

І. П. Гамеляк¹
В. В. Кулак¹
Є. О. Захарченко²

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ПРИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАННЯХ МЕТОДАМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

¹Національний транспортний університет
²ПРАТ «Дікгергофф Цемент Україна»

Проведено більше 20 000 тисяч випробувань неруйнівним методом на об'єктах будівництва з 2016 по 2021, для своєчасного контролю міцності готових бетонних конструкцій, та подальшого прийняття рішення щодо навантаження бетонного елемента. наведена номограма визначення міцності на стиск $R_{ст}$, МПа за даними вимірювань по шкалі склерометра RM.

За результатами апроксимації таблиць паспортних даних приладу отримано, що міцність на стиск $R_{ст}$, МПа, за даними вимірювань по шкалі склерометра RM змінюється за степеневим законом

Наведено результати випробувань цементобетонних зразків з міцністю від 31,5 до 51,5 МПа. Уточнено методику випробувань непрямыми неруйнівними методами контролю для визначення міцності цементобетону на стиск.

Виконано статистичну обробку даних випробувань. За результатами досліджень розроблено Рекомендації з оцінювання міцності цементобетону за результатами випробувань неруйнуючим методом (склерометром).

Ключові слова: неруйнуючий метод (склерометр), номограма, пластична деформація, пружний відскок, відрив, сколювання ребра.

Вступ

При виробництві та експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій важливо знати і своєчасно визначати їх властивості, на основі яких можна оцінювати якість. Це можливо тільки завдяки використанню сучасного портативного обладнання і знання актуальної європейської нормативної документації. Найпоширенішим методом неруйнівного контролю є метод пружного відскоку, що дає можливість оцінювати міцність бетону в конструкції під час будівництва та приймати рішення на основі отриманих даних, але для коректної оцінки стану бетону та правильності отриманих результатів необхідно дослідити роботу приладу з різними за гранулометричним складом бетонами і побудувати шкалу переведення даних відскоку по шкалі приладу до фактичних значень міцності в кілограм сили. При зведенні сучасних багатоповерхівок важливо дослідити вплив навантаження, що виникає від маси конструкції, що діє вертикально до конструкції, яка випробовується.

Механічні методи неруйнівного контролю міцності засновані на тому, що міцність бетону при стисненні пов'язана з іншими механічними властивостями: твердістю, опором відриву, зусиллям при сколюванні.

Залежно від виду оцінюваної механічної властивості використовують такі методи неруйнуючих випробувань:

- пластичну деформацію;
- пружний відскок;
- відрив;
- сколювання ребра.

Вибір того чи іншого методу випробувань бетону залежить від мети випробування, форми і розмірів виробів, від вимог до точності одержуваних результатів і зручності проведення випробувань.

Найбільшого поширення і розвиток в Європі для неруйнівного контролю міцності бетону отримав метод пружного відскоку. Метод пружного відскоку заснований на вимірюванні поверхневої твердості бетону. Прилад влаштований так, що система пружин допускає вільний відскік ударника після удару по бетону. Величина зворотного відскоку ударника характеризує твердість бетону, по якій за допомогою таруючої кривої обчислюють його міцність. Для випробування методом пружного відскоку застосовують пружинні або маятникові прилади (молотки).

Цей прилад в Європі отримав назву - молоток Шмідта для випробування бетону. У нас його часто називають склерометром, що в перекладі з грецького означає вимірювач твердості. Молоток Шмідта вперше дозволив виміряти міцність бетону на стиск в конструкціях безпосередньо на місці проведення робіт. Випробування бетону за допомогою молотків Шмідта є одним з найбільш часто використовуваних методів неруйнівного контролю якості бетонних конструкцій.

На сьогоднішній день застосовується кілька способів перевірки бетону на міцність. Оцінка міцності цементобетону методами неруйнівного контролю широко використовується на практиці [1-6]. Основою механічного (неруйнівного) способу є контроль взаємозв'язку між міцністю бетону і його іншими механічними властивостями. Процедура визначення даним методом заснована на відскоку, опорі відриву, міцності в момент стиску. Найбільш часто використовується склерометр (молоток Шмідта), за допомогою якого визначаються якісні характеристики бетонних та залізобетонних конструкцій.

Однак даний метод відноситься до непрямих вимірювань, тому потребує рішення задачі про допустимість використання для коректного застосування.

Авторами проведено більше 20 000 тисяч випробувань неруйнівним методом на об'єктах будівництва з 2016 по 2021, для своєчасного контролю міцності готових бетонних конструкцій, та подальшого прийняття рішення щодо навантаження бетонного елемента. Тестування проводились при різних погодних та кліматичних умовах, під час яких і було виявлено недостовірність показників у специфічних випадках. Отримавши похибки при випробуваннях неможливо оцінити реальну міцність елемента, з цих причин помилка при вимірювання міцності недопустима, адже це може призвести до руйнації конструкцій в наслідок недостатньої її ранньої міцності під час демонтажу опалубки, особливо це важливо в горизонтальних елементах які мають ймовірність прогину від власної ваги.

