

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

СОВГИРА ВАСИЛИСА ВАСИЛІВНА



УДК 624.012.41: 691. 327:539.4/38

**НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН  
ТА НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ  
КОРОТКИХ БЕТОННИХ КОЛОН**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса - 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, м. Одеса

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
**Кобринець Валентин Михайлович**,  
Одеська державна академія будівництва  
та архітектури Міністерства освіти і  
науки України, професор кафедри  
будівельної механіки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший  
науковий співробітник  
**Бамбура Андрій Миколайович**,  
Державне підприємство «Державний  
науково-дослідний інститут будівельних  
конструкцій» Міністерства регіонального  
розвитку та будівництва України,  
завідувач відділу надійності будівельних  
конструкцій;

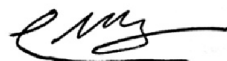
кандидат технічних наук, доцент,  
**Безушко Денис Іванович**,  
завідувач кафедри «Інженерні  
конструкції та водні дослідження»  
Одеський національний морський  
університет.

Захист дисертації відбудеться «30» жовтня 2018 р. о 13<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд. 360.

Із дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «25» вересня 2018 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 41.085.01, к.т.н., доцент



С.О. Кровяков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Тривала, надійна і безпечна експлуатація стрижневих систем каркасних будівель і споруд цивільного і промислового призначення, які інтенсивно будуються із бетонних та залізобетонних конструкцій в умовах впливу різних чинників, забезпечується на стадії проектування, будівництва і експлуатації обґрунтованими рішеннями з використанням аналітичних методів та фізико-механічних характеристик матеріалів, нормованих при центральному стиску чи розтягу.

Методи розрахунків зігнутих та позацентрово стиснутих бетонних і залізобетонних конструкцій в сучасних будівельних нормах засновані на розрахункових моделях, які базуються на єдиних принципах, основними з яких є гіпотеза суцільності матеріалу, гіпотеза плоских перетинів і діаграми деформування матеріалів. Запропонований підхід дозволяє з єдиних позицій здійснювати розрахунок конструкцій щодо міцності, утворення і розкриття тріщин та за деформаціями. Одночасно, у чинних Будівельних Нормах методи розрахунку зігнутих та позацентрово стиснутих бетонних і залізобетонних конструкцій насичені великою кількістю емпіричних співвідношень через що, найчастіше, призводить до втрати явного фізичного сенсу, чи до ускладнень під час розрахунків.

Численні експериментальні дослідження виявили ряд характерних особливостей в поведінці неоднорідно стиснутого бетону позацентрово навантажених порівняно з одновісно стиснутим бетоном, які викликали суперечливі трактування та висловлювання.

Зокрема, досліджені не всі аспекти деформування і руйнування однорідно і неоднорідно стисненого бетону в рівнях  $0,75 f_c \leq f_c \leq 0,80 f_c$  при впливі таких факторів як міцність бетону, величин ексцентриситету навантаження, режимів навантаження, розмірів і висоти перерізів та ін.

Результати виконаних досліджень свідчать, що якою б повною не була інформація про поведінку однорідно стиснутого бетону, вона не буде адекватно відображати напружено-деформований стан (НДС) неоднорідно навантаженого бетону, характерного для стиснутої зони зігнутих і позацентрово навантажених бетонних і залізобетонних конструкцій. На правомірність перенесення діаграми залежності  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  однорідно стиснутого бетону на неоднорідний (при згині і позацентровому навантаженні) низка дослідників висловлюють суперечливі відгуки.

Структура бетону, що включає тверду фазу, поровий простір і мікромакротріщини, з його реологічними властивостями неоднорідна, та її зміна при заданому рівні напружень впливає на деформативність, тріщиностійкість, пружно-пластичність та інші властивості, які врахувати в явному вигляді при аналітичному моделюванні експериментальних діаграм стиску (розтягу) бетону, навіть з використанням емпіричних виразів, складно. А питання експериментальних досліджень повних діаграм деформування однорідно і неоднорідно стиснутого бетону або їх коректного трансформування для розрахунків позацентрово навантажених (зігнутих) конструкцій є актуальним

і сьогодні.

Тому аналіз і систематизація накопичених експериментальних даних про вплив міцності бетону, розмірів та висоти перерізу призматичних зразків, величини ексцентриситету навантаження, режиму ("м'який" або "жорсткий") навантаження на опір і деформації одновісно і позацентрово стиснутих елементів і поповнення їх новими, а також пошук загальних закономірностей опору стиску із врахуванням зазначених факторів та коректне моделювання цих впливів аналітичними виразами - постійна вимога теорії і практики бетону і залізобетону. Такі дослідження дозволять по-новому оцінити напружено-деформований стан (НДС) позацентрово навантажених елементів, розкрити в низці випадків резерви їх міцного опору і тим самим сприяти розвитку методів їх розрахунку.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури відповідно до планів НДР 2008-2015 рр. кафедри будівельної механіки (проблема п.1.1. Розробка методів розрахунку конструкцій, будівель і споруд з урахуванням силової та фізичної неоднорідності і п. 1.6. Спільний вплив режиму навантаження і зовнішнього середовища на міцність і деформації бетону), а також в рамках держбюджетної теми кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ОДАБА з проблеми "Розробка розрахункових моделей бетонних і залізобетонних конструкцій при складному напружено - деформованому стані припорних ділянок" (державний реєстраційний № 0108U000559).

**Мета роботи** полягає у визначенні кількісного і якісного впливу таких факторів, як: міцність важкого бетону; його мікро- і макроструктура; пружно-в'язкі властивості; розміри й висота перерізів; ексцентриситет і режими навантаження на загальні закономірності опору бетону при осьовому і позацентровому стиску геометрично подібних бетонних коротких колон із "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного статичного навантаження для обґрунтування рекомендацій щодо уточнення розрахунку несучої здатності і деформацій бетонних неоднорідно стиснутих елементів.

**Завдання досліджень:**

- проведення аналізу виконаних теоретичних і експериментальних досліджень НДС одновісно і позацентрово стиснутих короткочасним навантаженням коротких бетонних колон і встановлення переліку значущих чинників, які впливають на закономірності деформування і опору однорідно та неоднорідно стиснутого бетону;

- виконати експериментальні дослідження розвитку деформацій  $\varepsilon_{cx,e}$  і  $\varepsilon_{cy,e}$  до рівня  $0,75f_c$  і максимальних  $\varepsilon_{clx,e}$ ,  $\varepsilon_{cly,e}$  та граничних  $\varepsilon_{culx,e}$ ,  $\varepsilon_{culy,e}$  в рівнях  $(0,75 \dots 1)f_c \leq f_c \leq (1 \dots 0,8)f_c$  7<sup>ми</sup> груп типорозмірів неоднорідно ( $e_o = 0 \dots h/6$ ) стиснутих геометрично подібних бетонних коротких колон з важкого бетону призматичною міцністю в діапазоні  $f_{c,15} = 22,2 \dots 65,6$  МПа з "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного статичного навантаження;

- визначити критерії ( $\varepsilon_{cy,e}$ ,  $\theta_{c,e}$ ,  $\vartheta_{c,e}$ ,  $\Delta t$ ,  $K_{D,e}$ ) інтенсивності розвитку деструкції і деформування бетону та запропонувати аналітичні вирази

повних діаграм зв'язку  $\sigma_c/f_c$  ( $E_{c,e}^{sek}$ ,  $\nu_{c,e}$ ,  $K_D$ ) і  $\epsilon_{clx,e}$  ( $\epsilon_{cy,e}$ ,  $\theta_{c,e}$ ,  $\vartheta_{c,e}$ ,  $\Delta t$ ) неоднорідно стиснутого бетону у процесі позацентрового ( $e_o=0\dots h/6$ ) навантаження 7<sup>ми</sup> груп типорозмірів геометрично подібних бетонних колон;

- дослідженнями установити вплив розмірів перерізу ( $r$ ) дослідних зразків на міцність і деформації  $f_{c,M}/f_{c15}$ ,  $\epsilon_{clx}$  і  $\epsilon_{culx}$  та  $f_c$  на  $E_c$ ,  $\nu_{cu}$  одновісно стиснутого важкого бетону призмовою міцністю в діапазоні  $f_{c,15}=22,2\dots 65,6$  МПа при "м'якому" і "жорсткому" режимах короточасного статичного навантаження та запропонувати аналітичні вирази опису залежності;

- рекомендувати аналітичні вирази повних діаграм  $\sigma_c - \epsilon_{cx}$  одновісно стиснутого бетону і вирази повних діаграм  $\sigma_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$  позацентрово стиснутого бетону з "м'яким" і "жорстким" режимами навантаження із врахуванням впливу таких факторів, як: міцність важкого бетону, порушення його мікро- і макроструктури, пружно-в'язких властивостей, розмірів і висоти перерізів, ексцентриситету і режимів навантаження;

- запропонувати розрахункову модель щодо характеру напружено-деформованого стану перерізів позацентрово ( $e_o=0\dots h/6$ ) стиснутих бетонних елементів із використанням аналітичних виразів зв'язку  $\sigma_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$  та урахуванням впливу значущих чинників, значну частину яких не враховують діючі Норми.

**Об'єкт досліджень** - вплив факторів на інтенсивність розвитку деструкції структури, деформування і руйнування бетону в процесі осьового та позацентрового стиску на загальні закономірності опору важкого бетону призмовою міцністю в діапазоні  $f_{c,15}=22,2\dots 65,6$  МПа при „м'якому” і „жорсткому” режимах короточасного статичного навантаження.

**Предмет досліджень** - міцність, деформування, руйнування та напружений стан (зразків-моделей) геометрично подібних бетонних коротких ( $l/h \leq 8$ ) колон у процесі осьового і позацентрового стиску при „м'якому” і „жорсткому” режимах короточасного статичного навантаження.

**Методи досліджень:** експериментальні дослідження одновісно і позацентрово стиснутих геометрично подібних бетонних коротких колон з "м'яким" і "жорстким" режимом короточасного статичного навантаження здійснювалися відповідно до вимог чинних стандартів: тензометрії; оптичної мікроскопії, ультразвукової дефектоскопії та методів математичної статистики під час аналізу та обробці результатів досліджень.

