

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(назва факультету)

Кафедра будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи

**магістра**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему:

**«Дослідження міцнісних характеристик бетону  
ультразвуковим методом»**

Виконав: студент VI курсу, групи МБмн-61

спеціальності (напряму підготовки) 192

«Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Данилків А.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Конончук О.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Будівельної механіки

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Данилків Андрій Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження міцнісних характеристик бетону  
 ультразвуковим методом

Керівник проекту (роботи) Конончук Олександр Петрович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «10» квітня 2023 року № 4/7 – 364

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 19.05.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження міцнісних характеристик бетону різних  
 класів неруйнівними методами контролю, зокрема ультразвуковим методом.

Визначення міцності бетону на різних стадіях його твердіння та встановлення залежності  
 похибки ультразвукового приладу від віку бетону. Порівняння показів приладу із фактичною  
 міцністю бетону встановленої руйнівним методом.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд літературних джерел в напрямку дослідження міцності бетону неруйнівними методами  
 контролю, а також досліджень пов'язаних із обстеженням будівель і споруд.

Методика проведених експериментальних досліджень зразків виготовлених із різного класу  
 міцності бетону неруйнівними методами контролю. Статистична обробка отриманих даних  
 проведених експериментальних досліджень та їх аналіз. Визначення похибки досліджень.

Розробка заходів по охороні праці. Розробка заходів з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Постановка мети та задач досліджень. Найпоширеніші методи діагностики залізобетонних  
 конструкцій неруйнівними методами. Методика проведення експериментальних досліджень

Визначення міцнісних характеристик бетону ультразвуковим методом неруйнівного контролю.

Фотографії експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень. Аналіз  
 отриманих даних. Висновки.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Конончук О.П., к.т.н., доц.		
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 10.04.2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел в напрямку дослідження	18.04.2023	
2	Аналіз попередніх досліджень та постановка мети і задач досліджень	25.04.2023	
3	Опис методики проведених експериментальних досліджень	30.04.2023	
4	Опис отриманих даних проведених експериментальних досліджень	05.05.2023	
5	Аналіз отриманих результатів та побудова нових залежностей	10.05.2023	
6	Формулювання висновків	12.05.2023	
7	Розробка заходів по охороні праці.	15.05.2023	
8	Розробка заходів з безпеки в надзвичайних ситуаціях.	18.05.2023	

Студент

(підпис)

Данилків А.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Конончук О.П.

(прізвище та ініціали)

## Зміст

	Ст.
<b>Вступ.....</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 1 Огляд літературних джерел за темою досліджень .....</b>	<b>8</b>
1.1 Неруйнівний контроль при обстеженні будівель та споруд .....	8
1.2 Актуальність роботи ультразвукового контролю .....	13
1.3 Постановка мети і конкретних задач дослідження .....	15
Висновки до розділу 1 .....	15
<b>Розділ 2 Методика експериментальних досліджень. Матеріали та конструкція дослідних зразків .....</b>	<b>16</b>
2.1 Програма експериментальних досліджень міцності бетонів різних класів неруйнівним ультразвуковим методом контролю .....	16
2.2 Умовні позначення дослідних зразків .....	18
2.3 Матеріали і конструкція досліджуваних зразків .....	19
2.4 Методика експериментальних досліджень .....	22
2.4.1 Дослідження зразків кубів та з/б плит ультразвуковим методом .....	23
2.4.2 Випробування зразків кубів руйнівним методом на пресі .....	29
Висновки до розділу 2 .....	30
<b>Розділ 3 Результати експериментальних досліджень ультразвуковим методом неруйнівного контролю .....</b>	<b>31</b>
3.1 Числові дані досліджень ультразвуковим методом .....	31
3.2 Статистична обробка результатів експериментальних досліджень ...	34
3.2.1 Обробка результатів експериментальних досліджень I серії зразків, неруйнівним поверхневим ультразвуковим методом контролю .....	34
3.2.2 Обробка результатів експериментальних досліджень II серії зразків	37
3.2.3 Обробка результатів експериментальних досліджень III серії зразків .....	39
3.2.4 Обробка результатів експериментальних досліджень I серії зразків неруйнівним наскрізним ультразвуковим методом контролю .....	41

3.2.5	Обробка результатів експериментальних досліджень II серії зразків .....	44
3.2.6	Обробка результатів експериментальних досліджень III серії зразків .....	47
3.2.7	Обробка результатів експериментальних досліджень випробуваних зразків руйнівним методом на пресі П-250 .....	49
3.3	Побудова градувальної залежності, та оцінка похибки визначення міцності поверхневого ультразвуку .....	52
3.4	Побудова градувальної залежності, та оцінка похибки визначення міцності наскрізного ультразвуку .....	53
	Висновки до розділу 3 .....	55
	<b>Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях ....</b>	<b>56</b>
4.1	Охорона праці .....	56
4.1.1	Безпека праці в Україні. Основні законодавчі та нормативно-правові акти про охорону праці .....	56
4.1.2	Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії будівельних матеріалів, виробів і конструкцій ТНТУ ім. І Пулюя .....	58
4.1.3	Електробезпека при роботі з бетономішалкою .....	59
4.1.4	Вплив цементу і цементного пилу на організм людини .....	60
4.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	62
4.2.1	Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у воєнний час .....	62
	Висновки до розділу 4 .....	66
	<b>Загальні висновки .....</b>	<b>67</b>
	<b>Бібліографія .....</b>	<b>68</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми роботи.** Методи неруйнівного контролю міцності бетону широко застосовуються для діагностики технічного стану бетонних і залізобетонних конструкцій з певним терміном експлуатації, а також контролю якості зведених конструкцій. Метод ультразвукового контролю міцності бетону є одним з ефективних, в порівнянні з іншими неруйнівними методами, оскільки він дозволяє оцінити міцності не тільки поверхневого шару бетону, а й інтегральні параметри міцності.

**Мета роботи:** оцінювання точності вимірювання міцності бетону дослідних зразків ультразвуковим методом неруйнівного контролю та побудова градуювальних залежностей.

Для досягнення мети в роботі ставилися такі **задачі**:

- провести огляд літературних джерел за темою дослідження;
- розробити програму та методичку експериментальних досліджень;
- провести експериментальні випробування дослідних зразків ультразвуковим методом неруйнівного контролю, з паралельним випробуванням їх руйнівним методом на стиск;
- виконати статистичну обробку даних та проаналізувати результати експериментальних досліджень;
- побудувати індивідуальну градуювальну залежність і оцінити її достовірність.

**Об'єкт досліджень:** бетонні куби і залізобетонні плити.

**Предмет дослідження:** міцність бетону встановлена ультразвуковим методом.

**Методи дослідження:** аналіз літературних джерел; аналіз експериментальних досліджень, аналіз теоретичних досліджень за спеціально розробленою методикою, ультразвуковий метод дослідження міцності бетону.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності із науковою тематикою кафедри будівельної механіки

Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- отримали подальший розвиток дослідження міцнісних характеристик бетону ультразвуковим методом;
- отримано нові дані оцінки точності вимірювань міцності бетону ультразвуковим методом;
- побудовано індивідуальну градувальну залежність швидкості проходження ультразвукової хвилі від міцності бетону.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані в роботі результати можуть бути використані будівельними організаціями при контролі якості виконання робіт, або при обстеженні існуючих будівельних об'єктів.

**Апробація.** Окремі результати роботи доповідались на XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 7 – 8 грудня 2022 року.

**Публікації.** Використання неруйнівних методів контролю при дослідженні залізобетонних конструкцій / О.П. Конончук, І.М. Будзінський, А.Я. Данилків, Р.І. Фіцай // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 7 – 8 грудня 2022 року — Т. : ТНТУ, 2022 — Том I. — С. 11-12.

**Ключові слова.** Міцність бетону, контроль, точність вимірювання, неруйнівний метод, ультразвук.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Неруйнівний контроль при обстеженні будівель та споруд

Методи неруйнівного контролю міцності бетону широко застосовуються для діагностики технічного стану бетонних і залізобетонних конструкцій з певним терміном експлуатації, а також контролю якості зведених конструкцій.

При виборі методів неруйнівного контролю і приладів для проведення випробувань бетону користувач винен знати їх особливості та рекомендовані області застосування [23].

Особливої актуальності неруйнівні методи контролю міцності конструкції набули після прийняття Кабінетом Міністрів України Державної науково технічної програми «Ресурс» № 1331 від 8 жовтня 2004р. та Наказу Мінрегіонбуду України від 24 червня 2011 р. [18].

На даному етапі розвитку будівельної галузі бетон залишається одним із найголовніших будівельних матеріалів. Тому все частіше виникає необхідність контролю якості виконання бетонних робіт. Передовим в цьому напрямку є застосування неруйнівних методів контролю міцності бетону.

В наш час одержують бетони із різноманітними фізико-механічними властивостями, та параметрами, що підлягають контролю, зокрема в бетонах вимірюють міцність, величину захисного шару, вологість, морозостійкість, волого-непроникність та ряд інших [27].

При виробництві залізобетонних конструкцій також контролюють натяг арматури та величину вібрації при ущільненні бетонної суміші, але основним контрольованим параметром для бетонів залишається міцність, як властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією внутрішніх навантажень, викликаних зовнішніми силами та іншими факторами [20].



Питання контролю міцності бетону, хоча і є складним, однак залишається досить актуальним, оскільки даний параметр є основною характеристикою, і дає змогу перевірити відповідність бетону заявленим паспортним даним, визначити оптимальний час зняття опалубки в процесі будівництва, робити оцінку стану будівельних конструкцій в процесі їх експлуатації та ін.

В даний час широко використовують неруйнівні методи контролю міцності бетону, які дозволяють орієнтовно визначити міцність будь-якої конструкції або на окремій ділянці конструкції або вироби без їх руйнування.

Неруйнівні методи контролю міцності бетону умовно можна розділити на дві групи: механічні, або поверхневі, і фізичні. У механічних методах поверхню виробу або зразка піддається певного виду, як правило, механічного впливу і міцності бетону судять по опору, який він чинить цьому впливу. Для проведення подібних випробувань зазвичай застосовують порівняно нескладні прилади і засоби [22].

Ультразвуковий метод відноситься до фізичних методів які базуються на оцінці міцності бетону по швидкості проходження через нього ультразвуку або по реєстрації коливань і інших фізичних величин, що виробляється з допомогою складних фізичних приладів. Ці методи дозволяють визначити міцність не тільки поверхневих, але і глибинних шарів бетону, виявляти внутрішні дефекти у виробі, що виникли в процесі виробництва, при експлуатації або в ході випробування [19].

Ультразвуковий метод відносно молодий, і почав свій розвиток в основному в 1950-1960-их роках завдяки науковим дослідженням І.М.Рабиновича, С.М.Соколова, Ю.А. Нілендера, М.А.Новгородського, Диковського І.А., та Кравцова А.В. 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. Коревицької «Неруйнівні методи контролю якості залізобетонних конструкцій» (М., 1989). У цих виданнях дані рекомендації з вибору методів і засобів неруйнівного контролю в залежності від виду контрольованого виробу та умов експлуатації [26].

Пшінько О.М., Лисняк В.П., Зінкевич А.М. виконали порівняння результатів неруйнівного контролю міцності бетону декількома способами, а також статистичних оцінок їх градуовальник залежностей та подальшого впливу цих оцінок на величину встановленого ними класу бетону [33].

Ясній П.В., Якубишин О.М., Дубіжанський Д.І. розробили методику визначення міцності бетону неруйнівними методами контролю. На основі поєднання методів відриву зі сколюванням і ультразвукового методу при паралельних випробуваннях одних і тих же ділянок залізобетонних будівельних конструкцій, була побудована індивідуальна градуовальна залежність для оцінювання міцності бетону конструкції.

Похибка вимірювань при цьому склала 7,65%. За допомогою визначеної індивідуальної градуовальної залежності між часом проходження ультразвуку та міцності бетону були визначені характеристики міцності бетону інших конструктивних елементів будівлі виробничого призначення в м. Почаєві Тернопільської області [31].

Гладишев Г.М. та Гладишев Д. Г. виконали інструментальне обстеження бетону неруйнівними методами контролю, після двох років від часу його улаштування. Визначили міцність бетону та глибину тріщиноутворень у бетоні [29].

Власова Е.А., Улибін А.В., Сапигін Д.С., розробили методику визначення градуовальної залежності між міцністю бетону і швидкістю поширення ультразвукових коливань і реалізація її на практиці. Метою їхньої роботи було отримання результатів випробувань бетонних зразків, для опису методики встановлення градуовальної залежності для визначення міцності кубів на стиск на основі швидкості ультразвуку, при наскрізному способі прозвучування бетону у віці 28 днів.

В проведену роботу для побудови градуовальної залежності “швидкістьрозповсюдження ультразвуку - міцність бетону”, було виготовлено 6 серій бетонних кубиків різного складу, у кожній по 6 зразків. Градуовальна залежність встановлювалася за значеннями ультразвукових вимірювань в

бетонних зразках-кубах розмірами  $15 \times 15 \times 15$  см і механічних випробувань тих же зразків по ГОСТ 10180, безпосередньо після ультразвукових вимірювань.

Результатом їхньої роботи стала побудова градуовальної залежності між міцністю бетону і швидкістю проходження в ньому УЗК для бетону у віці 28 днів [28].

На одному із досліджуваних об'єктів дослідником Улибіним А.В. було проведено випробування колодця, в ході якого виконано контроль міцності бетону трьома неруйнівними методами (ультразвуковим, пружного відскоку, та ударного імпульсу) з наступним випробуванням відібраних зразків [29].

Проте, ніхто із дослідників не поєднав такі методи неруйнівного контролю міцності бетону як ультразвуковий, ударного імпульсу та відриву зі сколюванням. Отже, проведемо дослідження саме цими методами і визначимо, який із них найточніший та найефективніший.

За допомогою неруйнівних методів може бути організований суцільний контроль за якістю бетону шляхом його випробування безпосередньо у час та після виготовлення виробу, і внесення необхідних корективів у виробничий процес для забезпечення постійної високої якості продукції [25].

Основна відмінність методів неруйнівного контролю від руйнівних полягає в тому, що при їх використанні безпосередньою вимірювальною величиною є не міцність, а деякий фізичний показник, зв'язаний з міцністю бетону та певною кореляційною залежністю [32,33,26].

Для встановлення цієї кореляційної залежності, а, значить, і для визначення міцності бетону попередньо встановлюють градуовальну залежність між міцністю бетону і непрямою характеристикою. Градуовальну залежність встановлюють для бетонів одного проектного віку і приготованих з однакових матеріалів по результатам випробувань на міцність зразків-кубів.

Отже, всі методи неруйнівного контролю міцності бетону вимагають побудови індивідуальних градуовальних залежностей за результатами випробувань стандартних зразків-кубів, виготовлених з бетону такого ж складу і віку, що і випробовуваний зразок [19,20].

На точність вимірювання міцності при вимірі неруйнівними методами можуть впливати такі фактори як: тип цементу, склад цементу, тип заповнювача, умови тверднення, вік бетону, вологість і температура поверхні, тип поверхні, карбонізація поверхневого шару бетону і ще ряд інших факторів.

Практично всі неруйнівні методи мають певні похибки, і при оцінці міцності бетону їх необхідно враховувати. Далеко не всі з перелічених факторів можна врахувати при побудові градууювальної залежності. Тому такі фактори потрібно враховувати при розробці методики вимірювань на конкретний об'єкт тестування [28,26,21].

