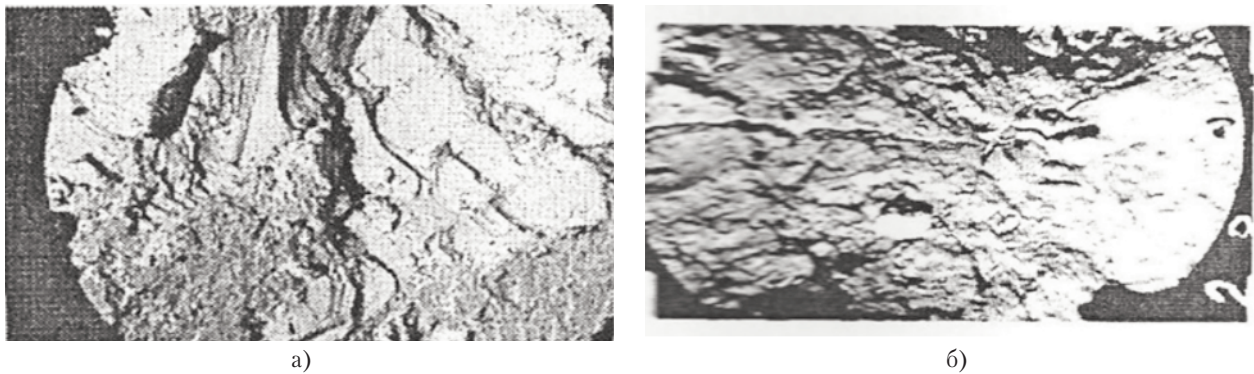


Рис. 5. Електронна мікроскопія цементного каменю дрібнозернистих бетонів, ущільнених:
 а) пресуванням, б) вібровакуумуванням

проводились з метою виявлення та ідентифікації кристалічних фаз в продуктах гідратації (рис. 6).

За даними рентгенівського аналізу фіксується збільшення ступеня кристалічності та вмісту портландиту за рахунок більшої швидкості досягнення пересичення рідкої фази цементного тесту при гідратації. У табл. 1 представлені результати точності вимірювань R_{bt} та величини відхилень при ущільненні зразків бетону методом пресування та вібровакуумування.

Висновки. При обробці результатів досліджень проведено регресійний аналіз, який дозволив зробити висновок, що дрібнозерниста бетонна суміш при ущільненні пресуванням забезпечує підвищення міцності за умови пресування шарами завтовшки 4ч6 мм. Дослідження ущільнення вакуумуванням дозволяє екстрагувати до 35% води замішування і зменшити вихідне В/Ц=0,65 до В/Ц=0,35ч0,4. Електронна мікроскопія та рентгенівський аналіз показали ущільнену структуру всіх складових бетонної суміші.

