

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**Магістра**

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження впливу типів та розмірів зразків  
на міцність бетону

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61  
спеціальності 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Микитишин Т. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ясній В.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Данильченко С. М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясній В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Микитишину Тарасу Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону

Керівник роботи Ясній Володимир Петрович, д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Дослідити як впливає форма та розмір зразка на міцність самого бетону. В якості зразків використовувати бетонні куби та циліндри.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ; Вплив конструктивно-технологічних факторів на міцність і довговічність бетону; Основні поняття про бетон та його класифікація; Заповнювачі, їх властивості та приготування бетонної суміші; Міцність та довговічність бетону; Методика визначення міцності бетонних зразків; Порядок процесу дослідження; Виготовлення бетонних зразків; Ознайомлення з випробувальною машиною; Руйнівний метод дослідження міцності бетону за контрольними зразками; Результати та аналіз досліджень; Аналіз запланованих і фактичних розмірів зразків; Аналіз результатів досліджень бетонних циліндрів та кубів; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Графік стандартних термінів твердіння бетону; Виготовлення бетонного розчину та його заливка в опалубку; Готові контрольні зразки для дослідження; Випробувальна машина Matest C104N з автоматичним пристроєм керування Servo-Plus Evolution; Характер руйнування досліджуваних зразків; Графіки руйнування бетонних зразків.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Данильченко С.В. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	10.11.2021	
2	Формулювання мети і поставлених задач досліджень	07.12.2021	
3	Виготовлення контрольних зразків	18.03.2022	
4	Виготовлення додаткових зразків	01.04.2022	
5	Дослідження бетонних зразків	15.04.2022	
6	Аналіз отриманих результатів	01.05.2022	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.05.2022	
8	Загальні висновки	15.05.2022	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 .....	8
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ БЕТОНУ .....	8
1.1 Основні поняття про бетон та його класифікація.....	8
1.2 Заповнювачі, їх властивості та приготування бетонної суміші .....	15
1.3 Міцність та довговічність бетону.....	20
1.4 Висновки за розділом 1 .....	28
РОЗДІЛ 2 .....	29
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОННИХ ЗРАЗКІВ.....	29
2.1 Порядок процесу дослідження .....	29
2.2 Виготовлення бетонних зразків.....	30
2.3 Ознайомлення з випробувальною машиною.....	35
2.4 Руйнівний метод дослідження міцності бетону за контрольними зразками .	38
2.5 Висновки за розділом 2 .....	42
РОЗДІЛ 3 .....	43
РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	43
3.1 Аналіз запланованих і фактичних розмірів зразків.....	43
3.2 Аналіз результатів досліджень бетонних кубів .....	44
3.3 Аналіз результатів досліджень бетонних циліндрів.....	47
3.4 Узагальнення результатів досліджень впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону.....	53
3.5 Висновки за розділом 3 .....	55
РОЗДІЛ 4 .....	56
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	56
4.1 Інформація з техніки безпеки при роботі на автоматизованій машині для стискання бетону з Серво-привідним блоком керування Servo-Plus Evolution...	56
4.1.1 Загальні правила техніки безпеки .....	56

4.1.2 Пристрої безпеки.....	57
4.1.3 Небезпечні деталі та злишковий ризик .....	58
4.1.4 Шум .....	59
4.1.5 Правила застосування цифрового блоку керування .....	60
4.2 Проблеми забруднення повітря цементним пилом на промислових об'єктах та негативний вплив цементу на організм людини.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	64
БІБЛІОГРАФІЯ.....	66

## ВСТУП

Бетон вважається ключовим будівельним матеріалом, який використовується в сучасному будівництві. Саме з нього створюють різні вироби та конструкції, що використовуються у всіх сферах будівельної галузі. Одним з найважливіших факторів надійності бетону вважається його міцність. Значною мірою міцність впливає на несучу здатність конструкції. Саме з показником міцності пов'язана велика кількість інших фізико-механічних властивостей бетону. Існує декілька методів визначення міцності бетонів. Найактуальнішим, точним та затребуваним вважається руйнівний метод дослідження. Даний метод передбачає випробування спеціально виготовлених бетонних зразків певної форми та розміру на стиск за допомогою серво-гідравлічного випробувального пресу. Після чого результати досліджень піддаються аналізу і виносяться заключення про міцність даного бетону.

**Актуальність теми роботи** полягає в тому, що на сьогоднішній день не достатньо досліджений вплив типу форми та розміру зразка на міцність бетону. Перед кожним будівництвом, бетон, який доставляють на будівельний майданчик і з якого будуть виготовляти ті чи інші вироби або конструкції, перевіряють на клас та міцність. В деяких випадках доцільніше перевірити на міцність контрольний зразок циліндричної форми ніж кубічної, або навпаки.

**Мета і задачі роботи.** Мета роботи полягає у виявленні впливу геометричних форм та розмірів зразків на міцність бетону.

Щоб досягнути поставленої мети було складено список **задач**:

- ознайомитися з доступною літературою по темі роботи;
- розробити та вдосконалити методикау експериментальних досліджень міцності бетону кубічних і циліндричних зразків;
- виготовити бетонні зразки потрібних параметрів для дослідження;

- провести дослідження по виявленню впливу типу та розміру зразка на міцність бетону, шляхом проведення випробувань на автоматизованій машині для стискання бетону Matest.

- проаналізувати отримані дані після експерименту та встановити залежність міцності циліндричних та кубічних бетонних зразків.

- підсумувати результати, які були отримані в ході досліджень, зробити загальні висновки по впливу типу та розміру зразка на міцність бетону.

**Об'єктом дослідження** є бетонні куби розміром 150x150x150 мм, циліндри діаметром та висотою 150x300 мм, 100x200 мм, 50x100 мм.

**Предметом дослідження** є зміна міцності бетону в залежності від форми та розміру зразків.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставлених цілей проведено ознайомлення з доступною теоретичною базою та з дослідженнями інших авторів за темою роботи, виконано статистичний аналіз, проведено експеримент натурним методом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу по дослідженню впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону виконано за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- отримано нові дані про вплив різних типів та розмірів зразків на міцність бетону;

- отримала подальший розвиток методика досліджень міцності бетонних кубів та циліндрів різних розмірів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в роботі результати доцільно використовувати при проектуванні бетонних чи залізобетонних конструкцій, та у вдосконаленні та розвитку розглянутої методики досліджень міцності бетону за контрольними зразками.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Результати роботи опубліковано на V Міжнародній студентській науково-технічній конференції

«Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 28-29 квітня 2022 року, у м. Тернопіль.

**Публікації.** Результати роботи опубліковано в збірку тез доповідей V міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 28-29 квітня 2022 року, у м. Тернопіль, Т.С. Микитишин, «Дослідження впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону».

**Ключові слова:** бетон, міцність, руйнівний метод, випробувальний прес, контрольні зразки, клас бетону.



## РОЗДІЛ 1

### ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ БЕТОНУ

#### 1.1 Основні поняття про бетон та його класифікація

Не можливо уявити сучасне будівництво без використання бетону. Зараз це головний, незамінний будівельний матеріал без якого не обходиться жодне будівництво. Якість бетону в значній мірі залежить від його міцності і довговічності [1].

Бетон – це штучний каменоподібний матеріал, що отримується в підсумку затвердіння правильно підібраної, добре перемішаної та ущільненої суміші в'язучої речовини, води, заповнювачів та у необхідних випадках – спеціальних добавок. Суміш з вказаних компонентів до початку її затвердіння називають бетонною сумішшю [2, 3].

Деформація бетону [4]. Під деформативністю розуміють здатність бетону змінювати форму і розмір в процесі затвердіння чи під дією інших зовнішніх чинників. Бетону характерні пружні та пластичні деформації. Якщо навантаження невеликі (до 0,2 від міцності руйнування), то бетону притаманні пружні деформації, але при великих навантаженнях на поверхні бетону з'являються мікротріщини, тому для таких випадків характерні пластичні деформації. Діаграма деформування бетону вказана на рис. 1.1.

Нелінійність деформацій при навантаженнях, більше 0,3...0,4 від руйнуючих навантажень, зв'язана з появою та поширенням мікротріщин в бетоні як по поверхні, так і в середині матеріалу.

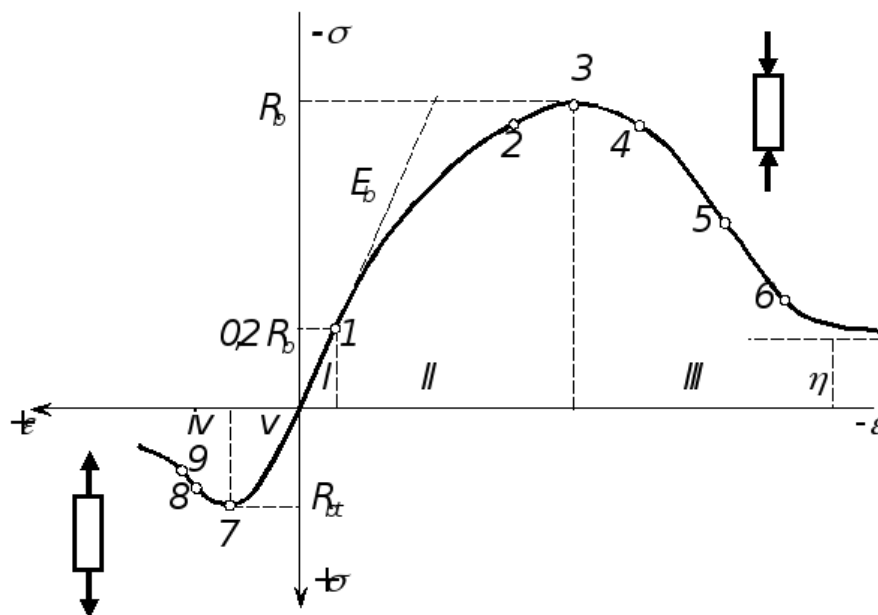


Рисунок 1.1 - Діаграма деформування бетону

Класифікація бетонів відбувається за такими головними ознаками [5]: призначенням, середньою щільністю, видом в'язучої речовини, видом та крупністю зерен заповнювачів, структурою, умовами твердіння.

Бетони поділяються за призначенням [6]. А саме на теплоізоляційні, конструкційні, конструкційно-теплоізоляційні, хімічно стійкі, жаростійкі, радіаційно-захисні, дорожні, декоративні, напружні, гідротехнічні та ін.

Призначення теплоізоляційних бетонів полягає у влаштуванні теплової ізоляції конструкцій, будівель та споруд.

Конструкційні бетони – це бетони несучих та огорожувальних конструкцій будівель і споруд, визначальними вимогами якості яких являються вимоги щодо фізико-механічних характеристик.

Конструкційно-теплоізоляційні бетони призначені для залізобетонних конструкцій, до яких висуваються вимоги як щодо несучої здатності, так і теплоізоляційних властивостей.

Радіаційно-захисні бетони використовуються для захисту від дії радіаційних випромінювань (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Атомна електростанція

Дорожні бетони (для дорожніх та аеродромних покриттів) – це бетони, вимоги до яких є підвищеними щодо морозостійкості та міцності на розтяг при вигині. Вони призначені для влаштування транспортних комунікацій (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Бетонна дорога

Декоративні бетони використовуються для оздоблення будівель та споруд (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Доріжка з декоративного бетону

Напружні бетони готують на основі напружувального цементу. Вони мають здатність при твердінні збільшуватися в обсязі та в умовах обмеження деформацій розвивати зусилля самоупруги.

До гідротехнічних відносять бетони, що використовуються під час будівництва гідротехнічних, меліоративних та водогосподарських споруд.

В залежності від середньої щільності розрізняють особливо легкі, легкі, важкі та особливо важкі бетони.

- Особливо легкі (комірчасті) бетони в яких середня щільність  $< 500 \text{ кг/м}^3$  готуються на основах пороутворювача та в'язучої речовини. Вони використовуються як теплоізоляційний матеріал, який має вигляд плит, шкаралуп та інших виробів.

- Легкі бетони в яких середня щільність від 500 до  $2000 \text{ кг/м}^3$  готують на пористому великому заповнювачі та пористому чи щільному дрібному заповнювачі. Вони використовуються як правило для виготовлення огорожувальних та несучих конструкцій (рис. 1.5).

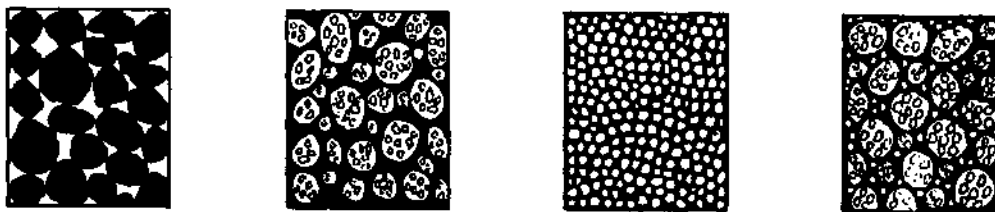


Рисунок 1.5 - Структура легких бетонів: а – крупнопористого на щільних заповнювачах; б – щільного на пористих заповнювачах; в – ніздрюватого; г – поризованого.

- Важкі бетони в яких середня щільність від 2000 до 2500 кг/м<sup>3</sup> виготовляють на основі піску і великих заповнювачах із щільних гірських порід і застосовують у всіх несучих конструкціях.

- Особливо важкі бетони в яких середня щільність перевищує 2500 кг/м<sup>3</sup> виготовляють з додаванням особливо важких заповнювачів (магнезит, лимоніт, барит, чавунний дріб, обрізки сталі). Бетони такого класу використовують для виготовлення спеціальних конструкцій. Для прикладу коли зводять будівлі атомних електростанцій, щоб захиститись від радіоактивного випромінювання.

Класифікація бетонів за середньою щільністю [7] - це, по суті, поділ за структурною ознакою залежно від загальної пористості. Основну частку обсягу бетону посідають заповнювачі, тому щільність бетону корегують, використовуючи щільні чи пористі заповнювачі.

По виду в'язучої речовини бетони поділяються на такі групи: цементні, гіпсові, шлакові, вапняні, змішані, спеціальні.

Бетони на цементних в'язучих готують на основі клінкерних цементів: портландцементі, шлакопортландцементі, пуццолановому портландцементі та їх різновидах.

Основою бетонів на гіпсових в'язучих може бути напівводний гіпс або ангідрит гіпсу (включаючи гіпсоцементно-пуццоланові в'язучі).

Бетони на шлакових в'язучих – це бетони, що базуються на основах мелених шлаків з активізаторами твердіння (лужні розчини, вапно, цемент або гіпс).

Бетони на вапняних в'язучих готують на основі вапна і поєднують з активними гідравлічними компонентами (цемент, шлаки, золи) та кремнеземистими компонентами (пісок, мінеральні добавки).

Як спеціальні в'язучі можуть використовуватися полімерні та полімерцементні речовини, сірка, метал. На їх основі одержують полімербетони, бетонополімери, цементнополімерні бетони.

Полімербетони готують на основі полімерного в'язучого, мінеральних заповнювачів, наповнювачів та добавок.

Бетонополімери - це бетони на мінеральному в'язучому, просочені мономерами або полімерами з їх подальшим затвердінням.

Цементно-полімерні бетони готують на цементному в'язучому та заповнювачах, оброблених полімерними речовинами.

За виглядом заповнювачів відрізняють бетони з пористими, щільними і спеціальними заповнювачами.

- Бетони з пористими заповнювачами одержують із застосуванням штучних пористих заповнювачів чи заповнювачів з пористих гірських порід, а також великих пористих та щільних дрібних заповнювачів.

- Бетони з щільними заповнювачами виготовляють з заповнювачів із щільних гірських порід або шлаків.

- Бетони з спеціальними заповнювачами виготовляють із використанням заповнювачів, що дають їм особливі властивості. До таких заповнювачів можна віднести, для прикладу, породи, які мають в своєму складі руду, чавунний скрап, шамот.

