

УДК 539.3.:623.12:624.07

Убайдуллаєв Ю.Н. к.т.н., доцент.

Національний університет оборони України

Модель вибору раціональної орієнтації арматури в залізобетонних оболонкових конструкціях фортифікаційних споруд

Модель выбора рациональной ориентации арматуры в железобетонных оболочечных конструкциях фортификационных сооружений

The model of choosing of rational orientation of armature concrete construction of fortification buildings

Резюме. На основі теорії тонких оболонок розглянута математична модель вибору раціональних кутів орієнтації арматури залізобетонних конструкцій фортифікаційних споруд.

Ключові слова: арматура, залізобетон, конструкція, оболонки, тріщина, анізотропний матеріал, ортотропний матеріал, кут, пружний потенціал, жорсткість.

Резюме. На основе теории тонких оболочек рассмотрена математическая модель выбора рациональных углов ориентации арматуры железобетонных конструкций фортификационных сооружений.

Ключевые слова: арматура, железобетон, конструкция, оболочки, трещина, анизотропный материал, ортотропный материал, угол, упругий потенциал, жесткость.

Summary. In the theory of fine shell has been viewed mathematical model of the choice rational corners of orientation of armature concrete construction of the fortification buildings.

Keywords: Armature, concrete, construction, shells, anisotropic material, orthotropic material, corner, potential.

Постановка проблеми. Дослідження напружено-деформованого стану просторової роботи будівель і споруд – одне з істотних джерел збільшення їх безпеки та надійності, економії будівельних матеріалів. У тонкостінних конструкціях елементів фортифікаційних споруд та спеціальних об'єктів типу оболонок, складок тощо, ефект просторової роботи реалізується найбільшою мірою. Завдяки цьому та іншим якостям, питома вага цих конструкцій у будівництві безперервно зростає.

Розроблення і застосування тонкостінних конструкцій здійснюється за двома основними напрямками. Перший напрямок зв'язаний із застосуванням якісно нових конструктивних форм, другий – із створенням просторових конструкцій і конструктивних систем на основі існуючої бази індустрії, без істотного збільшення капіталовкладень в її реконструкції.

Поширеним конструкційним матеріалом у будівництві, у тому числі і для створення тонкостінних просторових конструкцій фортифікаційних споруд, нині є залізобетон. Проте найбільш вивчена робота залізобетону стосовно простих напружених станів, які

виникають у стрижневих елементах і системах із них, що і зафіксовано в сучасних нормативних документах. Застосування фізичних моделей і нормованих фізико-механічних параметрів залізобетону, отриманих на стрижневих елементах, для проектування тонкостінних конструкцій не завжди допустимо, а інколи призводить до серйозних неточностей під час оцінки граничних станів цих конструкцій. Адекватність дослідження таких моделей стає ще проблематичнішою в разі проектування комбінованих тонкостінних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залізобетон як конструктивний матеріал, відрізняється від інших характерними особливостями, які залежать від виду та рівня напружено-деформованого стану і перешкоджають розробленню механіко-математичних моделей та алгоритмів для їх реалізації. Неоднорідність, анізотропія, суттєва нелінійність, тріщиноутворення та інші специфічні властивості залізобетону виявляються вже на ранній стадії деформування. Із зростанням рівня

навантаження відмінність деформативних властивостей бетону і арматури викликає перерозподіл напружень з бетону на арматуру, при цьому зменшується інтегральна жорсткість перерізів, збільшуються переміщення і відбувається перерозподіл внутрішніх зусиль між ділянками конструкції при структурних змінах матеріалів. Якісна сторона розглянутих явищ була розглянута свого часу Н. І. Безуховим [2] і О. Я. Бергом [3]. Ці явища залежать не тільки від наявності тріщин, а й від їх орієнтації відносно напрямів армування, взаємного розташування, характеру розвитку і схем армування [13].

Для опису деформування стрижневих плоских і просторових конструкцій з тріщинами на цей час розроблені фізичні моделі залізобетону [2-4, 7, 8, 12, 13].

Мета статті. Розробка математичної моделі вибору раціональних кутів орієнтації арматури (раціональну структуру) щодо залізобетонних оболонкових конструкцій фортифікаційних споруд.

Виклад основного матеріалу. В даній статті розглянуто симетрично зібрану відносно серединної поверхні неоднорідну тонку пружну оболонку обертання в системі криволінійних ортогональних координат, які співпадають з лініями головних викривлень координатної поверхні, яка працює в умовах безмоментного напружено деформованого стану.