Досліджуючи горизонтальні бетонні елементи досить легко помилитись не врахувавши коефіцієнт приведення результатів в залежності від пористості та вологості матеріалу. Для дорожніх та аеродромних плит виникає похибка пов'язана із пористістю цементобетону, необхідною із умов морозостійкості. Таким чином досліджуючи конструкції що знаходять під впливом атмосферних опадів, такі як аеродромні та дорожні цементобетонні покриття, аеродромів та автомобільних доріг, плити перекриття тестування яких проводиться по верхній частині, зазвичай дає занижені значення міцності, що дає недостовірну оцінку міцності елемента.

Мета роботи: оцінка якості бетону з визначенням міцності бетону неруйнівним способом (склерометр Шмідта), з урахуванням вологості, пористості, віку конструкції та інших факторів, що впливають на поверхневий шар та розроблення рекомендацій з оцінювання міцності цементобетону за результатами випробувань неруйнуючим методом (склерометром).

Завдання: заформувати дослідні бетонні зразки та визначити їх міцність під різним зусиллям навантаження за допомогою молотка Шмідта. Дослідити вплив вологості поверхні на показники приладу. Обрахувати отримані значення для кожного діапазону навантаження та визначити експериментальні залежності та розробити теорію оцінювання міцності бетону за результатами непрямих вимірювань.

1. Встановлення міцності на стиск за даними вимірювань по шкалі склерометра

На рис. 1 наведена номограма визначення міцності на стиск $R_{ст}$, МПа за даними вимірювань по шкалі склерометра RM .

Примітка: при вимірюванні міцності підлоги (молоток направлений вниз) кут дорівнює -90° . при вимірюванні міцності стелі (молоток направлений верх) кут дорівнює $+90^\circ$.

Висновки. За результатами апроксимації таблиць паспортних даних приладу отримано, що міцність на стиск $R_{см}$, МПа за даними вимірювань по шкалі склерометра RM змінюється за степеневим законом

$$R_{см} = a \cdot RM^b,$$

з показником степені b , що змінюється від 1,7 до 2,2.

2. Встановлення величини привантаження для визначення міцності на стиск при випробуванні склерометром

На рис. 2 наведено результати випробувань цементобетонних зразків з міцністю від 31,5 до 51,5 МПа. Аналіз результатів випробувань вказує на:

1. Без навантаження похибка вимірювань максимальна і становить від 10% до 25 для міцності 30 - 35 МПа і зростає із збільшення міцності бетонних зразків до 35 - 40% для міцності 50 МПа.

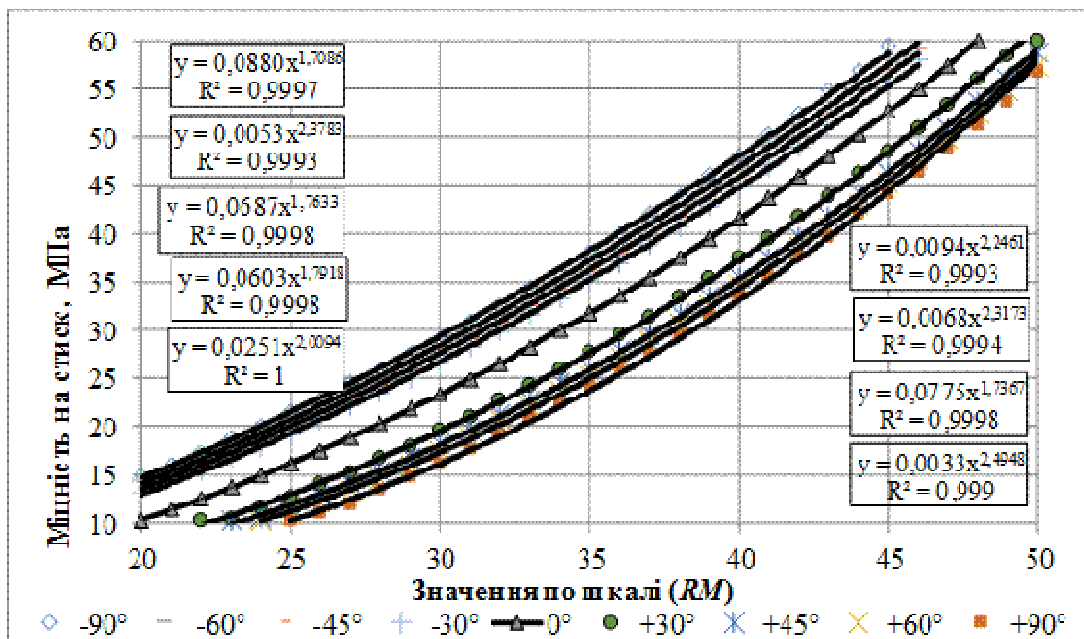


Рисунок 1 – Номограма визначення міцності на стиск R_{ct} , МПа за даними вимірювань по шкали склерометра RM

Причина в зміщенні бетонного виробу відносно своєї осі, що призводить до зниження показників при проведенні випробувань, а також в непрямому методі вимірювання, коли дані по шкалі наближаються до верхньої межі і значення, що наближаються до верхньої межі не враховуються в загальній сукупності даних.