За крупністю зерен заповнювачів бетони поділяються на дрібнозернисті та крупнозернисті.

По структурі вирізняють такі види бетонів [8]:

- бетони щільної (зливої) структури. Ними вважаються бетони, простір між зернами заповнювачів в яких повністю зайнятий твердою в'язучою речовиною. Допустимий обсяг міжзернових порожнин в ущільненій бетонній суміші не повинен перевищувати 6%;

- поризовані бетони, такі, в яких простір між зернами заповнювачів займає в'язуча речовина, поризовані піноутворюючі або газоутворюючі добавки;

- ніздрюваті бетони – бетони які містять штучно створені осередки-пори, що формуються із суміші в'язучої речовини, тонкодисперсного кремнеземистого компонента та породоутворюючої добавки;

- крупнопористі бетони (безпіщані або малопіщані), такі бетони в яких вагова частка об'єму міжзернових порожнин залишається не забитою дрібним заповнювачем і затверділим в'язучим. Структура розчинної частини бетону зображено на рис. 1.6.

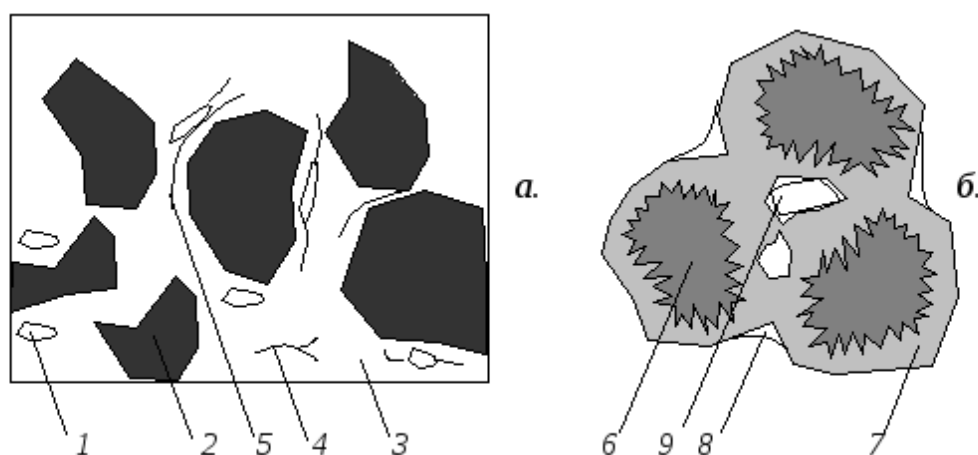


Рисунок 1.6 - Фрагменти структури розчинної частини бетону: а – макроструктура; б – мікроструктура; 1 – повітряні порожнини; 2 – мілкий заповнювач; 3 – цементуюча речовина; 4, 5 – усадочні тріщини у цементуючій рідині та контактні зоні; 6 – непрогідратоване цементне ядро; 7 – новоутворення; 8 – поверхнева волога; 9 – структурна пора.

За умовами твердіння бетони поділяються на групи:

- природного твердіння, які затвердівають за температури 15 – 20° С та атмосферному тиску;

- піддані тепловій обробці, з метою прискорення твердіння, за температури 70 ... 90° С та атмосферному тиску;

- твердіючі в автоклавах за температури 175...200° С і тиску пари 0,9 ... 1,6 МПа;



- твердіючі при тепловій обробці без контакту бетону з пароповітряним середовищем;

- твердіючі при негативних температурах.

Нормальна міцність бетону формується за позитивної температури (15...25°C) і постійної вологості. Важливо додержуватися таких умов в перші 10...15 діб, коли бетон твердіє і набирає необхідну міцність (рис. 1.7).

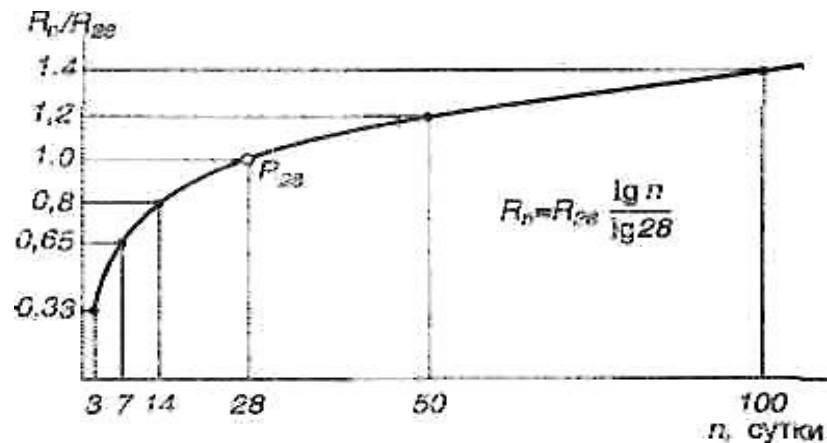


Рисунок 1.7 - Зміна міцності бетону в часі в умовах нормального твердіння: R - марочна міцність бетону; n - час твердіння, діб.

## 1.2 Заповнювачі, їх властивості та приготування бетонної суміші

Якість та міцність бетону значною мірою залежить від самого процесу виготовлення бетонної суміші та від чіткої пропорції підібраних компонентів які входять в склад цієї суміші [9].

Замішувати бетон можна як ручним так і механізованим способом (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 - Процес приготування бетону



Якщо створюємо бетон з додаванням цементу марки М500, то розраховуємо пропорції по таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 – Пропорції компонентів для приготування бетону з цементу марки М500

Марка цементу		М500			
Марка бетону		М150	М250	М350	М450
Цемент	кг	1			
Вода		0,5			
Пісок		4,5	2,6	1,9	1,1
Щебінь		6,6	4,5	3,6	2,5
Пропорція (Ц/П/Щ)		1/4,5/6,6	1/2,6/4,5	1/1,9/3,6	1/1,1/2,5

Міцність будівель та споруд залежить не тільки від правильно підбраного типу цементу, також важливі і інші заповнювачі для бетону, які використовуються у будівництві як додаткові компоненти. Існує безліч присадок, що зміцнюють основу бетону і змінюють його властивості в залежності від призначення об'єкта, що зводиться [10].

Залежно від того, який тип в'язучої речовини використовується, бетони класифікують на:

#### 1. Неорганічні

- цементний із заповнювачами з портландцементу, шлакового або пуццоланового портландцементу;
- силікатний з додаванням вапна;
- гіпсовий з присадкою із гіпсу;
- шлаколушний з використанням шлаку та лужного розчину;
- спеціальний із застосуванням специфічних добавок.

2. Органічні - полімербетони (полімерцемент, пластбетон, бетонополімер), в яких мінеральні компоненти замінені на полієфірні або епоксидні смоли.

Залежно від насипної щільності виділяють бетон:

- особливо легкий (менше  $500 \text{ кг/м}^3$ );
- легкий (від  $500$  до  $1800 \text{ кг/м}^3$ );
- важкий (від  $1800$  до  $2500 \text{ кг/м}^3$ );
- надважкий (понад  $2500 \text{ кг/м}^3$ ).

Вибір бетону важливий для надійності, попередження деформування майбутньої конструкції, посилення її стійкості до зовнішнього впливу [10, 11].

Основні типи макроструктури бетону зображені на рис. 1.9.

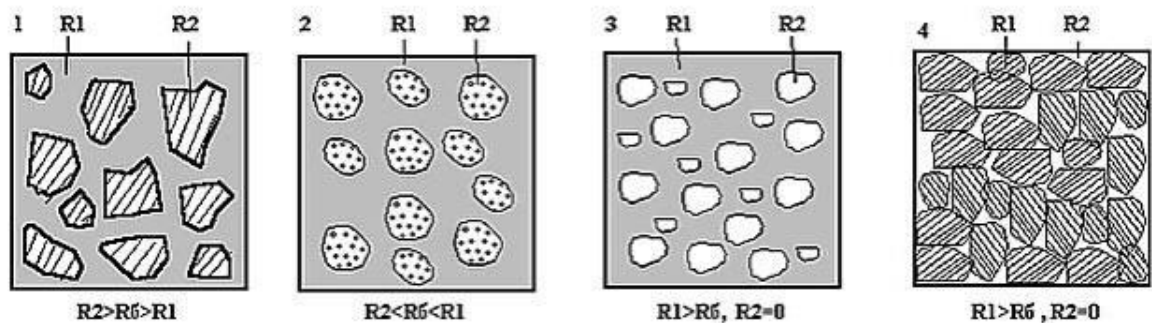


Рисунок 1.9 – Макроструктура бетону: 1 - щільна; 2 – щільна з пористим заповнювачем; 3 - комірчаста; 4 – зерниста;  $R_b$  – середня міцність структури;  $R_1$  і  $R_2$  – міцність складових бетону.

Види заповнювачів. Загальна маса додаткових речовин у суміші сягає 80%.

Видова відмінність заповнювачів заснована на двох параметрах:

- розмір фракції матеріалу;
- призначення присадки.

Є відмінності і за походженням заповнювачів:

- природні речовини;
- штучна (термооброблена) сировина;
- відходи промислового виробництва;
- перероблені відходи.

Природні компоненти та відходи виробництва практично не змінюють властивостей бетону. Штучно створені, навпаки, впливають на його твердість, пластичність, швидкість затвердіння та інші якості.

Вплив заповнювачів на якість. Якість заповнювачів дуже впливає на якість самого бетону. Їх оцінюють за такими показниками:

- фізико-механічними властивостями (міцності, морозостійкості, опірності ударним впливам, стираності, щільності, порожнечі, водопоглинання, об'ємної ваги в шматку, насипному);

- геометричній характеристиці (зернового складу, крупності, формі, ступеня окатаності, шорсткості зерен, ступеня чистоти та необхідної доброякісності, вмісту у заповнювачах шкідливих та забруднених домішок, слабких та нестійких включень, петрографічної однорідності).

Вимоги до заповнювачів для бетонної суміші [12, 13, 14].

Вимоги до бетону обумовлені характером об'єкта, що будується. Конструкції з важкого бетону, наприклад, потребують чистоти заповнювача. У регіонах із суворим кліматом потрібні морозостійкі матеріали, а в зонах із помірним – добавки, що прискорюють затвердіння.

Великі заповнювачі (рис. 1.10).

Гравій – найбільш затребуваний заповнювач, підходить для багатьох бетонних сумішей. Є осадом гірської породи і має пухку структуру з вкрапленнями інших мінералів. Розмір гранул коливається від 5 до 70 мм. Насипна щільність дорівнює середньому  $1400 \text{ кг/м}^3$ , марка міцності — 1200, морозостійкість — F-350.

Граніт - найдовговічніший із великих заповнювачів. У нього високі показники щільності (до  $1700 \text{ кг/м}^3$ ). Так само як гравій, він виробляється у вигляді дрібних, середніх та великих гранул (5-70 мм). Матеріал має низьке вологопоглинання і тому морозостійкий. У його складі міститься незначна кількість пилу. Застосовується під час будівництва автошляхів, фундаментів, підпірних стін, мостів.

Щебінь отримують шляхом дроблення гірських порід і некондиційних відходів гірських і будівельних підприємств (цегла, шлак, зола). У ньому немає домішок. Кутасті гранули щебеню мають різноманітне забарвлення і формою схожі на куб. На відміну від гравію та граніту поверхня щебеню більш шорстка, тому, володіючи високою адгезією, він посилює міцність бетону.



Рисунок 1.10 – Крупні заповнювачі (гравій, щебінь)

Дрібні заповнювачі (рис. 1.11).

Без великих заповнювачів можна створювати дрібнозернисті суміші. Але, якщо в бетоні відсутні дрібні присадки, щільний камінь отримати не можна.

За [13], у цементних або цементно-вапняних розчинах розмір зерен піску не може перевищувати 2 мм. У гіпсовому або гіпсово-вапняному бетоні в дрібному наповнювачі повинні міститися гранули до 1 мм. Гранул розміром 10 мм у сумішах не повинно бути.



Рисунок 1.11 – Дрібний заповнювач (пісок)

У всіх видах піску обмежується наявність домішок – глини, піриту, гіпсу. Для розчинів використовують чисті природні та штучні піски з вмістом пилювато-глинистих частинок не більше 3%.

Великий пісок (1,5-2 мм) може підвищувати витрати цементу на 5%, а дрібніший знижує витрати на 12%.

Додавання дрібних заповнювачів для бетону впливає на його фінальні якості – міцність, безсадковість, морозостійкість.

Роль заповнювачів у бетонах та розчинах [14].

Дані речовини виконують такі завдання:

1. Скорочують витрати цементу. Такі матеріали займають значну частину обсягу бетонного розчину, роблячи його доступнішим за вартістю.

2. Підвищують стійкість застиглого бетону до виникнення тріщин. Цементний камінь без таких добавок більш схильний до розколювання у зв'язку зі схильністю до усадки і деформації. Сучасні заповнювачі грають роль жорсткого кістяка бетону, знижуючи його усадку в порівнянні з усадкою цементу без подібних добавок у кілька разів.

3. Збільшують міцність затверділого бетонного розчину, покращують модуль пружності бетону. Жорсткий скелет із заповнювача мінімізує деформацію конструкції під впливом навантаження, знижує повзучість бетону. Таким чином, бетонний розчин після затвердіння захищається від виникнення незворотних пластичних деформацій різного характеру.

4. Пористі, легкі заповнювачі зменшують теплопровідність та щільність бетону. Завдяки цьому такий розчин можна використовувати для створення огорожувальних або теплоізоляційних конструкцій.

5. Спеціальні гідратні та особливо важкі заповнювачі надають конструкції з бетону стійкості до проникаючої радіації.

### **1.3 Міцність та довговічність бетону**

Міцність бетону – це технічна характеристика, що визначає його здатність протистояти механічному та хімічному впливу. Практично при будь-якому будівництві, чи це житлові будівлі, чи господарські будівлі, використовується бетон. Залежно від виду та етапу будівництва, вимоги до будівельних матеріалів можуть істотно змінюватися. Так, наприклад, для заливання фундаментів та зведення стін використовуються різні марки бетону. Марка бетону своєю чергою визначається його міцністю. Міцність бетону - це найважливіша характеристика,

що визначає властивості та експлуатаційні якості бетонних конструкцій та елементів будівельних споруд [15].

Знання показників міцності бетону дозволить уникнути багатьох небажаних наслідків для будівельних споруд. Наприклад, використання бетону, що має недостатній рівень міцності, може призвести до зниження експлуатаційних якостей будівництва, появи тріщин, передчасного руйнування та дострокового виходу будівлі з ладу. Визначення міцності бетону є обов'язковою процедурою для забудівників перед здаванням будівлі в експлуатацію [16].

Визначення міцності бетону.

Міцність бетону визначається в лабораторних умовах за допомогою спеціальних приладів на відібраних пробах та контрольних зразках (рис. 1.12). Усі випробування регламентуються будівельними стандартами, прийнятими для певного виду бетону [17, 18]. Міцність бетону також можна визначити безпосередньо у процесі будівництва на будівельному майданчику. Такі випробування проводяться контролю якості зведених елементів споруди.

Існує кілька способів визначення міцності бетону. Залежно від характеру впливу розрізняють такі способи:

- руйнівні;
- неруйнівні.

