УДК 624.012.45 DOI: 10.31650/2415-377X-2019-77-46-57

ВЛАСТИВОСТІ ФІБРОБЕТОНУ ПРИ ДІЇ КОРОТКОЧАСНОГО ТА ТРИВАЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Вигнанець М.М., аспірант,
marinasidorchyk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8822-636X
Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. Виконано експериментальне дослідження властивостей фібробетону при дії короткочасного та тривалого навантаження. В результаті статистичної обробки результатів випробувань отримані значення призмової і кубикової міцності бетону і фібробетону.

З отриманих результатів видно, що призми із фібробетону, що знаходилися протягом 370 діб під дією тривалого навантаження, збільшили несучу здатність на 30-50% в залежності від рівня навантаження. Чим вище рівень навантаження, тим вища тривала міцність. При повторному довантажуванні до руйнування деформації фібробетонних призм змінювалися за лінійним законом. Пояснюється це тим, що в процесі трьохетапного навантаження була обрана швидкоплинна повзучість бетону.

Кубикова міцність фібробетону у віці 28 діб склала 32,5 МПа і в 200 діб незначно змінилася. Призмова міцність фібробетону з 25,2 МПа в 28 діб зросла на 50% в 370 діб і склала 37,9 МПа. Коефіцієнт призмової міцності достатньо високий і з віком збільшується. Зростання модуля пружності з віком триває, але незначно. Коефіцієнт Пуассона фібробетону збільшився на 18 % і у віці 370 діб становив 0,21. Граничні деформації стиснення бетону в 200 діб збільшились в 3 рази, а фібробетону – в 2,5 рази.

Ключові слова: експеримент, фібробетон, кубикова міцність, призмова міцність, модуль пружності, тривале навантаження.

Вступ. Сучасне індустріальне будівництво має чітку тенденцію до підвищення поверховості будинків і споруд, що, безумовно, вимагає застосування нових ефективних матеріалів. Одним з них є сталефібробетон, який дозволяє поліпшити такі характеристики бетону, як тріщиностійкість, морозостійкість, міцність на розтяг, згин, крутіння та тощо.

При вирішенні багатьох завдань проектування бетонних і залізобетонних конструкцій вельми важливим є питання урахування тривалих процесів, що протікають в бетоні, оскільки практично всі конструкції в реальних умовах завантажені довгодіючими навантаженнями. Досвід експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій і результати експериментальних досліджень показують, що з плином часу міцність бетону зростає. Стосовно до бетону це явище вивчене досить добре. Відомий цілий ряд аналітичних залежностей, що пов'язують міцність бетону і його вік.

Питання про зміну міцності сталефібробетону в часі практично не досліджене.

Аналіз останніх досліджень. Існує досить велика кількість публікацій, присвячених сталефібробетону та його властивостям. У цих роботах зачіпається багато аспектів, що стосуються виробництва і застосування сталефібробетону, в тому числі і підбір складу дисперсноармованого бетону. Наприклад, К.В. Талантова [1, 2] ґрунтується на тому, що вибір матеріалів для нього і процентні співвідношення в його складі слід здійснювати в залежності від поставлених завдань, тобто відповідно до практичного застосування. Згідно [1, 2], характеристики сталефібробетону залежать від цілого ряду чинників.

При виробництві сталефібробетону застосовуються різні типи фібри. В роботі [3] було проведено дослідження впливу різного типу фібри і відсотка армування на основні фізико-механічні характеристики сталефібробетону (опір стисненню, розтягу при згині, розтягу при розколюванні, а також вплив на граничну розтяжність і стисливість бетону).

Властивості сталефібробетону також багато в чому залежать від обраного відсотка армування. В роботі [4] отримано вираз для визначення мінімального відсотка армування. В

[5] показана залежність міцності на розтяг при згині від коефіцієнта об'ємного армування, а також визначена характеристика зчеплення фібри із цементною матрицею.

У роботах [6-8] досліджені міцності і деформаційні характеристики сталефібробетону при стисненні, розтягненні і крутінні. Вивчалося короткочасне і тривале навантаження в різному віці і порівняння отриманих характеристик з аналогічними характеристиками бетонної матриці. Отримано дані про міцність бетону і сталефібробетону на стиск і розтяг, а також значення модулів пружності.

За результатами експериментів можна зробити висновок, що міцність дисперсно-армованого бетону при стисненні, розтягненні і крутінні більше в 1,4-2,6 рази відповідно, ніж звичайного бетону. Повзучість сталефібробетону менше повзучості бетону, а вплив фібрового армування з віком бетону зменшується.

Сталефібробетон, в порівнянні зі звичайним бетоном, має підвищену тріщиностійкість [9, 10]. Це відбувається за рахунок того, що волокна, рівномірно розподілені в бетоні, беруть на себе основну частину розтягуючих напружень, стримуючи таким чином поширення тріщин.

Багато цікавих досліджень з'явилося в останні роки, що, мабуть, можна пояснити новими можливостями в проведенні експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання фібробетону та фібробетонних конструкцій. В роботі [11] розглянуто питання поліпшення структурно-механічних властивостей дрібнозернистого бетону на основі використання нової фібри підвищеного зчеплення – композитної багатоанкерної фібри. Для цього в бетонну суміш пропонується одночасно вводити фібру двох розмірів: у вигляді довгих і коротких волокон в певному співвідношенні. Показано, що в цьому випадку з'являється можливість істотного підвищення ефективності роботи бетонної матриці.

Постановка задачі. Проведені експериментальні дослідження включали в себе два етапи. Метою першого етапу було визначення оптимальних характеристик сталефібробетонної суміші. Для цього визначалася кубикова міцність сталефібробетону на зразках 100×100×100 мм. При цьому варіювався відсоток дисперсного армування, який становив 0,5 %, 1,0 % і 1,5 %, а також розмір фракції крупного заповнювача (щебінь) – з розміром фракції ≤ 10 мм в одній серії випробувань та ≤ 20 мм – в другій. Одночасно визначалася кубикова міцність звичайного бетону при тих же розмірах крупного заповнювача. Обробка результатів першого етапу випробувань показала, що оптимальними характеристиками фібробетонної суміші є матриця з крупним заповнювачем ≤ 10 мм (при цьому кубикова міцність була значно вища, ніж при розмірі щебеню ≤ 10 мм, у всіх серіях дослідів) при 1,0% фібрового армування, оскільки при вищому відсотку фібрового армування збільшення кубикової міцності виявилося неістотним. Такий склад суміші і був прийнятий для проведення другого етапу випробувань. На цьому етапі були визначені кубикова (f_{cube}) та призмова (f_{pr}) міцності, досліджений характер зміни f_{cube}, f_{pr} з плином часу, а також визначені модуль пружності і модуль деформацій.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження властивостей фібробетону при дії короткочасного та тривалого навантаження.