2. Зміна похибки апроксимується логарифмічною залежністю.

3. Після привантаження більше 3 МПа похибка практично не змінюється. Тобто раціональним для отримання найбільш достовірних даних є привантаження з зусиллям 3 МПа.

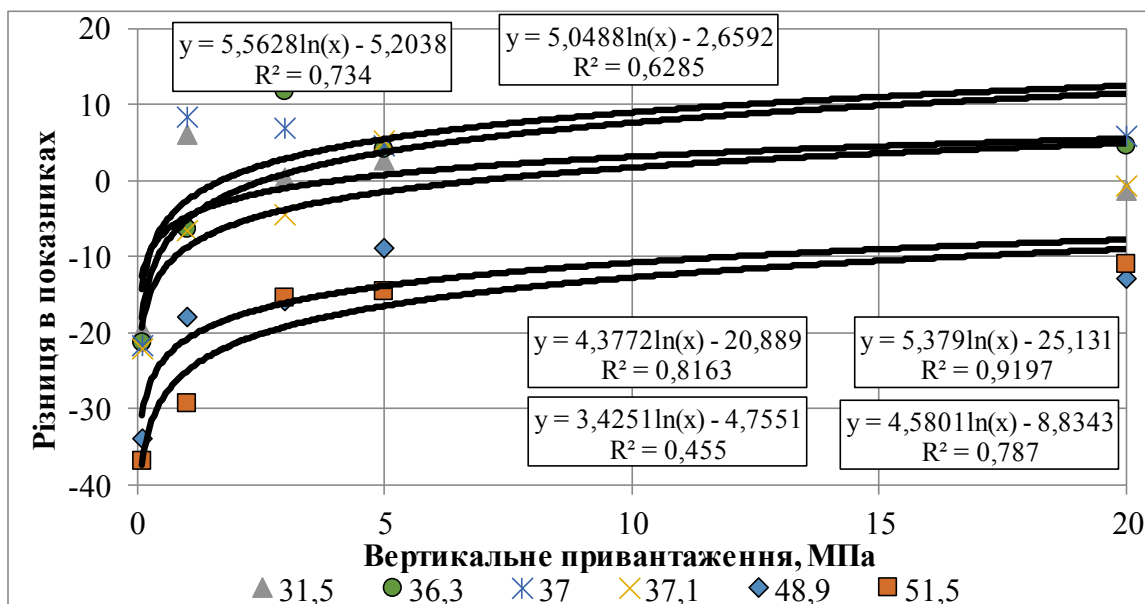


Рисунок 2 – Залежність міцності за результатами вимірювань склерометром при зміні навантаження від 0 до 20 МПа

3. Результати та аналіз даних випробувань в лабораторії Дікергоф

3.1 Результати та аналіз даних випробувань на стиск

В лабораторії Dyckerhoff Cement Ukraine м. Київ у грудні 2020 р. випробувані виготовлені в дорожній лабораторії фірми Альтком в період травень – жовтень 2020 р. зразки цементобетону (6 кубів $15 \times 15 \times 15$ см та 6 зразків балочки $10 \times 10 \times 40$ см.).

Уточнено методику випробувань непрямыми неруйнівними методами контролю для визначення міцності цементобетону на стиск.



Рисунок 3 – Випробування зразків - кубиків склерометром під привантаженням



Рисунок 4 – Вигляд зразків – кубика 15х15х15 см після випробування на стиснення

Виконано статистичну обробку даних випробувань (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність міцності за результатами вимірювань склерометром при привантаженні 3 і 5 МПа