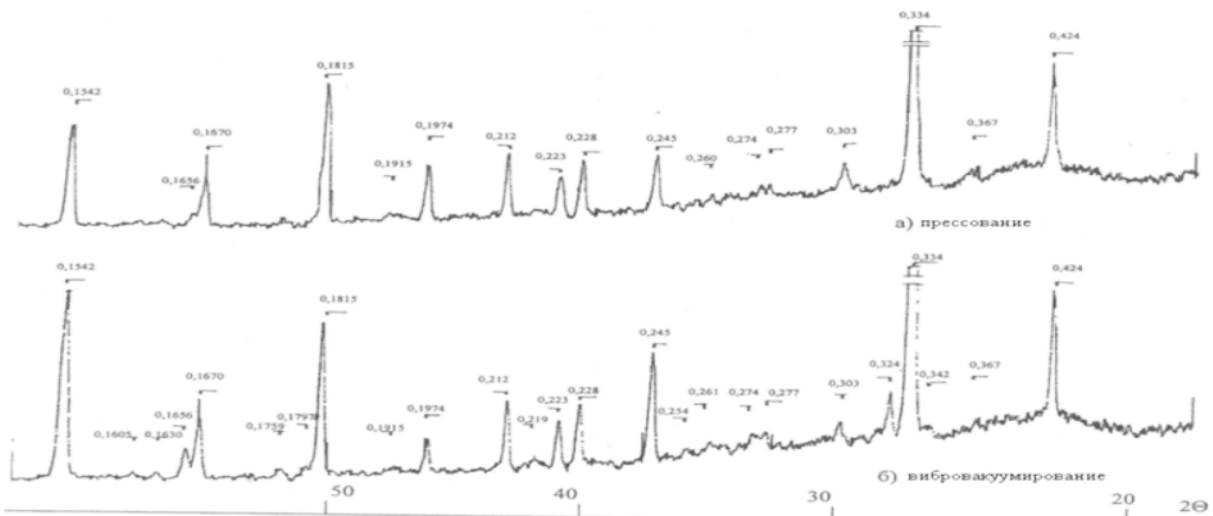


Рис. 6. Рентгенограми цементного каменю дрібнозернистих бетонів, ущільнених різними способами

Таблиця 1.

Показники точності вимірювань R_{bt} і величини відхилень при різних способах ущільнення

Номер вимірювання	Міцність на розтяг, кг/см ²					
	1П	2П	3П	4В	5В	6В
1	37,99	38,45	37,68	45,23	41,67	38,41
2	47,32	45,64	43,97	43,72	40,25	39,38
3	42,08	40,74	40,36	43,93	39,11	34,50
Середньоарифметичне значення	42,46	41,61	40,67	44,29	40,34	37,43
Дисперсія (Д)	21,80	13,46	9,85	0,65	1,63	6,65
Середньоквадратичне відхилення σ	4,67	3,67	3,14	0,81	1,28	2,58
Варіація ($K\sigma$), %	10,99	8,81	7,72	1,82	3,17	6,89
Середньоарифметичне середньоквадратичного відхилення σ_0	2,69	2,11	1,81	0,46	0,74	1,48
Показник точності (ϵ), %	6,35	5,07	4,45	1,03	1,83	3,97
Межі довірчого інтервалу $M_{ст}$	11,56	9,07	7,78	1,97	3,18	6,36

Примітка: 1П, 2П, 3П зразки, що ущільнюються методом пресування з товщиною ущільненого шару 3; 5; 10 мм; 4В, 5В, 6В зразки, що ущільнюються методом вібровакуумування з часовим інтервалом 1; 2; 3 хв.

Література:

1. Зайченко Н.М., Матвиенко В.А. Регулирование реологических свойств бетонных смесей с добавкой микрокремнезёма. Зб.: Формування навколишнього середовища на урбанізованих територіях Криму. Сімферополь, 1996. Ч.ІІІ. 25 с.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезёма на свойства бетона. Бетон и железобетон. 1992. №7. С.4-7.
3. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / под ред. Л.И. Дворкина. К.: Будівельник, 1991. 136 с.
4. Писанко Г.К. Сопrotивление высокопрочных бетонов растяжению. Бетон и железобетон. 1970. № 3. С. 37-39.
5. Тышкевич Ю.А., Вандоловский А.Г. К методике определения прочности бетона труб при растяжении. Сб. Технология и организация строительства гидромелиоративных систем. Киев: УкрНИИГиМ, 1973. С. 186-195.
6. Вандоловский А.Г., Юнис Б.Н. Анализ эффективности методов формования бетонных и железобетонных труб прессованием. Разработка решений по увеличению прочности. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. Вип. 56. С. 102-107.
7. Вандоловский А.Г., Юнис Б.Н. Повышение прочности бетона при растяжении путём его модификации. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. Вип.57. С. 38-40.
8. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 673 с.
9. Костенко Ю.А., Толмачев С.Н., Кондратьева И.Г. Взаимосвязь уровня прессования и свойств цементобетонных изделий. Вісник ХНАДУ. Харків : вид-во ХНАДУ, 2012. Вип.19. С.118-121.