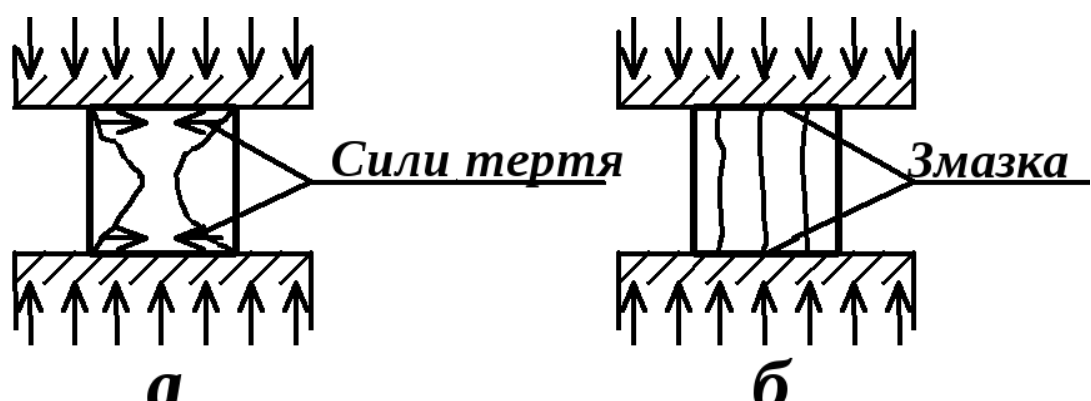


Рисунок 1.12 - Характер руйнування бетонних кубів: *а* - при наявності сил тертя на опорних площинах; *б* - при відсутності сил тертя.

Руйнівні методи припускають руйнування зразка, виготовленого з контрольної проби бетонної суміші, взятого з бетонної поверхні за допомогою алмазного бура (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Зруйнований контрольний зразок

При цьому методі дослідження відбувається роздавлювання кубиків або випиляних циліндрів бетону під випробувальним пресом (рис. 1.14). Навантаження збільшується безперервно та рівномірно до моменту руйнування контрольного зразка. Отримана в результаті цифра критичного навантаження фіксується і відбувається подальший розрахунок міцності бетону.

Руйнівний спосіб вважається найбільш точним визначенням міцності бетону. Обстеження будівлі шляхом роздавлювання бетонних проб, визначає міцність бетону на стиск. Відповідно до діючих нині ДСТУ [17, 18, 19], він є обов'язковим перед здаванням будівлі в експлуатацію.



Рисунок 1.14 – Процес випробування бетонних зразків руйнівним методом

Неруйнівні методи не вимагають отримання зразків та його подальшого руйнування. Випробування проводять за допомогою різних приладів та інструментів.

Залежно від використовуваних пристроїв розрізняють такі неруйнівні методи досліджень:

- часткового руйнування;
- ударного впливу;
- ультразвукового обстеження.

Метод часткового руйнування заснований на місцевому впливі на бетонну поверхню та призводить до незначного її пошкодження.

Розрізняють такі методи часткового руйнування:

- на відрив;
- сколюванням;
- відрив зі сколюванням.

Метод відриву полягає у закріпленні на ділянці бетонної поверхні металевого диска за допомогою спеціального клею та подальшого його відриву. Зусилля, необхідне для руйнування бетону при такому методі, фіксується і використовується в подальших обчисленнях міцності. Метод сколювання полягає в механічному впливі ковзного характеру на ребро конструкції та реєстрації зусилля, при якому відбувається відколювання його ділянки.

Метод відриву зі сколюванням характеризується більшою точністю, порівняно з іншими методами часткового руйнування. Суть його полягає у закріпленні на ділянці бетонної конструкції анкерних пристроїв та подальшого їх відриву від поверхні.

Методи ударного впливу ґрунтуються на застосуванні до бетонної поверхні силового впливу ударного типу.

Розрізняють 3 методи визначення міцності ударом:

- метод ударного імпульсу;
- пружного відскоку;
- пластичної деформації.



Метод ударного імпульсу досить простий у використанні і полягає в реєстрації сили удару і енергії, що виникає при цьому.

Метод пружного відскоку не менш простий і полягає у визначенні величини відскоку бойка ударника від бетонної поверхні.

Метод пластичної деформації полягає у силовому впливі на досліджувану область приладів із закріпленими на їх ударній поверхні штампів кулькового або дискового типу. По глибині отриманих від ударів чи тиску відбитків визначається міцність бетону.

Метод ультразвукового обстеження (рис. 1.15) передбачає використання приладу, що випромінює ультразвукові хвилі. При цьому визначається швидкість ультразвуку, що проходить крізь бетонну конструкцію. Перевага подібного методу - у можливості дослідження як поверхні бетону, а й його глибинних шарів. Недоліки - у великому відсотку похибки при розрахунках.



Рисунок 1.15 – Ультразвукове обстеження спеціальним приладом

Показники від яких залежить міцність бетону.

В результаті хімічних процесів, що відбуваються при взаємодії бетонної суміші з водою, міцність бетону в процесі його застигання збільшується [20]. Під впливом різних факторів швидкість хімічних реакцій може сповільнюватись та прискорюватись. Від цього залежатиме показник міцності бетону.

Виділяють такі основні фактори, що впливають на міцність бетону:

- активність цементу;
- процентний вміст цементу;
- співвідношення цементу та води в розчині;
- технічні характеристики та якість наповнювачів;
- якість змішування складових бетонної суміші;
- ступінь ущільнення;
- час, витрачений на застигання розчину;
- зовнішні умови (температура повітря та вологість середовища);
- застосування повторного вібрування.

Найважливішим фактором, що визначає міцність бетону, є активність цементу. З'ясовано та визначено пряму залежність між активністю цементу та міцністю бетону. Чим вище активність, тим міцнішими виходять бетонні вироби і навпаки, що нижча, тим менше міцність і якість бетону.

Відсотковий вміст цементу не менш важлива величина, що визначає показники міцності. Збільшення кількості цементу у суміші веде до підвищення міцності бетонних конструкцій. Зменшення – до зниження. У цьому існує така закономірність: збільшення міцності відбувається лише до певного моменту. Надалі показники міцності бетону зростають незначно, а ось його небажані якості – усадка та повзучість, збільшуються.

Співвідношення цементу та води впливає на міцність внаслідок фізичних особливостей застигаючої бетонної суміші [20]. Однією з них є здатність бетону пов'язувати лише 15-25% води, що входить до його складу. У бетонному розчині, як правило, присутні від 40 до 70% води, необхідної для полегшення укладання бетону у форму. Надлишок води призводить до утворення пор у товщі бетону, що веде до зниження його міцності. Звідси випливає така закономірність: у разі зростання величини водоцементного співвідношення В/Ц, міцність бетону зменшується, а її зменшенні – збільшується.

Якість і властивості наповнювачів також відіграють велику роль у формуванні міцності бетону [13]. Наявність органічних та глинистих речовин,

використання дрібнофракційних наповнювачів, призводить до зниження міцності. Великі фракції мають найкраще зчеплення з цементним сполучним, та їх використання збільшує міцність бетону.

Якість змішування та застосування вібрування впливає на ступінь ущільнення бетонного розчину. Від густини бетону залежить його міцність. Чим щільніше влягли частки бетонного складу, тим вище буде міцність бетону.

Зовнішні умови та час затвердіння бетону – ще один із факторів, що визначають показники його міцності (рис. 1.16). Найбільш сприятливою вважається температура від 15 до 20° С. Вологість повітря при цьому має становити від 90 до 100%. При таких параметрах середовища відбувається швидке зростання міцності бетону та збільшується час його затвердіння. З часом показник міцності збільшується. Його зростання припиняється лише після повного висихання бетону або його замерзання [15].

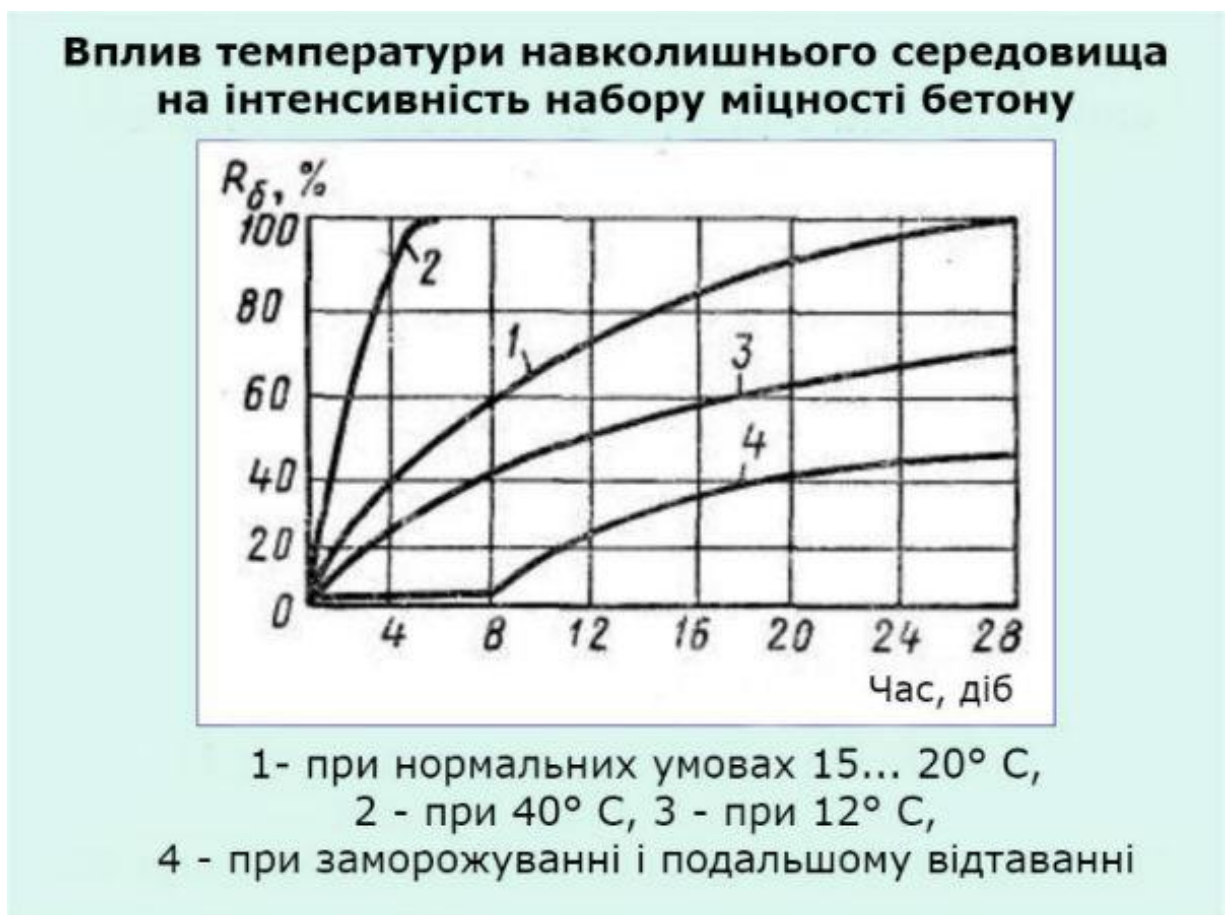


Рисунок 1.16 – Вплив температури навколишнього середовища на інтенсивність набору міцності бетону

Міцність бетону через 7 діб та 28 днів.

Давно з'ясована і розрахована закономірність, при якій відбувається зростання міцності бетону залежно від часу його застигання. Відповідно до неї найбільший показник межі міцності – 100%, бетон набирає на 28-му добу застигання (рис. 1.17). На 7 добу бетон показує 60-80% своєї потенційної міцності. На 3 добу відповідно 30%. За ДСТУ, саме в ці дні рекомендовано проводити випробування бетонних кубиків.

Марка бетону	Час набору міцності в днях	Температура повітря					
		-3	0	+5	+10	+20	+30
		Міцність бетону, % від марочної					
М200-М300	1	3	5	9	12	23	35
	2	6	12	19	25	40	55
	3	8	18	27	37	50	65
	5	12	28	38	50	65	80
	7	15	35	48	58	75	90
	14	20	50	62	72	90	100
	28	25	65	77	85	100	

-  - нормативно-безпечна міцність бетону
-  - безпечна міцність бетону
-  - повна міцність бетону

Рисунок 1.17 – Таблиця міцність бетону відносно температури та часу застигання

Зміна міцності бетону з часом відбувається за наступною логарифмічною залежністю:

$R_b(n) = R_b(28) \lg n / \lg 28$ , де  $R_b$  – міцність бетону,  $n$  – кількість днів, а  $\lg$  – десятковий логарифм віку бетону. Розрахунок міцності за формулою дає лише приблизні показники міцності. Важливо врахувати також, що так можна визначити міцність бетону починаючи з 3-х денного віку.

Міцність бетону за марками.

Марка бетону вказує межу його міцності на стиск і вимірюється у кгс/см<sup>2</sup> (кілограм-сили на см<sup>2</sup>). Позначається вона літерою М, а цифра після літери вказує

на середнє, приблизне значення міцності [19]. У будівництві найчастіше використовуються бетони наступних марок: М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500.

Показники міцності бетону за марками:

- М100 - показник міцності дорівнює  $98,23 \text{ кгс/см}^2$
- М150 - від  $130,97$  до  $163,71 \text{ кгс/см}^2$
- М200 -  $196,45 \text{ кгс/см}^2$
- М250 –  $261,93 \text{ кгс/см}^2$
- М300 - від  $294,68$  до  $327,42 \text{ кгс/см}^2$
- М350 - від  $327,42$  до  $360,18 \text{ кгс/см}^2$
- М400 –  $392,9 \text{ кгс/см}^2$
- М450 -  $458,39 \text{ кгс/см}^2$
- М500 -  $523,87 \text{ кгс/см}^2$

Марка бетону та його міцність залежить від кількості цементу, що входить до його складу. Чим більший вміст цементу, тим вище буде марка і навпаки, що нижча марка, тим менше цементу містить бетонна суміш.

#### **1.4 Висновки за розділом 1**

1. Описано і вивчено інформацію про бетони і головні ознаки за якими відбувається їх класифікація.
2. Розглянуто різного роду заповнювачі та їх властивості, а також ефективні методи приготування бетонної суміші.
3. Проаналізовано різні методи визначення міцності бетону, як за контрольними зразками, так і без них.
4. Проаналізовано вплив факторів часу та температури на зростання міцності бетону.
5. Із аналізу літературних даних було сформульовано мету та завдання кваліфікаційної роботи.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОННИХ ЗРАЗКІВ

#### 2.1 Порядок процесу дослідження

Мета кваліфікаційної роботи передбачає виявлення впливу типів та розмірів контрольних зразків на міцність бетону, тому для початку потрібно було визначитися з яким саме бетоном доведеться працювати. Оскільки метою роботи є вплив типу та розміру зразка, а не вплив конкретного класу бетону на міцність, то при виготовленні контрольних зразків орієнтовним класом міцності бетону був обраний найпоширеніший, за рахунок співвідношення міцності і ціни, С16/20 (В20). Такий клас бетону найчастіше застосовується для бетонування монолітних конструкцій, від фундаментів до підпірних стінок. Може бути використаний для бетонування плит перекриття, які не мають великого навантаження. Тому враховуючи все вище вказане, було обрано такий оптимальний варіант. Також було прийняте рішення не додавати в склад бетонної суміші крупних заповнювачів, таких як щебінь та гравій, пластифікаторів та інших хімічних добавок з економічної точки зору.

Наступним пунктом став вибір кількості, розмірів та типів зразків. Для дослідження було обрано 2 форми зразків - куб і циліндр. Було виготовлено куби в кількості 3шт з розміром ребра 150мм і 9 циліндрів з трьома різними діаметрами  $d_1$  – 50 мм,  $d_2$  – 100 мм,  $d_3$  – 150 мм і висотою  $h = 2d$ . Тобто, циліндр  $d = 50$  мм,  $h = 100$  мм – 3шт;  $d = 100$  мм,  $h = 200$  мм – 3шт;  $d = 150$  мм,  $h = 300$  мм – 3шт.

Дослідження міцності бетонних зразків було здійснено руйнівним методом в лабораторних умовах на випробувальній машині для стискання контрольних бетонних зразків Matest з серво-привідним блоком керування Servo-Plus Evolution. За результатами досліджень було отримано максимальне напруження при якому відбувається руйнування зразка, а також діаграма руйнування.

## 2.2 Виготовлення бетонних зразків

Для виготовлення бетонних кубів була використана спеціальна опалубка потрібної форми (рис. 2.1). Щоб виготовити бетонні зразки у формі циліндрів також знадобилася опалубка відповідної форми. Щоб провести таке дослідження була виготовлена опалубка з каналізаційних пластикових труб різного діаметру(рис. 2.2). Відповідно труби різалися в потрібний розмір конкретного зразка і в потрібній кількості.



