

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Магістерська робота

на тему: **ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ НЕРУЙНІВНОГО
КОНТРОЛЮ МІЦНОСТІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ
МЕТОДОМ ВДАВЛЮВАННЯ АНКЕРА**

Допустити до захисту

Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор

В.А. Настоящий

" ____ " _____ 2022 р.

Керівник магістерської роботи, к.т.н., ст. викладач

М.В. Пашинський

" ____ " _____ 2022 р.

Консультант з охорони праці, к.т.н., доцент

В.В. Дарієнко

" ____ " _____ 2022 р.

Виконав студент 6 курсу спеціальності

192 – Будівництво та цивільна інженерія

Д.Є. Демідкін

" ____ " _____ 2022 р.

Кропивницький – 2022 рік

[illegible]

АНОТАЦІЯ

В даній роботі теоретично й експериментально обґрунтований спосіб неруйнівного контролю міцності монолітних конструкцій з ніздрюватих бетонів пластичним деформуванням поверхні іденторами визначеної форми, який можна використовувати безпосередньо на будівельному майданчику.

За результатами аналізу відомих методів неруйнівного контролю міцності бетонів прийнято рішення про використання методів, заснованих на пластичному деформуванні поверхні при дії статичного навантаження. У якості контрольної характеристики використовується діаметр відбитка, утвореного штампом кульової форми, або глибина проникнення конічного ідентора під дією фіксованих зусиль.

Для обґрунтування тарувальних залежностей виготовлені зразки пінобетону з різними показниками міцності та проведені їх випробування запропонованим неруйнівним методом і прямим еталонним методом. Обґрунтовано раціональні розміри кульового та конічного ідентора, а також зусилля їх вдавлювання в поверхню бетону, які дозволяють контролювати теплоізоляційні та конструкційно-теплоізоляційні ніздрюваті бетони в досить широкому діапазоні міцності.

Теоретичним шляхом встановлено раціональний вид апроксимуючих аналітичних залежностей реальної міцності від параметрів неруйнівних випробувань у формі гіпербол з різними коефіцієнтами. За результатами статистичної обробки отриманих даних отримані та описані аналітичними виразами узагальнені тарувальні залежності для визначення марки і класу міцності при стиску ніздрюватих бетонів залежно від навантаження при випробуваннях, діаметра відбитків на поверхні та глибини проникнення конічного ідентора.

Розроблена можлива конструкція переносного портативного пристрою для неруйнівного контролю міцності монолітного ніздрюватого бетону в умовах будівельного майданчика.

S U M M A R Y

In this work, a method of non-destructive control of the strength of monolithic structures made of aerated concrete by plastic deformation of the surface with identifiers of a certain shape, which can be used directly on the construction site, is theoretically and experimentally substantiated.

Based on the results of the analysis of known methods of non-destructive testing of concrete, a decision was made to use methods based on plastic deformation of the surface under the static load. As a control characteristic, the diameter of the imprint formed by the spherical stamp or the penetration depth of the conical identifier under the action of fixed forces is used.

To substantiate the tare dependences, samples of foam concrete with different strength indicators were made and tested by the proposed non-destructive method and the direct reference method. The rational dimensions of the spherical and conical indenter, as well as the effort of pressing them into the concrete surface, which allow controlling heat-insulating and structural-heat-insulating porous concrete in a fairly wide range of strength, are substantiated.

A rational form of approximating analytical dependences of real strength on the parameters of nondestructive tests in the form of hyperbolas with different coefficients was established theoretically. Based on the results of statistical processing of the obtained data, generalized tare dependences were obtained and described by analytical expressions for determining the grade and compressive strength class of porous concrete depending on the load during tests, the diameter of the imprints on the surface and the depth of penetration of the conical identifier.

A possible design of a portable portable device for non-destructive testing of the strength of monolithic aerated concrete under construction site conditions has been developed.

ЗМІСТ

В С Т У П.....	4
Розділ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ПІНОБЕТОНУ В УКРАЇНІ.....	7
1.1. Історія розвитку ніздрюватих бетонів	7
1.2. Ніздрюваті бетони як ефективний стіновий матеріал.....	10
1.3. Неруйнівні методи контролю міцності бетонів	19
1.4. Механічні методи випробувань	21
1.5. Фізичні методи випробувань	24
1.6. Порівняльний аналіз неруйнівних методів випробування міцності бетону.....	26
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1	28
Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1. Загальні залежності, що описують напружено-деформований стан матеріалів при пенетрації	30
2.2. Параметри стану ніздрюватого бетону при втискуванні кулі	39
2.3. Параметри стану ніздрюватого бетону при втискуванні конуса.....	42
2.4. Форма залежностей розмірів відбитка від міцності бетону та зусилля пенетрації	45
2.5. Методика встановлення тарувальних залежностей	48
Висновки по розділу 2	51
Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТАРУВАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ ПЕНЕТРАЦІЇ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ	53
3.1. Тарувальні залежності для сферичного штампа	53
3.2. Тарувальні залежності для конічного штампу	60
3.3. Узагальнені тарувальні залежності	66
Висновки по розділу 3	73

					КМР 2119204 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Демідкін Д.Є.			Обґрунтування способу неруйнівного контролю міцності ніздрюватого бетону методом вдавлення анкера	Стадія	Арк.
Перевір.		Пашинський М. В.					2
							100
Н. Контр.		Дарієнко В. В.				ЦНТУ гр. БІ-21М	
Затверд.		Настоящий В. А.					

Розділ 4 КОНСТРУКЦІЯ МОБІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ	
МІЦНОСТІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ	74
4.1. Загальне компонування і принцип дії пристрою	74
4.2 Розрахунки параметрів робочої пружини.....	76
4.3 Рекомендації по неруйнівному контролю міцності ніздрюватого бетону ..	77
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ	81
GENERAL CONCLUSIONS	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83
Додаток А ОХОРОНА ПРАЦІ	85

					КМР 2119204 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Обґрунтування способу неруйнівного контролю міцності ніздрюватого бетону методом вдавлювання анкера	Стадія	Арк.	Аркців
Розроб.	Демідкін Д. Є.						3	100
Перевір.	Пашинський М. В.							
Н. Контр.	Дарієнко В. В.							
Затверд.	Настоящий В. А.					ЦНТУ гр. БІ-21М		

ВСТУП

Актуальність теми. Вимоги до розвитку житлового будівництва в Україні характеризуються зниженням собівартості, підвищенням комфортності житла, його енергоефективності та довговічності основних конструктивних елементів. Поліпшення конструкцій індивідуальних, малоповерхових, а також багатоповерхових каркасних будинків вимагає використання в несучих елементах каркаса будинків як високоміцних будівельних матеріалів, так і різноманітних стінових конструкційно-теплоізоляційних і теплоізоляційних виробів. Досить ефективним матеріалом для стін житлових будівель є ніздрюватий бетон, який має хороші теплоізолюючі властивості та досить високі показники міцності. Його використання дозволяє зменшити вартість будівництва, знизити енергетичні витрати під час експлуатації та підвищити комфортність житла.

Останнім часом поряд з дрібними стіновими блоками з ніздрюватих бетонів використовується також монолітний пінобетон, який виготовляється безпосередньо на будівельному майданчику. Технологія його виробництва, сировина й устаткування не забезпечують однорідності характеристик, необхідної для сучасного будівництва. Це робить актуальним завдання оперативного контролю якості монолітного ніздрюватого бетону безпосередньо у виконаних конструкціях із використанням простих неруйнівних методів.

Мета дослідження: обґрунтувати метод неруйнівного контролю міцності монолітних конструкцій з ніздрюватих бетонів на будівельному майданчику шляхом пластичного деформування поверхні іденторами визначеної форми.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні **завдання:**

- проаналізувати відомі методи неруйнівного контролю міцності бетонів та обрати базовий метод для подальшої розробки;
- провести експериментальні дослідження міцності зразків ніздрюватого бетону обраним неруйнівним та прямим еталонним методом;
- побудувати залежності між результатами неруйнівного контролю та реальною міцністю зразків;

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

- шляхом статистичної обробки встановити апроксимуючі аналітичні залежності реальної міцності від параметрів неруйнівних випробувань;
- оцінити можливі похибки розробленого неруйнівного методу контролю міцності та встановити його оптимальні параметри;
- дати пропозиції щодо можливої конструкції приладу, який дозволяв би вимірювати міцність пінобетону неруйнівним методом в умовах будівельного майданчика.

Об'єкт дослідження: спосіб визначення характеристик міцності ніздрюватого бетону в монолітних конструкціях методом пластичного деформування поверхні.

Предметом дослідження є залежності границі міцності ніздрюватого бетону від діаметра відбитка, утвореного на поверхні бетону кульовим штампом, та від глибини проникнення конічного ідентора при відомих значеннях навантаження на ідентор.

Методи дослідження:

- експериментальне визначення контрольованих параметрів методу (діаметра відбитка на поверхні бетону та глибини проникнення конічного ідентора) та границі міцності зразків пінобетону стандартним методом;
- випробування зразків ніздрюватого бетону різної міцності з метою отримання залежностей границі міцності від контрольованих параметрів неруйнівного методу;
- статистична обробка результатів парних експериментів, обґрунтування та аналітичний опис тарувальних залежностей неруйнівного методу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- 1) обрані основні параметри випробувань неруйнівним методом, які гарантують можливість визначення границі міцності ніздрюватих бетонів різних марок (розміри кульового й конусного іденторів, навантаження на ідентори);
- 2) встановлені форми аналітичних залежностей границі міцності ніздрюватого бетону при стиску від зусилля на ідентор, діаметра відбитка на поверхні бетону та глибини проникнення конічного ідентора.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- 1) запропоновано й обгрунтовано спосіб визначення границі міцності ніздрюватого бетону в монолітних конструкціях шляхом пластичного деформування поверхні штампом кульової форми та вдавлювання у поверхню конічного ідентора;
- 2) отримані та описані аналітичними виразами тарувальні залежності для визначення класу та марки ніздрюватого бетону при стиску через діаметр відбитка на поверхні та через глибину проникнення конічного ідентора;
- 3) розроблена принципова схема та ескізний проєкт переносного портативного пристрою для контролю міцності монолітного ніздрюватого бетону в умовах будівельного майданчика.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні результати досліджень представлені на Міжнародній науково-технічній on-line конференції “Автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві” (м. Кропивницький, 10-11 листопада 2022 року) та опубліковані в тезах доповіді:

Демідкін Д., Остапенко О., Носик В. Неруйнівний контроль міцності ніздрюватого бетону методом відриву анкера // Автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2022): Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Кропивницький, 2022. – С. 227-228. – [Електронний ресурс].

Структура роботи. Робота містить 100 сторінок, у тому числі 8 таблиць, 36 рисунків, список з 23 використаних джерел, анотацію українською та англійською мовами, а також мультимедійну презентацію з 20 слайдів. Текст роботи містить вступ, 4 розділи, висновки за результатами досліджень та додаток на 16 сторінках.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ПІНОБЕТОНУ В УКРАЇНІ

1.1. Історія розвитку ніздрюватих бетонів

Перш за все на виробництво ніздрюватого бетону суттєвий вплив створила зміна концепції в будівельному виробництві – проведення глибоких соціально-економічних перетворень, перехід до ринкових умов, і в зв'язку з цим, розвиток приватного підприємництва, зниження вартості будівництва житла з одночасним підвищенням комфортності “теплого” помешкання, при відносно невеликих витратах на зведення огорожуючих конструкцій. Тобто, ці фактори склали об'єктивні умови, які і стали основою розвитку ніздрюватих бетонів.

Вважається, що газобетон є більш молодим матеріалом, оскільки пінобетон в СРСР почав випускатися з 1930 р., а газобетон – з кінця 50-х. Промисловий випуск виробів з ніздрюватого бетону відносять до 70-х рр.

Однак, вперше ніздрюватий бетон був отриманий німецьким інженером Е. Гофманом ще в 1891 р. (Німеччина), шляхом виділення газу при введенні в цементний розчин деяких хімічних речовин. Пізніше цей спосіб отримання пористої будови матеріалів за допомогою газу – спосіб газобетону неодноразово змінювався. Це пов'язано з вибором газоутворюючих речовин. Найбільше розповсюдження отримали добавки тонко меленої металевої пудри (алюмінію або цинку). Так перший патент на газобетон з *Al* пудрою був отриманий Ейлсуором та Дайлером в 1906 р. (США) [1].

В 1911 р. Німецький інженер Байер запропонував на той час нову технологію отримання ніздрюватих бетонів. Його розробка заключалась в змішуванні розчину в'язучого з особливо стійкою піною. Цей винахід відразу не отримав практичного застосування. І лише в 1923 р. був отриманий патент на пінобетон, на основі якого в 1924 р. почався випуск промислового пінобетону датською фірмою “Крістіані і Нільсен”. А починаючи з 1925 р. в інших країнах взяли на озброєння технологію виготовлення пінобетону.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На території України пінобетон застосовувався багатьма віками у вигляді збитого кладочного розчину з додаванням білкового пороутворювача (курячих яєць). Це дозволяло знизити теплопровідність кладки, підвищити її морозостійкість, міцність, повітронепопроникність [2].

До кінця 20-х рр. XX ст. в Америці і Європі працювало близько 100 малих виробництв з випуску газобетону, в той час як на території СРСР лише розпочиналися роботи з пінобетону інженерами І.С. Петельником, М. Вензелем, А.А. Брюшковим. В зв'язку з відсутністю в країні виробництва алюмінієвої пудри, вибір був зроблений на користь пінобетону, масове виробництво якого розпочалося з 1930 р. З цього часу він широко впроваджується в будівельну практику. Спочатку пінобетон виготовляється на спеціально побудованому під керівництвом М.Н. Вензеля заводі в Ленінграді. Продуктивність заводу в 1931 р. складала 12 тис.м³ на рік.

Починаючи з цього часу в СРСР застосовувався пінобетон на різноманітних будівлях в якості теплоізоляційного матеріалу. Запрацювали заводи з випуску автоклавного пінобетону (в основному у вигляді плит покриття промбудівель і стінових блоків), які дали потужний імпульс індустріальному крупноблочному і крупнопанельному домобудівництву.

За декілька років об'єм пінобетонних виробів склав 20 тис. м³. Причому досить простий спосіб виготовлення дозволив використовувати ці матеріали в самих різних умовах (Сибір, Мурманськ...) [3].

На розвиток та удосконалення виготовлення ніздрюватих бетонів в той час впливали роботи Ленінградського інституту споруд, в якому проводилися наукові дослідження в області удосконалення піноутворювачів, заміни портландцементу більш дешевим в'язучим, проводилися спостереження за станом споруд з ніздрюватого бетону.

Більше 20 років переважна більшість вітчизняних заводів та підприємств випускали пінобетон. Ситуація почала змінюватись з 1960 р., коли почали вводитись крупні заводи з виробництва газобетону потужністю до 200 тис. м³ на рік, на закупленому в Польщі обладнанні за технологією "Сіпорекс". Першим

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

великим підприємством по випуску крупнорозмірних виробів з газобетону був Новосибірський завод [1].

На сьогоднішній час ніздрюватий бетон виготовляється на 210 підприємствах в 38 країнах світу, де випускається щорічно більше 50 млн. м³ різноманітної продукції, що забезпечує широку номенклатуру виробів, необхідних для будівництва житлових, соціально-побутових і промислових будівель, і в першу чергу для малоповерхового будівництва. До них відносять: стінові блоки, перегородки, стінові панелі, плити перекриття і покриття. Тобто вирішується і проблема індустріалізації будівництва, так як можна виготовляти крупногабаритні вироби, які виконують як конструктивне так і архітектурно-художнє призначення. З них будуються присадибні будинки висотою 1-3 поверхи, сільськогосподарські приміщення, житлові будинки у 5-12 поверхів, громадські та промислові будівлі у 2-16 поверхів. Тільки в Китаї працює більше 50 таких підприємств, в Німеччині – 35, в Польщі – 30, в Японії – 15.

Основний об'єм випуску – комплекти на будинок для малоповерхових будівель. Використання різних технологій дало можливість фірмам “ITONG”, “SIPOREX”, “HEBE”, “DUROX-KALSILOX” запроектувати та запустити у виробництво заводи-автомати продуктивністю 200 тис. м³ на рік. Ці фірми є ведучими в області виробництва виробів з ніздрюватого бетону. Заводи цих фірм працюють в багатьох країнах світу, на їх долю приходить близько 50% діючих підприємств [5].

Ніздрюватий бетон активно використовується і в країнах колишнього Радянського Союзу. В останні десятиріччя збільшується його популярність в Україні. Починаючи з 2000 року Україна масово використовує ніздрюватий бетон у житловому будівництві: як в малоповерховому так і у висотному.

В Україні залишилася у спадок обширна підприємницька база, яка включає 11 заводів з загальною потужністю в 1,5 млн. м³ на рік. Проте більша частина з них з різних причин простоювала або виведена з експлуатації. Значна частина заводів переживає сьогодні серйозні складнощі: сильно зношене автоклавне і інше технологічне обладнання, заміна якого потребує великих інвестицій; радіус доставки виробів таких підприємств-гігантів повинен бути

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

більшим, а транспорт, як мінімум, подвоює ціну виробів. Але все ж таки будівництво і виробництво виробів з ніздрюватого бетону продовжується. В Україні з 2000 р. спостерігається збільшене використання даного бетону з все більш зростаючим потенціалом; раціональне його застосування в основних конструктивних елементах будівель, особливо в поєднанні з іншими традиційними матеріалами і прогресивними конструктивно-технічними і об'ємно-планувальними рішеннями [6].

До найкрупніших підприємств України відносять Білгород Дністровський, Миколаївський, Славутський та Сумський заводи. Але беззаперечним лідером галузі як по об'ємам виробництва і реалізації так і по високим якісним характеристикам продукції є Обухівський завод ніздрюватих виробів (Київська область).

Для подальшого розвитку цієї галузі промисловості в Україні доцільно і необхідно здійснити впровадження нових технологій і високотехнологічного обладнання для послідувочої модернізації.

1.2. Ніздрюваті бетони як ефективний стіновий матеріал

Необхідність енергозбереження в усіх областях техніки потребувала створення і впровадження нових технологій в промисловості будівельних матеріалів. Перспективним напрямком являються роботи з вдосконалення виробництва ніздрюватого бетону – отримання найбільш оптимальної його ніздрюватої структури, під якою слід розуміти рівномірно розташовану у вигляді полідисперсних замкнених, деформованих в правильні багатогранники пор з глянцевою поверхнею припорового шару, розділених тонкими міцними, однаковими по перерізу міжпоровими перегородками. Саме така структура, яка задає специфіку фізико-механічних показників вирізняє і надає йому переваги серед інших видів бетону.

По своїм властивостям ніздрюваті бетони різних видів відносяться до ефективних матеріалів сучасного будівництва.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні ніздрюваті бетони мають надзвичайно вдалі сполучення показників середньої густини, міцності та коефіцієнту теплопровідності, які дозволяють використовувати їх як дуже ефективні теплоізоляційно-конструкційні матеріали. Зовнішні огороження з конструкційними шарами з ніздрюватого бетону мають гарну теплову стійкість, яка дозволяє вирівнювати коливання температури внутрішнього повітря приміщення. Відсутність “містків холоду” і швів при монолітному утепленні конструкцій суттєво підвищує їх теплоізоляційні якості. Такий поширений матеріал, як звичайна керамічна цегла при середній густині близько 1600 кг/м має межу міцності 10-20 МПа та коефіцієнт теплопровідності 0,8 Вт/(м×°С). Подібні характеристики мають інші легкі бетони, включаючи керамзитобетон і перлітобетон. Але у ніздрюватих бетонів при середній густині 700 кг/м³ (у сухому стані) межа міцності може досягати 5 МПа, а коефіцієнт теплопровідності – 0,2 Вт/(м×°С).

Таким чином, з середньою густиною від 600 до 800 кг/м³ ніздрюваті бетони виявилися найбільш ефективним матеріалом для одношарових і багатошарових огорожуючих стінових конструкцій будівель.

Одношарова конструкція з ніздрюватого бетону з середньою густиною 700 і 800 кг/м³ повинна мати товщину відповідно 39 і 43 см, а двошарова стіна з ½ цеглини (або важкого бетону) і теплоізоляційного бетону щільністю 350 кг/м³ – 37 і 38 см. Такий тандем двошаровості є найбільш оптимальним із умов сумісності показників пароповітропроникності для цих будівельних матеріалів. Отже, ефективність ніздрюватих бетонів як стінового матеріалу очевидна [7].

Більш детальне порівняння фізико-технічних показників традиційних будівельних матеріалів виконане в таблиці 1.1. Залежності межі міцності та показника теплопровідності від середньої густини ніздрюватого бетону наведені на рисунках 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1

**Співставлення основних фізико-технічних показників традиційних
будівельних матеріалів**

Показники	Одиниці виміру	Будівельна цегла		Будівельні блоки				
		глиняна	силікатна	Природний камінь	Керамзитобетон	Шлакобетон	Газобетон (автоклавний)	Пінобетон (неавтоклавний)
Густина	Кг/куб.м	1550-1700	1700-1950	900-1100	900-1200	1800	600-800	200-1200
Маса 1 кв.м. стіни	кг	1200-1800	1450-2000	600-1200	500-900	1000-1200	200-300	70-900
Теплопровідність	Вт/м*К	0.6-0.95	0.85-1.15	0.8-1.4	0.75-0.95	0.8-1.15	0.19-0.28	0.05-0.38
Морозостійкість	Цикл	25	25	25	25	35	35	50
Питома витрата палива	кг у.т.	246	60-80	-	35	15-25	65	-
Питома витрата електроенергії	кВт/тис шт.ум. цегли.	80-82	36-38	15	30-32	26-28	35	26
Водопоглинання	% по масі	12	16	8-22	18	14	24	16
Межа міцності при стиску	МПа	2,5-25	5-30	1,5-1,7	3,5-7,5	5-15	2,5-5,0	0,25-7,5

До найбільш важливих споживчих якостей ніздрюватого бетону включають:

- гарні характеристики теплоізоляції, які дають переваги в економії енергії при експлуатації (обігрів і кондиціонування повітря);
- низька ціна в порівнянні з іншими матеріалами;
- більш низькі витрати на будівництво, більш ефективні будівельні проєкти з легкими композиційними матеріалами;
- вага бетону менше від 10% до 87% по відношенню до стандартних важких бетонів в залежності від складу сумішей і матеріалів;

- економія на перевезенні, зниження необхідної вантажопідйомності крану, зниження трудових ресурсів;
- ніздрюваті бетони легко оброблюються будь-яким ріжучим інструментом, можна пиляти, свердлити, фрезерувати, а елементи оздоблювання кріпити цвяхами, як до звичайного дерева;
- досить технологічний при кладці.
- екологічний [8].

За своїми екологічними якостями ніздрюватий бетон стоїть в одному ряду з деревиною і каменем, він дихає, регулюючи вологість в приміщенні. Матеріал не гниє і не горить на відміну від дерева і не ржавіє в порівнянні з металом. Ніздрюватий бетон має властивості деревини і каменю одночасно.

Слід зазначити, що він знижує рівень шуму в 10 раз в порівнянні із звичайною бетонною поверхнею. При цьому матеріал має здатність урівноважувати коливання температури та вологості, що забезпечує достатню морозостійкість. Це ще одна перевага з точки зору його комфортабельності для житлового будівництва.

Розглядаючи механічні властивості бетону, як відомо, найбільш важливою з них є опір стиску, що визначається границею міцності на стиск, яка в свою чергу залежить від несучої здатності просторового каркасу, який утворився міжпоровими перегородками. А тому на міцність бетону при стиску впливають багато факторів, таких як густина, вік, фізичні і хімічні характеристики компонентів суміші та їх пропорції. Тому склад суміші, тип цементу, піску слід тримати постійним. Між густиною і міцністю існує залежність.

Ніздрюваті бетони мають лінійне збільшення міцності при стиску на протязі 12 місяців, на відміну від важкого бетону, міцність якого вирівнюється набагато раніше. Межа міцності при стиску продовжує збільшуватись в подальшому через реакцію з CO₂, який присутній в оточуючому повітрі. Відмінність також полягає у тому, що ніздрюваті бетони мають більш високу швидкість витримування, ніж важкий бетон.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

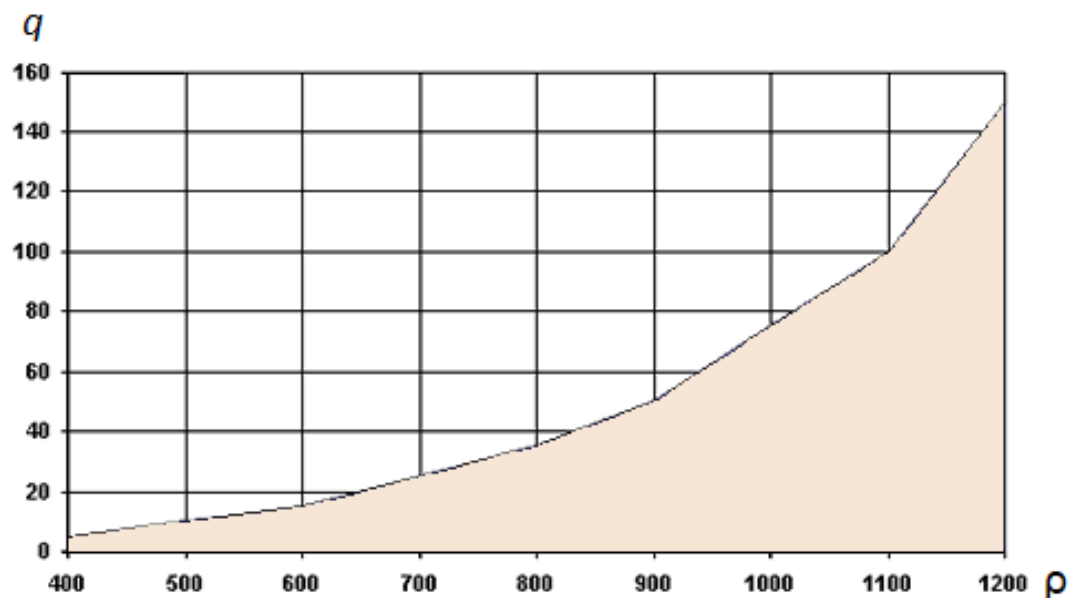


Рисунок 1.1 – Залежність границі міцності на стиск і густини пінобетону

Межа міцності на розтяг, в залежності від методу витримування може складати 0,25 частину від межі міцності при стиску з поздовжньою деформацією приблизно 0,1%. Межа міцності при зсуві відрізняється на 60% від межі міцності при стиску.

Теплопровідність, як одна з важливіших характеристик ніздрюватого бетону знаходиться в прямій залежності від його густини. Так, наприклад, для пінобетону вона має наступний вигляд: [9]

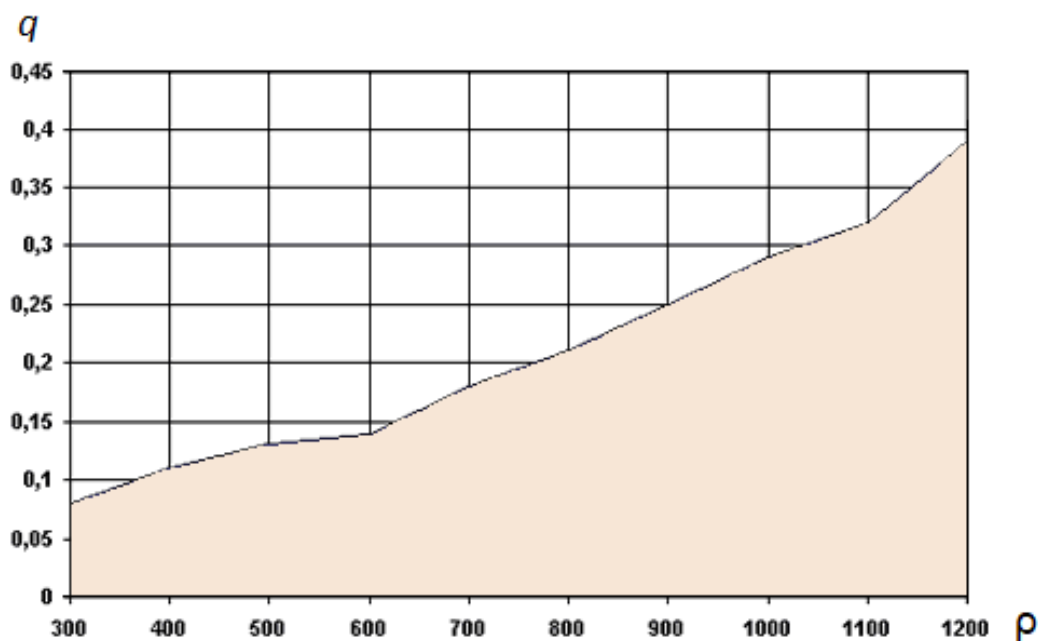


Рисунок 1.2 – Залежність теплопровідності і густини пінобетону

За умовами твердіння розрізняють автоклавний та неавтоклавний бетони. Бетони автоклавного твердіння за своїми фізико-механічними властивостями (міцність, деформативність, величина усадки) перевищують бетони неавтоклавного твердіння при однакових значеннях середньої густини і рівних витратах цементу. При автоклавній обробці частково або повністю можна замінити цемент порівняно дешевим вапном. Цими перевагами обумовлене широке використання автоклавної обробки ніздрюватих бетонів. Перераховані факти стримували виробництво безавтоклавного бетону і знижували його конкурентоспроможність, до недавнього часу об'єм його випуску був дуже не значний [10].

Загальна пористість розроблених конструкційно-теплоізоляційних ніздрюватих бетонів густиною 500-900 кг/м на портландцементному в'язучому досягає порядку 60-65%. Очевидно, що при такому ступені поризації якість ніздрюватої структури набуває визначального значення для матеріалу в цілому.

