

Лаповська С. Д.



Волошина Т. М.

Лаповська С. Д., доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи ДП НДІБМВ, керівник ТК 305, професор кафедри будівельних матеріалів КНУБА, 04080, м.Київ, вул. Костянтинівська, 68; e-mail: mit@kievweb.com.ua, тел. (044)425-37-75, (050)311-26-35.

Волошина Т. М., старший науковий співробітник ДП НДІБМВ, керівник випробувального центру, 04080, м.Київ, вул. Костянтинівська, 68; e-mail: labbmsp@ukr.net, тел. (050)314-02-03

S. Lapovska, Ph.D., Deputy Director for Research, TC 305 State Enterprise «Scientific Research and Desing Institute of building materials and products», professor Department of building materials, Kiev University of Construction and Architecture, 04080, Kyiv, Kostyantynivska str., 68, e-mail: mit@kievweb.com.ua, tel. (044)425-37-75, (050)311-26-35.
T. Voloshina, Senior Scientist State Enterprise «Scientific Research and Desing Institute of building materials and products», head of the test center, 04080, Kyiv, Kostyantynivska str., 68, e-mail: mit@kievweb.com.ua, tel. (050)314-02-03

АВТОКЛАВНИЙ ГАЗОБЕТОН З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ЗГИН

АВТОКЛАВНИЙ ГАЗОБЕТОН С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ИЗГИБ

AUTOCLAVED AERATED CONCRETE WITH ENHANCED PERFORMANCE ON BENDING

Анотація. У статті представлено результати дослідження впливу дисперсного армування на склад та основні експлуатаційні характеристики ніздрюватого бетону автоклавного тверднення.

Ключові слова. Автоклавний газобетон, густина, міцність, модель, рівень, фібра.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния дисперсного армирования на состав и основные эксплуатационные характеристики ячеистого бетона автоклавного твердения.

Ключевые слова. Автоклавный газобетон, плотность, прочность, модель, уровень, фибра.

Annotation. The article presents the results of studies of the effect of dispersed reinforcement on the composition and the basic performance characteristics of cellular concrete autoclaved.

Keywords. Autoclaved aerated concrete, density, strength, model, level, fiber.

Сучасне будівництво нерозривно пов'язано з широким застосуванням ефективних стінових матеріалів, які мають високу надійність, доступну сировинну базу, економічність при експлуатації та екологічність. На сьогодні експлуатаційні властивості і висока економічна ефективність виготовлення та застосування автоклавного ніздрюватого бетону призвели до інтенсивного зростання його виробництва.

З метою підвищення конкурентоздатності ніздрюватих бетонів у сучасних умовах актуальною задачею є подальше покращення фізико-технічних властивостей цих матеріалів і створення енергозберігаючих технологій їх виготовлення.

Для великорозмірних виробів з ніздрюватого бетону особливо актуальними є питання стабілізації основних характеристичних властивостей, таких як міцність та середня густина, підвищення опору розтягуючим напруженням, підвищення тріщиностійкості, виключення усадочних явищ та зниження крихкості матеріалу.

Відомо, що розвиток тріщин в матеріалах під дією навантажень відбувається у тому випадку, коли енергії, що вивільняється при зменшенні пружної деформації, достатньо для утворення нової поверхні розриву. Таким чином, підвищення в'язкості руйнування пов'язано зі створенням на шляху утворення тріщин енергетичних бар'єрів у вигляді об'ємів матеріалу, здатного до пластичного деформування.

Збільшення відношення границь міцності на розтяг та стиск, що досягається дисперсним армуванням, являє собою засіб підвищення ефективності бетону як конструкційного матеріалу.

Інтегральні властивості фібробетону, як і будь-якого іншого композиту, обумовлюються властивостями його компонентів (фібри і бетону-матриці), а також наявністю та ступенем їхньої спільної роботи. В фібробетонах така робота забезпечується за рахунок зчеплення та анкерування фібри в бетоні.

Таким чином, виникає задача оптимізації структури і властиво-

стей ніздрюватого бетону та його технології одночасно за багатьма показниками без кількісного завдання вихідних даних та їх обмеження. За складністю та невизначеністю вихідної інформації, випадковому характеру багатьох перемінних і їхнього взаємозв'язку дана задача може бути віднесена до задач стохастичного програмування.

