

УДК 624.012.25

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЮ

RESEARCH STRENGTH OF CONCRETE BY NON-DESTRUCTIVE METHODS OF CONTROL

Ясній П.В., д.т.н., професор, **Конончук О.П.**, к.т.н., доцент, **Якубишин О.М.**, провідний інженер (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль)

Yasniy P.V., Doctor of technical sciences, **Professor, Kononchuk A.P.**, Ph.d. (engineering), **Associate Professor, Yakubyshyn O.M.**, Leading Engineer (Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil)

В статті представлені результати експериментальних досліджень міцності бетону різних класів неруйнівними методами контролю. Наведені градувальні залежності міцності бетону між неруйнівними та руйнівними методами контролю для оцінки їх достовірності.

Results of experimental research of concrete strength different classes of non-destructive methods of control are presents in article. Calibration dependences for concrete strength of non-destructive and destructive methods of control are shown to assess their authenticity.

Ключові слова:

Бетон, міцність, контроль, імпульс, ультразвук, відрив.
Concrete, strength, control, impulse, ultrasound, lead.

Вступ. Перед інженером-будівельником досить часто постає питання оцінки технічного стану та надійності конструкцій, розв'язання проблем можливості їх подальшої експлуатації або реконструкції чи підсилення. Із набуттям чинності в 2014 році ДБН А.2.2-3-2012 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [1], обстеження конструкцій фундаментів, підземних і наземних частин житлових будинків є обов'язковим при розробленні проектів реконструкції і капітального ремонту. Не менш важливою є проблема поточного контролю міцності бетонних та залізобетонних конструкцій, особливо в умовах монолітного зведення будівель та споруд. Мета, що ставиться при обстеженні, зокрема інструментальному, є виявлення дійсного стану конструкцій будівель та споруд і оцінювання можливості їх подальшої експлуатації.

Оскільки, процес обстеження чи поточного контролю міцності бетонних та залізобетонних конструкцій руйнівними методами потребує значних

матеріальних та трудових ресурсів, існує необхідність пошуку більш продуктивних та економічних методів. Такими є методи неруйнівного контролю, що дозволяють безпосередньо на об'єкті виконувати дослідження без руйнування матеріалу та швидко отримувати результат.

При проведенні контролю міцності бетону за допомогою неруйнівних методів необхідно враховувати ту обставину, що всі ці методи є непрямими. Міцність бетону при застосуванні неруйнівних методів отримують за попередньо встановленою градуовальною (кореляційною) залежністю між величиною міцності бетону та побічною характеристикою міцності (показом приладу). Під час проведення діагностики технічного стану бетон конструкції за своїми характеристиками може значно відрізнятися від бетону, що використовувався для побудови кореляційної залежності. На точність вимірювання міцності при вимірі неруйнівними методами можуть впливати такі фактори як: тип цементу та його склад, тип заповнювача, умови твердіння, вік бетону, вологість і температура поверхні, тип поверхні, карбонізація поверхневого шару бетону і ще ряд інших факторів. В таких випадках, уточнення результатів неруйнівного контролю міцності бетону можливе при спільному використанні різних методів.

Аналіз останніх досліджень. Неруйнівні методи контролю міцності бетону започатковані в 1950...1960-их роках в дослідженнях ультразвукового методу І.М. Рабиновича, С.М. Соколова, Ю.А. Нілендера, М.А. Новгородського, І.А. Диковського та А.І. Кравцова. Досить широко методи неруйнівного контролю описані в роботах Б.Г. Скрамтаєвої та М.Ю. Ліщинського «Випробування міцності бетону» (М., 1964) також у наукових дослідженнях М.Г. Коревіцької «Неруйнівні методи контролю якості залізобетонних конструкцій» (М., 1989). У цих виданнях наведені рекомендації з вибору методів і засобів неруйнівного контролю в залежності від виду виробу та умов експлуатації [2].