Оптимальна ніздрювата структура характеризується наявністю рівномірно розташованих замкнених і полідисперсних за розміром пор з гладкою глянцевою поверхнею припорового шару. Досягнути отримання якісної макроструктури можливо лише при використанні взаємодоповнюючих технологічних і рецептурних факторів. Одними із засобів, що сприяють цьому є: зниження поверхневого натягу в період поризації маси; застосування динамічних впливів (вібрації); швидке фіксування ніздрюватої структури, що утворилася. Практика показує, що поризація мінеральних композицій за допомогою технічної піни дозволяє отримувати найбільш гладку внутрішню поверхню пор.

Отже, пориста структура ніздрюватих бетонів характеризується деякими органічно властивими їй вадами. Так, для газобетонів характерно розпушення поверхні пор, яке добре видно на мікрофотографіях при збільшенні 400. Розпушеність і нерівність поверхні пор – результат процесу газоутворення в газобетонній масі, що спучується. В той же час газобетони мають деякі переваги: поверхні виробів з нього не мають відшарувань, “шкірочок”, що часто утворюються на поверхні виробів із пінобетонів. Для виготовлення газобетонних сумішей можна застосовувати більш гарячу воду, не боячись

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

усадки. Застосування гарячої води прискорює процес газовиділення і забезпечує температуру газобетонної суміші близько 60°C до моменту закінчення спучування. У результаті суміш твердне швидше і час витримки газобетонних виробів перед автоклавною обробкою може бути скорочений з 10 (при пінобетонних výroбах) до 3-4 год. При підвищеній температурі виробів, що надходять на автоклавну обробку, зменшуються деструктивні явища [11].

Пінобетон характеризується значно меншою залежністю процесу поризації і кінцевих властивостей матеріалу від зовнішніх факторів (параметрів оточуючого середовища, кваліфікації робітників тощо), в чому і має деякі переваги в порівнянні з газобетоном. Пориста структура повністю формується в досить короткий відрізок часу в умовах інтенсивних динамічних впливів (механічного перемішування). Більш того, головний показник ніздрюватих бетонів – середня густина – легко коректується безпосередньо в ході технологічного процесу. Це дуже важливо при виготовленні даних бетонів на малих підприємствах чи на будівельному майданчику. Звісно, в цих випадках може розглядатися тільки неавтоклавна схема виробництва.

Незалежно від прийнятої технології, неавтоклавний бетон має більш низьку міцність, ніж автоклавний, в 1,3-1,6 рази. Спроба подолати цю розбіжність шляхом тонкого диспергування в'язучого, збільшення його витрат, введення затравок кристалізації, полімерних добавок, багатоступеневого пропарювання при нормальному тиску і багатьох інших прийомів науково неперспективно і невиправдано технічно і економічно. Великі енергетичні витрати на помел кремнеземистого компоненту і автоклавний синтез новоутворень обумовлює формування в автоклавному бетоні міцного скелету підвищеної міцності. Тому потрібно констатувати єдиний реальний і виправданий шлях досягнення нормативних значень міцності неавтоклавних ніздрюватих бетонів – підвищення їх середньої густини в порівнянні з рівними за міцністю výroбами автоклавного твердіння [12].

Головним негативним фактором підвищення значень середньої густини є, безумовно, збільшення теплопровідності матеріалу – найважливішого чинника енергозбереження. Однак, комплексний аналіз сукупних витрат на виробництво

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

стінових матеріалів і теплових втрат при експлуатації будинків повністю підтверджує техніко-економічну правомірність і доцільність випуску неавтоклавного бетону в порівнянні з автоклавним.

По-перше, різниця в теплопровідності відноситься до матеріалів у сухому стані. Наприклад, для бетону класу міцності В2,5 середня густина сухого автоклавного газобетону заводського виробництва приблизно 600 кг/м^3 , а теплопровідність – $0,135 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$, в той час як автоклавного пінобетону відповідно 700 кг/м^3 і $0,17 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$. Експлуатаційне зволоження ніздрюватого бетону призводить до суттєвого підвищення теплопровідності стінової конструкції. При цьому об'ємна вологість (а саме від її величини залежить теплопровідність) неавтоклавного пінобетону густиною 700 кг/м^3 нижче, ніж у автоклавного газобетону 600 кг/м^3 на 1,2-1,5%, в результаті експлуатаційна теплопровідність цих матеріалів практично зрівнюється. Крім того, підвищення густини уповільнює кінетику зволоження. Експерименти показують, що при косому дощі на протязі 1 год. глибина промокання і загальне зволоження неавтоклавного пінобетону на одну чверть менше, ніж у автоклавного газобетону. І, нарешті, збільшення середньої густини помітно збільшує розрахунковий коефіцієнт теплотасвоєння матеріалу і при підтриманні за рахунок товщини конструкції рівного термічного опору призводить до підвищення величини теплової інерції. В умовах континентального клімату більшості регіонів України це явище позитивно відбивається на теплозахисних властивостях стін із неавтоклавного бетону.

По-друге, деяке збільшення середньої густини стінового матеріалу призводить до збільшення його масивності, що позитивно позначається на акустичному захисті приміщень від зовнішніх шумів. Ця величина складе 4-6 дБ, що в умовах гарної звукоізоляції призведе до суттєвого підвищення комфортності житлових і громадських будівель.

По-третє, важливим фактором застосування неавтоклавного пінобетону є створення такого простого рівня технології, який робить виробництво незалежним від енергетичних, транспортних, екологічних і інших елементів

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

інфраструктури району, що дозволяє розвивати малі виробництва з різним рівнем власності і інвестицій [13].

Завершуючи аналіз необхідності деякого підвищення густини ніздрюватих бетонів, в порівнянні з автоклавними для отримання рівномірних виробів і конструкцій, необхідно звернути увагу, що середня густина виробів із неавтоклавного пінобетону в 1,4-1,7 рази нижче, ніж у керамзитобетону, і що реалізовані в Європі неавтоклавні пінобетони для монолітного і штучного домобудування характеризуються густиною 1200 кг/м³ і більше.

Тобто достатньо високі техніко-економічні показники виробів з ніздрюватого бетону неавтоклавного твердіння мають однозначну пріоритетність інтенсивного розвитку їх виробництва.

Також важливо зазначити, що радикальним способом суттєвого покращення показників міцності і деформативних властивостей матеріалу і підвищення надійності експлуатації будинків є дисперсне армування ніздрюватих бетонів полімерними волокнами. Така система армування в порівнянні з важкими бетонами знижує розрахункову витрату арматури [14].

Слід зазначити ефективність застосування ніздрюватого бетону з точки зору техніко-економічної концепції енергоефективного будівництва. В зв'язку з відносно малою вагою знижується навантаження на фундамент і на міжповерхові перекриття. Висока якість поверхонь дозволяє знизити витрати на проведення оздоблювальних робіт – можна обмежитися шпаклівкою внутрішньої поверхні стін, звільняючись від необхідності вирівнювання їх штукатуркою. Організація виробництва достатньої кількості матеріалу для всіх видів капітального будівництва може в значній мірі знизити об'єм інвестицій в розвиток паливно-енергетичної бази.

Підраховано, що енергоефективне будівництво з використанням сучасного ніздрюватого бетону, враховуючи витрати на їх розробку і будівництво заводів, в 3-4 рази ефективніше, ніж традиційне будівництво, яке веде до енергоємного виробництва матеріалів, освоєнню нових місценароджень палива, його добування, транспортування, переробку та спалення.

					<i>КМР 2119204 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічний аналіз роботи вітчизняних і закордонних фірм показує, що виробництво такого бетону є прибутковим бізнесом. Інвестиції на будівництво об'єкту або ж установки окупаються через 1,5-2,5 роки [15].

Отже, в результаті проведення порівняльних характеристик з іншими будівельними матеріалами і дослідження технічних і економічних показників якості ніздрюватого бетону як автоклавного так і неавтоклавного твердіння, можна впевнено сказати, що він є найбільш ефективним і перспективним стіновим і теплоізоляційним матеріалом ХХІ сторіччя. В зв'язку з цим пошук нових тенденцій і нових рішень не зупиниться на даному етапі, оскільки наукові розробки, подальше вивчення і вдосконалення властивостей ніздрюватого бетону постійно тривають.

1.3. Неруйнівні методи контролю міцності бетонів

Результати вимірювань зразків не завжди відображають дійсну міцність бетону у виробках та конструкціях, так як при виготовленні зразків не можна врахувати ряд виробничих факторів: відхилення від заданого дозування складових для бетону, умови його транспортування, вкладання та ущільнення, різні режими твердіння та інші. В ряді випадків контроль міцності бетону шляхом випробувань стандартних зразків утворює додаткові труднощі. Наприклад, часто виникає необхідність визначити міцність бетону в більш пізні терміни, ніж передбачалось раніше, однак відсутність зразків не дозволяє вирішити цю задачу. Також не уявляється можливим оцінити міцність бетону раніше зведених конструкцій і будівель.

Існуючий класичний спосіб визначення механічних властивостей будівельних матеріалів полягає у випробуванні до руйнування зразків правильної форми, які виготовлені з того ж матеріалу, що і сама конструкція. Такий спосіб вимагає наявності спеціальних випробовувальних машин і не дозволяє безпосередньо визначити міцність матеріалу з якого виготовлена конструкція. Можна з існуючої конструкції відібрати зразки сколюванням,

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

випилюванням і висвердлюванням, а потім випробувати їх стандартними методами. Способи взяття зразків повинні забезпечити незмінність структури матеріалу, його основних характеристик і пов'язаних з цими факторами показників міцності матеріалу. Але, як правило, при взятті зразків з елемента конструкції її переріз послаблюється, а це призводить до зниження її несучої здатності, яке може стати недопустимим.

Більш перспективними в даному аспекті є так звані неруйнівні методи дослідження міцності бетонів, які мають ряд переваг:

- збереження цілісності контрольованої конструкції або виробу;
- можливість багаторазового випробовування зразка чи конструкції як у процесі виготовлення так і в період експлуатації;
- порівняно мала витрата часу для проведення випробувань;
- можливість визначати характеристики в довільній зоні конструкції.

Але поряд з перевагами є і недоліки – результати випробувань одержують не безпосередньо у вигляді шуканого фактору, якими можуть бути межа міцності, густина, модуль пружності матеріалу, а у вигляді непрямого показника (швидкість проходження ультразвуку, діаметр відбитка при деформуванні поверхні тощо), що зменшує їх достовірність і вимагає встановлення зв'язку між показником, отриманим експериментально, та шуканою характеристикою (наприклад, діаметр відбитка – межа міцності бетону) [16].

Міцність бетону визначають за попередньо встановленими тарувальними залежностями між міцністю бетонних зразків за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [17] і непрямими характеристиками міцності. Міцність визначають за допомогою приладів, які використовуються для визначення непрямих характеристик і які попередньо пройшли метрологічну атестацію.

Оцінку відповідності значень фактичної міцності бетону, встановленим вимогам проводять за ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності [18].

Неруйнівні методи визначення міцності бетону, що використовуються у даний час можна умовно класифікувати на механічні, фізичні і комплексні.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні методи засновані на визначенні якої-небудь механічної характеристики, за якою обчислюють межу міцності на стиск.

Фізичні методи засновані на вимірюванні швидкості поширення ультразвуку в бетоні, що залежить від щільності і від характеристик міцності бетону, або ослаблення гамма-променів (γ - променів), що проходять через випробуваний бетонний елемент.

За цими показниками при наявності тарувальної кривої оцінюють характеристики міцності бетону.

Згідно комплексного методу характеристики показників міцності бетону встановлюють не по одній, а по двом чи декільком фізико-механічним характеристикам, які визначають одночасно на одних і тих же зразках.

1.4. Механічні методи випробувань

До механічних належать методи місцевого руйнування:

- висмикування анкера;
- відрив та сколювання ребра;
- метод пластичних деформацій;
- метод пружного відскоку.

Механічні методи неруйнівного контролю застосовують для визначення міцності бетону всіх видів нормованої міцності, які контролюються за ДСТУ Б В.2.7-224:2009, а також для визначення міцності бетону при обстеженні і відбракуванні конструкцій.

Дані методи, хоча і належать до неруйнівних, дають можливість визначити міцність матеріалів шляхом їх порушення на локальній ділянці.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-220:2009 випробування проводять при позитивній температурі бетону. Допускається при дослідженні конструкції визначати міцність при від'ємній температурі, але не нижче -10°C , за умови, що до моменту заморожування конструкція знаходилась не менше одного тижня при позитивній температурі і відносній вологості повітря не більше 75%.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

Із механічних приладів для випробувань застосовують прилади для вимірювання величини пружного відскоку і прилади для утворення лунки на поверхні бетону. В обох випадках визначають міцність зовнішніх шарів бетонного зразка. Ці методи дають похибку у визначенні міцності бетону, оскільки міцність зовнішніх шарів відрізняється від внутрішніх.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-220:2009, прилади для вимірювання діаметра чи глибини відбитків, які використовуються для методу пластичних деформацій, повинні забезпечувати вимірювання з похибкою відбитка не більше $\pm 0,1$ мм, а прилад для вимірювання глибини відбитка – з похибкою не більше $\pm 0,01$ мм.

Для визначення міцності бетону механічним методом необхідно підготувати поверхню зразка. В тому випадку, якщо поверхня облицьована, то потрібно оголити основний бетон шляхом зняття шару облицювання.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-220:2009 шерохуватість поверхні ділянки бетону конструкції повинна відповідати шерохуватості поверхні кубів, визначених при виготовленні тарувальної залежності. В необхідних випадках допускається зачистка поверхні конструкції. При використанні методу пластичних деформацій при вдавлюванні, якщо нульовий відлік знімають після прикладення початкового навантаження, вимоги до шерохуватості поверхні бетону конструкції не пред'являються.

Випробування проводять на ділянці, площа якої не повинна бути меншою 100 см², щоб на кожній з них можна було виконати 5-10 вимірювань.

Кількість і розташування контрольних ділянок при випробуванні конструкції повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-224:2009 або ж вказуватись в стандартах чи (або) технічних умовах на збірні чи в робочих кресленнях на монолітні конструкції чи (або) технологічних картах на контроль. Так, кількість ділянок для випробувань визначають в залежності від розмірів конструкції або виробу, від ступеня її відповідальності і приймають не менше 12. Розташування їх намічають з таким розрахунком, щоб 2/3 з них знаходились в межах найбільш напружених місць виробів чи конструкцій, а 1/3 рівномірно розташовувалися на решті поверхні.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення непрямих характеристик випробування проводять на бічних поверхнях зразків (за направленням бетонування). Кількість вимірів на кожному зразку або на одній ділянці, відстань між місцями випробувань на ділянці (зразку) і від краю конструкції, товщина конструкції на ділянці випробувань повинні бути не менше значень, наведених в таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Нормовані методи вимірювання міцності бетону

Найменування методу	Кількість випробувань на ділянці	Відстань між місцями випробувань	Відстань від краю конструкції до місця випробувань	Товщина конструкції
Пружний відскок	5	30	50	100
Ударний імпульс	10	15	50	50
Пластична деформація	5	30	50	70
Сколювання ребра	2	200	—	170
Відрив	1	2 діаметри диску	50	50
Відрив зі сколюванням	1	5 глибин відриву	150	Подвійна глибина встановлення анкеру

Для визначення міцності бетону необхідно побудувати тарувальну криву, для чого проводять паралельні випробування бетонних зразків неруйнуючими і руйнуючими методами. Тобто, таким чином встановлюється градувальна залежність між міцністю бетону і непрямою характеристикою міцності (у вигляді графіка, таблиці). Щоб встановити тарувальні залежності, використовують не менше 15 серій зразків-кубів за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 або не менше 30 окремих зразків-кубів. При встановленні тарувальної залежності для методу відриву зі сколюванням в кожен серію додатково включають не менше 3 зразків-кубиків.

Зразки виготовляють у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [17, 18] у різні зміни впродовж не менше 5 діб із бетону одного класу, однієї і тієї ж технології і при тому ж режимі теплової обробки або тих же умовах твердіння, що і конструкції, які підлягають контролю. При виготовленні зразків 5 серій рекомендується виготовляти із бетонної суміші, які відрізняються між собою за складом від проєктного з цементно-водним відношенням в межах +0,4 і 5 серій в межах -0,4.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри зразків необхідно обирати таким чином:

100×100×100 – для методів відскоку, ударного імпульсу, пластичної деформації і відриву зі сколюванням;

200×200×200 – для методів відриву і сколювання ребра конструкції.

Вік зразків не повинен відрізнятися від встановленого терміну випробувань конструкцій:

- більше ніж на 40% - при контролі міцності бетону природного твердіння;
- більше ніж в 2 рази – при контролі міцності після теплової обробки.

Температура бетону окремих зразків при визначенні непрямої характеристики не повинна відрізнятися від середньої температури зразків більше ніж на $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а від температури конструкції – більш ніж на $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

За одиничне значення непрямого показника міцності при встановленні тарувальної залежності приймають середнє арифметичне значення цієї величини в серії зразків (чи окремого зразка), які використовуються для визначення одиничного значення міцності.

1.5 Фізичні методи випробувань

Для визначення межі міцності бетону на стиск застосовують наступні фізичні методи, які засновані на фізичних основах акустичних методів:

- резонансний;
- радіометричний;
- імпульсний;
- ультразвуковий [19].

Акустичні методи побудовані на вивченні характеру розповсюдження звуку в конструктивних матеріалах і базується на відомих із фізики залежностях. Звук – коливальний рух часток пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль у газоподібному, рідкому та твердому середовищі.

Швидкість розповсюдження ультразвуку в бетоні змінюється в межах від 2000 до 5500 м/сек. На швидкість розповсюдження впливає ряд факторів:

					KMP 2119204 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

густина і вік бетону, вологість та інші. Між міцністю бетону і швидкістю розповсюдження ультразвуку існує пряма залежність – при збільшенні межі міцності відповідно збільшується швидкість розповсюдження.

При постійному складі якості бетону залежить від його пористості. Чим більше пор в бетоні, тим менші його характеристики міцності. Швидкість розповсюдження ультразвуку змінюється в залежності від зміни густини бетону – чим вища густина бетону, тим більша швидкість ультразвуку. Так, наприклад, якщо пористість бетону збільшиться на 10%, то швидкість розповсюдження ультразвуку зменшиться на 7%, якщо збільшення пористості бетону досягне 30%, то швидкість розповсюдження зменшиться на 30%.

Тобто, ці методи визначення міцності бетону не дозволяють їх застосовувати для ніздрюватих бетонів, завдяки їх пористій структурі, в порівнянні з важкими бетонами, які мають більш великі значення густини.

Резонансний метод контролю міцності заснований на визначенні частоти власних коливань і характеристик їх затухання.

Радіометричний метод випробувань заключається у вимірюванні інтенсивності потоку радіоактивних променів, які проходять крізь виріб, що досліджується. За зміною інтенсивності γ -променів судять про густину бетону і інші характеристики. Цей метод знаходить застосування для виявлення прихованих дефектів.

В основному, важкий бетон має тенденцію відбивати звук, в той час як ніздрюваті бетони поглинають звук. Пінобетон і газобетон мають високу звукопоглинаючу характеристику. Звукове пропускання, однак, на звичайних стінах може бути вище на 2-3% в порівнянні з важким бетоном. Це пов'язано з тим, що більшість стін оштукатурено і (або) пофарбовано, що відбиває звук, як у випадку з важким бетоном.

З іншого боку, особливо добре ніздрюватим бетоном поглинаються низькі шумові частоти. Тому він часто використовується як звукоізолюючий шар на плитах конструкційного бетону, щоб обмежити шумове пропускання перекриттів в багатоповерхових житлових або адміністративних будівлях.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Порівняльний аналіз неруйнівних методів

випробування міцності бетону

Необхідно відзначити, що визначення характеристик міцності бетону вказаними вище методами можливе лише в тому випадку, якщо для побудови тарувальної кривої використовувались зразки (кубики), основні показники яких (склад бетону, технологія виготовлення, властивості використаних матеріалів, умови зберігання тощо) були однаковими з бетоном досліджуваної конструкції. В цих умовах дослід дає задовільні по точності результати.

Коли ці умови не виконуються, в кожному окремому випадку необхідно побудувати тарувальну криву. Якщо ж це з якихось причин неможливо, тоді вводять поправочні коефіцієнти. При відсутності тарувальних кривих, які враховують зміну межі міцності на стиск в залежності від віку бетону, користуються тарувальними кривими, які побудовані для бетону 28-добового віку, з поправкою на вік. Застосування поправочних коефіцієнтів є небажаною величиною, але необхідною.

На сьогоднішній час метод пластичних деформацій набув найбільшого поширення. Він побудований на оцінюванні деформацій, які викликані прикладанням зовнішнього зосередженого навантаження. Переваги такого методу визначення фізико-механічних властивостей полягають у його простоті, технологічності та достатньо високій достовірності результатів, а недолік – у тому, що при вдавлюванні штампа глибина відбитків отримується невелика, тому фактично досліджується межа міцності поверхневих шарів бетону, яка відрізняється у більшості випадків від межі міцності внутрішніх шарів.

Під час визначення міцності бетону за допомогою молотка Фізделя недоліком його застосування є залежність величини діаметра лунки від сили удару. Поряд з цим, він є найпростішим методом польового оцінювання міцності бетону.

Згаданий недолік ліквідовується використанням молотка Кашкарова, оскільки під час удару по поверхні бетону кулькою, остання залишає відбиток на поверхні досліджуваного бетону та еталонного стрижня, характеристики якого вже попередньо відомі.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При застосуванні приладу Польді-Вайцмана немає необхідності вимірювати силу, прикладену до частини приладу, що втискається в матеріал. Цей принцип полягає у зіставленні величини відбитка на металі та еталонному бруску.

Треба відмітити, що спосіб висмикування анкера серед таких способів як відрив і відрив зі сколюванням є більш надійним, оскільки руйнуванню піддаються не лише поверхневі шари, а й глибинні. В процесі випробування бетону способом відриву міцність ставиться в залежність від фізико-механічних властивостей поверхневого шару бетону, а вони мають дещо гірші характеристики ніж основна маса. Це вносить похибки в процес визначення міцності (хоча і в запас).

Вказаних недоліків не мають методи, при використанні яких відбиток утворюється глибшим. До таких методів відносять методи стрільби та вибуху. Але суттєвим їх недоліком є небезпека з точки зору охорони праці людини, тому практичного використання вони не отримали.

З вище розглянутих позитивів і недоліків існуючих методів зрозуміло, що для контролю міцності ніздрюватого бетону доцільно розглянути спосіб пластичних деформацій. Даний метод випробувань дозволяє дізнатися про міцність бетону, майже не пошкоджуючи і не змінюючи його форму. Безпосередньо застосовувати подібні методи до ніздрюватого бетону неможливо через його малу густину та значно меншу міцність. Адже густина й міцність звичайного і ніздрюватого бетонів значно відрізняються між собою. Тому постала необхідність розробки нового методу, за яким можна було б визначати міцність піно- та газобетону, прикладаючи якусь заздалегідь визначену силу.

Метод пружного відскоку не можна використовувати для вимірювання міцності пінобетону через те, що він зовсім не пружний, тому ми не матимемо пружного відскоку і не отримаємо результатів. Металева кулька або зовсім не буде відскакувати (вминатиметься в поверхню виробу), або відскакуватиме на мізерно малу величину, яку дуже важко виміряти.

За основу був взятий метод пластичних деформацій з принципом приладу статичної дії, але деякі умови змінені. Якщо використовувати, наприклад,

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

молоток Кашкарова і інші пристрої подібної дії і конструкції, буде важко отримати хоч якісь результати – на сталевому стрижні ми не отримаємо жодного відбитка для бетонів з невеликою густиною і невеликі, важко вимірювані відбитки для пінобетонів густиною від 1000 кг/м³.

Запропоновано використовувати деяку сталу силу, з якою металева куляка – вдавлюється, а конус – заглиблюється в поверхню зразка піногазобетону.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1

1. З попередньо розглянутого огляду літератури переконливо доведена ефективність ніздрюватого бетону як будівельного матеріалу, а тенденція розвитку його виробництва в значній мірі виправдана в теперішній час.

2. Оскільки за рахунок досить простої і раціональної технології у багато разів знижується питома капіталоємність і трудомісткість – з'явилася можливість організації виробництва виробів з ніздрюватого бетону на мобільних міні-заводах, максимально наближених до районів забудови, і застосування монолітного ніздрюватого бетону безпосередньо на місці зведення об'єкта за допомогою пересувних установок для заливання стін. Така організація є ефективною з економічної точки зору для малого та приватного підприємництва. Тому постало питання широкого впровадження ніздрюватих бетонів місцевого виробництва в будівельну практику і контролю міцності конструкції.

3. Актуальним у всіх відношеннях виявилось застосування неруйнівного методу визначення міцності. Завдяки своїм перевагам – доступності, порівняно невеликій вартості, зручності у використанні - вони все більше і більше займають домінуюче положення серед існуючих методів. Але суттєвим недоліком для будівельної галузі є те, що методика проведення досліджень розроблена лише для важких бетонів. Тобто визначеної методики і обладнання для неруйнівного контролю міцності ніздрюватого бетону на сьогодні не існує – тому і постала необхідність в її розробці.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме розроблення простого неруйнівного методу контролю міцності ніздрюватого бетону, у тому числі монолітних конструкцій безпосередньо на будівельному майданчику, стало метою досліджень в магістерській роботі. Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати відомі методи неруйнівного контролю міцності бетонів та обрати базовий метод для подальшої розробки;
- провести експериментальні дослідження міцності зразків ніздрюватого бетону обраним неруйнівним та прямим еталонним методом;
- побудувати залежності між результатами неруйнівного контролю та реальною міцністю зразків;
- шляхом статистичної обробки встановити апроксимуючі аналітичні залежності реальної міцності від параметрів неруйнівних випробувань;
- оцінити можливі похибки розробленого неруйнівного методу контролю міцності та встановити його оптимальні параметри;
- дати пропозиції щодо можливої конструкції приладу, який дозволяв би вимірювати міцність пінобетону неруйнівним методом в умовах будівельного майданчика.

Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальні залежності, що описують напружено-деформований стан матеріалів при пенетрації

Пенетрацією називається метод дослідження фізичних і механічних властивостей матеріалу, шляхом визначення опору матеріалу проникненню наконечників різної форми і розмірів. Випадок, коли глибина проникнення наконечника не перевищує його висоти, відносять безпосередньо до пенетрації.

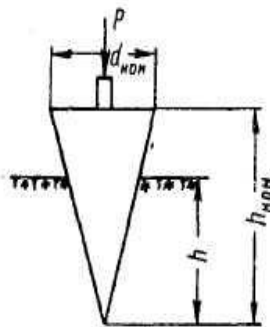


Рисунок 2.1 – Глибина занурення конуса при пенетраційних випробуваннях

Пенетраційні дослідження характеризуються наступними позитивними особливостями:

- простотою і надійністю застосування;
- високою точністю результатів випробувань;
- можливістю контролю за точністю і достовірністю результатів в процесі проведення випробувань;
- можливістю безпосереднього визначення фізичних характеристик матеріалу.

Випробування можуть виконуватись з застосуванням будь-яких конструкцій пенетрометрів із використанням різноманітних типорозмірів пенетраційних наконечників. Зокрема пенетрометри можуть бути сконструйовані на основі наступних параметрів:

- з постійною величиною зусилля penetрації $P=\text{const}$. В процесі досліджень визначається глибина занурення наконечника під дією заданого ступеня навантаження $h=\text{const}$;
- з постійною глибиною занурення наконечника $h=\text{const}$. В процесі досліджень вимірюється величина вертикального зусилля, необхідна для занурення наконечника на задану глибину $P=\text{const}$.

Галузь застосування penetраційного методу для визначення основних фізико-механічних характеристик матеріалів достатньо широка. Так, наприклад, він широко використовується для визначення механічних властивостей ґрунтів. З використанням відповідних приладів методом penetрації (проникнення) можна з рівним успіхом досліджувати желеподібні системи з характеристиками опору зсуву в тисячні долі кг/см^2 і скельні породи – тверді матеріали з характеристиками умовного опору зсуву (міцністю) в тисячі і десятки тисяч кг/см^2 .

Важливою особливістю теорії penetрації виявилось те, що межі міцності відповідають доволі визначені, постійні величини граничного напруження зминання і зсуву, які об'єктивно характеризують механічні властивості матеріалу, і що інваріантність результатів penetраційних випробувань найбільш просто перевіряється в координатах “зусилля penetрації – квадрат глибини проникнення конічного накінецьника”.

В якості узагальненої характеристики результатів penetраційних випробувань зручно прийняти величину питомого опору penetрації R , рівну відношенню зусилля penetрації до квадрату глибини занурення конічного наконечника.

$$R = \frac{P}{H^2} = D \cdot c, \quad (2.1)$$

де D – коефіцієнт, що залежить від кута внутрішнього тертя $D=\text{const}=0$

c – питоме зчеплення $c=\text{const}$, а тому і $R=\text{const}$.

Таким чином, в однорідних матеріалах питомий опір penetрації має властивість інваріантності, тобто не залежить від величини зусилля penetрації. З ростом зусилля penetрації глибина проникнення, звісно, буде зростати. Однак

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відношення зусилля penetрації до квадрату відповідної глибини занурення наконечника залишається строго незмінним.

В процесі penetрації площа поперечного перерізу конічного наконечника при його зануренні в матеріал безперервно зростає. Тому, поки глибина занурення наконечника буде менше його висоти $h < h_{\text{кон}}$, графік залежності $h=f(P)$ являє собою параболу, зображену на рисунку 2.2.

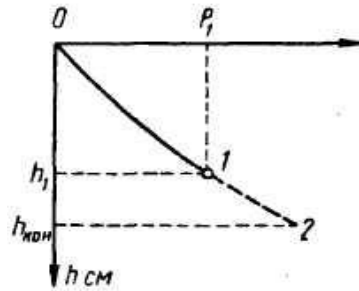


Рисунок 2.2 – Залежність глибини занурення від висоти конуса при penetраційних випробуваннях

В умовах penetраційних випробувань фізичний процес руйнування твердих матеріалів в значній мірі залежить від їх однорідності, міцності, для бетонів – від несучої здатності просторового каркасу.

