

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ СКЛАДЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОБОЛОНОК ПОКРИТЬ

© Дорофєєв В.С., Коломійчук Г.П., 2010

Досліджено особливості в проектуванні збірно-монолітних складених залізобетонних оболонок покриттів.

Ключові слова: залізобетонна оболонка, деформативність, критичне навантаження.

This article is devoted to investigation of the peculiarities in design of the prefabricated-monolithic of the formed of the reinforced – concrete shells.

Keywords: reinforced concrete shell, deformativeness, critical load.

Проблема пошуку раціональних типів залізобетонних оболонок покритть будівель та споруд, котрі одночасно враховували би містобудівні і функціональні потреби, умови економічності і технології зведення є предметом дослідження уже декількох десятиліть [1,2].

У минулому вибір конструктивних форм покриття великопрогонової будівлі звужувався невеликим набором традиційних типів оболонок з простими розрахунковими схемами [3,4]. Тенденція розширення можливостей покритть великопрогонових будівель привела до розвитку конструктивних схем оболонок складних форм. Цьому сприяв інтенсивний розвиток ефективних числових методів будівельної механіки, які використовують ЕОМ високої швидкості з великим об'ємом пам'яті, методів моделювання конструкцій, нагромадження досвіду досліджень проектування та зведення залізобетонних оболонок [5–9].

У МНДІТЕП м. Москви розроблені і досліджені конструктивні схеми нового типу складених оболонок покритть суспільних будівель – збірні залізобетонні оболонки з центральними і радіальними елементами [10, 11]. Виконані дослідження показали, що за рахунок використання центрального "ядра" елементів жорсткості складеними залізобетонними оболонками можна перекривати значно більші прольоти, ніж "гладкими" окресленими по єдиній поверхні. Для зведення споруд такого типу використовується принцип попередньої збільшеної збірки.

Було показано, що у разі з'єднання складених оболонок характер напружено-деформованого стану такий, що згинальні моменти в зоні з'єднання змінюють знак і отримують екстремальні, пікові значення.

Вивченню впливу переломів поверхні, стиків і ребер у збірно-монолітних оболонках присвячені роботи [12–14]. Розроблені збірні залізобетонні оболонки додатної кривизни з циліндричних ребристих плит за типовою серією 1.466 – 1 [16] в місцях стиків мають переломи поверхні і ребра. У роботі [13] виконані дослідження впливу ребер та переломів на поверхні оболонок додатної кривизни. Дослідження виконували на моделях оболонок розмірами в плані 3 x 3 м. Їх завантажували рівномірно розподіленим тиском. Для аналізу вибрано чотири типи оболонок: з переломами поверхні (М2); з переломами поверхні і ребрами по лініях переломів (М3); з переломами поверхні і ребрами в двох напрямках (М4); постійної товщини, в котру вписана поверхня з переломами (М1).

Оболонки армували в'язаною сіткою з дроту діаметром 1 мм з кроком 25 мм, в кутах моделі для сприйняття головних розтягувальних зусиль встановлювали 12 стержнів діаметром 4 мм кожний. Готували моделі з бетону на мілкому заповнювачі у вигляді гранітної крихти розміром 2 – 5 мм. Міцність бетону під час дослідження окремих моделей становила: 40 (М1); 38,9 (М2); 41,7 (М3) і 33,2 МПа (М4) при початковому модулі пружності, що дорівнює: 25500; 27100; 30700 і 28200 МПа, відповідно.

Рівномірно розподілене навантаження на поверхні моделей замінили 256 з концентрованими силами з відстанню між ними 19 см.

Наявність переломів поверхні в оболонках значно впливає на прогини та зусилля в полиці. На відміну від оболонки однакової товщини, котра в середній зоні працює практично безмоментно, в оболонках з переломами поверхні виникають значні моменти по всій полиці: додатні в прольоті між переломами і від'ємні в місцях переломів.

Нормальні зусилля в оболонках з переломами поверхні, які діють в напрямку переломів поверхні, розподіляються по ширині циліндричних плит нерівномірно: в середині прольоту вони значно більші, ніж в гладкій оболонці (M1), а на ділянках у переломів – менші. У моделях з переломами поверхні і переломами з ребрами вздовж переломів виникали розтягувальні зусилля.