Переваги та недоліки різних методів неруйнівного контролю міцності бетону досліджували українські вчені, зокрема О.М. Пшінько, В.П. Лисняк, А.М. Зінкевич, Г.М. Гладишев, Д.Г. Гладишев, М.А. Чернуха, В.П. Овчар, а також і російські вчені: А.В. Улибін, С.Д. Федотов, Д.С. Тарасова, М.В. Воронцова, А.А. Васильєв.

Пшінько О.М., Лисняк В.П. та Зінкевич А.М. в своїх роботах виконали порівняння результатів неруйнівного контролю міцності бетону найбільш поширеними методами пружного відскоку та ультразвукового методу, а також статистичних оцінок при побудові їх градуовальних залежностей та подальшого впливу цих оцінок на величину встановленого класу бетону. Статистичні параметри отриманих градуовальних залежностей для використаних методів виявились достатньо близькими, що незначно вплинуло на величину отриманого класу бетону при неруйнівному контролі міцності бетону тим чи іншим методом [3].

В роботах [4-6] науковцями проведено дослідження ряду натурних

об'єктів та історичних пам'яток. В результаті проведених досліджень методами пружного відскоку і ультразвуковим, встановлено що вони характеризуються високою кореляцією і в цілому можуть бути прирівняні до результатів випробування на пресі. При цьому результати вимірювань методом ударного імпульсу не корелювали з іншими методами неруйнівного контролю та з результатами випробувань на пресі.

Чернуха М.А. в своїй роботі провів порівняльний аналіз існуючих методів контролю залізобетонних конструкцій. Автор вважає, що з метою зменшення витрат часу і праці при визначенні фактичних характеристик міцності бетону слід спільно застосовувати прилади, засновані на прямих і непрямих методах неруйнівного контролю, за необхідності вводючи додаткові поправочні коефіцієнти для достовірної оцінки результатів випробувань [7].

Улибін А.В., Федотов С.Д. та Тарасова Д.С. в своїх роботах [8, 9] серед прямих методів неруйнівного контролю раціональним за більшістю параметрів вважають метод відриву зі сколюванням. Саме він є оптимальний за точністю, трудомісткістю, вартістю та доступністю обладнання, універсальністю використання і масштабом руйнування конструкції.

Зважаючи на багаторічний досвід та сучасні потреби, інструментальне обстеження з використанням методів неруйнівного контролю є перспективним напрямком контролю міцності бетонних та залізобетонних конструкцій. Дані методи мають великі перспективи, завдяки достатній точності, простоті та економічності їх застосування.

Постановка мети і задач досліджень. В останні роки спостерігається значне зростання застосування засобів неруйнівного контролю будівельної продукції. Динаміка розвитку неруйнівного контролю обумовлена розширенням сфери його використання і постійно зростаючими потребами галузі. Проте багаторічний досвід застосування на практиці даних приладів вказує на цілий ряд проблем пов'язаних із величиною похибок, що виникають при проведенні вимірювань. Саме тому додаткові дослідження і якісна оцінка точності вимірювань даних приладів та встановлення факторів, що на неї впливають є актуальним завданням.

Основною метою даних експериментальних випробувань є дослідження ефективності визначення кубової міцності бетону різних класів неруйнівними методами контролю та побудова індивідуальних градувальних залежностей для оцінки точності вимірювань, а також встановлення впливу зміни класу та віку бетону на похибку випробувань різними приладами.

Методика досліджень. Випробування проводились на базі «Науково-випробувальної лабораторії будівельних матеріалів, виробів та конструкцій» кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя.

Програма експериментальних досліджень передбачала виготовлення чотирьох серій зразків з важкого бетону класу С12/15, С 16/20, С 20/25 та С

35/45. Кожна серія складалась з шести кубів розмірами 150×150×150 мм та залізобетонної плити 150×300×450 мм виготовлених із одного замісу бетону. Пливу конструктивно армували каркасом з дроту Ø4 Вр-I (рис. 1).