Експериментальні дослідження взаємозв'язку між фізичним станом і механічними властивостями матеріалів порушеної структури представляють деяку складність, оскільки спостерігається більш значне розсіювання результатів паралельних випробувань. З цієї причини послідовну обробку результатів доцільно здійснювати з врахуванням розсіювання отриманих результатів на основі методу найменших квадратів. Отже, між фізичними і механічними властивостями таких матеріалів існують функціональні залежності. В умовах матеріалів непорушної структури ці залежності є кореляційними. Тобто, чим менше розсіювання експериментальних точок відносно осереднюючої прямої, тим однорідніше матеріал і тим точніше виконана penetрація. Якщо penetраційні випробування виконуються в шаровидних матеріалах з достатньо помітною різницею в характеристиках механічних властивостей, то інваріантність питомого опору penetрації безумовно порушується. Матеріали, які відрізняються високими величинами коефіцієнтів структурної міцності мають

строгу інваріантність питомого опору penetрації. Довершеність графіків інваріантності дозволяє:

- констатувати повну однорідність матеріалу за глибиною penetрації;
- визначити питомий опір penetрації з високою точністю;
- довести відсутність технологічних похибок в проведених випробуваннях, виявити об'єктивність отриманих результатів.

Перевірка інваріантності питомого опору penetрації шляхом поступового збільшення вертикального зусилля і відповідної глибини занурення є обов'язковою вимогою поставлених penetраційних випробувань.

Розрахункова схема взаємозв'язку фізичних і механічних властивостей ґрунтів засновується на передумові, що коефіцієнт структурної міцності закономірно змінюється, наприклад для зв'язних ґрунтів, залежно від зміни числа пластичності, об'ємної ваги скелету і вологості ґрунтів, а для ніздрюватих бетонів – від міцності самого матеріалу перегородок, характеру розподілу повітряних пор, їх розміру. Отже, в якості індикаційних параметрів можуть бути прийняті величини питомого опору penetрації: R_f – питомий опір penetрації на границі текучості; R_p – питомий опір penetрації на границі пластичності; R_{pf} . Ці величини невідомі і підлягають спеціальному визначенню.

Залежність між міцнісними і деформативними властивостями однорідних матеріалів (зв'язних ґрунтів) проявляється між осадкою штампа h і середнім питомим тиском по його основі p , вона є параболічною і має вигляд:

$$P = kh^m \quad \text{кг/см}^2 \quad (2.2)$$

При зміні характеристик механічних властивостей в декілька раз показник ступеня m змінюється порівняно незначно і тому наближено може бути прийнятим постійним. В цих умовах, при $h = \text{const}$, було встановлено, що відношення E_1/E_2 рівно відношенню відповідних значень питомого опору penetрації R_1/R_2 тобто модуль загальної деформації пропорційний питомому опору penetрації

$$E = k_e R \quad \text{кг/см}^2 \quad (2.3)$$

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

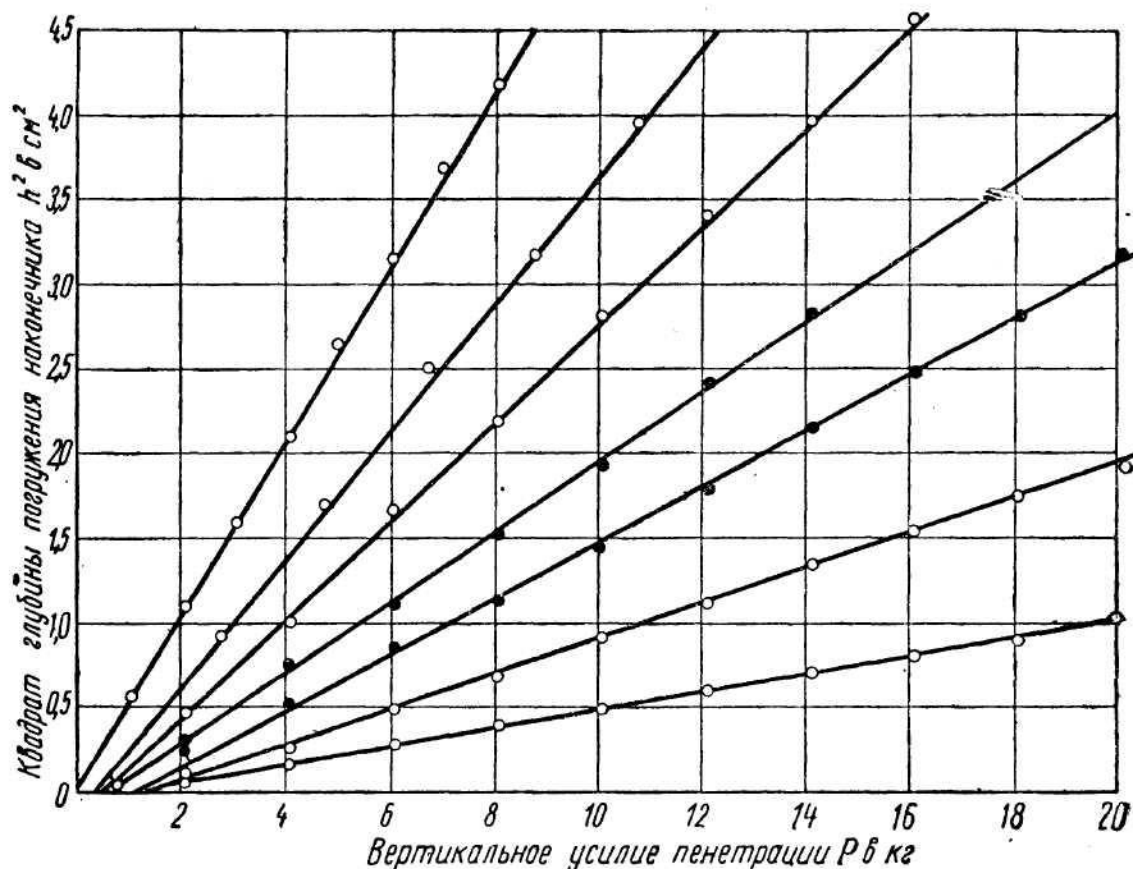


Рисунок 2.3 – Графіки ідеальної інваріантності питомого опору penetрації

Тому якщо на першій ділянці біля дослідного штампу, в межах глибини активної зони, визначити середній питомий опір penetрації, то модуль загальної деформації для другої ділянки знаходиться відповідно до залежності (2.3). Таким чином, виявляється тісний взаємозв'язок між міцнісними і деформаційними властивостями.

Використання характеристик питомого опору penetрації дозволяє легко вирішити питання щодо можливості застосування пенетрометрів будь-яких конструкцій. Із умови інваріантності слідує, що ці величини не залежать від способу реєстрації опору penetрації. Величини питомого опору, які отримані різними наконечниками, є пропорційними. Таким чином, при вимірюванні з однаковою точністю тип наконечника не має значення.

Ця важлива особливість питомого опору penetрації є простим наслідком пропорційної залежності між характеристикою граничного напруження зсуву R_m і питомим опором penetрації R . Граничне напруження зсуву в кожний момент

достатньо повільного занурення конічного наконечника розраховується як частка загального навантаження на наконечник вздовж зануреної поверхні конуса.

З більш ніж 200 опублікованих матеріалів порівняльних результатів вимірювань глибини занурення двох конічних наконечників з кутами при вершині 30° і 60° визначено, що відношення $h_2/h_1 = \text{const}$ тобто між відповідними глибинами двох різних наконечників є пропорційна залежність.

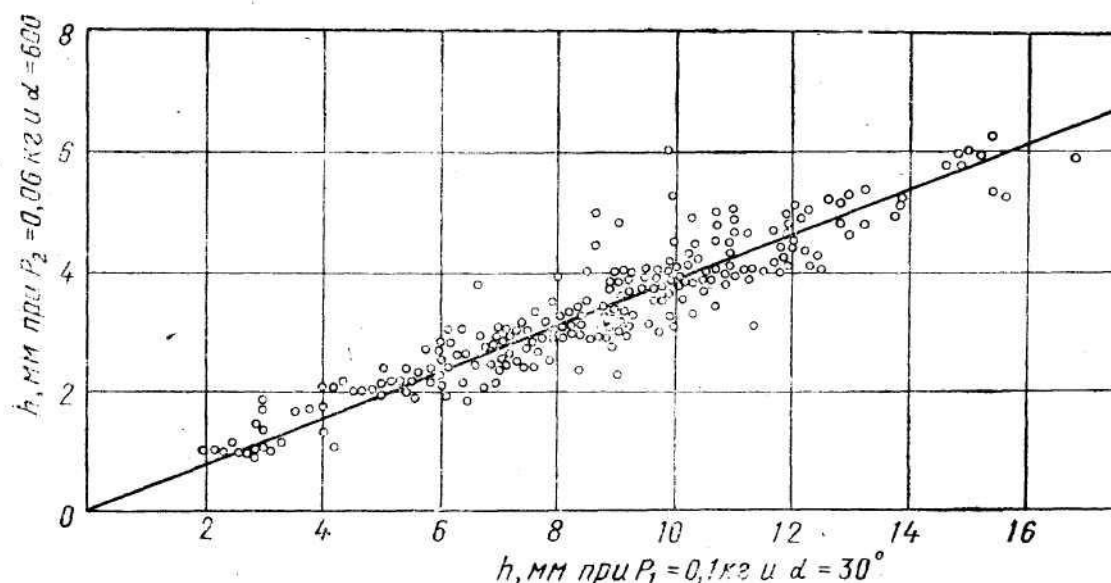


Рисунок 2.4 – Графік співставлення глибини занурення конусів з кутом розкриття 30° і 60°

Проведені експериментальні дослідження доводять, що в однорідних зв'язних ґрунтах при однаковій площі зануреної частини конічного наконечника зусилля penetрації будуть однаковими або ж близькими. Таким чином, при умові $r = \text{const}$ зусилля penetрації є інваріантними по відношенню до кута розкриття конічного наконечника $P = \text{const}$.

Викладені теоретичні передумови і приведені приклади експериментальних досліджень з визначення будівельних властивостей матеріалів (на прикладі ґрунтів) дають основу для наступних висновків:

1. Рекомендована методика penetраційного визначення будівельних властивостей (консистенції зв'язних і ступеня густини незв'язних матеріалів, індикаційних показників і інших показників) забезпечує

отримання відповідних величин з точністю, необхідною для вирішення ряду актуальних матеріалодослідницьких задач.

2. Відмінною і практично важливою особливістю даної методики є можливість об'єктивного контролю за точністю і достовірністю результатів випробувань. Теоретично і практично доведено, що в однорідних матеріалах питомий опір penetрації має властивість інваріантності. Це означає, що зі збільшенням глибини занурення наконечника величина R в межах точності залишається незмінною. Отже, постійність результатів penetраційних випробувань є об'єктивним параметром однорідності механічних властивостей матеріалу і навпаки.

Оскільки, як було зазначено вище, діапазон застосування методу penetрації достатньо широкий, він також використовується для визначення міцності твердих матеріалів. Таким матеріалом є метал. Оскільки міцність і твердість пов'язані між собою, в ряді випадків обмежуються визначенням твердості металу, шляхом втискування алмазного конуса і вимірювання в умовних одиницях за допомогою шкали приладу по збільшенню глибини занурення при переході від малого до стандартного великого навантаження.

Сутність випробування заключається у втискуванні алмазного конуса з кутом 120° під дією двох поступово прикладених навантажень. Число твердості H_r збільшується зі зменшенням глибини занурення і визначається в умовних одиницях за формулою:

$$H_r = \frac{K(h_1 - h)}{C} \quad (2.4)$$

де h – глибина занурення від попереднього навантаження;

h_1 – глибина занурення від основного навантаження;

K – постійна величина, рівна 0,2;

C – ціна поділки циферблату індикатора, яка відповідає зануренню конуса на 0,002.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Грунтовно розглянувши метод пенетраційних виробувань для визначення фізико-механічних властивостей матеріалів різного призначення, залежності, які при цьому виникають для цих матеріалів, можна дійти висновку, що дану методику раціонально застосовувати для визначення міцності як для важких так і для ніздрюватих бетонів. Визначимо залежності, що описують параметри стану бетону при проведенні пенетраційного втискування штампа певної форми.

Розглянемо ідентор, що втискується в матеріал довільної опуклої форми. Вважаємо, що перпендикулярно до поверхні тіла, в кожній його точці діє напруження, яке рівне $R_{ст}$ матеріалу. Це допущення може бути і не цілком точне, оскільки насправді при втискуванні ідентора при зминанні поверхневих шарів матеріалу може відбуватися їх зміцнення під штампом, внаслідок чого вони можуть бути дещо більшими від реальних значень міцності. Такі міркування дозволяють зробити висновок, що дане зусилля складається з двох складових – зусилля опору і зусилля тертя, які діють по всій поверхні втиснутого штампа і описуються інтегральною формою рівняння наступного виду:

Зусилля опору

$$F_c = \int_A R \sin \alpha dA = R \int_A \sin \alpha dA \quad (2.5)$$

Зусилля тертя

$$F_o = \int_A K R \cos \alpha dA = K R \int_A \cos \alpha dA, \text{ де} \quad (2.6)$$

де K – коефіцієнт тертя.

Враховуючи, що форма тіла ідентора може бути і складною, то виникає певна складність, щоб взяти інтеграл по поверхні форми, і як наслідок описати її формулами. Тому вирішуємо цю задачу чисельно – вважаємо ідентор тілом обертання в довільному напрямку. По всій його бічній поверхні діє зосереджена сила. Розіб'ємо це тіло на довільні ділянки, з товщиною шару B_i . Вважаємо, що кожний шар – зрізаний конус, і отримаємо ширину утворюючої цього конуса із елементарних геометричних уявлень. Розрахункова схема ідентора зображена на рисунку 2.5.

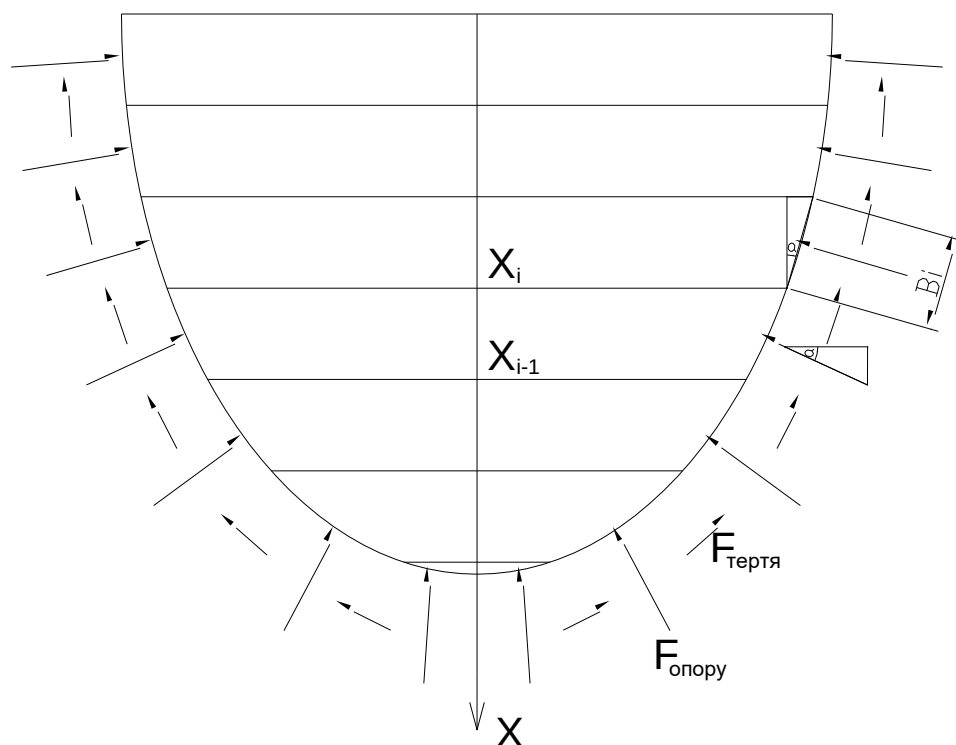


Рисунок 2.5 – Схема ідентора у формі довільногоє тіла обертання

Як видно з малюнка B_i є гіпотенузою зрізаного конуса i -того шару, яка за теоремою Піфагора дорівнює кореню з суми квадратів катетів і має вигляд:

$$B_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (r_i - r_{i-1})^2}, \quad (2.7)$$

де x_i і x_{i-1} – значення i -того шару;

r_i і r_{i-1} – радіус i -того шару.

Площа поверхні конуса визначається за формулою:

$$A_i = \frac{\pi(r_i + r_{i-1})}{2} B_i \quad (2.8)$$

Знайдемо зусилля опору тертя з відомого закону фізичної залежності:

$$R = \frac{F}{A}, \text{ звідки} \quad (2.9)$$

$$F = RA, \quad (2.10)$$

де F – зусилля, що діє на поверхню тіла;

A – площа.

Тому зусилля опору, що діє на i -товий шар знаходимо за формулою:

$$F_{C_s} = R \sin \alpha_i A_i \quad (2.11)$$

Зусилля тертя, що діє на і-товий шар:

$$F_{m_i} = KR \cos \alpha A_i \quad (2.12)$$

Кути нахилу знаходимо з співвідношення:

$$\sin \alpha = \frac{r_i - r_{i-1}}{B_i} \quad (2.13)$$

$$\cos \alpha = \frac{x_i - x_{i-1}}{B_i} \quad (2.14)$$

Загальне зусилля становить:

$$F_i = F_{\tilde{n}_i} - F_{O_s} \quad (2.15)$$

2.2 Параметри стану ніздрюватого бетону при втискуванні кулі

Розглянемо параметри стану бетону, які виникають при втискуванні в його тіло сталевий кульки. Вирішуємо цю задачу чисельно. Відповідно до загальних міркувань, кулю приймаємо як довільне випукле тіло обертання, яке можна описати формулою хорди:

$$a = 2\sqrt{2hr - h} = 2r \sin \alpha \quad (2.16)$$

За вище описаними теоретичними передумовами тіло діаметром 30 см було розбито на шари і-го перерізу з певним заданим кроком по висоті. Діаметр кулі, що в даному випадку описується формулою (2.16), який збільшується із зростанням кожного і-того шару. Застосовуючи формули (2.11), (2.12), (2.15), було визначено результуюче напруження, що діє на поверхню тіла. Результати визначень наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Обчислення зусилля penetрації кульовим ідентором

0	X_i	R_i	B_i	$\sin_i$	$\cos_i$	A_i	F_{ni}	F_{si}	F_n	F_s	F
1	0	0,000									0
2	0,01	0,173	0,173	0,998	0,058	0,0940	0,09	0,00	0,09	0,00	0,09
3	0,02	0,244	0,072	0,990	0,139	0,0942	0,09	0,00	0,19	0,00	0,19
4	0,03	0,298	0,055	0,984	0,181	0,0942	0,09	0,00	0,28	0,01	0,29
5	0,04	0,344	0,047	0,977	0,214	0,0942	0,09	0,00	0,37	0,01	0,38
6	0,05	0,384	0,041	0,970	0,243	0,0942	0,09	0,00	0,46	0,02	0,48

0	X_i	R_i	B_i	$\sin_i$	$\cos_i$	A_i	F_{ni}	F_{si}	F_n	F_s	F
7	0,07	0,453	0,072	0,960	0,279	0,1883	0,18	0,01	0,64	0,03	0,67
8	0,1	0,539	0,091	0,944	0,331	0,2825	0,27	0,02	0,91	0,04	0,96
9	0,15	0,654	0,126	0,917	0,398	0,4706	0,43	0,04	1,34	0,08	1,42
10	0,2	0,748	0,107	0,884	0,468	0,4707	0,42	0,04	1,76	0,13	1,88
11	0,25	0,829	0,095	0,850	0,526	0,4708	0,40	0,05	2,16	0,18	2,33
12	0,3	0,900	0,087	0,817	0,577	0,4708	0,38	0,05	2,54	0,23	2,77
13	0,35	0,963	0,080	0,784	0,621	0,4708	0,37	0,06	2,91	0,29	3,20
14	0,4	1,020	0,076	0,750	0,661	0,4709	0,35	0,06	3,27	0,35	3,62
15	0,45	1,071	0,072	0,717	0,697	0,4709	0,34	0,07	3,60	0,42	4,02
16	0,5	1,118	0,068	0,684	0,730	0,4709	0,32	0,07	3,93	0,49	4,41
17	0,55	1,161	0,066	0,650	0,760	0,4709	0,31	0,07	4,23	0,56	4,79
18	0,6	1,200	0,064	0,617	0,787	0,4709	0,29	0,07	4,52	0,63	5,15
19	0,65	1,236	0,062	0,583	0,812	0,4709	0,27	0,08	4,80	0,71	5,50
20	0,7	1,269	0,060	0,550	0,835	0,4709	0,26	0,08	5,06	0,79	5,84
21	0,75	1,299	0,058	0,517	0,856	0,4709	0,24	0,08	5,30	0,87	6,17
22	0,8	1,327	0,057	0,483	0,875	0,4709	0,23	0,08	5,53	0,95	6,48
23	0,85	1,352	0,056	0,450	0,893	0,4709	0,21	0,08	5,74	1,03	6,77
24	0,9	1,375	0,055	0,417	0,909	0,4709	0,20	0,09	5,93	1,12	7,05
25	0,95	1,396	0,054	0,383	0,924	0,4709	0,18	0,09	6,12	1,21	7,32
26	1	1,414	0,053	0,350	0,937	0,4709	0,16	0,09	6,28	1,29	7,57
27	1,05	1,431	0,053	0,317	0,949	0,4709	0,15	0,09	6,43	1,38	7,81
28	1,1	1,446	0,052	0,283	0,959	0,4709	0,13	0,09	6,56	1,47	8,04
29	1,15	1,459	0,052	0,250	0,968	0,4709	0,12	0,09	6,68	1,57	8,25
30	1,2	1,470	0,051	0,217	0,976	0,4709	0,10	0,09	6,78	1,66	8,44
31	1,25	1,479	0,051	0,183	0,983	0,4709	0,09	0,09	6,87	1,75	8,62
32	1,3	1,487	0,051	0,150	0,989	0,4709	0,07	0,09	6,94	1,84	8,78
33	1,35	1,492	0,050	0,117	0,993	0,4709	0,05	0,09	6,99	1,94	8,93
34	1,4	1,497	0,050	0,083	0,997	0,4709	0,04	0,09	7,03	2,03	9,06
35	1,45	1,499	0,050	0,050	0,999	0,4709	0,02	0,09	7,06	2,12	9,18
36	1,5	1,500	0,050	0,017	1,000	0,4709	0,01	0,09	7,07	2,22	9,28

Дана таблиця містить такі величини:

X_i – висота i -того шару;

R_i – радіус i -того шару;

A_i – площа;

F_{ci} – зусилля опору i -того шару;

F_{ti} – зусилля тертя i -того шару;

F_c – сумарне зусилля опору;

F_T – сумарне зусилля тертя;

$\sin \alpha$ – кут нахилу дії зусилля опору;

$\cos \alpha$ – кут нахилу дії зусилля тертя;

F – результуюче напруження;

Перевіримо достовірність проведених підрахунків, побудувавши графіки залежності: для отримання форми кулі (рис. 2.6) і для визначення напружень, що діють під ідентором (рис. 2.7)

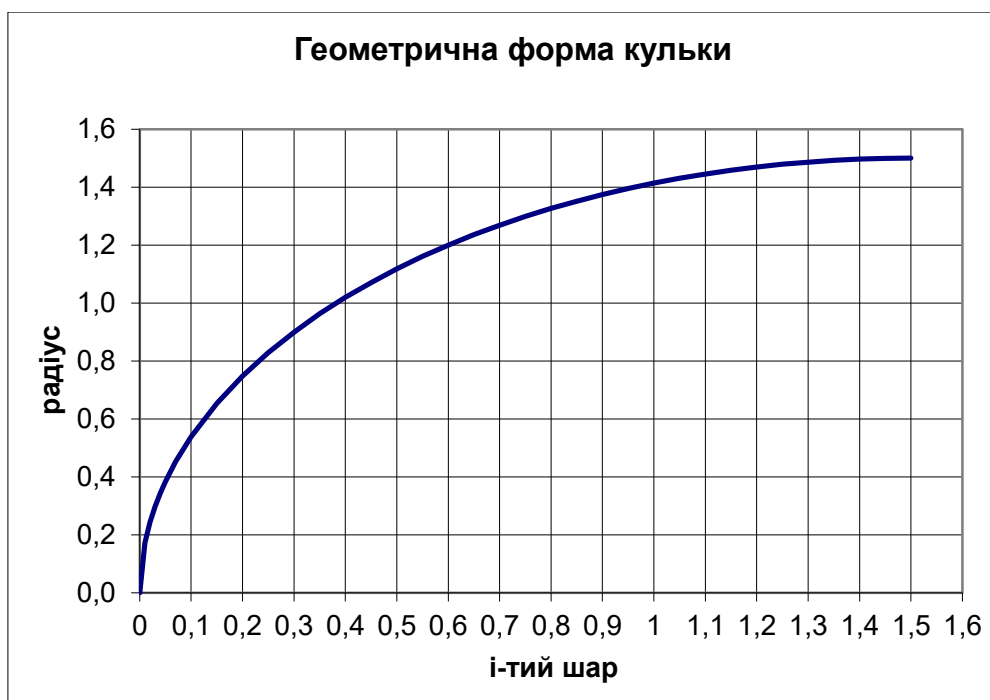


Рисунок 2.6 – Залежність зміни радіусу ідентора R_i і висоти i -того шару X_i

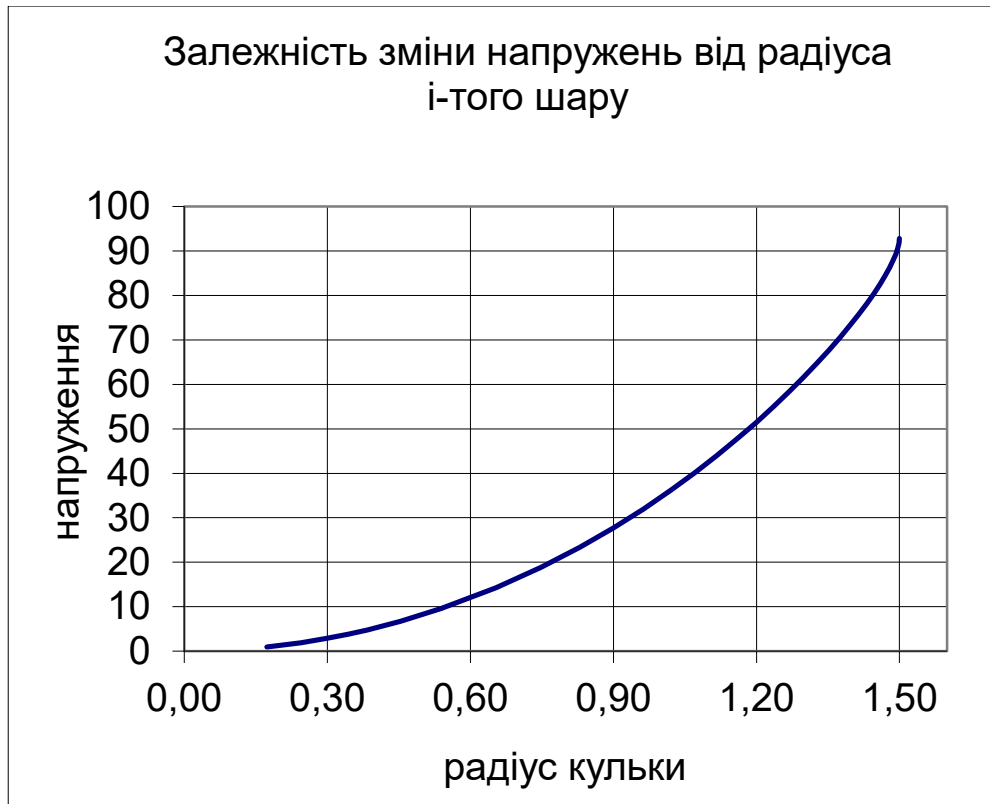


Рисунок 2.7 – Залежність зміни напружень F_i і радіусу ідентора R_i

Графік яскраво ілюструє правильність отриманої опуклої форми ідентора, що являє собою геометричну форму кульки. Вірність описаної форми обумовлена тим, що вона отримана не у вигляді прямого вимірювання, а в перерахунку через математичні формули, що свідчить про точність і достовірність використаних формул.

Характер дії напружень є рівномірно розподіленим по всій поверхні ідентора і пропорційно збільшується із зростанням радіусу.

2.3 Параметри стану ніздрюватого бетону при втискуванні конуса

На основі розглянутих загальних залежностей, які виникають при використанні методу пенетрації дослідимо параметри стану бетону при втискуванні конуса. Оскільки конус є простою фігурою – цю задачу легко вирішити аналітично. Вважаємо весь конус одним шаром.