Але невизначеність та різномірність факторів (економічних, технологічних, структурних, якісних) в області їх оптимуму в функціональній взаємозалежності перешкоджають на даному етапі ефективному рішення поставленої задачі методами програмування. Тому в роботі використано розрахунково-експериментальний метод визначення оптимальних параметрів структури та технології ніздрюватого бетону за їх граничними значеннями виходячи з перерахованих вимог.

Для визначення основних домінуючих факторів формування структури фібробетону було проведено комплексні дослідження, метою яких була розробка методики прогнозування технічних властивостей конструкційно-теплоізоляційного газобетону марки за середньою густиною D400, виходячи з характеристик структури матеріалу та параметрів технології його виготовлення. Методологічною основою виконаних робіт є використання ймовірнісно-статистичної концепції будівельного матеріалознавства з багатофакторним моделюванням на основі алгоритмового планування експериментів.

Комплексне дослідження РТ-факторів на властивості автоклавного фібробетону виконано за програмами, що розроблено ОДАБА. Спеціально синтезований план експерименту, оснований на схемі Рехтшафнера; близький до насиченого та несиметричний, але заміняє плани повного факторного експерименту 2k і 3k.

Для 4-факторного експерименту загальний вигляд ЕС-моделі наступний:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_{11}X_{12} + b_{12}X_1^2 + b_{13}X_{13} + b_{14}X_{14} + b_2X_2 + b_{22}X_2^2 + b_{23}X_{23} + b_{24}X_{24} + b_3X_3 + b_{33}X_3^2 + b_{34}X_{34} + b_4X_4 + b_{44}X_4^2 \quad (1)$$

Для виявлення взаємозв'язку в системі «технологічні фактори \leftrightarrow властивості матеріалу» виконано математичне моделювання одного з варіантів технології фібробетону автоклавного тверднення, армованого целюлозним волокном та розроблено методику прогнозування властивостей бетону.

Як відомо, забезпечення якості продукції найефективніше, коли ця задача сформульована як оптимізаційна. При цьому критеріями оптимізації можуть бути:

- максимізовані в межах ресурсу показники якості та надійності, якщо створюється новий конкурентоздатний продукт;
- мінімізовані витрати ресурсу при гарантованому рівні якості, коли ринок насичений відомим продуктом.

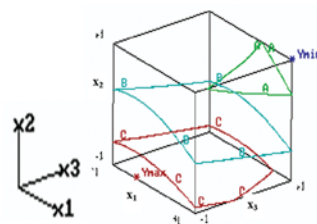
При підборі складу суміші виходили з наступних додаткових міркувань:

- витрата в'язучого при виготовленні ніздрюватого фібробетону повинна бути мінімальною;
- надлишковий тиск пари при ізотермічній витримці зразків приймається рівним 0,8 МПа;
- фіксовані фактори (їхні рівні постійні у всіх точках плану):
 - якість (виробник, активність) та кількість в'язучого;
 - якість піску (родовище, частка кремнезему);
 - тонина помелу піску з вапном;
 - вологість суміші піску з вапном при помелі;
 - якість та кількість газоутворювача і хімічних добавок;
 - температура води замішування;
 - час витримки до автоклавної обробки та параметри тепловологісної обробки.

В даній роботі для дослідження було використано целюлозні волокна довжиною від 0,2 мм до 2,5 мм, отримані з відновленої вторинної сировини природного походження. Діапазони варіювання РТ-факторів прийняті в натурних експериментах для реалізації поставленої програми (табл. 4.15) достатньо точно витримувались з доступною при дослідному виробництві автоклавного фібробетону точністю. Рівні варіювання визначено в конкретному обчислювальному експерименті для кожного фактора з урахуванням можливостей виробничих систем регулювання.

Нижче наведено результати розрахунку моделей (табл. 1-2), а їх графічна інтерпретація представлена на рис. 1-4

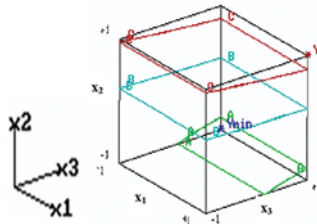
Моделі адекватні, оскільки для всіх властивостей похибка набагато менше 5% (див. табл. 2).