Щільність Дата	Об'єм, м ³	Фактич- на міц- ність, МПа	Навант- аження, МПа	Показника молотка Шмідта					Середнє значення	Міц- ність в МПа	Коефі- цієнт варіації
				46	48	50	50	48			
8,01	0,003 39	57,9	3	46	48	50	50	48	46,22	50,31	8,01
2360,2				45	38	44	47				
11.06.20			5	46	50	50	50	53	50,11	57,22	5,60
CN51 №1				53	47	48	54				
8,06	0,003 41	58,7	3	47	49	46	47	48	47,44	51,78	3,82
2362,4				48	46	51	45				
11.06.20			5	52	48	52	50	47	50,11	57,22	4,17
CN51 №2				53	48	50	51				
8,085	0,003 40	62,9	3	48	45	47	46	44	46,11	50,11	4,40
2377,0				48	43	49	45				
12.06.20			5	45	47	48	48	46	46,56	50,60	2,65
№1				48	46	45	46				
8,08	0,003 43	57,4	3	46	47	48	47	49	46,33	50,31	6,01
2353,6				44	40	48	48				
12.06.20			5	46	49	50	46	51	47,78	52,47	4,16
№2				49	47	46	46				

Висновок. При привантаженні з напруженням 5 МПа результати визначення міцності на стиск склерометром і при руйнуванні на пресі практично співпадають для 1, 2 та 4 серії випробувань.

Отримані значення міцності відповідають класу міцності цементобетону В 35.

3.2 Результати та аналіз даних випробувань

Випробування на розтяг при згині на 4-х точковий згин проводились згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009.



Рисунок 5 – Вигляд зразків – балочки 10×10×40 см до та після випробування на розтягнення на 4-х точковий згині
Коефіцієнт перерахунку, $\delta = 0,92$ прийнятий згідно таблиці 5 ДСТУБВ.2.7-214:2009

Таблиця 3

Результати визначення міцності цементобетонних зразків – балочок на розтяг при згині (дата формування 11.06.2020)

№ партії	Розміри			Руйнівне навантаження (КН)	R _{btb,if} (МПа)	Міцність на згин за ДСТУ	Середнє, R _{зс}	СКВ, S _R	Коефіцієнт варіації V _R
	L (мм)	a (мм)	b (мм)						
1	300	102	100,5	21,2	5,68	6,08	5,95	0,275	4,62
2	300	102,3	100,0	22,0	5,94				
3	300	102,1	101,2	23,6	6,23				
1	300	102,0	100,9	21,2	5,63	5,83	5,77	0,166	2,88
2	300	102,2	100,8	22,4	5,95				
3	300	102,5	100,9	21,6	5,71				

Вплив вологості зразків

Важливим показником в дослідженні бетонних конструкцій є вологість поверхні по якій проводиться удар молотком Шмітда.

Досліджуючи зразки з різним часом витримки в воді, отримані наступні дані

Таблиця 4

Випробування бетонних зразків за допомогою молотка Шмітда

Клас бетону	B25	B25	B25	B40	B40	B40
Суха поверхня	364	352	348	416	422	440
Мокра поверхня	324	317	312	344	350	360
Значення отримані під пресом	372	369	363	443	462	469
Різниця між сухою та вологою поверхнею, %	11,0	9,9	10,3	17,3	17,1	18,2

Аналіз отриманих даних вказує, що витримання бетонних зразків кубів в воді протягом 15, 30 хв та однієї доби даються похибку в вимірюванні близько 10 % для бетонів B25 та нижче. Зразки B40 бетону витримані в аналогічних умовах при випробуванні по вологій поверхні показують зниження результатів на 17...18 %. Причиною зростання похибки при випробуванні більш міцних бетонних зразків викликана логарифмічним зростанням міцності по шкалі приладу.

Вплив строку експлуатації зразків

У міру дозрівання бетону міцність, відповідна певному показнику відскоку, знижується [2].

Якщо взяти пряме відношення значення міцності відповідного бетону до коефіцієнта зрілості $t_{cl} = 1000$, тоді бетон з іншим ступенем зрілості при такому самому показникові відскоку матиме міцність з поправкою за формулою

$$C_{вікy} = 1,3699 - 0,053 * LN(t_{cl}), \quad (1)$$

Ці значення показують коефіцієнт впливу зрілості бетону.

4. Встановлення функції розподілу міцності цементобетону на стиск за даними непрямих випробувань

Для вирішення поставленої мети знаходження виду та аналітичної формули для функції розподілу міцності цементобетону на стиск за даними непрямих випробувань $g(R_{cm})$ пропонується два способи:

- 1) аналітичний;
- 2) графічний (графо – аналітичний).

4.1 Аналітичний опис функції розподілу міцності цементобетону на стиск $g(R_{cm})$

При аналітичному способі рішення математично задача ставиться таким чином: нехай задана щільність розподілу $f(x)$ випадкової величини міцності цементобетону на стиск R_{cm} , яка є відомою функцією φ від RM тобто

$$R_{cm} = \varphi(RM), \quad (2)$$

RM – покази на шкалі склерометра при випробуваннях зразків або елементів конструкцій.