Ультразвуковим методом міцність бетону отримують за попередньо встановленою градууювальною (кореляційною) залежністю між величиною міцності бетону та побічною характеристикою міцності (показом приладу) [19].

Під час проведення діагностики технічного стану бетон конструкції за своїми характеристиками можуть значно відрізнятися від бетону, що використовувався для побудови кореляційної залежності. Відповідні нормативні документи передбачають можливість коригування градууювальних залежностей шляхом випробування відібраних зразків. В таких випадках, уточнення результатів неруйнівного контролю міцності бетону можливе при спільному використанні різних методів, наприклад, ультразвукового та пружного відскоку чи пластичної деформації [22,25].

Ультразвуковий метод, на відміну від інших методів неруйнівного контролю, забезпечує виявлення дефектів в бетоні на ранній стадії їх появи і дозволяє отримати кількісні оцінки розвитку цих дефектів. Існування стійкої залежності параметрів розповсюдження УЗК в бетоні від стану його структури, наявності та накопичення в ньому тих чи інших дефектів і ушкоджень, є головною перевагою ультразвукового методу при обстеженні експлуатованих конструкцій [18,19].

До переваг слід також віднести, що ультразвуковий метод є неруйнівним, тобто непряма характеристика визначається без руйнування матеріалу, отже, і випробування можуть неодноразово повторюватися на одній і тій же ділянці, що

дуже важливо при контролі наростання міцності. При наскрізному прозвучуванні ультразвук збирає інформацію по всій товщині конструкції, тобто дає інтегральну оцінку стану бетону. Практично єдиний з неруйнівних методів реагує на якість контактної поверхні розчинної частини з гранулами крупного заповнювача і на внутрішні дефекти. Піддається високого ступеня автоматизації [26].

Основним недоліком методу є: отримані експериментальним шляхом градуювальні коефіцієнти або графіки залежності "швидкість-міцність" дійсні тільки для даного складу бетону, при випробуванні якого вони отримані. У разі зміни складу бетону або технології виготовлення конструкції всі кореляційні залежності (коефіцієнти, графіки) змінюються і їх необхідно визначати знову.

При використанні в якості акустичного контакту технічного вазеліну або солідолу, під час експлуатації виробу на його поверхні можуть проявлятися масляні плями. Наявність такого недоліку стримує застосування методу, особливо на будівельних об'єктах, де склад бетону завжди міняється.

При проведенні контролю міцності бетону за допомогою неруйнівних методів необхідно враховувати ту обставину, що всі ці методи є непрямими.

Певною мірою цей недолік можна подолати, використовуючи одночасно кілька методів. наприклад, ультразвукової спільно з методом відриву зі сколюванням або з методом ударного імпульсу. При цьому недоліки одного методу перекриваються перевагами іншого [20].

До сучасних методів неруйнівного контролю міцності бетону відносять метод ударного імпульсу, ультразвуковий метод, метод відриву зі сколюванням та ін. При цьому неруйнівними характеристиками міцності є значення відскоку бойка, швидкість ультразвукової хвилі, зусилля місцевого руйнування бетону при відриві від нього анкерного пристрою.

## **1.2 Актуальність роботи ультразвукового контролю**

Метод ультразвукового контролю міцності бетону є одним з ефективних, в порівнянні з іншими неруйнівними методами, оскільки він дозволяє оцінити

міцності не тільки поверхневого шару бетону, а й інтегральні параметри міцності. Ультразвукові вимірювання проводять приладами, призначеними для вимірювання часу чи швидкості поширення ультразвуку в бетоні та які сертифіковані в установленому порядку за ДСТУ Б В.2.7-2262009.

Найбільш поширені такі ультразвукові прилади: УК-10, Пульсар, Бетон-32, УК-14П, УК-12, та ін.[18]

Під час моїх експериментальних досліджень у наукових лабораторіях був використаний прилад ультразвукового дослідження «Бетон-32» який призначений для визначення часу проходження ультразвукових коливань в будівельних матеріалах при:

- експресних визначеннях міцності бетону у виробках складної конфігурації;
- визначення міцності бетону в збірних і монолітних бетонних і залізобетонних виробках і конструкціях по методиці згідно ДСТУ Б В.2.7-2262009;
- визначення міцності при стиску цегли і каменів згідно ГОСТ 24332.



Рисунок 1 – Прилад ультразвукового контролю «Бетон-32»

Таблиця 1 – Технічні характеристики ультразвукового приладу Бетон-32

Технічні характеристики	Бетон-32
Діапазон вимірювання часу, мкс	15 – 6500
Межа абсолютної похибки вимірювання часу на стандартних зразках, де t - час поширення ультразвуку, мкс	$d = \pm (0,01t + 0,1)$
Фіксована база вимірювань при поверхневому прозвучування. мм	120±1
Робоча частота коливань, кГц	100,0
Діапазон робочих температур	10 °С ... + 50 °С
Маса приладу	не більше, 1,6 кг

### 1.3 Постановка мети і конкретних задач дослідження

Мета досліджень: оцінювання точності вимірювання міцності бетону дослідних зразків ультразвуковим методом неруйнівного контролю та побудова градувальних залежностей.

Для досягнення мети в роботі ставилися такі задачі:

- провести огляд літературних джерел за темою дослідження;
- розробити програму та методичку експериментальних досліджень;
- провести експериментальні випробування дослідних зразків ультразвуковим методом неруйнівного контролю, з паралельним випробуванням їх руйнівним методом на стиск;
- виконати статистичну обробку даних та проаналізувати результати експериментальних досліджень;
- побудувати індивідуальну градувальну залежність і оцінити її достовірність.

### Висновки до розділу 1

1. Огляд літературних джерел показав, що різними авторами виконано значну кількість експериментальних та теоретичних досліджень, обстеження та діагностики стану будівельних конструкцій методами неруйнівного контролю, ці методи є новими та перспективними і потребують подальшого широкого впровадження та додаткового вивчення.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЯ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ

#### 2.1 Програма експериментальних досліджень міцності бетонів різних класів неруйнівним ультразвуковим методом контролю

Для виконання мети та задач досліджень була складена програма експериментальних досліджень, яка включала в себе випробовування кубів та плити неруйнівними методами контролю. Дослідження проводились на базі «Науково-випробувальної лабораторії будівельних матеріалів, виробів та конструкцій» кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Програма експериментальних досліджень включала в себе III серії зразків бетону; I серія – бетон класу C8/10 (B10), II серія C16/20 (B20), III серія C25/30 (B30). Кожна досліджувана серія складалася з шести кубів розмірами 150×150×150 мм та однієї залізобетонної плити розмірами 150×300×450 мм. Куби і плити були виготовленні із кожного класу бетону. Усі залізобетонні плити конструктивно армовані сіткою Ø4 Вр-1 (див. рис. 2).



Рисунок 2 – Куби і плити виготовленні із кожного класу бетону



У даній роботі подані результати експериментальних досліджень III серій зразків. Всі куби та залізобетонна плита досліджувалися згідно методики досліджень сучасними приладами неруйнівного контролю міцності бетону, а саме: “Бетон-32”. Паралельно проводилися дослідження також методом ударного імпульсу - прилад “ИПС-МГ 4.03”; та методом відриву зі сколюванням - “ПОС-50МГ 4.0” (див. рис. 3).



Рисунок 3 – Прилади неруйнівного контролю:

а) прилад ультразвукового контролю “Бетон-32”; б) прилад відриву зі сколюванням - “ПОС-50МГ 4.0” в) прилад ударного імпульсу - “ИПС-МГ 4.03”

Після закінчення проведення усіх експериментальних досліджень, куби всіх серій випробовуються на пресі “ПІ-250”, на стиск до повного руйнування для встановлення їх фактичної міцності (див. рис. 4).

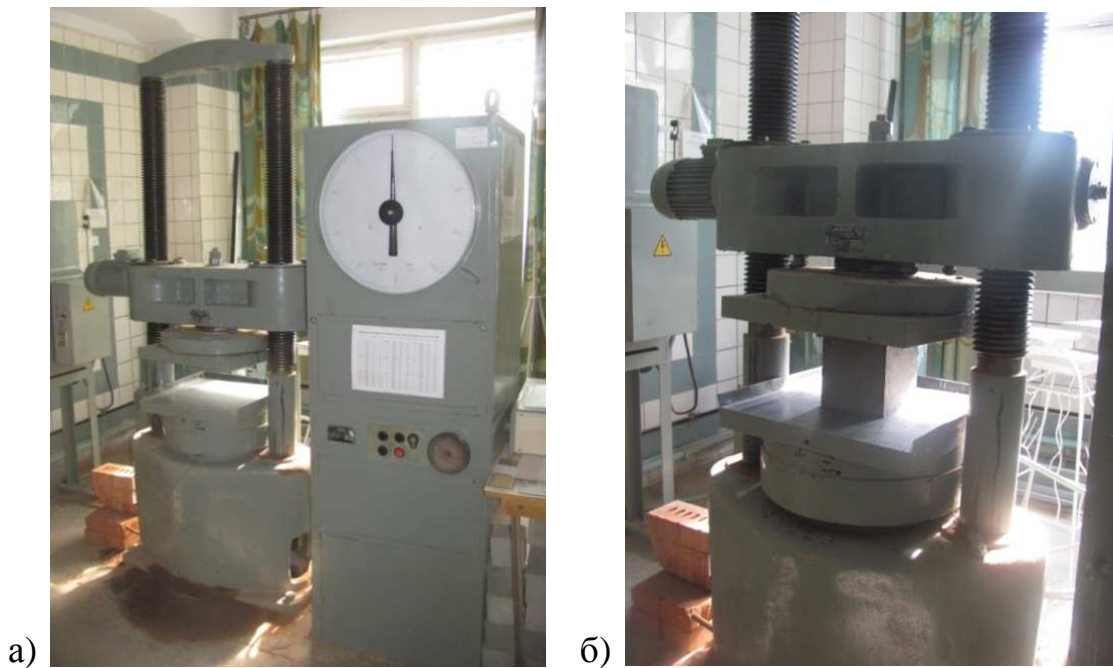


Рисунок 4 – Випробування зразків на пресі

а) загальний вигляд пресу “П-250”; б) підготовка кубів до випробування

## 2.2 Умовні позначення дослідних зразків

Для дослідження зразків були прийняті наступні умовні позначення:

К – куб; П – залізобетонна плита. В першу групу цифр входять цифри, перша з яких вказує серію кубів, залізобетонних плит; друга – порядковий номер куба або з/б плити даної серії. Так, наприклад, маркування “К-1.1.1 ” вказує, що досліджується перший куб з I серії зразків, 1 грань куба (табл.1). Маркування “П-3.1 ” вказує, що досліджується залізобетонна плита з III серії зразків (табл. 2, 3).



Рисунок 5 – Умовні позначення зразків кубів та з/б плит

Таблиця 2 – Маркування дослідних кубів

Куби розміром 15×15×15см				
Серія зразків	Проектуючий клас бетону	Методи неруйнівного контролю		Руйнівний метод
		Ультразвуковий метод		Метод ударного імпульсу
		Поверхневий	Наскрізний	
I	C8/10 (B10)	6 зразків		6 зразків
II	C16/20(B20)	6 зразків		6 зразків
III	C25/30(B30)	6 зразків		6 зразків

Таблиця 3 – Маркування дослідних плит

Плита розміром 150×300×450				
Серія зразків	Проектуючий клас бетону	Метод неруйнівного контролю		
		Відрив зі сколюванням «ПОС-50МГ 4.0»	Ультразвуковий метод	
			Поверхневий	Наскрізний
I	C8/10 (B10)	1 зразок	1 зразок	1 зразок
II	C16/20 (B20)	1 зразок	1 зразок	1 зразок
III	C 25/30 (B30)	1 зразок	1 зразок	1 зразок

Зразки були запроєктовані так, щоб кожна серія відповідала різному класу бетону. Таким чином :

Серія №1 – бетон C8/10;

Серія №2 – бетон C16/20;

Серія №3 – бетон C25/30.

### 2.3 Матеріали і конструкція досліджуваних зразків

Згідно з програмою експериментальних досліджень в загальному заплановано випробування 3-ох серій кубів загальною кількістю 18 шт. розмірами 150×150 мм, та залізобетонних плит кількістю 3 шт. з розмірами 150×300×450мм виготовлених із різних класів бетону: I серія C8/10, II серія C16/20, III серія C25/30 сучасним ультразвуковим приладом неруйнівного контролю міцності бетону “Бетон-32”;. Усі куби та з/б плити були виготовлені в лабораторних умовах з одного замісу для кожного класу бетону окремо.

Склад бетону екперементного дослідження для бетону I серії склав: (1:3.5:5.7) V = 0.04 м<sup>3</sup>; при водоцементному відношенні В/Ц=0,70. Цемент марки

M400 Миколаївського цементного заводу. Пісок використано кварцевий без домішок з модулем крупності  $M_c=2,04$ , щебінь гранітний Селіщанського кар'єру Рівненської області фракції 5...10 мм, використовувалися для всіх серій бетону.

Пропорції для I серії бетону наступні:

- пісок – 35 кг, щебінь – 57 кг, цемент- 9 кг, вода – 7,8 кг;

для II серії C16/20:(1.25:2.1:3.9)  $V = 0.04 \text{ м}^3$ ; при водоцементному відношенні  $V/Ц=0,49$

- пісок – 26.5 кг, щебінь – 48 кг, цемент - 17.5 кг, вода – 8,6 кг;

для III С 25/30: (1.48:1.77:4.0)  $V = 0.04 \text{ м}^3$  при водоцементному відношенні  $V/Ц=0,43$

- пісок – 18 кг, щебінь – 40 кг, цемент - 30 кг, вода – 12,7 кг.

Залізобетонні плити армуються зварною сіткою  $\text{Ø}4$  Вр-1 розмірами  $140 \times 290 \times 440$  мм (рис. 6) із захисним шаром бетону 5 мм з кожного боку.