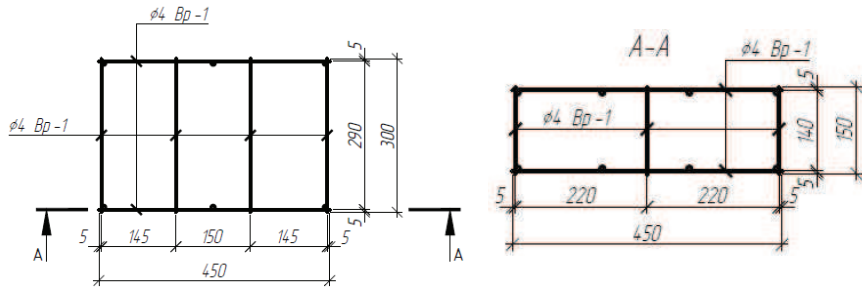


Рис. 1 Схема армування залізобетонної плити 150×300×450 мм

В експерименті використовували три прилади неруйнівного контролю: вимірювач міцності бетону методом ударного імпульсу ИПС-МГ 4.03; вимірювач міцності бетону методом відриву зі сколюванням ПОС-50МГ 4.0 та вимірювач міцності бетону ультразвуковим методом «Бетон-32».

Дослідження кубів і плити виконувалося у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-220 та ДСТУ Б В.2.7-226 у віці 7, 28 діб та у «старому» віці (для 1-ї серії 112 діб, для 2-ї серії 102 діб, для 3-ї серії 69 діб, для 4-ї серії 89 діб) ультразвуковим та імпульсним методами неруйнівного контролю (рис. 2а, 2б). Залізобетонна плита, в свою чергу, додатково була досліджена методом відриву зі сколюванням згідно ДСТУ Б В.2.7-220 (рис. 2в). Оскільки, технологія дослідження міцності бетону цим приладом передбачає буріння перфоратором отворів під анкери, то для забезпечення цілісності плити на стадії виготовлення її армували каркасом з дроту Ø4 Вр-I таким чином, щоб не впливати на покази прикладу. Після досліджень зразків приладами неруйнівного контролю, куби випробовували в лабораторних умовах на пресі П-250 згідно методики ДСТУ Б В.2.7-214 до їх повного руйнування для встановлення фактичної міцності бетону (рис. 2г).

Результати досліджень. Відповідно до методики, на кожній ділянці проведення досліджень приладами неруйнівного контролю необхідно було виконати не менше шести замірів. Відтак, кожна грань куба та плити була заміряна шість разів ультразвуковим та імпульсним методами. Залізобетонні плити випробували методом відриву зі сколюванням по три отвори з верхньої та нижньої сторони. В результаті досліджень отримано достатній масив даних для статистичної обробки, яка проводилась окремо в межах кожного зразка. Після чого взято середнє значення міцності серії для всіх дослідних зразків. Дані, що були отримані після статистичної обробки наведені в табл. 1.