Оскільки в залізобетонних оболонках з тріщинами головні вісі анізотропії не співпадають з осями координат, маємо випадок анізотропії, для якої пружні постійні визначаються за пружними постійними ортотропного матеріалу (один із шарів "виготовлено" із арматур, які утворюють з віссю обертання кут α і інший кут $\alpha + \frac{\pi}{2}$) співвідношеннями [1, 5-7, 9-12]:

$$\begin{aligned} T_1 &= C_{11}\varepsilon_1 + C_{11}\varepsilon_2 + C_{16}\omega; \\ T_2 &= C_{22}\varepsilon_2 + C_{12}\varepsilon_1 + C_{26}\omega; \\ S &= S_{12} = S_{21} = C_{16}\varepsilon_1 + C_{66}\omega + C_{26}\varepsilon_2, \end{aligned} \quad (1)$$

де T_1, T_2 і S_{12}, S_{21} – відповідно нормальні і зсувні внутрішні зусилля (рис.1), $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \omega$ - деформативні характеристики серединної поверхні оболонки, C_{ij} - характеристики жорсткості матеріалу в напрямку координатних осей, зв'язані з пружними постійними відомими залежностями, ($i=1,2; j=1,2$) [1, 5, 10, 12].

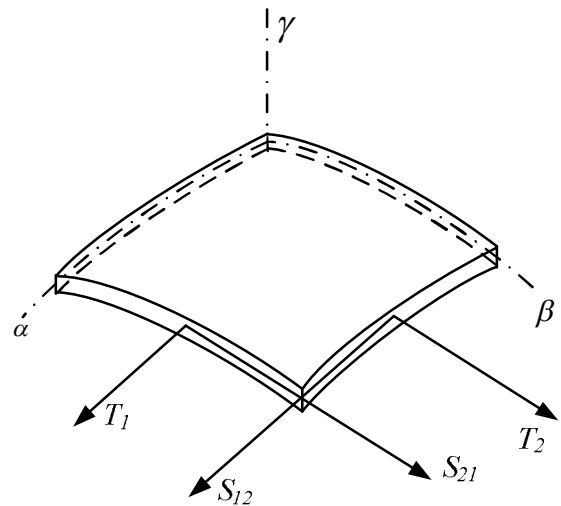


Рис.1

Для пружного потенціалу відносно одиниці об'єму оболонки, яка працює в умовах безмоментного напруженого стану, маємо

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} (A_{11}T_1^2 + A_{22}T_2^2 + A_{66}S^2) + \\ &+ A_{12}T_1T_2 + A_{16}T_1S + A_{26}T_2S \end{aligned} \quad (2)$$

де, A_{lk} - пружні сталі (коефіцієнти деформації) конструкцій ($l=1,2,6; k=1,2,6$).

З врахуванням відношень характеристик жорсткості (1) і (2) раціональними кутами підкріплення арматури будемо вважати такі вузли, при яких буде реалізована конструкція або найбільшої жорсткості, або найменшої міцності. Вибір раціональних кутів орієнтації арматури в оболонках будемо обирати за умов забезпечення максимальної жорсткості оболонки, тобто визначаємо таку орієнтацію арматури, при якій потенціальна енергія деформації досягає мінімуму.

В якості прикладів розглянемо наступні задачі, які часто (65-80%) зустрічаються при розробці конструкцій фортифікаційних споруд.

Задача 1. Замкнута кругова циліндрична оболонка одним із торців ($s_0 = 0$) закріплена повністю, а інший торцевий переріз ($s_1 = L_1$) сприймає рівномірно розподілене здвигаюче зусилля інтенсивністю S^* (рис. 2).

