

1.8 Циліндрична сталобетонна опора будівель та споруд нового типу

Зменшення матеріалоємності елементів та систем при будівництві будівель та споруд, в тому числі може бути досягнуто шляхом розробки, дослідження та впровадження нових ефективних різновидів конструкцій в цілому або їх окремих елементів. Так, останнім часом, при спорудженні опор будівель та споруд все частіше застосовуються сталобетонні несучі елементи (рис.1,а,б) [91, 92], до яких, в першу чергу, відносяться труобетони, а також різноманітні системи з непрямым армуванням – поперечним армуванням у вигляді радіальних кілець, хомутів, спіральної намотки тощо.

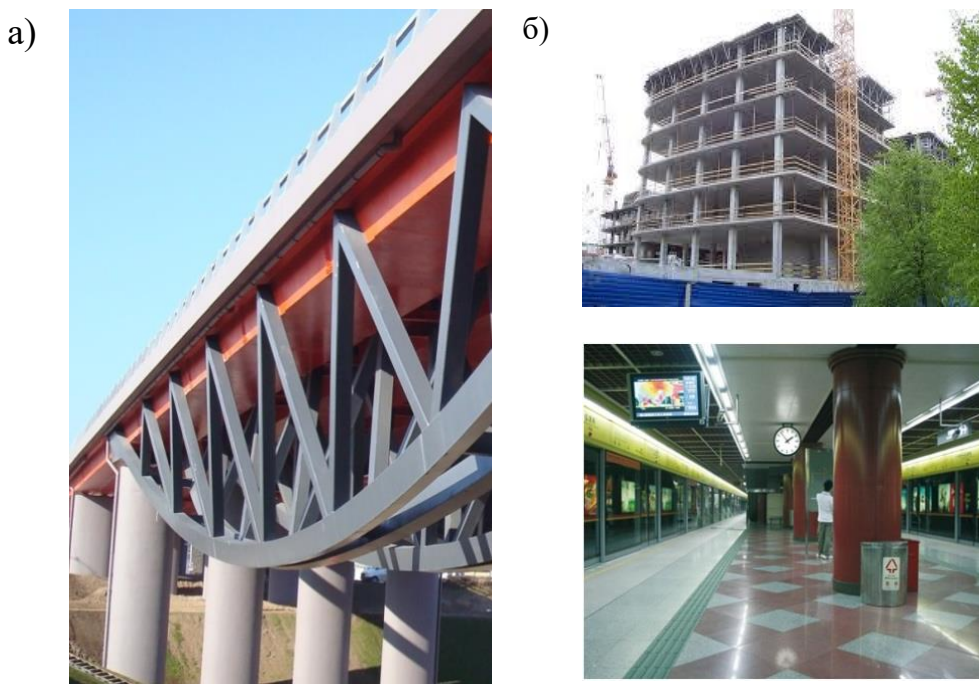


Рисунок 1. Конструктивні рішення сталобетонних циліндричних опор будівель та споруд

Відомо, що зовнішнє листове армування, у вигляді обойм, виконує одночасно силові, захисні та технологічні функції. Так, в сталобетонних несучих елементах опор будівель та споруд, присутність обойми, яка обмежує переміщення бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а бетон всередині оболонки-обойми, в свою чергу, збільшує її

стійкість. Вказана обставина є визначальною при спорудженні опор, що витримують високий рівень навантаження.

Відомі теоретичні та експериментальні дослідження сталебетонних циліндричних елементів з непрямым армуванням у вигляді спіральної обмотки, сіток, радіальних кілець тощо, що виконані наприклад М.М. Абрамовим, О.Ф. Виноградовою, В.І. Гнедовським, М. Консидером, В.П. Некрасовим, Р. Залигером, В.С. Шмуклером, M.S. Saiidi, N. Krishnamara, P. Li, P. Paultre, R. Eid, S.K. Kunnath, W.J. Yi, Y. C. Ou, B. Stojadinovic та інші; а також сталебетонних елементів, де в якості армування прийнята сталева труба. Цим дослідженням присвячені роботи: Р.В. Воронова, О.О. Гвоздєва, В.В. Дегтерьова, О.А. Долженко, Д.А. Єрмоленко, В.А. Катаєва, О.І. Кікіна, Ф.Є. Клименко, А.Л. Крішана, А.Ф. Ліпатова, Л.К. Лукши, І.Г. Людковського, О.В. Назарова, В.А. Росновського, Р.С. Санжаровського, М.Ф. Скворцова, Л.І. Стороженко, К.Л. Сурова, В.А. Труля, В.М. Фонова, Е.Д. Чихладзе., В.С. Шмуклера, Z.C. Girgin, S.C. Chun, S.H. Lee, B. Oh, A.Z. Fam, S.H. Rizkalla, H.M. Mohamed та інші.

Одно з перших застосувань у вітчизняному будівництві сталебетон отримав у конструкціях моста [93]. Ще в 1919 році при відновленні опор мосту через річку Дон М.М. Абрамовим було запропоновано реалізувати ідеї А. Консидера та В.П. Некрасова, тобто використовувати заповнені бетоном сталеві труби великого діаметру в якості опор.

Слід відмітити, що сталебетонні опори є достатньо оправданою альтернативою бетонним, залізобетонним та металевим. Зокрема, використання трубобетонних конструкцій дозволяє:

- ефективно задіяти низько міцний бетон;
- в 1,5-2 рази знизити витрату бетону, що в свою чергу в 1,8-3 рази знижує вагу конструкції;
- вдвічі знизити витрати праці у зв'язку з відсутністю арматурних, зварних робіт та робіт з установки та демонтажу опалубки.