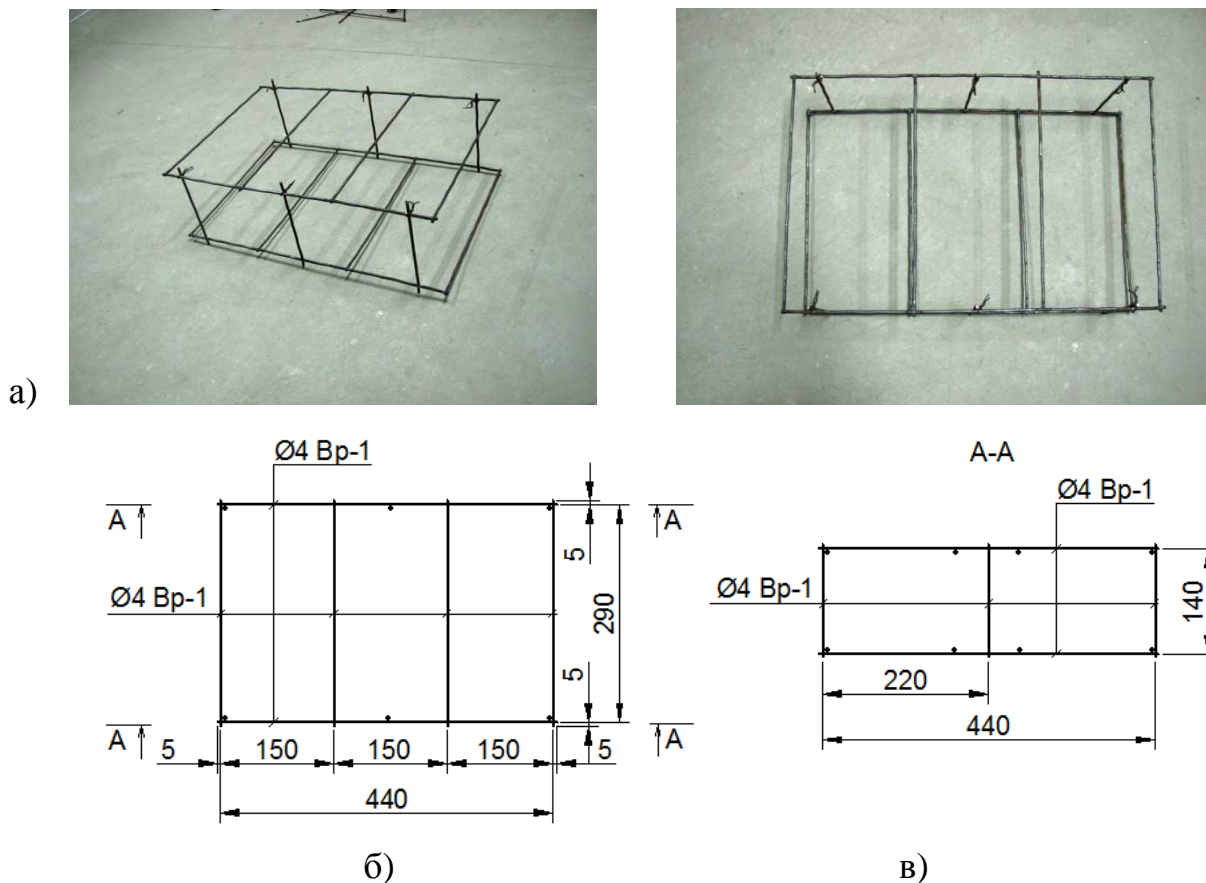


Рисунок 6 – Зварна сітка з арматури  $\text{Ø}4$  Вр-1.

а) загальний вигляд сітки; б) конструктивний вигляд зверху; в) конструктивний вигляд збоку

Зварювання сітки було виконано в лабораторних умовах будівельної механіки контактним зварюванням (рис. 7).



Рисунок 7 – Зварювання сітки з арматури  $\text{Ø}4$  Вр -1 контактним зварюванням

Готові зварні сітки влаштовувалися у спеціальні форми для плити з розмірами  $150 \times 300 \times 450$  мм (рис. 8).



а)



б)

Рисунок 8 – Форми для досліджуваних зразків

а) форма для кубів; б) форма для плити



Рисунок 9 – Влаштування зварної сітки  $\text{Ø}4$  Вр-1 у форму

Перед тим як залити у форми бетону суміш, потрібно їх ретельно змастити спеціальним маслом для того, щоб бетон було можливо легко відділити від поверхні металу після його затвердіння. Після змащування у форму влаштовувалась металева зварна сітка. Після того як у форми було залито бетон, їх встановлювали на віброву установку для його ущільнення. Залиті форми залишали для досягнення початкової міцності бетону (7 діб).

Для того, щоб створити нормальні умови твердіння бетону, особливо в початковий період після його замісу та укладання (від 3 – 7 діб) потрібно. У теплу пору року вологу в бетоні зберігати шляхом поливання та накриття плівкою, для запобігання усадки бетону.

Після закінчення проходження терміну, коли бетон набрав початкову міцність (5-7) діб, розбирали форми, маркували їх, і готували серію кубів та плити до експериментальних досліджень неруйнівними методами контролю.

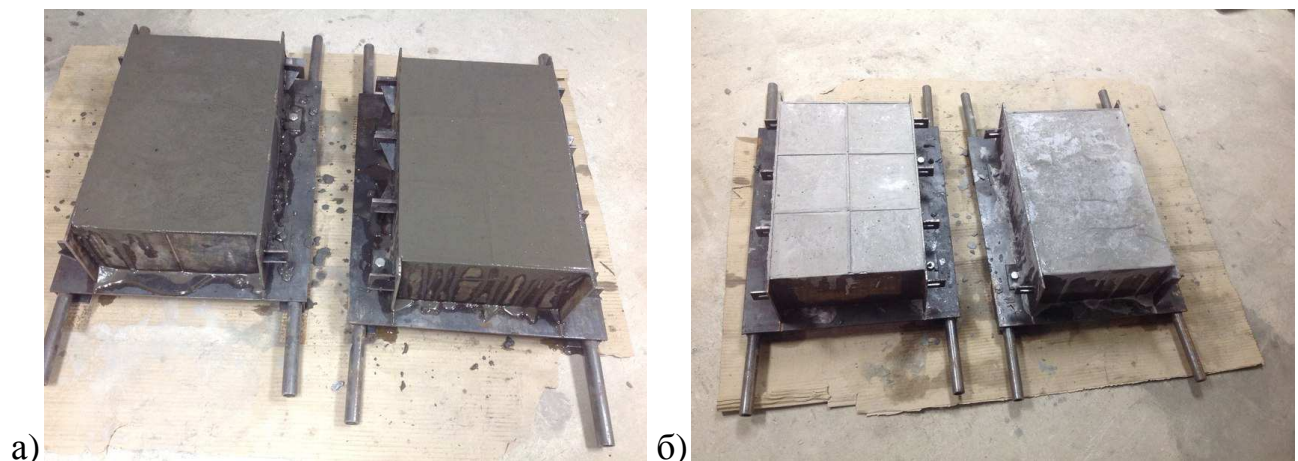


Рисунок 10 – а) зразки після заливання у форми;  
б) зразки які набрали початкову проектну міцність

## 2.4 Методика експериментальних досліджень

Дослідження проводилися в два етапи. На першому етапі проводили дослідження зразків кубів та з/б плит ультразвуковим методом неруйнівного контролю. На другому етапі проводили випробування зразків кубів руйнівним методом на пресі.

### 2.4.1 Дослідження зразків кубів та з/б плит ультразвуковим методом

Перед проведенням вимірювань всі куби та з/б плити потрібно ретельно підготувати. Необхідно зачистити всі поверхні, щоб були чистими, грушею продуті всі поверхні кубів та з/б плит від пилу. У зоні контакту ультразвукових перетворювачів із поверхнею бетону не повинно бути раковин і повітряних пор глибиною більше ніж 3 мм і діаметром більше ніж 6 мм, а також виступів більше ніж 0,5 мм. Відносна похибка вимірювань бази прозвучування не повинна перевищувати 0,5%. Кількість вимірювань часу поширення ультразвуку в кожному зразку повинна бути при наскрізному прозвучуванні два, при поверхневому - три [18,21].

Відхили окремого результату вимірювань часу поширення ультразвуку в кожному зразку від середнього арифметичного значення результатів вимірювань для даного зразка не повинні перевищувати 2 %.

Вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні конструкцій слід проводити в перпендикулярному напрямку до ущільнення бетону. Відстань від краю конструкції до місця установлення ультразвукових перетворювачів повинна бути не меншою ніж 30 мм. Вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні конструкцій слід проводити в перпендикулярному напрямку до робочої арматури. Концентрація арматури уздовж обраної лінії прозвучування не повинна перевищувати 5 %. Допускається прозвучування уздовж лінії, розташованої паралельно до робочої арматури, якщо відстань від цієї лінії до арматури складає не менше ніж 0,6 від довжини бази [21,19].

Результати вимірювань записували у журнал для дослідження. Результати вимірювань часу поширення ультразвуку в зразках, що не відповідають цій умові, не враховують при розрахунку середнього арифметичного значення швидкості поширення ультразвуку в даній серії зразків.

Випробування ділянок кубів ультразвуковим методом проводилися поверхневим та наскрізним способом, в такій послідовності:

– зачистили поверхню кубів від нерівностей, грушею продули всі поверхні від пилу;

– ультразвуковим приладом “Бетон-32” вимірювали час розповсюдження ультразвуку з постійною базою 120 мм(для поверхневого прозвучування) у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

При наскрізному прозвучуванні на робочі поверхні приймаючих блоків приладу наносили контактне мастило (діагель,технічний вазелін або салідол), для кращого контакту приймаючих блоків із поверхнею кубів або з/б плит.

Випробування ділянок залізобетонної плити ультразвуковим методом проводилися поверхневим та наскрізним способом, в такій послідовності:

– зачистили поверхню, щоб була чистою, грушею продули всі поверхні від пилу

– визначали розташування арматури на ділянці плити дослідженням магнітним методом (за допомогою приладу ИПА-МГ4); [24]

– ультразвуковим приладом “Бетон-32” вимірювали час розповсюдження ультразвуку з постійною базою 120 мм(для поверхневого прозвучування) у двох взаємно паралельних напрямках.

– при наскрізному прозвучуванні на робочі поверхні приймаючих блоків приладу наносили контактне мастило (діагель,технічний вазелін або салідол), для кращого контакту приймаючих блоків із поверхнею кубів або з/б плит.

При вимірюванні часу поширення ультразвуку способом поверхневого прозвучування ультразвукові перетворювачі встановлюють на одній стороні зразка або, конструкції [19].

Час поширення ультразвуку в зразках при встановленні градуєвальної залежності "час - міцність" вимірюють способом поверхневого прозвучування.

Мінімальна база прозвучування повинна бути не меншою ніж 120 мм (для поверхневого прозвучування) [19].





Рисунок 11 – Випробування кубів та залізобетонних плит способом поверхневого прозвучування



Рисунок 12 – База прозвучування поверхневим способом

Час поширення ультразвуку в зразках при встановленні градуювальної залежності "швидкість - міцність" вимірюють способом наскрізного прозвучування. База прозвучування повинна бути не меншою ніж 100 мм. Допускається базу прозвучування зменшити до 70 мм при проведенні контролю дрібнозернистих бетонів і бетону на ранніх стадіях тверднення (швидкість ультразвуку менше ніж 2000 м/с) [19].

При вимірюванні часу поширення ультразвуку способом наскрізного прозвучування ультразвукові перетворювачі встановлюють з протилежних сторін зразка або конструкції.

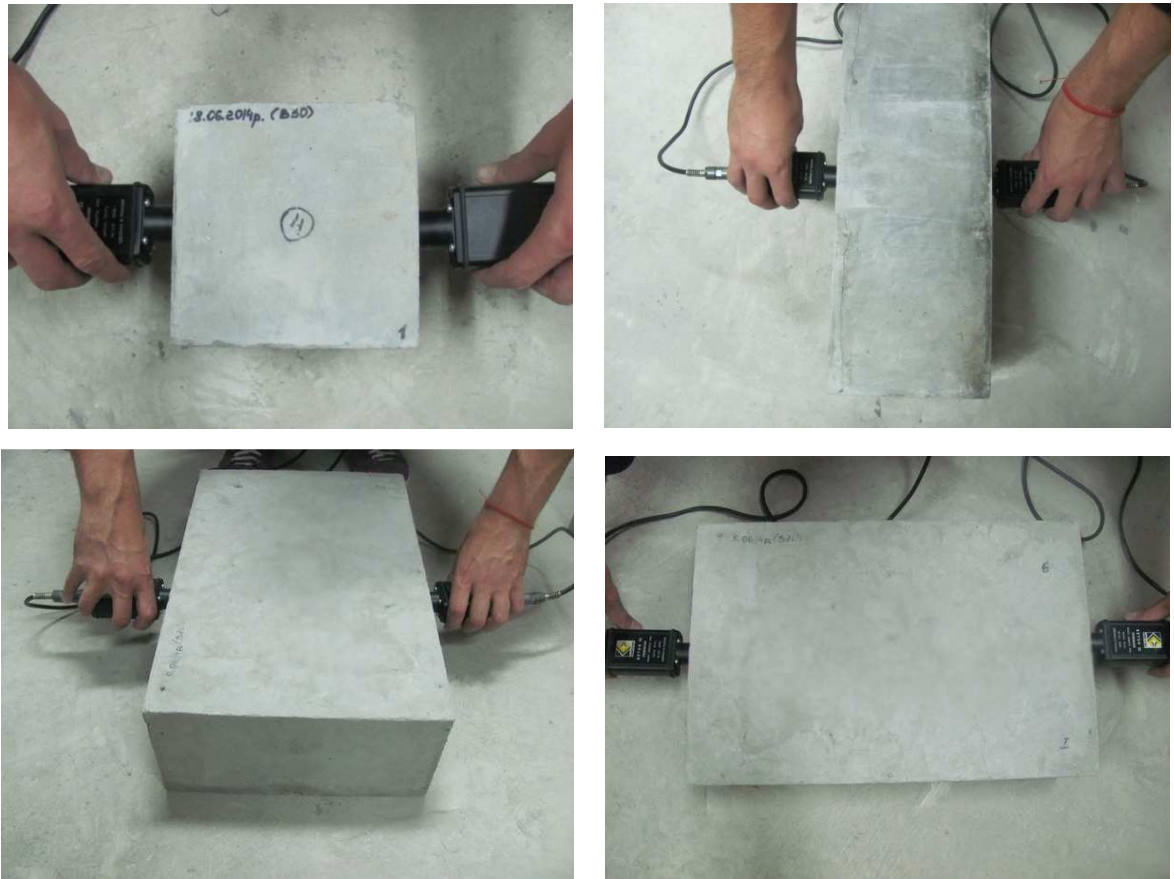


Рисунок 13 – Випробування кубів та залізобетонних плит способом наскрізного прозвучування

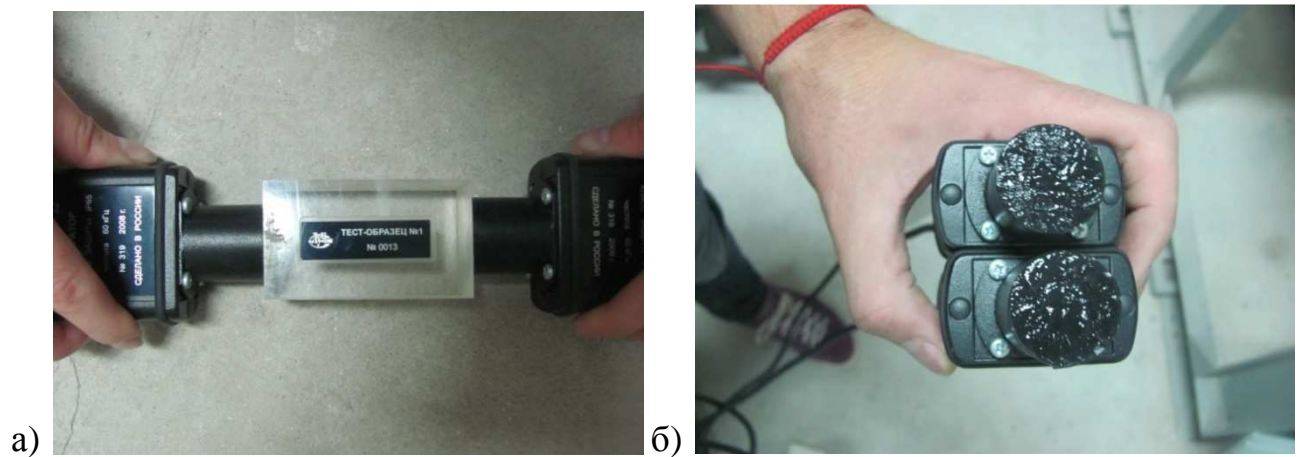


Рисунок 14 – а) тест-зразок прозвучування наскрізним способом контролю, б) контактне мастило для наскрізного прозвучування

Виконання робіт з визначення характеристик міцності ультразвуковим неруйнівним методом регламентує ДСТУ Б В.2.7-2262009; "Ультразвуковий метод визначення міцності" [19].