Нормальні зусилля в оболонках з переломами поверхні, які діють перпендикулярно переломам, зберігались практично такими самими, як і в гладкій оболонці.

За рахунок нерівномірного розподілення зусиль в оболонках з переломами поверхні полиці прогинаються щодо переломів. Якщо в гладкій оболонці епюра прогинів полиці щодо діафрагм у середній частині прольоту близька до прямої лінії, то в оболонках з переломами поверхні центр оболонок піднімається відносно діафрагм, а в прольоті між переломами спостерігається значне збільшення прогинів порівняно з гладкою оболонкою.

Наявність ребер в оболонці в місцях переломів не змінює характеру розподілення зусиль, але дещо зменшує їх несприятливий вплив. А саме, зменшуються згинальні моменти і розтягувальні нормальні зусилля в місцях переломів.

Застосування в оболонці ребер другого напрямку (вздовж твірних циліндричних плит) значно покращує розподілення зусиль в напрямку переломів: зменшується нерівномірність зусиль по перерізах між переломами і весь переріз виявляється стиснутим.

Якщо наявність переломів значно, порівняно з гладкою оболонкою, змінює місцеве розподілення зусиль в оболонці, то це незначно позначається на зусиллях, де впливає загальна геометрія конструкції і сумарне навантаження. Так, головні зусилля в кутах досліджених моделей були загалом такими самими, як в моделі гладкої оболонки. Відмінність спостерігалась лише в зоні перелому.

Порівняння характеру руйнування і навантаження руйнування дослідних моделей свідчить про несприятливий вплив переломів поверхні. На відміну від гладкої моделі в моделях оболонок з переломами поверхні спостерігалось місцеве руйнування полиці. Модель з переломами поверхні зруйнувалась за навантаження 16 кН/м², а гладка модель – за навантаження 57 кН/м². Наявність ребер в оболонці з переломами поверхні виявила позитивний вплив – модель з ребрами одного напрямку зруйнувалась за навантаження 28 кН/м², а модель з ребрами в двох напрямках повинна була зруйнуватися при навантаженні 37 кН/м² за умови, що дорівнює міцності арматури полиць моделей. Міцність арматури полиці моделі оболонки з переломами поверхні і ребрами в двох напрямках була на 35% нижчою, ніж у решти моделей, а руйнування її виникло за навантаження 24 кН/м². Руйнівні навантаження і навантаження тріщиноутворення наведені в табл.1.

Таблиця 1

Навантаження руйнівні та тріщиноутворення у залізобетонних моделях

Модель	Навантаження, кН/м ²			
	при виникненні тріщин			при руйнуванні
	в середній зоні	на верхньому поясі	в кутах	
M1	Тріщини до руйнування не виявлено	18	24	57
M2	10	Тріщини до руйнування не виявлено	Тріщини до руйнування не виявлено	16
M3	18	16	28	28
M4	16	16	16	37

У роботі [14] виконано дослідження вузла з'єднання чотирьох ребристих плит залізобетонної оболонки під дією позацентрового стиску. Під час випробування всі зразки доводилися до руйнування поступовим збільшенням згинального моменту за постійного рівня стискаючої сили. Руйнування зразків мало різний характер: у разі високих рівнів стискаючої сили спостерігалось руйнування стиснутої зони бетону; при чистому згині і малих стискаючих навантаженнях втрата несучої здатності виникала від розриву розтягнутої арматури стику. За результатами дослідних даних отримані середні значення лінійних податливостей в стиснутій та розтягнутій зонах стику (табл. 2).

Таблиця 2

Податливості у вузлі залізобетонної оболонки

Стискаюче навантаження, кН	Зона стику	Рівень згинального моменту					
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		Середні значення податливостей					
0	Стиснута	0,144	0,172	0,482	0,840	1,132	1,520
0	Розтягнута	0,380	0,440	1,720	3,320	4,650	6,240
100	Стиснута	0,105	0,130	0,410	0,700	0,980	1,322
100	Розтягнута	0,270	0,403	1,650	2,880	4,310	5,830
200	Стиснута	0,070	0,082	0,348	0,630	0,915	1,183
200	Розтягнута	0,220	0,280	1,540	2,790	4,000	5,340
300	Стиснута	0,052	0,064	0,078	0,312	0,542	0,770
300	Розтягнута	0,180	0,230	0,300	1,410	2,570	3,620
400	Стиснута	0,044	0,052	0,060	0,092	0,238	0,375
400	Розтягнута	0,130	0,150	0,170	0,440	1,120	1,800

Виконані в подальшому теоретичні дослідження, основані на застосуванні апарата методу скінченних елементів, показали, що існують такі співвідношення генеральних геометричних параметрів складених оболонок, за яких вказані вище явища типу крайових ефектів локалізуються [15–17].