Трубобетонні конструкції володіють всіма перевагами металевих

конструкцій в плані монтажу, відрізняючись при цьому більш високою вогнестійкістю, такі конструкції витримують значно більші навантаження, в порівнянні зі звичайними армованими опорами [94].

Ще одним із раціональних шляхів економії бетону та металу ї непряме армування [95]. Перші конструктиви, що були виконані з застосуванням непрямого армування, були представлені ще на початку минулого століття. Так, в 1900 році М. Консидер [93] запропонував конструктив з непрямым армуванням (рис.2,а) у вигляді спіральної обмотки, з метою створення бічного тиску, а М.М. Абрамов – зигзагоподібну арматуру між повздовжніми стрижнями. В 1907 році В.П. Некрасов рекомендував застосовувати дротяні сітки [95], а Р. Залигер – кільця-хомути (рис. 2,б) [95]. Саме роботи даних авторів та їх нащадків заклали основу для використання поперечного армування, тобто створення конструкцій, що працюють з ефектом обойми.

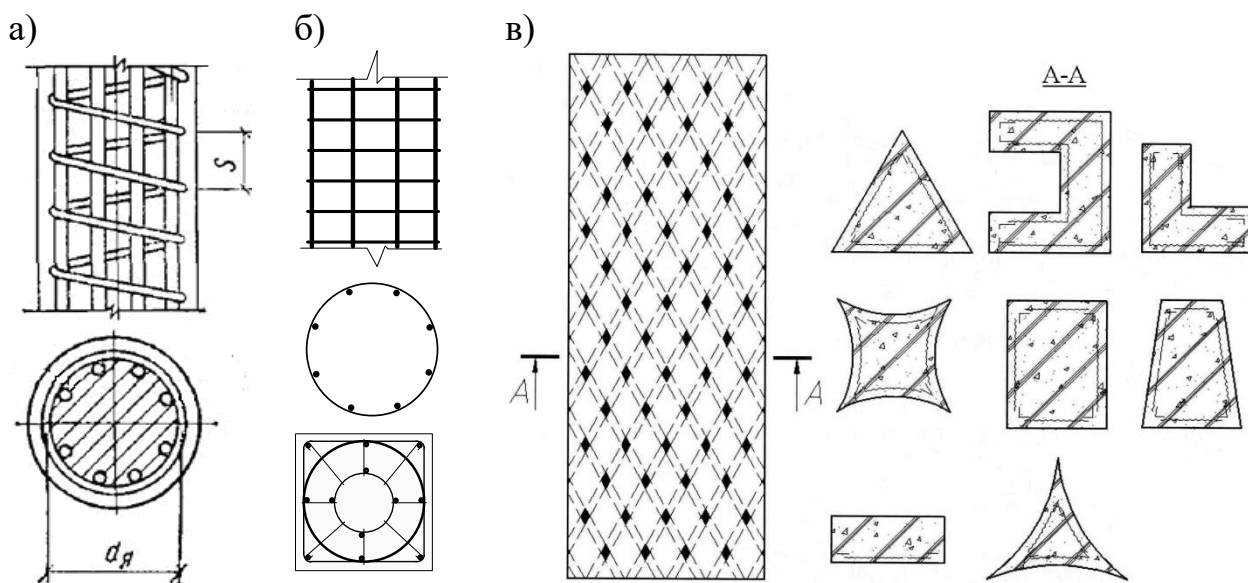


Рисунок 2. Деякі поперечні перерізи непрямого армування

Також дослідження непрямого армування у вигляді спірального армування, хомутів та радіальних кілець наводяться такими авторами, як W.J. Yi, P. Li, M.S. Saiidi, P. R. Paultre, N. Krishnamara, A. H. Varma, Y.-S. Chung, Y. C. Ou та інші.

Слід відмітити, що таке армування поряд з такими позитивними якостями,

як збільшення несучої здатності, економії металу та бетону, також має ряд недоліків – високу трудомісткість виготовлення конструкцій, а також більшу деформативність конструкцій в поздовжньому напрямку.

Конструктив нового типу з непрямым армуванням, у вигляді сітчастої обойми (рис. 2, в) виконаної з просіченого листа [96] був запропонований В.С. Шмуклером [97]. Однак відмітимо, що автором експериментально були досліджені тільки зразки балки, а в масиві запропонованих поперечних перетинів відсутній найбільш раціональний круглий поперечний переріз.

У зв'язку з чим запропоновано та розглянуто циліндричну сталевотонну опору нового конструктивного типу. Відмінністю від традиційних рішень є те, що в якості обойми використовується не суцільний, а просічений лист (рис.3).