Методика дослідження. Для вирішення вказаних завдань було випробувано 108 зразків із фібробетону: 54 – при короткочасному навантаженні (27 кубиків 100×100×100 мм і 27 призм 100×100×400 мм) та 54 – при тривалому навантаженні (в такій же пропорції). Одночасно випробувана партія зразків з бетону, аналогічна за кількісним складом.

Кубики з бетону і фібробетону піддавалися руйнуванню шляхом стиснення в випробувальній установці зі швидкістю навантаження, що забезпечує підвищення розрахункового напруження в зразку до його повного руйнування. В якості випробувальної установки застосовувався прес УВМ-50. Випробування зразків-кубиків на стиск з однієї і тієї ж виготовленої партії проводилися у віці 28 діб, а потім – у віці 370 діб. Кубики встановлювали строго по центру плити преса.

При випробуваннях бетонних призм розмірами 100×100×400 мм зразки-близнюки об'єднували в групи і серії. Зразки кожної групи виготовляли в один прийом. Призми (як і

куби) бетонували в металевих касетних опалубках. Бетонну суміш виготовляли в бетономішалці вільного падіння. Перед укладанням в опалубку суміш для більшої однорідності додатково перемішували вручну. Ущільнення бетону в опалубках проводили на лабораторному вібростолі.

До початку експериментальних досліджень зразки зберігали при температурі 18-24°. Перед випробуванням на бічні грані призм наклеювали кріплення для установки індикаторів годинникового типу.

Методику короткочасних і тривалих випробувань зразків складали з урахуванням рекомендацій нормативних документів по випробуванню бетону [12, 13].

Результати дослідження. Зразки поступово завантажували до їх руйнування (рис. 1).

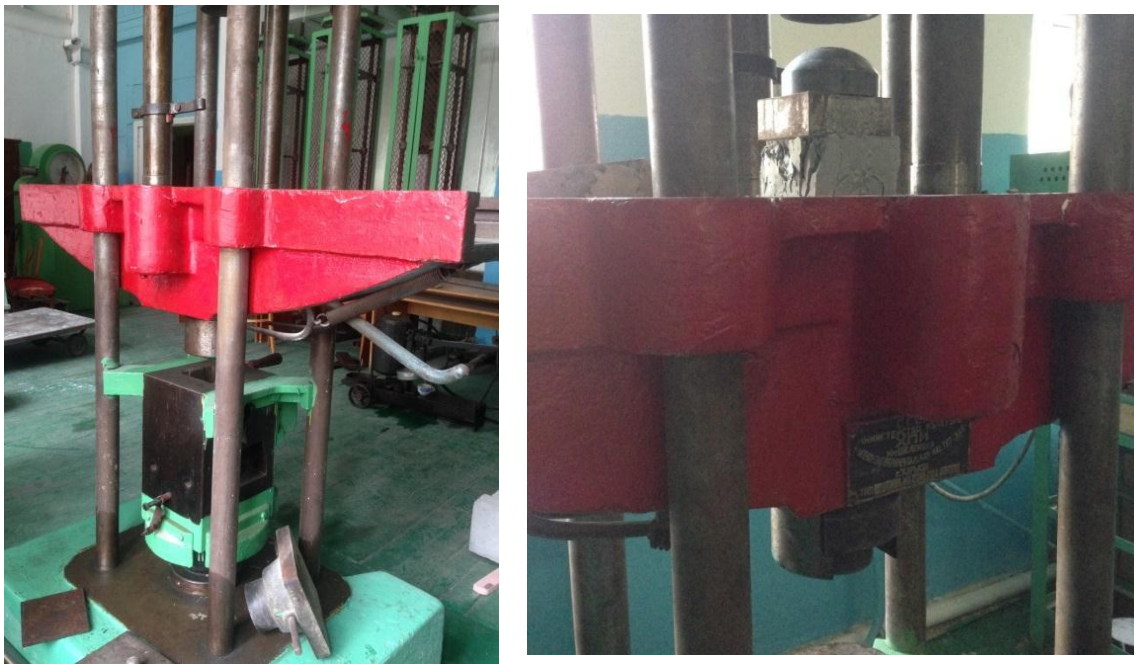

Рис. 1. Прес УВМ-50 і випробування одного із зразків

Результати випробувань зразків першої серії наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Короткочасне навантаження, вік – 28 діб

		Границя міцності, МПа							
Серія	Номер	Кубики з бетону		Призми з бетону		Кубики з фібробетону		Призми з фібробетону	
		Зразку	Середня	Зразку	Середня	Зразку	Середня	Зразку	Середня
I	1	29,5	30,5	23,5	23,8	32,5	32,5	25,0	25,0
	2	29,6		23,5		31,0		25,0	
	3	31,0		24,2		34,0		25,2	
	4	30,4		23,5		32,5		25,5	
	5	30,0		23,5		32,0		25,0	
	6	30,5		23,5		32,5		25,0	
	7	30,5		24,2		32,5		25,0	
	8	31,0		24,0		32,5		25,0	
	9	32,0		24,0		32,8		24,4	

При цьому кубикова міцність звичайного бетону за час спостереження виросла на 4,5 МПа, що становить 14,5%. Міцність фібробетону за той же період виросла на 10,1 МПа, тобто на 31%.

На рис. 2 наведені дані про зміну міцності бетонних і фібробетонних кубів на стиск у часі.