Рисунок 2.1 – Металічна опалубка для заливки кубічних зразків



Рисунок 2.2 – Пластикові труби, як опалубка для циліндричних зразків



Щоб правильно виготовити контрольні зразки потрібно дотримуватися відповідного співвідношення матеріалів при виготовленні бетонної суміші. В нашому випадку для виготовлення бетону марки М250, використовувався портландцемент марки М500 (рис. 2.3) в якості в'язучого та мілкий пісок (рис. 2.4) в ролі дрібного заповнювача. Хімічний склад портландцементу марки М500 містить: 21,55% оксиду кремнію, 65,91% оксиду кальцію, 5,55% оксиду алюмінію, 4,7% оксиду заліза, 1,9% ангідриду сірчаної кислоти, 1,46% оксиду магнію, 0,35% оксиду калію, 0,49% втрати при прожарюванні.

В процесі замішування бетонної суміші було використане таке співвідношення цементу відносно піску - 1/3, а ось вода додавалася поступово в процесі замішування до отримання в'язкої однорідної суміші. Процес замішування відбувався вручну.



Рисунок 2.3 – Портландцемент М500



Рисунок 2.4 – Мілкий пісок



Перед тим, як залити бетонний розчин у виготовлені опалубки, потрібно було змастити стінки цих опалубок якимось жирним розчином, який би не давав приставати бетону до стінок наших форм. Це б значно полегшило процес виймання вже готових бетонних зразків з опалубки. В нашому випадку були використані залишки моторного масла, які були нанесені на стінки формочок за допомогою пензлика. Після цих маніпуляцій опалубки були готові до заливання бетонної суміші.

Після того, як бетонний заміс був готовий, його заливали в опалубки, а також необхідним був процес ущільнення за допомогою вібростола. Оскільки в умовах виготовлення даних зразків не було можливості ущільнити бетон таким способом, то було вирішено замінити його на інший спосіб, а саме трамбуванням за допомогою арматурного стержня.

Залиті в опалубку бетонні зразки зберігалися в нормальних температурних умовах 15...20° С. Стандартний термін затвердіння бетону, залежно від температур, вказаний на рис. 2.5.

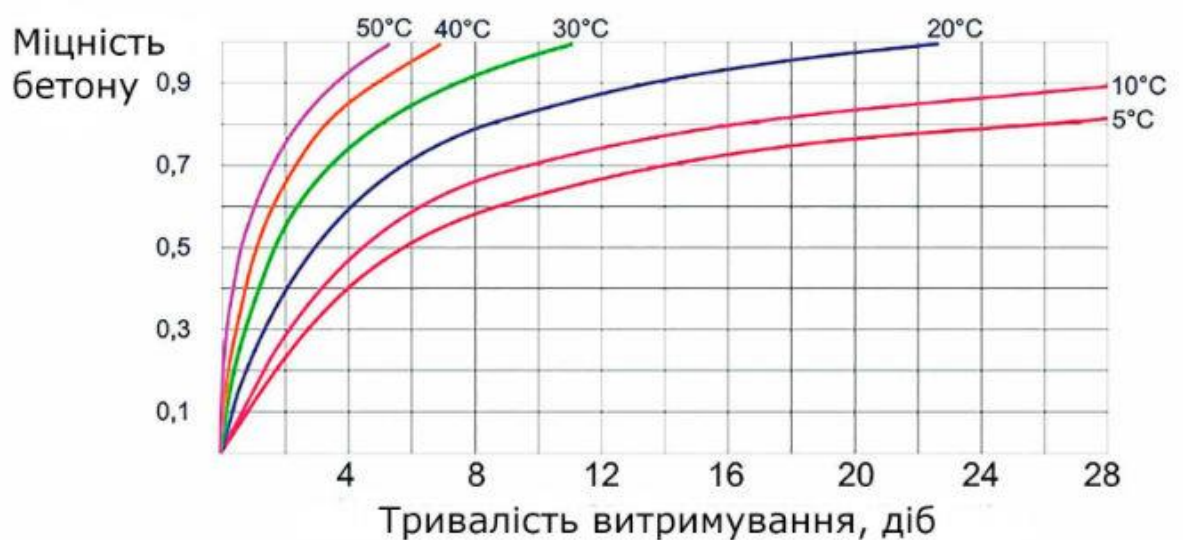


Рисунок 2.5 – Стандартний термін твердіння бетону

Після того як бетонний розчин був залитий в опалубку, потрібно було підтримувати нормальний процес гідратації (рис. 2.6). Для цього протягом 5 днів бетон в опалубках регулярно зволожувався, задля уникнення утворення усадочних тріщин.



Рисунок 2.6 – Бетонний розчин залитий в опалубки

Після процесу догляду за зразками, на шостий день, проводився демонтаж опалубки. Щоб вийняти куби з металічної опалубки потрібно було відкрутити бокові гайки, які тримали розмір виставлених стінок. Після чого металічна опалубка для виготовлення кубів була почищена від залишків бетону і повернута в лабораторію університету. Щоб дістати циліндри з пластмасової опалубки довелося використовувати болгарку для того, щоб розрізати одну сторону циліндра по висоті. Процес демонтажу з циліндричної опалубки відбувався обережно, щоб не пошкодити зразки.

Після того, як був проведений демонтаж опалубки всіх зразків, досліджуваний матеріал залишився набирати міцність 28 діб (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Контрольні зразки витягнуті з опалубки

В процесі набирання міцності в бетонних зразках було помічено, що два найменших циліндра з розмірами  $d = 50$  мм і  $h = 100$  мм мають наявні порожнини, які є недопустимими для проведення досліджень. Це явище було зумовлене тим, що проводився не якісний процес ущільнення бетону в малих зразках, оскільки арматура, якою проштрикувався бетон, мала занадто великий діаметр для найменших циліндрів. Тому було вирішено відкласти бетонні зразки з браком і зробити нові. Процес виготовлення нових зразків малих циліндрів був тим самим, що і для попередніх зразків. Тобто виготовлявся заміс бетону з тим самим співвідношенням, були зроблені нові опалубки під зразки потрібних розмірів. Проте цього разу були враховані недоліки попереднього ущільнення, тому процес відбувався вже за допомогою тонкого дроту. Оскільки браковані зразки були помічені досить пізно, вирішено проводити дослідження нових зразків після 14 доби їх набору міцності.

### 2.3 Ознайомлення з випробувальною машиною

Дослідження проводилися в науково-випробувальній лабораторії будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, кафедри будівельної механіки ТНТУ на випробувальному пресі Matest C104N на 2000 кН зі збільшеними нажимними пластинами для стискання бетонних зразків та автоматичним пристроєм керування Servo-Plus Evolution (рис. 2.8). Дана установка відповідає таким стандартам: EN 772-1 / ASTM C39, E447 / AASHTO T22 / UNI 6686 частина 1 і 2 / NF P18-411 / BS 1610, 6073 / UNE 83304 [21].

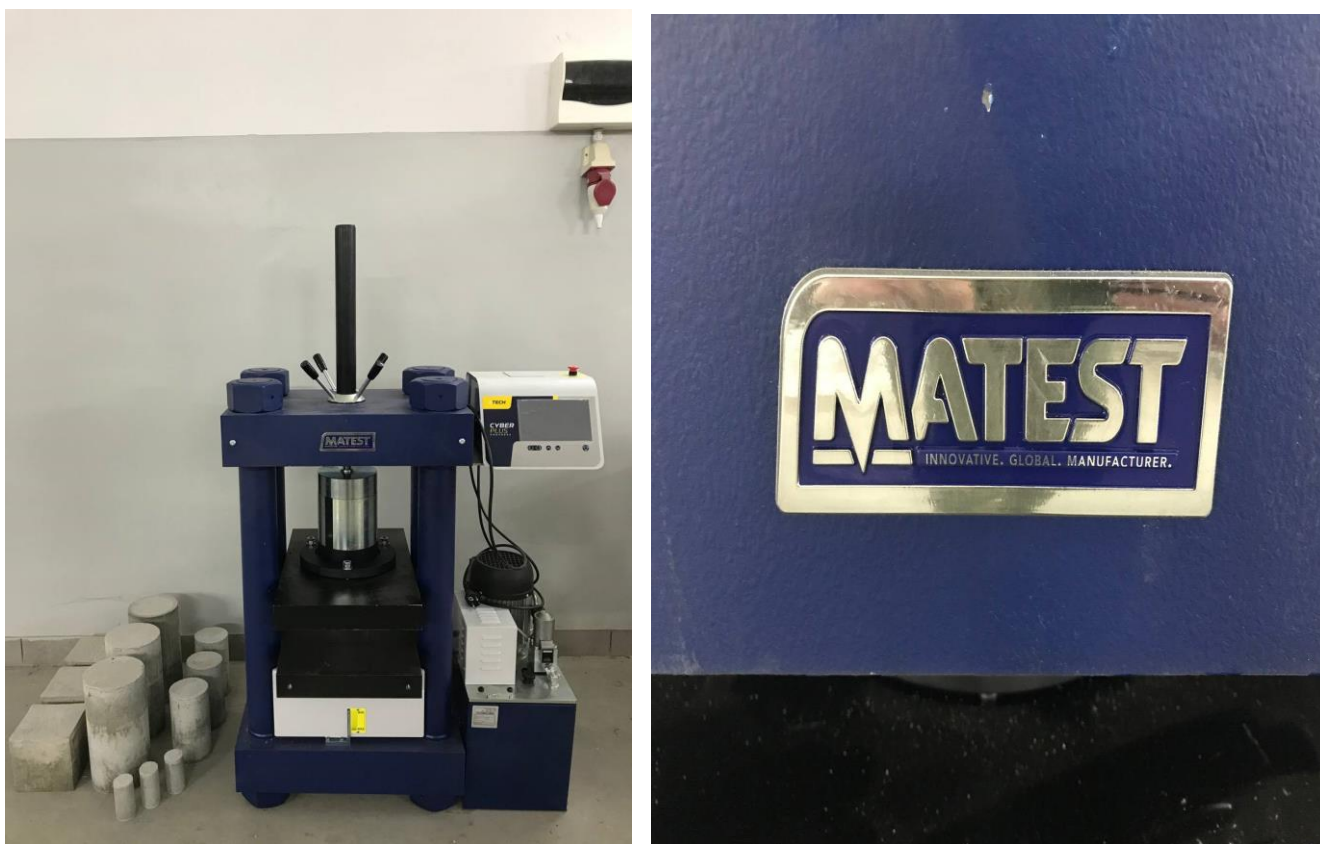


Рисунок 2.8 – Випробувальна машина для стискання бетону

Випробувальний прес призначений для випробування бетонних кубів з розміром грані до 300 мм, великих блоків та циліндрів, а також інших будівельних матеріалів відповідних габаритів із максимальним навантаженням до 2000 кН. Пристрій керування Servo-Plus розроблений відповідно до найновіших технологій, має інноваційний сенсорний екран, призначений для контролю та управління всіма видами випробувальних машин. Особливістю є автоматичне керування насосом та, відповідно, швидкістю застосування навантаження. Це дозволяє проводити



повністю автоматичні тести. Сенсорний графічний екран дозволяє легко встановлювати параметри та проводити безпосереднє виконання тесту.

В комплект з випробувальним пресом входили приставки з прорізом до верхньої прижимної пластини різних розмірів (рис. 2.9), які зменшували вертикальний просвіт для випробування зразків різної висоти та полегшували регулювання відстані між нажимними пластинами.



Рисунок 2.9 – Приставки з прорізом



Рисунок 2.10 – Цифровий блок керування

Цифровий блок (рис. 2.10) дозволяє зчитувати навантаження, що надходить від датчиків стискання або тензодатчиків, розміщених на випробувальній машині; з його допомогою можна здійснювати випробування циліндричних зразків бетону

або цементу на стискання, розтягування та розрив. Його програмне забезпечення може створювати файл, що містить параметри декількох зразків, який можна легко використати перед виконанням випробування. Цифровий блок дозволяє роздруковувати результати випробувань та експортувати зчитані дані через RS232 на ПК для зберігання.

Короткі технічні характеристики:

- Жорстка чотириколонна рама;
- Максимальне навантаження: 2000 кН;
- Максимальний вертикальний просвіт: 336 мм;
- Розмір натискних пластин: 510x320x55 мм;
- Клас точності: 1;
- Максимальний хід поршня: ~55 мм;
- Електроживлення: 230 В, 50 Гц, 750 Вт;
- Габарити: 870x600x1400 мм;
- Маса: ~ 900 кг.

Випробувальний прес складається із двох основних частин:

Рами разом із:

- домкратом, який дозволяє навантажувати зразки за допомогою контуру тиску;
- двома загартованими плитами, що передають зусилля, яке прикладається домкратом до зразка;
- шарнірним з'єднанням, що дозволяє належним чином розподіляти навантаження на зразок;
- набором розпірних деталей, які розміщуються між домкратом та нижньою плитою, для регулювання денного освітлення по вертикалі відповідно до розмірів зразків.

Блоку Сервотронік: який дозволяє визначати прикладене навантаження за допомогою датчика тиску, встановленого на стискальній машині. Блок Сервотронік має двигун, гідравлічний блок та коробку передач з електронним вимірюванням.

## 2.4 Руйнівний метод дослідження міцності бетону за контрольними зразками

Перед тим як приступити до роботи з випробувальною машиною, були повторно оглянуті досліджувані зразки на наявність в них тріщин, пор чи інших ознак браку. Оскільки таких признаков браку не було виявлено, окрім двох найменших циліндрів про які згадувалося вище, далі приступили до контрольних замірів усіх зразків, чи відповідає отриманий розмір зразка запланованому. Всі заміри було знято і записано в журнал досліджень.

Наступним етапом стало виставляння бетонних зразків на прижимну плиту пресу. З метою рівномірного розподілення навантаження досліджувані зразки ставилися рівно посередині плити. Для цього за допомогою маркеру, клейкої паперової стрічки та рулетки було розграфлено розмірну сітку на нижній прижимній плиті, куди повинен встановлюватися бетонний зразок (рис. 2.11). Як результат були отримані межі габаритів кожного типу зразків.