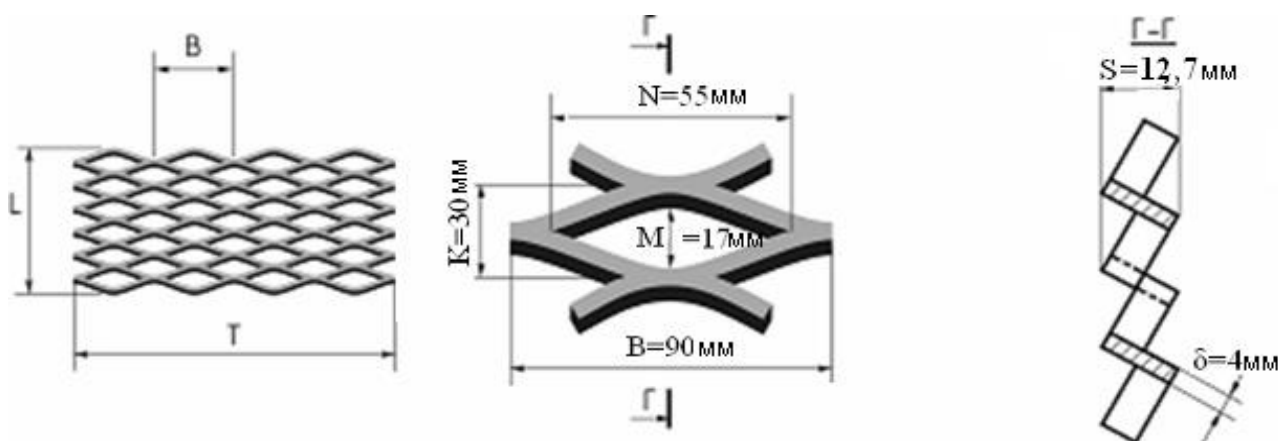


Рисунок 3. Основні геометричні характеристики просічено-витяжного листа

Просічено-витяжний лист представляє собою металеве полотно з рифленою по верхню та рівномірно розташованими на ній комірками, що утворюють рисунок луски.

Такий лист має цілий ряд переваг [97-99]. Це:

- безвідходна технологія його виробництва, що реалізується шляхом просікання та подальшим витягуванням ділянок суцільного листа-заготовки, що виконується на спеціальному пресі (детальне дотримання технології виготовлення дозволяє забезпечити задану величину жорсткостних характеристик);

- знижену, в порівнянні з суцільним листом, витрату матеріалу (в середньому просічено-втяжний лист є до 69% легше [100], по відношенню до суцільного листа металу аналогічних розмірів та товщини), при цьому зберігаються необхідні показники його міцності;
- поліпшене зчеплення листа з бетонним ядром, причому без створення спеціальних анкерів;
- збільшена корозійна та вогнева стійкість конструкції за рахунок наявності у неї захисного бетонного шару;
- можливість варіювання розмірами комірки листа, кутом нахилу її стінок, а також товщиною листа, що дає можливість надання конструкції раціональних характеристик (рис.3).

Згідно досліджень, що були проведені В.С. Шмуклером, при куті нахилу ребер решітки біля 5° в комірках утворюються бетонні клини, що збільшують здатність опору кільцевим переміщенням. При цьому куті нахилу зберігається максимальна згинальна жорсткість листа та має місце необхідний ефект обтиснення бетону в комірці [97, 101]. Крім того, виключається витиснення бетону з комірки до вичерпання несучої здатності листа.

На підставі вищевикладеного, детальніше розглянуто особливості конструкції сталобетонного елемента, що містить обойму у вигляді просіченого листа [98, 101]. Сталобетонний елемент (рис.4) містить зовнішню металеву оболонку, виконану з просіченого листа 1, що має ромбічну решітку, бетону ядро 2, зварний шов, або з'єднувальні стержні із зігнутого профілю (прокату або плоских листів). З'єднувальні стержні кріпляться до листів металевої оболонки за допомогою контактної зварки або іншими спеціальними засобами.

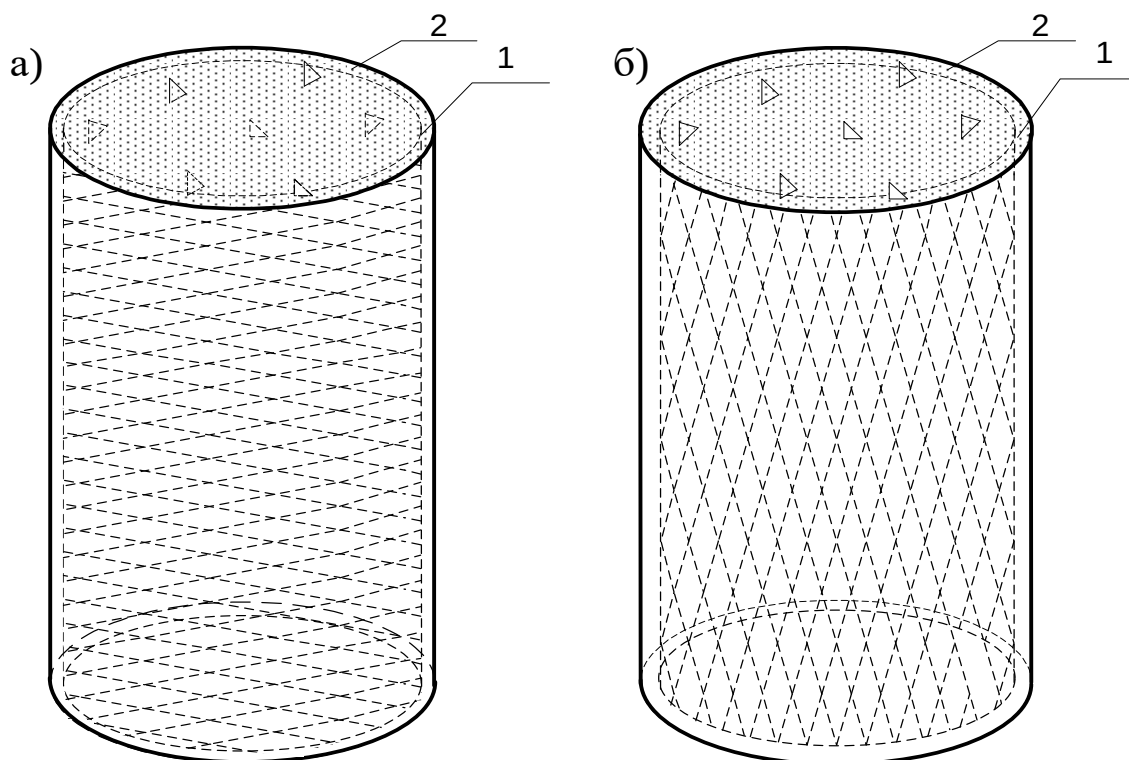


Рисунок 4. Сталобетонних несучій елемент з обоймою у вигляді просіченого листа: а – комірка поперек твірної; б – комірка вздовж твірної