Ультразвуковим методом досліджуються конструкційні (важкий, легкий, дрібнозернистий та ін.) бетони збірних і монолітно-бетонних і залізобетонних виробів, конструкцій та споруд. Характеристичне визначення міцності бетону на стиск здійснюється в діапазоні від 10 МПа до 50 МПа, у тому числі в процесі тверднення бетонів у теплових установках або в природних умовах.

Сутність ультразвукового методу в тому, що він заснований на зв'язку між швидкістю поширення ультразвукових коливань у бетоні та його міцністю [19].

Ультразвуковий метод застосовують для визначення відпускнуї, передатної, міцності бетону в установленому нормативно-технічною і проектною документацією проміжному і проектному віці, у процесі тверднення, а також при експертному контролі [19,21].

Міцність бетону визначають на ділянках конструкцій, які не мають видимих ушкоджень (відшарування захисного шару, тріщин, каверн тощо). Ультразвукові випробування проводять при додатній температурі бетону. Допускається проведення ультразвукових випробувань конструкцій при від'ємній температурі бетону, але не нижче ніж мінус 10°C за умови, що в процесі подальшого збереження відносна вологість повітря не перевищує 70 %.

Ультразвукові вимірювання проводять тільки сертифікованими приладами для вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні, що пройшли державні випробування згідно з ДСТУ 3400, або державну метрологічну атестацію згідно з ДСТУ 3215. [35] Межа допустимої абсолютної похибки вимірювань часу поширення ультразвуку на стандартних зразках, що входять у комплект приладу, не повинна перевищувати значення:

$$\Delta = \pm (0,01T + 0,1),$$

де,  $T$  - час поширення ультразвуку, мкс.

При підготовці до випробувань ультразвуковим методом необхідне установлення градуювальних залежностей відповідно до обраного способу прозвучування, (поверхневий чи наскрізний). Градуювальну залежність "швидкість-міцність" встановлюють при випробуваннях конструкцій способом наскрізного прозвучування.

Градувальну залежність "час - міцність" установлюють при випробуваннях конструкцій способом поверхневого прозвучування [19,32].

Основною функцією приладу, Бетон-32 використаного при обстеженні кубів та з/б плит, є визначення характеристик міцності бетонних конструкцій за допомогою використання градувальних залежностей між швидкістю (або часом проходження) ультразвуку.

У базі використаного пристрою не передбачені градувальні залежності. Для застосування приладу "Бетон-32" при проведенні вимірювань на будівельному майданчику або при обстеженні конструкцій з метою швидкого визначення міцності бетону по виміряним значенням часу проходження ультразвуку, необхідно використовувати заздалегідь встановлені градувальні залежності відповідно бетонним конструкціям різного віку і складу.

Градувальні залежності встановлюються відповідно до розділу 3 ДСТУ Б В.2.7-2262009 і використовуються за умови, що виміряне значення швидкості (або часу проходження) ультразвуку знаходиться в межах між найменшим і найбільшим значеннями швидкості (часу проходження) ультразвуку в зразках, випробуваних при побудові градувальної залежності [19].

При випробуваннях конструкцій способом поверхневого прозвучування допускається використовувати градувальну залежність "швидкість - міцність" з урахуванням коефіцієнта переходу який визначається за певним додатком.

Градувальну залежність установлюють за результатами ультразвукових вимірювань у бетонних зразках-кубах і випробувань тих же зразків на стиск, які проводять безпосередньо після ультразвукових вимірювань.

При встановленні градувальної залежності для визначення міцності бетону в процесі природного тверднення строк випробувань зразків необхідно вибирати з такого параметричного ряду: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 діб. Зразки випробовують не менше ніж у трьох положеннях, один із яких є проектним. У кожному положенні випробовують не менше чотирьох серій зразків [19,32].

Фізичною основою ультразвукового методу визначення параметрів міцності бетонних конструкцій служить зв'язок між міцністю бетону, з якого вони

виготовлені, та швидкістю поширення в ньому поздовжніх ультразвукових коливань (УЗК).

Визначення швидкості УЗК визначається за допомогою вимірювання часу поширення за матеріалом короткого механічного коливання ультразвукової частоти, певним імпульсом, від одного ультразвукового перетворювача (випромінювача), збуджуючого це коливання в матеріалі до іншого (приймача), розташованого від випромінювача на деякій відстані - базою прозвучування.

При вимірі часу  $t$  поширення ультразвукового імпульсу в мікросекундах (мкс), а бази прозвучування,  $L$  в міліметрах швидкість УЗК ( $v$ ) у м/с, визначається за формулою:

$$v = \frac{L}{T} \cdot 10^3$$

де,

$T$ - час проходження ультразвуку, мкс;

$L$ - відстань між центрами установки перетворювачів (база прозвучування), мм.

Для введення в матеріал і прийому УЗК використовуються перетворювачі, основою яких є елементи, матеріал яких володіє п'єзоелектричним ефектом.

Градувальну залежність установлюють за одиничними значеннями швидкості (часу) ультразвуку і міцності бетону. За одиничне значення міцності бетону приймають середню міцність бетону в серії зразків, визначену згідно з ДСТУ Б В.2.7-214 [34]. За одиничне значення швидкості (часу) ультразвуку приймають середнє арифметичне значення цих величин у серії зразків, які використовували для визначення одиничного значення міцності[19].

#### **2.4.2 Випробування зразків кубів руйнівним методом на пресі**

Для дослідження кубів трьох серій руйнівним методом, був використаний прес, що пройшов державну метрологічну перевірку. В даному експерименті це прес П-250, який знаходиться в лабораторії “ТернопільБуд”.

Робочі поверхні плит преса та зразка перед установкою ретельно очищали та протирали. На встановленій плиті преса була заздалегідь зроблена розмітка, яка вказувала центральне розміщення куба, на яку, і власне, ставився куб. Зразок встановлювали так, щоб напрям навантаження був паралельним шарам укладання бетонної суміші, тобто догори бічною гранню.

Увімкнувши прес, зразок рівномірно навантажували зі швидкістю  $(0,6 \pm 0,21)$  МПа/сек. до повного руйнування. Руйнівне навантаження фіксувалося та записувалося в журнал випробувань. Розташування та руйнування кубів зображене на (рис. 15).



а) б) в)

Рисунок 15 – Випробування зразків кубів на пресі

- а) правильне розташування куба на пресі; б) куб під час навантаження;  
в) куб після руйнування

## Висновки до розділу 2

1. Розроблено та апробовано програму і методику експериментальних досліджень міцності бетону різних класів із застосуванням ультразвукового методу неруйнівного контролю, та руйнівного методу на стиск.
2. Проведено експериментальні дослідження різних класів бетону на основі ультразвукового методу неруйнівного контролю з паралельним випробуванням руйнівного методу на стиск.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УЛЬТРАЗВУКОВИМ МЕТОДОМ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

#### 3.1 Числові дані досліджень ультразвуковим методом

У даній роботі подані результати експериментальних досліджень трьох серій зразків. Згідно методики експериментальних досліджень, ультразвуковим методом досліджувалися III серії зразків бетону: I серія – бетон класу C8/10 (B10), II серія C16/20 (B20), III серія C25/30 (B30).

Кожна досліджувана серія зразків складалася з шести кубів розмірами 150×150×150 мм та однієї залізобетонної плити розмірами 150×300×450 мм. Куби і плити були виготовленні із кожного класу бетону.

Умовні позначення кубів та з/б плит подані на рис. 16.

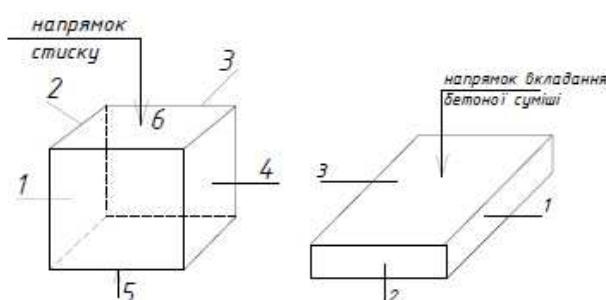


Рисунок 16 – Умовні позначення кубів та плит

де, 1-6 для кубів,(поверхневе) та 1-3 для плит-(наскрізне) - грані дослідження

Числові дані досліджень ультразвуковим методом подані в таблицях 4-15

Таблиця 4 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку кубів I серії

№ куба	Грань 1, мкс	Грань 2, мкс	Грань 3, мкс	Грань 4, мкс	Грань 5, мкс	Грань 6, мкс	Середнє значення, мкс
К-1.1	46,34	47,27	47,37	46,29	46,77	47,02	46,84
К-1.2	45,80	44,76	45,50	46,19	45,47	46,53	45,64
К-1.3	45,89	46,27	45,93	46,77	46,83	46,40	46,34
К-1.4	45,27	44,67	45,23	44,87	45,13	46,07	45,20
К-1.5	43,90	44,80	43,57	44,00	44,40	45,16	44,31
К-1.6	44,83	45,10	46,03	45,90	45,73	46,61	45,70

Таблиця 5 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку плити П-1

П-1 № сторони	Квадрат № 1, мкс	Квадрат № 2, мкс	Квадрат № 3, мкс	Квадрат № 4, мкс	Квадрат № 5, мкс	Квадрат № 6, мкс	Середнє значення мкс,
1	49,50	49,58	48,74	48,89	47,92	49,62	48,68
2	46,34	44,83	45,80	45,27	43,90	45,89	44,76

Таблиця 6 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку кубів І серії

№ куба	Грані 1-3, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 2-4, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 5-6, м/с·10 <sup>-3</sup>			Середнє зн-ня, м/с
	база,мм	час,мкс	ш-сть,м/с	база	час	ш-сть	база	час	ш-сть	
К-1.1	150	39,10	3,836	150	37,94	3,943	150	39,27	3,819	3,874
К-1.2	150	39,74	3,774	150	39,28	3,818	150	38,49	3,902	3,831
К-1.3	150	40,57	3,697	150	39,93	3,756	150	40,07	3,743	3,732
К-1.4	150	39,52	3,795	150	38,90	3,815	150	41,19	3,690	3,758
К-1.5	150	37,93	3,954	150	37,65	3,984	150	38,26	3,920	3,952
К-1.6	150	39,24	3,822	150	40,81	3,678	150	40,58	3,696	3,742

Таблиця 7 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку плити П-1

П-1 база, мм	Квадрат №1, м/·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №2, м/·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №3, м/·10 <sup>-3</sup>		Середнє зн-ня, м/с
	час,мкс	ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	
150	39,70	3,778	38,20	3,926	38,50	3,896	3,866
300	76,12	3,941	79,00	3,792	77,80	3,856	3,863
450	116,63	3,858	115,00	3,901	114,30	3,937	3,898

Таблиця 8 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку кубів ІІ серії

№ куба	Грань 1, мкс	Грань 2, мкс	Грань 3, мкс	Грань 4, мкс	Грань 5, мкс	Грань 6, мкс	Середнє значення, мкс
К-2.1	37,86	35,46	36,40	36,43	35,67	36,23	36,17
К-2.2	37,20	36,17	36,47	36,57	36,30	37,23	36,65
К-2.3	39,58	39,43	38,63	39,23	38,83	39,11	38,81
К-2.4	37,53	36,47	36,20	37,03	36,77	36,70	36,78
К-2.5	38,97	39,10	38,17	38,07	38,20	39,42	38,66
К-2.6	38,61	37,73	37,43	38,10	37,93	38,14	37,92

Таблиця 9 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку з/б плити П-2

П-2 № сторони	Квадрат № 1, мкс	Квадрат № 2, мкс	Квадрат № 3, мкс	Квадрат № 4, мкс	Квадрат № 5, мкс	Квадрат № 6, мкс	Середнє значення, мкс
1	43,26	40,69	41,23	42,55	41,93	42,78	42,07
2	38,61	37,53	38,97	37,20	39,58	37,86	38,20



Таблиця 10 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку кубів II серії

№ куба	Грані 1-3, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 2-4, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 5-6, м/с·10 <sup>-3</sup>			Середнє зн-ня, м/с
	база,мм	час,мкс	ш-сть,м/с	база	час	ш-сть	база	час	ш-сть	
К-2.1	150	39,10	4,087	150	37,94	4,021	150	39,27	4,155	4,087
К-2.2	150	39,74	3,942	150	39,28	4,100	150	38,49	4,043	4,028
К-2.3	150	40,57	4,237	150	39,93	4,273	150	40,07	4,201	4,239
К-2.4	150	39,52	4,132	150	38,90	4,166	150	41,19	4,213	4,170
К-2.5	150	37,93	4,192	150	37,65	4,242	150	38,26	4,132	4,188
К-2.6	150	39,24	4,098	150	40,81	4,237	150	40,58	4,155	4,163

Таблиця 11 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку плити П-2

П-2 база, мм	Квадрат №1, м/с·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №1, м/с·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №1, м/с·10 <sup>-3</sup>		Середнє з-ня, м/с
	час,мкс	Ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	
150	39,70	4,132	38,20	4,178	38,50	4,098	4,136
300	76,12	3,980	79,00	4,037	77,80	3,963	3,993
450	116,63	4,034	115,00	4,058	114,30	4,014	4,035

Таблиця 12 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку кубів III серії

№ куба	Грань 1, мкс	Грань 2, мкс	Грань 3, мкс	Грань 4, мкс	Грань 5, мкс	Грань 6, мкс	Середнє значення, мкс
К-3.1	32,03	31,17	31,30	32,19	30,94	31,18	31,56
К-3.2	31,42	30,59	31,33	31,27	30,93	30,53	30,83
К-3.3	31,33	30,97	31,07	30,43	29,54	30,60	29,93
К-3.4	32,68	31,63	32,77	31,96	32,83	32,74	32,13
К-3.5	32,05	30,77	31,07	31,03	31,67	30,57	31,44
К-3.6	33,38	32,09	32,19	33,06	33,24	32,78	32,76

Таблиця 13 – Результати досліджень поверхневого ультразвуку плити П-3

П-3 № сторони	Квадрат № 1, мкс	Квадрат № 2, мкс	Квадрат № 3, мкс	Квадрат № 4, мкс	Квадрат № 5, мкс	Квадрат № 6, мкс	Середнє значення, мкс
1	34,32	35,36	36,14	34,57	35,74	36,56	35,48
2	31,42	32,05	33,34	31,33	32,68	33,38	32,20

Таблиця 14 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку кубів III серії

№ куба	Грані 1-3, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 2-4, м/с·10 <sup>-3</sup>			Грані 5-6, м/с·10 <sup>-3</sup>			Середнє зн-ня, м/с
	база,мм	час,мкс	ш-сть,м/с	база	час	ш-сть	база	час	ш-сть	
К-3.1	150	39,10	4,745	150	37,94	4,669	150	39,27	4,752	4,722
К-3.2	150	39,74	4,711	150	39,28	4,597	150	38,49	4,697	4,668
К-3.3	150	40,57	4,441	150	39,93	4,373	150	40,07	4,488	4,434
К-3.4	150	39,52	4,427	150	38,90	4,352	150	41,19	4,440	4,406
К-3.5	150	37,93	4,568	150	37,65	4,504	150	38,26	4,591	4,554
К-3.6	150	39,24	4,796	150	40,81	4,649	150	40,58	4,619	4,705

Таблиця 15 – Результати досліджень наскрізного ультразвуку плити П-3

П-3 база, мм	Квадрат №1, м/с·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №2, м/с·10 <sup>-3</sup>		Квадрат №3, м/с·10 <sup>-3</sup>		Середнє значення, м/с
	час,мкс	Ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	час,мкс	ш-сть,м/с	
150	39,70	4,385	38,20	4,359	38,50	4,437	4,393
300	76,12	4,347	79,00	4,366	77,80	4,392	4,368
450	116,63	4,512	115,00	4,548	114,30	4,554	4,329

### 3.2 Статистична обробка результатів експериментальних досліджень

#### 3.2.1 Обробка результатів експериментальних досліджень I серії зразків, неруйнівним поверхневим ультразвуковим методом контролю

Виконується статистична обробка згідно методики теорії ймовірностей та математичної статистики [37].

