

ОБЛАСТЬ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕРІЗІВ ПРИ РІЗНИХ ЗУСИЛЛЯХ ТА ПАРАМЕТРАХ

ОБЛАСТЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСИЛИЯХ И ПАРАМЕТРАХ

FIELD BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE CROSS SECTIONS IN VARIOUS EFFORTS AND PARAMETERS

Скорук Л.М., к.т.н., доц., Попок К.В., студ. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Скорук Л.Н., к.т.н., доц., Попок А.В., студ. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Skoruk L.N., candidate of technical sciences, associate professor, Popok K.V., student (Kiev National university of Construction and Architecture, Kiev)

Досліджена область несучої здатності залізобетонних перерізів при різних зусиллях та параметрах.

Исследована область несущей способности железобетонных сечений при различных усилиях и параметрах.

Research field bearing capacity of reinforced concrete cross sections in various efforts and parameters.

Ключові слова:

Область несучої здатності, залізобетонний переріз, зусилля.

Область несущей способности, железобетонное сечение, усилие.

Field bearing capacity, reinforced concrete section, effort.

Умова міцності перерізів залізобетонних елементів має вигляд:

$$F(N, M_x, M_y, M_z, Q_x, Q_z) \leq K,$$

де F – область несучої здатності залізобетонного перерізу, яка складається із множини відповідних внутрішніх зусиль (поздовжніх сил, крутного та згинальних моментів, поперечних сил); K – межа області несучої залізобетонного перерізу, за межами якої не виконуються перевірки несучої здатності [2].

У загальному випадку граничні умови з міцності можуть бути задані у вигляді системи нерівностей – обмежень. Така система нерівностей задає певну **випуклу** область, яка описує міцність перерізу для виду напруженого

стану, що розглядається [1, 2]. Для кращої наочності зображення області несучої здатності перерізу можна будувати тривимірні графіки, наприклад, у координатах N - M_y - M_z та N - Q_y - Q_z . В результаті перетину тривимірних графіків ортогональними площинами отримуємо плоскі (двовимірні) проєкції області несучої здатності перерізу на відповідні осі (рис. 1).

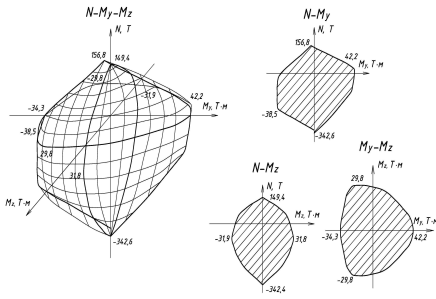


Рис. 1. Просторове представлення області несучої здатності залізобетонного перерізу у координатах N - M_y - M_z та її плоскі проєкції в результаті перетину площинами, які проходять через центр координат.

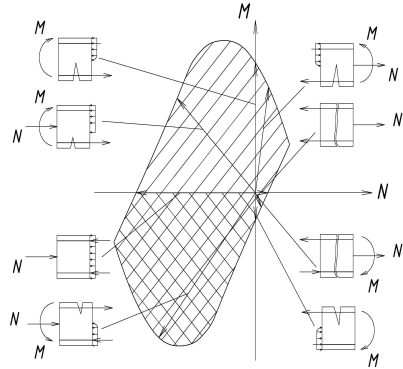


Рис. 2. Напружено-деформований стан залізобетонного перерізу в межах області несучої здатності.

Крива, що обмежує область несучої здатності перерізу, містить всередині себе сукупність точок відповідних пар зусиль (наприклад, N - M_y , N - M_z), при одночасній дії яких несуча здатність перерізу буде забезпеченою. Вихід точки за межі обмежувальної кривої свідчить про те, що граничні умови з міцності порушені і несуча здатність перерізу не є забезпеченою.

Так точки, які знаходяться на вісі N у додатній або від'ємній її частині, означають відповідно чистий розтяг або чистий стиск перерізу, точки ж на вісі M характеризують чистий згин тої чи іншої частини перерізу. Точки, які не лежать чітко на координатних осях означають стиск зі згином або розтяг зі згином. Зміну напружено-деформованого стану залізобетонного перерізу в межах області несучої здатності показано на рис. 2.