Запропонована обойма нового типу являє собою композитний матеріал, де роль армування виконує просічено-витяжний лист (рис.5), виготовлений з суцільного сталевих листа заготовки за представленою вище технологією. Цим елемент, що розглядається кардинально відрізняється від зовнішньо подібних структур досліджених В.В. Васильєвим , В.Л. Бидерманом, В.Е. Вильдеманом, А.М. Єлпатьєвським, M.S. Saiidi, Y. C. Ou, Z. C. Girgin [102] та іншими, що утворені шляхом пошарової намотки сталевих ниток у вигляді сітки або спіралей.

Так як запропонована просічено-витяжна (сітчаста) обойма представляє собою композитний матеріал, особливістю якого є анізотропія, тобто присутня різна міцність та жорсткість в напрямках, що співпадають та не співпадають з напрямком армування [103, 104].

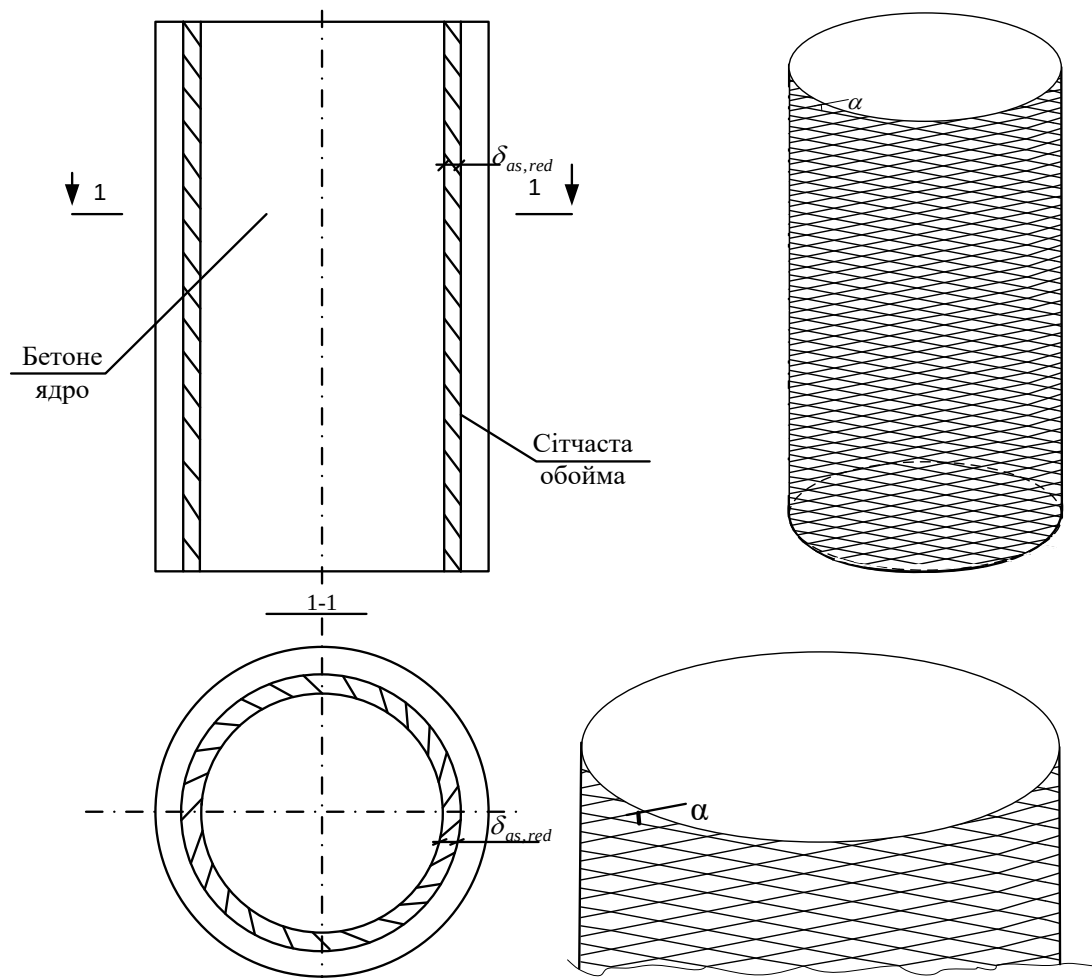


Рисунок 5. Визначення оптимального кута, що визначає напрямок комірок обойми, відносно твірної конструктиву

При формуванні моделі приймаються наступні параметри просічено-витяжного листа, що задаються вектором:

$$\{\bar{x}\}^T = \{\alpha, R_r, \delta, S, B, M, N, K, B\}, \quad (1)$$

де α – кут нахилу між твірними комірок просічено-витяжного листа;
 R_r – середній радіус обойми нового типу; δ – товщина листа заготовки;
 S – габаритна товщина листа; B – крок комірок по висоті;
 M – ширина комірки; N – висота комірки; K – крок комірок за шириною;
 B – ширина подачі комірок (ДСТУ 8706-78).