**Наукову новизну отриманих положень і результатів становлять:**

- удосконалена методика проведення досліджень інтенсивності розвитку деструкції, деформування і руйнування однорідно і неоднорідно стиснутого бетону в рівнях  $0,75 f_c \leq f_c \leq 0,8 f_c$  із зростанням навантаження при кількісному впливі значущих чинників: ексцентриситету навантаження, міцності важкого бетону, його пружно-в'язких властивостей, порушення мікро- і макроструктури, розмірів і висоти перерізів, режимів навантажень та ін. ;

- отримано банк даних із новими характеристиками міцності однорідно і неоднорідно стиснутого бетону, максимальних і граничних деформацій геометрично подібних елементів із важкого бетону призмовою міцністю в

діапазоні  $f_{c,15} = 22,2...65,6$  МПа при „м'якому” і „жорсткому” режимах короткочасного статичного навантаження, що уточнюють, а (відсутні) при призмовій міцності  $f_{c,15} > 43,0...65,6$  МПа, доповнюють рекомендовані ДБН характеристики міцності і деформативності бетону при осьовому стиску з урахуванням дослідженого кількісного впливу значущих факторів;

- запропоновані (відсутні в ДБН) вирази залежності максимальної міцності і стисливості одновісно і позацентрово навантаженого бетону від впливу значущих чинників;

- побудовані аналітичні вирази опису кореляційної залежності повних діаграм деформування однорідно і неоднорідно стиснутого бетону (відсутні в рекомендаціях ДБН), які відображають процес розвитку деструкції і руйнування бетону з урахуванням кількісного впливу значущих факторів;

- експериментальне підтвердження про неправомірність поширення на неоднорідно стиснутий бетон передумов одновісності роботи волокон бетону та суцільності бетону з теорії пружних та не пружних матеріалів;

- запропонована розрахункова модель щодо характеру напружено-деформованого стану перерізів позацентрово ( $e_o = 0...h/6$ ) стиснутих бетонних елементів, враховуючи результати аналізу побудованих епюр напружень із використанням аналітичних виразів опису повних діаграм  $\sigma_c - \epsilon_{cx}$  і  $\sigma_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$  та урахуванням впливу значущих чинників при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного статичного навантаження.

**Практичне значення одержаних результатів роботи.** Урахування встановлених у дослідженнях закономірностей опору неоднорідно стиснутого бетону із застосуванням повних діаграм деформування під час проектування позацентрово стиснутих бетонних і залізобетонних конструкцій зближує розрахункові та фактичні значення їх міцності і деформації, що дозволяє отримувати рішення, які забезпечують надійність, безпеку і економічність в експлуатації.

Запропоновано практичні рекомендації, що враховують вплив значущих факторів на міцність і деформації позацентрово стиснутого бетону.

Результати досліджень за дисертаційною роботою впроваджено:

- у конструкторську практику Центра НТТМ з архітектури та будівництва Академії будівництва України під час виконання перевірних розрахунків про можливість додаткового навантаження існуючих залізобетонних конструкцій каркасних споруд екстракційного цеху і котельної при їх реконструкції з метою забезпечення модернізації технологічного устаткування;

- у практику проектування будівництва і реконструкції цивільних і промислових каркасних споруд із залізобетонних конструкцій проектною організацією ТОВ "Адепт - Проект".

**Особистий внесок здобувача полягає в :**

- аналізі літературних джерел і визначенні впливових факторів на опір і деформування одновісно і позацентрово стиснутих бетонних елементів та сформульовані в публікаціях [2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13] основні завдання досліджень;

- розроблено методику комплексних досліджень однорідно і неоднорідно

стиснутих бетонних коротких елементів із "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного навантаження. Проведено експериментальні, теоретичні роботи і аналіз отриманих результатів;

- вивчено вплив значущих факторів, у тому числі розмірів  $r = [(b \cdot h)/(b+h)^2]$  і висоти ( $h$ ) перерізу, величини ексцентриситету, режиму навантаження на міцність і деформації однорідно і неоднорідно стиснутого бетону, що відображено у працях [2, 3, 4, 5, 9, 10, 12];

- досліджено закономірності субмікро-, мікро- і макроруйнування при осьовому і позацентровому стиску цементного каменю і бетону з реалізацією у працях [4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14] повних діаграм деформування, які характеризують властивості матеріалу і коректно відображають фізичні процеси інтенсивності розвитку деструкцій із зростанням навантаження;

- запропоновано у працях [5, 7, 8, 9, 10, 12, 13 ] аналітичні вирази опису повних діаграм  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  і  $N_e/N_{cu,e} - \varepsilon_{cx,e}$  одновісно і позацентрово стиснутих коротких бетонних елементів, які засвідчують про розвиток процесу деструкцій однорідно і неоднорідно стиснутого бетону згідно з критеріями, які відображають характер зміни поперечних ( $\varepsilon_{cy}$ ), поздовжніх ( $\varepsilon_{cx}$ ) і об'ємних ( $\theta_c$ ) деформацій; коефіцієнта Пуассона ( $\nu_{c,e}$ ); часу поширення ультразвуку ( $\Delta t; f_{crc}^o; f_{crc}^*$ ); коефіцієнта інтенсивності розвитку деструкцій бетону  $K_D$  на різних рівнях статичних випробувань коротких бетонних елементів з "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного статичного навантаження.

Всі основні наукові положення, результати, висновки і рекомендації дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно.

Постановка завдань, аналіз і трактування результатів здійснювалась спільно з науковим керівником.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на науково-теоретичних та науково-практичних міжнародних конференціях, зокрема на: науково-практичній конференції "Енергозбереження в міському будівництві та житлово-комунальній сфері" (м. Одеса, 2011р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Енергозберігаючі технології в міському будівництві та господарстві" (м. Одеса, 2012р.); III і IV міжнародних конференціях "Актуальні проблеми інженерної механіки" (м. Одеса, 2016 і 2017 р.р.) та II міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» ( м. Одеса, 2017р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 15 наукових працях, зокрема: в 7 публікаціях у спеціалізованих фахових виданнях України, 2 статті в періодичному закордонному виданні і одна у виданні, що індексується наукометричною базою *Index Copernicus*.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається із: анотації, вступу; чотирьох розділів; висновків; списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації 259 сторінок, з них основного тексту – 136 сторінок. Дисертація також включає анотації на 17 аркушах, 28 малюнках, 11 таблицях, список літератури на 20 аркушах, який містить 188 найменувань літературних джерел та чотири додатки на 47 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету і завдання роботи, вивчено шляхи вирішення поставлених завдань, викладено суть результатів, встановлено їх наукову новизну і практичну цінність.

У першому розділі проаналізовано теоретичні й експериментальні дослідження НДС одновісно і позацентрово стиснутих коротких бетонних і залізобетонних колон. Результати аналізу свідчать, що до сьогодні ще немає єдиної концепції, достовірно відображаючої специфіку роботи позацентрово стиснутого бетону із врахуванням впливу таких факторів як пружно-пластичні властивості бетону; його мікро- макроструктура і міцність; розміри і висота перетинів; ексцентриситет і режим навантаження на загальні закономірності опору неоднорідно стисненого бетону в процесі його навантаження.

Теоретичними й експериментальними дослідженнями цих питань у різноманітних обсягах і в різних програмах займалися: В.М. Байков, А.Я. Барашиков, А.М. Бамбура, В.Я. Бачинський, Є.М. Бабиш, О.Я. Берг, В.М. Бондаренко, Д.І. Безушко, П. І. Васильєв, П. Ф. Вахненко, О. О. Гвоздєв, Б.Г. Гнидець, О. Б. Голишев, С.В. Горбатов, Ю.П. Гуша, В.В. Дегтярьов, В.Б. Дзюба, В.С. Дорофєєв, Ю.В. Зайцев, О. С. Залєсов, М. І. Карпенко, Є. В. Клименко, С. Ф. Клованич, Г.Л. Лєкішвілі, Л.Л. Лєрмиш, Р.Л. Маїлян, Т.І. Мамєдов, М.Г. Матков, К.О. Мальцов, В.П. Митрофанов, В.Л. Мєдинський, В. В. Михайлов, Т. А. Мухамєдєв, В. Г. Назаренко, О. М. Павлїков, В.О. Пахомов, І.Є. Прокопович, Б.Я. Рискїнд, С.І. Роговий, В.М. Ромашко, Л. І. Стороженко, К. Є. Таль, М. С. Торяник, І. О. Узун, Г. О. Фєнко, М.М. Холмянський, Г.Д. Цїскрелї, В.П. Чайка, Є.А. Чистяков, Є.М. Щєрбаков, О.В. Яшин, В.Є. Ящук, Н. Cowan, R.H. Evans, H. Hadley, E. Hognestad, CHR. Rasch, H. Rusch, K. Sakino, Y. Sun, A. Wells, F. Wittman та ін.

Виконані дослідження засвідчують, що досягнути структурної подібності бетонних зразків практично неможливо. Геометричне моделювання реальних конструкцій не забезпечує їх повну механїчну схожїсть. Дослїди показують, що рїзномасштабнї моделї конструкцій мають суттєво вїдмїннї властивостї, якї особливо позначаються на мїцностї і деформацїях бетону в умовах неоднорїдно напруженого стану. Дослїди А.М. Бамбури, В.Я. Бачинського, О.Я. Берга, П.І. Васильєва, О. О. Гвоздєва, Ю.О. Гагарїна, В.В. Дегтярьова, М. І. Карпенко, О.К. Караваєва, Х. Кїнга, Г.Л. Лєкішвілі, Л.П. Макаренко, К.О. Мальцова, І.О. Узун, Г.Д. Цїскрелї, В.П. Чайки, О.В. Яшина, В.Є. Ящука та ін. свїдчать, що при неоднорїдному стиску вїдношення  $N_{cu,e}/f_c \cdot A_c$  і  $\epsilon_{ck,e}$  не є постїйними величинами, а суттєво залежними вїд багатьох значущих факторів і, передусїм, вїд градієнта деформацїї. Наприклад, при позацентровому стисненнї бетонних елементів з  $e_o = 0 \dots h/6$ , дослїди В.В. Дегтярева, Г.Л. Лєкішвілі, І.О. Узун, Г.Д. Цїскрелї, В.Є. Ящука, величина  $N_{cu,e}/f_c \cdot A_c$  змїнюється у дїапазонї вїд 0,65 до 1,0 при змїнї  $h$  перерїзу призматичних зразків вїд 100 см до 5 см.

Дослїдженнями І.М. Ахвердова, О.Є. Дьосова, В.Б. Дзюби, О.П. Квїрїкадзе, Г.Л. Лєкішвілі, Г.М. Писанко, Н.В. Свєчїна, В.І. Ситнїка, І.О. Узун,



Г.Д. Ціскрелі, М.Р. Чермяніна та ін. для умов осьового стиснення встановлено і теоретично обґрунтовано, що вплив зміни геометричних розмірів перерізу на міцність, максимальні  $\varepsilon_{clx,e}$  і граничні  $\varepsilon_{culx,e}$  деформації є величиною інтегральною, що залежить від великого числа технологічних і методологічних факторів, значущих для конкретних умов, спроможних визивати зміну міцності однорідно стиснутого бетону в екстремальних випадках до 35...40%. З цієї причини для отримання коректних порівнюваних експериментальних параметрів, які характеризують роботу однорідно і неоднорідно стиснутого бетону заплановано випробовуванням коротких бетонних зразків-близнюків з "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного статичного навантаження.