Відповідно до визначених формул сила опору, що діє на поверхню тіла становить:

$$F_{\vec{n}} = R \sin \alpha A, \quad (2.17)$$

де A – площа конуса, яка дорівнює:

$$A = \frac{\pi d h}{2} \quad (2.18)$$

Сила тертя становить:

$$F_{\vec{o}} = K N \quad (2.19)$$

де N – сумарна притискуюча сила, яка дорівнює:

$$N = R \frac{\pi d h}{2} = R \operatorname{tg} \alpha \pi h^2 \quad (2.20)$$

Підставивши (20) в (19) отримуємо:

$$F_{\vec{o}} = \hat{E} R \operatorname{tg} \alpha \pi h^2 \quad (2.21)$$

Отже, результуюча сила, визначається як сума сили тертя і опору:

$$F = F_{\vec{o}} + F_{\vec{n}} = R \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha \pi h^2 + K R \operatorname{tg} \alpha \pi h^2 = R \pi h^2 \operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha + K) \quad (2.22)$$

Звідки границя міцності визначається наступним чином:

$$R = \frac{F}{\pi h^2 \operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha + K)} \quad (2.23)$$

По аналогії дослідження напружено-деформованого стану бетону при втискуванні кульки – застосовуючи загальні залежності для конуса були отримані наступні значення, що наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Обчислення зусилля penetрації конусним ідентором

0	Xi	Ri	Bi	Sin_i	Cos_i	Ai	Fni	Fsi	Fn	Fs	F
1	0	0,000									0
2	0,05	0,132	0,141	0,935	0,354	0,06	0,05	0,00	0,05	0,00	0,06
3	0,1	0,173	0,065	0,633	0,774	0,06	0,04	0,01	0,09	0,01	0,11
4	0,15	0,194	0,054	0,378	0,926	0,06	0,02	0,01	0,12	0,03	0,14
5	0,19	0,200	0,040	0,151	0,989	0,05	0,01	0,01	0,13	0,04	0,16
6	0,3	0,214	0,111	0,126	0,992	0,14	0,02	0,03	0,14	0,06	0,21
7	0,4	0,226	0,101	0,126	0,992	0,14	0,02	0,03	0,16	0,09	0,25
8	0,6	0,252	0,202	0,126	0,992	0,30	0,04	0,06	0,20	0,15	0,35
9	0,8	0,277	0,202	0,126	0,992	0,33	0,04	0,07	0,24	0,22	0,46
10	1	0,303	0,202	0,126	0,992	0,37	0,05	0,07	0,29	0,29	0,58
11	1,2	0,328	0,202	0,126	0,992	0,40	0,05	0,08	0,34	0,37	0,71
12	1,4	0,353	0,202	0,126	0,992	0,43	0,05	0,09	0,39	0,46	0,85
13	1,6	0,379	0,202	0,126	0,992	0,46	0,06	0,09	0,45	0,55	1,00
14	1,8	0,404	0,202	0,126	0,992	0,50	0,06	0,10	0,51	0,65	1,16
15	2	0,430	0,202	0,126	0,992	0,53	0,07	0,10	0,58	0,75	1,33
16	2,2	0,455	0,202	0,126	0,992	0,56	0,07	0,11	0,65	0,86	1,51
17	2,4	0,480	0,202	0,126	0,992	0,59	0,07	0,12	0,72	0,98	1,70
18	2,6	0,506	0,202	0,126	0,992	0,62	0,08	0,12	0,80	1,10	1,91
19	2,8	0,531	0,202	0,126	0,992	0,66	0,08	0,13	0,89	1,23	2,12
20	3	0,557	0,202	0,126	0,992	0,69	0,09	0,14	0,97	1,37	2,34
21	3,2	0,582	0,202	0,126	0,992	0,72	0,09	0,14	1,06	1,51	2,58
22	3,4	0,607	0,202	0,126	0,992	0,75	0,09	0,15	1,16	1,66	2,82

Графік, що описує форму конічного ідентора, тобто відображає залежність X_i від R_i , наведений на рис.2.8.

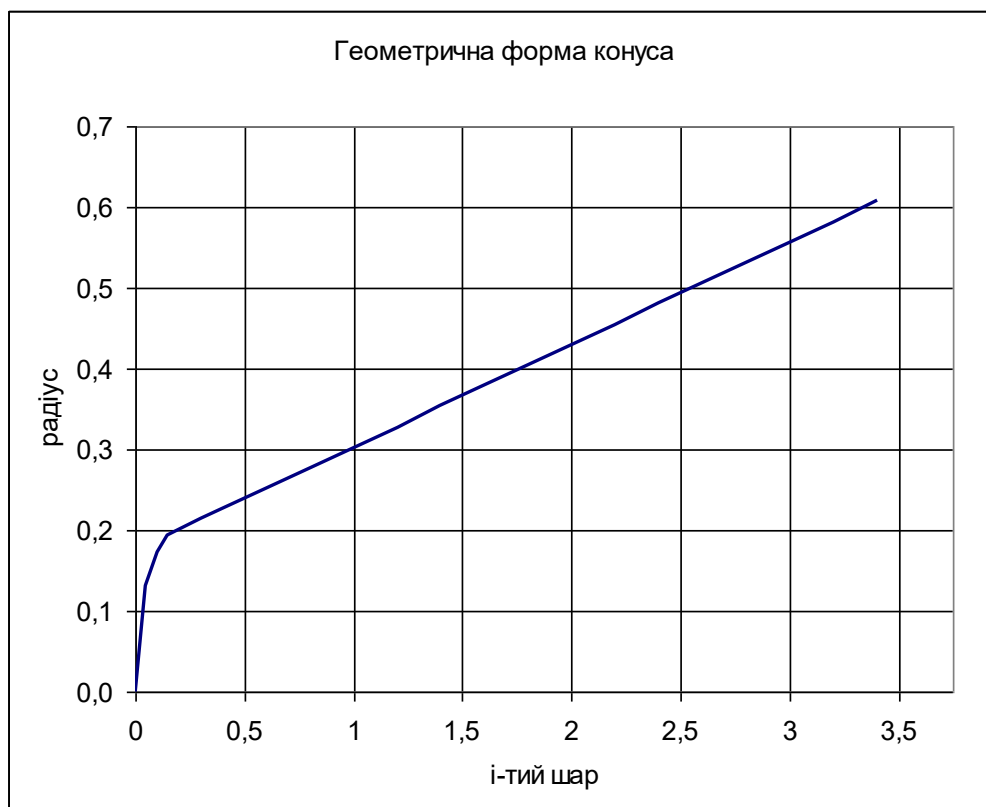


Рисунок 2.8 – Залежність зміни радіусу R_i і висоти i -того шару X_i

Графік повністю відображає реальну геометричну форму конічного штампа, оскільки на відміну від звичайних конусів, які мають загострений кінець – в наших експериментах застосовувався конус з заокругленим кінцем. Заокруглення приймалося як форма кулі, яка по дотичній плавно переходить до твірної конуса.

Характер розподілу напружень, що діють по поверхні конічного ідентора наведений на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Залежність зміни напружень F_i висоти і-того шару X_i

2.4 Форма залежностей розмірів відбитка від міцності бетону та зусилля penetрації

При втискуванні ідентора в тіло бетону існує залежність між діаметром відбитка, втискаючим зусиллям і міцністю самого бетону.

Розглянемо як впливає значення діаметра кулі на визначення міцнісних характеристик бетону. При малих діаметрах – для слабких бетонів класу В0,35 – В1 спостерігається досить вільне втискання, а іноді і проковзування навскрізь. Це пояснюється тим, що напруження, які виникають під кулькою набагато більші міцності бетону, за рахунок ущільнення поверхневих шарів. При великих діаметрах – у місці втискання утворюється значна площа контакту, яка чинить опір і не дозволяє кулі більш глибокого і вільного проникнення.

Так, при аналізі діаметру за “нижньою” і “верхньою” межею очевидно, що при використанні кулі малого діаметру зручно оцінювати високомарочні бетони, а із збільшенням діаметру пропорційно зменшується діапазон оцінки міцності бетонів.

Розглянемо силу, з якою необхідно вдавлювати кулю для отримання вимірюваних і наглядних діаметрів відбитків. Як вже визначено, зміна діаметру призводить до зміни діапазону охоплення марок бетонів, а при сталому діаметрі необхідно збільшувати силу втискування, що не завжди зручно. Тому зусилля потрібно вибирати таким, щоб можна було зняти відбиток не перевищуючи ручного зусилля, рівного 50 кг.

За розглянутими ознаками зміни діаметру і зусилля втискування постає задача у виборі таких значень параметрів, щоб на них можна було вибирати різні марки бетону. В результаті проведення ряду експериментів було встановлено, що такими параметрами є діаметр кулі від 25 до 30 мм, а зусилля втискування 25-50 кгс .

Прийняте рішення досить зручно проаналізувати, побудувавши графіки залежності діаметру відбитку (зусилля втискування) і границі міцності бетону. Розглянемо чотири варіанти можливих діаметрів: $D=1\text{ см}$, $D=2\text{ см}$, $D=3\text{ см}$, $D=4\text{ см}$, при зусиллях втискування 25, 50, 70 і 100 кгс.

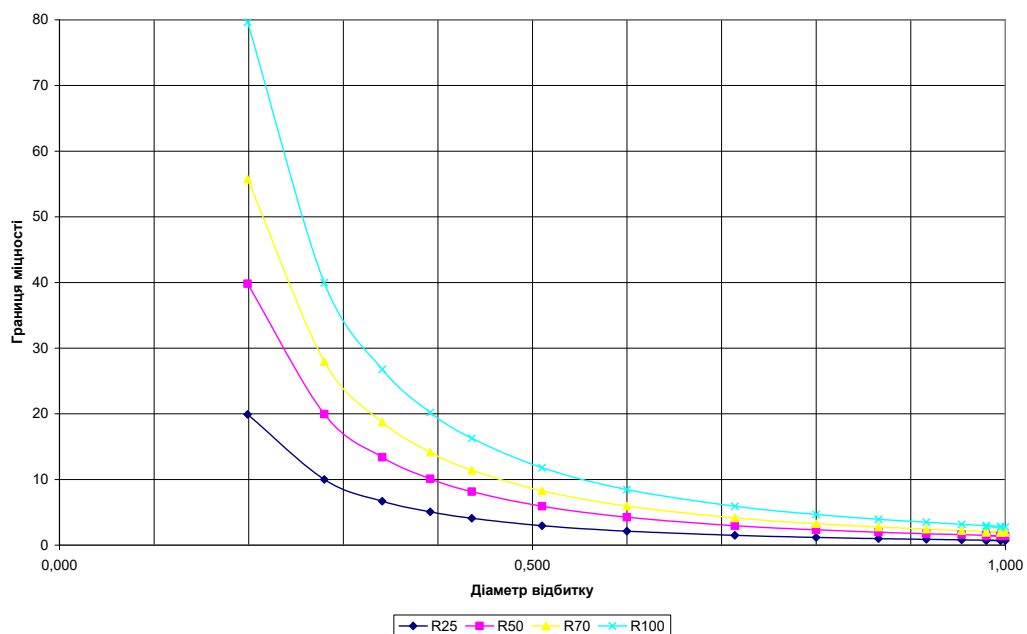


Рисунок 2.10 – Залежність границі міцності і діаметру ідентора $D=1\text{ см}$

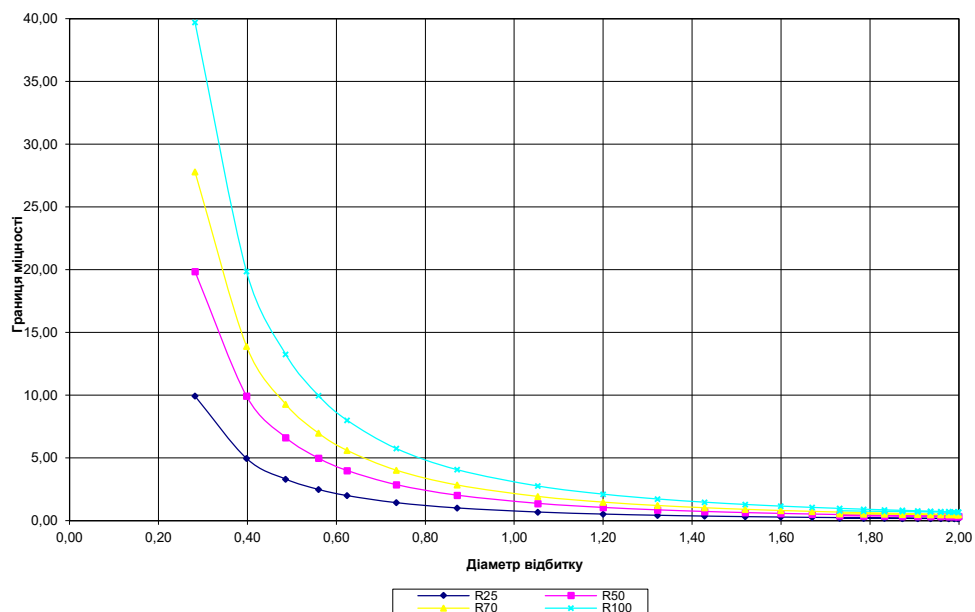


Рисунок 2.11 – Залежність границі міцності і діаметру ідентора D=2 см.

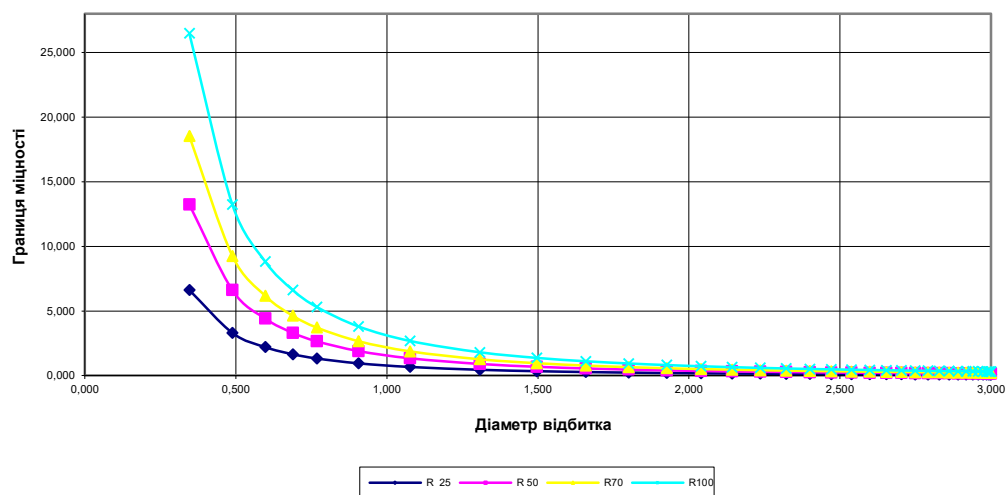


Рисунок 2.12 – Залежність границі міцності і діаметру ідентора D=3 см.

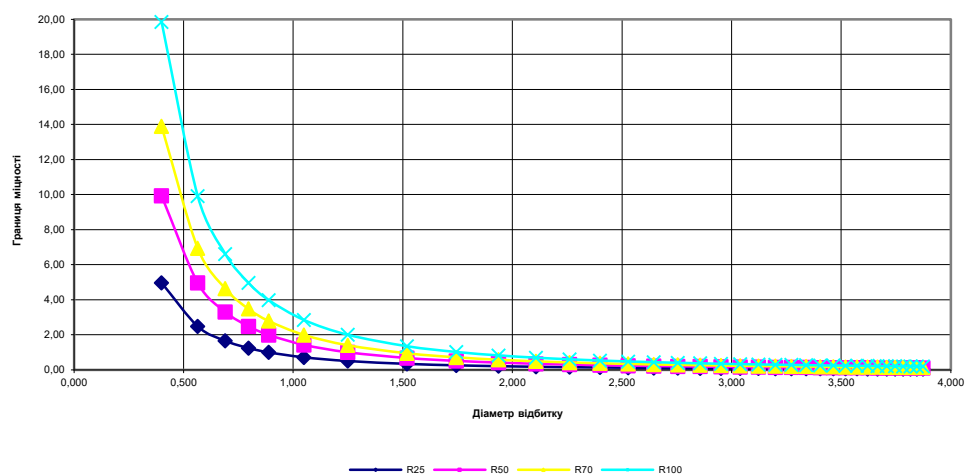


Рисунок 2.13 – Залежність границі міцності і діаметру ідентора D=4 см.

Розглянуті графіки залежностей показують, що збільшення діаметра штампа відповідає зменшенню межі міцності бетону. Тобто, чим менший діаметр, тим більш міцні бетони можна аналізувати, але це зменшує діапазон оцінки бетонів різних марок.

З побудованих графіків очевидно, що оптимальним варіантом для оцінки характеристик бетонів як високої марки так і марок нижчого гатунку є сферичний штамп з діаметром 2,5–3 см.

2.5 Методика встановлення тарувальних залежностей

В практиці випробувань будівельних конструкцій часто маємо справу з поняттям функціональної залежності, сутність якої заключається в тому, що будь яка фізична величина визначається як однозначна функція однієї або декількох величин. Так, залежність між модулем пружності, з однієї сторони, силою P , довжиною l , площею поперечного перерізу A і відносним подовженням Δl – з іншої, визначається, як відомо, рівнянням

$$E = \frac{P}{A \Delta l} \quad (2.24)$$

Таким чином, маємо справу з подібною залежністю, коли існує функція:

$$y = f(x, z, \dots, u),$$

тобто, коли величина y визначена значеннями $x, z, \dots, u$.

Функціональний зв'язок може існувати і між випадковими величинами. Наприклад, кожен зразок будівельного матеріалу має певну середню густину, пористість, водопоглинання, границю міцності на стиск і на згин та інші технічні характеристики. Всі ці показники є випадковими величинами, значення яких змінюються від зразка до зразка, але при цьому можуть бути взаємно залежними. Очевидно, що при збільшенні пористості зростає водопоглинання, але зменшуються середня густина та границя міцності матеріалу.

Однак між ними може існувати і зв'язок іншого роду, який проявляється в тому, що один з них реагує на зміну другого зміною свого закону розподілу. Такий зв'язок називають стохастичним.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо дві випадкові змінні X і Y , отримані в результаті парного експерименту. Якщо між ними існує **функціональна залежність**, то кожному конкретному значенню X відповідає конкретне детерміноване значення Y . **Стохастична залежність** полягає в тому, що конкретному значенню X відповідає ряд випадкових значень Y , які мають певний статистичний розкид. Якщо набір можливих значень випадкової величини Y змінюється при зміні значень X , такі випадкові величини називають **залежними**.

Такий зв'язок між двома випадковими величинами з'являється тоді, коли є загальні випадкові фактори, які впливають як на одну так і на іншу величину поряд з іншими неоднаковими для обох величин випадковими факторами.

Задачі, які пов'язані з вивченням залежностей між величинами, відмінних від строго функціональних, доволі різноманітні. Вони мають більш визначений характер і можуть бути поставлені в рамках математично–статичного дослідження, якщо вважати, що залежність має стохастичний характер. Стосовно цього випадку і розвинена теорія кореляції.

Практично найбільш важливо прослідкувати за зміною математичного очікування випадкової величини x , обумовленою зміною математичного очікування іншої випадкової величини y .

Серед різноманітних видів стохастичного зв'язку ведуче місце відводиться кореляційному зв'язку. Він досить зручний оскільки допускає можливість числової характеристики сили або тісноти зв'язку.

Прийоми отримання статистичних оцінок зв'язку за результатами випробувань заключаються в заміні вірогідностей в теоретичних показниках, математичних очікувань – відповідними середніми арифметичними.

Результати парного експерименту можна зобразити графічно, відклавши вздовж однієї осі значення випадкової величини X , а вздовж іншої – значення Y . Кожна пара даних, яка характеризує один і той же об'єкт (зріст і маса тіла певної людини, середня густина та межа міцності зразка легкого бетону тощо), утворює на графіку одну точку. За таким графіком можна орієнтовно встановити наявність і характер залежності між проаналізованими величинами.

Статистичною мірою тісноти лінійного (або близького до лінійного) зв'язку між двома випадковими величинами є **коефіцієнт кореляції**, який обчислюється за формулою

$$R_{xy} = \frac{1}{(N-1) S_x S_y} \sum_{i=1}^N (X_i - M_x)(Y_i - M_y), \quad (2.25)$$

де N – обсяг кожної з вибірок;

X_i і Y_i – відповідні елементи вибірок, які відображають результати парного експерименту для одного і того ж об'єкта;

M_x і M_y – оцінки математичних сподівань обох вибірок;

S_x і S_y – оцінки стандартів обох вибірок.

При статистичній обробці даних в середовищі табличного процесора EXCEL коефіцієнт кореляції зручно обчислювати з використанням функції КОРРЕЛ(масив_X; масив_Y).

За значенням коефіцієнта кореляції можна судити про наявність і характер зв'язку між випадковими величинами. Коефіцієнт кореляції незалежних випадкових величин, зображених на рисунку 2.14 а, наближається до нуля. Відмінність коефіцієнта кореляції від нуля свідчить про наявність зв'язку між випадковими величинами, а його близькість за модулем до одиниці – про близькість цього зв'язку до лінійного функціонального. При $R_{xy} > 0$ (рисунок 2.14 б) збільшення величини X викликає зростання Y , а при $R_{xy} < 0$ (рисунок 2.14 в), навпаки, більшим значенням X відповідають менші Y .

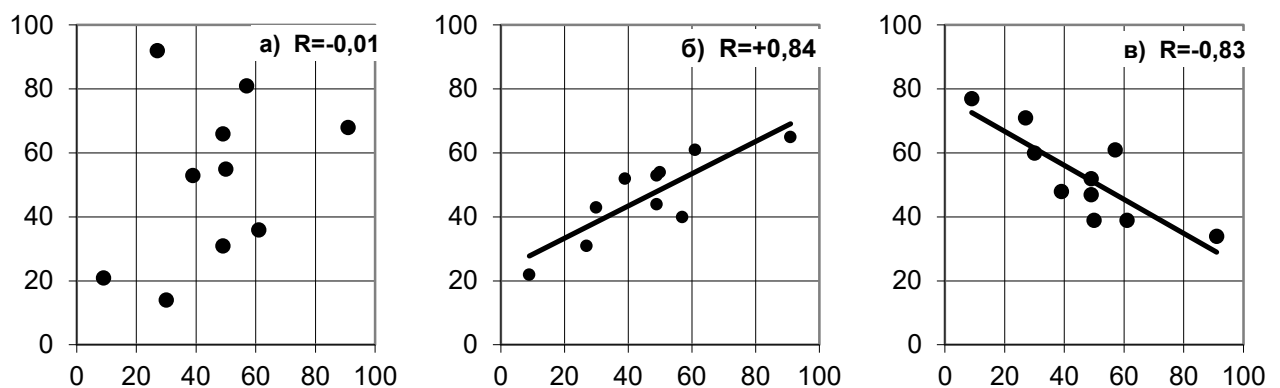


Рисунок 2.14 – Приклади залежностей між випадковими величинами

Якщо між проаналізованими величинами існує досить тісний зв'язок (при значеннях коефіцієнта кореляції $|R_{XY}| > 0,7$), залежність між ними можна описати **рівнянням лінійної регресії** виду

$$Y = A + B \times X \quad (2.26)$$

Параметри **A, B** апроксимуючої лінійної функції (26) визначаються методом найменших квадратів, який забезпечує мінімум суми квадратів відхилень дослідних значень **Y** від апроксимуючої прямої (26). Для цього вони обчислюються за формулами,

$$A = R_{XY} S_Y / S_X ; \quad (2.27)$$

$$B = M_Y - A M_X \quad (2.28)$$

усі позначення яких відповідають формулі (25). При використанні табличного процесора EXCEL параметри лінійного рівняння регресії (26) можна безпосередньо обчислити за формулами (27) або отримати на побудованій діаграмі типу „точечная”, виконавши команду „вставить линию тренда”.

Із рисунків 2.14,б і 2.14,в видно, що апроксимуючі прямі (2.26) описують дослідні залежності „у середньому”. Реальні дослідні значення **Y** випадковим чином відхиляються від апроксимуючої прямої. Величина розкиду зменшується до нуля при зростанні модуля коефіцієнта кореляції до одиниці, що відповідає перетворенню стохастичної залежності в функціональну.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2

1. Дослідження пенетраційних випробувань для різного роду матеріалів підтвердили можливість його застосування для оцінки міцностних характеристик ніздрюватого бетону.

2. Аналіз існуючих методів неруйнівного контролю різних матеріалів дозволив розробити теоретичну основу для такого контролю по відношенню до ніздрюватого бетону, яка дозволяє визначити напруження, що діють під ідентором.

3. За викладеною теорією і виведеними формулами можна дослідити параметри стану бетону, який виникає при вдавлюванні ідентора і таким чином перейти до практичного обґрунтування.

4. Суттєвим фактором впливу при дослідженні ніздрюватих бетонів виявилася величина діаметру ідентора, характер впливу і принципи вибору якого описують побудовані залежності між діаметром відбитка і границею міцності бетону.

					<i>КМР 2119204 ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТАРУВАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ ПЕНЕТРАЦІЇ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ

3.1 Тарувальні залежності для сферичного штампа

Необхідним елементом забезпечення роботи неруйнівного методу контролю міцності ніздрюватих бетонів є встановлення залежностей, які повинні зв'язувати межу міцності з діаметром відбитка на поверхні бетону. Ці залежності описуються так званою тарувальною кривою. Такі графіки були встановлені для чотирьох значень навантажень – 25 кгс, 50 кгс, 70 кгс і 100 кгс, які визначені теоретично у відповідності з теорією розділу 2 і наведені на рисунку 3.1 для двох значень навантажень 25 кгс і 50 кгс.

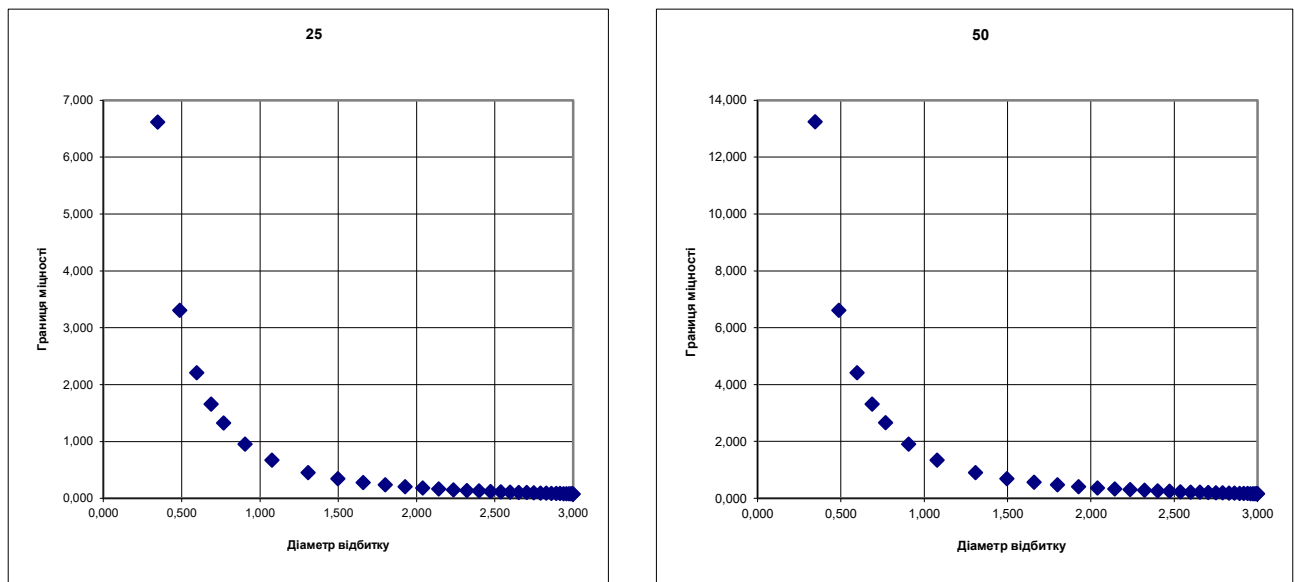


Рисунок 3.1 – Залежності межі міцності R від діаметрів відбитка D₂₅, D₅₀

Але цей розрахунок не враховує випадковий розкид точок, який є цілком природним явищем, обумовленим випадковим характером усіх властивостей будівельних матеріалів. За теоретичними передумовами прийнято, що в кожній точці тіла (кульки) діють рівномірно розподілені напруження, які дорівнюють R – границі міцності матеріалу. За рахунок зміцнення шарів при втискуванні ці напруження є більшими за реальні значення міцності і тому напряму застосовувати і реалізувати таким чином оцінку міцності ніздрюватих бетонів неможливо, оскільки в такому випадку завищується реальна міцність бетону.

В зв'язку з цим такі залежності були отримані дослідним шляхом, для чого застосовувались різні зразки з різною міцністю за середньою густиною. В якості таких зразків використовувались зразки заводської готовності, отримані при випилюванні з газо- і пінобетонних блоків, а для збільшення діапазону міцності інші зразки були виготовлені в лабораторних умовах.

За результатами досліджень побудовані графіки залежності межі міцності R та діаметра відбитка D_{25} , D_{50} , D_{70} , і D_{100} від середньої густини. Розглянемо два графіки для навантаження 25 кгс і 50 кгс, оскільки саме при такій силі отримано найбільшу кількість дослідних точок.

Зі зростанням густини бетону його межа міцності зростає, а діаметр відбитка зменшується. Такі залежності є зрозумілими, а великий розкид точок пояснюється тим, що міцність ніздрюватого бетону залежить не лише від ступеня пористості та співвідношення кількостей піску і цементу у його складі, але й від значної кількості інших факторів, які практично неможливо урахувати в дослідженнях.

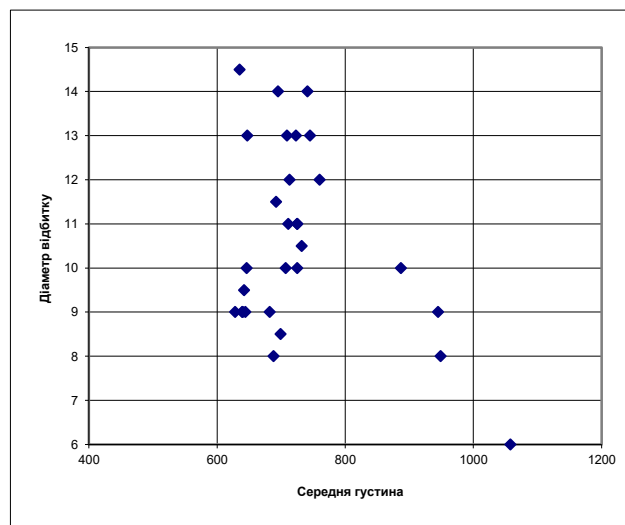
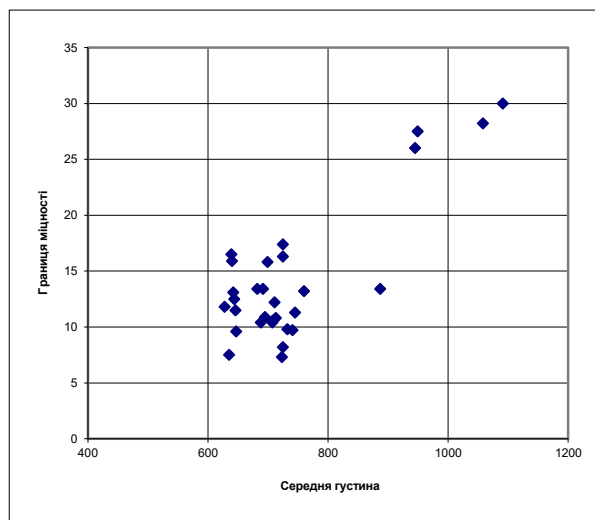


Рисунок 3.2 – Залежності межі міцності R та діаметра відбитка D_{25} від середньої густини зразків.