З усіх запропонованих параметрів найбільш інформативним та одночасно інтегруючим в собі решту параметрів є кут нахилу комірок просічено-витяжного листа. Тому, враховуючи складну структуру сітчастої обойми циліндричного сталобетонного несучого елемента, в першу чергу, встановлюється оптимальний кут нахилу комірок при якому деформування обойми буде викликати максимальне обтиснення бетонного ядра.

Так, в залежності від кута α в ході навантаження може мати місце три різновиди деформування [105] сталобетонного несучого циліндричного елемента (рис.6). З рисунка 6 бачимо, що для досягнення максимального обтиснення обоймою нового типу найбільш оптимальним є другий тип деформування (рис. 6, б).

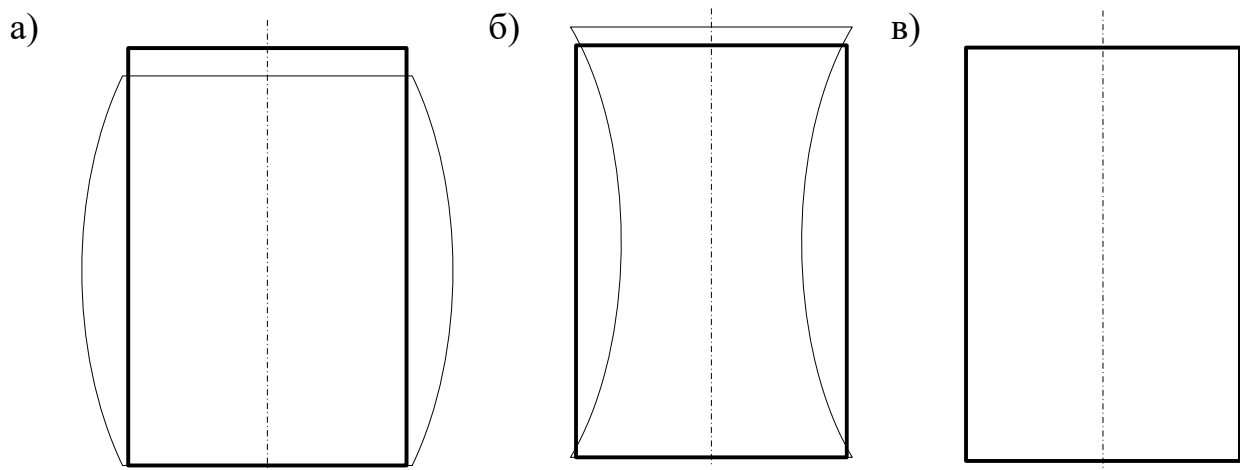


Рисунок 6. Схема деформування обойми:

а – перший вид деформування; б – другий вид деформування;

в – третій вид деформування

Для визначення оптимального кута нахилу, що забезпечує даний вид деформування, на основі рішення [105] та з умови того, що жорсткість ниток просіченого листа більше жорсткості бетонного ядра, вважається, що все зусилля сприймається нитками. Виділимо елемент з циліндра з розмірами $a(AB)$ та

$a \cdot \operatorname{tg} \beta(BC)$. В цьому випадку в перерізі AB та BC потрапляє однакова кількість ниток (рис.7).

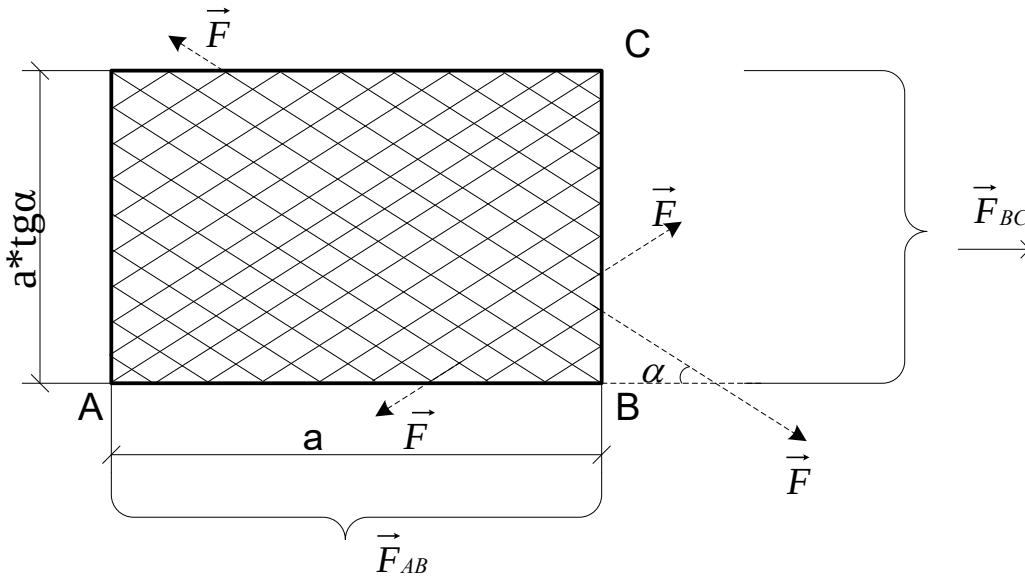


Рисунок 7. Виділений елемент циліндра

Позначаємо через F зусилля в нитці. Тоді рівнодіюча всіх сил в перерізі AB та BC буде дорівнювати відповідно:

$$F_{AB} = F \cdot n \cdot \sin \beta,$$

$$F_{BC} = F \cdot n \cdot \cos \beta,$$

де n – кількість ниток, що потрапили до перерізу AB .