На форму та межі області несучої здатності перерізів залізобетонних елементів впливають різні фактори: клас бетону, площа арматури, симетричність або несиметричність її розміщення у перерізі, наявність тріщин тощо. Далі розглянемо ступінь та характер впливу деяких із цих факторів на область несучої здатності стандартних перерізів для чого проведемо ряд розрахунків.

1. Зміна області несучої здатності перерізів з різним армуванням.

Визначимо, яким чином змінюються межі області несучої здатності залізобетонного перерізу при зміні площі робочої арматури (відсотка армування перерізу).

В ході проведених чисельних досліджень збільшуємо відсоток армування у перерізі від 0,5% до 3%. Аналіз виконано окремо для перерізів трьох параметричних форм – прямокутної, таврової та круглої. Як результат отримали області несучої здатності відповідних перерізів в різних системах координат: $N-M_y$, $N-M_z$, M_y-M_z , $N-Q_y$, $N-Q_z$, тобто була досліджена взаємозалежність граничних значень внутрішніх зусиль у них (рис. 3, а).

2. Зміна області несучої здатності перерізів з різного класу бетону.

У другому чисельному дослідженні збільшуємо клас бетону від C12/15 до C45/55 [1]. Як результат отримуємо графіки області несучої здатності перерізів у тих самих координатах, що і в першому випадку (рис. 3, б).

3. Зміна області несучої здатності перерізів з наявністю тріщин.

У третьому чисельному дослідженні бачимо зміну меж та форми області несучої здатності залізобетонного перерізу при наявності тріщин. На рис. 4, а на фоні області несучої здатності перерізу без тріщин заштрихована область несучої здатності перерізу з тріщиною.

Як видно на рис. 3, області несучої здатності для досліджуваних перерізів є схожими за формою та виглядом. Це пояснюється тим, що досліджувані перерізи мають приблизно однакову площу бетону та симетричне армування. Внаслідок симетричного розташування арматури у стиснутій та розтягнутій зонах перерізу, області несучої здатності прямокутного та круглого перерізу також є симетричними відносно горизонтальної осі u , на відміну від тавра.

Переріз у формі тавра є несиметричним відносно осі u , тому при комбінації зусиль $N-M_y$ ми бачимо скачок зусилля N на певну величину ΔN , так, як це буде і у випадку з несиметричним армуванням навіть для симетричного перерізу. Величина ΔN є різницею між складовими міцності в розтягнутій та стиснутій арматурі – $f_{yk}A_s'$ та $f_{yk}A_s$ [3]. Відносно осі z перерізи всіх досліджуваних форм (в тому числі й таврової) є симетричними, тому на графіках $N-M_z$ скачка зусилля N не спостерігаємо.

Графіки при комбінаціях зусиль $N-M_y(M_z)$ та $N-Q_y(Q_z)$ для круглого перерізу є більш «сплющеними», ніж для інших форм. При цьому граничні значення зусилля N для круглого перерізу є значно більшими. Це пояснюється тим, що в силу своєї двобічної симетрії ця форма перерізу дуже добре працює на поздовжні зусилля – стиск та розтяг. Також в силу двобічної симетрії цей переріз краще за інших працює на поєднання (спільну роботу) моментів M_y та M_z .

Перерізи, які є витягнутими вздовж осі z , краще працюють на згин у площині дії моменту в цій площині. Це спричинюється більшим значенням моменту інерції відносно осі u . Тому граничні значення зусилля M_y є більшим від M_z .