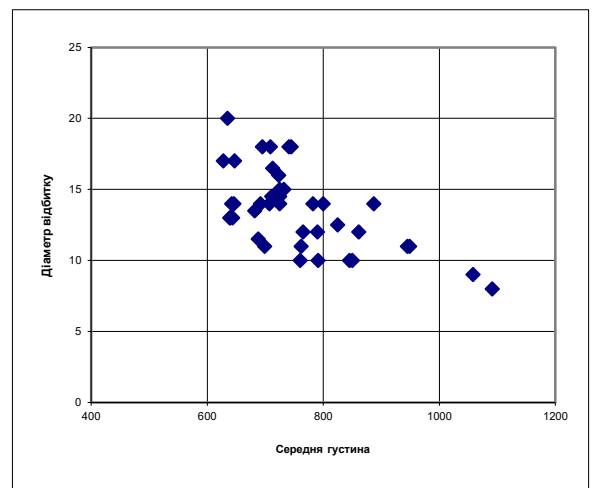
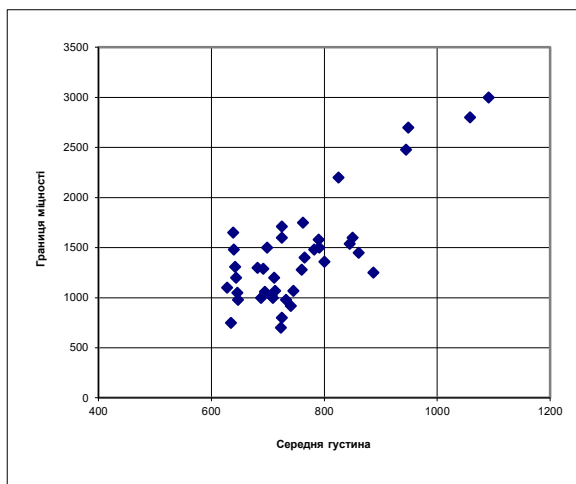


Рисунок 3.3– Залежності межі міцності R та діаметра відбитка D_{50} від середньої густини зразків.

Для орієнтування нанесемо на графіки теоретичні криві.

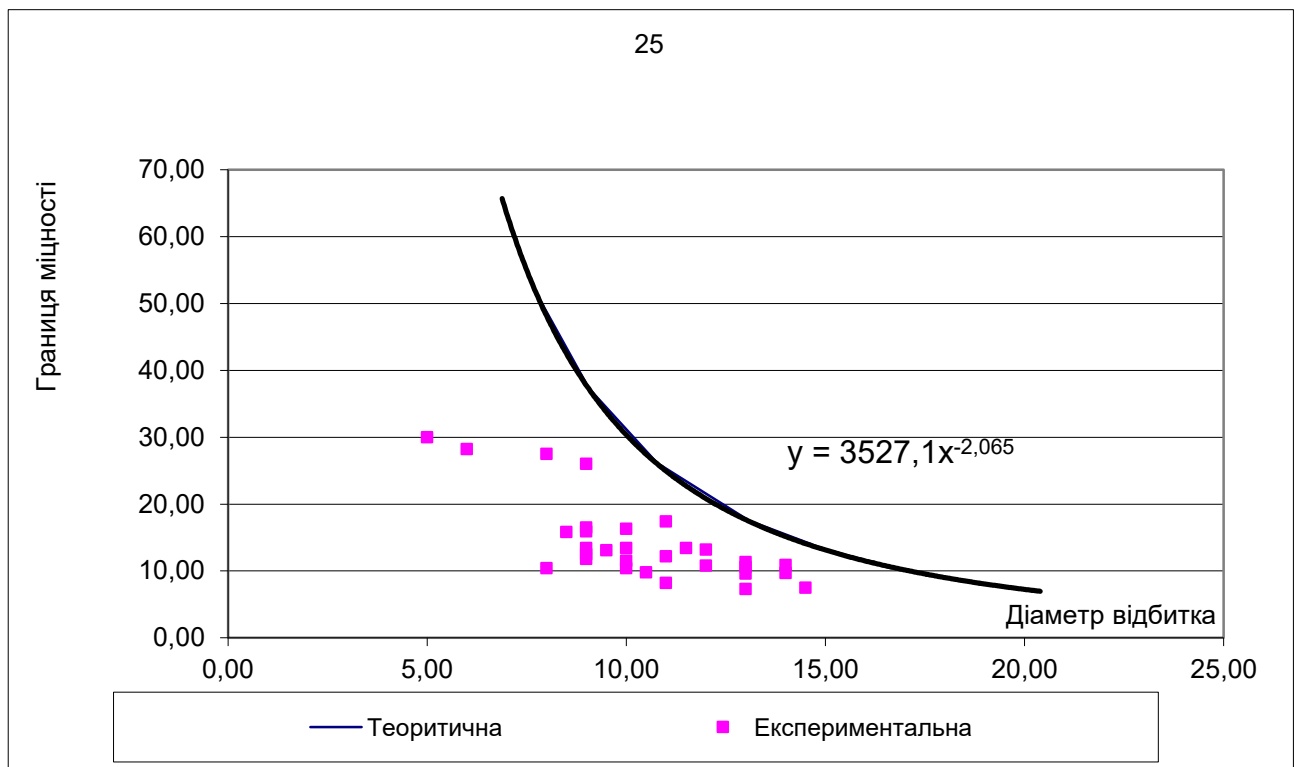


Рисунок 3.4 – Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{25}

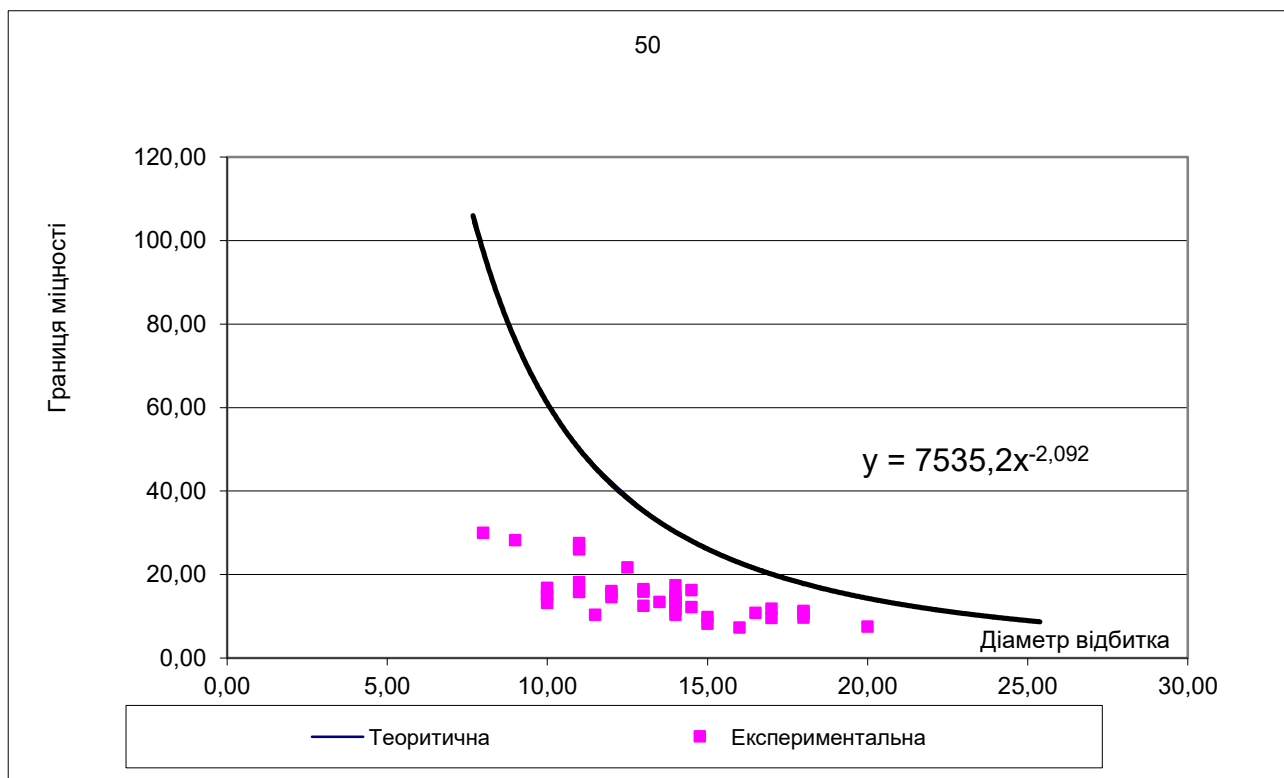


Рисунок 3.5 – Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{50}

З графіків видно, що теоретична крива проходить дещо вище дослідних точок – і це підтверджує теоретичні міркування, що напруження під штампом мають більші значення ніж реальна міцність матеріалу.

Для використання отриманих графіків у якості тарувальних їх необхідно описати аналітичними залежностями. Це зроблено в середовищі табличного процесора EXCEL за допомогою команди “вставить лінію тренда”, яка реалізує метод найменших квадратів. Виходячи з виду отриманих залежностей отримано функцію, що описується формулою, яку приймаємо як дріб сталої величини на квадрат діаметру відбитка – тому для апроксимації обрано функцію квадратичної гіперболи. Параметри функції EXCEL вказуємо в рівняннях, наведених на діаграмах. Отже, маємо наступні аналітичні залежності:

$$\text{Для втискуючого зусилля 25кгс} \quad R=3527,1x^{-2,0652} \quad (3.1)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 50кгс} \quad R=7535,2x^{-2,0917} \quad (3.2)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 70кгс} \quad R=10651x^{-2,0955} \quad (3.3)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 100кгс} \quad R=15216x^{-2,0955} \quad (3.4)$$

Доцільним є перебудувати отримані тарувальні залежності таким чином, щоб вони проходили поблизу нижньої межі дослідних точок і у більшості випадків занижували реальну міцність бетону.

Це зроблено шляхом підбору першого параметра формули таким чином, що змінюючи його значення, яке задане окремою коміркою таблиці, підібрані криві, що проходять близько до нижньої межі дослідних точок.

Небезпечним є відхилення дослідних точок нижче підбраної кривої, бо тоді використання отриманих формул приведе до завищення межі міцності, оціненої неруйнівним методом, порівняно з їх реальними значеннями. Такі відхилення в окремих випадках можуть досягати 50%.

Відносного зменшення розкиду точок можна досягнути за рахунок підвищення точності експерименту та збільшення обсягу експериментальних даних, тобто кількості випробуваних зразків.

Результати підбору відображено на рис. 3.6 і 3.7

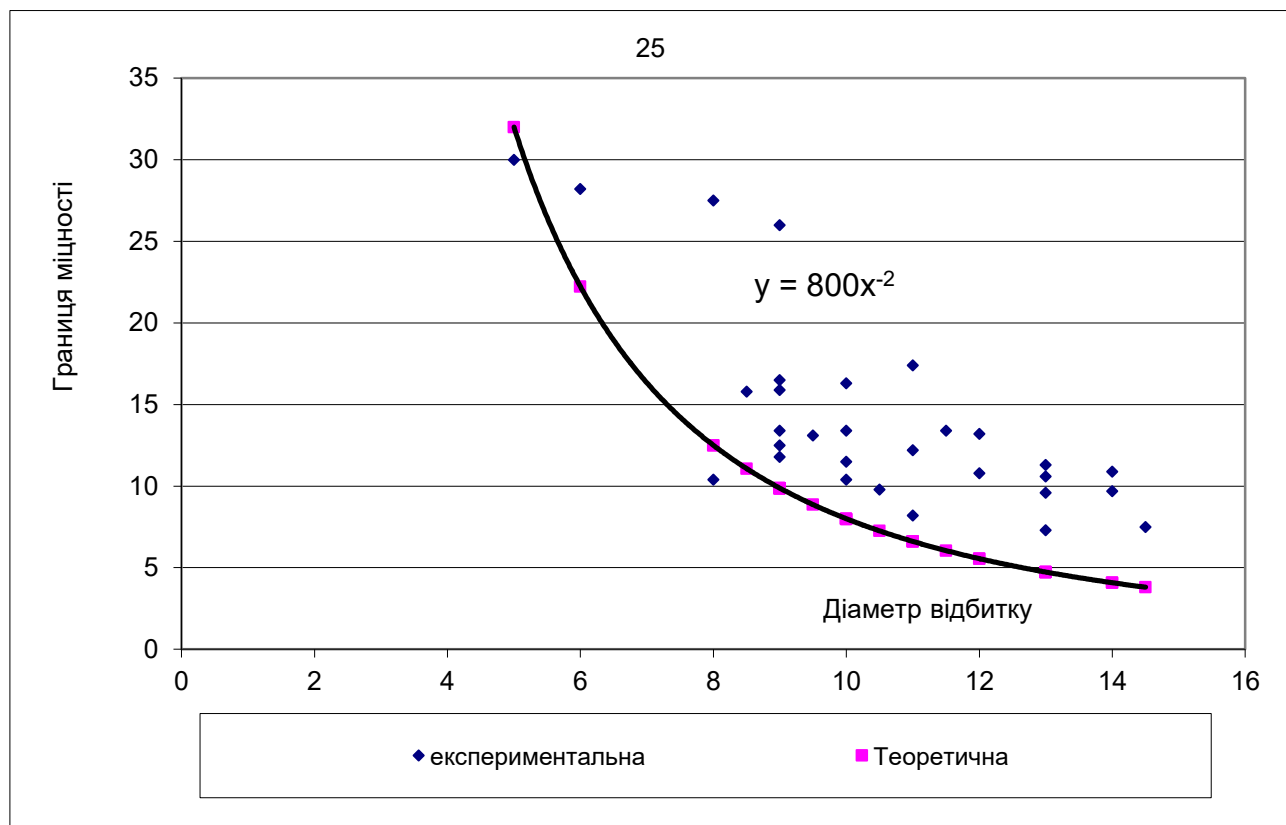


Рисунок 3.6 – Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{25}

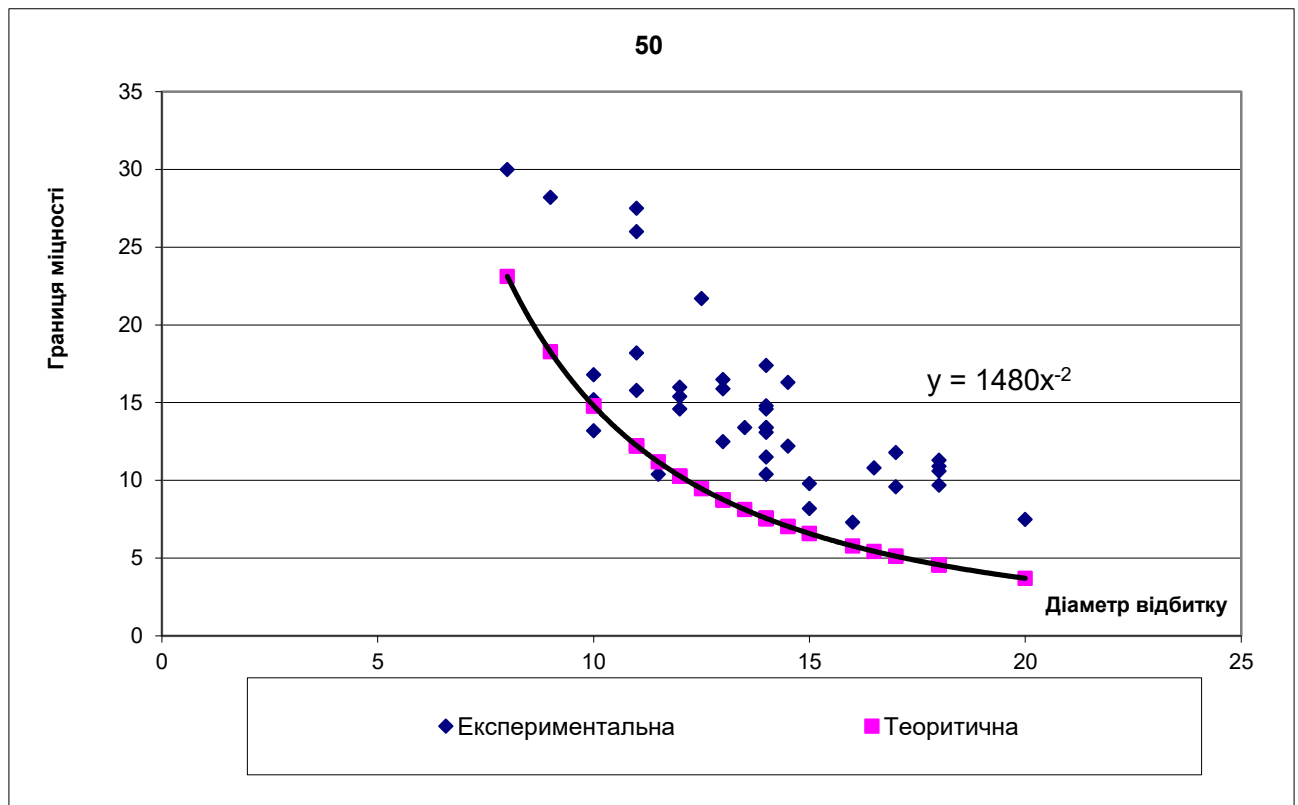


Рисунок 3.7 – Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{50}

За вказаним способом підбора параметра отримуємо наступні аналітичні залежності:

$$\text{Для втискуючого зусилля 25кгс} \quad R=800x^{-2} \quad (3.5)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 50кгс} \quad R=1480x^{-2} \quad (3.6)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 70кгс} \quad R=2500x^{-2} \quad (3.7)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 100кгс} \quad R=4200x^{-2} \quad (3.8)$$

Отримані тарувальні криві проходять таким чином, що нижче них розташовується від 3-5 точок з сумарної кількості зразків для кожного втискуючого зусилля. Це означає, що у 85% випадків дані залежності занижують реальну міцність бетону, тим самим працюючи в запас надійності. Отже, це дозволяє говорити про клас бетону.

В результаті наступного підбору отримані криві, які проходять посередині дослідних точок, таким чином, що нижче них розташовується майже половина цих точок. В такому випадку дана крива і формула говорять про марку бетону.

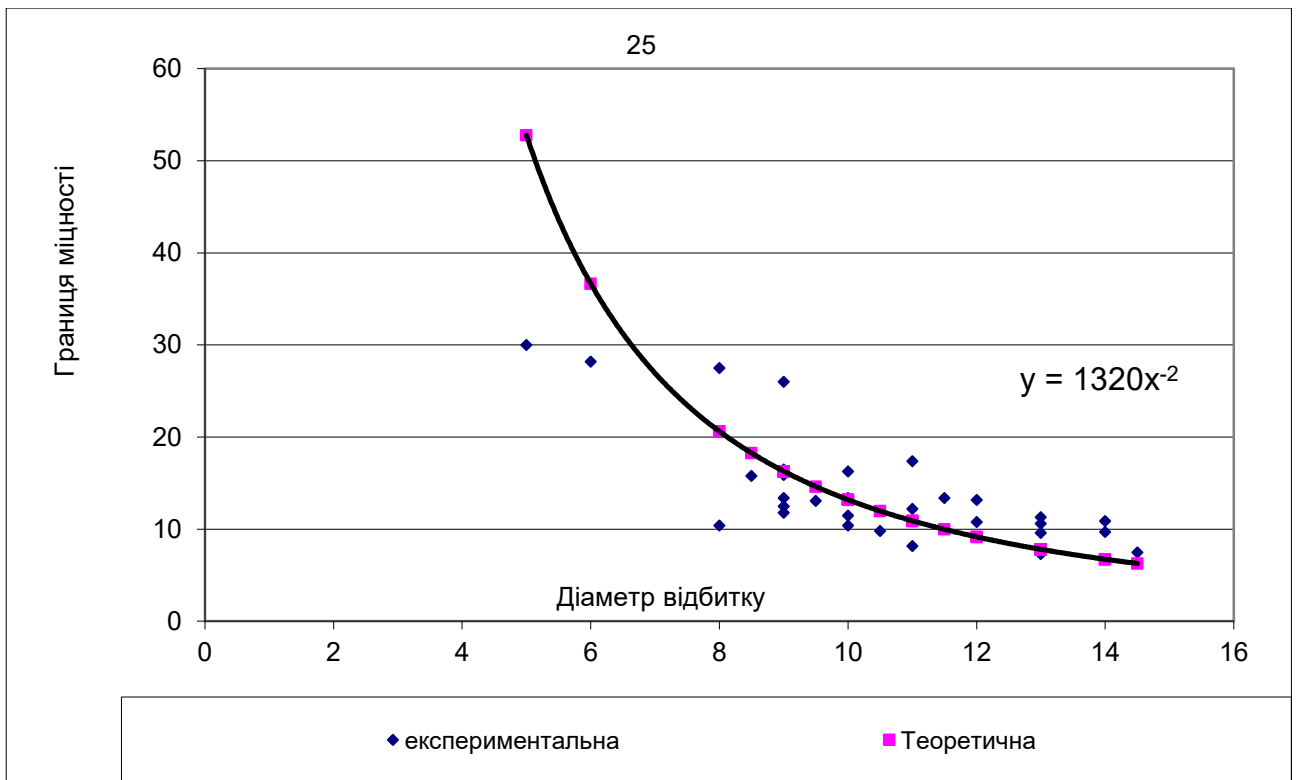


Рисунок 3.8 Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{25}

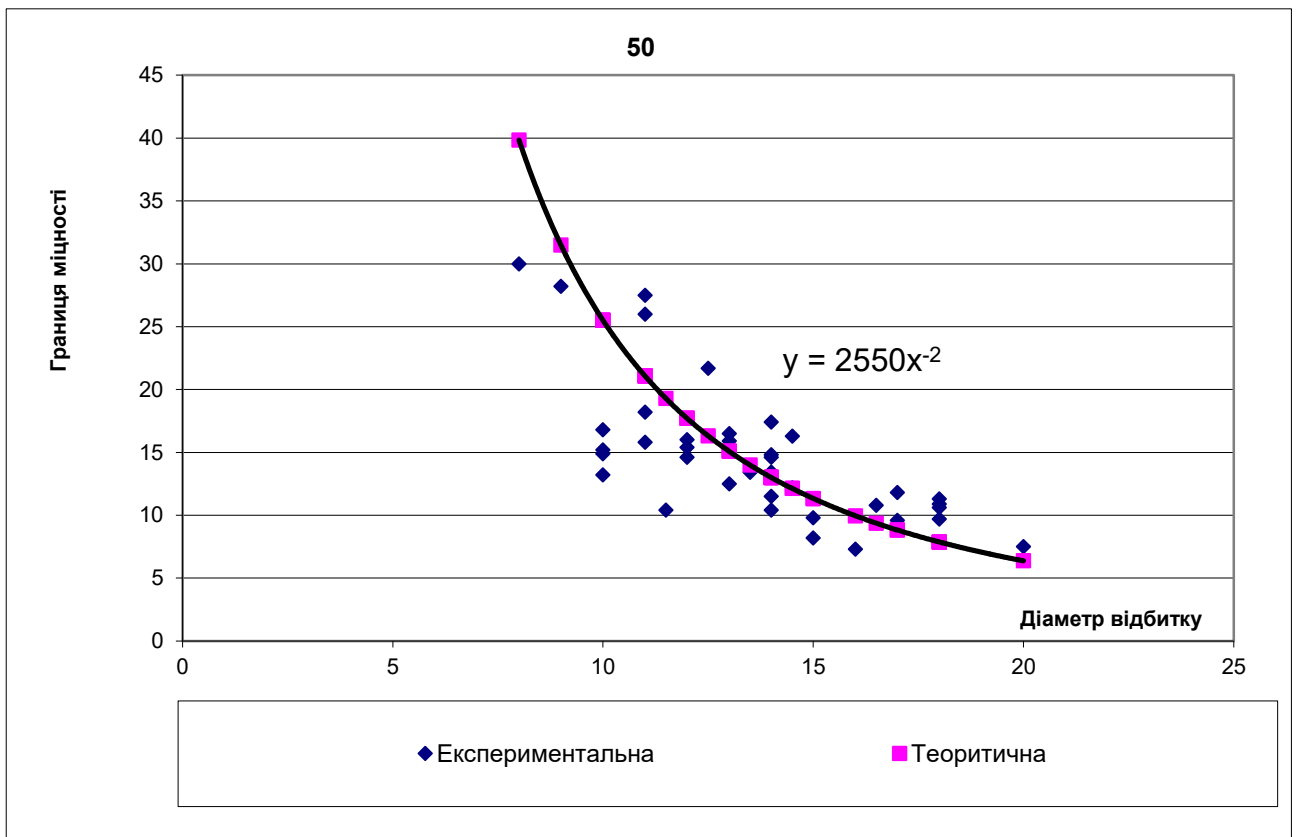


Рисунок 3.9 – Залежність межі міцності R від діаметру відбитка D_{50}

Підібравши параметри, приходимо до наступних аналітичних залежностей:

$$\text{Для втискуючого зусилля 25кгс} \quad R=1320x^{-2} \quad (3.9)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 50кгс} \quad R=2550x^{-2} \quad (3.10)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 70кгс} \quad R=3200x^{-2} \quad (3.11)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 100кгс} \quad R=4300x^{-2} \quad (3.12)$$

Отримані формули (3.9)...(3.12) можна використовувати для визначення марки, а формули (3.5)...(3.8) для визначення класу ніздрюватого бетону при конкретних значеннях зусилля втискування кульового ідентора.

3.2 Тарувальні залежності для конічного штампу

Для конічного штампу метою контролю міцності ніздрюватих бетонів є встановлення залежності межі міцності і глибини занурення конуса. Такі залежності, як і для сферичного штампу, описуються тарувальною кривою, послідовність визначення якої проводилась за аналогічним принципом.

Графіки залежності за теоретичними основами для двох значень навантажень 25 кгс і 50 кгс, що побудовані в середовищі табличного процесора EXCEL представлені на рис. 3.10.

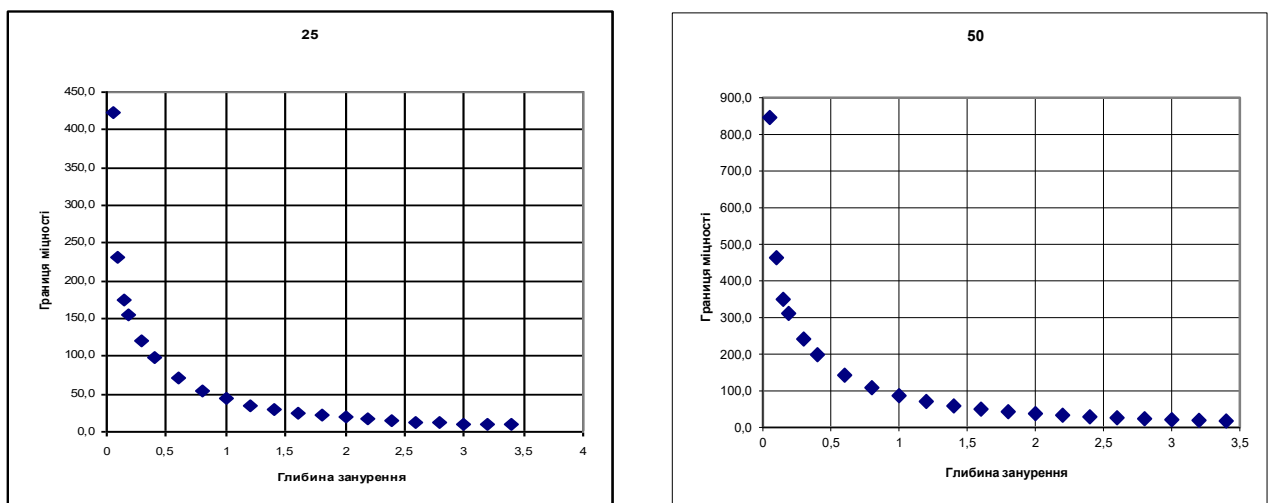


Рисунок 3.10 – Залежності межі міцності і глибини занурення H_{25} і H_{50}

Оскільки даний розрахунок не враховує випадкового розкиду точок і як наслідок в такий спосіб не можна контролювати міцність ніздрюватого бетону – проводилися практичні дослідження бетонів різної середньої густини, за результатами експериментальних випробувань побудовані графіки залежності межі міцності та глибини занурення конуса для H_{25} і H_{50} від середньої густини.