Відомо, що при навантаженні циліндра внутрішнім тиском:

$$\frac{F_{BC}}{a \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 2 \frac{F_{AC}}{a},$$

де $\frac{F_{BC}}{a \cdot \operatorname{tg} \beta}$, $2 \frac{F_{AC}}{a}$ – відповідно середнє окружне та осьове напруження.

$$\text{Тоді } \frac{F \cdot n \cdot \cos \beta}{a \cdot \operatorname{tg} \beta} = 2 \frac{F \cdot n \cdot \sin \beta}{a},$$

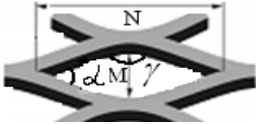
якщо вважати, що $F \cdot n \neq 0$; $a \neq 0$, тоді

$$\frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \beta} = 2 \sin \beta; \Rightarrow \operatorname{tg}^2 \beta = 0,5; \Rightarrow \beta = 35^\circ 16'.$$

Таким чином, при куті нахилу комірок $\beta = 35^{\circ}16'$ має місце раціональний, для обтиснення бетонного ядра, другий вид деформування, визначаючий горизонтальну орієнтацію комірок. Враховуючи, що $\alpha = 2\beta$, то $\alpha < 70^{\circ}32'$.

Результати визначених кутів нахилу комірок в повздовжньому та поперечному напрямках для просічено-витяжного листа, заданого ДСТУ 8706-78 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення кутів нахилу комірок просічено-витяжного листа

Позначення просічено-витяжного листа	Товщина листа заготовки, мм	Подача Б мм	Крок комірок В, мм	Габаритна товщина S, мм	Розмір просвіту комірки $M \times N$	$\alpha = 2\arctg \frac{M}{N}$	$\gamma = (180 - \alpha)^{\circ} = 2\arctg \frac{N}{M}$
							
406	4	6	90	12,7	17×53	34°21'	145°39'
506	5	6	110	13,0	23×58	43°15'	136°44'
508	5	8	110	16,8	20×50	43°36'	136°24'
510	5	10	110	20,5	16×67	26°51'	153°08'
606	6	6	125	13,4	17×64	29°45'	150°15'
608	6	8	125	17,1	25×70	39°18'	140°41'
610	6	10	125	20,8	15×64	26°23'	153°37'

З таблиці 1 бачимо, що оптимальним напрямком для максимального обтиснення бетонного ядра сітчастою обоймою є напрямок комірок поперек твірної сталевитонного циліндричного несучого елемента.

На підставі проведеного теоретичного розрахунку були проведені експериментальні дослідження зразків, зовнішнім діаметром 350 мм (ПВ350п), де обойма виконана з просічено-витяжного листа, та має зовнішній діаметр 325 мм з комірками, розташованими поперек напрямку твірної конструктиву (рис. 5). Дослідження передбачали навантаження осьовим та позакцентровим малоцикловим навантаженням до руйнування в послідовності, що представлена

на рисунку 8 [106-108].



Рисунок 8. Структурна схема та послідовність проведення серії експериментальних досліджень

Всі зразки даної серії, підготовлені до випробувань, при установці до пресу П-500 ретельно центрувались з віссю пресу та додатковими пристосуваннями для передачі запланованого навантаження (рис. 9, рис. 10).

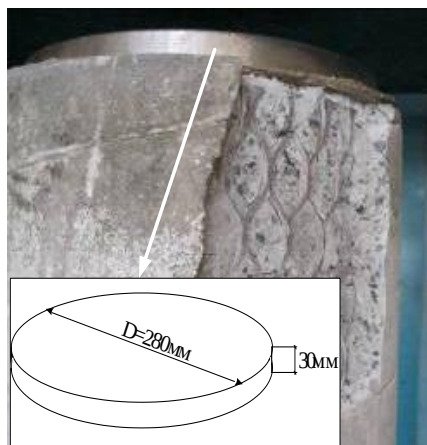


Рисунок 9. Додаткові пристрої для передачі зовнішнього навантаження тільки на бетонне ядро сталобетонного зразка

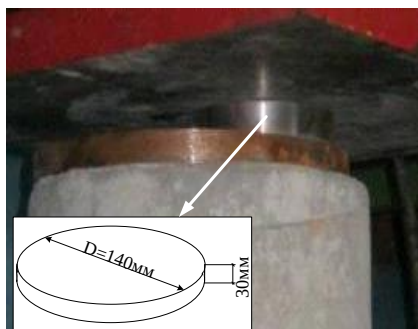


Рисунок 10. Сталеві опорні частини для осьового та позацентрового малоциклового навантаження сталобетонних зразків

Випробування при малоциклових завантаженнях проводились шляхом циклічного навантаження дослідного зразка від нуля до заданого рівня навантаження (включаючи стадію руйнування) з обумовленим кроком та наступним розвантаженням. Крок навантаження залежав від типу зразків та ексцентричності прикладення навантаження (рис. 11). Заміри за допомогою відповідної вимірювальної системи (рис. 12) виконувались двічі



Рисунок 11. Схема передачі циклічного навантаження при випробуваннях

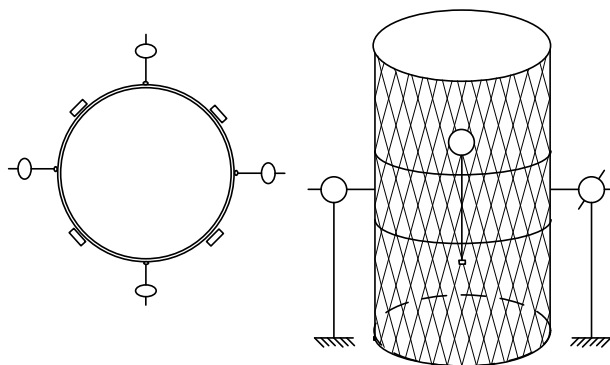


Рисунок 12. Схема установки індикаторів цифрового та годинникового типу для вимірювання поперечних переміщень та повздовжніх деформацій, відповідно