Рівні: A – 22 хв.
B – 24 хв.
C – 26 хв.
 $Y_{min} = 21,269$
 $Y_{max} = 27,294$

	X_{min}	X_{max}
1	1,000	-0,435
2	1,000	-1,000
3	1,000	-1,000

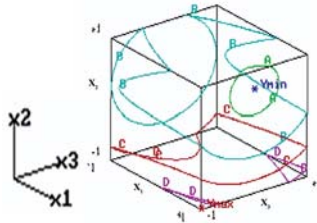
Рис. 1. Ізопверхня часу спучування ніздрюватого фібробетону



Рівні:
A – 2,4 год.
B – 2,6 год.
C – 2,8 год.
 $Y_{min} = 2,374$
 $Y_{max} = 2,880$

	X_{min}	X_{max}
1	-1,000	1,000
2	-1,000	1,000
3	1,000	1,000

Рис. 2. Ізопверхня швидкості набору пластичної міцності ніздрюватого фібробетону



Рівні: A – 390 кг/м³
B – 400 кг/м³
C – 410 кг/м³
D – 420 кг/м³
 $Y_{min} = 388,394$
 $Y_{max} = 424,303$

	X_{min}	X_{max}
1	0,999	1,000
2	0,695	1,000
3	0,004	1,000

Рис. 3. Ізопверхня густини ніздрюватого фібробетону

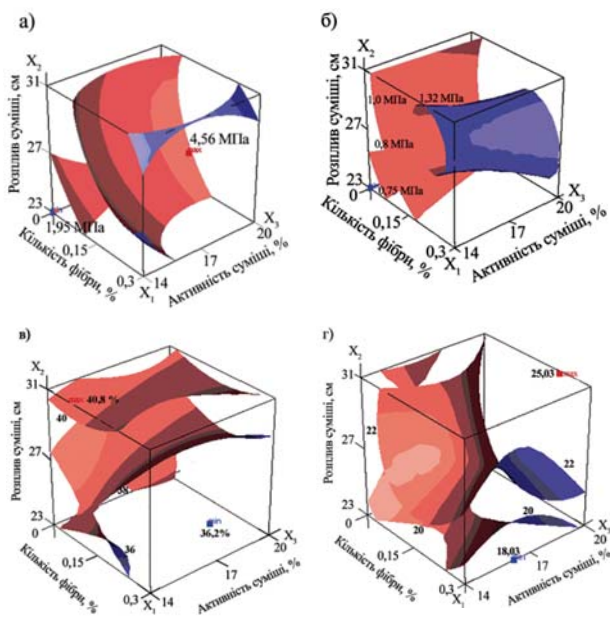


Рис. 4. Графічна інтерпретація зміни основних фізико-механічних характеристик ніздрюватого фібробетону залежно від рецептурно-технологічних факторів:

- а) – міцність на стиск, МПа;
- б) – міцність на розтяг при згині, МПа;
- в) – вологість зразків після автоклавної обробки, % за масою;
- г) – водопоглинання, %

Таблиця 1.

РТ-фактори та рівні їхнього варіювання

Позначка	Найменування	Од. вимір.	-1	0	1	Інтервал варіювання
1	2	3	4	5	6	7
X ₁	кількість целюлозних волокон Techpocel	% від маси сухої суміші	0,1	0,2	0,3	0,1
X ₂	розплив суміші за віскозиметром Суттарда	см	23	27	31	4
X ₃	активність суміші	%	14	17	20	3
X ₄	час ізотермічної витримки	год.	4	6	8	4

