



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**76-ї НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРОФЕСОРІВ,
ВИКЛАДАЧІВ, НАУКОВИХ ПРАЦІВНИКІВ,
АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ УНІВЕРСИТЕТУ**

ТОМ 1

14 травня – 23 травня 2024 р.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСОЛЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ "CONCRETE DAMAGE PLASTICITY"

Несуча здатність залізобетонних консолей широко досліджена як теоретично [1] так і експериментально [2]. Через питання, пов'язані із сумісною роботою бетону й арматури, нелінійним деформуванням бетону, складними крайовими умовами задачі, побудова аналітичного рішення таких задач неможлива без суттєвих спрощень. Проте, такі спрощення можуть привести до невідповідностей моделі та об'єкта дослідження і повинні бути обґрунтовані численними експериментальними дослідженнями.

Незважаючи на широке застосування залізобетонних консолей, результати їх моделювання із застосуванням сучасних програмних комплексів зустрічаються рідко, тому актуальними є детальні чисельні дослідження напружено-деформованого стану таких елементів із урахуванням фізичної нелінійності матеріалів, особливостей армування та характеру навантаження.

Сучасні програмні комплекси для вирішення задач міцності є потужними інструментами які, порівняно з аналітичними методами, мають значно вищий рівень можливостей. Запропоновано використання програмного комплексу ABAQUS, який має ряд переваг при моделюванні залізобетонних елементів. Зокрема, в задачах міцності залізобетонних консолей є можливість створення реалістичних матеріальних моделей, які враховують нелінійну поведінку матеріалів, включаючи деформації при руйнуванні при будь-якій складності геометричних моделей та навантаження, що відповідає реальним умовам експлуатації. Завдяки можливості враховувати руйнування матеріалів, ABAQUS дозволяє аналізувати і прогнозувати місця концентрації напружень та можливі місця пошкоджень. Широкі можливості рішення контактних задач дозволяють моделювати із урахуванням наявності тертя. Моделювання роботи арматури та бетону забезпечується спеціальним інструментом із автоматичним контролем взаємодії матеріалів.

Робота бетону в ABAQUS реалізована в моделі Concrete Damage Plasticity (CDP) [3], що має ряд переваг, зокрема використовує поняття ізотропної пошкодженої пружності в поєднанні з ізотропною пластичністю при розтяганні та стисканні для представлення непружної поведінки бетону.

Модель CDP призначена саме для використання в поєднанні з арматурою, у тому числі для випадків, у яких бетон піддається монотонному, циклічному або динамічному навантаженню із урахуванням незворотних пошкоджень, які виникають в процесі руйнування. Модель передбачає можливість видалення скінченних елементів на основі критеріїв руйнування матеріалу.