При позацентровому стиску багато питань про закономірності опору і деформування неоднорідно стиснутого бетону, про характер залежності від впливу розмірів і висоти перерізу та їх фізичну природу лишаються відкритими і потребують вирішення із врахуванням комплексу значущих факторів.

Виводи В.Я. Бачинського, В.О. Белікова, О.Я. Берга, В.В. Дегтярьова, О.І. Заїкіна, Ю.О. Іванова, Г.Л. Лекішвілі, Л.І. Оніщика, В.М. Першакова, К.В. Петрової, Г.М. Писанко, К.Є.Талія, І.О. Узуна, В.П. Чайки, В.Є. Ящука та ін., які досліджували позацентрово стиснуті та зігнуті елементи із різних видів бетону показують, що експериментальні значення несучої спроможності можуть суттєво відрізнятися від теоретичних величин, розрахованих згідно з методикою БНІП та ДБН при прямокутній формі епюри напружень із  $\sigma_c = f_c$ . При цьому в залежності від величини ексцентриситету і міцності бетону розбіжність між результатами розрахунку і дослідом можуть досягати 25...37% не в запас міцності. Аналіз експериментальних даних про специфіку деформування неоднорідно стиснутого бетону свідчить про неправомірність розповсюдження на нього гіпотези одновісності роботи волокон бетону під час оцінки НДС. Особливо виразно ця невідповідність проявляється у зразках з різними висотами перерізу при ексцентриситетах, близьких до ядрового.

Враховуючи багатфакторність вивчаємого явища, програмою досліджень передбачено експериментально дослідити кількісні та якісні впливи недостатньо вивчених значущих чинників (міцності бетону, ексцентриситета прикладання навантаження, розмірів і висоти перерізу та ін.) на загальні закономірності опору бетону при неоднорідному стиску з "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного навантаження.

На основі огляду літературних джерел і проведеного аналізу стану питання сформульовано мету і завдання досліджень.

**У другому розділі** наведена методика експериментальних досліджень центрально і позацентрово стиснутих коротких бетонних колон з "м'яким" і "жорстким" режимами короткочасного навантаження, а також методика експериментального визначення максимальних  $\varepsilon_{clx,e}$  і граничних  $\varepsilon_{culx,e}$  деформацій при однорідному та неоднорідному стиску бетону.

Дослідження опору бетону при осьовому і позацентровому стиску з "м'яким" і "жорстким" режимами короткочасного навантаження виконано на

геометрично подібних бетонних зразках-призмах з висотою перерізу  $h = (10; 14; 15; 20; 40)$  см, шириною  $b = h/3 \approx (3,33; 5; 10; 6,67; 15; 13,7)$  см,  $l = (3...4) h$ . Розміри бетонних зразків-призм обумовлені умовним радіусом ( $r$ ) перерізу, як впливовим фактором на опір бетону одновісно стиснутих елементів, який дорівнює відношенню  $A_c$  перерізу до його периметру. Для експериментальних зразків  $r = (1,25; 1,67; 2,25; 2,5; 3,75; 5,1)$  см. Максимальні розміри зразків обумовлені силовими та геометричними параметрами лабораторного устаткування. Мінімальні розміри зразків обрано, виходячи із зерен крупного заповнювача ( $b \geq 3d_{кр.з}$ ). Зразки виготовлялись із важкого бетону міцністю на стиск базових кубів  $f_{c,cubes} = (30,0; 52,1 \text{ і } 86,3)$  МПа. Для кожного значення міцності виготовлено 7<sup>м</sup> типорозмірів зразків, які вміщували в середньому 8...18 зразків-близнюків.

Фізико-механічні характеристики ( $f_c$ ;  $\varepsilon_{clx}$  і  $E_{cm}$ ), а також залежність  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  при одновісному стиску визначені випробовуваннями призм кожного типорозміру згідно з методикою ДСТУ Б В.2.7-217:2009 з "м'яким" і "жорстким" режимом короточасного статичного навантаження. Для кожної серії (міцності) бетону виготовлено 34...40 кубів. Всього випробувано 102 куба та 262 призм - близнюків.

Тверднення бетону – повітряне. Після двох діб тужавлення бетону зразки розпалублювали і подальше їх зберігання здійснювалось під поліетиленовою плівкою при  $t^0 = 18...20^\circ\text{C}$  з відносною вологістю повітря  $\sim 100\%$ . Дослідні зразки випробовувались у віці 9...10 місяців (старий бетон). Виготовлення і випробовування зразків кожної серії за часом узгоджено так, що різниця в їхньому віці до моменту дослідження була мінімальною. Умови зберігання зразків дозволили знизити до мінімуму інтенсивність розвитку внутрішніх початкових напружень, що відобразилось на щільності експериментальних результатів.

Під час досліджень геометрично подібних зразків - призм видержано повну схожість методики випробування зразків (схем завантаження, умов і режимів передачі навантаження – ножовим та шаровим шарнірами та ін.), як при одновісному, так і при позацентровому стиску. Випробування здійснювали шляхом поступового (ступенями) навантаження зразків осьовим статичним навантаженням при однорідному стиску та позацентровим навантаженням з  $e_0 = h/12$  і  $h/6$  - при неоднорідному стиску з 5-хвилинною витримкою на кожній ступені. Одну частину зразків випробовували з "м'яким" режимом короточасного статичного навантаження без кондуктора, іншу частину - з пружним кондуктором при "жорсткому" режимі короточасного статичного навантаження, використовуючи спеціально виготовлені пристрої для закріплення індикаторів годинникового типу.

Приріст навантаження на кожній ступені при "м'якому" режимі короточасного стиску приймали близько  $0,1N_u$ , в рівнях до  $0,2 N_u$  і, після рівня  $0,75 N_u$  до  $0,9 N_u$  - зменшували удвічі, а в рівнях  $0,9 N_u \leq N_u$  – у чотири рази.

Випробовування в системі "випробовувальна машина, кондуктор – зразок, УКБ" із "жорстким" (аналог  $V_\varepsilon = const$ ) режимом короточасного навантаження

здійснювали аналогічно "м'якому" режиму, за винятком, навантаження в рівнях  $0,9 N_u \leq N_u \leq 0,7 N_u$ , де величину навантаження приймали  $0,025N_u$ ,  $0,0125N_u$ ,  $0,00625N_u$ ,  $0,003125N_u$  і т. п., здійснюючи контроль розвитку деструкцій у структурі бетону за інтенсивністю мерехтіння синусоїди по УКБ-1М.

Поздовжні і поперечні деформації бетону дослідних зразків вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу і тензорезисторів опору. Характер процесу тріщиноутворення в бетонних зразках контролювали за зміною поширення ультразвукових коливань через бетон в поперечному напрямку і за показанням тензодатчиків опору.

Аналіз і обробка експериментальних даних, побудова й оцінка аналітичних залежностей базуються на методах математичної статистики.

У **третьому розділі** дисертації наведені результати експериментальних досліджень деформування одноісно і позацентрово стиснутого бетону при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного статичного навантаження, які дозволили установити зв'язок між максимальними деформаціями  $\varepsilon_{clx,e}$  неоднорідно стиснутого бетону і  $\varepsilon_{clx}$  однорідно стиснутим, та висунути пропозиції щодо визначення  $\varepsilon_{clx,e}$  із урахуванням значущих факторів.

Узагальнення експериментальних даних деформування одноісно стиснутого бетону із літературних джерел і результати досліджень автора дозволили встановити характерний для цього випадку вид функції  $\sigma_c(\varepsilon_{cx})$ . Враховуючи феноменологічні вимоги до залежності  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  (при  $\sigma_c = 0$ ,  $d\sigma_c/d\varepsilon_{cx} = E_{cm}$  та при  $\sigma_c = f_c$ ,  $d\sigma_c/d\varepsilon_{cx} = 0$ ), рівняння дотичного модуля деформації при стандартному короткочасному стиску (подібно навантаженню бетону з  $V_N = const$ ) прийнято у вигляді

$$E_c^k = d\sigma_c/d\varepsilon_c = E_{cm} [1 - \sigma_c/f_c]^{1-n}, \quad (1)$$

де  $E_{cm}$  – початковий модуль деформації. Залежність  $E_c^k(\sigma_c/f_c)$  у вигляді (1) при навантаженні бетону із  $V_N = const$  і  $V_\varepsilon = const$  та дані досліджень автора з аналогічним режимом навантаження дозволяють установити характерний для цього напруженого стану вид функцій, які достовірно оцінюють зв'язок  $\sigma_c(\varepsilon_{cx})$ . Рішенням диференційного рівняння (1) при початкових умовах ( $\sigma_c = 0$  і  $\varepsilon_c = 0$ ) для  $n \neq 1$  і незначного його корегування одержано зручні для практичного використання аналітичні залежності  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$ , які описують експериментальні повні діаграми на висхідних та низхідних ділянках

$$\varepsilon_{cx} = \varepsilon_{clx} \cdot [1 \mp (1 - \sigma_c/f_c)^n], \quad (2)$$

$$\sigma_c = f_c \cdot [1 - (1 - \varepsilon_{cx}/\varepsilon_{clx})^{1/n}], \quad (3)$$

$$\text{або} \quad \sigma_c = \varepsilon_{clx} \cdot [1 \mp (1 - \sigma_c/f_c)^n] \cdot \nu_c \cdot E_{cm}. \quad (4)$$

Фізичне значення безрозмірної характеристики ( $n$ ) розкривається:  $n = f_c / E_c \cdot \varepsilon_{clx} = v_{cu}$ , де  $v_{cu}$  - максимальний коефіцієнт пружності важкого бетону при осьовому стиску.  $v_c \cdot E_{cm} = E_c^{sek} = \sigma_c / \varepsilon_{clx} \cdot [1 \mp (1 - \sigma_c / f_c)^{v_{cu}}]$  - січний модуль деформації. Знак (-) використовується на висхідних ділянках діаграм  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$ , а знак (+) - на низхідних ділянках діаграм.