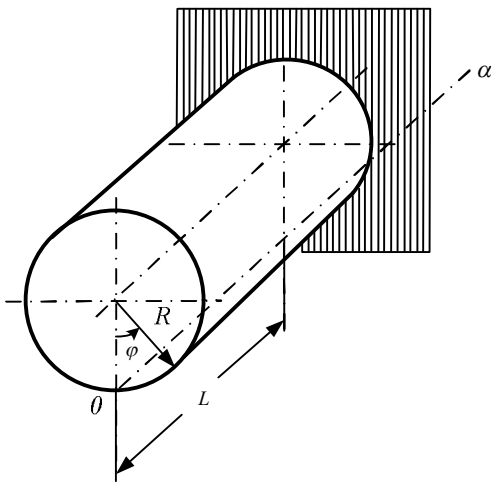


Рис.2

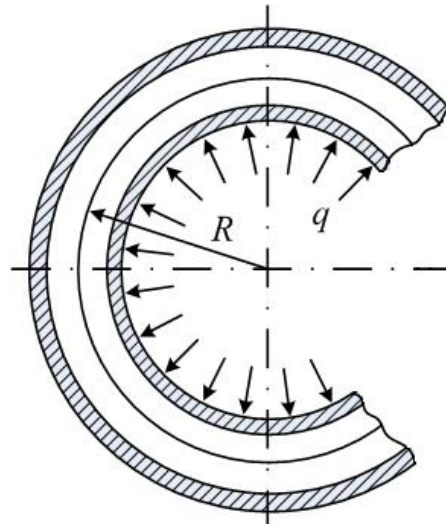


Рис.3

Підставляючи в (2) $T_1=0, T_2=0, S=S^*$, після перетворень, маємо

$$V = \frac{S}{2\Delta_1(4L_1 \sin^2 \alpha - 4L_1 \sin^4 \alpha + K_4)},$$

де, Δ_1 – положення координатної поверхні оболонки, K_4 – жорсткість взаємного впливу компонент залізобетону [1, 5, 9].

Звідки кути між арматурами конструкції відносно осі повертання оболонки

а) $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \frac{\pi}{2};$

б) $\alpha = \frac{\pi}{4}.$

Задача 2. Замкнута кругова циліндрична оболонка (радіус кривизни – R , довжина – L), торці ($s_\theta=0, s_l=L$) закріплені повністю та несуть рівномірно розподілене, нормально прикладене поверхневе навантаження інтенсивністю q (рис. 3).

Тоді маємо:

$$T_1 = \frac{A_{16}A_{26} - A_{12}A_{26}}{A_{11}A_{66} - A_{16}^2}, T_2 = Rq,$$

$$S = \frac{A_{12}A_{16} - A_{11}A_{26}}{A_{11}A_{66} - A_{16}^2} Rq,$$

звідки кути між арматурами конструкції відносно осі повертання оболонки

а) $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \frac{\pi}{2};$

б) $\alpha = \arcsin \sqrt{-q/2P}.$

Задача 3. Замкнута зрізана конічна оболонка одним із торців ($s_0 = 0$) закріплена повністю, а інше торцеве ($s_1 = L$), не маючи повздовжніх переміщень, несе рівномірно розподілене здвигаюче зусилля інтенсивністю S^* (рис. 4).

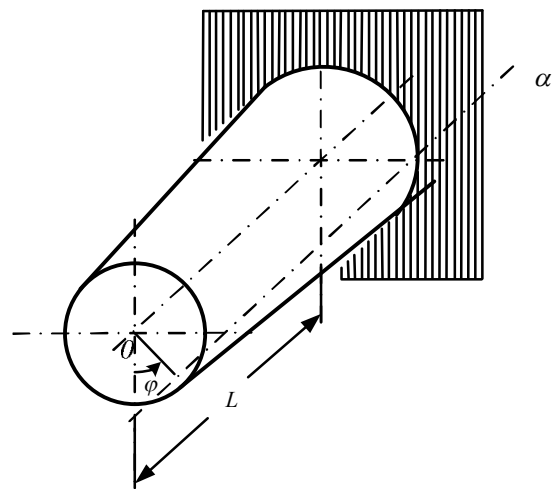


Рис.3

Маємо

$$T_1 = 0, T_2 = 0, S = \frac{(s_1 - L)^2}{(s_1 - s)^2} S^*$$

$$V = \frac{(s_1 - L)^4}{2(s_1 - s)^4} \cdot \frac{(4L_1 \sin^2 \alpha - 4L_1 \sin^4 \alpha + K_4)}{\Delta_1} S^*$$

звідки кути між арматурами конструкції відносно осі повертання оболонки

а) $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \frac{\pi}{2};$

б) $\alpha = \arcsin \sqrt{N_1/L_1}.$

Аналіз рішень 1-ї та 3-ї задач показує, що не дивлячись на відсутність нормальної і тангенціальної компонент зовнішнього поверхневого навантаження, а також наявність повної вісьової симетрії в розглянутих оболонках під дією рівномірно розподілених кривих здвинутих зусиль S^* , з'являються продовжні сили T_1 , нормальні та продовжні зсуви, які в залежності від напрямку обертання змінюють свій знак.