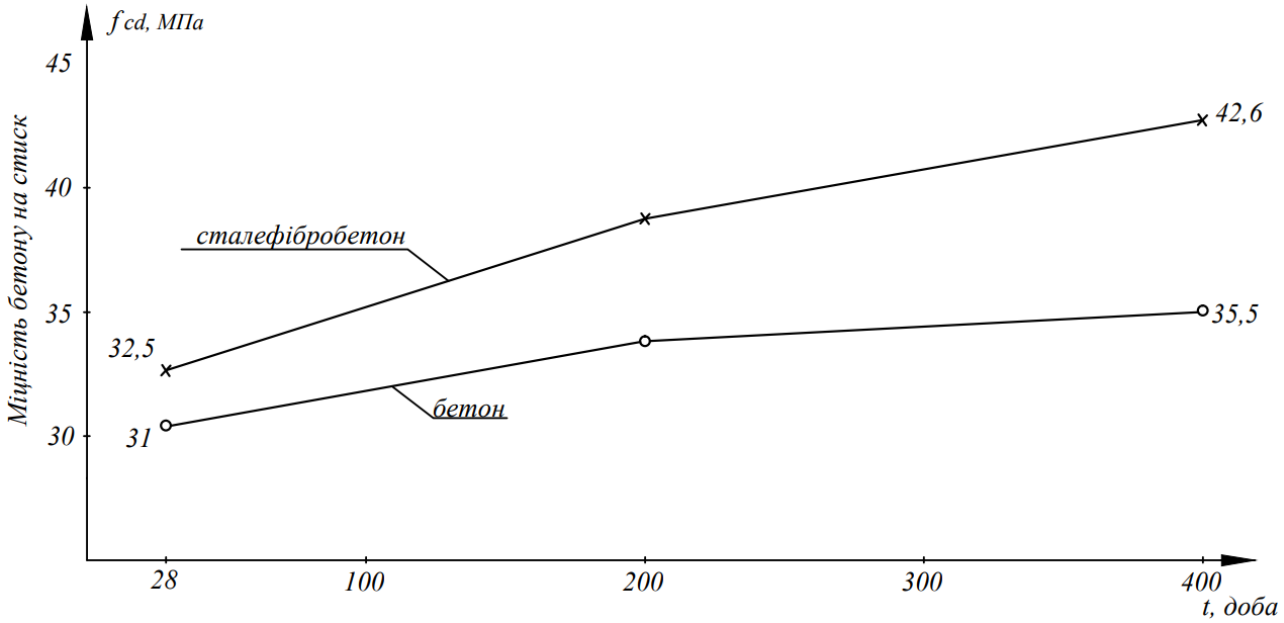

Рис. 2. Зміна міцності бетону і фібробетону

І якщо до моменту набору марочної міцності бетону (28 діб) міцність фібробетону лише на 4,7% перевищувала міцність звичайного бетону, то практично через рік ця різниця збільшилася до 24%.

Слід також відзначити принципову відмінність в характері руйнування випробовуваних кубів. Якщо бетонні зразки руйнуються за класичним сценарієм, то куби із фібробетону навіть після втрати несучої здатності (руйнування) не змінюють своєї геометричної форми. Єдина помітна відмінність «до і після» – наявність тріщин і збільшення поперечних розмірів в напрямку, перпендикулярному площині дії навантаження (з 10,0 до 10,4 см).

Відзначимо, що всі без винятку зразки, що перебували понад рік під дією довготривалого навантаження збільшили свою несучу здатність. Чим вище рівень тривалого навантаження, тим більше ущільнюється бетон, і, звісно, вище його довготривала міцність. Зразки, завантажені до рівня 0,8 (від кубикової або призмової міцності відповідно) за 370 діб, збільшують свою несучу здатність на 40,5%. За той же час у зразка, завантаженого до рівня 0,3 тривала міцність зросла на 18,3%.

Визначенню модуля пружності і призмової міцності передувало центрування зразків по фізичному центру шляхом застосування пробних навантажень, що викликають напруження величиною до 0,2 від призмової міцності. Центровка була застосована для того, щоб деформації по 4 гранях зразка були приблизно однаковими і майже повністю оборотними. Завантаженість здійснювали ступенями по 0,1 від призмової міцності. На кожному ступені навантаження вимірювали деформації. Максимальне зусилля, що сприймається зразком перед руйнуванням, брали за величину руйнуючого навантаження.

Завантаженість зразків тривалим навантаженням здійснювали в силових установках (стендах), що складаються з 4-х металевих стрижнів діаметром 46 мм, до яких на певних рівнях кріпилися жорсткі плити навантаження (4 шт) за допомогою різьбових з'єднань (рис. 3). Для того, щоб підтримувати навантаження під час тривалих випробувань на заданому рівні, передача зусиль від гідравлічного домкрата до досліджуваних призм здійснювалася через силовий вузол, який складається з 4-х пружин і 2-х плит навантаження. Потужність кожної пружини – 100 кН.

Всі зусилля, що створюються силовим пристроєм, врівноважуються в межах верхньої і нижньої плит навантаження. Від установки на фундамент передається лише її власна вага і можливий динамічний удар під час крихкого руйнування призм.

Перед завантаженням кожну пружинну касету тарували за допомогою зразкового динамометра (500 кН), встановленого в місці розташування експериментального зразка. Величина навантаження під час експерименту підтримувалася на потрібному рівні і контролювалася за деформаціями пружинного блоку і манометру насосної станції.