Аналітичні вирази (2...3) ідентичні за видом виразів, запропонованих Сен-Венаном, Нормами США, Г.Г. Соломенцовим (при  $v_{cu} = 0,5$ ) достовірно описують дослідні  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  на всіх рівнях напружень. Перевірка адекватності виразів (2)...(4) за критерієм Фішера для досліджених міцностей бетону показала, що вони достовірні при 5% рівні значущості. Дослідження впливу розмірів перерізу бетонних зразків-близнюків при осьовому навантаженні і аналіз літературних джерел дозволили установити закономірний зв'язок між  $\varepsilon_{clx}$ ,  $f_{c,m} / f_c$  і  $r$ , де  $f_{c,m}$  - міцність призм довільних розмірів, МПа;  $r$  - умовний (гідралічний) радіус перерізу  $r = (b \cdot h) / (b + h) \cdot 2$ , см. Дослідженнями однорідно стиснутого важкого бетону серій А, В, С відповідно, призмовою міцністю в діапазоні  $f_{c15} = 22,2; 39,1; 65,6$  МПа, визначено зв'язок між основними характеристиками  $f_c$ ,  $\varepsilon_{clx}$ ,  $E_{cm}$  і  $v_{cu}$ , які входять у залежності (1)...(4):

$$f_{c,m} / f_c = (4,25 + r) / (3,5 + 1,2 \cdot r), \quad (5) \quad E_{cm} = (74000 \cdot f_c) / (24 + f_c), \quad (6)$$

$$\varepsilon_{clx} = f_{c,m} / (E_{cm} \cdot v_c), \quad (7) \quad v_{cu} = (19 + f_c) / (102 + 0,4 \cdot f_c), \quad (8)$$

$$v_c = (v_{cu} \cdot \sigma_c / f_c) / [1 \mp [1 - \sigma_c / f_c]^{v_{cu}}]. \quad (9)$$

Граничні деформації  $\varepsilon_{culx}$  дослідженого діапазону міцності важкого бетону в рівні навантаження  $N_u > 0,8 N_u$  визначаються із використанням залежностей (2)...(9), які достатньо добре узгоджуються з експериментальними. Мінливість граничних деформацій  $\varepsilon_{culx}$  однорідно стиснутого важкого бетону досліджених серій А, В, С міцності складає  $C^* v_{\varepsilon_{culx}} = 3 \dots 7\%$ .

Неоднорідно стиснутий бетон вносить суттєві зміни у зв'язок між  $\sigma_{c,e}$  і  $\varepsilon_{clx,e}$ . Максимальні  $\varepsilon_{clx,e}$  і граничні  $\varepsilon_{culx,e}$  деформації найбільш навантаженої грані поцентрово стиснутих коротких бетонних елементів із "м'яким і "жорстким" режимами короточасного статичного навантаження відносно більше  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$  одновісно стиснутих зразків-близнюків і, не є величиною постійною для досліджених серій міцності бетону, а значно залежать від висоти  $h$  перерізу,  $e_o / h$  і  $f_c$  бетону. Величини максимальних  $\varepsilon_{clx,e}$  і граничних  $\varepsilon_{culx,e}$  деформацій неоднорідно навантажених зразків з малими висотами  $h$  перерізів і  $e_o = h/6$  значно (в 1,2...1,5 рази) перевищують відповідні  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$  одновісно стиснутих елементів. Зі збільшенням міцності  $f_c$  бетону і  $h$  поцентрово

стиснутих зразків, деформації  $\varepsilon_{clx,e}$  і  $\varepsilon_{culx,e}$  зменшуються, асимптотично наближуючись до  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$ .

Результати досліджень, а також аналіз даних інших авторів показують, що надмірна над максимальною осьовою деформація найбільш стиснутого волокна  $\varepsilon_{clx,e}$  при позацентровому навантаженні може бути визначена виразом у вигляді

$$\varepsilon_{clx,e} = \varepsilon_{clx}(r) \cdot \gamma_{\varepsilon} \quad (10)$$

де  $\gamma_{\varepsilon}$  - коефіцієнт умов деформування неоднорідно стиснутого важкого бетону, який залежить від  $e_o$ ,  $h$  і міцності  $f_c$  бетону, виражений через пружну характеристику – максимальний коефіцієнт пружності ( $\nu_{cu}$ ). Залежність  $\gamma_{\varepsilon}$  ( $h$ ,  $e_o$ ,  $\nu_{cu}$ ) для досліджених серій важкого бетону при "м'якому" і "жорсткому" режимах короточасного статичного навантаження описується гіперболічним виразом

$$\gamma_{\varepsilon} = 1 + (e_o/h)^2 \cdot (1/\nu_{cu}^n) \cdot [338 (1/4 - e_o/h) - 832 (1/18 - (e_o/h)^2)] \quad (11)$$

Дослідні результати добре узгоджуються з розрахованими за (10). Перевірка адекватності виразів (10) і (11) за критерієм Фішера показала, що вони достовірні при 5% рівні значущості. Середня відносна помилка апроксимації виразів (10) і (11) для досліджених серій важкого бетону складає  $\dot{\varepsilon} = 4,45\%$ .

Збільшення об'єму стиснутої зони позацентрово навантажених бетонних елементів з  $e_o = h/6$  у 3 рази при постійній висоті перерізу незначно (до 8,9%) знижує  $\varepsilon_{clx,e}$  і  $\varepsilon_{culx,e}$ . Досліди підтверджують прийнятність гіпотези Бернуллі на усіх рівнях навантаження.

Експериментально визначено закономірну відмінність величин  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx,e}$  та залежність  $\varepsilon_{culx,e}$  від  $h$  дає підставу прийняти для розрахункового деформованого перерізу позацентрово стиснутих бетонних елементів у граничному стані трикутну епюру деформацій із змінною  $\varepsilon_{clx,e}$  ( $\varepsilon_{culx,e}$ ) найбільш напруженої грані, які в свою чергу залежать від  $h$  перерізу колон,  $e_o$  і  $f_c$  та інших значущих факторів.

Аналіз і обробка експериментальних даних дозволили запропонувати обґрунтовані з використанням методів математичної статистики, аналітичні залежності (2)...(11) визначення  $\varepsilon_{clx,e}$  із врахуванням значущих факторів.

**У четвертому розділі** виконано аналіз дослідних даних деформування однорідно і неоднорідно стиснутого бетону та напружено-деформованого стану перерізів геометрично подібних позацентрово стиснутих коротких бетонних елементів, котрий дозволив виявити причину, яка визиває збільшення міцності і деформування неоднорідно стиснутого бетону та обґрунтувати модель НДС перерізів позацентрово навантажених бетонних елементів і запропонувати рекомендації щодо розрахунків їх міцності і деформації.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що відносна несуча спроможність  $k_1 = N_{u,e} / f_c(r) \cdot A_c$ , а також  $\epsilon_{clx,e}$  і  $\epsilon_{culx,e}$  позациентрово стиснутих елементів із важкого бетону при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного навантаження значно залежать від величини  $e_0/h$  і розмірів перетину -  $h$  (рис. 1 і 2). Так при  $e_0 = h/6$  і  $h = 10$ см  $N_{u,e} / f_c(r) \cdot A_c = 0,88$ , а зі збільшенням  $h$  до 40см  $k_1 = 0,65$ , тобто зменшується в 1,35 рази, а максимальні  $\epsilon_{clx,e}$  і граничні  $\epsilon_{culx,e}$  зменшуються відповідно в 1,37 і 1,47 рази.

Діючі ДБН, які не враховують вплив геометричних розмірів зразків, рекомендують приймати для  $e_0/h = 1/6$   $k_1 = N_{u,e} / f_c(r) \cdot A_c = 0,67$ .

Дослідами встановлено, що максимальні  $\epsilon_{clx,e}$  і граничні  $\epsilon_{culx,e}$  при позациентровому  $e_0 = h/6$  стиску бетонних елементів з малими висотами  $h$  із важкого бетону досліджених серій міцності перевищують відповідні  $\epsilon_{clx}$  і  $\epsilon_{culx}$  однорідно стиснутих бетонних зразків-близнюків в 1,2...1,5 рази і значно залежать від  $h$  перетину елемента,  $e_0/h$  і  $f_c$ . Зі збільшенням  $f_c$  бетону і  $h$  перерізу позациентрово стиснутих зразків деформації  $\epsilon_{clx,e}$  і  $\epsilon_{culx,e}$  зменшуються, асимптотично, наближаючись до  $\epsilon_{clx}$  і  $\epsilon_{culx}$ .

Дослідженнями з'ясовано, що поперечні деформації  $\epsilon_{cy}$  однорідно стиснутого важкого бетону в залежності від його міцності в 1,2...1,85 рази перевищують розвиток поперечних  $\epsilon_{cy,e}$  найбільш навантаженої грані позациентрово стиснутих зразків з  $e_0 = h/6$  при рівній повздовжній відносній деформації одноісно і позациентрово стиснутих бетонних зразків – близнюків. Діючі ДБН регламентують збільшення повздовжніх відносних максимальних деформацій  $\epsilon_{clx}$  однорідно стиснутого бетону із зростанням його міцності, не враховуючи вплив таких важливих факторів, як  $r$ ,  $e_0/h$  і  $h$ . Ці обставини підтверджують необхідність врахування впливу значущих чинників  $f_c$ ,  $r$ ,  $e_0/h$  і  $h$  при розрахунку позациентрово стиснутих бетонних елементів.