Поверхневим ультразвуковим методом досліджено 6 кубів, по 5 результатів на кожному зразку, та з/б плити 6 результатів загалом 36 результатів зразків I серії. Отримані результати подані в (табл. 16). При цьому мінімальне значення часу проходження ультразвуку склало – 43,56мкс; максимальне значення – 47,37 мкс. Тоді від максимального значення часу поширення ультразвуку потрібно відняти мінімальне, отримавши різницю часу, ми ділили її на 10, і отримали часовий проміжок 0,38.

$$t_i^I = t_{\max} - t_{\min} = 47,37 - 43,57 = 3,8 / 10 = 0,38$$

Для отримання результатів часових проміжкових інтервалів потрібно часовий проміжок 0,38 додати до мінімального значення часу проходження ультразвуку.

Таблиця 16 – Отримані часові проміжки результатів зразків I серії

№ інтервалу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Часові проміжки $i, мкс$	43,57	43,95	44,33	44,71	45,09	45,47	45,85	46,23	46,61	46,99
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	43,95	44,33	44,71	45,09	45,47	45,85	46,23	46,61	46,99	47,37
К-сть результатів в проміжку $\bar{n}_i$	2	1	2	4	6	3	6	6	3	3

Обчислюємо вибіркоче середнє значення  $\sigma_g^I$  зразків кубів та плит, а також вибіркочу дисперсію  $D_g$  та вибіркоче середнє квадратичне відхилення  $\sigma_g$ . Для цього знаходимо середини даних інтервалів і приймаємо їх за варіанти. Одержаний розподіл вибірки представлено в (табл. 17).

Таблиця 17 – Отримані результати розподілу вибірки зразків I серії

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{t}_i$	43,76	44,14	44,52	44,90	45,28	45,66	46,04	46,42	46,80	47,18
$n_i$	2	1	2	4	6	3	6	6	3	3

У таблиці прийняті такі умовні позначення :

$\bar{t}_i$  – середнє значення у  $i$  проміжку,

$n_i$  – кількість результатів в проміжку.

Оскільки варіанти рівновіддалені, то перейдемо до умовних варіантів  $u_i$ . Нехай  $C=45,28$  (варіант 45,28 розміщений у середині варіаційного ряду). Згідно з вихідними даними експеременту  $h=0,38$ , кількість вибірки  $n=36$ .

Умовні варіанти обчислюємо за формулою:

$$u_i = \frac{x_i - C}{h} = \frac{x_i - 45,28}{0,38},$$

Статистичну обробку експериментальних даних ультразвукового методу проводимо в табличній формі (табл. 18).

Таблиця 18 – Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків I серії

$t_i^I$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i+1)^2$
43,76	2	-4	-8	32	18
44,14	1	-3	-3	9	4
44,52	2	-2	-4	8	2
44,90	4	-1	-4	4	0
45,28	6	0	0	0	6
45,66	3	1	3	3	12

46,04	6	2	12	24	54
46,42	6	3	18	54	96
46,8	3	4	12	48	75
47,18	3	5	15	75	108
	36		41	257	375

Статистичну обробку виконуємо за методикою наведеною у [37].

Для контролю обчислень скористаємось тотожністю:

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n;$$

В даному випадку:

$$\sum_{i=1}^{10} n_i \cdot (u_i + 1)^2 = 375;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 257 + 2 \cdot 41 + 36 = 375.$$

Отже, тотожність справджується.

Обчислимо середній умовний варіант  $u_B$ :

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i = \frac{1}{36} \cdot 41 = 1,13.$$

Вибіркова дисперсія  $D_B(U)$ :

$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{36} \cdot 257 - 1,13^2 = 5,86$$

Знаходимо вибіркове значення:

$$\sigma_g^I = h \cdot u_B + C = 0,38 \cdot 1,13 + 45,28 = 45,709 \text{ мкс.}$$

Вибіркова дисперсія  $D_B(X)$ :

$$D_B(X) = h^2 \cdot D_B(U) = 0,38^2 \cdot 5,86 = 0,85.$$

Вибіркове середнє квадратичне відхилення визначаємо як квадратний корінь із вибіркової дисперсії, який становить:

$$\sigma_B(X) = \sqrt{0,85} = 0,93.$$

Остаточні результати експериментальних досліджень поверхневим ультразвуковим методом після статистичної обробки наводимо у табличні форми (табл. 19).

Таблиця 19 – Результати досліджень після статистичної обробки I серії

Серія, номер і грань куба, та з/б плити	$\sigma_e^I \pm \sigma_e(x)$ ( від 44,77 до 46,63), мкс	Міцність $\sigma$ , МПа
П-1.1	46.34	19.332
П-1.2	45.80	21.527
П-1.3	45.89	20.437
П-1.4	45.27	22.197
П-1.6	44.83	18.352
К-1.3.2	46.27	20.437
К-1.5.2	44.80	20.026
К-1.6.2	45.10	18.352
К-1.2.3	45.50	21.527
К-1.3.3	45.93	20.437
К-1.4.3	45.23	22.197
К-1.6.3	46.03	18.352
К-1.1.4	46.29	19.332
К-1.2.4	46.19	21.527
К-1.4.4	44.87	22.197
К-1.6.4	45.90	18.352
К-1.2.5	45.47	21.527
К-1.4.5	45.13	22.197
К-1.6.5	45.73	18.352
К-1.2.6	46,53	21.527
К-1.3.6	46,40	20.437
К-1.4.6	46,07	22.197
К-1.5.6	45,16	20.026
К-1.6.6	46,61	18.352

### 3.2.2 Обробка результатів експериментальних досліджень II серії зразків

Аналогічно проводимо статистичну обробку результатів експериментальних досліджень неруйнівним поверхневим ультразвуковим методом контролю зразків кубів для II і III серії за вище наведеною методикою [37].

$$t_i^{II} = t_{\max} - t_{\min} = 39,58 - 35,46 = 4,12 / 10 = 0,412$$

Таблиця 20 – Отримані результати зразків II серії

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Часові проміжки $i, мкс$	35,460	35,872	36,284	36,696	37,108	37,520	37,932	38,344	38,756	39,168
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	35,872	36,284	36,696	37,108	37,520	37,932	38,344	38,756	39,168	39,580
К-сть результатів в проміжку $n_i$	2	3	6	4	3	3	5	2	4	4

Таблиця 21 – Отримані результати розподілу вибірки зразків II серії

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{t}_i$	35,666	36,078	36,490	36,902	37,314	37,726	38,138	38,550	38,962	39,374
$n_i$	2	3	6	4	3	3	5	2	4	4

Таблиця 22– Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків II серії

$t_i^u$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i+1)^2$
35,666	2	-4	-8	32	18
36,078	3	-3	-9	27	12
36,49	6	-2	-12	24	6
36,902	4	-1	-4	4	0
37,314	3	0	0	0	3
37,726	3	1	3	3	12
38,138	5	2	10	20	45
38,550	2	3	6	18	32
38,962	4	4	16	64	100
39,374	4	5	20	100	144
	36		22	292	372

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n;$$

$$\sum n_i (u_i + 1)^2 = 372;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 292 + 2 \cdot 44 + 36 = 372.$$

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i = \frac{1}{36} \cdot 22 = 0,61.$$

$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{36} \cdot 292 - 0,61^2 = 7,74$$

$$\sigma'_e = 0,61 \cdot 0,412 + 37,314 = 37,514 + 0,25 = 37,76; \text{ мкс}$$

$$D_B(X) = h^2 \cdot D_B(U) = 7,74 \cdot 0,169 = 1,3.$$

$$\sigma_e(X) = \sqrt{1,3} = 1,14.$$

Остаточні результати експериментальних досліджень поверхневим ультразвуковим методом після статистичної обробки наводимо у табличні формі (табл. 23).

Таблиця 23 – Результати досліджень після статистичної обробки II серії

Серія, номер і грань куба та з/б плити	$\sigma'_e \pm \sigma_e(x)$ (від 36,62 до 38,90), мкс	Міцність $\sigma$ , МПа
П-2.1	37,86	23,126
П-2.2	37,20	22,370
П-2.4	37,53	22,220
П-2.6	38,61	22,227
К-2.6.2	37,73	22,227
К-2.3.3	38,63	22,890
К-2.5.3	38,17	22,617
К-2.6.3	37,43	22,227
К-2.4.4	37,03	22,220
К-2.5.4	38,07	22,617
К-2.6.4	38,10	22,227
К-2.3.5	38,83	22,890
К-2.4.5	36,77	22,220
К-2.5.5	38,20	22,617
К-2.6.5	37,93	22,227
К-2.2.6	37,23	22,370
К-2.4.6	36,70	22,220
К-2.6.6	38,14	22,227

### 3.2.3 Обробка результатів експериментальних досліджень III серії зразків

$$t_i^{III} = t_{\max} - t_{\min} = 33,38 - 29,54 = 3,84 / 10 = 0,384$$

Таблиця 24 – Отримані результати зразків III серії

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Часові проміжки $i, мкс$	29,54	29,924	30,308	30,692	31,076	31,46	31,844	32,288	32,612	32,996
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,924	30,308	30,692	31,076	31,46	31,844	32,288	32,612	32,996	33,38
К-сть результ. проміжку $n_i$	1	0	5	7	7	2	6	0	5	3

Таблиця 25 – Отримані результати розподілу вибірки зразків III серії

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{t}_i$	29,732	30,116	30,50	31,019	31,268	31,652	32,066	32,45	32,804	33,138
$n_i$	1	0	5	7	7	2	6	0	5	3

Таблиця 26 – Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків III серії

$t_i'''$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i + 1)^2$
29,732	1	-4	-4	16	9
30,116	0	-3	0	0	0
30,5	5	-2	-10	20	5
31,019	7	-0.64	-4.53	2.94	0.86
31,268	7	0	0	0	7
31,652	2	1	2	2	8
32,066	6	2.07	12.46	25.91	56.84
32,45	0	3.07	0	0	0
32,804	5	4	20	80	125
33,138	3	4.86	14.60	71.14	103.36
	n=36		30.53	217.99	315.07

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n$$

$$\sum n_i (u_i + 1)^2 = 315,07;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 217,99 + 2 \cdot 30,53 + 36 = 315,07.$$

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i = \frac{1}{36} \cdot 30,53 = 0,86.$$



$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{36} \cdot 217,99 - 0,86^2 = 5,32$$

$$\sigma_e^I = 0,86 \cdot 0,384 + 31,268 = 31,268 + 0,33 = 31,598; \text{ мкс}$$

$$D_B(X) = 5,32 \cdot 0,14 = 0,74;$$

$$\sigma_B(X) = \sqrt{0,74} = 0,86.$$

Таблиця 27 – Результати досліджень після статистичної обробки III серії

Серія, номер і грань куба та з/б плити	$\sigma_e^I \pm \sigma_e(x)$ (від 30,73 до 32,45), мкс	Міцність $\sigma$ , МПа
П-3.1	32,03	49.712
П-3.2	31,42	51.775
П-3.3	31,33	54.139
П-3.5	32,05	53.890
К-3.1.2	31,17	49.712
К-3.3.2	30,97	54.139
К-3.4.2	31,63	49.247
К-3.5.2	30,77	53.890
К-3.6.2	32,09	49.434
К-3.1.3	31,30	49.712
К-3.2.3	31,33	51.775
К-3.3.3	31,07	54.139
К-3.5.3	31,07	53.890
К-3.6.3	32,19	49.434
К-3.1.4	32,19	49.712
К-3.2.4	31,27	51.775
К-3.4.4	31,96	49.247
К-3.5.4	31,03	53.890
К-3.1.5	30,94	49.712
К-3.2.5	30,93	51.775
К-3.5.5	31,67	53.890
К-3.1.6	31,18	49.712

### 3.2.4 Обробка результатів експериментальних досліджень I серії зразків неруйнівним наскрізним ультразвуковим методом контролю

Виконується статистична обробка згідно методики теорії ймовірностей та математичної статистики [37].

Наскрізним ультразвуковим методом досліджено 6 кубів, по 3 результати на кожному зразку та з/б плити 9 результатів. Загалом 27 результатів зразків кубів та плити I серії.

Отримані результати подані в (табл. 28), при цьому мінімальне значення швидкості проходження ультразвуку склало – 3,678м/с; максимальне значення – 3,984 м/с. Тоді від максимального значення часу поширення ультразвуку потрібно відняти мінімальне, отримавши різницю швидкості, ми ділили її на 10, і отримали часовий проміжок 0,0306. Тобто:

$$v_i^I = v_{\max} - v_{\min} = 3,984 - 3,678 = 0,306 / 10 = 0,0306$$

Таблиця 28 – Отримані результати зразків I серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шв-сть.	3,678	3,7086	3,7392	3,7698	3,8004	3,831	3,8616	3,8922	3,9228	3,9534
Проход.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Хвилі	3,7086	3,7392	3,7698	3,8004	3,831	3,8616	3,8922	3,9228	3,9534	3,984
$v_i, \text{м/с}$										
К-сть результ. в проміжку $n_i$	4	0	2	4	4	3	0	4	4	2

Обчислюємо вибіркоче середнє значення  $\sigma_s^I$  зразків кубів та з/б плит, а також вибіркочув дисперсію  $D_s$  та вибіркоче середнє квадратичне відхилення  $\sigma_s$ . Для цього знаходимо середини даних інтервалів і приймаємо їх за варіанти. Одержаний розподіл вибірки представлено в (табл. 29).

Таблиці 29 – Отримані результати розподілу вибірки зразків I серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{v}_i$	3,6933	3,7239	3,7545	3,7851	3,8157	3,8463	3,8769	3,9075	3,9381	3,9687
$n_i$	4	0	2	4	4	3	0	4	4	2

У таблиці прийняті такі умовні позначення:

$\bar{v}_i$  — середнє значення у  $v_i$  проміжку;

$n_i$  — кількість результатів в проміжку.

Оскільки варіанти рівновіддалені, то перейдемо до умовних варіант  $u_i$ . Нехай  $C=3,8157$  (варіант 3,8157 розміщений у середині варіаційного ряду). Згідно з вихідними даними експерименту  $h=0,0306$ , об'єм вибірки  $n=27$ .

Умовні варіанти обчислимо за формулою:

$$u_i = \frac{\bar{v}_i - C}{h} = \frac{\bar{v}_i - 3,8157}{0,0306}$$

Для спрощення обчислень складемо розрахункову таблицю 30.