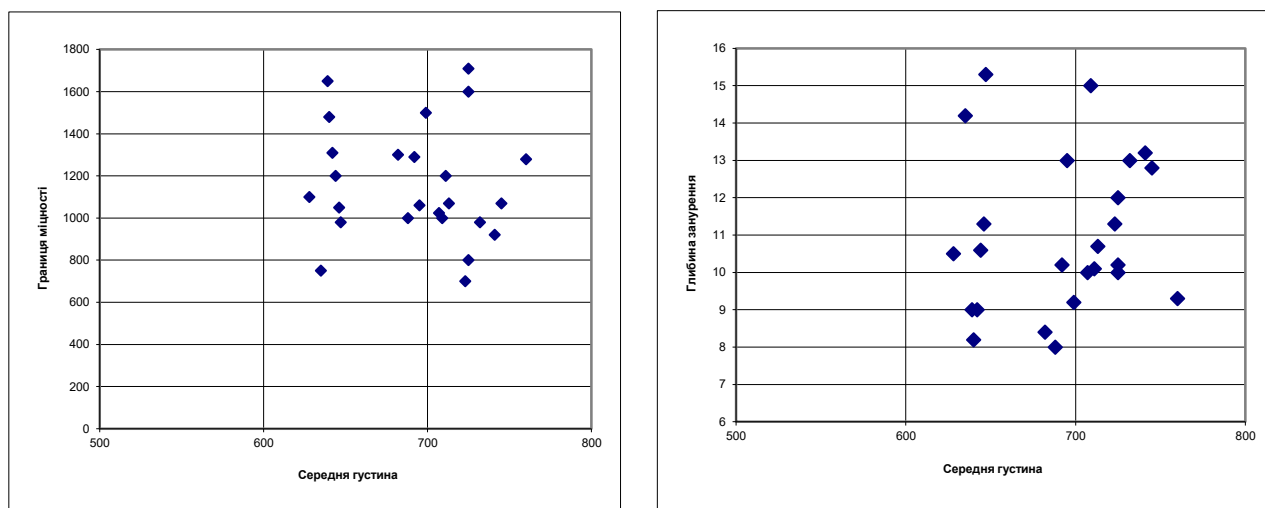


Рисунок 3.11 – Залежності межі міцності та глибини занурення конуса H_{25} від середньої густини

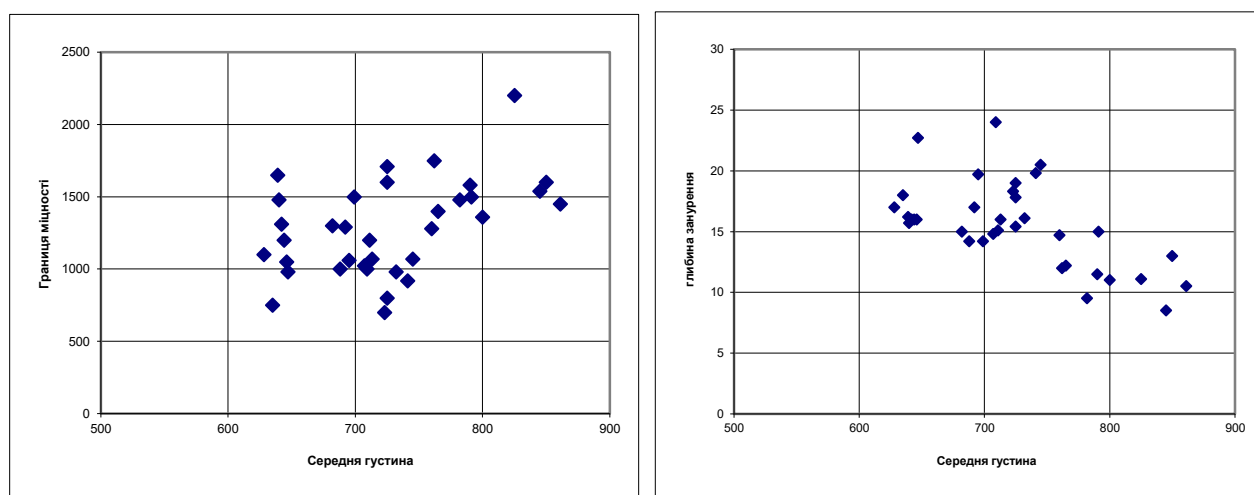


Рисунок 3.12 – Залежності межі міцності та глибини занурення конуса H_{50} від середньої густини

На рисунках 3.13 і 3.14 зображені залежності границі міцності від глибини занурення конуса при зусиллях 25 кГс і 50 кГс. На графіки нанесені теоретичні криві, одержані вище.

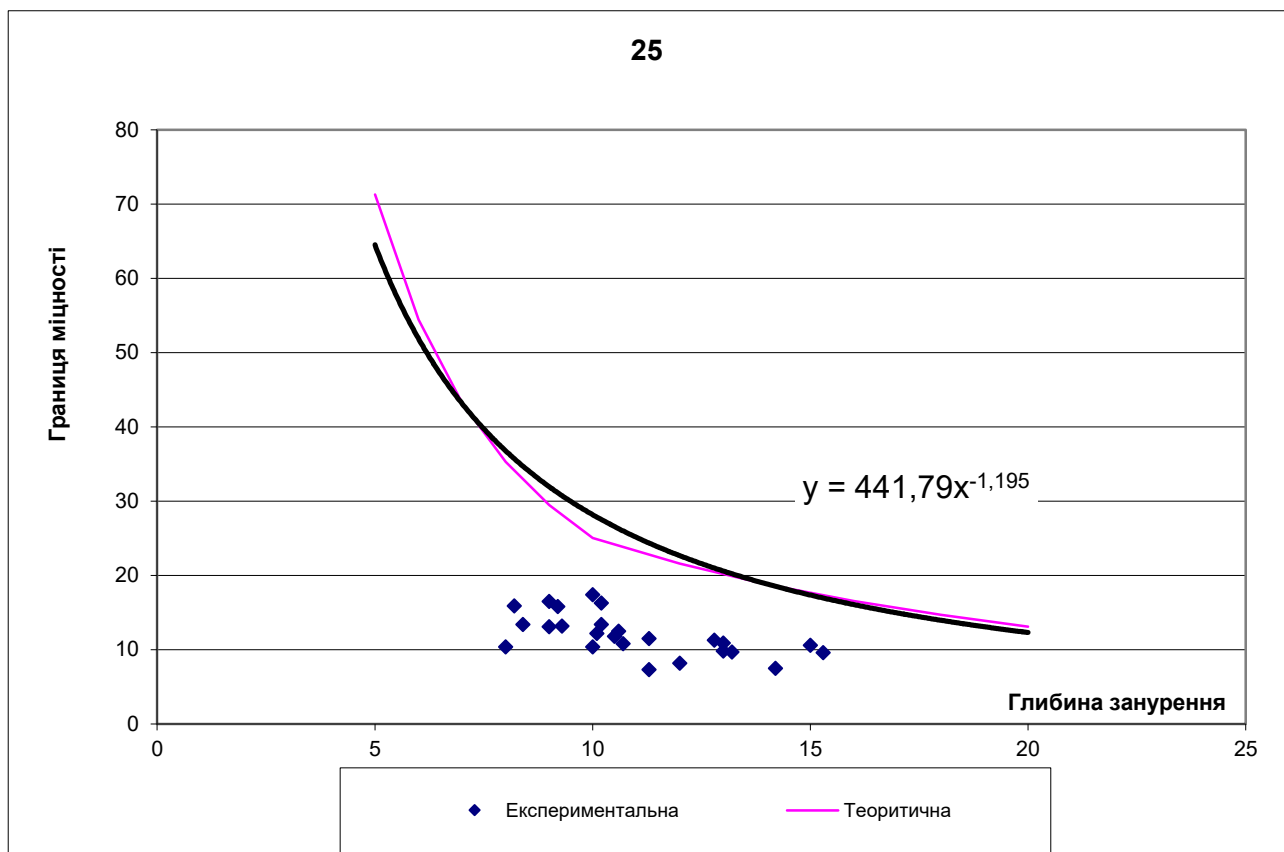


Рисунок 3.13 – Залежність межі R міцності і глибини занурення H_{25}

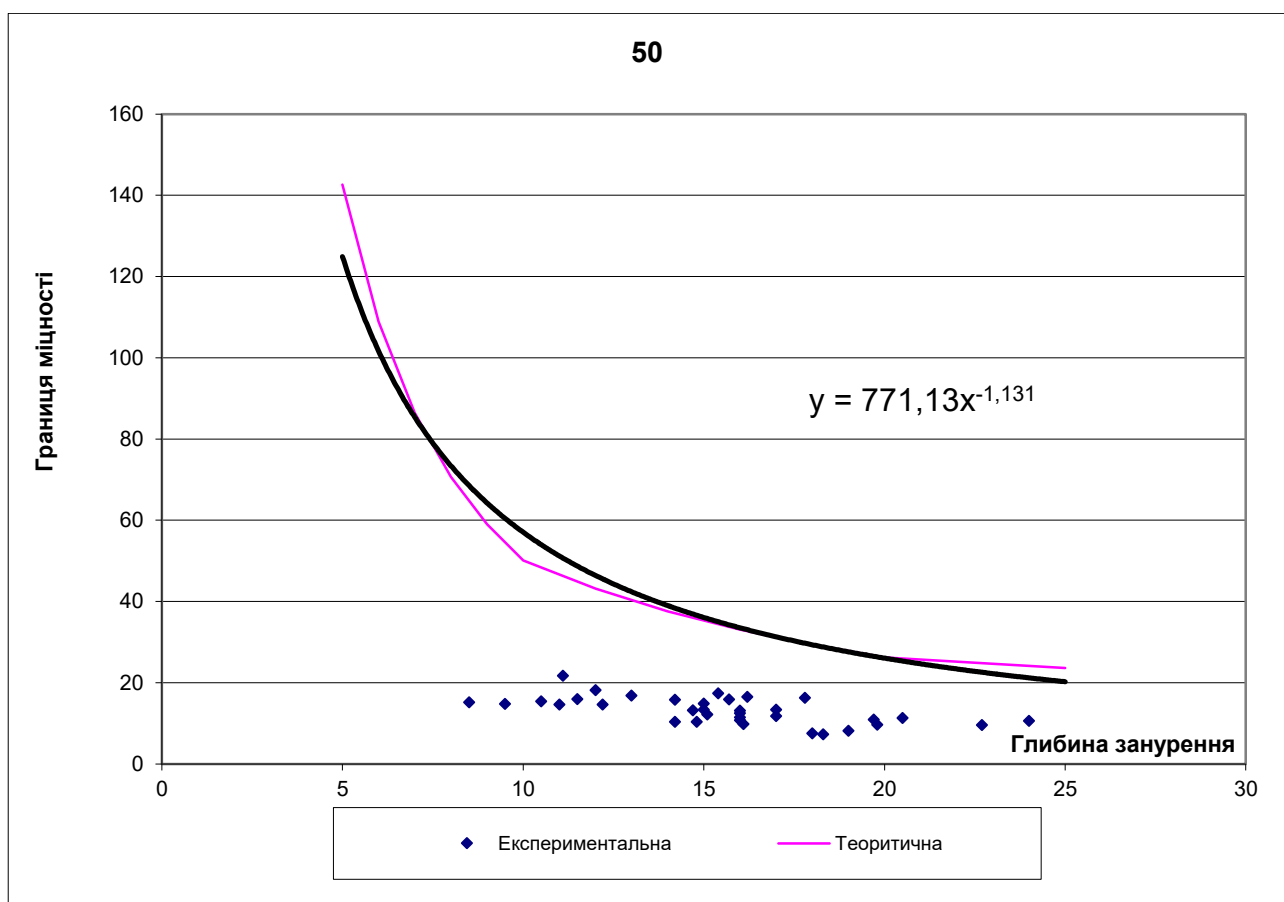


Рисунок 3.14 – Залежність межі R міцності і глибини занурення H_{50}

Дані графіки явно ілюструють і підтверджують теоретичні міркування, оскільки, як і для сферичного штампу, теоретична крива також проходить вище дослідних точок.

Для використання отриманих графіків у якості тарувальних опишемо їх аналітичними залежностями за допомогою програми EXCEL і команди „всавить линию тренда”. Отриманий вид залежності апроксимуємо функцією гіперболи. Параметри цієї функції EXCEL вказує в рівняннях, наведених на діаграмах. Отримано наступні аналітичні залежності:

$$\text{Для втискуючого зусилля 25кгс} \quad R=441,79x^{-1,1952} \quad (3.13)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 50кгс} \quad R=771,13x^{-1,131} \quad (3.14)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 100кгс} \quad R=1542,3x^{-1,131} \quad (3.15)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 150кгс} \quad R=2313,4x^{-1,131} \quad (3.16)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 200кгс} \quad R=3084,5x^{-1,131} \quad (3.17)$$

Графічне відображення залежностей границі міцності від глибини занурення конуса для зусиль H_{25} і H_{50} наведено на рис. 3.15 і 3.16. Залежності (3.13)...(3.17) на графіках 3.15 і 3.14 підібрані таким чином, щоб крива проходила поблизу нижньої межі дослідних точок, з метою заниження реальної міцності бетону, що буде працювати в запас надійності.

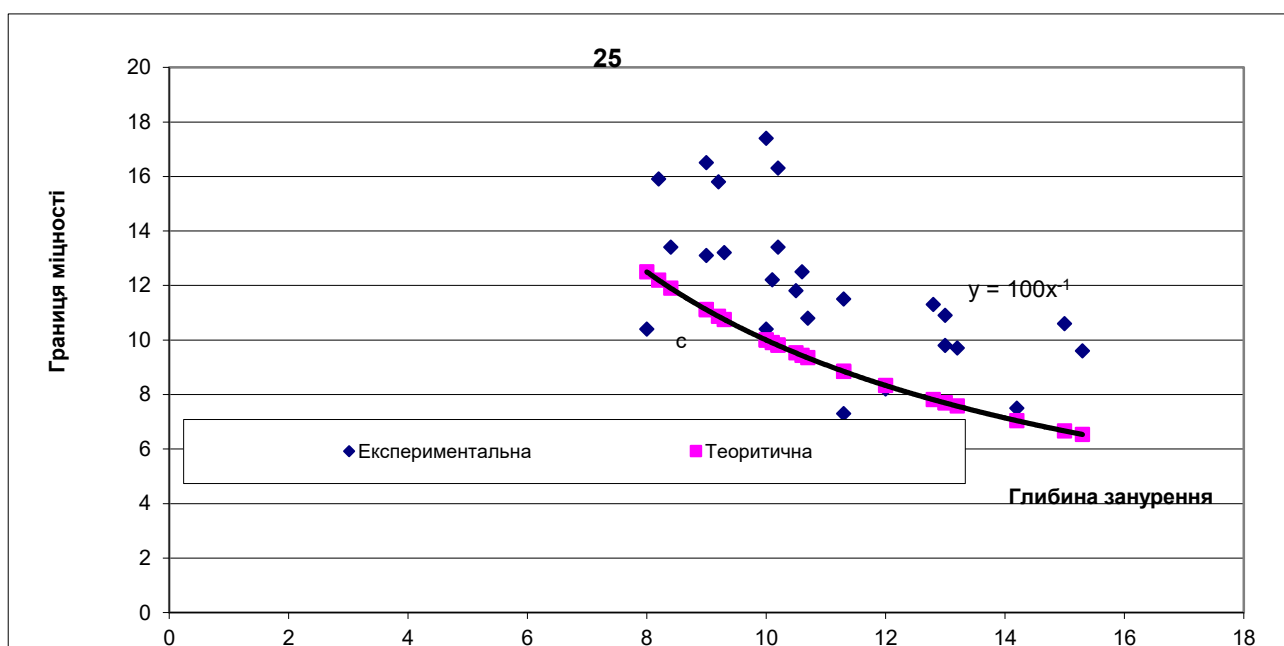


Рисунок 3.15 – Залежність межі міцності R і глибини занурення H_{25}

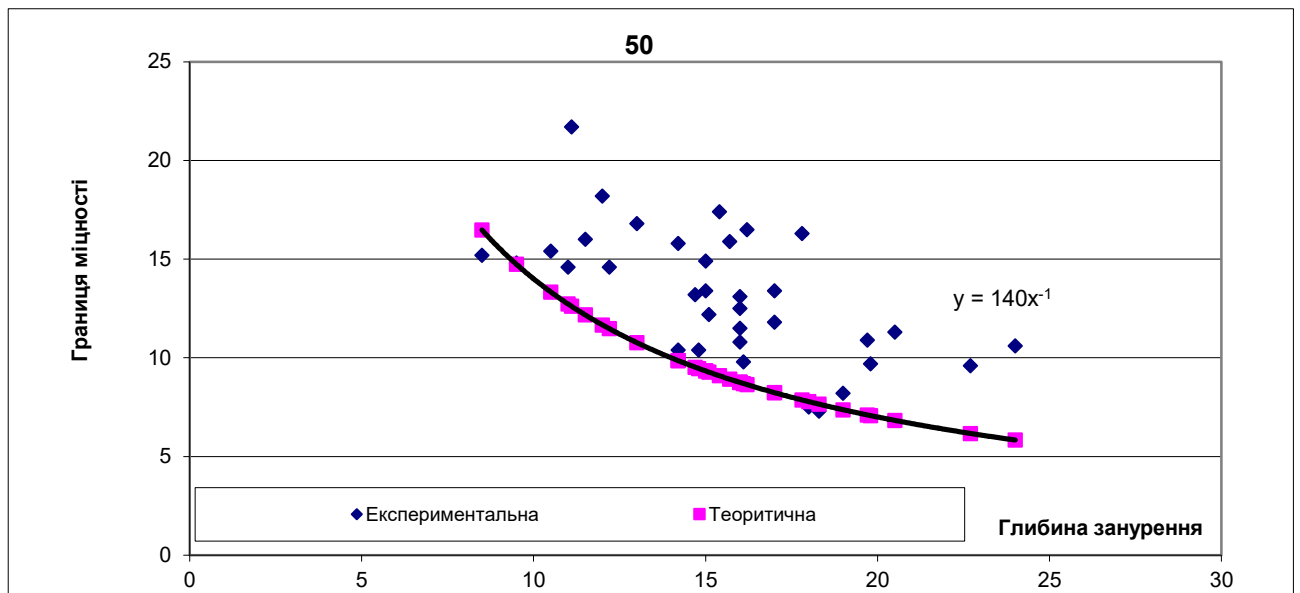


Рисунок 3.16 – Залежність межі міцності R і глибини занурення H_{50}

З огляду графіків видно, що кількість точок, які лежать нижче кривої, не перевищує 5%, отже вирази (3.13)...(3.17) дозволяють визначити клас бетону, який досліджується.

Застосовуючи той же принцип підбору першого параметра, знайдемо криву, яка проходить по середині експериментальних точок, як це показано на рисунках 3.17 і 3.18.

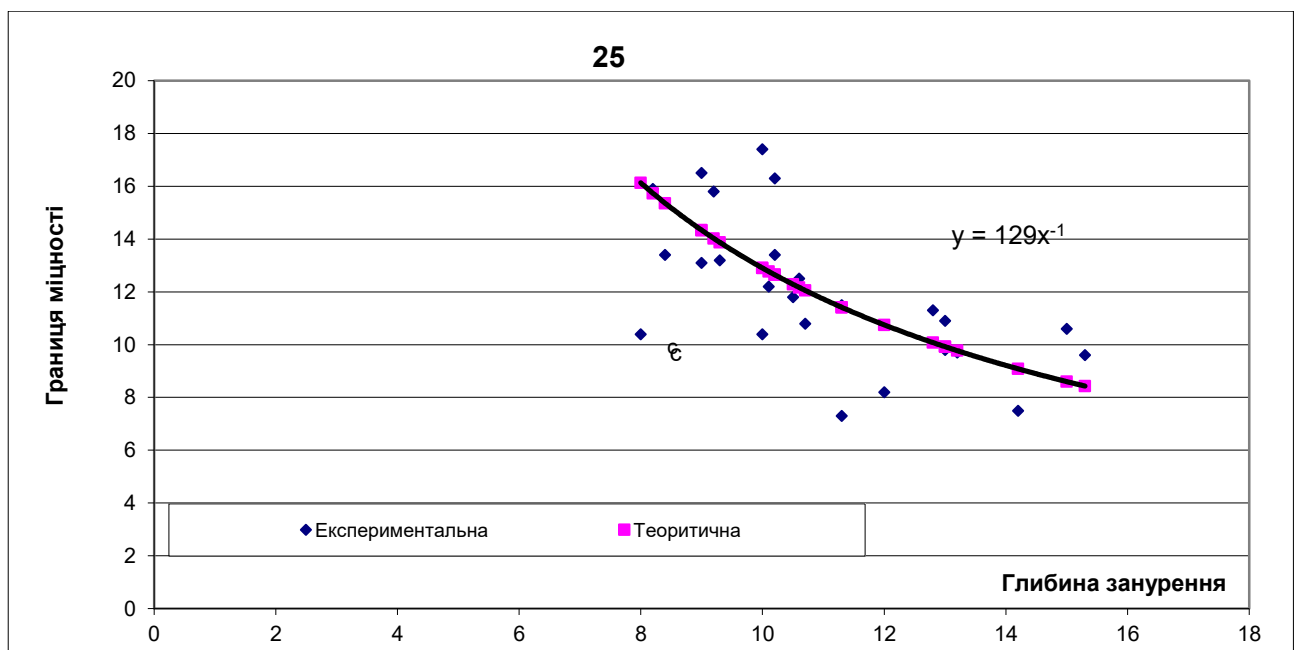


Рисунок 3.17 – Залежність межі міцності R і глибини занурення H_{25}

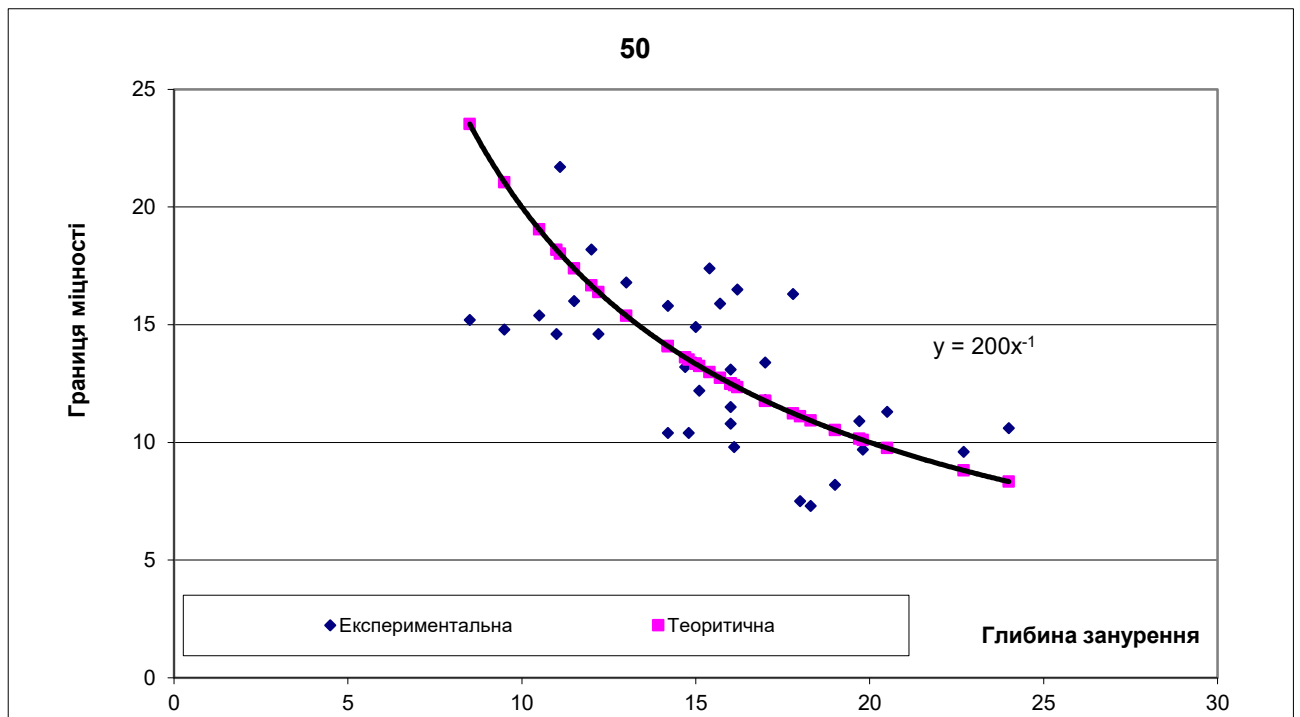


Рисунок 3.18 – Залежність межі міцності R і глибини занурення H_{50}

Таким чином отримані аналітичні залежності, що дозволяє визначити марку бетону. являють собою:

$$\text{Для втискуючого зусилля 25кгс} \quad R = 130 x^{-1} \quad (3.18)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 50кгс} \quad R = 200 x^{-1} \quad (3.19)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 100кгс} \quad R = 250 x^{-1} \quad (3.20)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 150кгс} \quad R = 300 x^{-1} \quad (3.21)$$

$$\text{Для втискуючого зусилля 200кгс} \quad R = 450 x^{-1} \quad (3.22)$$

Рисунки 3.17 і 3.18, а також формули (3.18)...(3.22) відображають залежності марки ніздрюватого бетону від глибини проникнення конуса при різних зусиллях втискування. Ці формули разом з формулами (3.13)...(3.17) дозволяють визначати марку та клас ніздрюватого бетону за глибиною проникнення конічного ідентора при різних зусиллях його втискування.

3.3 Узагальнені тарувальні залежності

У попередніх підрозділах за результатами експериментальних досліджень отримані аналітичні залежності класу та марки ніздрюватого бетону за границею міцності на стиск від діаметра відбитка кульового ідентора та глибини проникнення конічного ідентора при ріхних зусиллях втискування іденторів. Аналіз результатів експериментів виявив можливість отримання залежностей, одночасно які охоплюють усі досліджені значення сили втискування ідентора. З цією метою виконано підбір коефіцієнтів аналітичних виразів для іденторів у формі кулі та конуса.

Результати випробувань усіх 96 досліджених зразків кульовим ідентором наведені в таблиці 3.1, яка для кожного зразка містить:

- значення межі міцності в кГс/см^2 ;
- зусилля вдавлювання ідентора в кГс ;
- діаметр відбитка в міліметрах;
- прогнозовані значення класу бетону за формулою (3.23);
- відхилення фактичних значень границі міцності від (3.23);
- прогнозовані значення марки бетону за формулою (3.24);
- відхилення фактичних значень границі міцності від (3.24).

Під позначенням "Клас" і "Марка" вказані значення коефіцієнтів формул (3.23) і (3.24), а під позначенням "Відхилення" вказана кількість зразків, фактична границя міцності яких є меншою від значень (3.23) чи (3.24). Такі випадки виділені в таблиці червоним кольором.

Таблиця 3.1

Результати прогнозування класу та марки бетону
за формулами (3.23) і (3.24) при випробуванні ідентором у формі кулі

№ зразка	Межа міцності, $R, \text{кГс/см}^2$	Зусилля вдавлювання, кГс	Діаметр відбитку, мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				29	5	49	48
1	11,8	25	9	8,95	2,85	15,12	-3,32
2	13,4	25	9	8,95	4,45	15,12	-1,72
3	13,1	25	9,5	8,03	5,07	13,57	-0,47
4	16,5	25	9	8,95	7,55	15,12	1,38

					KMP 2119204 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Діаметр відбитку, мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				29	5	49	48
5	13,4	25	11,5	5,48	7,92	9,26	4,14
6	10,4	25	8	11,33	-0,93	19,14	-8,74
7	12,5	25	9	8,95	3,55	15,12	-2,62
8	15,8	25	8,5	10,03	5,77	16,96	-1,16
9	15,9	25	9	8,95	6,95	15,12	0,78
10	11,5	25	10	7,25	4,25	12,25	-0,75
21	10,8	25	12	5,03	5,77	8,51	2,29
22	9,8	25	10,5	6,58	3,22	11,11	-1,31
23	7,3	25	13	4,29	3,01	7,25	0,05
24	10,6	25	13	4,29	6,31	7,25	3,35
25	11,3	25	13	4,29	7,01	7,25	4,05
26	10,9	25	14	3,70	7,20	6,25	4,65
27	9,7	25	14	3,70	6,00	6,25	3,45
28	7,5	25	14,5	3,45	4,05	5,83	1,67
29	13,2	25	12	5,03	8,17	8,51	4,69
30	8,2	25	11	5,99	2,21	10,12	-1,92
1	10,4	25	10	7,25	3,15	12,25	-1,85
2	16,3	25	10	7,25	9,05	12,25	4,05
3	17,4	25	11	5,99	11,41	10,12	7,28
4	12,2	25	11	5,99	6,21	10,12	2,08
5	9,6	25	13	4,29	5,31	7,25	2,35
6	28,2	25	6	20,14	8,06	34,03	-5,83
7	27,5	25	8	11,33	16,17	19,14	8,36
8	26	25	9	8,95	17,05	15,12	10,88
9	30	25	5	29,00	1,00	49,00	-19,00
10	13,4	25	10	7,25	6,15	12,25	1,15
1	11,8	50	17	5,02	6,78	8,48	3,32
2	13,4	50	13,5	7,96	5,44	13,44	-0,04
3	13,1	50	14	7,40	5,70	12,50	0,60
4	16,5	50	13	8,58	7,92	14,50	2,00
5	13,4	50	14	7,40	6,00	12,50	0,90
6	10,4	50	11,5	10,96	-0,56	18,53	-8,13
7	12,5	50	13	8,58	3,92	14,50	-2,00
8	15,8	50	11	11,98	3,82	20,25	-4,45
9	15,9	50	13	8,58	7,32	14,50	1,40
10	11,5	50	14	7,40	4,10	12,50	-1,00
11	15,4	50	12	10,07	5,33	17,01	-1,61
12	21,7	50	12,5	9,28	12,42	15,68	6,02
13	16,8	50	10	14,50	2,30	24,50	-7,70
14	18,2	50	11	11,98	6,22	20,25	-2,05
15	14,6	50	12	10,07	4,53	17,01	-2,41
16	14,6	50	14	7,40	7,20	12,50	2,10

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Діаметр відбитку, мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				29	5	49	48
17	15,2	50	10	14,50	0,70	24,50	-9,30
18	14,9	50	10	14,50	0,40	24,50	-9,60
19	14,8	50	14	7,40	7,40	12,50	2,30
20	16	50	12	10,07	5,93	17,01	-1,01
21	10,8	50	16,5	5,33	5,47	9,00	1,80
22	9,8	50	15	6,44	3,36	10,89	-1,09
23	7,3	50	16	5,66	1,64	9,57	-2,27
24	10,6	50	18	4,48	6,12	7,56	3,04
25	11,3	50	18	4,48	6,82	7,56	3,74
26	10,9	50	18	4,48	6,42	7,56	3,34
27	9,7	50	18	4,48	5,22	7,56	2,14
28	7,5	50	20	3,63	3,88	6,13	1,38
29	13,2	50	10	14,50	-1,30	24,50	-11,30
30	8,2	50	15	6,44	1,76	10,89	-2,69
1	10,4	50	14	7,40	3,00	12,50	-2,10
2	16,3	50	14,5	6,90	9,40	11,65	4,65
3	17,4	50	14	7,40	10,00	12,50	4,90
4	12,2	50	14,5	6,90	5,30	11,65	0,55
5	9,6	50	17	5,02	4,58	8,48	1,12
6	28,2	50	9	17,90	10,30	30,25	-2,05
7	27,5	50	11	11,98	15,52	20,25	7,25
8	26	50	11	11,98	14,02	20,25	5,75
9	30	50	8	22,66	7,34	38,28	-8,28
10	13,4	50	14	7,40	6,00	12,50	0,90
11	56,5	70	6	56,39	0,11	95,28	-38,78
12	54,1	70	7	41,43	12,67	70,00	-15,90
13	56,3	70	8	31,72	24,58	53,59	2,71
14	35,05	70	10	20,30	14,75	34,30	0,75
15	59,2	70	5	81,20	-22,00	137,20	-78,00
16	62,4	70	7	41,43	20,97	70,00	-7,60
17	62,3	70	8	31,72	30,58	53,59	8,71
18	54,3	70	8	31,72	22,58	53,59	0,71
11	15,4	100	16	11,33	4,07	19,14	-3,74
12	21,7	100	17	10,03	11,67	16,96	4,74
13	16,8	100	15	12,89	3,91	21,78	-4,98
14	18,2	100	15	12,89	5,31	21,78	-3,58
15	14,6	100	17	10,03	4,57	16,96	-2,36
16	14,6	100	16	11,33	3,27	19,14	-4,54
17	15,2	100	15,5	12,07	3,13	20,40	-5,20
18	14,9	100	13	17,16	-2,26	28,99	-14,09
19	14,8	100	18	8,95	5,85	15,12	-0,32
20	16	100	17	10,03	5,97	16,96	-0,96

					КМР 2119204 ПЗ		Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			68

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Діаметр відбитку, мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				29	5	49	48
11	56,5	100	8	45,31	11,19	76,56	-20,06
12	54,1	100	9	35,80	18,30	60,49	-6,39
13	56,3	100	9,5	32,13	24,17	54,29	2,01
14	35,05	100	13	17,16	17,89	28,99	6,06
15	59,2	100	7	59,18	0,02	100,00	-40,80
16	62,4	100	9,5	32,13	30,27	54,29	8,11
17	62,3	100	10	29,00	33,30	49,00	13,30
18	54,3	100	9	35,80	18,50	60,49	-6,19

Оскільки таблиця 3.1 створена в середовищі Microsoft Excel, вона дозволила підібрати значення коефіцієнтів 29 і 49, які входять у формули (3.23) і (3.24) для визначення класу та марки ніздрюватого бетону за діаметром D (мм) відбитка на його поверхні, утвореного в результаті втискування ідентора у формі кулі діаметром 25 мм із зусиллям F (кГс):

$$\text{Для класу бетону:} \quad R = \frac{29 F}{D^2} \quad (3.23)$$

$$\text{Для марки бетону:} \quad R = \frac{49 F}{D^2} \quad (3.24)$$

Формули (3.23), (3.24) можна використовувати в якості тарувальних залежностей для неруйнівного контролю міцності ніздрюватих бетонів за методом пластичного деформування поверхні кульови ідентором.