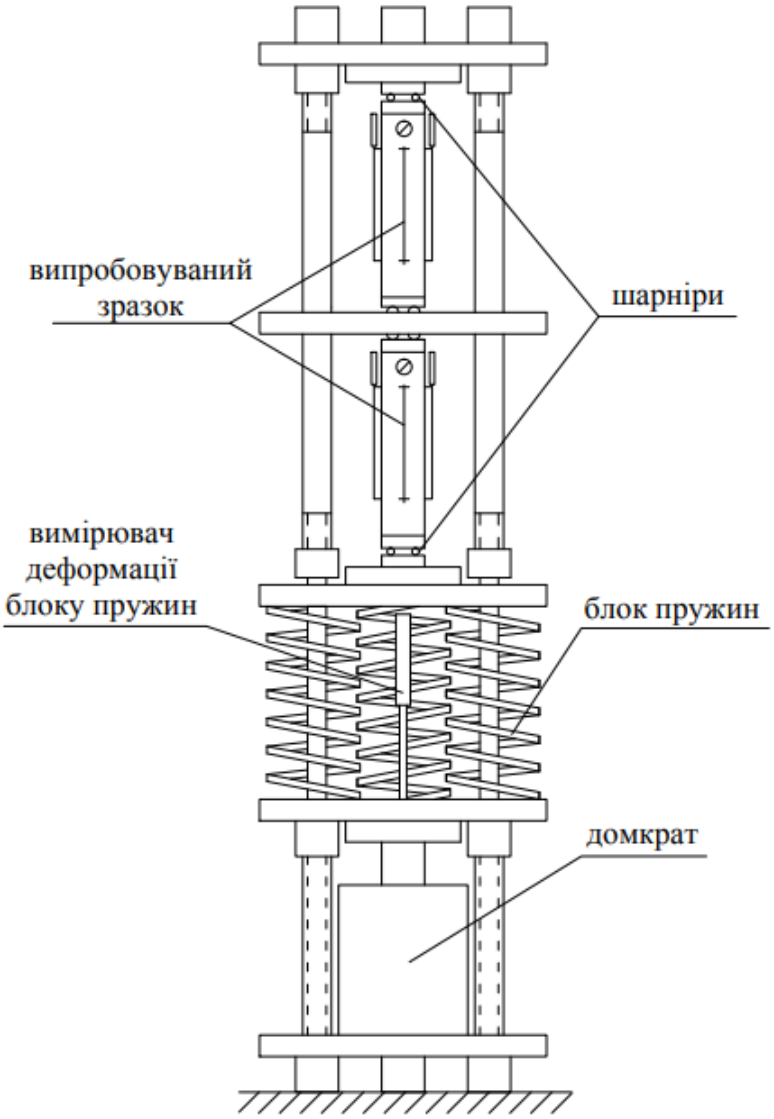

Рис. 3. Схема силової установки

По висоті установки в одній силовій лінійці, тобто в 2 поверхи, розташовувалися 2 зразки: один зі звичайного бетону, а другий – із фібробетону. Таким чином, протягом усього експерименту (370 діб) режим і рівень навантаження для обох зразків був абсолютно однаковим.

Для визначення несучої здатності, а також з метою зіставлення результатів короткочасного і тривалого навантаження, в кожній групі зразків 3 призми доводили до руйнування короткочасним навантаженням на гідравлічному пресі. П'ять призм кожного складу бетону завантажували тривалим навантаженням в силових стендах і 4 призми кожної групи зберігали до закінчення експерименту для визначення відповідної призмової міцності. В результаті проведення короткочасних випробувань встановлено, що призмова міцність звичайного бетону – 23,5 МПа, а фібробетону – 25,2 МПа.

Щоб охопити весь експлуатаційний спектр напруженого стану реальних залізобетонних елементів, в якості рівнів тривалого навантаження були прийняті рівні 0,3; 0,4; 0,5; 0,67 і 0,8 від короткочасного руйнівного навантаження. На рис. 4 представлені результати тривалих випробувань для трьох рівнів – 0,3; 0,5 і 0,8. Суцільними лініями показані деформації бетону,

а пунктирними – фібробетону. Деформації повзучості фібробетону в середньому на 20% нижче, ніж бетону.

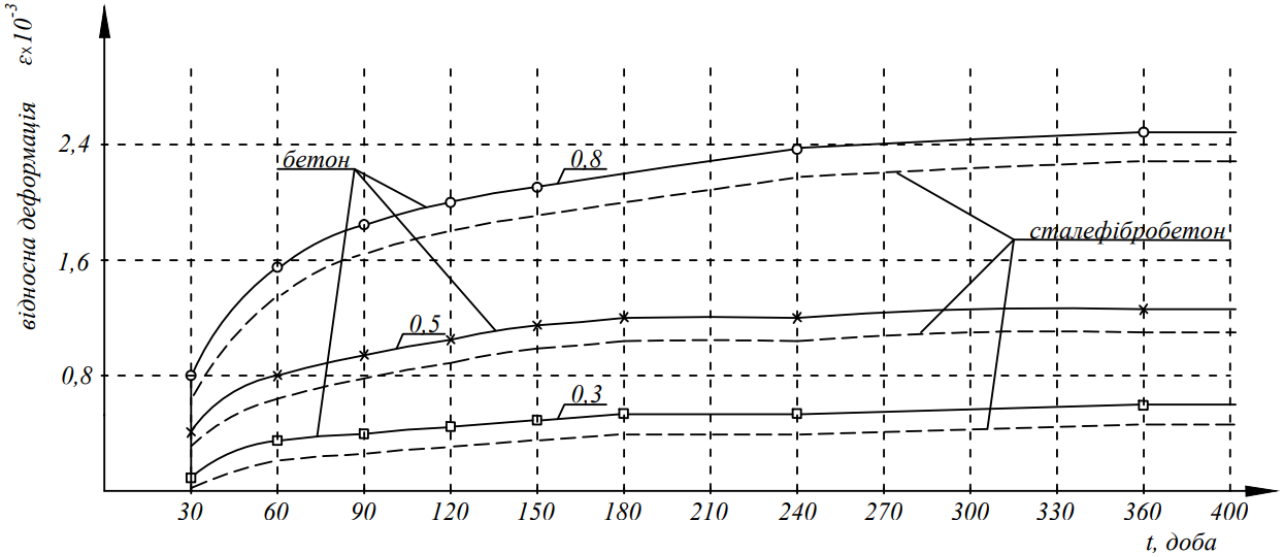

Рис. 4. Результати тривалих випробувань

Із результатів, представлених на рис. 4, видно, що розвиток деформацій при тривалому навантаженні умовно можна поділити на 3 етапи. На першому етапі відбувається прискорене деформування. Деформації, що проявилися за цей період, складають майже 75% від величини загальних деформацій за весь час спостережень. На другому етапі деформування відбувається з умовно постійною швидкістю, тобто зростання деформацій здійснюється практично за лінійним законом. При рівні навантаження 0,3 стабільно лінійна частина починається через 35-40 діб, для рівня 0,8 – через 65-70 діб. Деформації, що проявилися на цьому етапі, складають 20-23% від їх загальної величини. І, нарешті, на третьому етапі швидкість росту деформацій практично наближається до нуля. Графік зміни деформацій практично паралельний горизонтальній осі.

На рис. 5 представлені результати трьох етапів навантаження бетонних призм в силових стендах. На першому етапі, як уже зазначалося, призми завантажувалися короткочасним навантаженням до запланованого рівня 0,3; 0,5 і 0,8. Деформації, які відповідають даному етапу навантаження, наведені в табл. 2. З отриманих результатів видно, що на даному етапі навантаження величини деформацій практично пропорційні рівню навантаження, а саме при рівні 0,8 деформації в 3 рази вище, ніж при рівні 0,3 і т.д.