Таблиця 30 – Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків I серії

$\bar{v}_i$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i+1)^2$
3,6933	4	-4	-16	64	36
3,7239	0	-3	0	0	0
3,7545	2	-2	-4	8	2
3,7851	4	-1	-4	4	0
3,8157	4	0	0	0	4
3,8463	3	1	3	3	12
3,8769	0	2	0	0	0
3,9075	4	3	12	36	64
3,9381	4	4	16	64	100
3,9687	2	5	10	50	72
	27		17	229	290

Статистичну обробку виконуємо за методикою наведеною у [37]:

Для контролю обчислень скористаємось тотожністю:

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n;$$

В даному випадку:

$$\sum_{i=1}^5 n_i \cdot (u_i + 1)^2 = 290;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 229 + 2 \cdot 17 + 27 = 290.$$

Обчислимо середній умовний варіант  $u_B$ :

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i = \frac{1}{27} \cdot 17 = 0,629.$$

Вибіркова дисперсія  $D_B(U)$ :

$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{27} \cdot 229 - 0,629^2 = 8,085.$$

Знаходимо вибіркоче значення:

$$\sigma'_\epsilon = h \cdot u_B + C = 0,0306 \cdot 0,629 + 3,8157 = 3,834 \text{ м/с.}$$

Вибіркова дисперсія  $D_B(X)$ :

$$D_B(X) = h^2 \cdot D_B(U) = 0,0306^2 \cdot 8,085 = 0,007.$$

Вибіркове середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_B(X) = \sqrt{0,007} = 0,083.$$

Таблиця 31 – Результати досліджень після статистичної обробки I серії

Серія номер і грань куба та з/б плити	$\sigma'_\epsilon \pm \sigma'_\epsilon(x)$ (від 3,751 до 3,917) м/с	Міцність $\sigma$ , мПа
К-1.1.1-3	3,836	19.332
К-1.1.5-6	3,819	19.332
К-1.2.1-3	3,774	21.527
К-1.2.2-4	3,818	21.527
К-1.2.5-6	3,902	21.527
К-1.3.2-4	3,756	20.437
К-1.4.1-3	3,795	22.197
К-1.4.2-4	3,815	22.197
К-1.6.1-3	3,822	18.352
П-1.1	3,778	20.429
П-1.3	3,896	19.189
П-1.2	3,792	21.317
П-1.3	3,896	19.189
П-1.1	3,858	20.429
П-1.2	3,901	21.317

### 3.2.5 Обробка результатів експериментальних досліджень II серії зразків

Аналогічно проводимо статистичну обробка результатів експериментальних досліджень неруйнівним наскрізним ультразвуковим методом

контролю зразків кубів та з/б плит для II серії за вище наведеною методикою.  
[37]

$$v_i'' = v_{\max} - v_{\min} = 4,273 - 3,942 = 0,331/10 = 0,0331$$

Таблиця 32 – Отримані результати зразків II серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шв-сть. Проход. хвилі $v_i$	3,942 - 3,9751	3,9751 - 4,0082	4,0082 - 4,0413	4,0413 - 4,0744	4,0744 - 4,1075	4,1075 - 4,1406	4,1406 - 4,1737	4,1737 - 4,2068	4,2068 - 4,2399	4,2399 - 4,273
К-сть результ. в проміжку $n_i$	2	1	4	2	4	3	3	3	3	2

Таблиця 33 – Отримані результати розподілу вибірки зразків II серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{v}_i$	3,9585	3,9916	4,0247	4,0578	4,0909	4,124	4,1571	4,1902	4,2233	4,2564
$n_i$	2	1	4	2	4	3	3	3	3	2

Таблиця 34 – Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків II серії

$v_i''$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i+1)^2$
3,9585	2	-4	-8	32	18
3,9916	1	-3	-3	9	4
4,0247	4	-2	-8	16	4
4,0578	2	-1	-2	2	0
4,0909	4	0	0	0	4
4,124	3	1	3	3	12
4,1571	3	2	6	12	27
4,1902	3	3	9	27	48
4,2233	3	4	12	48	75
4,2564	2	5	10	50	72
	27		19	199	264

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n;$$

$$\sum_{i=1}^{10} n_i \cdot (u_i + 1)^2 = 264;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 199 + 2 \cdot 19 + 27 = 264.$$

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i = \frac{1}{27} \cdot 19 = 0,703.$$

$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{27} \cdot 199 - 0,703^2 = 6,876.$$

$$\sigma_\sigma^I = h \cdot u_B + C = 0,0331 \cdot 0,703 + 4,0909 = 4,116.$$

$$D_B(X) = h^2 \cdot D_B(U) = 0,0331^2 \cdot 6,876 = 0,009.$$

Вибіркове середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_B(X) = \sqrt{0,009} = 0,094.$$

Остаточні результати експериментальних досліджень наскрізним ультразвуковим методом після статистичної обробки наводимо у табличні форми (табл. 35).

Таблиця 35 – Результати досліджень після статистичної обробки II серії

Серія номер і грань куба та з/б плити	Результати наскрізного ультразвуку в інтервалі $\sigma_\sigma^I \pm \sigma_\sigma(x)$ від 4,022 до 4,210	Міцність $\sigma$ , мПа
К-2.1.1-3	4,087	23,126
К-2.1.5-6	4,155	23,126
К-2.2.2-4	4,100	22,370
К-2.2.5-6	4,043	22,370
К-2.3.5-6	4,201	22,89
К-2.4.1-3	4,132	22,220
К-2.4.2-4	4,166	22,220
К-2.5.1-3	4,192	22,617
К-2.5.4-6	4,132	22,617
К-2.6.1-3	4,098	22,227
К-2.6.4-6	4,155	22,227
П-2.1	4,132	22,748
П-2.2	4,178	22,555
П-2.3	4,098	22,422
П-2.2	4,037	22,555
П-2.1	4,034	22,748
П-2.2	4,058	22,555

### 3.2.6 Обробка результатів експериментальних досліджень III серії зразків

Аналогічно проводимо статистичну обробку результатів експериментальних досліджень неруйнівним наскрізним ультразвуковим методом контролю зразків кубів та з/б плит для III серії за методикою [37].

$$v_i^{III} = v_{\max} - v_{\min} = 4,796 - 4,319 = 0,477 / 10 = 0,0477$$

Таблиця 36 – Отримані результати зразків III серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шв-сть.	4,319	4,3667	4,4144	4,4621	4,5098	4,5575	4,6052	4,6529	4,7006	4,7483
Проход.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
хвили	4,3667	4,4144	4,4621	4,5098	4,5575	4,6052	4,6529	4,7006	4,7483	4,796
К-сть результ. в проміжку $v_i$	3	4	4	1	4	3	2	2	2	2

Таблиця 37 – Отримані результати розподілу вибірки зразків III серії

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{v}_i$	4,3428	4,3905	4,4382	4,4859	4,5336	4,5813	4,629	4,6767	4,7244	4,7721
$n_i$	3	4	4	1	4	3	2	2	2	2

Таблиця 38 – Розрахункова таблиця умовних варіантів зразків III серії

$v_i^{III}$	$n_i$	$u_i$	$n_i \cdot u_i$	$n_i \cdot u_i^2$	$n_i(u_i+1)^2$
4,3428	2	-4	-12	48	27
4,3905	4	-3	-12	36	16
4,4382	4	-2	-8	16	4
4,4859	1	-1	-1	1	0
4,5336	4	0	0	0	4
4,5813	3	1	3	3	12
4,629	2	2	4	8	18
4,6767	2	3	6	18	32
4,7244	2	4	8	32	50
4,7721	2	5	10	50	72
	27		-2	212	235

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n;$$

$$\sum_{i=1}^{10} n_i \cdot (u_i + 1)^2 = 235;$$

$$\sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k n_i \cdot u_i + n = 212 + 2 \cdot (-2) + 27 = 235.$$

$$u_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 n_i \cdot u_i = \frac{1}{27} \cdot (-2) = -0,074.$$

$$D_B(U) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \cdot u_i^2 - (u_B)^2 = \frac{1}{27} \cdot 212 - (-0,074)^2 = 7,846.$$

$$\sigma_g^I = h \cdot u_B + C = 0,0477 \cdot (-0,074) + 4,5336 = 4,530.$$

$$D_B(X) = h^2 \cdot D_B(U) = 0,0477^2 \cdot 7,846 = 0,017.$$

$$\sigma_B(X) = \sqrt{0,017} = 0,130.$$

Остаточні результати експериментальних досліджень наскрізним ультразвуковим методом після статистичної обробки наводимо у табличні форми (табл. 39).

Таблиця 39 – Результати досліджень після статистичної обробки II серії

Серія, номер і грань куба та з/б плити	$\sigma_g^I \pm \sigma_g(x)$ (від 4,400 до 4,666), м/с	Міцність $\sigma$ , мПа
К-3.2.2-4	4,597	51.775
К-3.3.1-3	4,441	54.139
К-3.3.5-6	4,488	54.139
К-3.4.1-3	4,427	49.247
К-3.4.5-6	4,440	49.247
К-3.5.1-3	4,568	53.890
К-3.5.2-4	4,504	53.890
К-3.5.5-6	4,440	53.890
К-3.6.2-4	4,649	49.434
К-3.6.5-6	4,619	49.434
П-3.3	4,437	51.662
П-3.1	4,512	50.743
П-3.2	4,548	51.693
П-3.3	4,554	51.662



### 3.2.7 Обробка результатів експериментальних досліджень випробуваних зразків руйнівним методом на пресі П-250

Результати експериментальних досліджень кубів руйнівним методом на пресі представлені в (таб. 40).

Таблиця 40 – Покази пресу П-250 при випробуванні кубів трьох серій

№ серії	Марки	Площа, см <sup>2</sup>	Зусилля Р, кН	Зусилля, N, т
I	К-1.1	222	429,188	43.750
	К-1.2	225	484,369	49.375
	К-1.3	222	453,713	46.250
	К-1.4	226,5	502,763	51.250
	К-1.5	223,5	447,581	45.625
	К-1.6	220,5	404,663	41.250
II	К-2.1	228	527,288	53.750
	К-2.2	222	496,631	50.625
	К-2.3	225	515,025	52.500
	К-2.4	223,5	496,631	50.632
	К-2.5	225	508,894	51.875
	К-2.6	222	493,443	50.300
III	К-3.1	222	1103,625	112.500
	К-3.2	225	1164,938	118.750
	К-3.3	226,5	1226,250	125.000
	К-3.4	223,5	1100,682	112.200
	К-3.5	228	1228,703	125.250
	К-3.6	223,5	1104,851	112.625

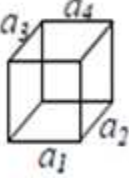
Випробуванню підлягають 6 кубів I серії з розміром граней 150 мм. Оскільки фактичні розміри кубів відрізняються від номінальних, то виконують фактичні заміри розмірів граней, які прилягають до плит пресу(табл. Аналогічно виконують заміри для II та III серії кубів

Випробування виконуються за такими умовами:

- на гранях кубів не повинно бути мастила.
- плити преса зачищають від залишків попередніх випробувань.
- зразки центрують за діагоналями, нанесеними на нижній плиті преса.
- масштаб шкали преса обирається так, щоб руйнуюча сила була в межах 0,2...0,8 від максимального навантаження преса.

– напруження (зусилля преса) повинно зростати безперервно зі швидкістю  $(0,6 \pm 0,21)$  МПа/сек.

Таблиця 41 – Фактичні розміри граней I серії

Ескіз зразка	№ зразка	Фактичні розміри граней, мм				Площа граней, см <sup>2</sup>		
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1 \times a_2$	$a_3 \times a_4$	серед.
	1	148,9	148,9	149,1	149,1	221,7	222,3	222
	2	149,9	149,8	150,2	150,1	224,5	225,5	225
	3	148,8	148,9	149,1	149,2	221,5	222,5	222
	4	150,5	150,2	150,7	150,6	226	227	226,5
	5	149,6	149,8	149,4	149,3	224	223	223,5
	6	148,3	148,4	148,7	148,7	220	221	220,5

Результати випробувань кубів I серії представлені в (табл. 42)

Таблиця 42 – Результати випробувань кубів I серії

№ серії	Марка зразка	Площа поперечного перерізу, А, см <sup>2</sup>	Руйнівне, навантаження, Nu, кН	Міцність, $\sigma$ МПа	Середня міцність, Rm, МПа
I	K-1.1	222	429,188	19,333	20,312
	K-1.2	225	484,369	21,528	
	K-1.3	222	453,713	20,438	
	K-1.4	226,5	502,763	22,197	
	K-1.5	223,5	447,581	20,026	
	K-1.6	220,5	404,663	18,352	

Проводимо обробку результатів випробувань кубів, згідно методики: “Міцність кубів при руйнівному навантаженні” [36].

Розмах значень міцності бетону:

$$W_{cj} = R_{j \max} - R_{j \min} = 22,197 - 18,352 = 3,845 \text{ МПа.}$$

Середнє квадратичне відхилення, для шести зразків.

$$S_m = W_{cj} / d = 3,845 / 2,5 = 1,538 \text{ МПа.}$$

$d = 2,5$ :

Коефіцієнт варіації:

$$V = S_m / f_m = 1,538 / 20,312 = 0,076.$$

Гарантована міцність бетону з коефіцієнтами забезпечення  $g = 0,95$ :

$$f_{ck, cube} = f_m (1 - 1,64V) = 20,312 \cdot (1 - 1,64 \cdot 0,076) = 17,78 \text{ МПа.}$$

Таблиця 43 – Результати випробувань кубів II серії

№ серії	Марка зразка	Площа поперечного перерізу, А, см <sup>2</sup>	Руйнівне навантаження, Nu кН	Міцність, $\sigma$ МПа	Середня міцність, Rm, МПа
II	К-2.1	228	527,288	23,127	22,575
	К-2.2	222	496,631	22,371	
	К-2.3	225	515,025	22,89	
	К-2.4	223,5	496,631	22,221	
	К-2.5	225	508,894	22,618	
	К-2.6	222	493,443	22,227	

Проводимо обробку результатів випробувань кубів II та III серії за вищенаведеною методикою: [36].

$$W_{cj} = R_{j \max} - R_{j \min} = 23,127 - 22,221 = 0,926 \text{ МПа.}$$

$$S_m = W_{cj} / d = 0,926 / 2,5 = 0,362 \text{ МПа.}$$

$$V = S_m / f_m = 0,362 / 22,575 = 0,016.$$

$$f_{ck, cube} = f_m (1 - 1,64V) = 22,575 \cdot (1 - 1,64 \cdot 0,016) = 21,98 \text{ МПа.}$$

Таблиця 44 – Результати випробувань кубів III серії

№ серії	Марка зразка	Площа перерізу, см <sup>2</sup>	Руйнівне навантаження, Nu кН	Міцність, $\sigma$ , МПа	Середня міцність, Rm МПа
III	К-3.1	222	1103,625	49,713	51,366
	К-3.2	225	1164,938	51,775	
	К-3.3	226,5	1226,250	54,139	
	К-3.4	223,5	1100,682	49,248	
	К-3.5	228	1228,703	53,89	
	К-3.6	223,5	1104,851	49,434	

$$W_{cj} = R_{j \max} - R_{j \min} = 54,139 - 49,248 = 4,891 \text{ МПа.}$$

$$S_m = W_{cj} / d = 4,891 / 2,5 = 1,956 \text{ МПа.}$$

$$V = S_m / f_m = 1,956 / 51,366 = 0,038.$$

$$f_{ck, cube} = f_m (1 - 1,64V) = 51,366 \cdot (1 - 1,64 \cdot 0,038) = 48,16 \text{ МПа.}$$

### 3.3 Побудова градуовальної залежності, та оцінка похибки визначення міцності поверхневого ультразвуку

Градуовальні залежності потрібно встановлювати у вигляді графіка, побудованого за рівнянням, що приймають:

$$f_{\max} - f_{\min} \leq 2f_{m(N)}(60 - f_{m(N)})/100;$$

при

$$f_{m(N)} = \frac{20.31 + 22.57 + 51.36}{3} = 31.42$$

$$t_{m(N)} = \frac{45.70 + 37.76 + 31.6}{3} = 38.35$$

Оскільки,  $f_{\max} - f_{\min} = 51.37 - 20.31 = 31.06$  більше ніж  $2 \cdot 31,42 \frac{60 - 31,42}{100} = 17,95$

градуовальну залежність потрібно виконувати експоненціального виду

$$f_x = b_0 e^{b_1 x}$$

Будуємо градуовальну залежність ( $f_m^{exp}$ ) за рівнянням  $y = 325.02e^{-0.63x}$ , достовірність апроксимації якої становить  $R^2 = 0.7767$ .