Залежність  $N_{u,e} / N_u(h)$ , також як і функція  $\epsilon_{culx,e}(h)$ , - гіперболічна. Вона апроксимована виразом, аналогічним використовуваному в опорі пружних матеріалів

$$N_{u,e} = N_u \cdot \gamma_{fc} / (1 + 6e_0/h) , \quad (12)$$

де  $N_u$  - міцність однорідно стиснутого бетонного елемента відповідних розмірів ( $N_u = f_{c,M} \cdot A_c$ ) з "м'яким" і "жорстким" режимами короткочасного статичного навантаження;  $\gamma_{fc}$  - коефіцієнт умов роботи неоднорідно стиснутого бетону, характер зміни якого досліджувався на позациентрово стиснутих бетонних елементах зі зміною  $e_0$  у діапазоні  $0 \dots h/6$ . Залежність  $\gamma_{fc}(h, e_0)$  для досліджених серій міцності важкого бетону апроксимовано виразом

$$\gamma_{fc} = [(84 - 172 \cdot e_0/h) \cdot e_0/h + \sqrt{h}] / [(52 - 126 \cdot e_0/h) \cdot e_0/h + \sqrt{h}] , \quad (13)$$

Із зростанням висоти  $h$  перерізу позациентрово стиснутих бетонних елементів коефіцієнт  $\gamma_{fc}$  зменшується, наближаючись до одиниці. Перевірка

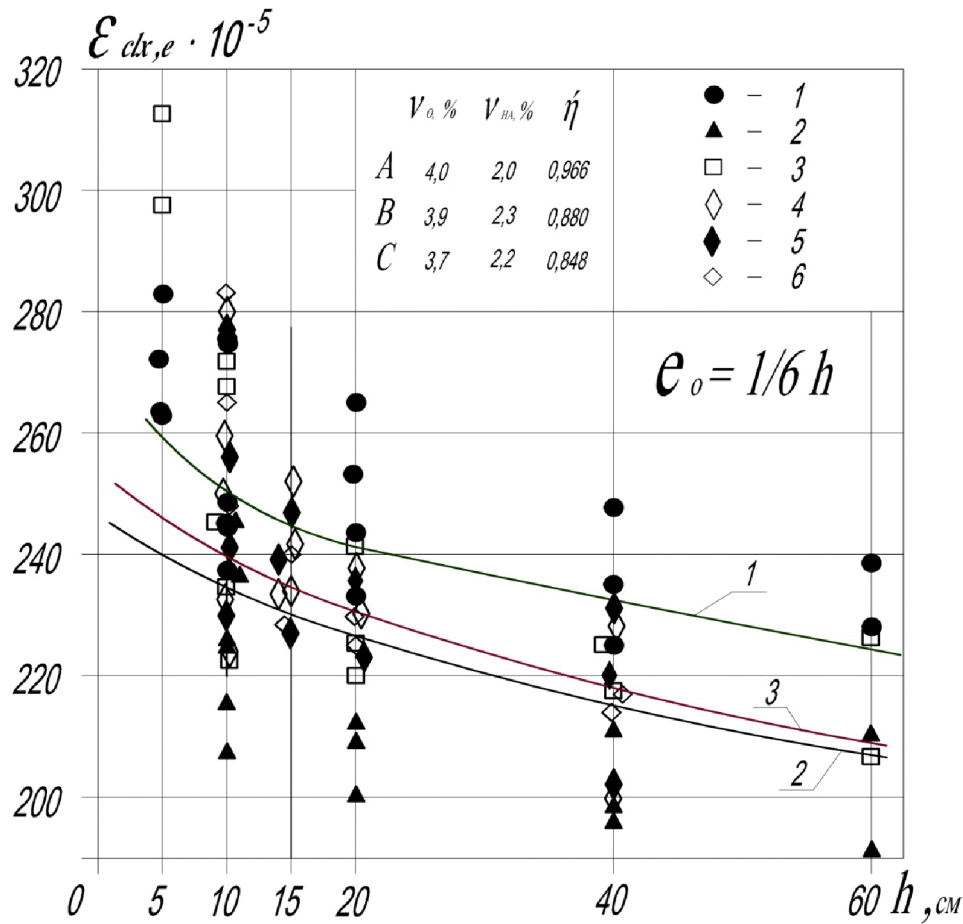


Рис. 1. Залежність  $\mathcal{E}_{clx,e}$  важкого бетону від  $h$ ,  $e_o$  і  $f_c$  при "м'якому" і "жорсткому" режимах короточасного навантаження; 1, 2, 3 – криві по (10) для зразків серій А, В і С; ●, ▲, □ - досліді В. Є. Ящука; ◇, ◆, ◇ - дослідження автора, зразки міцністю важкого бетону  $f_{c15} = 22,2...65,6$  МПа

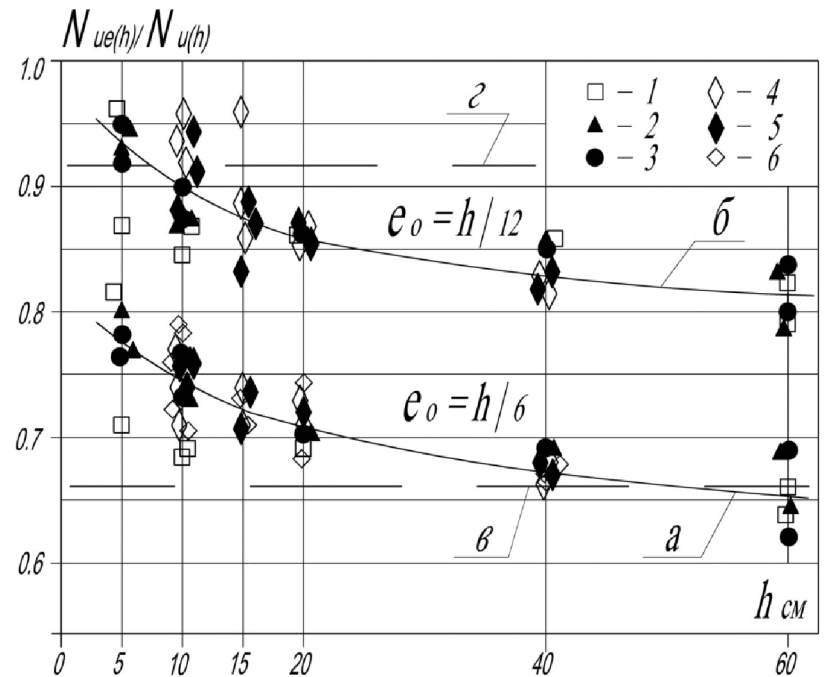


Рис. 2. Залежність відносної несучої здатності  $N_{ue(h)}/N_u(h)$  від  $h$ ,  $e_o$  при позацифровому навантаженні бетонних зразків із важкого бетону серій А, В, С; 1, 2, 3 - призматичні зразки із важкого бетону міцністю  $f_c = 17,4...62,0$  МПа, досліді В.Є. Ящука; 4; 5; 6 - дослідження автора; — а, б - криві по (12); — в, г - дані по ДБН В.2.6.- 98: 98:2009

адекватності формули (12) за Фішером показала, що вона адекватно описує експериментальні результати при 5-ному рівні значущості.

Експериментальні дослідження характеру залежності  $f_{c,m}/f_c(r)$ ,  $\varepsilon_{clx}(r)$ ,  $\varepsilon_{culx}(r)$ ,  $N_{u,e}/f_{c,m} \cdot A_c(h)$ ,  $\varepsilon_{clx,e}(h)$  і  $\varepsilon_{culx,e}(h)$ , результати досліджень О.В. Караваєва, П.Г. Кургана, І.О.Узуна, В.Є. Яшука та ін. показують, що на несучу здатність, максимальні і граничні деформації суттєвий вплив здійснює висота перерізу позацентрово стиснутих і зігнутих елементів при інших рівних умовах (однаковому  $e_0/h$ ,  $f_c$ , режимі навантаження та ін. чинниках). Поясненню фізичної природи мінливості  $N_{u,e}/f_{c,m} \cdot A_c$ ,  $\varepsilon_{clx,e}$  від  $h$  одноставної думки немає, а інформація про залежність граничних  $\varepsilon_{culx,e}$  від  $h$ ,  $e_0$ ,  $f_c$  та ін. факторів, на жаль, відсутня.

На сьогодні, як правило, про характер розподілення напружень по перерізу при неоднорідно напруженому стані судять, на основі представлень теорії пружно-пластичних матеріалів. У дослідженнях останніх десятиліть деформації і, відповідно, напруження одновісно стиснутого бетону трансформують умовними співвідношеннями (коефіцієнтами) на неоднорідно стиснений бетон, які не відображають фізичні процеси його деформування, розвиток деструкції структури, зміну пружно-пластичних характеристик і руйнування із зростанням навантаження.

Виходячи із традиційної передумови про одновісність роботи волокон при неоднорідному стиску бетону, перевірено умови рівноваги внутрішніх і зовнішніх сил у геометрично подібних позацентрово стиснутих елементах досліджених серій міцності бетону і величини  $e_0$  навантаження. Зіставлення зовнішніх і внутрішніх зусиль при позацентровому стиску (останні визначались непрямим методом – по повним діаграмам  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  одновісно стиснутого бетону) показують їх розходження, яке збільшується із зростанням навантаження. Особливо значною ця невідповідність стає після того, як деформації найбільш навантажених волокон позацентрово стиснутих елементів перевищують максимальні  $\varepsilon_{clx}$  і граничні  $\varepsilon_{culx}$  осьові, тобто тоді, коли на рекомендованій епюрі напружень неоднорідно стиснутого бетону повинна з'явитися низхідна ділянка. У випадку, коли внутрішнє зусилля у зразку (об'єм теоретичної епюри напружень, визначений без врахування низхідної гілки діаграми  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$ ) виявляється суттєво (15...17%) меншим зовнішнього (показання пресу). Врахування низхідної гілки повної діаграми  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  збільшує діапазон цієї невідповідності до 25...35%. Обставини, виявлені у процесі досліджень неоднорідно напруженого бетону, ставлять під сумнів правомірність постулату про одновісність роботи його волокон у випадках градієнтних епюр напружень. До числа виявлених принципових особливостей деформування досліджених серій міцності важкого бетону можливо віднести такі:

- дослідями визначено, що максимальні  $\varepsilon_{clx,e}$  і граничні  $\varepsilon_{culx,e}$  деформації позацентрово навантажених зразків з малими висотами перетину  $h$  і  $e_0 = h/6$  перевищують відповідні  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$  однорідно стиснутих зразків-близнюків у



1,2...1,5 рази. Зі збільшенням  $h$  і  $f_c$  бетону позацентрово стиснутих зразків деформації  $\varepsilon_{clx,e}$  і  $\varepsilon_{culx,e}$  зменшуються, асимптотично наближаючись до  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$ ;

- дослідями встановлено, що поперечні деформації  $\varepsilon_{cy}$  однорідно стиснутого важкого бетону в залежності від його міцності  $f_c$  у 1,2... 1,85 рази перевищує розвиток поперечної  $\varepsilon_{cy,e}$  найбільш навантаженої грані позацентрово стиснутих зразків з  $e_0 = h/6$  при рівній повздовжній відносній  $\varepsilon_{cx}$  однорідно і  $\varepsilon_{cx,e}$  неоднорідно стиснутих бетонних зразків-близнюків;

- порівняльний аналіз розвитку деструкцій у структурі однорідно і неоднорідно стиснутому бетони із зростанням навантаження за зміною в ньому часу розповсюдження ультразвуку (рис. 3, (3)) показав, що рівень розташування і величина параметричних точок  $f_{crc}^o$ ,  $f_{crc}$  і  $f_{crc}^y$ , також залежать від виду напруженого стану. Нижня границя мікроруйнування  $f_{crc}^o$  і точка  $f_{crc}$  перетину кривою  $\Delta t(\varepsilon_{cx})$  вісі ординат менш напружених фібр (відповідно, як і центрально стиснутого бетону) по висоті перетину позацентрово стиснутих елементів знаходяться значно нижче  $f_{crc,e}^o$  і  $f_{crc,e}$  крайніх більш навантажених волокон позацентрово стиснутих зразків-близнюків. Відмічене перевищення таким же чином зростає зі збільшенням  $e_0$ ;