Очевидно, що ймовірність попадання випадкової величини R_{cm} на елементарний проміжок dy дорівнює ймовірності попадання на проміжок dx випадкової величини RM , тобто

$$P(y < R_{cm} < y + dy) = P(x < RM < x + dx). \quad (3)$$

Тоді, для знаходження щільності розподілу R_{cm} , скористаємося відомою формулою теорії ймовірностей [7]

$$g(y) = f[\psi(y)] / |\psi'(y)|, \quad (4)$$

де $\psi(y)$ – функція обернена заданій функції $\varphi(x)$.

Розглянемо степеневу функцію, яка апроксимує дані випробувань по шкалі склерометра .

$$y = b_0 \cdot x^{b_1}, \quad (5)$$

де b_0, b_1 - коефіцієнти регресії.

Знаходимо обернену функцію

$$x = (Y / b_0)^{(1/b_1)} / (y b_1), \quad (6)$$

Похідна оберненої функції

$$dx/dy = -b_1 / (-y + b_0)^2, \quad (7)$$

та підставивши одержані значення в формулу (4) після спрощення шукана функція щільності випадкової величини міцності цементобетону на стиск має вид

$$g(y) = \left| \frac{(y/b_0)^{(1/b_1)}}{b_1 \cdot y} \right| \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S_x} \cdot e^{-\frac{[(y/b_0)^{(1/b_1)} - \bar{X}]^2}{2S_x^2}}. \quad (8)$$

де $x = RM_{ср}$ – середнє значення показів на шкалі склерометра, $y = R_{cm}$, – міцність цементобетону на стиск, $S_x = S_{RN}$, - середньоквадратичне відхилення відскоку при випробуванні

склерометром, b_0 , b_1 - коефіцієнти регресії, згідно рис. 6а – 6б, в залежності від форми зразка і напрямку випробування (А - збоку, В - зверху, С - знизу).

Таким чином, отримано специфічний закон щільності розподілу міцності цементобетону на стиск $g(R_{cm})$ від степеневі функції одного випадкового аргументу показів на шкалі склерометра RM , розподілених за нормальним законом.

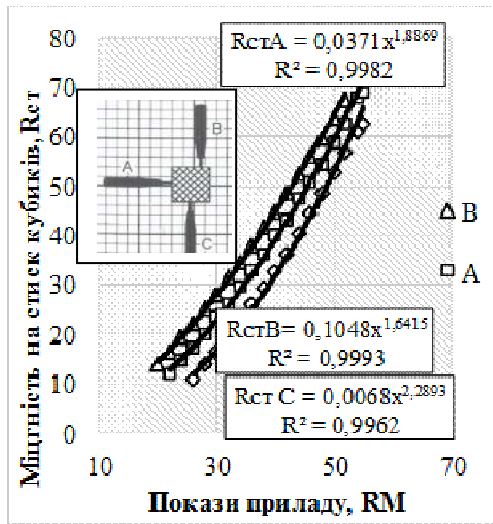


Рисунок 6а – Криві переведення даних випробувань склерометром (значення відскоку на шкалі RM) для визначення середньої міцності на стиск для зразків кубиків $15 \times 15 \times 15$ см у віці 14 – 56 діб

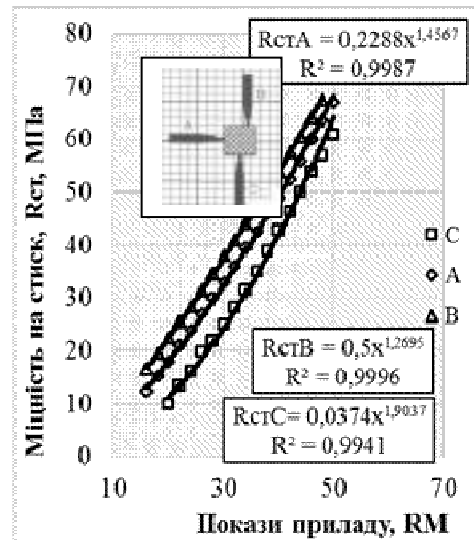


Рисунок 6б – Криві переведення даних випробувань склерометром (значення відскоку на шкалі RM) для визначення середньої міцності на стиск для зразків циліндрів $\varnothing 150 \times 300$ мм у віці 14 – 56 діб

4.2. Графічний спосіб визначення функції щільності розподілу міцності цементобетону на стиск $g(R_{cm})$

Для спрощення розрахунків і наглядності представлення результатів пропонується графо-аналітичний спосіб, з використанням такого алгоритму:

а) на основі обробки експериментальних даних розраховується та в квадранті I будується гістограма відскоку при випробуванні склерометром на випробуваній ділянці бетонного покриття або при випробуванні зразків (ширина діапазону гістограми приймається постійною);

б) з використанням формул математичної статистики встановлюються параметри функції щільності розподілу $f(RM)$ і в першому квадранті будується відповідна теоретична крива Гауса, яка описує експериментальні дані по визначенню відскоку при випробуванні склерометром;

