

УДК 624.046.2

**ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ КОСОМУ
ЗГИНАННІ**

*Д.т.н., проф. Семко О.В., к.т.н., с.н.с. Воскобійник О.П.,
аспірант Пойда А.О.*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Постановка проблеми. Перспективним напрямком в будівництві сьогодні є проектування ефективних конструкцій з мінімальною затратною будівельних матеріалів, часу на їх виготовлення та монтаж, а також забезпечення їх надійної роботи протягом всього періоду експлуатації. До таких конструкцій можна віднести сталезалізобетонні балки різних форм перерізу із жорстким та листовим армуванням. Проте існує необхідність більш детального вивчення параметрів напружено-деформованого стану і характеру руйнування сталезалізобетонних конструкцій та створення нових досконаліших методів їх розрахунку.

Аналіз публікацій. Проблеми розрахунку залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах косоного згину, присвячені численні наукові праці започатковані М.С. Торяником та продовжені в роботах П.Ф. Вахненка, А.М. Павлікова, О.В. Семка, та інших [1-4]. Над розв'язанням проблеми вдосконалення методів розрахунку сталезалізобетонних конструкцій також працював цілий ряд фахівців: Л.І. Стороженко, О.П. Воскобійник, Ф.Є. Клименко, В.Ф. Пенц [5-9].

Невирішені раніше частини поставленої проблеми. Внаслідок широкого використання в будівництві сталезалізобетонних конструкцій, досить часто доводиться виконувати розрахунки різного роду конструкцій, що працюють на складні види деформацій. Урахування особливостей дійсної роботи та напружено-деформованого стану при проектуванні сталезалізобетонних будівельних конструкцій є актуальною проблемою, що потребує вирішення.

Мета статті. Визначення теоретичних передумов та аналіз дійсної роботи і напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій при косому згинанні.

Викладення основного матеріалу. Теоретичні дослідження міцності та деформативності косозгинальних сталезалізобетонних елементів ускладнено необхідністю визначення їх напружено-деформованого стану в широких рамках завантаження. Модель напружено-деформованого стану сталезалізобетонного елемента в нормальних до його повздовжньої осі перерізах прийнята на основі даних експерименту викладеного в [9], а також аналізу досліджень в цій галузі. При цьому ставилося за мету отримання такої моделі, яка б дозволяла проводити теоретичні дослідження сталезалізобетонного елемента в умовах косоного згинання, при будь-якому рівні завантаження. В цьому випадку особлива увага повинна приділятися

визначенню теоретичних передумов для моделювання дійсного напружено-деформованого стану сталезалізобетонного елемента. В основу досліджень покладені наступні передумови:

- напружено-деформований стан залізобетонного елемента досліджується в зоні чистого косоного згинання в перерізі, що є нормальним до поздовжньої вісі;
- напруження в перерізі стиснутої зони бетону вважаються розподіленими у вигляді циліндричної поверхні з твірними, паралельними до нейтральної вісі, напруження в площинах, які перпендикулярні до нейтральної лінії, розподіляються за законом повної діаграми стану бетону;
- діаграма $\sigma_b - \varepsilon_b$ переноситься з однорідного стиску на згин;
- межа розповсюдження тріщин прийнята паралельною нейтральній вісі перерізу;
- нейтральна вісь напружень і деформацій співпадає;
- для відображення розподілення деформацій арматури та бетону використовується гіпотеза плоских перерізів;
- граничний стан для балки настає при умові $N_s = N_b$;
- напруження в арматурі приймаються в залежності від координат розташування стержнів по перерізу, але не перевищують значення R_s ;

Проте використання суцільних сталевих листів у якості арматури унеможливило розрахунок сталезалізобетонного елемента за приведеною нижче розрахунковою схемою. Адже буде досить складно визначити напруження в листовій арматурі в кожній точці перерізу на кожній стадії завантаження. Тому більш раціональним є використання спрощеної розрахункової схеми із використанням дискретної арматури, яка має чітку прив'язку до системи координат X, Y, Z . При цьому площа листового армування буде дорівнювати площі стрижневого армування в перерізі, а отже таке спрощення фактично ніяким чином не вплине на геометричні характеристики перерізу.