Інформаційна таблиця зміни 9 критеріїв якості під впливом 4-х факторів

№	План в натуральних змінних				План в нормалізованих змінних				Критерії якості Y									
	X ₁ , %	X ₂ , см	X ₃ , %	X ₄ , год.	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	вологість після автокл., % за мас.	У _{сух.} , кг/м ³	R _{сг} , МПа	R _{пр} , МПа	водопогл. за 24 год., % за мас.	теплотпр. в сух. ст. λ ₀₇ , Вт/м·К	В/Г	час сплунь., хв.	швид. набору пласт. міцності 0,5 МПа, год.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	0,2	27	17	6	0	0	0	0	37,4	389,87	4,56	1,32	22,3	0,09	0,51	24,17	2,62	
2	0,3	31	20	8	1	1	1	1	41,2	385,6	3,42	0,98	27,5	0,09	0,60	22,00	2,75	
3	0,3	23	14	4	1	-1	-1	-1	38,6	419,5	2,95	0,85	20,2	0,10	0,42	25,83	2,55	
4	0,1	31	14	4	-1	1	-1	-1	41,7	414,91	2,90	0,81	21,1	0,10	0,60	22,58	2,83	
5	0,1	23	20	4	-1	-1	1	-1	36,6	419,8	2,89	0,80	20,5	0,10	0,42	26,67	2,33	
6	0,1	23	14	8	-1	-1	-1	1	36,3	419,7	2,87	0,80	20,4	0,10	0,42	26,83	2,42	
7	0,2	23	20	8	0	-1	1	1	37,1	419,3	4,38	1,26	23	0,10	0,42	26,33	2,30	
8	0,2	31	14	8	0	1	-1	1	40,6	402	4,45	1,29	24,6	0,10	0,60	23,17	2,70	
9	0,2	31	20	4	0	1	1	-1	40,2	405,1	3,87	1,02	25,3	0,10	0,60	21,92	2,93	
10	0,1	27	20	8	-1	0	1	1	36,8	393,5	3,39	0,98	26,1	0,09	0,51	24,67	2,57	
11	0,3	27	14	8	1	0	-1	1	36,3	406,2	3,15	0,93	22,6	0,10	0,51	24,33	2,45	
12	0,3	27	20	4	1	0	1	-1	36,5	407,1	2,98	0,90	21,5	0,10	0,51	21,00	2,60	
13	0,1	31	17	8	-1	1	0	1	39,4	398,2	3,3	0,96	21,7	0,10	0,60	22,50	2,92	
14	0,3	23	17	8	1	-1	0	1	36,6	416,3	3,02	0,91	20,2	0,10	0,42	25,92	2,37	
15	0,3	31	17	4	1	1	0	-1	38,7	395,4	2,84	0,82	21,7	0,09	0,60	22,00	2,88	
16	0,1	31	20	6	-1	1	1	0	39,8	405	3,28	0,94	20,5	0,10	0,60	21,33	2,83	
17	0,3	23	20	6	1	-1	1	0	37,1	419,8	3,35	0,95	21,1	0,10	0,42	26,00	2,43	
18	0,3	31	14	6	1	1	-1	0	38,6	390	2,95	0,81	23,6	0,09	0,60	22,17	2,95	
									середнє	38,31	405,96	3,36	0,96	22,44			26,83	2,95
									МІН	36,30	385,60	2,84	0,80	20,20			21,00	2,30
									МАКС	41,70	419,80	4,56	1,32	27,50			23,86	2,64
									РОЗМАХ	5,40	34,20	1,72	0,52	7,30			5,83	0,65
									макс/мін	1,15	1,09	1,60	1,65	1,36			1,13	1,28
									похибка 5% від середн.	1,92	20,30	0,17	0,05	1,12			1,19	0,13

Міцність при стиску зростає в зоні максимуму з 3,0 МПа до 4,56 МПа та міцність на розтяг при згині 0,75 МПа – 1,32 МПа (майже на 30%). В зоні мінімуму міцність при стиску – з 1,95 МПа до 2,9 МПа, а міцність на розтяг при згині з 0,4 до 0,8 МПа. Дія решти факторів укладається в рамки звичайних технологічних уявлень.

Експериментальні дані підтверджують адекватність застосованої методики підбору складу ніздрюватого фібробетону: у всіх випадках середня густина отриманого ніздрюватого фібробетону не відрізняється від заданої більше ніж на ± 50 кг/м³, планована міцність при стиску та на розтяг при згині досягнута у всіх випадках.

Література:

1. Визначення ступеня значимості технологічних факторів у виробництві ніздрюватого бетону / Лаповська С.Д., Волошина Т.М. // Збірник доповідей конференції МОК-47. ОДАБА – 2008. - С. 153-154.
2. Ячеистые фибробетоны – композиционные материалы для строительства / Лаповська С.Д. // Збірник Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка. – 2009. - №32. - С. 75-77.
3. Автоклавний ніздрюватий бетон, дисперсноармований мікроволоконками технічно чистої целюлози / Лаповська С.Д., Волошина Т.М., Вознесенський В.А., Гаврилюк В.П. // Збірник «Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка». – 2011. - №40. – С. 107-111.
4. Експериментально-статистичне моделювання для аналізу будівельних матеріалів / Лаповська С.Д. // Збірник «Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка». – 2011. - №42. – С. 46-49.
5. About application of insoluble cellulose short fibres in autoclaved aerated concrete with improved physicotecnical characteristics manufacture /S. Lapovskaja, T. Voloshina // 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable future" to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland, September 14-17, 2011, University of Technology and Life Sciences. P 87. ISBN 978-83-89334-26-4.