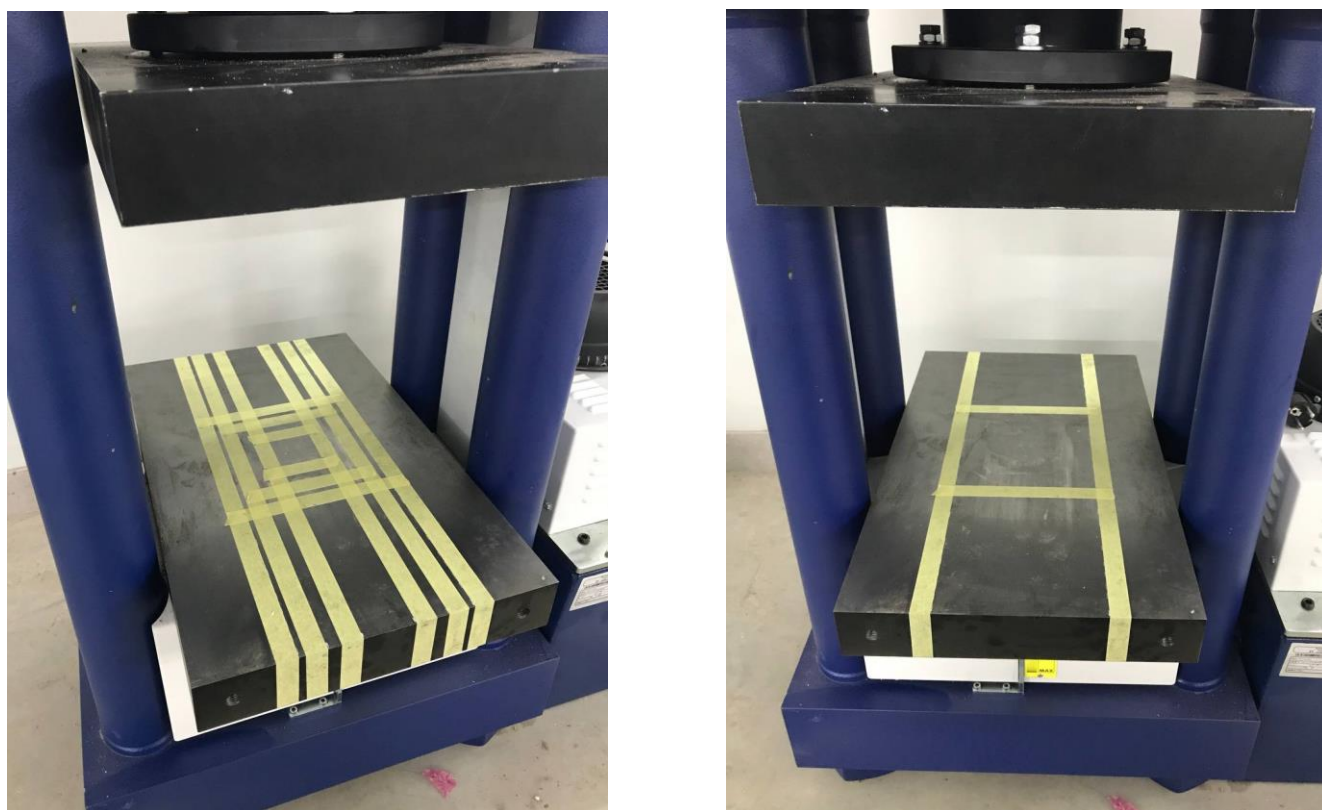


Рисунок 2.11 – Розмірна сітка для виставлення зразків

Після встановлення зразка на нижню прижимну плиту (рис. 2.12) потрібно послабити гвинтове кріплення верхньої прижимної плити, щоб встановити приставки з прорізом потрібних розмірів, (залежно від зразка який знаходиться в даний момент) задля зменшення вертикального просвіту. Коли всі необхідні приставки встановлені регулятор положення верхньої прижимної плити фіксується.

Наступним кроком є під'єднання випробувальної машини до живлення і запуск цифрового блоку керування. Керування в блоці Сервотроніка відбувається за допомогою сенсорної панелі. Для початку потрібно вибрати задачу яку буде виконувати гідравлічний прес. На сенсорній панелі вибираємо пункт випробування на стиск і далі вводимо найменування, форми і розміри зразків які будуть досліджуватися (рис. 2.13). В нашому випадку вводимо 4 різних варіанти.

Також потрібно зазначити початок навантаження в кН та швидкість навантаження в МПа/сек. В нашому випадку ці параметри для всіх зразків були задані однакові, а саме початок навантаження становив 10 кН та швидкість навантаження 0,8 МПа/сек.

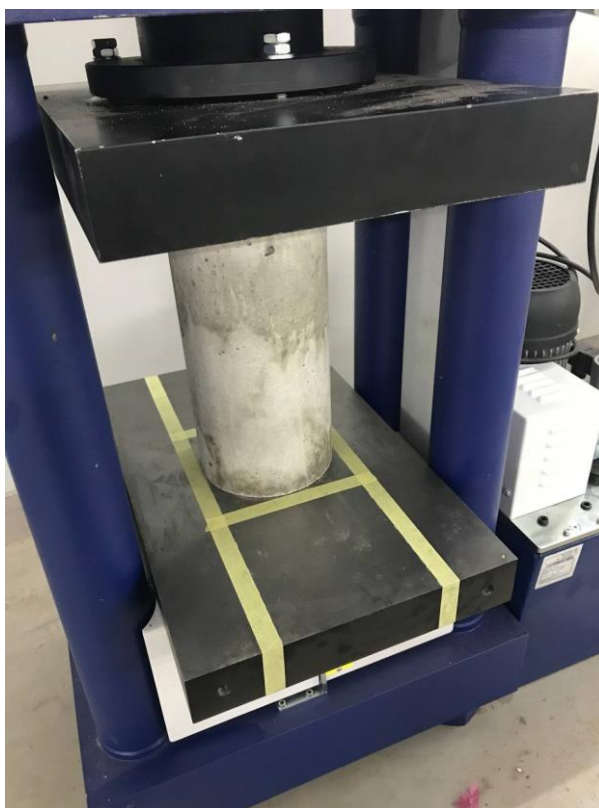


Рисунок 2.12 – Виставлений зразок на прижимній плиті



Після цього натискалася кнопка пуск і запускався весь процес. Нижня прижимна плита почала підійматися з заданою швидкістю. Коли верхня грань встановленого зразка почала дотикатися до нижньої частини верхньої прижимної плити, то оскільки ця плита є рухомою вона почала підлаштовуватись під не ідеально рівну верхню грань зразка, що унеможливило позацентрового стиску.

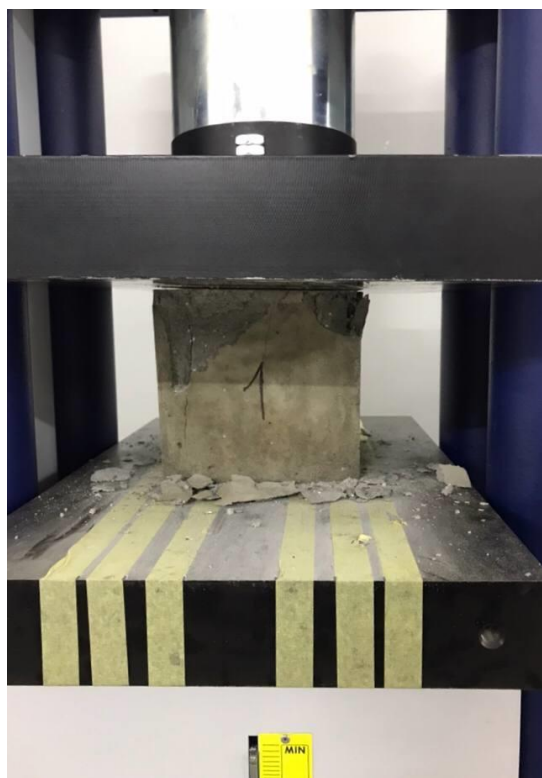


Рисунок 2.13 – Внесення необхідних показників в блок керування

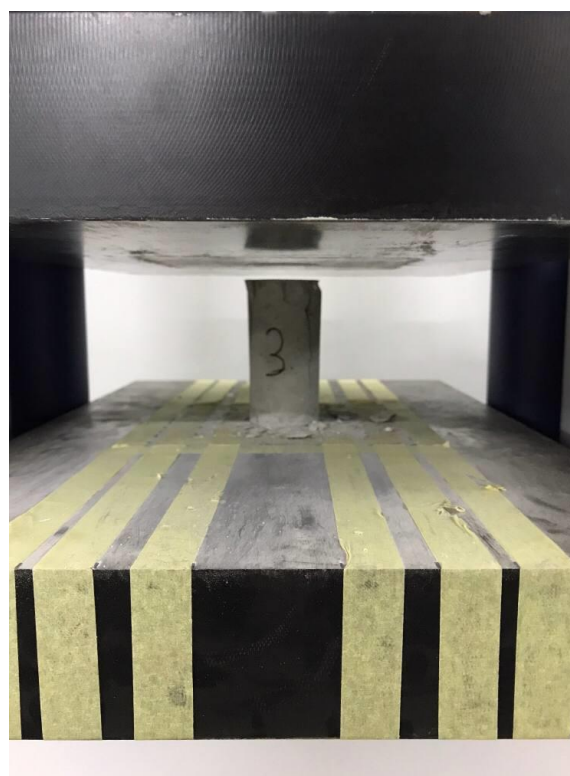


Рисунок 2.14 – Діаграма руйнування з зупинкою навантаження 10%

Під час процесу роботи випробувальної машини на екрані блоку керування висвітлюється діаграма руйнування (рис. 2.14), яка змінюється в режимі реального часу аж до самого руйнування зразка. Коли відбувається руйнування зразка (рис. 2.15), машина автоматично зупиняється, нижня прижимна плита повертається в початкове положення, а на табло фіксується результат максимального напруження і навантаження.



а)



б)

Рисунок 2.15 – Момент руйнування: а) кубічних зразків; б) циліндричних зразків.

Після випробування кожного із зразків результати зберігаються на спеціальний накопичувач. Коли нижня прижимна плита повернулася в початкове положення її поверхня очищається від залишків бетону, встановлюється наступний зразок, вводяться його необхідні технічні параметри і процес запускається заново. І така процедура повторюється з кожним зразком. Після закінчення випробування було повторно оглянуто і проаналізовано зразки, їх характер руйнування, зародження і поширення тріщин, а також наявність порожнин в середині зразків

(рис. 2.16). Після цього результати експериментальних досліджень порівнювали із теоретичними закономірностями.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.16 – Зруйновані бетонні зразки: а) великі циліндри; б) середні циліндри; в) малі циліндри; г) куби.

## 2.5 Висновки за розділом 2

1. Виконано процес виготовлення контрольних зразків для дослідження міцності бетону руйнівним методом.
2. Проведені дослідження бетонних зразків чотирьох різних типів та розмірів на випробувальному пресі.
3. Проведено візуальний огляд контрольних зразків як до, так і після випробування, на наявність браку
4. Результати досліджень записані на спеціальний накопичувач для подальшої обробки інформації.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Аналіз запланованих і фактичних розмірів зразків

В процесі експерименту були досліджені бетонні зразки в формі кубів та циліндрів в загальній кількості 13 штук двох партій, а саме:

- першу партію склали зразки в формі кубів кількістю 3 шт; в формі циліндрів різного розміру кількістю 7 шт, які набирали міцність 28 діб.

- другу партію склали зразки в формі найменших циліндрів кількістю 3 шт, які набирали міцність 14 діб.

Контрольні зразки виготовлялися згідно таким співвідношенням матеріалів, щоб бетон відповідав класу міцності С16/20. Всі зразки візуально оглядалися на присутність в них якихось дефектів, таких як великі пори, відколи, усадочні тріщини. Після цього були здійснені фактичні заміри усіх зразків, які показали, що є мінімальні відхилення від запланованого розміру, що вважається допустимим. Результати замірів вказані в табл. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1 – Дані фактичних розмірів кубічних зразків

Назва зразка	Розмір граней, мм				Площа, см <sup>2</sup>
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	S
Куб <sub>1</sub>	148	150	152	148	225
Куб <sub>2</sub>	149	152	150	150	225
Куб <sub>3</sub>	150	149	150	150	225

Таблиця 3.2 – Дані фактичних розмірів циліндричних зразків

Назва зразка	Розмір, мм		Площа, см <sup>2</sup>
	d	h	S
Циліндр <sub>в</sub>	150	298	176,6
	150	300	
	150	299	
Циліндр <sub>с</sub>	100	199	78,5
	100	198	
	100	200	
Циліндр <sub>м</sub>	50	100	19,6
	50	98	
	50	100	
	50	99	

### 3.2 Аналіз результатів досліджень бетонних кубів

Відповідно до мети роботи спочатку були проведені дослідження кубічних зразків розміром 150x150x150 мм та віком 28 діб. По завершенню досліджень був проведений аналіз результатів. В табл. 3.3 вказані результати випробувань кубічних зразків, які були зафіксовані на панелі керування випробувального пресу.

Для того, щоб перевірити достовірність результатів, після досліджень кожних типів зразків проводили розрахунок для визначення фактичної міцності та класу бетону. Для цього були взяті фактичні розміри граней і результати досліджень певної партії, які вказані у табл. 3.1, 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати випробувань кубічних зразків у віці 28 діб

Назва зразка	Максимальне навантаження $F$ , кН	Максимальне напруження, МПа	Середнє напруження, МПа
Куб	763,0	33,91	31,75
	705,9	31,37	
	674,8	29,99	

Після аналізу результатів досліджень, потрібно було виконати статистичну обробку даних. Спочатку потрібно підрахувати значення міцності бетону на стиск за формулою 3.1:

$$f_{c_1} = (F \times a) / A = (763,0 \times 1,00) / 225 = 33,91 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

де  $a$  – масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базового розміру та форми, відповідно до стандарту [18].

Значення міцності бетону на стиск для двох інших зразків партії становить  $f_{c_2} = 31,37$  МПа,  $f_{c_3} = 29,99$  МПа.

Далі знаходимо середнє значення міцності бетону на стиск за формулою 3.2:

$$f_{cm} = \frac{f_{c_1} + f_{c_2} + f_{c_3}}{n} = \frac{33,91 + 31,37 + 29,99}{3} = 31,75 \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

де  $n$  – кількість зразків в партії.

Наступним визначаємо розмах одиничних значень міцності бетону в контрольованій партії  $Wm$ , що визначається, як різниця між  $f_{max}$  та  $f_{min}$  за формулою 3.3:

$$Wm = f_{max} - f_{min} = 33,91 - 29,99 = 3,92 \quad (3.3)$$

Після цього обраховуємо середній квадратичний відхил міцності бетону в партії за формулою 3.4:

$$s_m = \frac{Wm}{a} = \frac{3,92}{1,69} = 2,31, \quad (3.4)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що залежить від числа одиничних значень і приймається за табл. 1, згідно стандарту [17].

Потім визначаємо коефіцієнт варіації за формулою 3.5:

$$V = \frac{S_m}{f_{cm}} = \frac{2,31}{31,75} = 0,072 \quad (3.5)$$

Тепер визначаємо характеристичне значення міцності та клас для бетонних зразків за формулою 3.6:

$$f_{ck,cube} = f_{cm}(1 - 1,64 \times V) = 31,75 (1 - 1,64 \times 0,072) = 28 \text{ МПа} \quad (3.6)$$

Відповідно до даних про класи бетону по міцності, для класу С16/20, загальноприйнятий становить 20 МПа, що відрізняється від розрахункового значення гарантійної міцності. Це може бути пов'язане із похибкою при виготовленні бетонної суміші, однак це відхилення не впливає на поставлене завдання, оскільки всі зразки були виготовлені з однієї і тієї ж бетонної суміші. Дотримуючись норм стандарту [19], фактичний розрахований клас міцності бетону відповідає характеристикам класу бетону С20/25.

По даних, які були отримані після дослідження бетонних зразків, та збережені через RS232 на ПК, був побудований графік залежності між максимальним навантаженням і часом руйнування зразка (рис. 3.1). Параметри швидкості та початку навантаження для всіх зразків були однаковими.