В результаті осьових та позacentрових малоциклових навантажень (ексцентриситет складав $e = 0,5R$) було отримано величини зусиль, при яких сталося руйнування зразків, що досліджувались (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристики зразків експериментальних досліджень

№ п/п	Маркування зразка	Навантаження	Висота зразків, мм	Зовнішній діаметр обойми, мм	Характеристична (нормативна) міцність бетону на стиск $f_{ck, prism}$, МПа	Руйнівне навантаження, N_u , кН	Коефіцієнт збільшення несучої здатності	Коефіцієнт зниження несучої здатності за рахунок ексцентриситету $e=0,5R$
1	Б350МЦС№1	малоциклове	700	-	11,1	1490	-	-
2	Б350МЦС№2	малоциклове	700	-	11,1	1440	-	-
3	ПВ350пМЦС№1	малоциклове	700	325	11,1	2250	1,61	-
4	ПВ350пМЦС№2	малоциклове	700	325	11,1	2360	1,67	-
5	ПВ350пМВС№1	малоциклове	700	325	11,1	1180	-	0,51
6	ПВ350пМВС№2	малоциклове	700	325	11,1	1230	-	0,53

Отримані в результаті експериментальних досліджень величини руйнівних навантажень (табл. 1) показали, що коефіцієнт збільшення несучої здатності (ефект обойми) у запропонованих сталобетонних зразках привів до збільшення міцності $\sim$ у 1,64 рази.

При позacentровому прикладанні навантаження ($e = 0,5R$) несуча здатність сталобетонних зразків, що досліджувалися (табл. 2) знизилася приблизно у 2 рази.

За результатами показників зафіксованих передбаченою системою вимірювань були побудовані залежності повздовжніх деформацій (рис. 13) та відносних поперечних переміщень (рис. 14) від рівня осьового та позacentрового малоциклового навантаження представлених зразків з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктивну.

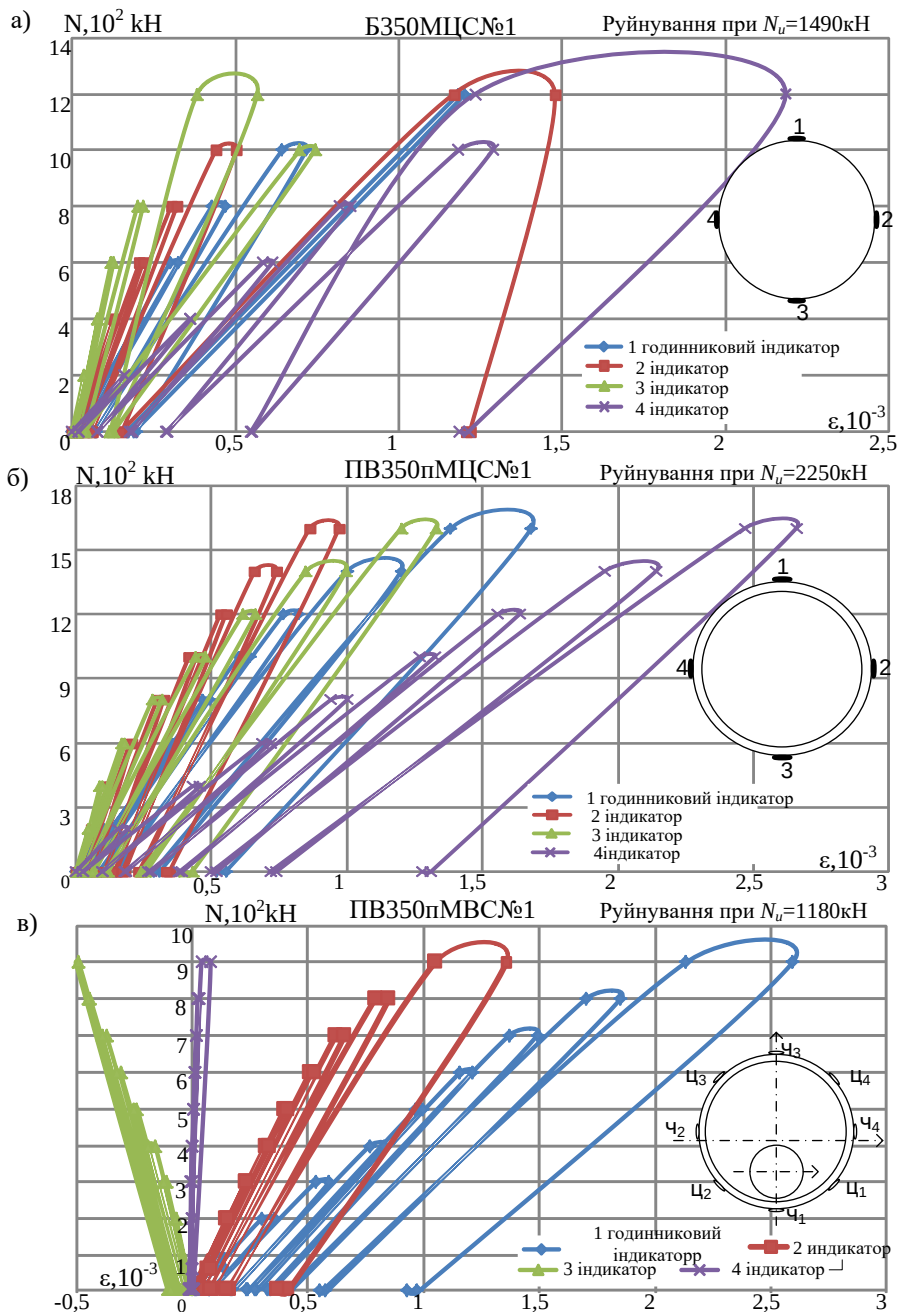


Рисунок 13. Залежності поздовжніх деформацій зразків від рівня осьового

та позацентрового малоциклового навантаження:

а – бетонний зразок; б, в – сталобетонний зразок з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктиву

Так, залежності представлені на рисунку 13, а,б ілюструють рівність поздовжніх деформацій сталобетонного зразка з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної та чисто бетонного зразка, тобто сітчаста обойма з комірками, що розташовані поперек твірної при стиску в поздовжньому напрямку, працює за аналогією зі спіральним армуванням. При цьому

повздовжні деформації сталобетонних зразків з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної при осьовому та позацентровому стиску дорівнюють значенням представленим на рисунку 13 б, в.

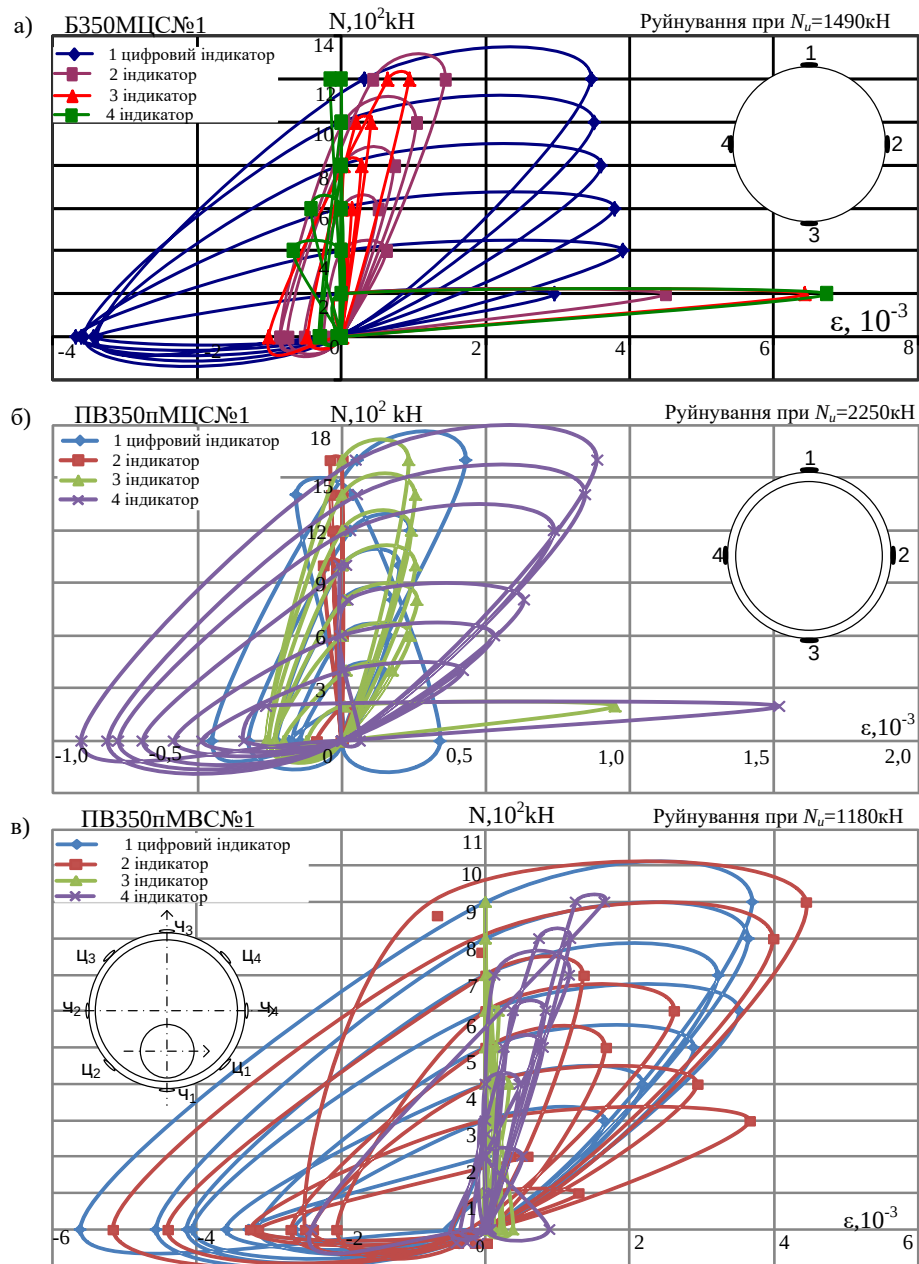


Рисунок 14. Залежності поперечних переміщень зразків від рівня осьового та позацентрового малоциклового навантаження:

а – бетонний зразок; б, в – сталобетонний зразок з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктивну

Залежності, що представлені на рисунку 14, показують, що відносні поперечні переміщення сталобетонного зразка з комірками, що розташовані

поперек напрямку твірної при малоцикловогому стиску в 4 рази менше відповідного бетонного зразка.

Таким чином представлені дослідження показали ефективність запропонованої конструкції та доказали перспективність подальших більш детальних досліджень.