Таблиця 2 – Деформації $\varepsilon \times 10^3$

Рівень навантаження	І етап		ІІ етап			ІІІ етап			Гранична деформація
	Величина	Збільшення, %	Величина	Збільшення по відношенню до І етапу	Збільшення, %	Величина	Збільшення по відношенню до ІІ етапу	Збільшення, %	
0,3	0,25	100	0,68	0,43	100	1,4	0,72	170	1,4
0,5	0,37	148	1,44	1,07	149	2,1	0,66	157	2,1
0,8	0,75	300	2,48	1,73	302	2,9	0,42	100	2,9

На другому етапі на призми протягом 370 діб діяло постійне навантаження, відповідне обраним рівням навантаження. На рис. 5 даний етап представлений горизонтальними прямими. Навантаження постійне, а бетон «повзе». Деформації, які відповідають даному етапу навантаження, представлені у табл. 2. Відмінності в деформаціях, що накопились на цьому етапі навантаження, більш істотні, ніж на попередньому етапі. При рівні 0,8 деформація, що накопилась за рахунок повзучості бетону, в 3 рази вище, ніж при рівні 0,3.

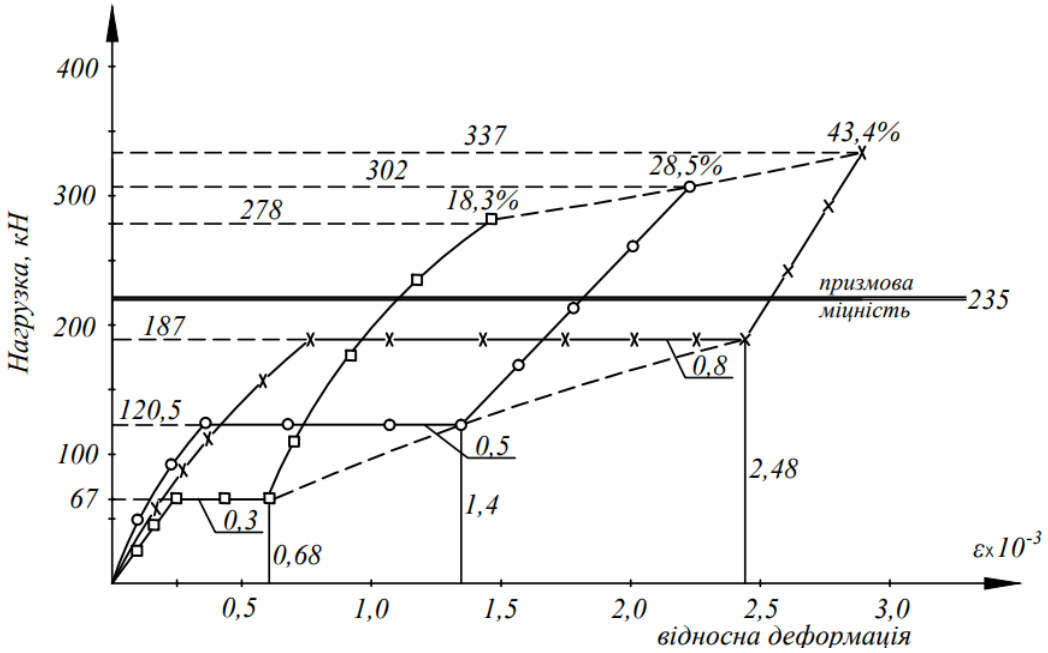

Рис. 5. Трьохетапне навантаження бетонних призм в силових стендах

І, нарешті, на 3 етапі призми довантажували до руйнування в силових стендах без попереднього розвантаження. Деформації, що проявилися в зразках на цьому етапі, наведені в табл. 2. Отримані дані вказують на те, що тут картина деформування протилежна до перших двох етапів. При повторному довантажуванні до руйнування деформації зразків, заздалегідь завантажених до рівня 0,3, в 1,7 рази більше, ніж аналогічні деформації при рівні 0,8. Граничні деформації, що накопичилися в завантажених зразках до моменту руйнування за весь трьохетапний період навантажень, такі:

– при рівні 0,3 – $\varepsilon_{cf} = 1,4 \times 10^{-3}$;

– при рівні 0,5 – $\varepsilon_{cf} = 2,1 \times 10^{-3}$;

– при рівні 0,8 – $\varepsilon_{cf} = 2,9 \times 10^{-3}$.

Аналізуючи результати, представлені на рис. 5, встановлюємо: всі без винятку зразки, що перебували понад рік під дією довготривалого навантаження збільшили свою несучу здатність. Чим вище рівень довготривалого навантаження, тим більше ущільнюється бетон і, звісно, вища його тривала міцність. Зразки, завантажені до рівня 0,8, за 370 діб збільшують свою несучу здатність на 43,4%. За той же час, у зразка, завантаженого до рівня 0,3, тривала міцність зросла на 18,3%.

У кожному стенді одночасно завантажували 2 зразка. Звичайно, в процесі довантажування руйнувався лише один, несуча здатність якого була нижче. У всіх трьох установках, де одночасно один під одним були встановлені бетонний і фібробетонний зразки, першою руйнувалася призма із звичайного бетону. Результати експерименту наведені на рис. 5. Незруйнована, і одночасно розвантажена, фібробетонна призма після руйнування бетонного зразка переміщалася в гідравлічний прес і піддавалася короткочасному навантаженню до руйнування. Швидкість навантаження на пресі була приблизно такою ж, як на стенді. Результати випробувань наведені на рис. 6.

З отриманих результатів видно, що призми із фібробетону, що знаходилися протягом 370 діб під дією тривалого навантаження, збільшили несучу здатність на 30-50% в залежності від рівня навантаження. Чим вище рівень навантаження, тим вища тривала міцність. При повторному довантажуванні до руйнування деформації фібробетонних призм змінювалися за лінійним законом (рис. 6). Пояснюється це тим, що в процесі трьохетапного навантаження була обрана швидкоплинна повзучість бетону.