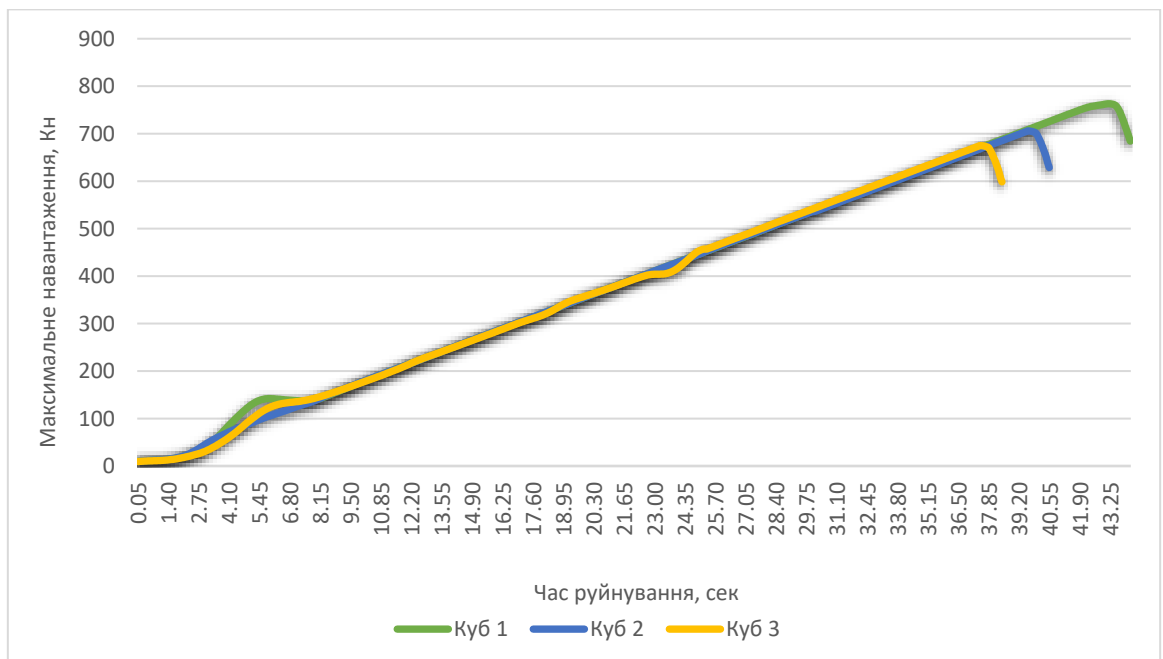


Рисунок 3.1 - Графік залежності часу руйнування від навантаження для кубічних зразків з гранями 150 мм



### 3.3 Аналіз результатів досліджень бетонних циліндрів

Після випробувань циліндричних зразків експериментальні дані, отримані з панелі керування випробувального пресу, були проаналізовані та представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати випробувань циліндричних зразків у віці 28 та 14 діб

Назва зразка	Максимальне навантаження $F$ , кН	Максимальне напруження, МПа	Середнє напруження, МПа
вік 28 діб			
Циліндр <sub>в</sub>	493,7	27,93	26,62
	464,5	26,28	
	453,4	25,66	
Циліндр <sub>с</sub>	287,0	36,54	35,47
	275,8	35,11	
	267,6	34,74	
Циліндр <sub>м</sub>	39,1	19,92	19,92
вік 14 діб			
Циліндр <sub>м</sub>	29,6	15,08	11,87
	22,3	11,37	
	18,0	9,17	

Подібним чином, як після отримання результатів досліджень зразків кубічної форми, було проведено статистичну обробку даних бетонних зразків великих циліндрів діаметром 150 мм, висотою 300 мм і віком 28 діб.

Спочатку підраховали значення міцності бетону на стиск за формулою 3.7:

$$f_{c_1} = (F \times a)/A = (493,7 \times 1,20)/176,6 = 33,54 \text{ МПа} \quad (3.7)$$

Значення міцності бетону на стиск для двох інших зразків партії становить  $f_{c_2} = 31,56 \text{ МПа}$ ,  $f_{c_3} = 30,80 \text{ МПа}$ .



Далі вираховуємо середнє значення міцності бетону на стиск за формулою 3.8:

$$f_{cm} = \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{n} = \frac{33,54 + 31,56 + 30,80}{3} = 31,96 \text{ МПа} \quad (3.8)$$

Потім визначаємо розмах одиничних значень міцності бетону в контрольованій партії за формулою 3.9:

$$Wm = f_{max} - f_{min} = 33,54 - 30,80 = 2,74 \quad (3.9)$$

Наступним обраховуємо середній квадратичний відхил міцності бетону в партії за формулою 3.10:

$$s_m = \frac{Wm}{a} = \frac{2,74}{1,69} = 1,62 \quad (3.10)$$

Після цього визначаємо коефіцієнт варіації за формулою 3.11:

$$V = \frac{s_m}{f_{cm}} = \frac{1,62}{31,96} = 0,050 \quad (3.11)$$

Вкінці визначаємо характеристичне значення міцності та відповідно клас для бетонних зразків за формулою 3.12:

$$f_{ck, cylinder} = f_{cm}(1 - 1,64 \times V) = 31,96(1 - 1,64 \times 0,050) = 29,33 \text{ МПа} \quad (3.12)$$

Відповідно до даних про класи бетону по міцності, для класу С16/20, загальноприйнятий становить 20 МПа, що як і в варіанті з кубами відрізняється від розрахованого значення гарантійної міцності. На такий результат могли вплинути незначні похибки при виготовленні компонентів бетону. Таке відхилення не впливає на поставлені завдання роботи. Отже, фактичний розрахований клас міцності бетону відповідає характеристикам класу С20/25.

Згідно даних, поданих в табл. 3.4, побудований графік залежності між максимальним навантаженням і часом руйнування зразка (рис. 3.2). Параметри швидкості та початку навантаження для всіх зразків були однаковими.

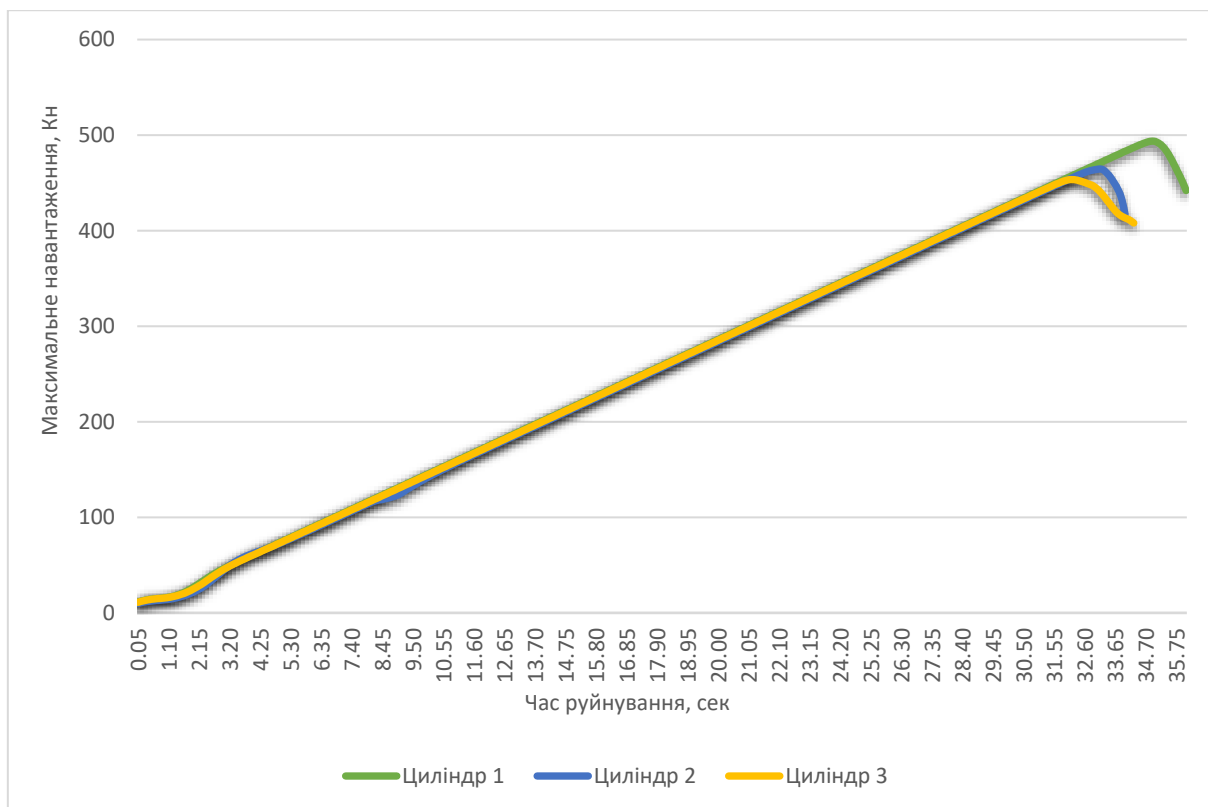


Рисунок 3.2 - Графік залежності часу руйнування від навантаження для великих циліндричних зразків діаметром 150 мм

Наступним був проведений розрахунок для визначення фактичної міцності та класу бетонних зразків середніх циліндрів діаметром 100 мм і висотою 200 мм. Розрахунок проводився аналогічно двом попереднім.

Спочатку визначали значення міцності бетону на стиск за формулою 3.13:

$$f_{c1} = (F \times a) / A = (287,0 \times 1,16) / 78,5 = 42,41 \text{ МПа}, \quad (3.13)$$

відповідно  $f_{c2} = 40,75 \text{ МПа}$ ,  $f_{c3} = 39,54 \text{ МПа}$ .

Далі вираховуємо середнє значення міцності бетону на стиск за формулою 3.14:

$$f_{cm} = \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{n} = \frac{42,41 + 40,75 + 39,54}{3} = 40,90 \text{ МПа} \quad (3.14)$$

Після цього визначаємо розмах одиничних значень міцності бетону в контрольованій партії за формулою 3.15:

$$Wm = f_{max} - f_{min} = 42,41 - 39,54 = 2,87 \quad (3.15)$$

Наступним визначаємо середній квадратичний відхил міцності бетону в партії за формулою 3.16:

$$S_m = \frac{Wm}{a} = \frac{2,87}{1,69} = 1,69 \quad (3.16)$$

Потім вираховуємо коефіцієнт варіації за формулою 3.17:

$$V = \frac{S_m}{f_{cm}} = \frac{1,69}{40,90} = 0,041 \quad (3.17)$$

Тепер визначаємо характеристичне значення міцності та клас для бетонних зразків за формулою 3.18:

$$f_{ck,cylinder} = f_{cm}(1 - 1,64 \times V) = 40,90 (1 - 1,64 \times 0,041) = 38,14 \text{ МПа} \quad (3.18)$$

За даними, записаними в табл. 3.4, побудований графік залежності між максимальним навантаженням і часом руйнування зразка (рис. 3.3). Параметри швидкості та початку навантаження для всіх зразків були однаковими.

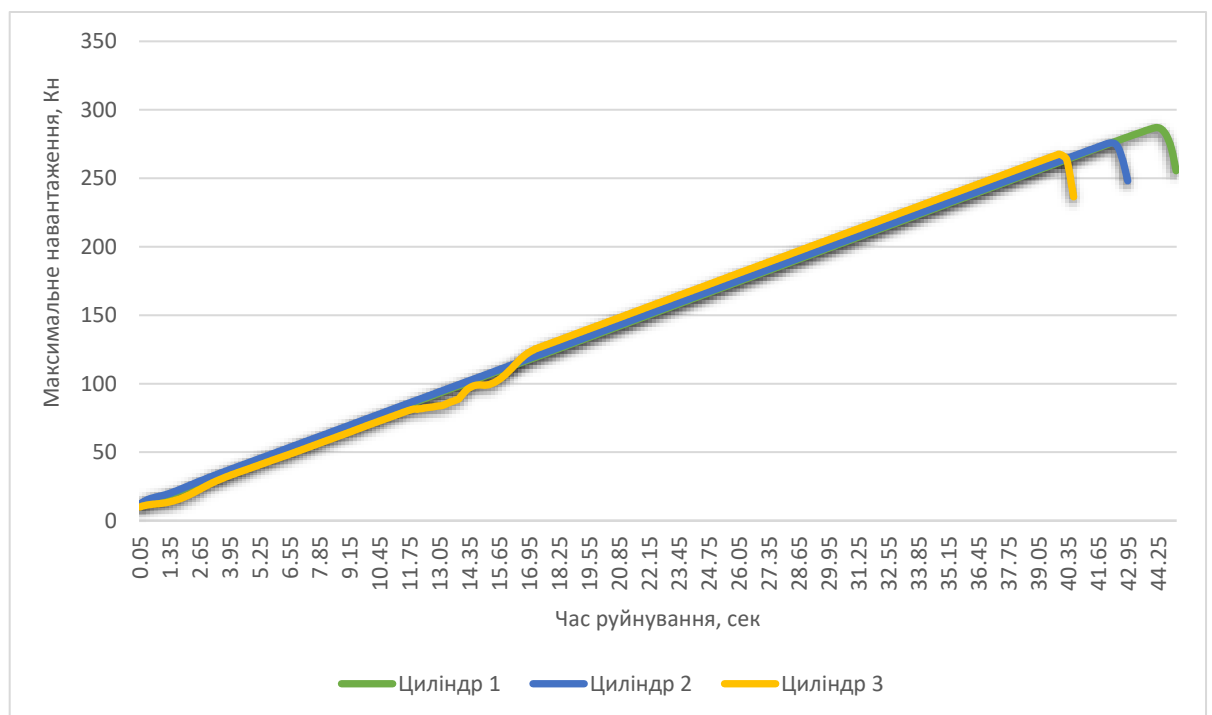


Рисунок 3.3 – Графік залежності часу руйнування від навантаження для середніх циліндричних зразків діаметром 100мм

Згідно з даними про класи бетону по міцності, для класу С16/20 міцність становить 20 МПа, що як і в варіанті з великими циліндрами відрізняється від розрахованого значення гарантійної міцності. Таке можливо через похибки при виготовленні бетонної суміші, проте дане відхилення не впливає на поставлені

задачі. Бетон виготовлявся із суворим дотриманням необхідної кількості компонентів. Отже, фактичний розрахований клас міцності бетону відповідає характеристикам класу С30/35.

Наступним випробовувався малий циліндр діаметром 50 мм і висотою 100 мм у віці 28 діб. Оскільки в двох інших зразках цієї партії був виявлений брак, то неможливо виконати повний розрахунок характеристичного значення міцності партії бетону на стиск. Було визначене значення міцності бетону на стиск лише для одного зразка за формулою 3.19:

$$f_{c_1} = (F \times a)/A = (39,1 \times 0,95)/19,6 = 18,95 \text{ МПа} \quad (3.19)$$

Отже, згідно з даними про класи бетону по міцності, в яких для класу С16/20 міцність становить 20 МПа, можна вважати, що вказаний циліндричний зразок не відповідає проектному класу бетону. Його фактичний клас бетону С12/15.

За даними, отриманими після дослідження вказаного бетонного зразка, та збереженими через RS232 на ПК, був побудований графік залежності між максимальним навантаженням і часом руйнування зразка (рис. 3.4). Параметри швидкості та початку навантаження, як і для попередніх зразків були задані однакові.

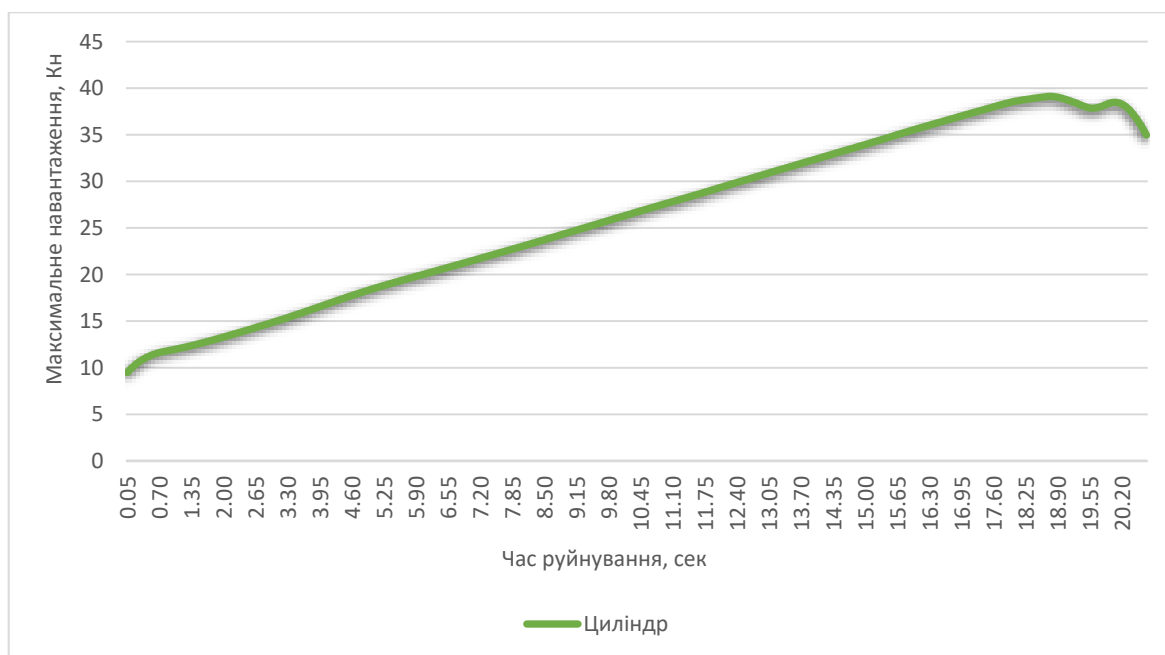


Рисунок 3.4 – Графік залежності часу руйнування від навантаження для малого циліндра діаметром 50 мм, у віці 28 діб

Останньою випробовували партію у віці 14 діб із трьох зразків малих циліндрів діаметром 50 мм і висотою 100 мм. Після цього був проведений розрахунок для визначення характеристичного значення міцності та класу бетону партії.