- дослідями також встановлено, що коефіцієнти поперечної деформації  $\nu_{c,e}$  менш навантажених волокон (фібр) по висоті перерізу бетонних елементів (рис. 3,4) при поздовжній деформації  $\varepsilon_{cx} \approx 40 \cdot 10^{-5}$  (аналогічно як осьові  $\nu_c$ ) на 15... 25% перевищують  $\nu_{c,e1}$  найбільш навантаженої грані позацентрово стиснутих бетонних зразків-близнюків. Зі збільшенням рівня навантаження, при  $\varepsilon_{cx} \approx 160 \dots 180 \cdot 10^{-5}$ , перевищення  $\nu_c$  і  $\nu_{c,e}$  над  $\nu_{c,e1}$  збільшується в 1,2...1,85 рази. Зростання міцності важкого бетону в діапазоні досліджених серій зменшує відзначене перевищення  $\nu_c$  і  $\nu_{c,e}$  над  $\nu_{c,e1}$  до величини 1,42 рази;

- повні діаграми залежності  $N_{c,e}/N_{cu,e} - K_{D,e}$  інтенсивності розвитку деструкцій (де  $K_{D,e} = 1 - \nu_{c,e}$ ) в структурі неоднорідно стиснутого бетону по висоті перерізу в процесі його навантаження показують, що діаграми зміни  $K_{D,e(5-6)}$  і  $K_{D,e(9-10)}$  менш навантажених волокон (аналогічно як осьові  $K_D$ ) суттєво перевищують  $K_{D,e1}$  найбільш навантаженої грані позацентрово стиснутих ( $e_0 = h/6$ ) бетонних зразків-близнюків (рис. 3,(5)). Наприклад, коефіцієнти інтенсивності розвитку деструкцій структури бетону волокон по висоті перерізу елемента  $K_{D,e(5-6)}$  і  $K_{D,e(9-10)}$  у рівнях навантаження  $N_{c,e}/N_{cu,e} = 0,25 < 1 > 0,8$  значно більші  $K_{D,e1}$  більш навантаженої грані.

Експериментально спостерігаємо явище можливе в тому випадку, якщо при неоднорідному стиску бетон працює не окремими "волокнами", а всім перерізом. Включення в роботу менш навантажених волокон по висоті стиснутої зони позацентрово навантажених елементів в умовах градієнтної епюри деформацій визиває у крайніх волокнах складний напружено-

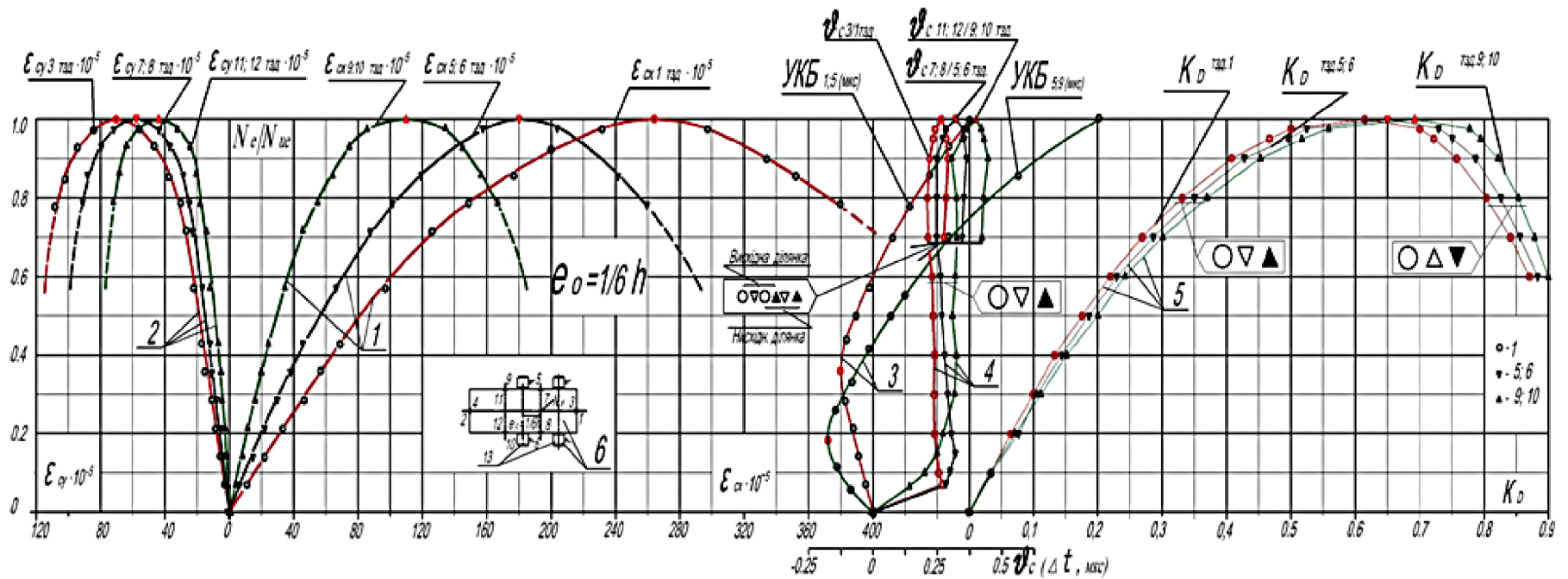


Рис. 3. Графіки, що характеризують інтенсивність розвитку деструкцій у структурі позациентрово стиснутого бетону зразків шостої групи типорозмірів із важкого бетону серії В з  $e_o = h/6$  при "жорсткому" режимі навантаження за даними зміни поздовжніх  $\epsilon_{cx}$  і поперечних  $\epsilon_{cy}$  деформацій; швидкості (часу)  $\Delta t$  поширення крізь бетон імпульсів ультразвуку; зміни коефіцієнту Пуассона  $\nu_{c,e}$  і коефіцієнту деструкцій  $K_{D,e}$  у структурі бетону із зростанням рівня навантаження -  $N_{c,e}/N_{cu,e}$ ; 1; 2 – повні діаграми  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  -  $\epsilon_{cx,e}$  і  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  -  $\epsilon_{cy,e}$  при позациентровому стиску бетонних елементів; 3 – час поширення імпульсів ультразвуку крізь неоднорідно стиснутий бетон: найбільш стиснутого волокна- фібри 1-5 і між фібрами 5-9; 4 – зміна  $\nu_{c,e}$  по висоті перерізу позациентрово стиснутого елемента із зростанням рівня навантаження  $N_{c,e}/N_{cu,e}$ ; 5 – зміна по висоті перерізу коефіцієнту інтенсивності розвитку деструкцій ( $K_{D,e}$ ) у волокнах фібр (тзд. 1; 5-6; 9-10) по перетину колон із зростанням рівня навантаження -  $N_{c,e}/N_{cu,e}$ ; 6 – схема розташування тензодатчиків (1-12) і п'єзоелементів (щупів 13)

деформований стан, який суттєво впливає на їх міцність і деформації. Цей ефект є наслідком реакції на напружено-деформований стан позацентрово навантажених бетонних елементів в умовах градієнтної епюри деформацій і виникнення в перерізі дослідного зразка складних процесів від інтегрального опору на стиск та розтяг силових зв'язків між атомами, молекулами, кристалами, зернами цементного каменю (матриці) та дрібних і крупних заповнювачів, включаючи різного виду і розмірів дефекти в об'ємах на нано-, субмікро-, мікро- і макрорівнях, сумарна взаємодія яких відображається характерним напруженим станом сусідніх волокон по висоті перерізу бетонного зразка із відповідними характеристиками, включаючи коефіцієнти поперечної деформації  $\nu_{c,e}$  та інтенсивності розвитку деструкцій  $K_{D,e}$ . Характерна зміна коефіцієнтів  $\nu_{c,e}$  та  $K_{D,e}$  з перерозподілом їх із найбільш навантаженої грані позацентрово стиснутих бетонних елементів на менш навантажені волокна по висоті перерізу віддзеркалює процес зміни внутрішнього напруженого стану із зростанням зовнішнього навантаження. Ефект перерозподілу напружень у волокнах по висоті перерізу неоднорідно стиснутих бетонних елементів (непряме їх відображення коефіцієнтами  $\nu_{c,e}$  і  $K_{D,e}$ ) усуває можливість депланації поздовжніх перерізів і, стримуючи поперечні деформації найбільш напружених шарів бетону, визиває зростання їх міцності. Аналогічне явище спостерігається в однорідно стиснутих елементах із побічним армуванням, яке перешкоджає розвитку поперечних деформацій бетону і тим самим суттєво збільшує його міцність і поздовжні деформації.

Виконані дослідження дають підставу стверджувати, що при неоднорідному стиску зв'язок між напруженнями і деформаціями інший, ніж при однорідному навантаженні. Одночасно, аналіз результатів виконаних досліджень і, враховуючи єдність природи деформування важкого бетону, свідчать, що діаграми "навантаження – деформації" позацентрово стиснутих бетонних елементів добре описуються аналітичними виразами (14)... (16), аналогічними зв'язку між  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  осьового стиску (2) ... (4)

$$\varepsilon_{cx,e} = \varepsilon_{clx,e} \cdot [1 \mp (1 - N_e/N_{ue})^{\nu_{cu,e}}], \quad (14)$$

$$N_e = N_{ue} \cdot [1 - (1 - \varepsilon_{cx,e}/\varepsilon_{clx,e})^{1/\nu_{cu,e}}], \quad (15)$$

$$\text{або} \quad \sigma_{c,e} = \varepsilon_{clx,e} \cdot [1 \mp (1 - N_e/N_{ue})^{\nu_{cu,e}}] \cdot \nu_{c,e} \cdot E_c, \quad (16)$$

де в залежностях (14...16)  $\nu_{cu,e}$  – граничний коефіцієнт пружності неоднорідно стиснутого бетону, який уточнюється з використанням максимальних  $\varepsilon_{clx,e}$  за формулою (17)

$$\nu_{cu,e} = \sigma_{cu,e} / \varepsilon_{clx,e} \cdot E_c, \quad (17)$$

де  $\sigma_{cu,e}$  – напруження неоднорідно стиснутого бетону найбільш навантаженої грані визначаються за формулами опору матеріалів при  $e_o = h/6$  -  $\sigma_{cu,e} = 2 \cdot N_{ue} / A_c$ , МПа і при  $e_o = h/12$  -  $\sigma_{cu,e} = 1,5 \cdot N_{ue} / A_c$ , МПа. Перевірка адекватності

формул (14)... (17) за Фішером для досліджених серій міцності важкого бетону показала, що вони адекватно описують результати експерименту при 5% рівні значущості.