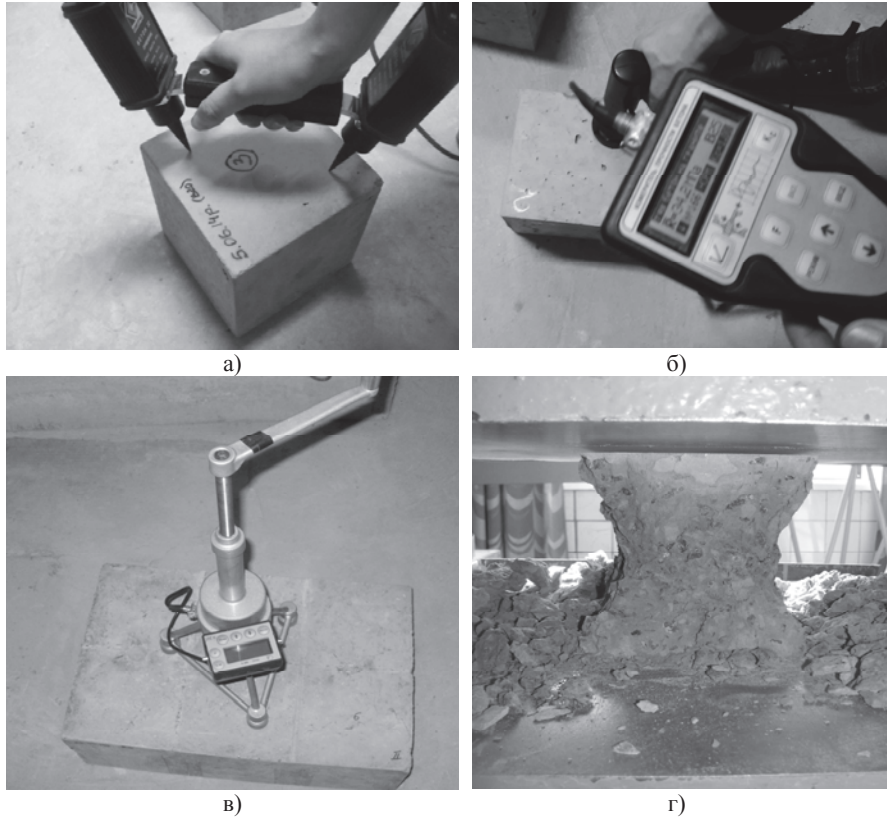


Рис. 2 Випробування дослідних зразків: а) ультразвуковим методом приладом «Бетон-32»; б) методом ударного імпульсу приладом ИПС-МГ 4.03; в) методом відриву зі сколюванням приладом ПОС-50МГ 4.0; г) руйнівним методом на гідравлічному пресі П-250

Таблиця 1.
Результати експериментальних досліджень міцності бетону неруйнівними та руйнівними методами контролю після статистичної обробки даних

Серія зразків	Прогнозований клас бетону	Час проходження поверхневого ультразвуку, мкс	Міцність бетону встановлена		
			Методом ударного імпульсу, МПа	Методом відриву зі сколюванням, МПа	Руйнівним методом на пресі, МПа
1	С 12/15	46,15	17,86	20,53	20,71
2	С 16/20	37,79	22,55	22,50	23,01
3	С 20/25	35,27	30,72	31,70	31,37
4	С 35/45	31,44	43,75	48,10	52,36

Порівняння даних отриманих в результаті визначення міцності бетону неруйнівними методами контролю та результатами випробувань на гідралічному пресі зображено на графіках, приведених на рис. 3 – 4.

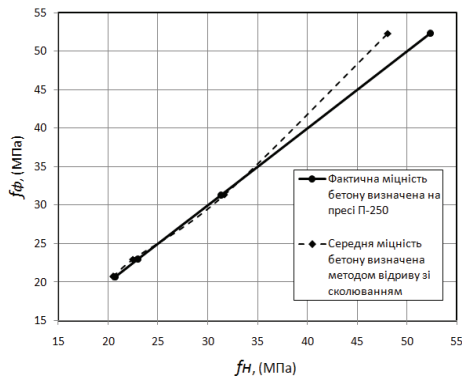


Рис. 3 Збіжність середніх показників отриманих методом відриву зі сколюванням з реальною міцністю бетону

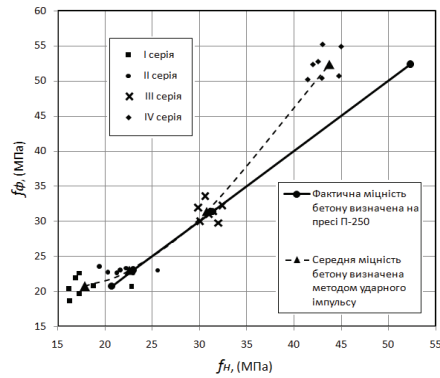


Рис. 4 Збіжність середніх показників отриманих методом ударного імпульсу з реальною міцністю бетону

На графіках по осі «У» відкладено фактичну міцність бетону чотирьох серій зразків (f_{ϕ} , МПа) визначену при руйнівному методі досліджень на пресі, а по осі «Х» міцність бетону отриману неруйнівними методами контролю (f_n , МПа) для кожної точки вимірювання.