References

1. Zaichenko N.M., Matviyenko V.A. Rehulyrovanye reolohycheskykh svoistv betonnykh smesei s dobavkoi mykrokremenezёма. Zb.: Formuvannya navkolyshnoho seredovyshcha na urbanizovanykh terytoriiakh Krymu. Simferopol, 1996. Ch.III. 25 s.
2. Kapryelov S.S., Sheinfeld A.V., Kryvoborodov Yu.R. Vlyaniye strukturi tsementnoho kamnia s dobavkamy mykrokremneze-ma na svoistva betona. Beton y zhelezobeton. 1992. №7. S.4-7.
3. Dvorkyn L.Y., Solomatov V.Y., Virovoi V.N., Chudnovskiy S.M. Tsementnie betoni s myneralnimy napolnyteliamy / pod red. L.Y. Dvorkyna. K.: Budivelnik, 1991. 136 s.
4. Pysanko H.K. Soprotyvlenye visokoprochnykh betonov rastiashzeniyu. Beton y zhelezobeton. 1970. № 3. S. 37-39.
5. Tishkevych Yu.A., Vandolovskiy A.H. K metodyke opredeleniya prochnosty betona trub pry rastiashzeniyu. Sb. Tekhnolohyia y orhanyzatsyia stroytelstva hydromelyoratyvnykh system. Kyev: UkrNYIHuM, 1973. S. 186-195.
6. Vandolovskiy A.H., Yunys B.N. Analyz efektychnosty metodov formovaniya betonnykh y zhelezobetonnykh trub pressovanyem. Razrobotka reshenyi po welycheniyu prochnosty. Naukovyi visnyk budivnytstva : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhDTUBA, KhOTV ABU, 2010. Vyp. 56. S. 102-107.
7. Vandolovskiy A.H., Yunys B.N. Povishenye prochnosty betona pry rastiashzeniyu putem eho modyfykatsyy. Naukovyi visnyk budivnytstva : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhDTUBA, KhOTV ABU, 2010. Vyp.57. S. 38-40.

8. Bazhenov Yu.M., Komar A.H. *Tekhnolohyia betonnikh y zhelezobetonnikh yzdelyi*. M.: Stroyzdat, 1984. 673 s.

9. Kostenko Yu.A., Tolmachev S.N., Kondrateva Y.H. *Vzaymosv'яз urovnia pressovanyia y svoistvo tsementobetonnikh yzdelyi*. *Visnyk KhNADU. Kharkiv : vyd-vo KhNADU, 2012. Vyp.19. S.118-121.*

¹ **Taha Lotfi**, graduate student, orcid.org/0000-0002-3489-911X

¹ O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL MODE OF COMPACTION OF CONCRETE MIXTURE WITH FLY ASH AND MICROSILICA ADDITIVES ON THE STRENGTH OF CONCRETE

Abstract. *The aspects of expanding the scope of application of non-reinforced products, in particular, pipes with sufficient strength indicators, were considered, and the objective necessity of developing appropriate concrete compositions and compaction technology, as well as the nomenclature and parameters of additives, was confirmed. The article outlines the trends of increasing concrete strength characteristics due to the rationalization of methods of concrete compaction with the use of waste. It has been confirmed that for the material of the pipes it is necessary to ensure the increased tensile strength of the product. After compaction, it is necessary to remove the liquid from the concrete, which ensures maximum convergence and unification of the particles of the solid phase. The method of iterations was used to determine the influence of each of the factors of concrete strength research on tension. Considered methods of concrete mixture compaction, according to the features and rheological properties of which two principles are implemented during compaction: removal of excess entrapped air and excess water from low-mobility and rigid mixtures by external influence and removal of air from high-mobility mixtures. Special attention was paid to the technologies of compaction by pressing, vacuuming and vibrovacuuming. Samples of concrete compacted by pressing and vibrovacuum ensured the production of concrete of almost the same structure with compaction of all components. Test results, electron microscopy of cement stone, radiographs obtained with different methods of compaction are presented. An increase in the degree of crystallinity was recorded due to the higher speed of reaching the supersaturation of the liquid phase of the cement test during hydration. When processing the research results, a regression analysis was performed, and analytical models for predicting parameters were obtained. The results were obtained that the fine-grained concrete mixture when compacted by pressing provides an increase in strength under the condition of pressing in layers.*

Key words: *concrete, technology, additive, waste, strength, compaction.*