в) в квадранті II за формулою (3) будується графік степеневі функції міцності цементобетону на стиск R_{cm} , (вісь ординат направлена вниз від максимального до мінімального значення модуля) від показів приладу RN (вісь абсцис);

г) в квадранті III вліво відкладається вісь абсцис, яка є частотями попадання в заданий інтервал значень міцності цементобетону на стиск. По осі ординат розраховуються нові діапазони інтервалів значень R_{cm} , по відповідних діапазонах відскоку по шкалі склерометра для яких відкладають частоти, рівні відповідним частотям для відскоку в заданих діапазонах;

д) одержану гістограму описують використовуючи формулу (8) для використання в подальших розрахунках надійності за міцністю.

Для проведення розрахунків в середовищі EXCEL складено відповідну програму.

На рис. 7 наведено приклад такої побудови з використанням даних, випробувань склерометром. Як видно з приведених номограм, незважаючи на нормальний закон розподілу відскоку, як випадкової величини, функція розподілу міцності на стиск стає несиметричною при збільшенні коефіцієнта варіації більше 13.5% та відрізняється від кривої Гауса. Внаслідок функціональної залежності міцності на стиск від відскоку на шкалі приладу функція розподілу $g(R_{ст})$ графічно отримується як результат відображення в “кривому степеневому дзеркалі”.

Результати розрахунку класу міцності бетону при $R_{Mcp} = 40$ МПа та різних коефіцієнтах варіації (від 15% до 7,5%)

Коефіцієнт варіації, V_{RM} , %	15,0	13,5	9,0	7,5
Середнє показів склерометра R_{Mcp} , МПа	40,0	40	40	40
Середньоквадратичне відхилення, S_{RM} , МПа	6,0	5,4	3,6	3
Характеристичне знач. $R_{Mp} = R_{Mcp}(1 - 1,64 \cdot V_{RN})$, МПа	30,2	31,1	34,1	35,1
Характеристичне знач. $R_{ст розр}$, МПа	23,57	25,15	30,16	31,94
Клас міцності бетону	B 20	B 25	B 30	B 30

Коефіцієнт варіації при випробуваннях склерометром, є важливим фактором, від якого залежить клас міцності бетону. Так, аналіз результатів розрахунків (табл. 5) вказує, що при незмінній середній міцності на стиск 40 МПа, клас міцності може зменшитися від B30 до B20, при збільшенні коефіцієнта варіації від 7,5% до 15%.