У роботі [18] відзначається, що завдяки численным даним дослідів втрата стійкості в конструкціях складених оболонок, як правило, взагалі не проявляється, а більш характерним може бути втрата несучої здатності, зв'язана з зміною геометрії оболонки у разі доволі високих навантажень

З дослідів, більш простих типів залізобетонних оболонок, відомо про вплив на втрату стійкості початкових недосконалостей форми, які не враховувались при висловленні такої думки. В роботі [19] виконано статистичний аналіз геометричних початкових недосконалостей. Статистичні характеристики геометричних початкових недосконалостей збірних залізобетонних оболонок і їх елементів наведені в табл. 3.

Результати контрольного геодезичного знімання поверхні оболонки додатної кривизни [6] покриття ринку в м. Мінську з розмірами в плані 103×103 м показали, що середнє відхилення центральної частини поля оболонки від проектного положення становило – 23.3 мм, а середньоквадратичне відхилення ± 38.4 мм, відповідно для контурних елементів + 26.75 мм і ± 31.2 мм. Аналіз робіт з зведення збірно-монолітної аглопоритозалізобетонної оболонки довів, що сукупність функціональних та технологічних похибок перевищила допустимі розрахунком величини відхилення поверхні оболонки від проектного положення. Точність монтажу великопрогонових покриттів у вигляді оболонок без використання спеціальних пристроїв, як правило, не може задовольнити вимоги проекту.

Важливим фактором під час експлуатації складених збірно-монолітних залізобетонних оболонок є час. Вплив навколишнього середовища сприяє зростанню фізичного зносу конструкцій, що наведено в роботі [20], тому для подальшої нормальної експлуатації складених оболонок необхідно продовжити вивчення їх поведінки з урахуванням отриманих дефектів. Сучасні розрахунки на стійкість виконуються за розрахунковими схемами з початковими недосконаlostями форми [21].

Таблиця 3

Статистичні характеристики окремих плит та оболонок

№	Недосконаlostі форми	Математичне очікування, f , мм	Стандарт, S , мм	Асиметрія, A	Ексцес, E
1.	Відхилення від проектних розмірів поверхні форм для виготовлення циліндричних плит П6-1, 3х6 м	-0,23	7,14	-1,08	2,35
2.	То же, для плит П6-2	2,73	6,05	0,10	0,59
3.	Відхилення від проектних розмірів поверхні циліндричних плит П6-1, 3х6 м	-11,30	11,70	0,58	3,40
4.	То же, для плит П6-2	-3,52	15,70	-0,12	-0,30
5.	Те ж саме, товщини циліндричних плит, 3х6 м	3,57	7,40	-0,12	-0,72
6.	Відхилення від проектних розмірів поверхні плоских плит, 3х3 м	-0,46	5,40	-0,80	2,70
7.	Те ж саме, висоти ребер плоских плит, 3х3 м	4,20	6,20	-0,95	1,80
8.	Те ж саме, товщини плоских плит, 3х3 м	3,54	4,03	0,23	-0,96
9.	Те ж саме, габаритів плоских плит, 3х3 м	-2,00	12,90	0,50	0,16
10.	Відхилення від проектних розмірів поверхні циліндричних плит, 3х12 м	6,20	20,80	0,60	0,50
11.	Відхилення від проектних розмірів центрів вузлів побудованих оболонок по висоті	-8,90	32,20	-0,30	-0,04
12.	Те ж саме, по горизонталі	83,90	79,90	0,27	-0,66

Висновки. 1. Наведені експериментальні дані свідчать про неоднозначний вплив переломів поверхні і ребер в оболонках та потребують подальшого вивчення.

2. У складених збірно-монолітних залізобетонних оболонках необхідно виконувати розрахунки на стійкість з урахуванням у математичних моделях числового експерименту початкових недосконаlostей форми та ймовірних дефектів, отриманих під час експлуатації.