У зв'язку з тим, що форма стиснутої зони бетону в косозігнутих сталезалізобетонних елементах залежить від багатьох факторів – таких як кут нахилу силової площини β ; обраний закон розподілення напружень в бетоні $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$; матеріал, з якого виготовлено елемент; співвідношення розмірів поперечного перерізу b/h ; відсоток армування μ_s %; розташування арматури в поперечному перерізі; рівень завантаження M/M_u та інших – то це в свою чергу призводить до труднощів при дослідженні напружено-деформованого стану. Тому в дослідженнях прийнято розрахункову схему в загальному вигляді (рис.2), як таку, що найбільш точно може відповідати дійсності.

Відповідно до прийнятих передумов та розрахункової схеми система рівнянь рівноваги елемента в нормальному перерізі матиме вигляд:

$$\sum Z = 0; \quad \iint_{A_b} \sigma_b dA_b - \iint_{A_s} \sigma_{br} dA_{br} - \sum_{i=0}^n N_{si} = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_y = 0; \iint_{A_b} \sigma_b y_{N_b} dA_b + \iint_{A_{bt}} \sigma_{bt} y_{N_{bt}} dA_{bt} + \sum_{i=0}^n N_{si} y_{si} - M_y = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_x = 0; \iint_{A_b} \sigma_b x_{N_b} dA_b + \iint_{A_{bt}} \sigma_{bt} x_{N_{bt}} dA_{bt} + \sum_{i=0}^n N_{si} x_{si} - M_x = 0, \quad (3)$$

де σ_b, σ_{bt} – відповідно функції, що описують розподілення напружень по перерізах стиснутої та розтягнутої зон бетону в системі координат X, Y, Z ;

N_{si} – зусилля в i - тому арматурному стержні;

A_b, A_{bt} – відповідно площа стиснутої та розтягнутої зон бетону;

$x_{Nb}, y_{Nb}; x_{Nbt}, y_{Nbt}; y_{si}, x_{si}$ – відповідно координати точок прикладання рівнодійних зусиль стиснутого, розтягнутого бетону та розтягнутої арматури;

M_y, M_x – моменти від зовнішнього зусилля в площинах осей Y та X відповідно.

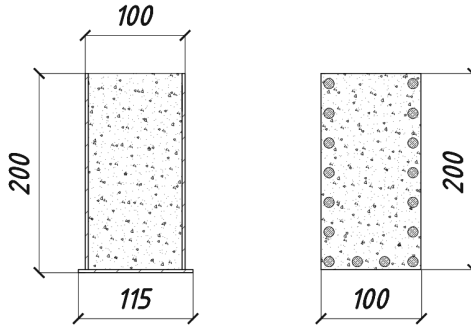


Рис. 1. Переріз сталезалізобетонного елемента із зовнішнім листовим армуванням та розрахункова схема

Як видно з аналізу рівнянь (1) – (3), число невідомих, якими є $\sigma_b, \sigma_{bt}, \sigma_s, \epsilon_s, x_{Nb}, y_{Nb}, x_{Nbt}, y_{Nbt}$, перевищує число рівнянь, тому розв'язати цю систему в такому вигляді неможливо. Тому потрібно застосувати додаткові залежності для визначення всіх невідомих параметрів.

Як свідчать експериментальні дані, робота бетону розтягнутої зони при рівнях завантаження, близьких до руйнівних, практично не впливає на міцність поперечного перерізу. Тому при застосуванні розрахункової схеми для визначення міцності косозігнутого елемента впливом розтягнутого бетону можна знехтувати, приймаючи при $\epsilon_{bt} \leq 0; \sigma_{bt} = 0$.

Для визначення невідомих необхідно скористатися прийнятою передумовою про лінійний розподіл деформацій по перерізу в бетоні та арматурі. Ця передумова дає можливість встановити взаємозв'язок між деформаціями, напруженнями і зусиллями в бетоні та арматурі. Але для використання цієї умови необхідно знати положення нейтральної вісі, що визначається двома параметрами: висотою стиснутої зони x та кутом нахилу нейтральної лінії θ (рис. 2). Також необхідно знати закон розподілення

напружень за висотою перерізу. Такий закон є функцією напружень від деформацій стиснутого бетону $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$. Маючи такий закон, можна, інтегруючи вираз $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$ по площі стиснутого бетону отримати рівнодійну зусиль в бетоні, а також координати точки її прикладення. Розв'язок системи рівнянь (1)–(3) і як наслідок визначення напружено-деформованого стану перерізу в будь-який момент завантаження зводиться до визначення параметрів x, θ, ε_b .