Спочатку визначили значення міцності бетону на стиск за формулою 3.20:

$$f_{c_1} = (F \times a) / A = (29,6 \times 0,95) / 19,6 = 14,34 \text{ МПа}, \quad (3.20)$$

відповідно  $f_{c_2} = 10,80 \text{ МПа}$ ,  $f_{c_3} = 8,72 \text{ МПа}$ .

Далі підраховали середнє значення міцності бетону на стиск за формулою 3.21:

$$f_{cm} = \frac{f_{c_1} + f_{c_2} + f_{c_3}}{n} = \frac{14,34 + 10,80 + 8,72}{3} = 11,28 \text{ МПа} \quad (3.21)$$

Потім вираховуємо розмах одиничних значень міцності бетону в контрольованій партії за формулою 3.22:

$$W_m = f_{\max} - f_{\min} = 14,34 - 8,72 = 5,62 \quad (3.22)$$

Після цього визначили середньоквадратичне відхилення за формулою 3.23:

$$S_m = \frac{W_m}{a} = \frac{5,62}{1,69} = 3,32 \quad (3.23)$$

Наступним вираховуємо коефіцієнт варіації за формулою 3.24:

$$V = \frac{S_m}{f_{cm}} = \frac{3,32}{11,28} = 0,294 \quad (3.24)$$

Вкінці визначаємо характеристичне значення міцності та клас для бетонних зразків за формулою 3.25:

$$f_{ck, cylinder} = f_{cm}(1 - 1,64 \times V) = 11,28(1 - 1,64 \times 0,294) = 5,84 \text{ МПа} \quad (3.25)$$

За даними, поданими в табл. 3.4, побудований графік залежності між максимальним навантаженням і часом руйнування зразка (рис. 3.5). Параметри швидкості та початку навантаження для всіх зразків були однаковими.

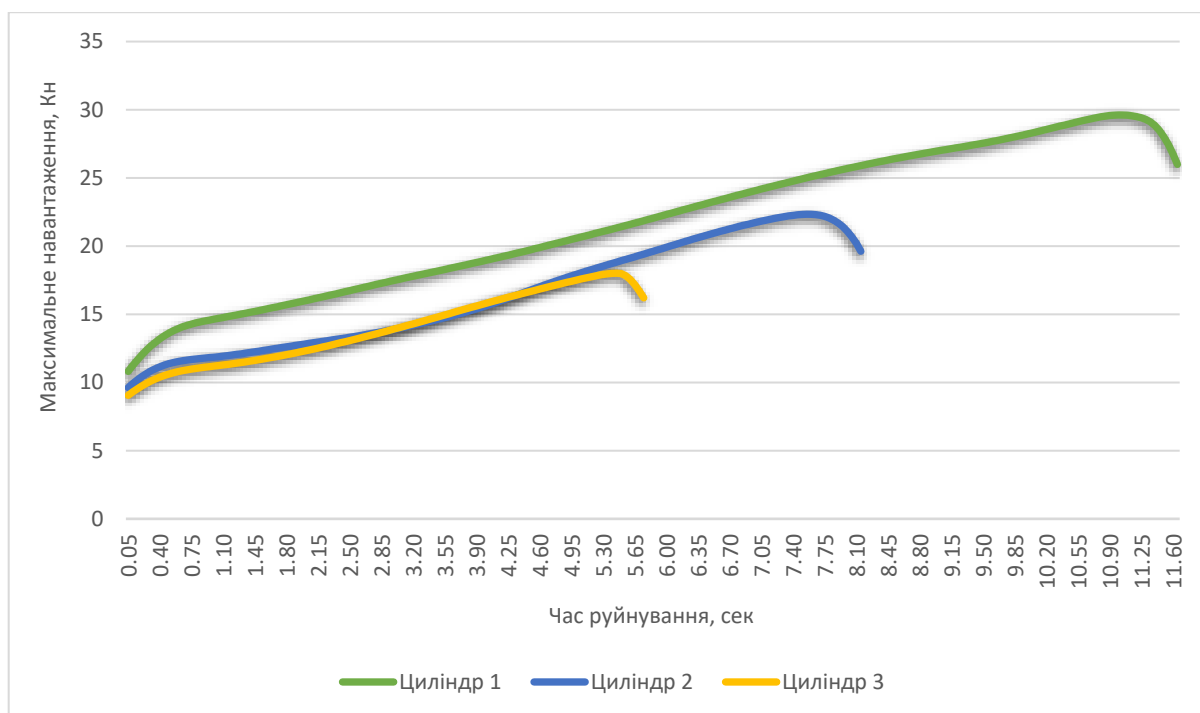


Рисунок 3.5 – Графік залежності часу руйнування від навантаження для малих циліндрів діаметром 50 мм, у віці 14 діб

Як можна побачити по результатах розрахунку, гарантований клас міцності партії малих циліндричних зразків віком 14 діб є найменшим. Це зумовлене зокрема тим, що бетон за 14 діб не набрав необхідної міцності. А також це означає те, що розрахунок фактичної міцності і класу бетону для зразків з набором міцності 14 діб не є доцільним.

### 3.4 Узагальнення результатів досліджень впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону.

Отже, підбиваючи підсумки до проведених досліджень, в яких було заплановано провести дослідження впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону та проаналізувати результати. Було проведено випробування зразків віком 28 та 14 діб. Бетонні зразки були двох типів, циліндричної та кубічної форми, загальній кількості 13 шт. Всі дані були проаналізовані та записані в таблицях 3.3, 3.4. В таблицях були вказані показники максимального навантаження та напруження кожного зразка та середнє напруження в партії. Відповідно до результатів були побудовані графіки руйнування зразків (рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5),

в залежності від часу руйнування та максимального навантаження. Для порівняння отриманих даних всі результати були занесені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Об'єднані результати випробувань трьох партій бетонних зразків віком 28 діб, після випробувань на гідравлічному пресі Matest

Тип зразка	Проектний клас бетону	Фактичний клас бетону	Середня міцність бетону, МПа
Куб	C16/20	C20/25	31,75
Циліндр <sub>в</sub>	C16/20	C20/25	31,96
Циліндр <sub>с</sub>	C16/20	C30/35	40,9
Циліндр <sub>м</sub>	C16/20	C12/15	18,95

Середня міцність бетону для партії малих циліндрів віком 14 діб становить 11,28 МПа.

Для візуалізації впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону був побудований графік (рис. 3.6):



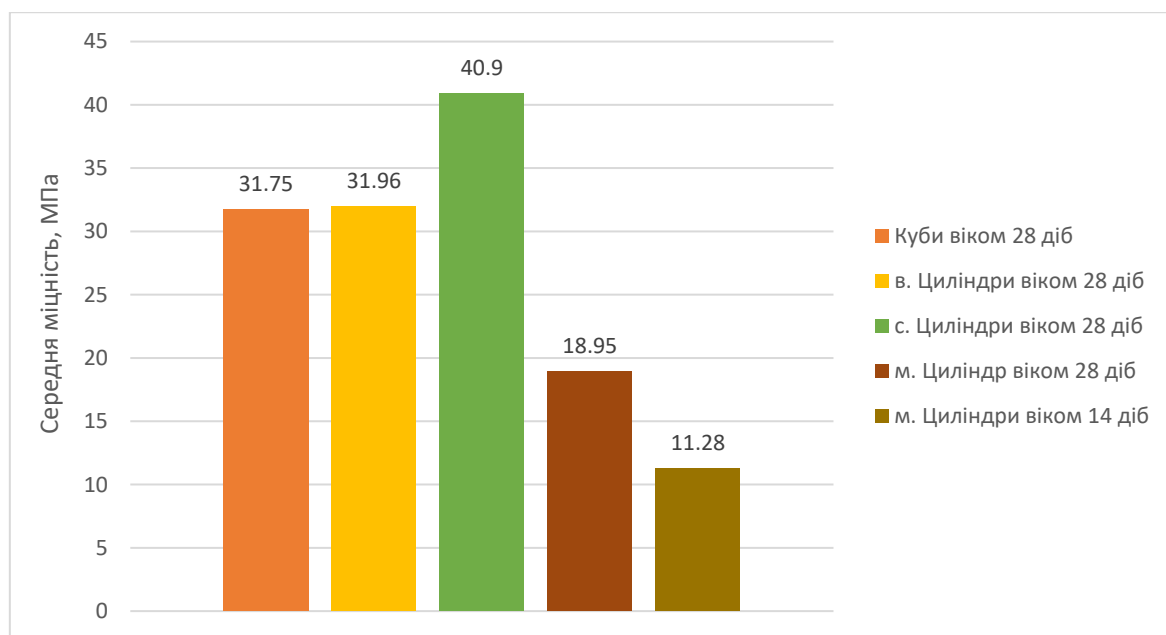


Рисунок 3.6 – Зведений графік середньої міцності усіх типів випробуваних зразків

### 3.5 Висновки за розділом 3

1. Проаналізовано дані, отримані в результаті дослідження бетонних зразків на випробувальному пресі.
2. За допомогою формул та даних отриманих після дослідження, визначено показник середньої міцності та фактичний клас партій бетонних зразків.
3. За результатами досліджень побудовано графіки руйнування всіх типів контрольних зразків.
4. Побудований графік для візуалізації впливу типів та розмірів зразків на міцність бетону.
5. За отриманими даними після розрахунку, помітна закономірність, що зі зменшенням розміру стандартизованого зразка, збільшується його міцність.
6. Міцність бетону нестандартизованих зразків доцільно визначати на основі зразків з міцного або високоміцного бетону.
7. Отримані в роботі результати доцільно використовувати для подальших наукових досліджень.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### **4.1 Інформація з техніки безпеки при роботі на автоматизованій машині для стискання бетону з Серво-привідним блоком керування Servo-Plus Evolution**

##### **4.1.1 Загальні правила техніки безпеки**

Експлуатацію, підйом, монтаж, технічне обслуговування й утилізацію машини дозволено виконувати лише кваліфікованому персоналу. Кваліфікований персонал складається з людей, що уповноважені особою, відповідальною за техніку безпеки, виконувати будь-які дії згідно з їх досвідом та обізнаністю про роботу машини, а також стандартами, правилами та заходами. Користувач має бути ретельно проінструктований про роботу машини, щоб уникнути будь-якої неналежної експлуатації, а також про пристрої безпеки, якими може бути оснащена машина. Пристрої безпеки мають завжди бути встановлені та щоденно перевірятися. Виробник пропонує пройти навчання і не несе відповідальності за будь-які пошкодження, спричинені неналежною експлуатацією машини некваліфікованим персоналом.

Виробник рекомендує ретельно дотримуватися інструкцій та процедур настанови з експлуатації, а також правил техніки безпеки, що стосуються пристроїв безпеки і загальних правил робочого розпорядку.

Перевірте відповідність машини стандартам, що діють у державі, де встановлюється машина.

Відповідальний за техніку безпеки, оператори та інженери з технічного обслуговування мають уважно прочитати настанову з експлуатації. Вона завжди повинна бути поруч із машиною, щоб за потреби в будь-який час її можна було прочитати.

Будь-яке втручання в машину або її модифікація (електрична, механічна тощо) без письмової згоди виробника розглядаються як неприпустимі, і виробник не буде покривати збитки за будь-які пошкодження.

Зняття або несанкціоноване втручання в пристрої безпеки буде порушенням стандартів безпеки ЄС. Виробник не несе жодної відповідальності за будь-які пошкодження.

Машину слід встановлювати в місцях, захищених від пожежі та вибухів.

Рекомендуємо використовувати лише оригінальні запасні частини та приладдя; інакше виробник не нестиме жодної відповідальності.

Будьте обережні, щоб не виникли жодні небезпечні ситуації під час роботи; негайно зупиніть машину, якщо вона не працюватиме належним чином, і негайно зверніться до виробника або до авторизованого сервісного центру чи дилера.

#### **4.1.2 Пристрої безпеки**

Пристрої безпеки – це всі пристрої безпеки, що включають спеціальне технічне обладнання (щитки, кожухи тощо) для захисту оператора від будь-якої небезпеки, яку неможливо було уникнути при проектуванні приладу [21].

Зауваження. Зняття пристроїв безпеки або будь-яке втручання в роботу машини може становити небезпеку для оператора або інших людей.

#### **СТАТИЧНІ ТА РУХОМІ ПРИСТРОЇ БЕЗПЕКИ**

Стискальна машина доступна у двох моделях:

Без захисних кожухів підходить лише для випробувань тих зразків цементу, які не вибухають при руйнуванні.

Із захисними кожухами для будь-яких зразків цементу.

Переконайтеся, що рама навантаження підходить для того типу зразків, які випробовуються. За наявності будь-яких сумнівів конче необхідно встановити спеціальний запобіжний комплект, який замовляється окремо. Виробник не несе жодної відповідальності за будь-яку шкоду, заподіяну персоналу, майну, спричинену недотриманням через недотримання інструкцій, зазначених вище.

#### **ПАСИВНІ ПРИСТРОЇ БЕЗПЕКИ**

Під пасивними пристроями безпеки маються на увазі всі пристрої, які дозволяють уникнути або зменшити ризики для операторів. Ці пристрої не вимагають активного й усвідомленого втручання в їхню роботу. Цифровий блок має автоматичний вимикач для захисту двигуна.

В разі його активації дійте за процедурою, описаною в розділі 8, щоб відновити нормальні умови роботи.

#### **4.1.3 Небезпечні деталі та злишковий ризик**

Небезпечним середовищем є простір усередині та навколо машини, де оператор може бути поранений або ушкоджений.

Впродовж деяких процедур оператор може підпасти під певну небезпеку.

Ризики можна усунути, ретельно дотримуючись процедур, описаних у цій настанові, та використовуючи відповідні пристрої безпеки.

Зауваження. Якщо монтаж машини здійснюється не виробником, тоді слід залучати лише кваліфікованих операторів, спеціально навчених підйому важкої техніки.

#### **ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ:**

Перш ніж починати рутинну експлуатацію обладнання, переконайтеся, що всі компоненти перебувають у належному робочому стані. Перевірте відсутність дефектних або пошкоджених деталей. За необхідності відремонтуйте або замініть будь-яку пошкоджену деталь.

Зверніть увагу на ризик ураження електричним струмом, як при прямому, так і при непрямому контакті через непередбачену відмову електричної системи.

Не піддавайте обладнання сильним ударам.

Захищайте обладнання від вогню, екстремальних температур або зварювальних бризок.

Запобігайте його контакту з корозійними речовинами.

Ніколи не мийте машину струменями води.

#### **ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ:**

Для гарантування максимальної безпеки оператора рекомендуємо не торкатися рухомих компонентів під час процедури випробування, причому завжди використовувати належні засоби безпеки.

Під час процедури випробування завжди звертайте увагу на небезпеку затискання рук, пальців або тіла, а також падіння деталей на ноги оператора.

Не носіть одяг завеликого розміру, краваток, годинників, обручок або інші предмети, які можуть потрапити в рухомі частини приладу.

### **ПІДЙОМ:**

Під час підйому слідкуйте за тим, щоб машина була зручно зафіксована та закріплена, і щоб вона не ковзала.

Не стійте вдовж лінії прикладання сили. Не дозволяйте людям ходити під вантажами, які утримуються механічними засобами.