Таким же чином отримані узагальнені формули для прогнозування значень класу та марки ніздрюватого бетону за результатами випробувань конічним ідентором. Усі необхідні значення наведені в таблиці 3.2, структура якої ідентична таблиці 3.1 за винятком глибини проникнення ідентора замість діаметра відбитка, наведеного в таблиці 3.1.

Розрахунок в середовищі Microsoft Excel дозволив підібрати значення коефіцієнтів 17 і 27, які входять у формули (3.25) і (3.26) для визначення класу та марки ніздрюватого бетону за глибиною H (мм) проникнення конічного ідентора при його втискуванні із зусиллям F (кГс).

Результати прогнозування класу та марки бетону

за формулами (3.23) і (3.24) при випробуванні ідентором у формі конуса

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Глибина занурення мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				17	6	27	46
1	11,8	25	10,5	8,10	3,70	12,86	-1,06
2	13,4	25	8,4	10,12	3,28	16,07	-2,67
3	13,1	25	9	9,44	3,66	15,00	-1,90
4	16,5	25	9	9,44	7,06	15,00	1,50
5	13,4	25	10,2	8,33	5,07	13,24	0,16
6	10,4	25	8	10,63	-0,23	16,88	-6,48
7	12,5	25	10,6	8,02	4,48	12,74	-0,24
8	15,8	25	9,2	9,24	6,56	14,67	1,13
9	15,9	25	8,2	10,37	5,53	16,46	-0,56
10	11,5	25	11,3	7,52	3,98	11,95	-0,45
21	10,8	25	10,7	7,94	2,86	12,62	-1,82
22	9,8	25	13	6,54	3,26	10,38	-0,58
23	7,3	25	11,3	7,52	-0,22	11,95	-4,65
24	10,6	25	15	5,67	4,93	9,00	1,60
25	11,3	25	12,8	6,64	4,66	10,55	0,75
26	10,9	25	13	6,54	4,36	10,38	0,52
27	9,7	25	13,2	6,44	3,26	10,23	-0,53
28	7,5	25	14,2	5,99	1,51	9,51	-2,01
29	13,2	25	9,3	9,14	4,06	14,52	-1,32
30	8,2	25	12	7,08	1,12	11,25	-3,05
1	10,4	25	10	8,50	1,90	13,50	-3,10
2	16,3	25	10,2	8,33	7,97	13,24	3,06
3	17,4	25	10	8,50	8,90	13,50	3,90
4	12,2	25	10,1	8,42	3,78	13,37	-1,17
5	9,6	25	15,3	5,56	4,04	8,82	0,78
6	28,2	150	5,7	36,53	-8,33	58,01	-29,81
7	27,5	150	11	18,93	8,57	30,06	-2,56
8	26	150	10,4	20,02	5,98	31,80	-5,80
9	30	150	6	34,70	-4,70	55,11	-25,11
10	13,4	150	14	14,87	-1,47	23,62	-10,22
11	56,5	150	4,7	44,30	12,20	70,36	-13,86
12	54,1	150	7	29,74	24,36	47,24	6,86
13	56,3	150	8	26,03	30,27	41,34	14,96
14	35,05	150	15,5	13,43	21,62	21,33	13,72
15	59,2	150	5	41,64	17,56	66,14	-6,94
16	62,4	150	8,5	24,49	37,91	38,90	23,50
17	62,3	150	8,2	25,39	36,91	40,33	21,97

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Глибина занурення мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				17	6	27	46
18	54,3	150	9	23,13	31,17	36,74	17,56
11	15,4	100	15	11,33	4,07	18,00	-2,60
12	21,7	100	16,9	10,06	11,64	15,98	5,72
13	16,8	100	16	10,63	6,18	16,88	-0,07
14	18,2	100	18,7	9,09	9,11	14,44	3,76
15	14,6	100	24	7,08	7,52	11,25	3,35
16	14,6	100	23,5	7,23	7,37	11,49	3,11
17	15,2	100	16,2	10,49	4,71	16,67	-1,47
18	14,9	100	24,5	6,94	7,96	11,02	3,88
19	14,8	100	18,9	8,99	5,81	14,29	0,51
20	16	100	23	7,39	8,61	11,74	4,26
1	11,8	50	17	7,07	4,73	11,23	0,57
2	13,4	50	15	8,01	5,39	12,73	0,67
3	13,1	50	16	7,51	5,59	11,93	1,17
4	16,5	50	16,2	7,42	9,08	11,79	4,71
5	13,4	50	17	7,07	6,33	11,23	2,17
6	10,4	50	14,2	8,47	1,93	13,44	-3,04
7	12,5	50	16	7,51	4,99	11,93	0,57
8	15,8	50	14,2	8,47	7,33	13,44	2,36
9	15,9	50	15,7	7,66	8,24	12,16	3,74
10	11,5	50	16	7,51	3,99	11,93	-0,43
11	15,4	50	10,5	11,45	3,95	18,18	-2,78
12	21,7	50	11,1	10,83	10,87	17,20	4,50
13	16,8	50	13	9,25	7,55	14,69	2,11
14	18,2	50	12	10,02	8,18	15,91	2,29
15	14,6	50	12,2	9,85	4,75	15,65	-1,05
16	14,6	50	11	10,93	3,67	17,36	-2,76
17	15,2	50	8,5	14,14	1,06	22,46	-7,26
18	14,9	50	15	8,01	6,89	12,73	2,17
19	14,8	50	9,5	12,65	2,15	20,10	-5,30
20	16	50	11,5	10,45	5,55	16,60	-0,60
21	10,8	50	16	7,51	3,29	11,93	-1,13
22	9,8	50	16,1	7,47	2,33	11,86	-2,06
23	7,3	50	18,3	6,57	0,73	10,43	-3,13
24	10,6	50	24	5,01	5,59	7,95	2,65
25	11,3	50	20,5	5,86	5,44	9,31	1,99
26	10,9	50	19,7	6,10	4,80	9,69	1,21
27	9,7	50	19,8	6,07	3,63	9,64	0,06
28	7,5	50	18	6,68	0,82	10,61	-3,11
29	13,2	50	14,7	8,18	5,02	12,99	0,21
30	8,2	50	19	6,33	1,87	10,05	-1,85
1	10,4	50	14,8	8,12	2,28	12,90	-2,50

					КМР 2119204 ПЗ		Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			71

№ зразка	Межа міцності, R, кгс/см ²	Зусилля вдавлювання, кгс	Глибина занурення мм	Клас	Відхил	Марка	Відхил
				17	6	27	46
2	16,3	50	17,8	6,75	9,55	10,73	5,57
3	17,4	50	15,4	7,81	9,59	12,40	5,00
4	12,2	50	15,1	7,96	4,24	12,64	-0,44
5	9,6	50	22,7	5,30	4,30	8,41	1,19
6	28,2	200	9,6	25,04	3,16	39,77	-11,57
7	27,5	200	15,3	15,71	11,79	24,96	2,54
8	26	200	15,8	15,22	10,78	24,17	1,83
9	30	200	7,2	33,39	-3,39	53,03	-23,03
10	13,4	200	21,8	11,03	2,37	17,52	-4,12
11	56,5	200	6,6	36,43	20,07	57,85	-1,35
12	54,1	200	9,2	26,13	27,97	41,50	12,60
13	56,3	200	10,2	23,57	32,73	37,44	18,86
14	35,05	200	17,4	13,82	21,23	21,94	13,11
15	59,2	200	6,3	38,16	21,04	60,61	-1,41
16	62,4	200	11	21,86	40,54	34,71	27,69
17	62,3	200	11,2	21,47	40,83	34,09	28,21
18	54,3	200	11	21,86	32,44	34,71	19,59

Результуючі формули для визначення класу та марки ніздрюватого бетону мають такий вигляд:

$$\text{Для класу бетону:} \quad R = \frac{17}{H} \sqrt{F} \quad (3.25)$$

$$\text{Для марки бетону:} \quad R = \frac{27}{H} \sqrt{F} \quad (3.26)$$

Формули (3.25) і (3.26) є тарувальними залежностями для визначення класу та марки ніздрюватого бетону методом пенетрації його поверхні сталевим конусом. Їх можна використовувати за умови вдавлювання конуса з кутом між твірними 15° та заокругленою вершиною. Зусилля вдавлювання конуса може змінюватися в межах 25...200 кГс.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Аналіз відомих методів неруйнівного контролю міцності бетонів показав, що по відношенню до ніздрюватих бетонів доцільно використати методи, засновані на пластичному деформуванні поверхневого шару, але з істотно зменшеним робочим зусиллям.

2. За загальноприйнятою методикою розраховано й отримано склад пінобетонних сумішей з заданими показниками, які застосовувались в подальших випробуваннях.

3. На спеціально виготовлених для дослідження зразках пінобетону та зразках промислового походження проведені випробування по втискуванню сталевий кульки діаметром 30 мм в поверхню бетону та наступним визначенням реальної границі міцності стандартним руйнуючим методом.

4. Шляхом статистичного аналізу результатів експерименту встановлені залежності між експериментально виміряним діаметром відбитка на поверхні бетону і його границею міцності та отримані тарувальні залежності для визначення марки і класу ніздрюватого бетону за результатами поверхневого деформування ідентором у формі кулі.

5. На таких же зразках пінобетону проведені випробування по втискуванню в поверхню бетону сталевий конуса з кутом між твірними 15° та закругленою вершиною та наступним визначенням реальної границі міцності стандартним руйнуючим методом.

6. Шляхом статистичного аналізу результатів експерименту встановлені залежності між експериментально виміряною глибиною проникнення конічного ідентора і границею міцності бетону та отримані тарувальні залежності для визначення марки і класу ніздрюватого бетону за результатами пенетрації конічним ідентором.

Розділ 4 КОНСТРУКЦІЯ МОБІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МІЦНОСТІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ

4.1. Загальне компонування і принцип дії пристрою

Розглянувши принципи роботи приладів неруйнівного контролю міцності бетонів і можливі конструктивні і схемні рішення, розроблена схема приладу для визначення міцності ніздрюватих бетонів. Пристрій, зображений на рисунку 4.1, складається з циліндричного корпусу, в якому розміщується пересувний шток, спіральної пружини, ідентора (сталеві кульки), двох обмежувачів зусилля вдавлювання, рукоятки.

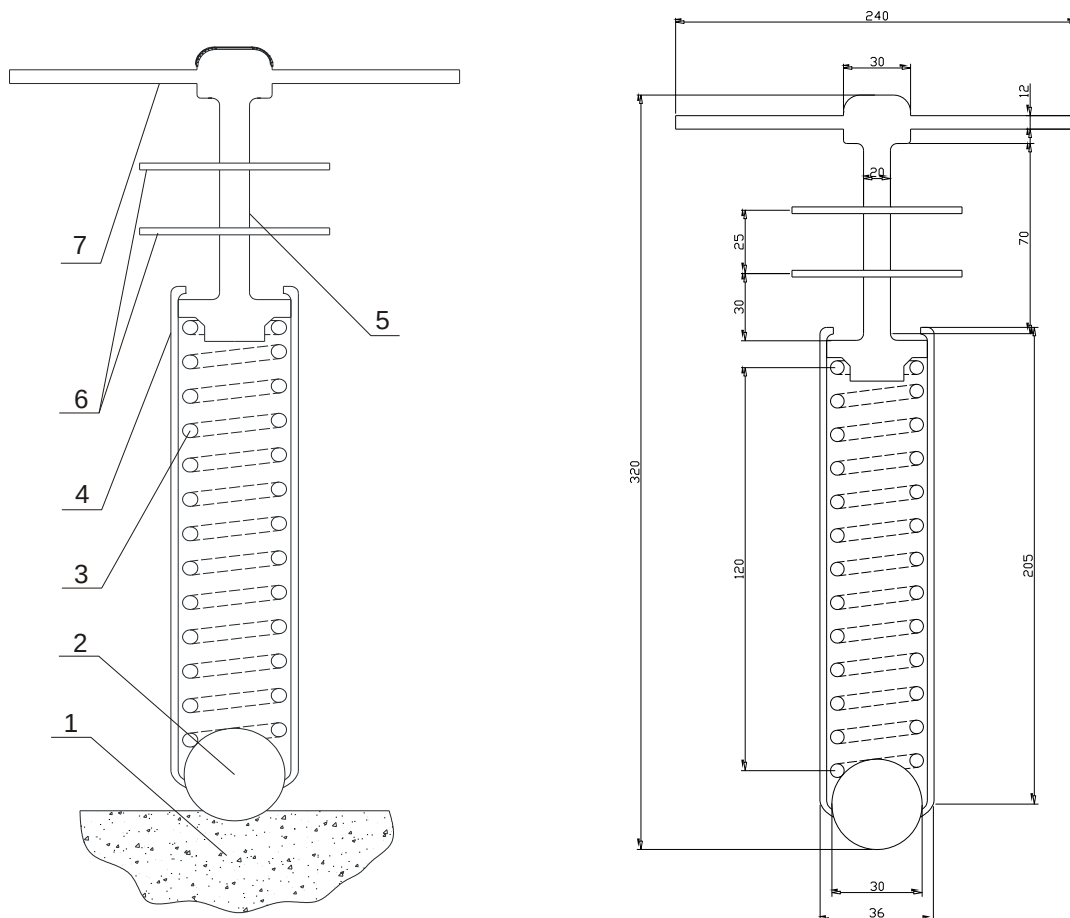


Рис. 4.1 Мобільний пристрій для визначення міцності ніздрюватого бетону
1 – поверхня бетону, що випробується; 2 – ідентор (кулька); 3 – робоча пружина;
4 – металева труба; 5 – шток; 6 – обмежувачі; 7 – рукоятка.

Пристрій має ідентор у формі сталеві кульки діаметром 30 мм та за рахунок

відтарованої пружини забезпечує зусилля його вдавлювання в поверхню бетону, рівне 25 кГс або 50 кГс. Контроль зусилля досягається шляхом дотискування пружини до тих пір, поки обмежувач 6, вставлений у відповідний отвір, не доторкнеться до корпусу 4.

Пристрій встановлюють перпендикулярно по відношенню до поверхні бетонного зразка чи виробу. Натискаючи руками на рукоятку приладу вдавлюють шток у внутрішню частину корпусу. При переміщенні шток стискає пружину до відповідно встановленого зусилля, для якого є обмежувачі і таким чином втискає ідентор в тіло бетонного зразка.

В результаті серії вдавлювань отримують досить крупні, зручні для виміру відбитки на бетоні. При визначенні міцності бетону кількість відбитків на одній грані повинна бути не менше двох. Діаметри відбитків вимірюють кутовим масштабом, складеним з двох сталевих лінійок (як для роботи з молотком Кашкарова) з точністю до 0,1 мм. За одиничне значення непрямого показника міцності (діаметру відбитка) при встановленні тарувальної залежності приймають середнє арифметичне значення цієї величини в серії зразків (зразку), що використовується для визначення одиничного значення міцності. Тобто, за розрахунковий діаметр відбитка приймають середнє значення з результатів вимірювань двох взаємно перпендикулярних діаметрів відбитка.

Кутовий масштаб виготовляють з двох сталевих вимірювальних лінійок, з'єднаних під кутом 1:10. Лінійки скорочують і кріплять так, щоб „нуль” масштабу співпадав з позначкою лінійки 10 см, а відстань між лінійками напроти позначки 20 см було 10 мм. Точність вимірювання діаметру відбитка кутовим масштабом рівна 0,1 мм.

При вимірюванні відбитків на бетоні кутовий масштаб насувають поперек великої осі відбитка так, щоб краї відбитка співпадали з внутрішніми гранями лінійки на одних і тих же позначках. Діаметр відбитків на бетоні відповідає позначці, що співпадає з точками дотику відбитка. З цієї позначки віднімають нульовий відлік, що дорівнює 100 мм; величину, що залишилась в міліметрах зменшують в 10 раз і отримують шуканий діаметр відбитка.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розрахунки параметрів робочої пружини

Для конструювання пристрою підібрана сталеві спіральна пружина, технічні параметри якої визначені розрахунковим шляхом, перевірені експериментально й наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технічні параметри робочої пружини пристрою для визначення міцності

Параметри пружини	Позначення	Розрахункові величини	
Модуль пружності на зсув	G, кГс/см ²	810000	810000
Радіус пружини	R, см	1,3	1,3
Радіус перерізу	r, см	0,195	0,195
Крок витків	H1, см	0,8	0,8
Гранична осадка одного витка	L1, см	0,41	0,41
Кількість витків	n	16	16
Довжина пружини	H, см	12	12
Гранична осадка пружини	L, см	6,15	6,15
Граничне навантаження	F, кГс	54,6	54,6
Граничні напруження	Tau, кГс/см ²	6102	6102
Параметри жорсткості			
Навантаження	F, кГс	25	50
Осадка	L, см	3,00	6,00
Дотичні напруження	Tau, кГс/см ²	2792	5584

Пружина є основним елементом пристрою, яким регулюється сила втискування ідентора в поверхню бетону. Тому характеристики пружини, отримані розрахунком, перевірені практичними вимірами.

4.3 Рекомендації по неруйнівному контролю міцності нідруючого бетону

1. Загальні положення

1.1 Метод визначення міцності на стиск нідруючого бетону засновано на залежності між міцністю бетону R і величиною діаметра D відбитка на поверхні, яка є непрямою характеристикою міцності бетону.

Метод застосовується для визначення міцності нідруючого бетону в діапазоні $5 \dots 100 \text{ кгс/см}^2$, що охоплює класи міцності від $B 0,35$ до $B 7,5$, тобто увесь діапазон теплоізоляційних та конструкційно-теплоізоляційних бетонів.

1.2 Міцність бетону визначається за попередньо встановленими експериментально тарувальними залежностями між міцністю на стиск бетонних зразків, що випробуються за ДСТУ Б В.2.7-214:2009, і її непрямою характеристикою.

1.3 Результати випробувань не залежать від положення, розмірів і маси конструкції, що випробується. Суттєвим фактором, що впливає на зв'язок між міцністю бетону R і характеристикою D , є властивості поверхневого шару бетону, який не повинен бути зруйнованим, вивітреним чи містити воду, замерзлу в порах. тому міцність бетону рекомендується визначати при позитивній температурі.

2. Еталонний пристрій та пристосування до нього

2.1 Для визначення міцності бетону на стиск застосовують пружинний пристрій з ідентором у формі сферичного штампа, виготовленого зі сталі.

2.2 Еталонний пристрій укомплектовується ідентором – сталеву кулькою з непошкодженою поверхнею нікелювання за ГОСТ 2789-73. При істотних пошкодженнях поверхневого шару ідентора його слід замінити, або заново уточнити тарувальну залежність $H - R$.

2.3 Для вимірювання відбитків на бетоні рекомендується застосовувати кутовий масштаб, який виготовляється зі стандартних сталевих вимірювальних лінійок, розміщених під кутом $1:10$. Можна також використовувати штангенциркуль чи інший засіб вимірювання інструмент, який дозволяє виконувати вимірювання діаметра відбитків з точністю до $0,1 \text{ мм}$.

					KMP 2119204 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Відповідно до рішень нагляду вимірювань Держстандарту повірочні випробування приладу, який не має шкали не виконуються. Повірці підлягають параметри робочої пружини, тобто величина зусилля, яке вона створює при деформуванні до наявних у пристрої обмежувачів.

2.5 Еталонний пристрій виготовляється і повинен ремонтуватися за робочими кресленнями. Ремонт необхідно здійснювати в механічних цехах.

3. *Порядок визначення міцності ніздрюватого бетону з використанням мобільного пристрою*

3.1 При випробуванні бетонних зразків та конструкцій вдавлювання ідентора в тіло бетону здійснюється на поверхні, що знаходилась біля металевої стінки форми. Поверхня, що випробується повинна бути чистою.

3.2 Вдавлювання здійснюється у відповідності з прикладеним зусиллям таким чином щоб відстань між відбитками була не меншою 30 мм.

3.3 Після нанесення серії вдавлювань на поміченій ділянці вимірюють діаметри відбитків і глибини проникнення на бетоні.

3.4 Відбитки неправильної форми на бетоні, які утворились від косого розташування приладу, відбраковують.

3.5 Вимірюють величини проведених випробувань з похибкою до 0,1 мм. При використанні кутового масштабу кожне нанесена на ньому поділка в міліметрах читається як 0,1 мм. Кутовий масштаб насувають на відбиток так, щоб він займав симетричне положення до найбільшого відбитку на бетоні. У місці дотику до відбитку значення поділок лінійок повинні співпадати.

4. *Побудова тарувальних залежностей*

4.1 Тарувальна залежність може уточнюватися у випадку зміни характеристик пристрою, які впливають на результати визначення границі міцності (жорсткість робочої пружини, стан та діаметр пуансона тощо). Тарувальну залежність рекомендується будувати за результатами випробувань не менше 15 серій зразків-кубів за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 або не менше 30 окремих контрольних зразків з різною густиною та мійністю бетону.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Для побудови тарувальної залежності використовують контрольні зразки - куби з ребрами розміром 150 мм, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009, або куби з ребрами розміром 100 мм, які використовують для контролю міцності бетону даної конструкції.

4.3 Зразки повинні мати склад, тривалість та умови твердіння ідентичні з бетоном, який застосовують для виготовлення конструкцій. Змащення, вид, інтенсивність та товщина форм для зразків повинні відповідати змащенню форм для конструкцій, що виготовляються. Для розповсюдження тарувальної залежності в більш широкому діапазоні зміни міцності доцільно виготовляти до 40% зразків з відхиленням по водотвердому відношенню до $-0,4 \dots +0,4$.

4.4 Для виготовлення основної частини зразків беруть проби з бетонної суміші для бетонування конструкції впродовж не менше двох тижнів в різні зміни. Зразки з іншими водотвердими відношеннями, які забезпечують більшу або меншу міцність в порівнянні з необхідною, виготовляють на бетономішалці в лабораторії. Зразки підлягають такому ж режиму твердіння що і конструкції.

4.5 Зразки, що випробуються встановлюють на рівну поверхню – основу і на кожному з них роблять не менше 2 відбитків. При цьому відстань між точками і від точок до ребра зразка повинні бути не менше 30 і 35 мм відповідно. При випробуванні зразків-кубів з ребрами розміром 100 мм на одній стороні рекомендується робити не більше 5 відбитків. У випадку низької міцності, яка може обумовити сколювання при випробуванні поблизу ребра кубика буде роблять лише по одному відбитку в центрі кожної сторони, яка знаходилась біля стінки форми. Після вимірювання відбитків на бетоні зразки випробують на стиск у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

4.6 Вологість бетону на випробувальній ділянці не повинна відрізнятися від вологості бетону зразків, випробуваних при побудові тарувальної залежності, більш ніж на 30%.

4.7 Побудова тарувальної залежності здійснюється за методикою, викладеною в розділах 2 і 3.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4

1. Для ефективного застосування розробленої методики неруйнівного контролю міцності ніздрюватих бетонів методом локального поверхневого деформування запроєктовано портативний мобільний пристрій, який дозволяє створювати контрольоване навантаження шляхом стиснення відтарованої пружини на задану величину.

2. Розраховані та експериментально перевірені параметри робочої пружини, які забезпечують стабільне зусилля вдавлювання ідентора, рівне 25 кГс або 50 кГс.

3. Розроблені рекомендації щодо експлуатації запроєктованого пристрою для оцінювання характеристик міцності ніздрюватого бетону методом вдавлювання ідентора кулястої форми.

					<i>КМР 2119204 ПЗ</i>	Арк.
						80
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Аналіз відомих методів неруйнівного контролю міцності бетонів показав, що для оцінювання границі міцності ніздрюватих бетонів доцільно використати методи, засновані на пластичному деформуванні поверхні при дії статичного навантаження. Для розроблення обрано методи, які базуються на вимірюванні відбитка, утвореного штампом кульової форми, та глибини проникнення конічного ідентора при дії зусиль фіксованих значень;

2. Виготовлені зразки пінобетону заводського та лабораторного приготування з різними показниками міцності та проведені їх випробування запропонованим неруйнівним методом і прямим еталонним методом.

3. За результатами випробувань побудовані залежності фактичної границі міцності зразків від результатів неруйнівного контролю – діаметра відбитків на поверхні бетону та глибини проникнення конічного ідентора.

4. За результатами теоретичного аналізу та статистичної обробки отриманих даних встановлено раціональний вид апроксимуючих аналітичних залежностей реальної міцності від параметрів неруйнівних випробувань у формі гіпербол з різними коефіцієнтами.

5. Обрані раціональні параметри неруйнівного методу випробувань: діаметр кульового та форма конічного ідентора, а також навантаження при випробуваннях, рівні 25 кГс та 50 кГс, які дозволяють контролювати теплоізоляційні та конструкційно-теплоізоляційні ніздрюваті бетони в досить широкому діапазоні міцності.

6. Отримані та описані аналітичними виразами узагальнені тарувальні залежності для визначення марки і класу міцності при стиску ніздрюватих бетонів залежно від навантаження при випробуваннях, діаметра відбитків на поверхні та глибини проникнення конічного ідентора.

7. Розроблена можлива конструкція переносного портативного пристрою для неруйнівного контролю міцності монолітного ніздрюватого бетону в умовах будівельного майданчика.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

GENERAL CONCLUSIONS

1. The analysis of the known methods of non-destructive testing of the strength of concrete showed that it is advisable to use methods based on plastic deformation of the surface under the action of a static load to assess the strength limit of porous concrete. Methods based on measuring the imprint formed by the spherical stamp and the depth of penetration of the conical identifier under the action of forces of fixed values were chosen for development;

2. Samples of factory and laboratory-prepared foam concrete with various strength indicators were produced and tested using the proposed non-destructive method and the direct reference method.

3. Based on the results of the tests, the dependences of the actual limit of the strength of the samples on the results of non-destructive testing - the diameter of the imprints on the surface of the concrete and the depth of penetration of the conical identifier were constructed.

4. Based on the results of theoretical analysis and statistical processing of the obtained data, a rational type of approximating analytical dependences of real strength on the parameters of non-destructive tests in the form of hyperbolas with different coefficients was established.

5. The rational parameters of the non-destructive testing method were chosen: the diameter of the ball and the shape of the conical identifier, as well as the test load of 25 kN and 50 kN, which allow controlling heat-insulating and structural-heat-insulating porous concrete in a fairly wide range of strength.

6. Generalized tare dependences obtained and described by analytical expressions for determining the brand and class of compressive strength of porous concrete depending on the load during tests, the diameter of imprints on the surface and the depth of penetration of the conical identifier.

7. A possible design of a portable portable device for non-destructive testing of the strength of monolithic aerated concrete in the conditions of a construction site has been developed.