Вирази (2...4) і (14...16) відображають діалектичну єдність зв'язку між зусиллями і деформаціями бетону, що працює в умовах однорідного і неоднорідного напруженого стану.

На підставі аналізу експериментальних результатів НДС позациентрово стиснутих бетонних стрижнів представляється раціональним за розрахункову епюру напружень стиснутої зони неоднорідно навантажених бетонних елементів (з  $l/h \leq 8$ ) прийняти лінійну із граничним крайовим напруженням ( $f_{c,e} = \sigma_{c,e}$ ), залежним від висоти ( $h$ ) перерізу елемента, величини ексцентриситету ( $e_o$ ) і міцності ( $f_c$ ) важкого бетону. Між  $\sigma_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$  по висоті перерізу зразку приймається лінійна залежність, одночасно із зростанням рівня навантаження деформації ростуть швидше, ніж напруження, тобто залежність  $\sigma_{c,e} (\epsilon_{cx,e})$  зберігається нелінійною.

До такого ж висновку дійшли дослідники ВНІГ ім. Б.Є. Веденєєва, які запропонували розрахунки міцності позациентрово стиснутих бетонних елементів гідротехнічних споруд (СП 41.13330.2012) здійснювати у пружній стадії з використанням лінійної епюри із граничним крайовим напруженням  $f_{c,e} = 1,3 f_c$ .

Така форма епюри стискаючих напружень узгоджується з висновками статистичної теорії крихкої міцності і думкою низки дослідників. Вона дозволяє використовувати відомий аналітичний апарат теорії опору пружних матеріалів, усуває практично всі протиріччя між дослідом і теорією, і тому має незаперечні переваги перед розрахунковою прямокутною епюрою із крайовою напругою  $f_c$ .

Крайові деформації бетону найбільш напруженої грані позациентрово стиснутих бетонних елементів для необхідних рівнів навантаження визначаються через максимальні  $\epsilon_{clx,e}$  і граничні  $N_{ue}$  за формулами (10 і 12).

Прийнятність гіпотези плоских перерізів для позациентрово стиснутих бетонних елементів дозволяє визначати зв'язок між позациентрово прикладеним навантаженням і деформацією любого волокна по висоті перерізу стиснутої зони за формулами (14...16).

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що максимальні  $\epsilon_{clx,e}$  і граничні  $\epsilon_{culx,e}$  при позациентровому ( $e_o = 0...h/6$ ) стиску бетонних елементів із малими висотами перерізу  $h$  із важкого бетону дослідженого діапазону міцностей ( $f_{c,15} = 22,2...65,6$  МПа) перевищують відповідні  $\epsilon_{clx}$  і  $\epsilon_{culx}$  одновісно стиснутих зразків-близнюків в 1,2 ... 1,5 рази і значно залежать від  $h$  перерізу елемента,  $e_o/h$  і  $f_c$  бетону, а поперечні деформації  $\epsilon_{cy}$  одновісно стиснутого важкого бетону досліджуваної міцності в 1,2... 1,85 рази перевищують поперечні  $\epsilon_{cy,e}$  найбільш навантаженої

грані позацентрово ( $e_o = h/6$ ) стиснутих зразків із "м'яким" і "жорстким" режимом короткочасного статичного навантаження при рівній поздовжній відносній деформації. Із збільшенням  $f_c$  бетону і  $h$  позацентрово стиснутих елементів деформації  $\varepsilon_{clx,e}$  й  $\varepsilon_{culx,e}$  зменшуються, асимптотично наближаючись до  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$ .

2. Відзначено значний вплив розмірів ( $r$ ) і висоти ( $h$ ) перерізу дослідних зразків на міцність і деформації  $f_{c,m}/f_{c15}$ ,  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$  та  $f_c$  на  $E_c, v_{cu}$  одновісно стиснутого важкого бетону досліджених серій при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного навантаження, який апроксимовано аналітичними виразами (5)...(8). Неврахування впливу розмірів і висоти перерізу стиснутих елементів на міцність і деформації бетону призводить до суттєвої недооцінки чи переоцінки фактичної міцності і деформацій однорідно і неоднорідно стиснутих бетонних елементів, порівнюючи з рекомендаціями ДБН.

3. Встановлено, що інтенсивність розвитку деструкцій в однорідно стиснутому бетоні дослідженого діапазону міцностей значно вище ніж у неоднорідно навантаженому, що є одним із підтверджень неправомірності поширення на його волокна гіпотези одновісного напруженого стану. Запропоновано вирази залежності повних діаграм зв'язку  $E_c^{sek}, v_c, K_D$  із  $B_c/f_c$  одновісно і  $\varepsilon_{clx,e}$  ( $\varepsilon_{cy}, \theta_c, \vartheta_{c,e}, \Delta t_e$ ) та  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  ( $K_{D,e}$ ) позацентрово стиснутого бетону із зростанням рівня стиску при "жорсткому" режимі навантаження досліджених серій важкого бетону з використанням дослідних  $\varepsilon_{clx,e}; E_c; N_{c,e}/N_{cu,e}$  і  $v_{cu,e}$ , які відображають процес інтенсивності розвитку деструкцій на висхідних і низхідних гілках повних діаграм деформування бетону.

4. Запропоновано аналітичні (2)...(4) вирази повних діаграм  $B_c - \varepsilon_{cx}$  одновісно стиснутого бетону і вирази (14)...(16) повних діаграм  $N_{c,e}/N_{cu,e} - \varepsilon_{cx,e}$  позацентрово стиснутого бетону з "м'яким" і "жорстким" режимами навантаження, які відображають діалектичну єдність природи зв'язку між навантаженнями і деформаціями бетону в умовах однорідного і неоднорідного напружених станів. Запропоновані вирази повних діаграм забезпечують високу узгодженість із результатами дослідів як на висхідних гілках діаграм  $B_c/f_c - \varepsilon_{cx}$ , так і на низхідних гілках. Встановлено характер зміни величин  $\varepsilon_{clx}$  і  $\varepsilon_{culx}$  однорідно і  $\varepsilon_{clx,e}$  та  $\varepsilon_{culx,e}$  неоднорідно стиснутого бетону в дослідженому діапазоні міцностей ( $f_c$ ) від впливу  $r, h, v_{cu}, e_o/h$  при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного статичного навантаження.

5. Встановлено, що дійсний напружений стан стиснутої зони неоднорідно навантажених елементів не відповідає розрахунковому. Вирахувані значення внутрішніх сил (об'єм епюр напружень) позацентрово стиснутих 1...7<sup>ої</sup> груп типорозмірів зразків у рівнях ( $0,75 \leq 1 \leq 0,8$ )  $N_e/N_{u,e}$  із використанням гіпотези одновісності роботи волокон матеріалу і низхідної гілки діаграми  $B_c - \varepsilon_{cx}$  значно (25...35%) менше дослідних (показань пресу).

6. Запропоновано розрахункову модель щодо характеру напружено-деформованого стану перерізів позацентрово ( $e_o = 0 \dots h/6$ ) стиснутих бетонних

елементів із використанням аналітичних виразів (14)...(16) зв'язку  $B_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$  та урахуванням впливу значущих чинників при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного статичного навантаження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях України, науковому періодичному виданні іншої держави, та у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

1. Совгира В.В. Значимые факторы, влияющие на деформирование мелкозернистого бетона / Совгира В.Н., Совгира В.В., Совгира Р.В. // Вісник ОДАБА: – Одеса, 2005. - Вип.18. – С.249-255. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне дослідження впливу значущих факторів на процес деформування одновісно стиснутого дрібнозернистого бетону).*

2. Совгира В.В. Деформирование неоднородно сжатого конструкционного керамзитобетона / В.Н. Совгира, В.В. Совгира // Вісник ОДАБА: – Одеса, 2006. - Вип. 21 . – С. 239-245. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне дослідження впливу значущих факторів на процес деформування позацентрально стиснутого керамзитобетону).*

3. Совгира В.В. О прочности и деформациях внецентренно сжатого конструкционного керамзитобетона/Совгира В.Н., Совгира В.В., Совгира Р.В. // Вісник ОДАБА:– Одеса, 2006. - Вип.23.- С. 306 – 314. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне дослідження міцності та деформування позацентрально стиснутого конструкційного керамзитобетону).*

4. Совгира В.В. О упруго-пластических характеристиках бетона при одноосном и внецентренном сжатии/ В.Н. Совгира, В.В. Совгира // Вісник ОДАБА:– Одеса, 2008. - Вип.№31.- С.337- 347. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне і теоретичне дослідження пружно-пластичних характеристик одновісно та позацентрально стиснутого бетону).*

5. Совгира В.В. К вопросу об аналитическом описании диаграммы деформирования бетона / Совгира В.Н., Кобринец В.М., Совгира В.В. // Вісник ОДАБА: – Одеса, 2008.- Вип. №32.- С.289-297. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне і теоретичне дослідження деформування одновісно та позацентрально стиснутого бетону).*

6. Совгира В.В. Три стадии внецентренно сжатых бетонных элементов/ Дорофеев В.С., Кобринец В.М., Заволока Ю.В., Совгира В.В. // Вісник ОДАБА: – Одеса, 2012. - Вип. №46. - С. 86-95. *(Особистий внесок здобувача: теоретичне обґрунтування напружено-деформованого стану позацентрально стиснутих бетонних елементів (зокрема колон)).*

7. Совгира В.В. Процесс разрушения одноосно сжатого бетона/ Мишутин А.В., Кобринец В.М., Совгира В.В. // Вісник ОДАБА: - Одеса, 2014. - Вип. № 55 .- С.185- 197. *(Особистий внесок здобувача: експериментальне обґрунтування процесу розвитку деструкцій структури одновісно стиснутого бетону).*

8. Совгира В.В. Реологическая модель деформирования и разрушения

одноосно сжатого бетона на основе полных равновесных диаграмм его упруго-пластических характеристик/В.В. Совгира//Вісник ОДАБА:- Одеса, 2016. - Вип. № 62.- С.233- 239. (*Індексується базою Index Copernicus*).

9. Совгира В.В. Полные равновесные диаграммы деформирования одноосно сжатого и растянутого бетона/В.В. Совгира//Проблемы современного бетона и железобетона: сб. научн. трудов / Ин-т БелНИИС. – Минск, 2016. - Вып. 8. - С.270-289.

