

УДК 691.32/34:004.94

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ВИРОБІВ НА 3D ПРИНТЕРІ

Автор – **Мартиненко К. А.**, магістрант

Науковий керівник – **Конопляник О. Ю.**, канд. техн. наук, доц.

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

**Постановка проблеми.** В теперішній час все більшої популярності набувають методи виготовлення будівельних конструкцій та виробів за допомогою 3D принтеру.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури налагодила тісне співробітництво з підприємством, в якому налагоджений випуск дрібноштучних бетонних виробів за допомогою 3D друку і яке знаходиться в Дніпропетровській області в с. Братське. Оскільки характеристики міцності бетонів для 3D друку є визначальними, щодо встановлення марки і класу бетону, то їх отримання в результаті наукових досліджень є актуальною ціллю експериментів.

**Мета дослідження.** Дослідження міцнісних характеристик бетонів, які були відібрані з конструкцій, виготовлених на 3D принтері.

**Результати дослідження.** Для проведення дослідження міцності та об'ємної ваги бетонів виготовлених на 3D принтері з конструкцій вирізали зразки – куби стандартних розмірів  $100 \times 100 \times 100$ ,  $70 \times 70 \times 70$  та  $50 \times 50 \times 50$  мм. Усього для проведення дослідження міцності та щільності бетонів було виготовлено по шість зразків.

Міцність бетону на стиск в МПа визначали в лабораторних умовах на зразках-кубах згідно нормативного документу [1]. Зразки-куби з розмірами ребра 100 та 70 мм доводили до руйнування на пресі П-125, а зразки-куби з розмірами ребра 50 мм – на пресі УММ-20. Зразки-куби встановлювали на плиті пресу таким чином, щоб навантаження відбувалося перпендикулярно шарам укладки бетонної суміші в конструкцію. Швидкість підйому навантаження складала 4 кН за секунду. Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка. В процесі визначення міцності бетону аналізували характер руйнування зразків і структуру внутрішньої поверхні бетону.

Об'ємну вагу зразків в  $\text{кг/м}^3$  визначали згідно нормативного документу [2] шляхом їх контрольного зважування та відношення цієї ваги до об'єму зразка. Об'єм зразка визначали шляхом його розмітки та вимірювання розмірів в характерних перерізах.

Результати визначення міцності та щільності зразків бетону в залежності від їх розмірів наведені в таблицях 1–3. Характер руйнування зразків і структура внутрішньої поверхні бетону зразків розмірів  $100 \times 100 \times 100$  мм наведені на рисунку.

*Таблиця 1*

**Результати визначення міцності та щільності бетонів зразків з ребром 100 мм**

Маркування зразків	Маса зразка $m$ , г	Розміри перерізу $a_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$ , мм	Висота зразка $h_{\text{ср}}$ , мм	Площа зразка $S$ , $\text{см}^2$	Об'єм зразка $V$ , $\text{см}^3$	Щільність, $\rho$ , $\text{г/см}^3$	Руйнівне зусилля $P$ , кН	Міцність на стиск $R_m$ , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 <sub>1</sub>	1 800	97,5×100,0	97,5	953,063	1,88	103,75	10,64	10,64

Закінчення таблиці 1									
1	2	3		4	5	6	7	8	9
2 <sub>2</sub>	1 843	98,0	100,0	100,0	98,0	960,4	1,92	129,25	13,19
2 <sub>3</sub>	1 964	101,0	100,5	100,5	101,75	1 032,81	1,90	145,55	14,34
2 <sub>4</sub>	2 009	100,5	100,5	100,5	103,25	1 042,86	1,93	122,53	12,13
2 <sub>5</sub>	1 985	101,0	100,25	100,25	101,0	1 022,65	1,94	144,3	14,25
2 <sub>6</sub>	1 874	98,75	99,75	99,75	98,875	973,95	1,92	126,55	12,85

Як видно з таблиці 1, міцність бетонних зразків розміром 100 × 100 × 100 мм на стиск склала 10,64...14,34 МПа. При цьому показники щільності зразків становлять 1,88...1,94 г/см<sup>3</sup>.