Аналіз рішення 2-ї показує, що в анізотропних (залізобетонних) симетричних оболонках під дією рівномірно розподіленої нормально прикладеного навантаження q , з'являються тангенціальні зсуви, тобто має місце явище обертання відносно вісі обертання. Характерно також те, що коли поверхневе нормально прикладене навантаження q змінює свій знак, конструкція, що розглядається нами, витримує обертання в зворотньому напрямку, тобто змінюється знак тангенціального зсуву.

Вирішення тестових задач щодо дослідження ортотропних багатопарових оболонок з різноманітними граничними умовами і навантаженнями, дали результати, які співпадають з результатами попередніх досліджень [1, 3, 4, 7, 10], що підтверджує адекватність отриманих результатів і дозволяє використовувати запропонований підхід для визначення раціональної орієнтації арматури в залізобетонних оболонкових конструкціях в моментній теорії в першому наближенні.

Висновки. Математична модель побудована на основі теорії тонких оболонок визначає раціональні кути армування (раціональну структуру) залізобетонних оболонкових конструкцій фортифікаційних споруд з урахуванням тріщин для різного типу закріплень торців. Запропонована модель та отримані дані можуть бути використані для розроблення нових технологій сучасної фортифікації для забезпечення надійного захисту військ і об'єктів.

Напрямки подальших досліджень. Вирішення завдання визначення орієнтації арматур сталевіробетонних конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амбрацумян С.А. Теория анизотропных оболочек / С.А. Амбрацумян. – М.: Наука, 1961. – 384 с.
2. Безухов Н. К. Основы теории сооружений, материал которых не следует закону Гука /

- Н. К. Безухов – М.: Изд. МАДИ, 1936. – № 4. – С. 14 – 27.
3. Берг О. Я. Исследование процесса трещинообразования в железобетонных элементах с арматурой периодического профиля / О. Я. Берг // Сообщения ВНИИ железнодорожного строительства и проектирования. – М.: Трансжелдоризда, 1954. – № 44. – С. 3 – 24.
4. Бобров Р.К. Особенности расчета железобетонных оболочек с учетом физической нелинейности и трещинообразования по методу конечных элементов / Р. К. Бобров, А. Л. Козак // Численные методы решения задач строительной механики. – Киев: КИСИ, 1978.
5. Григоренко Я.М., Василенко А.Т. Задачи статики анизотропных неоднородных оболочек / Я.М. Григоренко, А.Т. Василенко. – М.:Наука, 1992, - 336 с.
6. Журавель А.Е., Убайдуллаев Ю.Н. Расчет конических оболочек симметричного строения при силовых и температурных воздействиях / А.Е. Журавель, Ю.Н. Убайдуллаев // Нелинейные методы расчета пространственных конструкций. – М., 1988., С. 151-204.
7. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М., Стройиздат., 1976. – 204 с.
8. Колчунов В.И. Анализ деформации растянутой зоны железобетонного элемента после нарушения сплошности бетона / В.И. Колчунов // Усовершенствование методов расчета и проектирования конструкций сооружений. – Харьков: ХГАЖТ, 1996. – Вып. 27. – С. 87-104.
9. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.:Наука, 1977. – 415 с.
10. Литвиненко А.Г., Климанов В.И., Каваева В.П. Конические фундаменты – оболочки / А.Г. Литвиненко, В.И. Климанов, В.П. Каваева. – М.:Стройиздат, 1988.- 128 с.
11. Современные пространственные конструкции: Справочник. Под ред. Ю.А. Дыховичного, Э.З.Жуковского. - М., Высш.шк., 1991.-543 с.
12. Убайдуллаев Ю.Н. Выбор рациональной ориентации арматуры в железобетонных оболочках / Ю.Н. Убайдуллаев // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К.: КДТУБА, 1994. – Вып. 57. – С. 129-131.
13. Фортифікаційні споруди /М.І. Адаменко, О.В. Гелета, Ю.В. Квітковський та інш. – Харків: ЗАТ "Харківська друкарня №16", 2003. – 560 с.

Рецензент: Рибидайло А.А. – к.т.н., с.н.с., ЦВСД НУО України.

Поступила в редакцію 25.03.13