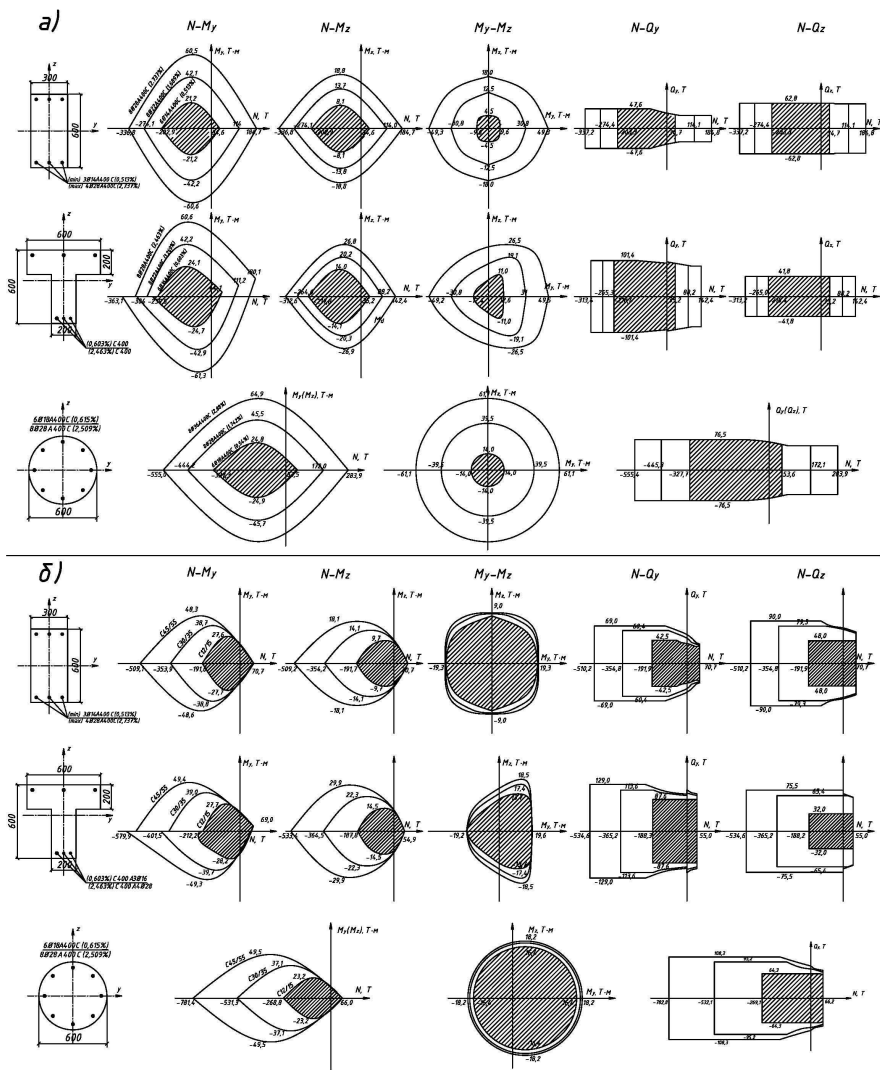


Рис. 3. Зміна області несучої здатності залізобетонних перерізів залежно від:
 а) сумарної площі арматури в перерізі (відсотка армування); б) класу бетону.

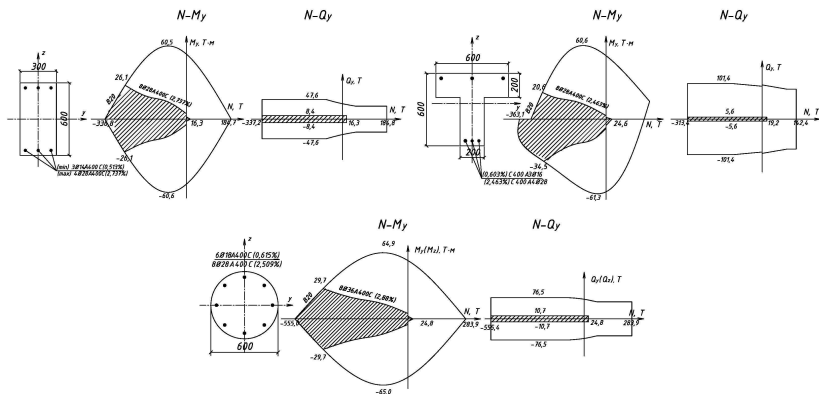


Рис. 4. Зміна області несучої здатності перерізів з урахуванням наявності тріщин.

Також від моментів інерції навколо центральних осей залежать і граничні значення поперечних сил. З усіх досліджуваних форм перерізу найбільше значення моменту інерції відносно осі y має переріз таврової форми, а найменше – прямокутної, тому саме ці перерізи мають відповідно найбільші і найменші граничні значення поперечної сили Q_y . Переріз прямокутної форми є незмінним за шириною (не має вирізів і послаблень). Це забезпечує йому кращу роботу на зусилля Q_z , ніж у таврового перерізу. Відсутність вирізів також спричинює те, що на зусилля Q_z прямокутний переріз працює навіть краще, ніж на Q_y , тому що послаблення вздовж осі z дають невеликі значення моменту інерції відносно цієї осі, і, відповідно, гіршу роботу на зусилля Q_z .