Проаналізувавши отримані результати можна стверджувати, що неруйнівні методи контролю міцності бетону мають досить високу збіжність із даними лабораторних досліджень зразків на гідралічному пресі П-250. Дані отримані методом відриву зі сколюванням в 1-й, 2-й та 3-й серії (рис. 3) майже співпадають із реальною міцністю бетону (відхилення не перевищує 2,5 %), а в 4-й серії середнє значення міцності отримане цим методом на 8 % занижене (табл. 2). Метод ударного імпульсу (рис. 4) показав більші відхилення від реальної міцності бетону, особливо в 1-й та 4-й серії дослідних зразків (до 16 %), в той час, як в 2-й та 3-й серії відхилення не перевищило 2,5 %.

Підсумовуючи вище наведені дані можна заключити, що прилади неруйнівного контролю дещо занижують дійсну міцність бетону, що в інженерній практиці дає додатковий запас міцності при розрахунку конструкцій. Зазначимо також, що із підвищенням класу бетону спостерігається тенденція до збільшення похибки показів приладів неруйнівного контролю (в 4-й серії похибка складає від 8 до 16,5 %).

На основі паралельних випробувань дослідних зразків руйнівним та ультразвуковим методом побудована градувальна залежність міцності бетону від середнього часу розповсюдження поверхневих ультразвукових хвиль, яка зображена на рис. 5. В результаті статистичної обробки даних

отримано, що найменше значення коефіцієнту співпадання градувальної залежності з результатами випробувань бетону на стиск для II-ї серії, який становить $K_c = 1,004$, а найбільше – для IV-ї серії ($K_c = 1,174$).

Таблиця 2.

Відхилення середньої міцності бетону встановленої приладами неруйнівного контролю від її фактичного значення

Серія зразків	Прогнозований клас бетону	Середня міцність, МПа				
		Гідрравлічний прес П-250	Відрив зі сколюванням ПОС-50МГ 4.0	Δ , %	Ударний імпульс ИПС-МГ 4.03	Δ , %
1	С 12/15	20,71	20,53	-0,87	17,86	-13,76
2	С 16/20	23,01	22,50	-2,22	22,55	-2,0
3	С 20/25	31,37	31,70	+1,05	30,72	-2,07
4	С 35/45	52,36	48,10	-8,14	43,75	-16,44

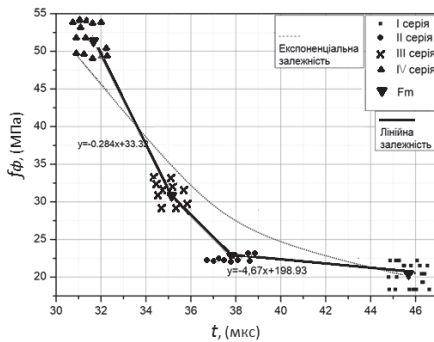


Рис. 5 Градувальна залежність міцності бетону від середнього часу розповсюдження ультразвуку

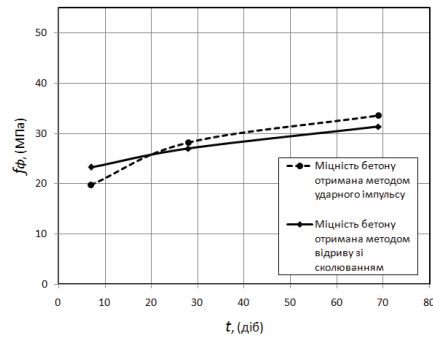


Рис. 6 Зміна показів приладів ударного імпульсу та відриву зі сколюванням з віком бетону

Побудована градувальна залежність дозволяє ультразвуковим методом визначити міцність бетону з проміжними значеннями без паралельного випробування бетону на стиск. В майбутньому планується уточнення цієї кривої за рахунок експериментальних випробування проміжних класів бетону, а також бетонів з іншими фракціями щебеню.