1. Жуковский Э.З., Шугаев В.В. Сопряженные сборно – монолитные железобетонные оболочки спортивных сооружений в Москве// Докл. между. конф. по облегченным строительным конструкциям для строительства в обычных и сейсмических районах, Алма-Ата, 13 – 16 сентября 1977 г. – М., 1977. 2. Жуковский Э.З. Исследование составных оболочек с многоугольным планом для большепролетных зданий// Строительная механика и расчет сооружений, 1983. – №1. – С. 16 – 19. 3. Экспериментальные исследования сборных железобетонных оболочек/ Под ред. Абовского В.П. – Красноярск: Книжное издательство, 1966. – 257 с. 4. Руководство по проектированию сборно – монолитных железобетонных оболочек положительной кривизны для покрытий промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1979. – 79 с. 5. Шугаев В.В. Инженерные

методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. – М.: Готика, 2001. – 368с. 6. Людковский А.М., Пигин А.П. Оценка точности монтажа оболочки покрытия рынка размером 103×103 м в Минске//Пространственные конструкции зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – Вып.4. – С.82–94. 7. Клименко Ф.Е., Храпцов В.П., Лисицкий Р.В. Складчатые сборно-монолитные железобетонные купола// Бетон и железобетон, 1991. – №6. – С. 2 – 4. 8. Подгорная Н.Я. Купольно – складчатые железобетонные оболочки из унифицированных элементов/ Автореф. ... канд. техн. наук. – М.: НИИЖБ, 1987. – 24 с. 9. Колчунов В.И., Панченко Л.А. Расчет составных тонкостенных конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 281с. 10. Жуковский Э.З. Выбор рациональных типов составных оболочек нового типа// Строительная механика и расчет сооружений, 1984. – №5. – С. 55 – 59. 11. Шевченко О.В. Составные железобетонные полигональные оболочки с радиальными элементами / Автореф. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1987. – 24с. 12. Гнидец Б.Г., Сало В.Ю. Исследование железобетонных неразрезных конструкций с сборно – монолитным поперечным сечением // Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф. "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику". – Полтава: Полтавский ИСИ, 1989. – Часть 1. – С. 53 – 54. 13. Чиненков Ю.В., Кузьмич Т.А., Григорьев А.В. Исследование на моделях особенности работы сборных оболочек положительной кривизны из цилиндрических ребристых панелей// Пространственные конструкции зданий и сооружений, вып. 4. – М.: ЦНИИСК, НИИЖБ, 1985. – С.132–142. 14. Шугаев В.В., Тахтович Е.В. Деформативность и прочность стыков плит железобетонных оболочек покрытий при внецентренном сжатии// Строительные конструкции (экспресс-информация). – М.: ВНИИИС Госстроя СССР, 1987. – С. 11 – 16. 15. Раззаков С.Р. Поведение составных оболочек при высоких уровнях загрузки с учетом предыстории нагружения// Бетон и железобетон, 1992. – № 9. – С. 22 – 25. 16. Рекомендации по расчету и конструированию сборных составных железобетонных оболочек общественных и производственных зданий для строительства в Москве. – М.: Стройиздат, 1986. – 59с. 17. Путкарадзе Г.Н. Исследование несущей способности железобетонных составных оболочек с учетом конечных перемещений / Автореф. ... канд. техн. наук. – Тбилиси: Грузинский техн. ун-т, 1992. – 20 с. 18. Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З. Основные направления развития сборных железобетонных оболочек произвольной формы// Строительная механика и расчет сооружений, 1986. – №3. – С. 8 – 12. 19. Тимашев С.А. Рекомендации по расчету подкрепленных оболочек положительной кривизны на устойчивость. – Свердловск: Уральский Промстройинициатива Госстроя СССР, 1974. – 76 с. 20. Шапиро Г.И., Шабля В.Ф., Шевченко О.В. Обследование большепролетных оболочек общественных зданий, построенных по проектам ГУП МНИИТЭП// Пространственные конструкции зданий и сооружений, вып. 11. – М.: МОО "Пространственные конструкции", 2008. – С. 283 – 291. 21. Гавриленко Г.Д. Устойчивость ребристых оболочек несовершенной формы. – К.: Изд-во Ин-та математики НАН Украины, 1999. – 190 с.