При збільшенні площі робочої арматури в перерізі (за незмінного класу бетону) у перших трьох комбінаціях зусиль ($N-M_y$, $N-M_z$ та M_y-M_z) спостерігаємо зростання всіх граничних значень зусиль, в останніх двох – тільки поздовжньої сили. Значення граничної поперечної сили не змінюється зі збільшенням відсотка армування перерізу. Це пояснюється тим, що на поздовжні та згинальні зусилля працюють спільно арматура з бетоном, і на таку роботу впливає зміна характеристик обох складових частин залізобетонного елемента. На дію поперечних сил працює у більшій мірі бетон, тому збільшення площі арматури в перерізі несуттєво впливає на роботу на цей вид зусиль.

При збільшенні класу бетону, без зміни площі робочої арматури в перерізі, спостерігаємо зростання граничних значень стискаючого, згинальних та поперечних зусиль. Значення граничного розтягуючого зусилля залишається незмінним. Це пояснюється тим, що бетон – це матеріал, який добре працює на стиск і погано – на розтяг, і збільшення класу бетону приводить до покращення його роботи на стиск, але на сприйняття розтягуючого зусилля не впливає.

На згинальні зусилля M_y та M_z також краще працює арматура, ніж бетон, тому збільшення площі арматури в перерізі значно суттєвіше впливає на

зростання граничних значень цих зусиль, ніж збільшення класу бетону. В основному при зміні класу бетону ми спостерігаємо його значно кращу роботу саме на стиск.

При урахуванні розрахунку залізобетонного елемента на тріщиностійкість ми бачимо, що не змінилось лише значення граничного стискаючого зусилля, решта граничних зусиль значно зменшилась. Це знову ж таки свідчить про хорошу роботу бетону на стиск і про те, що він продовжує тривалий час добре працювати на цей вид зусиль навіть з появою тріщин в елементі. Значення допустимих згинальних зусиль зменшились приблизно вповнину. Дуже значних втрат зазнає запас допустимих значень розтягуючої та поперечних сил.

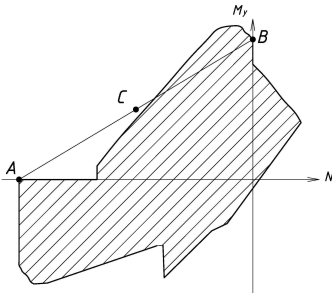


Рис. 5. Невипуклість області несучої здатності перерізу.

Графіки, отримані з урахуванням розрахунку елемента на тріщиностійкість, не мають правильної геометричної форми (мають невивпуклості на нерівності). На практиці проектування це може приховувати у собі небезпеку з точки зору забезпечення міцності перерізу. Оскільки, переріз, який задовольняє необхідні умови міцності окремо від дії двох зусиль (точки A і B на рис. 5), може не витримувати зусилля, яке буде дорівнювати їх півсумі (точка C на рис. 5).

Таким чином, на прикладі проведених досліджень було показано, що використання областей несучої здатності надає проектувальнику значні переваги у розрахунку залізобетонних елементів на міцність, а саме:

- 1) отримання наочного зображення області несучої здатності залізобетонного перерізу;
- 2) простеження зміни граничних значень допустимих комбінацій зусиль залежно від форми перерізу, видів прикладених зусиль, зміни площі робочої арматури в перерізі та класу бетону елемента, а також при появі та розкритті тріщин у досліджуваному перерізі;
- 3) звільнення від необхідності повторного розрахунку несучої здатності елемента при зміні діючого на нього зовнішнього навантаження (оскільки при зміні діючих зусиль необхідно лише з'ясувати попадає чи не попадає точка, яка характеризує дію двох зусиль, що розглядаються одночасно, в середину області несучої здатності).

1. Руководство по расчету статически неопределимых конструкций. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с. 2. А. М. Болдышев, В. С. Плевков. Прочность нормальных сечений железобетонных элементов. - Томск, Томский межотраслевой ЦНТИ, 1989. – 236 с. 3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.