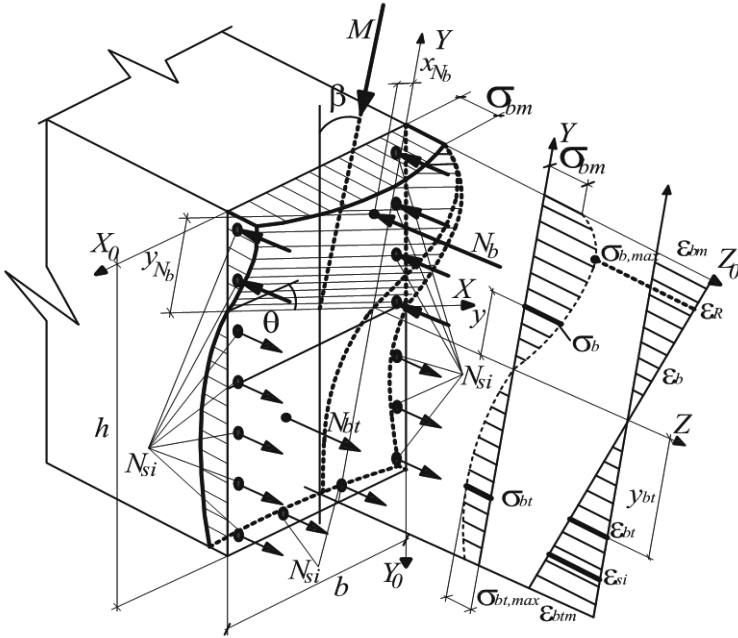


Рис.2. Загальний вигляд розрахункової схеми косозігнутого сталезалізобетонного елемента в перерізі між тріщинами

На основі аналізу відомих на даний час залежностей розподілу напружень в бетоні стиснутої зони, необхідно виходити з напружено-деформованого стану залізобетонних перерізів, визначеного на основі використання нелінійної діаграми «напруження-деформації». Тому в [10] рекомендовано використовувати функцію (4) для використання в системі координатних осей X, Y, Z .

$$\sigma_b = R_b (K\eta - \eta^2) / [1 + (K - 2)\eta], \quad (4)$$

$$\text{де } K = E_b \frac{\varepsilon_R}{R_b} \approx 4 \dots 1; \quad \eta = \varepsilon_b / \varepsilon_R$$

Висновки. В даній роботі було проаналізовано дійсний напружено деформований стан косозігнутої сталезалізобетонної балки і визначені теоретичні передумови для подальших досліджень. Таким чином, можна зробити висновок, що запропонована просторова модель напружено-деформованого стану косозігнутої сталезалізобетонної балки прямокутного профілю на основі нелінійної деформаційної моделі відображає дійсну роботу елемента та дозволяє повною мірою оцінювати його міцність з урахуванням особливостей фізико-механічних характеристик бетону.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Торяник М.С. Косое внецентренное сжатие и кривой изгиб в железобетоне: 2-е изд. перераб. и доп. – К.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре УССР, 1961.- 156 с.
2. Павліков, А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії [Текст] / А. М. Павліков. – Полтава, 2007. – 258 с.
3. Вахненко П.Ф. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій на складні види деформацій. – К.: Будівельник, 1992. – 112с.
4. Семко О.В. Образование и раскрытие трещин, нормальных к продольной оси косоизгибаемых железобетонных элементов таврового и Г-образного сечения: дис. кандидата техн. наук: 05.23.01 / Семко Александр Владимирович. – Полтава, 1988. – 181 с.
5. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
6. Стороженко Л. І. Згинальні залізобетонні елементи, армовані сталевими листами [Текст] / Л. І. Стороженко, О. В. Семко, О.В. Сколибод // Будівельні конструкції. – Вип. 59, кн. 2. – К: НДІБК, 2003. – С. 31-39.
7. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием [Текст] / Ф. Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984.–88 с.
8. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посібник / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц . – Полтава, 2005. – 181 с.
9. Воскобійник О.П. Експериментальні дослідження косозігнутих залізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням [Текст] / О.П. Воскобійник, А.О. Пойда, Є.О. Мирошниченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 22. – Рівне: НУВГП, 2011. – С. 226- 234
10. ДБН В.2.6-98-2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.-101 с.