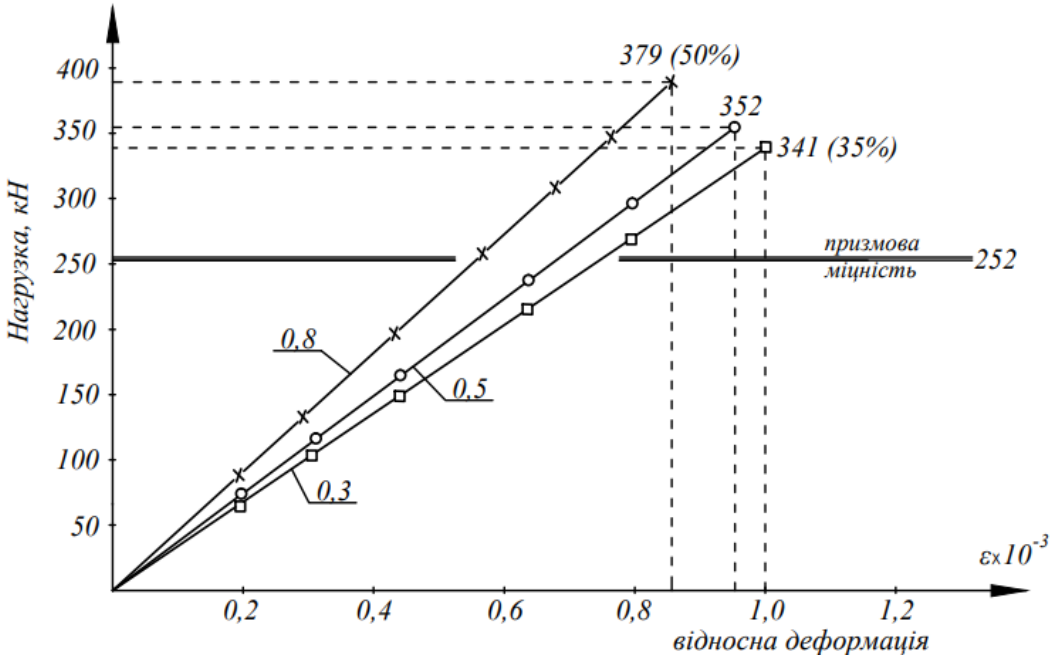

Рис. 6. Несуча здатність призм, раніше завантажених довготривалим навантаженням

Всі зразки завантажувались ступенями по 10% від заданого рівня навантаження з витримками по 5 хвилин і вимірюванням деформацій на початку і в кінці витримки.

Це дозволило виділити пружні (миттєві) деформації і визначити по ним початковий модуль пружності.

Отримані основні фізико-механічні характеристики наведені в табл. 3.

Характер зміни фізико-механічних характеристик бетону та фібробетону з часом відображені на рис. 7, 8.

Таблиця 3 – Основні фізико-механічні характеристики

Вік бетону t, доба		28	28	200	200	370	370
Матеріал бетону		бетон	фібро-бетон	бетон	фібро-бетон	бетон	фібро-бетон
Міцність, МПа	Кубикова f_{cube}	31	32,5	33	37,6	35,5	42,6
	Призмова f_{pr}	23,5	25,2	28,5	32,5	33,7	37,9
Модуль пружності		3,2	3,1	3,5	3,4	3,9	3,8
Коефіцієнт Пуассона		0,2	0,18	0,21	0,2	0,22	0,21
Коефіцієнт призмової міцності $k = f_{pr} / f_{cube}$		0,75	0,77	0,86	0,86	0,95	0,89
Граничні деформації стиснення $\varepsilon_{cf} \times 10^{-3}$		0,8	0,75	2,4	1,9	3,5	2,9