Загалом можна стверджувати, що досліджені методи неруйнівного контролю дають достовірні дані щодо міцності бетону і можуть застосовуватись для визначення міцності бетону конструкцій під час експлуатації, коли руйнівні методи не можуть бути використані. Крім того ці методи через свою простоту та нескладність застосування можуть використовуватись для поточного періодичного контролю локальної міцності бетону конструкцій, що надає їм перевагу у порівнянні із

випробуванням контрольних зразків.

Також досліджено вплив віку бетону на похибки приладів неруйнівного контролю. Оскільки випробування зразків на пресі виконувалось в «старому» віці, то вдалось порівняти тільки дані отримані методом ударного імпульсу з методом відриву зі сколюванням, який за точністю вимірювання можна прирівнювати до випробувань руйнівними методами. На рис. 6, де представлено результати для 3-ї серії зразків, можна спостерігати пересікання кривих, а отже похибка для цієї точки є найменшою. У відсотковому поданні відносно реальної міцності бетону відхилення складають 15,3%; 4,61%; 6,99% відповідно у віці 7, 28 та 69 діб. Таким чином можна стверджувати, що в ранньому віці бетону метод ударного імпульсу може давати більші похибки, ніж після набору ним проектної міцності у віці 28 діб.

Висновки. Інструментальне обстеження з використанням методів неруйнівного контролю є перспективним напрямком контролю міцності бетонних та залізобетонних конструкцій. Дані методи є перспективними, завдяки достатній точності, простоті та економічності при їх застосуванні. Проведені дослідження показали, що неруйнівні методи контролю можна використовувати для визначення міцності бетону не залежно від його віку. Вони є доброю альтернативою методу відбору проб з випробуванням їх на пресі при поточному контролі зведення будівель і споруд.

1. ДБН А.2.2-3-2012 Склад та зміст проектної документації на будівництво. – Київ: Мінбуд України, 2014. – 33 с. 2. Кравцов А.И. Ультразвуковой контроль прочности бетона. – Оренбург, 2000. – 27 с. 3. Пшінько, О.М. Порівняння результатів неруйнівного контролю міцності бетону, отриманих декількома способами / О.М. Пшінько, В.П. Лисняк, А.М. Зінкевич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 121 – 123. 4. Гладишев Г.М. Визначення міцності бетону та глибини тріщиноутворень у залізобетонному фундаменті під стели пам'ятника С. Бандері у м. Львові / Г.М. Гладишев, Д.Г. Гладишев // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 742: Теорія і практика будівництва. – С. 244 – 248. 5. Овчар В.П. Неруйнівний контроль міцності бетону в екстремальних умовах. Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ: ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74. – Книга 2. – С. 349 – 353. 6. Ясній П.В. Оцінювання міцності і технічного стану залізобетонних конструкцій ультразвуковим методом. / П.В. Ясній, О.М. Якубишин, Д.І. Дубіжанський / Науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві". Вінниця, 2010, – С. 20 – 23. 7. Чернуха Н.А. Контроль качества железобетонных конструкций при обследовании зданий. Интернет-журнал "Строительство уникальных зданий и сооружений". №2 (7), 2013. С 62 – 70. 8. Улыбин А.В. Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений / А.В. Улыбин, С.Д. Федотов, Д.С. Тарасова / Мир строительства и недвижимости. №45, – 2012. – С. 2 – 5. 9. Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4(22). – С.10 – 15.