Під час рутинної експлуатації машини оператор може наражатись на ризик затискання пальців або рук. Передбачуваним заходом безпеки для цього є спецодежда – армовані рукавички.

### **4.1.4 Шум**

Зазначені рівні шумовипромінювання не обов'язково передбачають рівні на персонал.

Рівні на оператора, звичайно, пов'язані з рівнем шуму, створюваного обладнанням; тим щонайменше, дані рівні також впливають інші чинники: довжина впливу, характеристики довкілля, наявність інших машин, т.д.

У будь-якому випадку рівні шумовипромінювання обладнання дозволяють провести оцінку їх небезпеки.

Зауваження. Безперервна експлуатація обладнання та машин, які можуть знаходитись у робочому просторі, може призвести до підвищеного добового рівня впливу на персонал.

Якщо добовий рівень на персонал дорівнює або перевищує 85 дБ (А), рекомендується використовувати індивідуальні засоби захисту (захисні навушники, протишумні вкладиші тощо). Якщо добовий рівень впливу на персонал дорівнює або перевищує 90 дБ (А), використання індивідуальних засобів захисту (захисні навушники, протишумні вкладиші тощо) є обов'язковим. Додаткову інформацію див. у стандартах, що діють у країні встановлення обладнання.

Середній еквівалентний рівень безперервного акустичного тиску  $L_{Aeq}$  на відстані 1 м 50дБ (А): Стандарт EN ISO 3746

#### 4.1.5 Правила застосування цифрового блоку керування

Цифровий блок дозволяє зчитувати показання навантаження від датчиків тиску або тензодатчиків, що знаходяться на випробувальному стенді; можуть виконуватися випробування на стиснення, вигин та розколювання циліндричних зразків бетону чи будівельного розчину. Програмне забезпечення блоку може створювати файл з характеристиками зразків з метою швидкого вибору перед виконанням випробування. Цифровий блок дозволяє роздрукувати результати випробувань та експортувати готові дані через RS232 у ПК для збереження.

Зауваження. Дане обладнання призначене виключно для застосування, для якого воно сконструйоване. Будь-який інший вид застосування вважається неправильним і, отже, неприпустимим.

Блок "Servo-Plus Evolution" компанії Matest складається з рами з верхньою та нижньою частиною (рис. 4.1):

- Електронна коробка (цифровий блок C104N): встановлена у верхній частині; вона активує, перевіряє та координує всі робочі функції.
- Гідравлічний блок розташований у нижній частині; він служить для закачування олії в прес.



Рисунок 4.1 – Вигляд гідравлічного та цифрового блоку C104N

## **4.2 Проблеми забруднення повітря цементним пилом на промислових об'єктах та негативний вплив цементу на організм людини**

Цемент – сипкий матеріал, який у суміші з водою переходить з рідкого або тістоподібного у твердий каменеподібний стан при звичайній температурі [23]. Цемент принципово відрізняється від інших мінеральних в'язучих (гіпсу, повітряного і гідравлічного вапняку), які тверднуть тільки на повітрі або, затвердівши на повітрі, іноді продовжують тверднути в зовнішньому середовищі. Він є одним з основних будівельних матеріалів, використовується як в'язучий засіб при виготовленні бетону та бетонних конструкцій.

Цементний пил та його з'єднання шкідливо діють на дихальні шляхи, надлишок викликає захворювання верхніх відділень легенів, а також негативно впливає на шкіру та очі. Поступово в організмі людини, під дією тривалої взаємодії з пилом, можуть виникати хронічні захворювання, наприклад, запалення дихальних шляхів та призводить до таких хвороб як нежить, бронхіти, трахеїти та багато інших. Інколи цементний пил призводить до онкологічних захворювань [24].

Тому дослідження потенційних джерел викидів цементного пилу та розроблення сучасних методів для його вловлювання на промислових об'єктах як забруднювача повітря є вельми актуальною на сьогодні проблемою. Окрім цього, найнебезпечнішою в екологічному аспекті галуззю виробництва будівельних матеріалів залишається цементна промисловість, підприємства якої найбільше забруднюють довкілля. Тому виникає потреба дотримуватися положень спеціальної Державної програми [25], яка забезпечує істотне зменшення впливу цементного пилу на довкілля та здоров'я людини зокрема.

Заводи на яких здійснюється виробництво цементу, належить до переліку підприємств як основних забруднювачів повітря, занесених у "Чорну книгу". У технологічному процесі виготовлення цементу, зі збільшенням його обсягу пропорційно збільшується рівень пиловиділення в робочі зони заводу та прилеглі території. І, якщо в цехах та на технологічних дільницях, які мають організовані джерела викидів пилу, запиленість хоч і висока, але не перевищує ГДК, то у



виробничих підрозділах з неорганізованими джерелами викидів, де засоби знепилювання відсутні (на дільниці транспортування сировини та у цехах готової продукції), концентрація пилу перевищує ГДК у 5 разів і більше [26].

У промисловому виробництві цементу використовуються переважно легкоплавкі глини, аргіліти і глинисті сланці, що утворюють частину цементної шихти [23]. Другою основною її складовою є карбонатні породи. Вапняк і глину, змішують у певному співвідношенні (75-80 % вапняку і 20-25 % глини) і прожарюють при температурі близько 1450 °С у спеціальних циліндричних печах, викладених всередині вогнетривким матеріалом. Сучасні потужні цементні печі сягають у довжину 185 м і мають внутрішній діаметр до 5 м. Їх встановлюють горизонтально з деяким нахилом осі під кутом 10°. Шихту завантажують у верхню частину печі, яка повільно обертається, через що матеріал, пересипаючись внутрішнім периметром її поверхні, рухається до нижньої частини назустріч розжареним газам – продуктам горіння палива (розпиленого вугілля або горючих газів).

Основними джерелами пилоутворення цементних заводів є конвеєрні лінії, якими транспортується сировина й готова продукція, місця їх пересипання, завантаження й розвантаження, дробильні установки, печі випалювання клінкеру, кульові млини для помелу клінкеру та ін. Конвеєрні лінії для транспортування сипкої сировини (вапняку) з'єднують видобувні кар'єри з дробильними установками цементного заводу [24, 26]. Основними чинниками, які визначають запиленість повітря в робочих зонах різних дільниць, є швидкість вітру й віддаленість транспортованої сировини від кар'єру. Мінімальне пиловиділення при цьому становить 7-10 г/т, а максимальне – 50-52 г/т.

Практично всі дільниці цементних заводів мають інтенсивне пиловиділення, при якому рівень запиленості повітря перевищує ГДК, тому виконання технологічних операцій і процесів можливе лише при наявності високоефективних засобів пригнічення пилу та пиловловлювальних апаратів.

Для зменшення виділення в атмосферу пилу на цементних заводах застосовують такі заходи: укриття місць з можливим інтенсивним пиловиділенням,

рукавні фільтри, електрофільтри, циклони, витяжна вентиляція та ін. Реалізація цих заходів може бути як автономною, так і комплексно у поєднанні один з одним. У місцях, де пиловиділення в робочі зони незначне, за потреби використовуються індивідуальні засоби захисту органів дихання, водночас як герметичні кабінки для обслуговувального персоналу встановлюються в місцях з високими концентраціями пилу [26, 27, 28].

Для ефективного пиловловлювання та очищення на цементних заводах пилоповітряної суміші широко застосовують апарати із закрученням повітряного потоку: циклони, вихрові камери, скрубери, швидкісні газопромивачі, плівкові сепаратори тощо.

Для боротьби з промисловим пилом необхідно впроваджувати різноманітні заходи [28], до яких належать:

- комплексна автоматизація технологічних процесів і дистанційне управління ним;
- удосконалення технологічних процесів (застосування замкнених і безперервних технологічних процесів);
- заміна фізично зношеного і морально застарілого устаткування на нове високопродуктивне та екологічно безпечне;
- своєчасний і якісний ремонт технологічного устаткування;
- влаштування місцевої вентиляції з фільтруванням повітряної суміші;
- використання індивідуальних засобів захисту організму (спецодяг, антисептичні пасти, окуляри, шоломи, маски, протигази та респіратори).

Підсумовуючи вищевказане можна вважати, що цементні заводи виробляють цемент, який належить до канцерогенних забруднювачів повітря. Основними джерелами пилоутворення на цементних заводах є конвеєрні лінії, якими транспортується сировина й готова продукція, місця їх пересипання, завантаження й розвантаження, дробильні установки, печі випалювання клінкеру, кульові млини для його помелу та інші. Для боротьби із цементним пилом застосовують таке устаткування як витяжна вентиляція, різні промислові агрегати для вловлювання пилу, ефективність роботи яких становить до 99%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Ознайомившись з доступною науковою базою та з попередніми дослідженнями авторів, які стосуються теми, що розглядається, було вирішено дослідити, як впливає тип та розмір бетонного зразка на його міцність.

2. Вдосконалено методику експериментальних досліджень міцності бетонних контрольних зразків двох типів. Проведено дослідження руйнівним методом визначення міцності бетону на стиск циліндричних та кубічних зразків на випробувальному пресі Matest.

3. Провівши експериментальні дослідження і проаналізувавши отримані дані, можна помітити, що міцність майже у всіх партіях зразків різна.

4. Середня міцність партії віком 28 діб, для кубів розміром 150x150x150 мм становить 31,75 МПа, для циліндрів діаметром та висотою 150x300 мм – 31,96 МПа, для циліндрів розміром 100x200 мм – 40,9 МПа, для циліндра розміром 50x100 мм – 18,95 МПа. Хоч і проектний клас бетону відповідав класу С16/20, фактичний клас бетону для зразків вийшов різним. Найбільший клас бетону зафіксований в зразках середніх циліндрів розміром 100x200 мм – 40,9 МПа, що відповідає класу С30/35.

5. Провівши дослідження над малими циліндрами розміром 50x100 мм у віці 14 діб, побачимо, що середня міцність партії становить 11,28 МПа. Це найменший показник зі всіх партій. Такий результат пов'язаний з тим, що бетон з якого виготовлені зразки не встиг набрати потрібної міцності. Відповідно, розрахунок фактичної міцності і класу бетону для зразків з набором міцності 14 діб не є доцільним.

6. В ході досліджень було виявлено, які показники впливають на міцність бетонних зразків і, відповідно, на правильність отриманих результатів. В першу чергу це щільність бетону. При виготовлені зразків важливо максимально ущільнити бетон в опалубці. Для цього найкраще використовувати вібростіл. Наступним важливим фактором є вік. Контрольні зразки повинні набрати необхідну міцність перед випробуванням. Для цього з моменту заливання бетонної суміші в опалубку повинно пройти не менше 28 діб. Для отримання максимально

правильних результатів досліджень перед випробуванням потрібно очистити грані контрольних зразків від надлишків бетону.

7. За результатами досліджень помітно, що форма і розмір зразка мають вагомий вплив на його міцність. Це, зокрема, зумовлене масштабним коефіцієнтом, який використовується при розрахунку значення міцності бетону на стиск. Цей коефіцієнт переводить міцність бетону до міцності бетону в зразках базового розміру та форми. Ось чому в результаті дослідження, а також аналізу та розрахунку міцності зразків, вийшло так, що циліндричні зразки розміром 100x200 мм міцніші від кубічних з розміром граней 150 мм на 22,3%, та на 21,8% міцніші ніж зразки в формі циліндрів розміром 150x300 мм.

8. Результати досліджень показали, що міцність на стиск стандартизованих зразків зменшується зі збільшенням розміру, незалежно від форми зразка.

9. Міцність бетонних зразків на стиск нестандартизованих розмірів кубічних чи циліндричних форм доцільно визначати з міцних або високоміцних бетонів.

10. Надано рекомендації, щодо використання отриманих результатів в цій роботі для вдосконалення методики експериментальних досліджень.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Construction Materials. Their nature and behaviour. Fourth edition. Edited by Peter Domone and John Illston. 2010. – 584 с.
2. Горчаков Г.І., Орендліхер Л. П., Савін В. І. та ін. Склад, структура і властивості цементних бетонів. – М.: Стройиздат, 1976. – 145с.
3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Бетони і будівельні розчини. – видав. Основа, Україна, 2008. – 36 с.
4. «Бетон» : методические указания к выполнению расчетнографической работы для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, каф. строительных материалов ; сост. Б.А. Ефимов, Н.А. Сканави, В.С. Семенов; под ред. Д.В. Орешкина. Москва : МГСУ, 2015. 40 с.
5. Основин В.Н., Шуляков Л.В. Стойтельные материалы и изделия. – учеб. пособие./2-е изд. – Минск: Выш. Шк., 2009. – 108 с.
6. Крамарчук А.П., Ільницький Б.М., Бобало Т.В. Будівельні конструкції. – видав. Львівської політехніки, Україна, 2016. – 54 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання. Частина 1 / Укладачі: Й.Й. Лучко, О.П. Конончук – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 221 с.
8. Горчаков Г.І., Орендліхер Л. П., Савін В. І. та ін. Склад, структура і властивості цементних бетонів. – М.: Стройиздат 1976. - 145 с.
9. Бетони і будівельні розчини : Підруч. для студ. спец. "Технологія буд. конструкцій, виробів і матеріалів" вищ. навч. закл. / В. І. Гоц; Київ. нац. ун-т будва і архіт. - К. : ТОВ УВПК "ЕксОб": КНУБА, 2003. - 467 с. - Бібліогр.: с. 464-466. - укр.
10. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Основи бетонознавства. – видав. Основа, Україна, 2007. – 126 с.
11. Кайсер Л. А., Чехова Р. С. Цементи і їх раціональне використання при виробництві збірних залізобетонних виробів. – М. : Стройиздат, 1972. - 80 с.

12. Лі Ф. М. Хімія цементу і бетону. – М.: Стройиздат, 1961. - 642 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009.- 18 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 109 с.
15. Дворкін Л. Й. Міцність бетону. – навч. посібник./видав. Кондор, Україна, 2021. – 3 - 8 с.
16. Зубков В. А. Определение прочности бетона. – учеб. пособие./М.: изд-во АСВ, Москва, 1998. – 48 с.
17. ДСТУ Б В.2.7 224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.
18. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками». – ДП НДІБК, К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с.
19. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінбуд України, 2011. – 67 с.
20. Грін Т. К. Реакції гідратації портландцементу на ранніх стадіях. – В кн .:Четвертий міжнар. Конгр. з хімії цементу. М., 1964. с. 275-281.
21. Настанова з експлуатації «Автоматизовані машини для стискання бетону з Серво-привідним блоком керування Servo-Plus Evolution», Італія, 2010. - 1 – 12 с.
22. 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.
23. Мала гірнича енциклопедія. – В 3-х т. / за ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Вид-во "Донбас", 2004. – 640 с.
24. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – Л. : Изд-во "Химия", 1987. – 264 с.

25. Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки // Відомості Верховної Ради (ВВР), 1998. – № 38-39. – 248 с. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.escpravo.org.ua/2006/06/29/pro-osnovn-naprijami-derzhavno-poltiki-ukrani-u-galuz-oxoroni-dovkllja-vikoristannja-prirodnix-resursv-ta-zabezpechennja-ekologchno-bezpeki/>

26. Петров Б.А. Обеспыливание технологических газов цементного производства / Б.А. Петров, П.В. Сидяков. – Л. : Изд-во "Стройиздат", 1965. – 89 с.

27. Керб Л.П. Основи охорони праці : навч.-метод. посібн. / Л.П. Керб. – К. : Вид-во КНЕУ, 2003. – 215 с.

28. Плашихин С.В. Експериментальні дослідження циклофільтра в процесі вловлювання цементного пилу / С.В. Плашихин, Д.А. Серебрянський, Ю.А. Безносик // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. – Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : Вид-во НТУ "ХПІ". – 2010. – № 57. – С. 3-5.

29. Ясній П. В., Конончук О. П., Якубишин О. М. Дослідження міцності бетону неруйнівними методами контролю. – Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. / видав. НУВГП, Рівне, 2016. – 296 - 303 с.