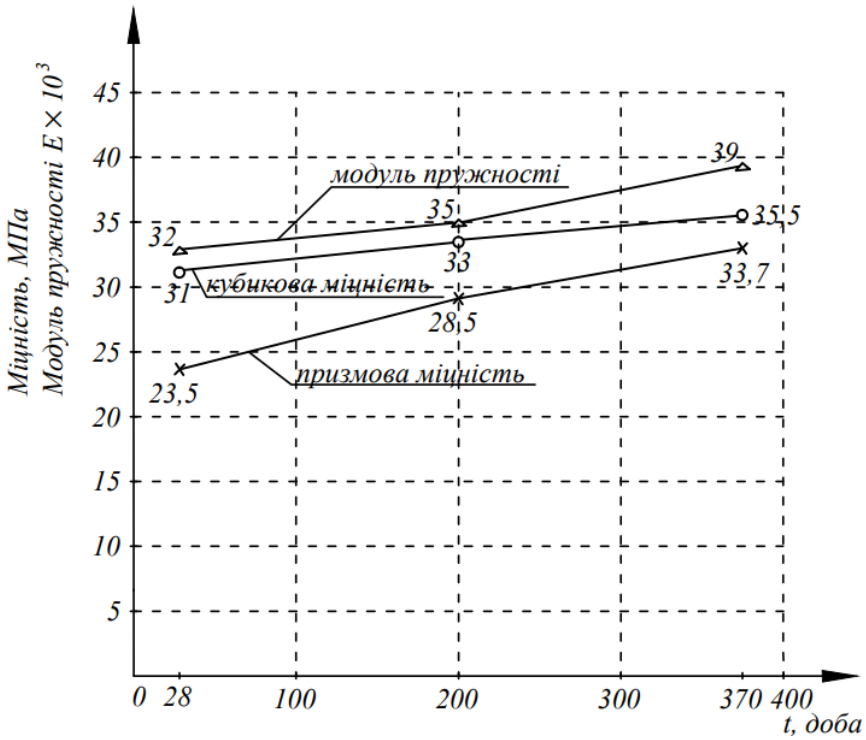

Рис. 7. Зміни фізико-механічних характеристик бетону з часом

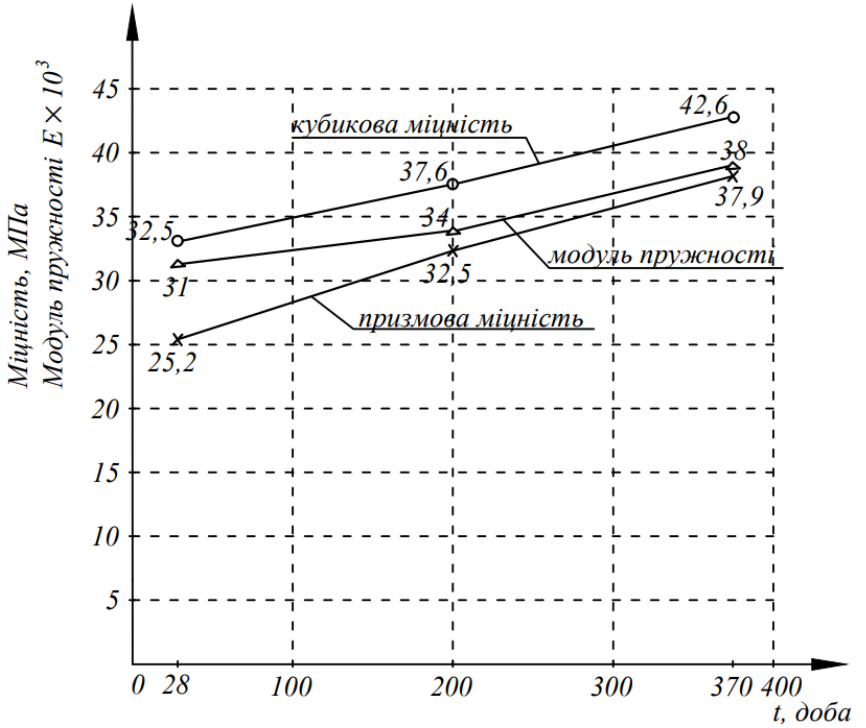

Рис. 8. Зміни фізико-механічних характеристик фібробетону з часом

Висновки. В результаті статистичної обробки результатів випробувань отримані значення призмової і кубикової міцності бетону і фібробетону.

З отриманих результатів видно, що призми із фібробетону, що знаходилися протягом 370 діб під дією тривалого навантаження, збільшили несучу здатність на 30-50% в залежності від рівня навантаження. Чим вище рівень навантаження, тим вища тривала міцність. При повторному довантажуванні до руйнування деформації фібробетонних призм змінювалися за лінійним законом. Пояснюється це тим, що в процесі трьохетапного навантаження була обрана швидкоплинна повзучість бетону.

Кубикова міцність фібробетону у віці 28 діб склала 32,5 МПа і в 200 діб незначно змінилася. Призмова міцність фібробетону з 25,2 МПа в 28 діб зросла на 50% в 370 діб і склала 37,9 МПа. Коефіцієнт призмової міцності достатньо високий і з віком збільшується. Зростання модуля пружності з віком триває, але незначно. Коефіцієнт Пуассона фібробетону збільшився на 18 % і у віці 370 діб становив 0,21. Граничні деформації стиснення бетону через 28 діб становлять $0{,}8\cdot10^{-3}$, в 200 діб збільшились в 3 рази і в 370 діб – $3{,}5\cdot10^{-3}$. Граничні деформації стиснення фібробетону через 28 діб становлять $0{,}75\cdot10^{-3}$, в 200 діб збільшились в 2,5 рази і в 370 діб – $2{,}9\cdot10^{-3}$. Граничні деформації стиснення фібробетону нижчі, ніж звичайного бетону.

Література

1. Талантова К.В. Основы создания сталефибробетонных конструкций с заданными свойствами. Бетон и железобетон, 2003, №5, С. 4-8.
2. Талантова К.В. Создание элементов конструкций с заданными свойствами на основе сталефибробетона. Известия вузов, 2008, №10, С. 4-9.
3. Талантова К.В., Вингисаар Э.И. Обеспечение свойств элементов конструкций на основе сталефибробетона с учетом влияния характеристик стальных фибр. Известия вузов, 2008, №11-12, С. 121-127.
4. Рабинович Ф.Н. Об оптимальном армировании сталефибробетонных конструкций. Бетон и железобетон, 1986, №3, С. 17-19.
5. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. Высокопрочный сталефибробетон. Промышленное и гражданское строительство, 2007, №9, С. 40-41.
6. Сакваредлидзе А.В. Прочностные и деформационные свойства сталефибробетона. Бетон и железобетон, 1986, № 8, С. 12-13.
7. Сакварелідзе А.В. Влияние возраста сталефибробетона на его ползучесть. Бетон и железобетон, 1987, №3, С. 8-9.
8. Neutov S.P., Surianinov M.G., Korneieva I.B. Experimental researches of fiber concrete creep. MATEC Web of Conferences, 2017, Vol. 116, 2017 : Structures, Buildings and Facilities — [02021, 6 p.]. Режим доступу https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602021.
9. Kwon S-H, Ferron R.P., Akkaya Y., Shah S.P. Cracking of fiber-reinforced self-compacting concrete due to restrained shrinkage. International journal of concrete structures and materials, Vol.1, pp. 3-9, 2007.
10. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н. Исследования работы сталефиброшлакобетонных кольцевых элементов конструкций транспортных сооружений. Транспортное строительство, 2010, №8, С. 28-32.
11. Трофимов В.И., Фоменко С.А. Улучшение структурно-механических свойств мелкозернистого бетона полиармированием. В сборнике: Саморазвивающаяся среда технического университета. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях. Под редакцией Е.А. Евстифеевой, С.В. Рассадина. 2018. С. 104-108.
12. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016 Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2017. 35 с.
13. BS EN 14889-1:2006: Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.

References

[1] K.V. Talantova, "Osnovyi sozdaniya stalefibrobetonnyih konstruktsiy s zadannyimi svoystvami", *Beton i zhelezobeton*, Vol.5, pp. 4-8, 2003.

[2] K.V. Talantova, "Sozdanie elementov konstruktsiy s zadannyimi svoystvami na osnove stalefibrobetona", *Izvestiya vuzov*, Vol. 10, pp. 4-9, 2008.