10. Совгира В.В. Полные диаграммы деформирования неоднородно сжатого бетона при внецентренном нагружении коротких бетонных колонн / Совгира В.В., Совгира В.Н. // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. научн. трудов / Ин-т БелНИИС. – Минск, 2017. - Вып. 9. - С. 436 - 454. (*Особистий внесок здобувача: теоретичне і експериментальне обґрунтування процесу деформування неоднорідно стиснутого важкого бетону*).

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації :*

11. Совгира В.В. Деформирование неоднородно сжатого бетона / Совгира В.В., Довбищук С.А., Бурмистр Д.В. // Збірник доповідей науково-практичної конференції. Енергозбереження у міському будівництві та житлово-комунальній сфері, - Одеса.: ОДАБА, 2011. - С.95-98. (*Особистий внесок здобувача: експериментальне дослідження деформування позацентрово стиснутого бетону*).

12. Совгира В.В. Развитие деструкций в центрально и внецентренно сжатом бетоне/В.М. Кобринец, В.В. Совгира // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві. – Одеса.: ОДАБА, 2012. - С. 104 -107. (*Особистий внесок здобувача:експериментальне дослідження відмінності розвитку процесу деструкцій структури в одноісно та позацентрово стиснутих бетонах*).

13. Совгира В.В. Процесс деформирования и разрушения одноосно сжатого бетона на основе полных равновесных диаграмм/ В.В. Совгира // Тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. «Актуальные проблемы инженерной механики» - ОГАСА. – Одесса, 2016.- С.196-201.

14. Совгира В.В. Развитие деструкций внецентренно сжатого бетона на основе полных диаграмм / В.М. Кобринец, В.В. Совгира // Актуальні проблеми інженерної механіки. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Одеса. Видавництво. -«Екологія», 2017. - С.132-136. (*Особистий внесок здобувача: експериментальне дослідження процесу розвитку деструкцій структури неоднорідно стиснутого бетону позацентрово навантажених бетонних елементів*).

15. Совгира В.В. Прочность и деформации неоднородно сжатого тяжелого бетона каркасных производственных зданий и сооружений на стадии реконструкции / В.В. Совгира // Тези доповідей II Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд». – м. Одеса: ОДАБА, 2017. - С.127-130.

**Совгира В.В. Напружено - деформований стан та несуча здатність позацентрово стиснутих коротких бетонних колон. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 „Будівельні конструкції, будівлі та споруди“. Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2018.

Дисертаційна робота містить результати комплексних досліджень кількісного впливу недостатньо вивчених факторів (міцності бетону, його пружно-в'язких властивостей, абсолютних розмірів і висоти перерізу зразків, ексцентриситету навантаження, об'єму стиснутої зони, режимів стискання та ін.) на загальні закономірності опору важкого бетону при осьовому і позацентровому стиску з "м'яким" і "жорстким" режимами короткочасного статичного навантаження.

Встановлено суттєвий вплив розмірів ( $r$ ) і висоти ( $h$ ) перерізу бетонних зразків-близнюків, величини  $e_o$ , режиму навантаження на міцність ( $f_{c,m}/f_{c15}$ ) і деформації ( $\epsilon_{clx}$ ,  $\epsilon_{culx}$ ) при центральному та  $B_{c,e}$ ,  $N_{cu,e}$ ,  $\epsilon_{clx,e}$ ,  $\epsilon_{culx,e}$  при позацентровому стиску.

Запропоновані аналітичні залежності повних діаграм  $B_c - \epsilon_{cx}$  однорідно стиснутого і вирази повних діаграм  $B_{c,e} - \epsilon_{cx,e}$ ,  $N_{c,e}/N_{cu,e} - \epsilon_{cx,e}$  неоднорідно стиснутого бетону, а також вирази залежності повних діаграм зв'язку  $E_c^{sek}$ ,  $V_c$ ,  $K_D$  ( $B_c/f_c$ ) одновісно та  $\epsilon_{clx,e}$  ( $\epsilon_{cy}$ ,  $\theta_c$ ,  $\vartheta_{c,e}$ ,  $\Delta t$ ) і  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  ( $K_{D,e}$ ) позацентрово стиснутого бетону при "м'якому" і "жорсткому" режимах короткочасного навантаження, які відображають процес інтенсивності розвитку деструкцій структури бетону на висхідних та низхідних гілках повних діаграм деформування бетону.

**Ключові слова:** осьовий і позацентровий стиск, інтенсивність деструкції структури, деформації бетону, повні діаграми деформування, модулі пружності, режими навантаження.

## АННОТАЦИЯ

**Совгира В.В. Напряженно – деформированное состояние и несущая способность внецентренно сжатых коротких бетонных колонн. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения". Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2018.

Диссертационная работа содержит результаты комплексных исследований количественного влияния недостаточно изученных факторов (прочности бетона, его упруго-вязких свойств, абсолютных размеров и высоты сечения образцов, эксцентриситета нагрузки, объема сжатой зоны, режимов нагружения



и др.) на общие закономерности сопротивления тяжелого бетона при осевом и внецентренном сжатии с "мягким" и "жестким" режимами кратковременного статического нагружения.

Определено существенное влияние размеров ( $r$ ) и  $h$  сечения бетонных образцов-близнецов, величины  $e_o$ , режима нагружения на прочность ( $f_{c,m}/f_{c15}$ ) и деформации ( $\varepsilon_{clx}$ ,  $\varepsilon_{culx}$ ) при центральном и  $\bar{B}_{c,e}$ ,  $N_{cu,e}$ ,  $\varepsilon_{clx,e}$ ,  $\varepsilon_{culx,e}$  при внецентренном сжатии.

Предложены аналитические зависимости полных диаграмм  $\bar{B}_c - \varepsilon_{cx}$  однородно сжатого и выражения полных диаграмм  $\bar{B}_{c,e} - \varepsilon_{cx,e}$ ,  $N_{c,e}/N_{cu,e} - \varepsilon_{cx,e}$  неоднородно сжатого бетона, а также выражения зависимости полных диаграмм связи  $E_c^{sek}$ ,  $\nu_c$ ,  $K_D(\bar{B}_c/f_c)$  одноосно и  $\varepsilon_{clx,e}(\varepsilon_{cy}, \theta_c, \vartheta_{c,e}, \Delta t)$  и  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  ( $K_{D,e}$ ) внецентренно сжатого бетона при „мягком” и „жестком” режиме нагружения, отражающие процесс интенсивности развития деструкций структуры бетона на восходящих и нисходящих ветвях полных диаграмм деформирования бетона.

**Ключевые слова:** осевое и внецентренное сжатие, интенсивность деструкции структуры, деформации бетона, полные диаграммы деформирования, модули упругости, режимы нагрузки.

## ABSTRACT

**Sovgyra V.V. Stress-deformed state and bearing capacity of eccentrically compressed short concrete columns.-Qualification scientific work as manuscript.**

The thesis for obtaining a scientific degree of PhD (doctor of philosophy) by specialty 05.23.01 "Building constructions, buildings and structures". - Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2018.

Dissertational work contains the results of complex studies of the quantitative and qualitative influence of insufficiently studied factors (strength of concrete, its elastic-viscous properties, absolute dimensions and height of the sample cross section, load eccentricity, volume of the compressed zone, loading regimes, etc.) on general laws of resistance of heavy concrete at axial and eccentric compression with "soft" and "hard" modes of short-term static loading.

It was established by experiments that the maximum  $\varepsilon_{clx,e}$  and the limiting  $\varepsilon_{culx,e}$  with eccentric ( $e_o = h/6$ ) compression of concrete elements with small heights of section  $h$  from heavy concrete exceed the corresponding  $\varepsilon_{clx}$  and  $\varepsilon_{culx}$  of centrally compressed twin samples in 1,2 ... 1,5 times and substantially depend on  $h$  section of the element,  $e_o/h$  and  $f_c$  of concrete, and the transverse deformations  $\varepsilon_{cy}$  of the centrally compressed heavy concrete of the strength series under study are 1,2 ... 1,85 times higher than the transverse  $\varepsilon_{cy,e}$  of the most stressed face eccentrically compressed samples with "soft" and "hard" modes of short-term static loading at equal longitudinal deformation.

The essential influence of the sizes ( $r$ ) and  $h$  of the section of concrete twin samples, the value of  $e_o$ , the loading regime on the strength and deformation at the

central  $f_{c,M}/f_{c15}(r)$ ,  $\varepsilon_{clx}(r, f_c)$ ,  $\varepsilon_{culx}(r, f_c)$ ,  $E_c(f_c)$ ,  $v_{cu}(f_c)$  and  $\sigma_{c,e}(e_o, h, f_c)$ ,  $N_{cu,e}(e_o, h, f_c)$ ,  $\varepsilon_{clx,e}(e_o, h, f_c)$ ,  $\varepsilon_{culx,e}(e_o, h, f_c)$  eccentric compression.

Analytic dependences of the complete diagrams  $\sigma_c - \varepsilon_{cx}$  uniformly compressed, and the expression of the complete diagrams of the  $\sigma_{c,e} - \varepsilon_{cx,e}$ ,  $N_{c,e}/N_{cu,e} - \varepsilon_{cx,e}$  heterogeneously compressed concrete, and the expression for the complete diagrams of the connection  $E_c^{sek}$ ,  $v_c$ ,  $K_D(\sigma_c/f_c)$  are uniaxial and  $\varepsilon_{clx,e}(\varepsilon_{cy}, \theta_c, \vartheta_{c,e}, \Delta t)$  and  $N_{c,e}/N_{cu,e}(K_{D,e})$  of eccentrically compressed concrete with increasing load level under the "soft" and "hard" loading conditions of the investigated series of heavy concrete with using the experimental  $\varepsilon_{clx,e}$ ;  $E_c$ ;  $N_{c,e}/N_{cu,e}$  and  $v_{cu,e}$ , which reflect the process of intensity of development of destruction of the structure of concrete on the ascending and descending branches of complete deformations of concrete.

A refinement of the calculation of the load-bearing capacity and deformation of the loaded concrete elements homogeneously and nonuniformly ( $e_o = 0 \dots h/6$ ) using the recommended analytical expressions of the complete diagrams has been proposed (assuming the flat-section hypothesis is acceptable), predicting  $\sigma_{c,e}$  and  $\varepsilon_{cx,e}$  of any fiber by the height of the section of the compressed zone at the required loading level.

**Keywords:** axial and eccentric compression, intensity of structural destruction, concrete deformation, complete deformation diagrams, modulus of elasticity, load regimes.