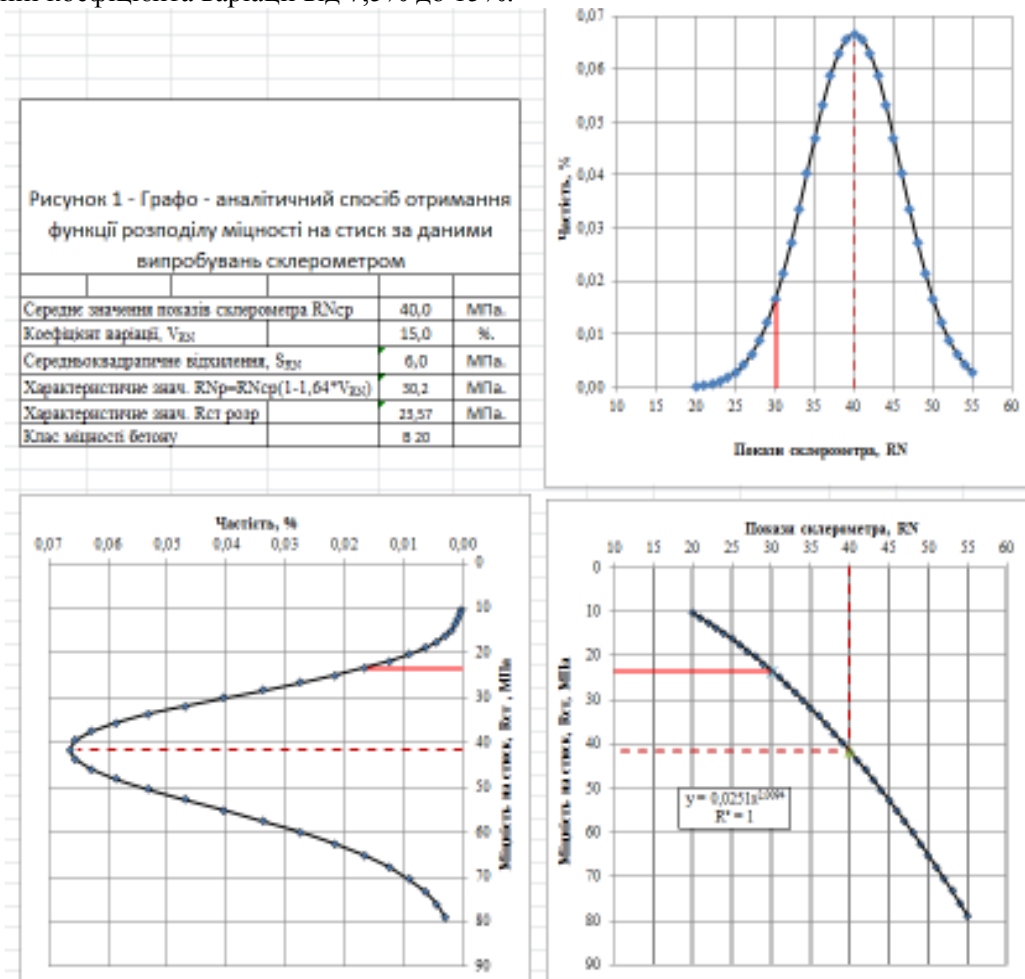


Рисунок 7 - Графо - аналітичний спосіб отримання функції розподілу міцності на стиск за даними випробувань склерометром в горизонтальному напрямку при $R_{Mcp} = 40$ МПа та коефіцієнті варіації 15,0 %

Висновки та аналіз результатів

За допомогою неруйнівного методу пружного відскоку проведено випробування по визначенню фактичної міцності бетону в зразках кубах, з імітацією навантаження від вертикальних конструкцій в ході монолітного зведення конструкцій. В ході випробувань встановлено, що напруження в випробовуваному зразку має становити не менше 3 МПа, для отримання достовірних результатів.

Під час випробувань отримано середні значення зразків після 173 доби витримування в умовах лабораторії 5,77 та 5,95 МПа. Згідно ДСТУ при відкиданні найменшого значення із вибірки значення міцності на згин дещо більші і становлять 5,63 та 6,09 МПа. Коефіцієнт варіації міцності на згин достатньо малий і становить 2,88 та 4,62%. Це значно менше від середньогалузевого значення 13,5%. Розрахункове значення міцності цементобетону із забезпеченістю 95%, становить

$$R_{роз} = R_{32} \cdot (1 - 1,64 \cdot V_R), \quad (8)$$

$$R_{роз} = 5,95 \cdot (1 - 1,64 \cdot 4,62) = 5,5 \text{ МПа},$$

$$R_{роз} = 5,775 \cdot (1 - 1,64 \cdot 2,88) = 5,5 \text{ МПа},$$

Міцність на розтяг при розколюванні становить 9,28 % від середнього значення міцності отриманих при випробуванні на стиск зразків бетону однієї серії.

У результаті виконаної роботи теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що функція щільності розподілу даних визначення відскоку за шкалою склерометра описується нормальним законом, а вид функції щільності розподілу міцності на стиск в загальному не підлягає нормальному закону.

Випробування, що проводяться по вологій поверхні за допомогою молотка Шмідта дають занижені показники по міцності від фактичного значення в залежності від міцності бетону від 10 до 18 %.

За результатами досліджень розроблено Рекомендації з оцінювання міцності цементобетону за результатами випробувань неруйнівним методом (склерометром). Необхідно внести зміни та доповнень в існуючі нормативні документи [7-9] з урахуванням отриманих залежностей перерахунку міцності цементобетону при непрямих випробуваннях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рекомендации по определению прочности бетона эталонным молотком Кашкарова по ГОСТ 22690.2-77. М.: Стройиздат, 1985. 24 с.
2. Джонс Р., Фекеоару И. Неразрушающие методы испытания бетонов М.: Стройиздат, 1974. 292 с.
3. Європейські методи неруйнівного контролю бетонних конструкцій. - Болотських О. М. Харків. 2021. 240 с.]
4. DIN EN 12504-2: 2012-12. Testing concrete in structures - Part 2: Non-destructive testing - Determination of rebound number.
5. Гамеляк І. П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні. Автошляховик України 5/ 201, Науково-технічний збірник, 2013. С. 24 – 26.
6. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженок Н.П., Карпюк О.А. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 92. К.: НТУ, 2014. С. 38 – 49.
7. ГБН В.2.3-37641918-577:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування.
8. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.
9. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності.