Таблиця 2

**Результати визначення міцності та щільності бетонів зразків з ребром 70 мм**

Маркування зразків	Маса зразка m, г	Довжина зразка a <sub>ср</sub> , мм	Ширина зразка b <sub>ср</sub> , мм	Висота зразка h <sub>ср</sub> , мм	Площа зразка S, см <sup>2</sup>	Об'єм зразка V, см <sup>3</sup>	Щільність, ρ, г/см <sup>3</sup>	Руйнівне зусилля P, кН	Міцність на стиск R <sub>m</sub> , МПа
3 <sub>1</sub>	640	70,0	70,0	70,63	49,0	346,09	1,85	72,54	14,8
3 <sub>2</sub>	628	68,5	71,5	69,63	48,98	341,05	1,84	63,36	12,94
3 <sub>3</sub>	644	69,75	71,75	69,63	50,05	348,5	1,85	73,54	14,7
3 <sub>4</sub>	652	71,5	71,75	69,5	51,3	356,54	1,83	72,31	14,1
3 <sub>5</sub>	638	71,0	70,0	70,38	49,7	349,79	1,825	70,3	14,14
3 <sub>6</sub>	622	71,0	70,0	68,0	49,7	337,96	1,84	64,97	13,1

Як видно з таблиці 2, міцність бетонних зразків розміром 70 × 70 × 70 мм на стиск склала 12,94...14,8 МПа. При цьому показники щільності зразків становлять 1,825...1,85 г/см<sup>3</sup>.

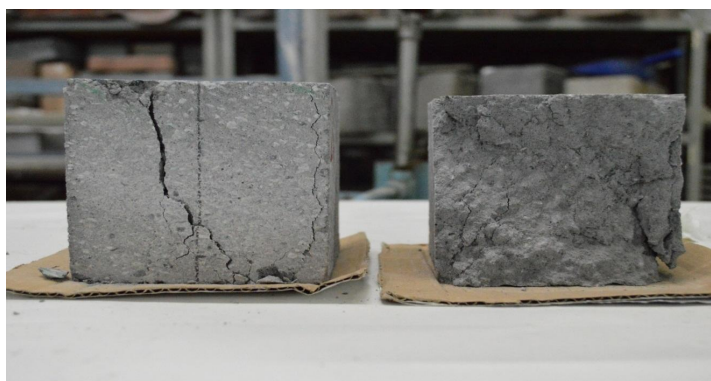
Таблиця 3

**Результати визначення міцності та щільності бетонів зразків з ребром 50 мм**

Маркування зразків	Маса зразка m, г	Довжина зразка a <sub>ср</sub> , мм	Ширина зразка b <sub>ср</sub> , мм	Висота зразка h <sub>ср</sub> , мм	Площа зразка S, см <sup>2</sup>	Об'єм зразка V, см <sup>3</sup>	Щільність, ρ, г/см <sup>3</sup>	Руйнівне зусилля P, кН	Міцність на стиск R <sub>m</sub> , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4 <sub>1</sub>	262	51,5	51,5	52,25	26,52	138,58	1,89	39,45	14,88

<i>Закінчення таблиці 3</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4 <sub>2</sub>	258	51,75	50,25	52,25	26,00	135,87	1,9	49,55	19,06
4 <sub>3</sub>	247	50,0	51,5	50,75	25,75	130,68	1,89	46,9	18,21
4 <sub>4</sub>	260	51,5	51,75	51,38	26,65	136,93	1,9	35,1	13,17
4 <sub>5</sub>	265	51,5	51,25	51,5	26,39	135,93	1,95	40,2	15,23
4 <sub>6</sub>	265	51,75	51,0	52,75	26,39	139,22	1,9	44,7	16,94

Як видно з таблиці 3, міцність бетонних зразків розміром 50 × 50 × 50 мм на стиск склала 13,17...19,06 МПа. При цьому показники щільності зразків становлять 1,89...1,95 г/см<sup>3</sup>.



*Рис. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків розмірами 100×100×100 мм*

В результаті визначення міцності встановлено, що всі зразки бетону з різними розмірами ребра мають нормальний характер руйнування (рис.). Структура внутрішньої поверхні бетону має підвищену пористість, що за нашою думкою пов'язане з надмірним використанням в складах сумішей гіперпластифікатору. Максимальна міцність зразків підвищується послідовно зі зменшенням розмірів ребра зразків від 100 до 50 мм з 14,34 до 19,06 МПа. Щільність усіх зразків змінюється незначно і знаходиться в межах 1,825...1,95 г/см<sup>3</sup>.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Узагальнений аналіз міцності зразків бетону з різними розмірами ребра дозволив визначити динаміку зміни міцності бетону в залежності від розмірів конструкцій і виробів. Така динаміка важлива для оцінки міцності різних конструктивних елементів і виробів, які відрізняються між собою за розмірами. Виходячи з умов служби конструкцій і виробів, які виготовляються за допомогою 3D друку, в подальшому необхідно встановити марку та клас бетону при визначених масштабних коефіцієнтах міцності зразків.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ Б В.2.7.–214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методы определения средней плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости. Київ : Госстрой Украины, 2008.