					<i>KMP 2119204 ПЗ</i>	Арк.
						82
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Історія газобетону [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://gazobeton.org/uk/history>
2. Вироби з бетонів пористої та ніздрюватої структури. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=476858>
3. Бурлаков Г.С. Технология изделий из легкого бетона. М., Высшая школа, 1994. – 296 с.
4. Бондаренко М.І. Конспект лекцій курсу «Будівельні матеріали та вироби». м. Глухів, 2015 – 132 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5241906/page:35/>
5. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Будівельне матеріалознавство. - К: ТОВ УАВК «ЕкОб», 2004. – 704 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Будівельні матеріали. Блоки з ніздрюватою бетону стінові дрібні. Технічні умови. – К., 2008. – 16 с.
7. Ніздрюватий бетон. Матеріал з Вікіпедії. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ніздрюватий_бетон
8. Ніздрюватий бетон – характеристики, застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/statya/nizdryuvatiy-beton-kharakteristiki-zastosuvannya-177>
9. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
10. Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного бетону з альбомом технічних рішень. К.: ДП УКРНДПІЦІВІЛЬБУД, 2015. – 185 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
12. Конструкції цивільних будівель. Під загальною ред. М.С. Туполева. М.: «Архітектура-С», 2006.
13. Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування. –К.: Кондор, 2012. – 380 с.

14. ДБН В.2.6-162:2010. Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. – К., 2011. – 97 с.
15. Плоский В.О., Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки. – Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006», 2014. – 617 с.
16. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
17. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
18. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності.
19. ДСТУ Б В.2.7-229:2009. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності.
20. Закон України "Про охорону праці" {Вводиться в дію Постановою ВР № 2695-ХІІ від 14.10.92, ВВР, 1992, № 49, ст.669}
21. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок. Виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови [Текст]. - Чинний від 2012-12-01. - К. : Мінрегіон України, 2012. - 9 с.
22. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги
23. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012.

Додаток А ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних засобів, направлених на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Питання охорони праці регламентуються Законом України "Про охорону праці" [20] прийнятим Верховною Радою України 14 жовтня 1992 р. за номером 2695-XIII.

Задача охорони праці – звести до мінімальної вірогідності пошкодження або хвороби працюючих з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Нова техніка, науково-обґрунтовані правила безпеки праці, висока кваліфікація персоналу та правильні умови експлуатації технічних засобів є необхідними факторами, що забезпечують безпеку праці, як при розробці проєктної документації, так і на будівельному майданчику.

У цілях забезпечення безпеки праці працюючих на всіх етапах виконання робіт у проєкті розроблені загальномайданчикові заходи з охорони праці.

У перелік загальномайданчикових заходів з охорони праці включені питання підготовки робочих та інженерно-технічних робітників безпечним методам праці та перевірки знань з охорони праці, а також питання комплектації бригад будівельними робітниками та їх допуск до самостійної роботи.

В попередженні травматизму важливу роль відіграє якісне навчання працюючих правильним прийомам роботи.

Поняття охорони праці включає систему організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, правових, соціально-економічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Технічні заходи – створення належних умов праці, усунення причин, що можуть привести до нещасних випадків, своєчасний огляд, ремонт і правильне використання машин, механізмів, верстатів, інструментів, огороження обертових частин механізмів, захист стінок траншей та котлованів.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Організаційні заходи - навчання правил техніки безпеки та інструктаж з цих правил з безаварійної організації праці на кожному робочому місці.

Санітарно-гігієнічні заходи належать до виробничої санітарії. За допомогою цих заходів запобігають загальним і професійним захворюванням працівників. Санітарно-гігієнічні заходи передбачають дослідження впливу виробничих факторів на людину, встановлення допустимих та фактичних значень параметрів виробничих факторів на робочих місцях, визначення відповідності умов на робочих місцях вимогам нормативних документів.

Основні положення з охорони праці визначаються законами України, а також спеціальні акти, які приймаються чи затверджуються Кабінетом Міністрів України, Державним комітетом України по нагляду за охороною праці, Міністерством енергетики України та іншими відомствами.

Законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці. Це Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці, Будівельні норми та правила, Санітарні норми, Правила улаштування електроустановок та інші нормативні документи.

Відповідно до КЗпП, розв'язання найважливіших завдань з охорони праці покладено на власника або уповноважений ним орган. Вони зобов'язані вживати заходів щодо усунення шкідливих умов праці, запобігання нещасним випадкам і додержання на робочих місцях належного санітарно-гігієнічного порядку. Ці обов'язки власника з охорони праці зазначено в Типових правилах внутрішнього розпорядку, які є на кожному підприємстві, в установі чи організації. За цими правилами, адміністрація зобов'язана виконувати закони і правила з охорони праці, дотримуватися встановленого розпорядку робочого дня, забезпечувати робітників і службовців питною водою, створювати для них необхідні санітарно-гігієнічні умови, навчити робітників і службовців безпечних прийомів праці та правил санітарно-технічного забезпечення.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Власник або уповноважений орган підприємства, установ, організацій не мають права примушувати робітників виконувати роботи, що загрожують їхньому життю і не відповідають вимогам законодавства про охорону праці.

Усі працівники, що беруть участь у виробничих процесах при монтажі будівельних конструкцій, повинні у встановленому порядку пройти навчання і перевірку знань з охорони праці, а також медичний огляд і мати визначену професію (професії).

Навчання і перевірку знань з охорони праці працівники повинні пройти відповідно до "Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці", затверджених наказом № 30 від 04.04.1994 р. Держнаглядохоронпраці, а також інших діючих державних і відомчих нормативних актів і документів.

Медичний огляд працівники повинні проходити згідно з "Положенням про медичний огляд працівників визначених категорій", затвердженим наказом № 45 від 31.03.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України. Медичній перевірці на психофізіологічні показники для професійного добору підлягають працівники, зв'язані з роботами, викладеними в "Переліку робіт, де є потреба в професійному доборі", затвердженому наказом №263/121 від 23.09.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України.

Заборонено допускати до робіт з монтажу будівельних конструкцій осіб:

- професія і кваліфікація яких не відповідає характеру роботи;
- які знаходяться в нетверезому стані;
- які не визнані придатними після медичного огляду до вищевказаних робіт.

До самостійних верхолазних робіт допускаються монтажники не молодше 19 років, які пройшли відповідний медичний огляд і визнані придатними, мають стаж верхолазних робіт не менше 1 року і розряд не нижче 3-го. Монтажники, які допускаються вперше до верхолазних робіт, протягом одного року зобов'язані працювати під безпосереднім наглядом досвідчених працівників, призначених наказом керівника організації.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		87

Працівники, які мають кілька професій, повинні бути навчені і атестовані безпечним методам з охорони праці і мати посвідчення на основну професію і професії, що суміщають. Інженерно-технічні працівники, робота яких зв'язана з виконанням верхолазних робіт у процесі перевірки якості і т.п., повинні пройти медичний огляд і бути придатними до виконання верхолазних робіт.

Загальне керівництво і організація навчання безпечним прийомам праці на підприємствах, в управліннях покладені на керівника установи, а в підрозділах - на їхнього керівника. За характером і часом проведення інструктажі для працівників поділяють на вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний і первинний інструктажі на робочому місці проходять усі робітники, які влаштовуються працювати на будівництво, а також учні, направлені на будівництво для проходження виробничої практики, перед допуском їх до роботи. Представники професій, які мають пройти медичний огляд (монтажники-верхолази, покрівельники та ін.), подають адміністрації медичний висновок, після цього їх можна оформити на роботу.

Вступний інструктаж проводить інженер з техніки безпеки або інший працівник служби техніки безпеки, на якого покладені обов'язки інженера з техніки безпеки. Працівників ознайомлюють з особливостями роботи на будівельному майданчику та робочому місці, обслуговуванням будівельних машин і механізмів, правилами користування електрообладнанням і електрифікованими інструментами, індивідуальними захисними засобами та правилами користування ними, діючими сигналами і прийомами безпечного виконання дорученої роботи, правилами утримання робочого місця та особистої гігієни, засобами подання першої медичної допомоги. Про проведення вступного інструктажу роблять відповідний запис у журналі реєстрації і заповнюють особисту картку. Виписка з журналу про інструктаж зберігається в особовій справі робітника.

Осіб, призначених на роботу з підвищеною небезпекою, ознайомлюють з додатковими правилами безпеки, враховуючи специфіку цієї роботи. Інструктаж закінчують практичним показом безпечних прийомів роботи.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інструктаж та навчання усіх працюючих проводиться у вигляді ввідного інструктажу та інструктажу на робочому місці, щоденного (текучого) інструктажу, періодичного (повторного) інструктажу, непланового інструктажу.

Перед допуском до роботи робітників, що зачислені у штат, з ними проводиться ввідний інструктаж інженером з охорони праці або тим, на кого покладені обов'язки інженера з охорони праці.

Ввідний інструктаж проводиться зі всіма працюючими, що приймаються незалежно від їх освіти, стажу роботи з даної професії або посади. Про проведення ввідного інструктажу та перевірки знань робиться запис в журналі реєстрації, з обов'язковим підписом того, кого інструктують та того, хто інструктує.

Крім того, з усіма знову прийнятими в організацію або переведеними з інших підрозділів проводиться первинний інструктаж на робочому місці.

Всі робітники після первинного інструктажу на робочому місці та перевірки знань на протязі перших 2-5 змін (в залежності від стажу, досвіду та характеру роботи) виконують роботу під наглядом майстра або бригадира, після чого оформляється допуск їх до самостійної роботи, про що фіксується числом та підписом того, хто інструктує, в журналі. Повторний інструктаж проводять всі робітники незалежно від кваліфікації, освіти та стажу роботи і не менше ніж через 6 місяців.

Первинний інструктаж на робочому місці проводить керівник робіт. Він ознайомлює робітника з його обов'язками на даному робочому місці, з технікою безпеки за професією, прийомами безпечної експлуатації механізмів, правилами користування індивідуальними засобами захисту, сигналізації та особистої гігієни. Після перевірки знань протягом кількох змін робітники працюють під наглядом майстра чи бригадира, після чого їх можна допускати до самостійної роботи. Під час проведення інструктажу робітника забезпечують спецодягом та засобами особистого захисту.

Повторний інструктаж також періодично проводять на робочому місці для всіх працівників не рідше одного разу на квартал на роботах з підвищеною небезпекою та один раз на півріччя на інших роботах.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		89

Позаплановий інструктаж проводять, якщо змінюються правила з охорони праці, умови та характер робіт, технологічні процеси у зв'язку з модернізацією обладнання, а також після нещасних випадків і у разі порушення робітниками вимог безпеки праці.

Цільовий інструктаж проводять з працівниками перед початком виконання робіт, на які оформляють наряди-допуски (наприклад, робота в шурфах, колодязях, охоронній зоні повітряних ліній електромереж). Проведення цільового інструктажу фіксують у нарядах-допусках.

Про проведення всіх видів інструктажу роблять записи в спеціальних журналах з обов'язковими підписами інструктуючих та інструктованих. Якщо робітник виявив незадовільні знання, то його до роботи не допускають і знову направляють на проходження інструктажу.

Вимоги до будівельно-монтажних площадок і складських робіт

Організація будівельного майданчика (розташування складських площадок, санітарно-побутових містечок і зон, огорожень, мереж тимчасового електропостачання, водопостачання і пожежегасіння, тимчасових і постійних доріг і шляхів руху, стоянок для роботи вантажопідіймальних машин і механізмів і т.д.) повинна відповідати будгенплану підготовчого періоду.

Будівельно-монтажні площадки на території діючих підприємств, а також у зонах житлової забудови необхідно обгороджувати. Огородження, що примикають до місць масового проходу людей, необхідно обладнати суцільним захисним козирком.

У період підготовчий період будівельно-монтажну площадку звільняють від усіх заважаючих зведенню об'єкта будинків, споруд, дерев, виконують тимчасове планування території для стоку поверхневих вод, переносять існуючі підземні й наземні інженерні мережі, влаштовують тимчасове освітлення, мережі енергопостачання, водопостачання й пожежегасіння, будують автодороги, шляхи руху і стоянки вантажопідіймальних машин і механізмів, зводять необхідні тимчасові будинки і споруди, використовуючи існуючі будинки чи збірно-розбірні та пересувні побутові приміщення, виконують

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

геодезичну розбивку тощо. Готовність площадки до початку монтажу конструкцій має бути підтверджена актом інженерної підготовки площадки.

Зони постійно діючих небезпечних виробничих факторів (неізолювані струмоведучі частини електроустановок, ЛЕП, необгороджені перепади по висоті на 1,3 м і більше, місця, де рівні шуму, вібрації або забруднення повітря перевищують допустимі гігієнічні норми) повинні бути обгороджені захисними огороженнями, що задовольняють вимогам ГОСТ 23407-78 "Огородження інвентарні будівельних майданчиків і ділянок будівельно-монтажних робіт. Технічні умови" і ГОСТ 12.4.059-89 "Будівництво. Огородження запобіжні інвентарні. Загальні технічні умови."

У небезпечних зонах не допускається перебування сторонніх осіб, виконання робіт, не пов'язаних з монтажем будівельних конструкцій, розміщення підсобних і тимчасових будинків і споруд, машинних приміщень і т.п. Виконання будівельно-монтажних робіт у зазначених зонах можна здійснювати за наявності організаційно-технічних рішень і заходів, що забезпечують захист і безпеку працюючих.

Будинки, приміщення і пристрої санітарно-побутового призначення повинні розташовуватися на відстані не менше 50 м з навітряного боку стосовно об'єктів, що виділяють пил, шкідливі пари і гази (бункерних естакадах, бетонорозчинних вузлах, сортувальних пристроях і т.п.).

Майданчики для вантажно-розвантажувальних робіт треба очистити і розташовувати так, щоб їхній ухил не перевищував 5°. Майданчики, розраховані на рік і більше, повинні мати покриття. Взимку їх очищають від снігу й льоду та посипають піском, золою чи шлаком. У відповідних місцях вивішують написи: «Виїзд», «В'їзд», «Розворот» та знаки безпеки. Заборонено проводити роботи на не підготовлених майданчиках.

На майданчиках для укладання вантажів визначають межі штабелів, проходів і проїздів між ними. Місця проведення вантажно-розвантажувальних робіт повинні бути добре освітлені. Для робітників, зайнятих на цих роботах, влаштовують санітарно-побутові приміщення і забезпечують доброякісною питною водою. Ці робітники проходять попередній і періодичний медичний

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		91

огляди. Вони повинні користуватися під час роботи спецодягом, спецвзуттям індивідуальними засобами захисту. Вантажно-розвантажувальні роботи зазвичай проводять механізованим методом згідно з Правилами влаштування безпечної експлуатації вантажно-підіймальних кранів. Перед підніманням і переміщенням вантажів перевіряють правильність їх стропування.

Сходи, призначені для підйому на висоту понад 2 м, обгороджують поручнями з бортовими дошками. Допускається ухил сходів не більше як 1:3. Якщо по сходах переносять важкий вантаж, то під середину їх ставлять підпори, щоб запобігти прогинанню. Інвентарні металеві сходи роблять з рифленої сталі завтовшки не менш як 5 мм.

Вантажно-розвантажувальні майданчики забезпечують також талями, блоками, лебідками, домкратами, лопатами, тросами, стропами, гаками, носилками, ланцюгами, канатами, мотузками та іншим інвентарем й обладнанням, які щоразу перед початком робіт перевіряють на справність і випробують відповідного чинних норм. Для безпечності роботи вночі вантажно-розвантажувальні майданчики освітлюють.

Стропують вантажі інвентарними стропами чи вантажозахватними пристроями, виготовленими відповідно до затверджених креслень. Методи стропування повинні виключати можливість падіння чи сповзання застропованого вантажу. Вантаж, який транспортують і розвантажують, повинен бути в стійкому положенні. Під час вантажно-розвантажувальних робіт не можна стропувати вантаж у нестійкому положенні, а також зміщувати стропувальний пристрій на трохи піднятому вантажі. Способи стропування елементів конструкцій та обладнання повинні забезпечувати їх подачу до місця встановлення у положенні, близькому до проектного.

Забороняється залишати підняті елементи конструкцій у підвішеному стані. Розстропування встановлених елементів і конструкцій дозволяється після надійного їх закріплення. Подану конструкцію необхідно опустити над місцем її встановлення не більше ніж на 30 см вище проектного положення і після цього монтажник наводить її на місце встановлення, опускає і закріплює.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						92
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталеві труби діаметром до 300 мм треба складати у штабелі заввишки до 3 м з прокладками та кінцевими упорами, діаметром понад 300 мм –заввишки до 3 м у сідло без прокладок , чорний прокатний метал (листова сталь) _ швелери, двотаври тощо - у штабелі заввишки до 1,5 м.

Щоб запобігти доступ людей (сторонніх осіб), територія будівельного майданчика огорожена: зі сторони вулиці захистно-охоронним огороженням висотою до 2 м [21], зі сторони сусідніх дворів – парканом, виконаним по постійній схемі.

Так як тимчасові та постійні дороги складають єдину транспортну сітку, що забезпечує кільцеву схему руху, їх прокладання виконують у порядку черговості будівництва об'єкту, відповідно до календарного графіку будівництва та будгєнплану.

При організації будівельного майданчика, проектом встановлені ділянки та зони, у межах яких робота будівельних машин та механізмів є небезпечною для працюючих, якщо не використовувати засоби безпеки або захисні засоби. Такими небезпечними зонами є:

- межі котловану та траншей глибиною більше ніж 1 м;
- зони роботи землерийних машин;
- межі дії монтажних кранів;
- майданчики складування будівельних конструкцій, деталей, матеріалів;
- місця зварювальних робіт, а також місця робіт з легкозаймаючимися матеріалами;
- зони та ділянки з інтенсивним рухом транспорту.

Ґрунт, що виймають із котловану розташовується не менше 0,5 м від бровки котловану. Спуск в котлован передбачений по драбинам (трапам) шириною 0,6 м з перильними огороженнями висотою 1,1 м.

Майданчики для складування конструкцій на бровці котловану, а також шляхи руху автотранспорту та монтажних кранів розташовуються за межами призмами обвалу на відстані не менше 1 м від бровки природних відкосів.

Небезпечна зона дії екскаватора визначається із розрахунку максимального радіусу дії плюс 5 м.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		93

Одним з факторів зниження виробничого травматизму є правильне освітлення будівельного майданчика та рівномірне розміщення світлового потоку на робочих місцях, в темний час доби. Проектом передбачено робоче та охоронне штучне освітлення.

Загальне робоче освітлення всього майданчика передбачається уставкою прожекторів на стовпах (металевих щоглах) із розрахунку, що освітлення повинно бути не менше 2 лк на рівні землі. Місцеве робоче освітлення передбачене прожекторами з лампами ДРЛ на металевих полегшених щоглах.

Охоронне освітлення здійснюється прожекторами загального робочого освітлення із розрахунку, що освітленість будівельного майданчика повинна бути не менше 0,5 лк на рівні землі в горизонтальній площині.

Пожежна безпека. Вогнестійкість будівельних конструкцій

Для забезпечення пожежної безпеки на будівельному майданчику проектом виробництва робіт передбачене застосування ефективних, економічно цілеспрямованих та технічно обґрунтованих засобів виробництва робіт.

Перед початком кожного виду робіт, знов прибувши на будівельний майданчик проходять інструктаж по пожежній безпеці та навчання пожежно-технічному мінімуму в будівництві, знайомляться з правилами пожежної безпеки.

Перед початком будівництва надземної частини об'єкту прокладається тимчасовий пожежний водопровід, встановлюється пожежний гідрант, у якого встановлюється інформаційний показник з нанесенням індексів ПГ, цифровими значеннями – відстань (в метрах) від показника до гідранта та розміру внутрішнього діаметру трубопроводу (в мм).

Крім того, біля побутового містечка розташувати пожежний щит з набором вогнегасників, пожежного інвентарю та ручного інструменту. У кожного щита розташований ящик з піском $V = 1 \text{ м}^3$, бочка з водою не менше $V = 0,5 \text{ м}^3$.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						94
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна безпека будівель в значній мірі визначається їх вогнестійкістю, яка залежить від вогнестійкості основних конструктивних елементів.

Вогнестійкість – здатність конструкції протидіяти дії високої температури в умовах пожежі та виконувати при цьому свої експлуатаційні функції. Вогнестійкість відноситься до числа основних характеристик будівельних конструкцій та регламентується будівельними нормами та правилами [22].

Час, на протязі якого конструкція втрачає свою несучу або огорожуючу здатність, називають межею вогнестійкості та вимірюють у числах від початку випробування конструкції на вогнестійкість до виникнення однієї з прикмет, які перелічуються:

- утворення в конструкції наскрізних тріщин або отворів, через які проникають продукти згоряння або полум'я;
- підвищення температури на необігріваній поверхні конструкції в середньому більше, ніж на 140°C , або в будь-якій точці цієї поверхні більш ніж на 160°C у порівнянні з температурою конструкції до випробування, або 220°C незалежно від температури, що порівнюють;
- втрата конструкцією несучої здатності, тобто обвал конструкції.

Межа вогнестійкості конструкції встановлюють шляхом дослідження або розрахунком. Дослідне визначення меж вогнестійкості будівельних конструкцій стандартизовано.

Межу вогнестійкості запроектованих конструкцій називають фактичними (M_{ϕ}). Межі вогнестійкості будівельних конструкцій, що вимагають нормами або визначаються умовами безпеки, називають вимагаємими ($M_{\text{вм}}$).

Вимога безпеки виконана, якщо виконується вимога : $M_{\phi} \geq M_{\text{вм}}$.

Порівняння фактичних груп займистості та меж вогнестійкості конструкцій будівлі, що проектується, з вимогами норм може бути представлено у вигляді таблиці.

Норми вогнестійкості конструкцій

№ п/п	Головні конструктивні елементи та їх розміри, характеристики	Група займистості		Межі вогнестійкості		Висно- вки
		Згідно норм	Фактична	Згідно норм	Фактична	
1	2	3	4	5	6	7
1	Плита перекриття круглопустотна з арматурою В _p -І і δ_3 шару = 20 мм	незгоря- єма	незгоря- єма	1	0,72	Не відпо- відає нормам
2	Зовнішні стіни, несучі з цегли, а також перегородки	незгоря- єма	незгоря- єма	2	11	Відпо- відає нормам
3	Сходова металева площадка	важко- згоряєма	важко- згоряєма	0,25	0,25	Відпо- відає нормам
4	Будівельні елементи незахищенні при δ до 20 мм.	важко- згоряєма	важко- згоряєма	0,25	0,25	Відпо- відає нормам

Розрахунок захисту будинку від блискавки

Згідно РД 34.21.122-87 проектуєма будівля знаходиться на місцевості з середньою тривалістю блискавок 20 хв в рік (зона захисту типу "Б" і категорія захисту від блискавки – ІІІ).

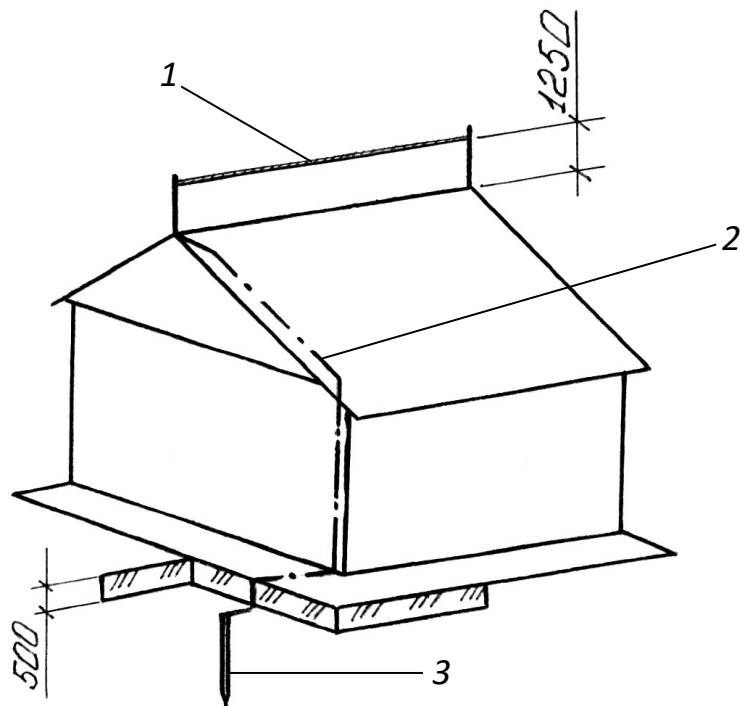


Рисунок А.1 – Схема захисту будинку від блискавки:

- 1 – тросовий приймальник блискавки;
- 2 – струмовідвід;
- 3 – заземлювач.

Для захисту котеджу від удару блискавки рекомендується використовувати тросовий приймальник блискавки. Зона захисту визначається виходячи з габаритів будівлі, що захищається, і висоти троса в середині прольоту над дахом будинку. З огляду на те, що висота будівлі в верхній частині складає 9,6 м трос повинен проходити на відстані не менше 1250 мм від ковшана. Висота троса в середині прольоту складає

$$h = h_{\text{буд}} + 1,25 = 9,6 + 1,25 = 10,85 \text{ м.}$$

Зони захисту від блискавки має наступні габаритні розміри

$$R = 1,7 \cdot h = 1,7 \cdot 10,85 = 18,445 \text{ м,}$$

$$\alpha = 1,7 \cdot (h - h \cdot 10,85) = 0,71 \text{ м.}$$

Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища – це комплексна проблема, що вимагає зусиль багатьох вчених та спеціалістів. Найбільш активною формою захисту навколишнього середовища від шкідливої дії викидів промислових підприємств є повний перехід до безвідходних та маловідходних технологій виробництва [23]. Це вимагає рішення цілого комплексу складних технологічних, конструкторських та організаційних задач, оснований на використанні найновіших науково-технічних досягнень.

Важливим напрямком екологізації промислового виробництва слід вважати: удосконалення технологічних процесів та розробку нового обладнання з менших рівнем викидів домішок та відходів, широкого застосування засобів захисту. В якості засобів захисту приймають апарати та системи для очистки газових викидів, стічних вод від домішок; глушники шуму при викиді газів у атмосферу; віброізолятори технологічного обладнання; захисні екрани та ін.

Ці засоби захисту постійно вдосконалюються та широко застосовуються в технологічні та експлуатаційні цикли у всіх галузях народного господарства.

Допоміжні засоби охорони навколишнього середовища застосовуються на транспорті, пересувних електроустановках. Це – глушники шуму компресорних устроїв та ГТДУ, віброізолятори залізничного транспорту.

Важлива роль в захисті навколишнього середовища відводиться заходам по раціональному розташуванню джерел забруднення: винесення промислових підприємств з великих міст у малозаселені райони з непридатними та малоприсаєднаними для сільськогосподарського використання землі; оптимальне розташування промислових підприємств з урахуванням топографії місцевості та рози вітрів; встановлення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств; раціональне планування міської забудови, що забезпечує оптимальні екологічні умови для людини та рослин, організація руху транспорту з метою зменшення викиду токсичних речовин у зонах житлової забудови.

Засоби захисту працюючих і організація робочих місць

При необхідності виконання робіт у межах небезпечної зони треба виключити дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів на час виконання робіт, або забезпечити працюючих відповідними засобами захисту.

Застосовувані засоби підмоцнування повинні відповідати вимогам ГОСТ 24258-88 "Засоби підмоцнування. Загальні технічні умови",

Місця закріплення карабіна запобіжного пояса повинні бути визначені з урахуванням довжини стропа, застосовуваного запобіжного пояса, способів кріплення страхувальних канатів і розмірів перетинів конструктивних елементів будинків і споруд, що знаходяться поблизу робочого місця.

При виконанні робіт на висоті без засобів підмоцнування чи огороження робочих місць, тобто безпосередньо з конструкцій, працюючі повинні користуватися запобіжним поясом, страхувальними канатами, запобіжно-верхолазним пристроєм - ЗВП-2 чи іншими пристосуваннями. При цьому повинне бути забезпечене надійне і зручне закріплення карабіна запобіжного пояса в процесі переходу по конструкціях, а також у процесі закріплення конструктивних елементів у проектне положення.

Довжину страхувального каната між точками його закріплення (величину прольоту) слід призначати в залежності від розмірів конструктивних несучих елементів будинків і споруд, на які його встановлюють і закріплюють на зусилля 2200 кгс. При довжині каната більше 12 м повинні встановлюватися проміжні опори, відстань між якими повинна бути не більше 12м, а опори і вузли їх кріплення повинні бути розраховані на статичні навантаження рівні: вертикальне - 500 кгс, горизонтальне – 100 кгс, прикладене до верха опори.

Перехід по верхніх поясах ферм і балок не допускається. В окремих випадках, коли це необхідно, допускається таке пересування в положенні "сидячи поповзом", прикріпившись запобіжним поясом за верхній пояс ферми чи спеціально встановлений страхувальний канат.

При проведенні інструктажу слід вказувати конкретні шляхи підходу до конструкцій, місця підйому і спуску, а також переходи по конструкціях.

					КМР 2119204 ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Техніка безпеки при виконанні електрозварювальних робіт

При виконанні електрозварювальних робіт необхідно дотримуватися вимог Правила влаштування електричного устаткування. Правил влаштування та експлуатації вантажнопідйомних машин, стандартів на електрозварювальні роботи, газозварювальну обробку металу, а також вимог "Правил техніки безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах".

Перед початком електрозварювальних робіт перевіряють справність заземлення електрозварювальних апаратів, ізоляцію зварювальних проводів, електродотримачів, наявність на робочому місці гумового коврика чи дерев'яної решітки. Зварювальні агрегати при перервах повинні бути відключені від джерела струму. Зачищати електроди при включеному апараті забороняється. Забороняється проводити електродугове зварювання на відстані ближче 10 м від місць зберігання вогнебезпечних і вибухонебезпечних речовин та матеріалів.

Зварювальні роботи слід проводити в брезентовому спецодязі і з щитком, обладнаним світлофільтром. Брезентова куртка одягається навипуск, а штани у взуття не заправлені.

Для підведення струму до електрозварювальних апаратів і електродотримачів передбачене застосування ізольованих гнучких кабелів, розрахованих на надійну роботу при максимальних електричних навантаженнях. З'єднання зварювальних проводів проводиться зварюванням, пресуванням, пайкою. Підключення кабелів до зварювального обладнання проводиться при допомозі припаяних кабельних наконечників.

Металеві частини електрозварювального обладнання, які не знаходяться під напругою, а також зварювальні вироби і конструкції на період проведення електрозварювальних робіт необхідно заземлити.