REFERENCES

1. Rekomendatsyy po opredeleniyu prochnosti betona étalonnym molotkom Kashkarova po HOST 22690.2-77. M.: Stroyizdat, 1985. 24 s.
2. Dzhons R., Fyekoaru Y. Nerazrushayushchye metody uspytanyya betonov M.: Stroyizdat, 1974. 292 s.
3. Yevropeys'ki metody neruynivnoho kontrolyu betonnykh konstruksiy. - Bolot's'kykh O. M. Kharkiv. 2021. 240 s.]
4. DIN EN 12504-2: 2012-12. Testing concrete in structures - Part 2: Non-destructive testing - Determination of rebound number.
5. Hamelyak I. P., Korets'kyu A.S., Korets'kyu S.S. Pro neobkhdnist' budivnytstva tsementobetonnykh pokryttiv v Ukraini. Avtoshlyakhovyk Ukrainy 5/ 201, Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk, 2013. S. 24 – 26.
6. Hamelyak I.P., Shurhaya A.H., Yakymenko YA.M., Chyzenko N.P., Karpyuk O.A. Porivnyannya suchasnykh dobavok dlya vysokomitsnoho dorozhn'oho betonu // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo: Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vyp. 92. K.: NTU, 2014. S. 38 – 49.
7. HBN V.2.3-37641918-577:2016 Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyu. Proektuvannya.
8. DSTU B V.2.7-220:2009 Budivel'ni materialy. Betony. Vyznachennya mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruynivnoho kontrolyu. 9. DSTU B V.2.7-224:2009 Betony. Pravyla kontrolyu mitsnosti.

Гамеляк Ігор Павлович – доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропорти ORCID 0000-0001-9246-7561

Кулак Володимир Васильович – аспірант кафедри аеропорти Національного транспортного університету ORCID 0000-0002-0392-3690.

Захарченко Євгеній Олександрович – Менеджер з якості, ПРАТ «Дікергофф Цемент Україна». ORCID 0000-0002-0392-3690.

I. Gamelyak¹
V. Kulak¹
Ye. Zakharchenko²

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF ASSESSMENT OF STRENGTH OF CEMENT CONCRETE AT INDIRECT MEASUREMENTS BY NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHODS

¹National Transport University
²Dickerhoff Cement Ukraine PJSC

More than 20,000 thousand non-destructive tests were carried out on construction sites from 2016 to 2021, for timely control of the strength of precast concrete structures, and further decision-making on the loading of the concrete element. the nomogram of determination of compressive strength R_{st} , MPa according to measurements on the scale of the sclerometer RM is given. According to the results of approximation of tables of passport data of the device it is received that compressive strength R_{st} , MPa. according to measurements on the scale of the sclerometer RM varies according to the power law The results of tests of cement-concrete samples with strength from 31.5 to 51.5 MPa are given. The method of tests by indirect non-destructive testing methods to determine the compressive strength of cement concrete is specified. Statistical processing of test data was performed. Based on the results of research, Recommendations for assessing the strength of cement concrete based on the results of non-destructive testing (sclerometer) have been developed.

Key words: non-destructive method (sclerometer), nomogram, plastic deformation, elastic rebound, separation, rib chipping.

Gameliak Igor – Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, ORCID 0000-0001-9246-7561.

Kulak Volodymyr – is a graduate student of the Airports Department of the National Transport University e-mail: vovakulak@gmail.com, ORCID 0000-0002-0392-3690.

Zakharchenko Yevhenii – Quality manager, JSC “Dyckerhoff Cement Ukraine” email: yevhenii.zakharchenko@dyckerhoff.com, ORCID 0000-0002-0392-3690.

И. П. Гомельяк¹
В. В. Кулак¹
Е. О. Захарченко²

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТОБЕТОНА ПРИ НЕПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ МЕТОДАМИ НЕРУШИМОГО КОНТРОЛЯ

¹Национальный транспортный университет
² ЧАО «Дикергофф Цемент Украина»

Проведено более 20 000 тысяч испытаний неразрушающим методом на объектах строительства с 2016 по 2021 год, для своевременного контроля прочности готовых бетонных конструкций и последующего принятия решения по нагрузке бетонного элемента. приведена номограмма определения прочности на сжатие R_{st} , МПа по данным измерений по шкале склерометра RM. По результатам аппроксимации таблицы паспортных данных прибора получено, что прочность на сжатие R_{st} , МПа. по данным измерений по шкале склерометра RM меняется по степенному закону Приведены результаты испытаний цементобетонных образцов с крепостью от 31,5 до 51,5 МПа. Уточнена методика испытаний косвенными неразрушающими методами контроля для определения прочности цементобетона на сжатие. Выполнена статистическая обработка данных испытаний. По результатам исследований разработаны Рекомендации по оценке прочности цементобетона по результатам испытаний неразрушающим методом (склерометром).

Ключевые слова: неразрушающий метод (склерометр), номограмма, пластическая деформация, упругий отскок, отрыв, скалывание ребра.

Гамеляк Игорь Павлович – доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой аэропорта ORCID 0000-0001-9246-7561

Кулак Владимир Васильевич – аспирант кафедры аэропорта Национального транспортного университета ORCID 0000-0002-0392-3690.

Захарченко Евгений Александрович - Менеджер по качеству, ЧАО «Дикергофф Цемент Украина». ORCID 0000-0002-0392-3690.