Таким чином, була отримана експоненціальна залежність  $y = 325,02e^{-0,063x}$  між міцністю бетону і середнім часом проходження ультразвукової хвилі через досліджувані зразки кубів та з/б плит.

Оскільки за градуовальною залежністю експоненціального виду отримана похибка достовірності експериментальних результатів, яка становить  $R^2 = 22.3\%$ , тому дане наше дослідження розбиваємо на два діапазони і апроксимуємо проміжки лінійними залежностями.

Лінійні залежності цих діапазонів запишемо у вигляді рівнянь :

$$1) y = -4.67x + 198.93;$$

$$2) y = -0.28x + 33.32$$

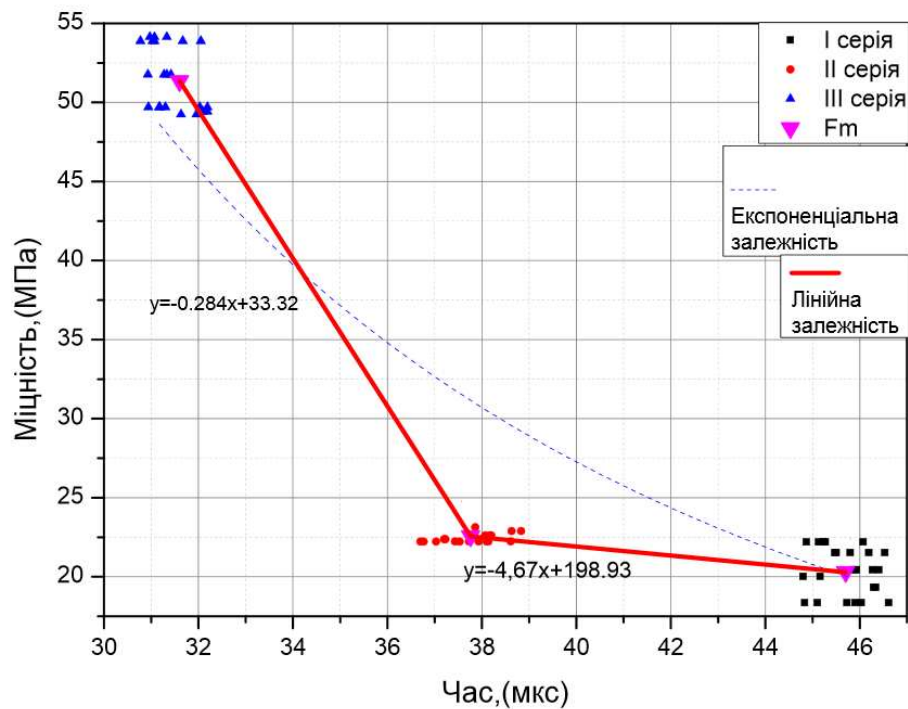


Рисунок 17 – Середні значення міцності ( $f_m$ ) трьох серій бетону та лінійна залежність

### 3.4 Побудова градувальної залежності, та оцінка похибки визначення міцності наскрізного ультразвуку

Градувальні залежності потрібно встановлювати у вигляді графіка, побудованого за рівнянням, що приймають:

$$f_{\max} - f_{\min} \leq 2f_{m(N)}(60 - f_{m(N)})/100;$$

при

$$f_{m(N)} = \frac{20.31 + 22.57 + 51.36}{3} = 31.42$$

$$v_{m(N)} = \frac{3.834 + 4.116 + 4.530}{3} = 4.16$$

Оскільки,  $f_{\max} - f_{\min} = 51.37 - 20.31 = 31.06 \text{ МПа}$  більше ніж  $2 \cdot 31,42 \frac{60 - 31,42}{100} = 17,95 \text{ МПа}$ , то рівняння залежності, приймаєм експотенціальним:

$$f_x = b_0 e^{b_1 x}$$

Будуємо градувальну залежність ( $f_m^{exp}$ ) за рівнянням  $y = 3.602e^{0.004x}$ , достовірність апроксимації становить  $R^2 = 0.89$ . Графік експоненціального виду подано на рисунку 18.

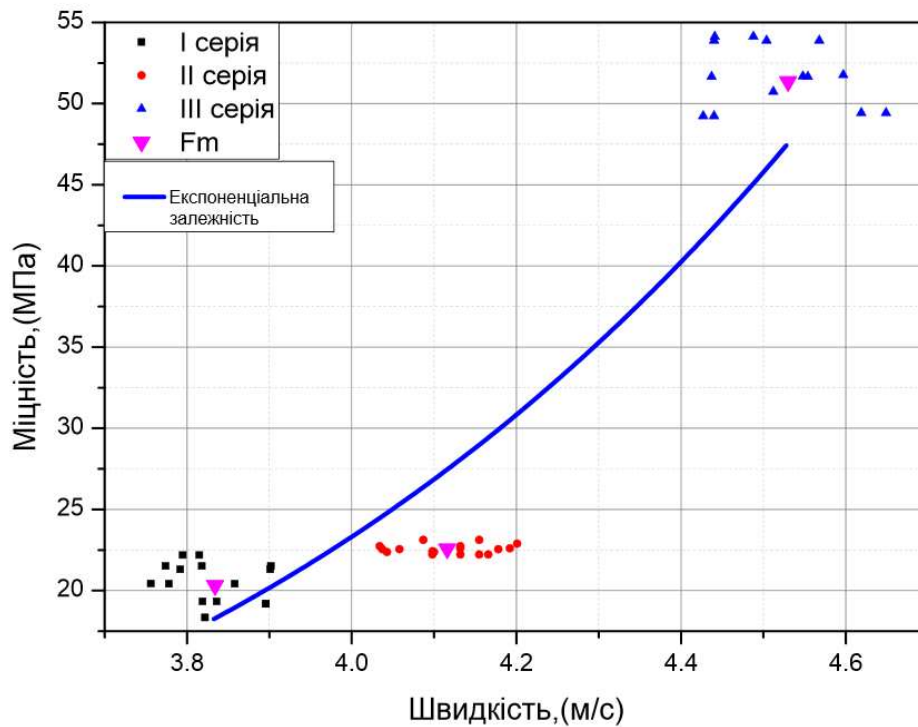


Рисунок 18 – Середні значення міцності ( $f_m$ ) трьох серій бетону та експоненціальна залежність ( $f_m^{exp}$ ) швидкості ультразвуку

Таким чином, була отримана експоненціальна залежність  $y = 3,602e^{0,004x}$  між міцністю бетону і середньою швидкістю проходження ультразвукової хвилі через досліджувані зразки кубів та з/б плит. За градувальною залежністю експоненціального виду отримана похибка достовірності експериментальних результатів яка становить  $R^2 = 11\%$ .

### Висновки до розділу 3

1. Отримані результати експериментальних досліджень поверхневого та наскрізного прозвучування ультразвукового неруйнівного методу, і руйнівного методу на стиск, та виконана їх статистична обробка.
2. За результатами експериментальних досліджень були побудовані градуовальні залежності, які дозволяють визначити міцність бетонів проміжних класів. Величина достовірності результатів апроксимації при цьому склала  $R^2 = 0,887$ .
3. Методи неруйнівного контролю дають достовірні дані, що можуть застосовуватись при встановленні міцності бетону конструкцій, які знаходяться на стадії експлуатації та не можуть бути досліджені в лабораторних умовах.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Охорона праці

##### 4.1.1 Безпека праці в Україні. Основні законодавчі та нормативно-правові акти про охорону праці

В основі всіх нормативно-правових актів про охорону праці в Україні лежить Конституція України.

Згідно з Законом України “ Про охорону праці ” (далі – Законом) (ст.4) визначені основні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності:

- пріоритет життя і здоров’я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань та інші.

Іншим важливим законом в галузі охорони праці є Кодекс законів про працю, що регулює трудові відносини між працівником і роботодавцем. Відповідно до даного Кодексу права працівників на охорону праці під час трудової діяльності охороняються всебічно.

На сьогодні в Україні існує велика кількість нормативно-правових актів з охорони праці. До них відносяться, згідно зі ст. 27 Закону: правила, норми, положення, стандарти, регламенти, інструкції та інші документи, обов’язкові до виконання. Зазначимо, що вище сказані нормативно-правові акти повинні регулярно переглядатися – не рідше одного разу на десять років.



До нормативно-правових актів, що діють, наприклад, в будівництві, включають:

- нормативно-правові акти, що поширюються на декілька видів економічної діяльності;
- нормативно-правові акти, що поширюються на будівництво;
- нормативно-правові акти, що поширюються на вироблення електроенергії, газу, тепла;
- охорона надр.

Крім вище наведених нормативно-правових актів охорона праці в будівництві регламентована державними будівельними нормами – ДБН, основними з яких є:

- ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва;
- ДБН А.3.2-2-2009. ССБТ. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення;
- ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки.

Згідно із ст.13 Закону роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а також зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення цих вимог. У свою чергу працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей, проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди (ст.14). Працівник несе особисту відповідальність за порушення зазначених вимог.

Достойна праця – безпечна праця. Міжнародний досвід засвідчує, що вдосконалення законів в охороні праці та методів забезпечення безпеки праці, боротьба з травматизмом, крім гуманістичного характеру, має ще й чітко виражений економічний аспект. Безпека праці виступає одним із важливих

факторів, які забезпечують високу продуктивність праці та безпосередньо впливає на підвищення ефективності виробництва.

#### **4.1.2 Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії будівельних матеріалів, виробів і конструкцій ГНТУ ім. І Пулюя**

Правила з охорони праці і техніки безпеки пов'язанні з особливостями роботи в лабораторії та спрямовані на попередження небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Основні вимоги під час роботи в лабораторії та правила техніки безпеки такі:

- студенти допускаються до роботи в лабораторії тільки після інструктажу з техніки безпеки, що підтверджується підписом студента і викладача, що проводив інструктаж в спеціальному журналі. Студенти, які пройшли інструктаж повинні строго дотримуватися правил техніки безпеки;
- робота студентів в лабораторії дозволяється в години, відведені за розкладом, а також в додатковий час, узгоджений з викладачем під наглядом викладача;
- працювати в лабораторії потрібно тільки в халатах та рукавицях. Без спецодягу працювати студенту не дозволяється;
- в приміщенні лабораторії зберігати порядок та чистоту;
- не допускається загроможувати вхід (вихід) будь-якими предметами, матеріалами чи обладнанням;
- не дозволяється покидати робоче місце під час проведення досліду та залишати без нагляду увімкненні прилади та обладнання;
- ручний інструмент (молотки, гайкові ключі, плоскогубці, викрутки) використовувати тільки за призначенням;
- при роботі з бетонозмішувачем:
  - 1) перед початком роботи обов'язково перевірити справність заземлення;
  - 2) забороняється вивантажувати бетонну суміш з барабану на ходу;

- 3) після закінчення роботи бетонозмішувач відключити від електромережі, а барабан – очистити від залишків бетонної суміші ( воду із цементним розчином забороняється виливати в побутову каналізацію);
- після роботи розкласти всі інструменти та прилади по своїх місцях, виключити все електрообладнання, прибрати робоче місце, очистити від пилу та бруду спецодяг та винести будівельне сміття.

#### **4.1.3 Електробезпека при роботі з бетономішалкою**

Порушення правил техніки безпеки при використанні технологічного обладнання, електроустановок та безпосередній контакт з струмовідвідними частинами обладнання, що знаходяться під напругою, створює небезпеку ураження електричним струмом. Під час роботи з електроустановками потрібно дотримуватись вимог НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Бетономішалка є обладнанням підвищеної небезпеки. Користуючись бетономішалкою, щоб не наражатися на небезпеку ураження струмом, травми або виникнення пожежі, слід суворо дотримуватися таких основних правил техніки безпеки:

- перед включенням слід перевірити, чи відповідає напруга живлення бетономішалки мережевій напрузі, справність кабелю, вилки і розетки, в разі несправності цих частин подальша експлуатація забороняється;
- при роботі з бетономішалкою у вологих місцях обов'язково використовувати гумові рукавиці та спеціальне взуття;
- забороняється працювати з бетономішалкою під час дощу, вода, що потрапила в бетономішалку, значно підвищує ризик ураження струмом;
- електрошнур бетономішалки потрібно тримати подалі від високої температури, масляних рідин, гострих граней або рухомих частин, забороняється тягнути за шнур при витягуванні вилки з розетки;

- при використанні бетономішалки поза приміщенням потрібно використовувати спеціальні електроподовжувачі.

#### **4.1.4 Вплив цементу і цементного пилу на організм людини**

Бетон – найпоширеніший штучний будівельний матеріал, який за своїм складом абсолютно не шкідливий для здоров'я людини. Але цемент, що слугує в'язучим компонентом бетону, негативно впливає на організм людини. Шкідлива дія цементу – виникає, в першу чергу, під час виробництва даного неорганічного в'язучого на цементних заводах, а також під час приготування бетонної суміші на спеціалізованих підприємствах або безпосередньо на будівельному майданчику.

До складу цементу зазвичай входять домішки, які являють собою різні хімічні сполуки, що і визначають, в значній мірі, шкідливу дію на організм людини. При роботі з цементом завжди виникає пил, що піднімається в повітря. Пил проникає в організм людини з повітрям. Подразнюючи слизову оболонку дихальних шляхів, цементний пил викликає біль, сухість в носі і горлі, у людини з'являється кашель. При тривалій подразнюючій дії пилу слизова оболонка дихальних шляхів поступово тоншає, стає сухою і втрачає здатність затримувати пил. Цементний пил при попаданні в бронхи викликає зміну легеневої тканини, що, у свою чергу, приводить до необоротних функціональних змін легенів – пневмоконіозу.

Дія пилу на шкірний покрив зводиться в основному до механічного подразнення. Внаслідок чого виникає невелике свербіння, неприємне відчуття, може з'явитися почервоніння і деяка припухлість шкірного покриву, що свідчить про запальний процес.

Пилінки можуть проникати в пори потових і сальних залоз, закупорюючи їх і тим самим ускладнюючи їх функції. Це призводить до сухості шкірного покриву, іноді з'являються тріщини, висипи. Мікроби, що потрапили разом з пилом, можуть розвиватися в закупорених протоках сальних залоз, викликаючи

гнійні захворювання. Закупорювання потових залоз пилом в умовах гарячого цеху сприяє зменшенню потовиділення і тим самим ускладнює терморегуляцію.

Пил цементу, осідаючи на слизовій оболонці очей, подразнює її, викликає слезотечу і свербіж. При довготривалій дії пилу може розвинутися запальний процес слизових оболонок - кон'юнктивіт, який виражається в почервонінні, слезотечі, іноді припухлості і нагноєнні. У важких випадках може ушкодитись рогівка ока.

Цементний пил вважається канцерогенною речовиною і може викликати рак горла. Дослідження показали, що у робітників, зайнятих на виробництві цементу і в будівельній індустрії, зазвичай підвищена захворюваність раком горла.