[3] K.V. Talantova, E.I. Vingisaar, "Obespechenie svoystv elementov konstruktsiy na osnove stalefibrobetona s uchetom vliyaniya harakteristik stalnyih fibr", *Izvestiya vuzov*, Vol. 11-12, pp. 121-127, 2008.
[4] F.N. Rabinovich, "Ob optimalnom armirovanii stalefibrobetonnyih konstruktsiy", *Beton i zhelezobeton*, Vol. 3, pp. 17-19, 1986.
[5] Yu.V. Puharenko, V.Yu. Golubev, "Vyisokoprochnyiy stalefibrobeton", *Promyishlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*, Vol. 9, pp. 40-41, 2007.
[6] A.V. Sakvaredlidze, "Prochnostnyie i deformatsionnyie svoystva stalefibrobetona", *Beton i zhelezobeton*, Vol. 8, pp. 12-13, 1986.
[7] A.V. Sakvarelidze, "Vliyanie vozrasta stalefibrobetona na ego polzuchest", Beton i zhelezobeton, Vol. 3, pp. 8-9, 1987.
[8] S.F. Neutov, N.G. Suryaninov, I.B. Korneeva, "Experimental researches of fiber concrete creep", *MATEC Web of Conferences*, Vol. 116, 2017 : Structures, Buildings and Facilities [02021, 6 p.]. Rezhim dostupu: https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602021.
[9] S-H. Kwon, R.P. Ferron, Y. Akkaya, S.P. Shah, "Cracking of fiber-reinforced self-compacting concrete due to restrained shrinkage", *International journal of concrete structures and materials*, Vol. 1, pp. 3-9, 2007.
[10] N.N. Chernousov, R.N. Chernousov, "Issledovaniya rabotyi stalefibroshlakobetonnyih koltsevyih elementov konstruktsiy transportnyih sooruzheniy", *Transportnoe stroitelstvo*, Vol.8, p. 28-32, 2010.
[11] V.I. Trofimov, S.A. Fomenko, "Uluchshenie strukturno-mehanicheskih svoystv melkozernistogo betona poliarmirovaniem, V sbornike: Samorazvivayuschayasya sreda tehnicheskogo universiteta, *Materialyi III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. V 2-h chastyah. Pod redaktsiey E.A. Evstifeevoy, S.V. Rassadina, pp. 104-108, 2018.
[12] DSTU-N B V.2.6-218:2016. Nastanova z proektuvannya ta vigotovlennya konstruktsIy z dispersnoarmovanogo betonu. Kiïv. DP «UkrNDNTC», 2017.
[13] BS EN 14889-1:2006: Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.

СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ И ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Выгнанец М.М., аспирант,
marinasidorchyk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8822-636X
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Аннотация. Выполнено экспериментальное исследование свойств фибробетона при воздействии кратковременной и длительной нагрузки. На первом этапе определены оптимальные характеристики сталефибробетонной смеси. Для этого определялась кубиковая прочность сталефибробетона на стандартных образцах. При этом варьировался процент дисперсного армирования и размер фракции крупного заполнителя – с размером фракции ≤ 10 мм в одной серии испытаний и ≤ 20 мм – в другой. Одновременно определялась кубиковая прочность обычного бетона при тех же размерах крупного заполнителя. Обработка результатов первого этапа испытаний показала оптимальные характеристики фибробетонной смеси – матрица с крупным заполнителем 10 мм при 1,0% фибрового армирования. Такой состав смеси и был принят для проведения второго этапа испытаний. На этом этапе были определены кубиковая и призменная прочности, исследован характер их изменения с течением времени, а также определены модуль упругости и модуль деформаций.

В результате статистической обработки результатов испытаний определены значения призменной и кубиковой прочности бетона и фибробетона.

Из полученных результатов видно, что призмы из фибробетона, находившиеся втечение 370 дней под действием длительной нагрузки, увеличили несущую способность на

30-50% в зависимости от уровня нагрузки. Чем выше уровень нагрузки, тем выше длительная прочность. При повторном нагружении до разрушения деформации фибробетонных призм менялись по линейному закону. Объясняется это тем, что в процессе трехэтапной нагрузки была выбрана быстронатекающая ползучесть бетона.

Кубиковая прочность фибробетона в возрасте 28 суток составила 32,5 МПа и в 200 суток незначительно изменилась. Призменная прочность фибробетона с 25,2 МПа в 28 суток возросла на 50% за 370 дней и составила 37,9 МПа. Коэффициент призменной прочности достаточно высокий, и с возрастом увеличивается. Рост модуля упругости с возрастом продолжается, но незначительно. Коэффициент Пуассона фибробетона увеличился на 18% и в возрасте 370 суток составлял 0,21. Предельные деформации сжатия бетона в 200 суток увеличились в 3 раза, а фибробетона – в 2,5 раза.

Ключевые слова: эксперимент, фибробетон, кубиковая прочность, призменная прочность, модуль упругости, длительная нагрузка.

FIBER CONCRETE PROPERTIES UNDER THE ACTION OF SHORT-TERM AND LONG -TERM LOAD

Vyhnanets M.M., postgraduate,
marinasidorchyk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8822-636X,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. An experimental study of the properties of fiber-reinforced concrete under the influence of short-term and long-term load has been carried out. At the first stage, the optimal characteristics of the steel-fiber concrete mixture were determined. For this, the cube strength of steel fiber concrete was determined on standard samples. In this case, the percentage of dispersed reinforcement and the size of the coarse aggregate fraction varied – with a fraction size of ≤ 10 mm in one test series and ≤ 20 mm in another. At the same time, the cubic strength of ordinary concrete was determined with the same dimensions of coarse aggregate. Processing of the results of the first stage of the tests showed the optimal characteristics of the fiber-reinforced concrete mixture – a matrix with coarse aggregate 10 mm at 1.0% fiber reinforcement. Such a composition of the mixture was adopted for the second stage of testing. At this stage, cubic and prism strengths were determined, the nature of their change over time was investigated, and the elastic modulus and deformation modulus were determined.

As a result of statistical processing of the test results, the prism and cubic strength of concrete and fiber-reinforced concrete are determined. From the results obtained, it is seen that prisms from fiber-reinforced concrete, which have been exposed for 370 days under the influence of a long load, increased the bearing capacity by 30-50% depending on the level of load. The higher the load level, the higher the long-term strength. Upon repeated loading until fracture, the deformation of fiber-reinforced concrete prisms changed linearly. This is explained by the fact that in the process of three-stage loading, quick-flowing creep of concrete was chosen.

The cube strength of fiber-reinforced concrete at the age of 28 days was 32.5 MPa and slightly changed in 200 days. The prismatic strength of fiber-reinforced concrete from 25.2 MPa in 28 days increased by 50% in 370 days and amounted to 37.9 MPa. The prismatic strength coefficient is quite high, and increases with age. The increase in the elastic modulus continues with age, but not significantly. Fiber-concrete Poisson's ratio increased by 18% and amounted to 0.21 at the age of 370 days. The ultimate compressive strain of concrete in 200 days increased by 3 times, and fiber-reinforced concrete – by 2.5 times.

Keywords: experiment, fiber-reinforced concrete, cubic strength, prismatic strength, elastic modulus, long-term load.

Стаття надійшла 17.11.2019