Проаналізувавши все вище сказане, однозначно, існує шкода цементу і цементного пилу на здоров'я людини. Щоб зменшити негативний вплив цементного пилу на організм людини, потрібно дотримуватися таких основних заходів з техніки безпеки:

- рекомендується працювати в спеціальному захисному одязі, рукавицях, окулярах та респіраторях;
- виробничі цехи мають бути обладнані пиловловлюючими пристроями, потужною вентиляцією, а також має проводитись щоденне вологе прибирання;
- працівники цементного виробництва повинні проходити регулярне медичне обстеження;
- рекомендовано в домашніх умовах проводити тепло-вологі інгаляції розчину солі, соди і масляні інгаляції;
- щоб зменшити шкідливий вплив на шкіру, очі та горло, після роботи необхідно приймати теплий душ з милом, промивати очі та ополіскувати горло.

## **4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.2.1 Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у воєнний час**

Підвищення стійкості роботи об'єктів народного господарства, зокрема підприємств будівельної галузі, у воєнний час – одна із основних задач цивільної оборони України. Могутність країни базується на стійкій економіці. В сучасних умовах, коли науково-технічний прогрес у всіх сферах виробництва досяг небачених масштабів і привів до створення зброї масового ураження, в разі розгортання великомасштабної війни основні промислові центри і райони будуть головною ціллю для знищення зі сторони противника. Адже виведення економіки з ладу може призвести до того, що країна не зможе стояти на оборонні своїх кордонів та підтримувати життєдіяльність населення. На сьогодні, через бойові дії на сході України (Війни на Донбасі), проблема підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі стоїть як ніколи гостро.

Будівництво – найбільш матеріалоємна галузь народного господарства, яка призначена для введення в дію нових, а також реконструкції, розширення, ремонту і технічного переозброєння діючих об'єктів виробничого та невиробничого призначення. Воно виконує важливі соціально-економічні функції, пов'язані із забезпеченням якості життя населення та інфраструктурного облаштування територій населених пунктів.

Будівельне підприємство - це підприємство, яке діє в сфері будівництва і здійснює наукові, експериментальні, вишукувальні та проектні роботи, видобуток сировинних ресурсів і їх переробку, виготовлення матеріалів, виробів і конструкцій, зведення всіх видів будівель і споруд, транспортне обслуговування. Діяльність будівельних підприємств забезпечується наявністю в їх розпорядженні необхідних ресурсів: людських, фінансових, матеріальних, енергетичних, за допомогою яких створюється продукція. Одним з основних показників виробничо-господарської діяльності будівельного підприємства є продукція

будівельного підприємства - це матеріальні цінності, створені в результаті діяльності будівельного підприємства. Продукція може ставитися до категорії «кінцевої» (закінчені і здані в експлуатацію будівлі і споруди) або до «проміжної» - виробу підприємств будіндустрії, окремі види робіт, частини будівель і ін.

Будівництво як галузь економіки бере участь у створенні основних фондів (будівель та споруд) для всіх галузей національного господарства, тобто створює умови для виробничого процесу. Вона є своєрідним локомотивом економіки і здатна впливати як на розвиток супутніх будівництву виробництв, так і на всі інші сторони життєдіяльності суспільства, в тому числі і соціальні. Тому досить важливо підвищувати стійкість роботи підприємств будівельної галузі.

Під стійкістю роботи підприємств будівельної галузі розуміють їх здатність за умов дії надзвичайних ситуацій виробляти продукцію в запланованих обсязі та номенклатурі, а при одержанні слабких чи середніх руйнувань чи порушенні постачання сировини відновлювати своє виробництво в мінімально короткі терміни. Щоб забезпечити нормальну роботу під час війни промислових об'єктів будівництва, скоротити можливі матеріальні втрати, необхідно ще в мирний час виконати великий комплекс різних заходів, які забезпечили б їхнє функціонування. Ці заходи спрямовані на зниження можливих втрат і руйнувань від сучасних засобів ураження і створення умов для нормальної роботи підприємств як у воєнний, так і в мирний час.

На стійкість роботи об'єктів будівництва впливають такі фактори:

- надійність захисту робітників від дії вражаючих факторів, що виникають під час надзвичайних ситуацій;
- здатність будівельного комплексу протистояти дії вражаючих факторів;
- надійність систем постачання об'єкта сировинною для виробництва певного виду продукції;
- стійкість системи управління виробництвом та цивільною обороною в надзвичайних ситуаціях;
- готовність об'єкта до проведення рятувальних дій або робіт по відновленню виробництва;

- захищеність об'єкта від дії вторинних вражаючих факторів.

При вирішенні проблеми підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі, а також інших об'єктів народного господарства, керуються єдиними принциповими положеннями:

- завчасне проведення заходів цивільного захисту, спрямованих на зниження можливих втрат та руйнувань у разі застосування збоку противника зброї масового ураження і на створення умов для швидкого відновлення виробництва після часткового руйнування;
- комплексний підхід в розробці і здійсненні заходів для всіх напрямків діяльності підприємства;
- узгодження цих заходів з територіальними і військовими органами управління.

Заходи з підвищення стійкості плануються з урахуванням місцевих умов, ступеня важливості об'єкта, його географічного положення, економічної доцільності проведення заходів. На мирний час планують, в основному, трудомісткі заходи, які потребують значних матеріальних витрат і часу, а на період загрози виникнення НС – такі заходи, які не потребують значних затрат часу чи проведення яких не є доцільним при нормальному функціонуванні. Також при проведенні заходів з ЦЗ потрібно враховувати і внутрішні фактори, що впливають на стійкість: розмір виробництва, виду продукції, що випускається, чисельність працівників, рівень їх дисциплінованості і компетентності, особливості технології виробництва, системи постачання виробництва сировиною, технічною і питною водою, газо- та електроенергією.

З урахуванням розглянутих вище факторів виділяють такі основні шляхи і способи підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі:

- забезпечення надійного захисту робітників і службовців:
  - 1) укриття робітників і службовців, які продовжують роботу на об'єкті у воєнний час;
  - 2) проведення евакуації робітників, службовців і членів їх сімей та забезпечення їх життєдіяльності;



- 3) використання індивідуальних засобів захисту;
  - захист основних виробничих фондів об'єкта від поразки:
    - 1) підвищення певною мірою опірності будівель, споруд впливу ударної хвилі, світлового випромінювання;
    - 2) укриття найбільш уразливого обладнання в захисних пристроях (шатрах, камерах, конусах і ін.);
  - 3) часткову зміну технології виробництва;
  - 4) вивезення в безпечні райони надлишків горючих речовин;
    - забезпечення сталого постачання об'єкта всім необхідним для виробництва:
      - 1) підвищення надійності роботи транспорту;
      - 2) підготовка паливно-енергетичного господарства до роботи у воєнний час;
      - 3) підготовка обладнання для роботи на кількох видах палива;
      - 4) розосередження запасів найбільш уразливого обладнання, приладів, сировини;
    - 5) встановлення виробничих контактів з дублерами постачальниками, необхідних для безперебійної роботи об'єкта;
      - підвищення надійності та оперативності управління виробництвом:
        - 1) створення об'єктового і заміського пункту управління;
        - 2) прокладка підземних кабельних ліній зв'язку до всіх елементів об'єкта;
        - 3) створення оперативних змін управління для основного і заміського пунктів управління;
      - підготовка до виконання робіт по відновленню об'єкта у воєнний час:
        - 1) планування відновлювальних робіт за кількома варіантами;
        - 2) підготовка ремонтних бригад;
        - 3) створення необхідного запасу матеріалів і обладнання, надійний його захист;
        - 4) створення страхового фонду технічної документації.

Кожен шлях містить кілька способів підвищення стійкості роботи підприємства, які, в свою чергу, містять кілька заходів ЦЗ або доповнюються ними. Наведені вище шляхи підвищення стійкості підприємств будівельної галузі

реалізуються за допомогою затверджених норм з ЦЗ прийнятих і обов'язкових до виконання для всіх об'єктів усіх галузей виробництва не залежно від форм власності і підпорядкування. Норми ЦЗ призначені для:

- захисту і зниження ймовірних втрат серед населення;
- зменшення рівня руйнувань основних фондів виробництва;
- підвищення стійкості роботи об'єкта і галузей виробництва;
- забезпечення умов для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- розробки плану проведення рятувальних робіт в осередках ураження в повному обсязі та в максимально короткі терміни.

Контроль за виконанням вимог згаданих норм покладається на Управління та відділи з питань надзвичайних ситуацій.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Виконання заходів із охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при проведенні будь яких робіт в сфері будівництва є запорукою збереження життя та здоров'я особи, що виконує ці роботи.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Огляд літературних джерел показує, що різними авторами виконано значну кількість експериментальних та теоретичних досліджень, обстеження та діагностики стану будівельних конструкцій методами неруйнівного контролю, ці методи є новими та перспективними і потребують подальшого широкого впровадження та додаткового вивчення.
2. Розроблено та апробовано програму і методику експериментальних досліджень міцності бетону різних класів із застосуванням ультразвукового методу неруйнівного контролю, та руйнівного методу на стиск.
3. Проведено експериментальні дослідження різних класів бетону на основі ультразвукового методу неруйнівного контролю з паралельним випробуванням їх руйнівним методом на стиск.
4. Отримані результати експериментальних досліджень поверхневого та наскрізного прозвучування ультразвукового неруйнівного методу, і руйнівного методу на стиск, та виконана їх статистична обробка.
5. За результатами експериментальних досліджень були побудовані градувальні залежності, які дозволяють визначити міцність бетонів проміжних класів. Величина достовірності результатів апроксимації при цьому склала  $R^2 = 0,887$ .
6. Методи неруйнівного контролю дають достовірні дані, що можуть застосовуватись при встановленні міцності бетону конструкцій, які знаходяться на стадії експлуатації та не можуть бути досліджені в лабораторних умовах.

**БІБЛІОГРАФІЯ:**

1. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. – 56 с.
2. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення: ДСТУ 3008-95, – К., Держстандарт України 1995. – 39 с. – (Національний стандарт України).
3. ДСТУ Б А.2.4-4:2009 Система проектної документації для будівництва, Основні вимоги до проектної та робочої документації. Київ Мінрегіонбуд України 2009.-70 с.
4. ДСТУ БВ.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Київ., 2011.
5. ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення».
6. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій. – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 16 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Бетони ультразвуковий метод визначення міцності
8. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.
9. СТО 36554501-009-2007. Бетони. Ультразвуковою метод определения прочности.
10. В.В. Сухоруков - Неруйнівний контроль. “Ультразвуковий контроль”.
11. В.В. Клюев - Неруйнівний контроль. Довідник в 7-ми томах. Том 3 “Ультразвуковий контроль”
12. ДСТУ Б В.2.6-4-95 Конструкції будинків і споруд. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару та розташування арматури. – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 1995. – 20 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.

14. А.И.Кравцов ультразвуковой контроль прочности бетона. Оренбург 2000.-ст.27
15. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
16. Е.А.Власова, А.В.Улыбин, Д.С.Сапегин; Методика определения градуировочной зависимости между прочностью бетона и скоростью распространения ультразвуковых колебаний 2006 .- 9 с.
17. Гладишев Г.М., Гладишев Д.Г.; Методика визначення міцності бетону та глибини тріщиноутворень у залізобетонні. 2012.-8 с.
18. Улыбин А.В. «О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений».
19. П. В. Ясній, О. М. Якубишин, Д. І. Дубіжанський; Оцінювання міцності і технічного стану залізобетонних конструкцій ультразвуковим методом .
20. Зубков В.А. Определение прочности бетона: Учебное пособие. Москва, 1998, - 120с.,
21. О.М. Пшінько, В.П. Лисняк, А.М. Зінкевич: Порівняння результатів неруйнівного контролю міцності бетону, отриманих декількома способами.
22. ДСТУ 3215-95 Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення
23. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. -М.: Статистика, 1977р. – 369 с.
24. Коревицкая М.Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций :Учебное пособие для ПТУ.-М.:Высш. Шк.,1989.-79 с.,ил.
25. Скрамтаев Б.Г., Лещинский М.Ю. Испытание прочности бетона в образцах ,изделиях и сооружениях .-М.: Издательство литературы по строительству.,1969.- 176 с.:ил.
26. Джонс Р.,Гетфилд Е. Ультразвуковой импульсный метод испытания бетона.-М.:Промстройиздат ,1957.-80 с.:ил.
27. Джонс Р.,Фэкзоару И.Неразрушающие методы испытания бетонов.-М.: Стройиздат,1974.-292 с.:ил.

28. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві.
29. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях - Методичні рекомендації (Турченко Т.В.)
30. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності (теоретичні основи): Навчальний посібник. - Кам'янець-Подільський: Буйницький О.А., 2008. - 108 с.
31. В.Г. Атаманюк, Л.Г. Ширгі, Н.І. Акімов. Цивільна оборона: Підручник для вузів / Под ред. Д.І. Михайлика. - М.: Вища школа, 1986. - 207 с.
32. ДСТУ Б 6.2.6.2-95 Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови.
33. Ясній П.В. Дослідження міцності бетону неруйнівними методами контролю / П.В. Ясній, О.П. Конончук, О.М. Якубишин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 32. – С. 296 – 303.
34. Конончук О.П. Дослідження товщини захисного шару та діаметру арматури магнітним методом // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. пр. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – Вип. 5. – С. 240 – 247.
35. Конончук О.П. Дослідження товщини захисного шару арматури магнітним методом / О.П. Конончук, Т.М. Кривецький, М.Ф. Бітківський // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25 – 26 листопада 2015.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – Том 1. – С. 20 – 21.
36. Конончук О.П. Експериментальні дослідження міцності бетону неруйнівними методами контролю / О.П. Конончук, М.Б. Найда // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25 – 26 листопада 2015.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – Том 1. – С. 162.

37. Дослідження кубової міцності бетону неруйнівними методами контролю / Н. М. Ксьондзик, М. І. Борис, М. В. Вербіцький, О. П. Конончук // Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 17-18 листопада 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — Том I. — С. 244-245.
38. Сучасні методи діагностики стану будівельних конструкцій після їх тривалої експлуатації / П.В. Ясній, О.П. Конончук, О.М. Якубишин // Праці V Міжнародної науково-технічної конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування», 19-22 вересня 2017 року — Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 — С. 222-225.
39. Використання неруйнівних методів контролю при дослідженні залізобетонних конструкцій / О.П. Конончук, І.М. Будзінський, А.Я. Данилків, Р.І. Фіцай // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 7 – 8 грудня 2022 року — Т. : ТНТУ, 2022 — Том I. — С. 11-12.
40. Дослідження впливу на міцність бетону пластифікаторів, що сповільнюють тужавіння / О.П. Конончук, В.О. Бондар // Матеріали міжнародної наукової конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України», 28–30 вересня 2020 року — Т. : ТНТУ, 2020 — С. 52-53. — (Важливі аспекти практичного застосування здобутків сучасної науки і новітніх технологій).
41. Дослідження впливу на міцність бетону прискорювачів твердіння / О.П. Конончук, В.Б. Леник // Матеріали міжнародної наукової конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України», 28–30 вересня 2020 року — Т. : ТНТУ, 2020 — С. 79-80.
42. Методичні вказівки до оформлення курсових та дипломних проектів із залізобетонних конструкцій для студентів спеціальності «Промислове та цивільне будівництво» / Ковальчук Я.О., Дубіжанський Д.І., Сорочак А.П., Конончук О.П. — Тернопіль: ТНТУ, 2013. – 52 с.