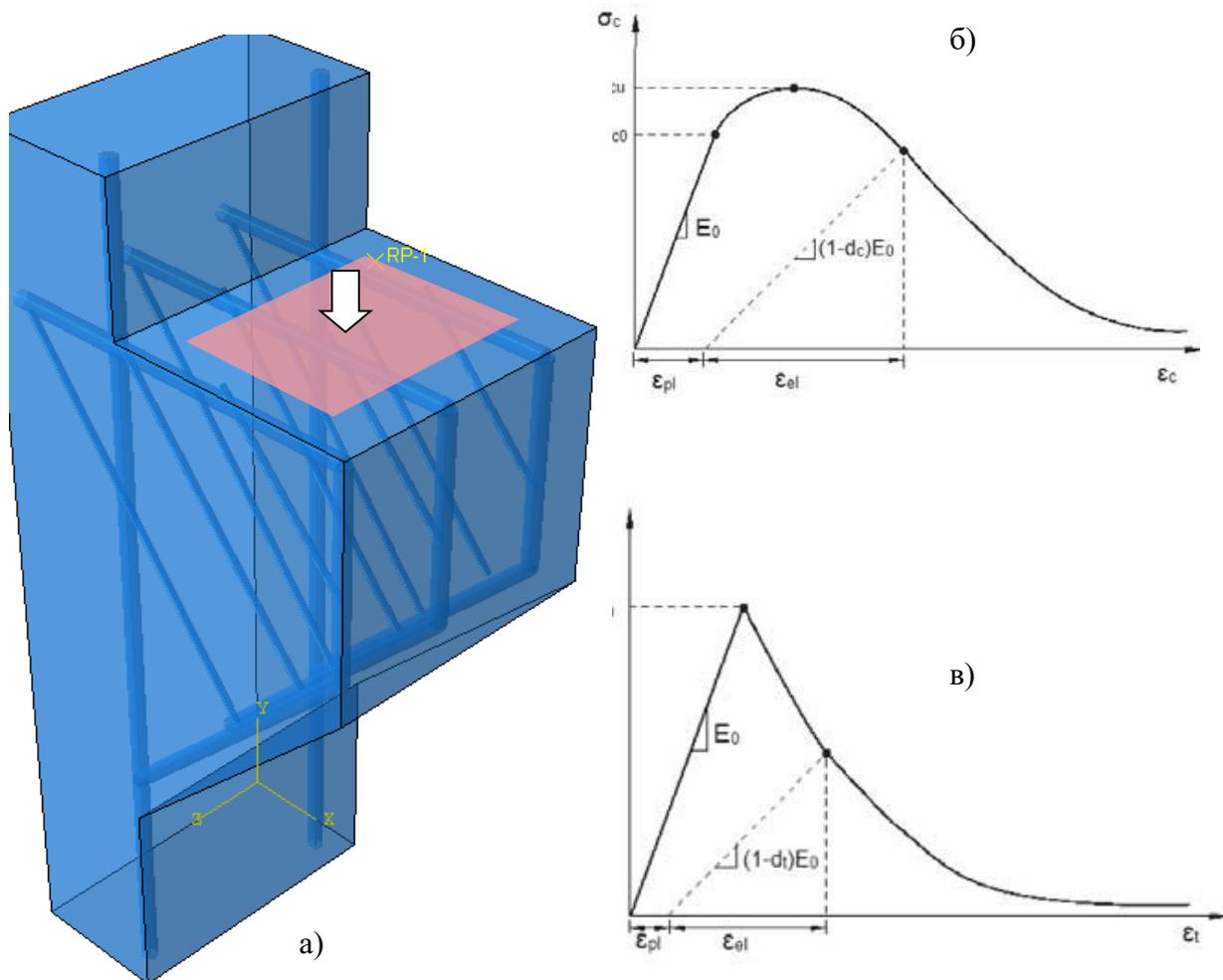


Рис. 1. Модель консолі: а) геометрична модель; б) діаграма стану бетону при стиску; в) діаграма стану бетону при розтягу

Параметрами матеріалів у запропонованій моделі є: модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалів; діаграма «напруження-деформації» бетону, в якій відокремлюються пружні лінійні деформації та пластичні нелінійні, діаграма задається окремо для деформацій стиску та розтягу, з урахуванням спадної гілки; діаграма «напруження-деформації» арматурної сталі, із урахуванням ділянки текучості; відношення границі міцності бетону при двовісному стисканні до границі міцності при одновісному стисканні; ступінь деградації бетону залежно від рівня деформацій при

стиску (d_c) та при розтягу (d_t); кут дилатації (Dilation angle); параметри “eccentricity” та “K” моделі CDP.

Для оцінювання можливості чисельного моделювання залізобетонних консолей проведено ряд розрахунків, що дозволили дослідити вплив параметрів моделі на отримані результати. Модель бетону CDP передбачає використання явного обчислювача для динамічних задач (Dynamic Explicit). Це пов'язано із використанням нелінійних моделей матеріалів, у тому числі із врахуванням спадної вітки діаграми «напруження-деформації». Визначено, що прорахунок моделі в стадії перед руйнуванням потребує суттєвої обчислювальної роботи. Як вихід з цієї ситуації, рекомендується задавати не приріст навантаження, а приріст переміщень точки прикладання сили. Це дозволяє суттєво покращити збіжність рішення а також отримати повну діаграму «навантаження-переміщення», у тому числі із спадною віткою. Крім цього, це дозволяє краще досліджувати формування зон руйнування конструкції та робити висновки про причину та спосіб руйнування.

Робота арматури в бетоні в ABAQUS моделюється за допомогою інструменту “Embedded region”, який дозволяє довільне розміщення арматурних стержнів у тілі бетону, без явної прив'язки вузлів скінченноелементної сітки бетону до вузлів арматури. Їх взаємодія обраховується автоматично залежно від взаємного положення. Ця особливість дозволяє легко реалізовувати в моделі армування будь-якої складності, що є визначальними при моделюванні залізобетонних консолей.

Сучасні програмні комплекси, зокрема розглянутий комплекс ABAQUS є ефективним інструментом для моделювання міцності залізобетонних консолей колон, дозволяючи аналізувати вплив широкого спектру параметрів на опір консолей залізобетонних колон.

Література

1. Dawood A.A., Kadhum A.K., Abdul-Razzaq Kh. S. *Strength of reinforced concrete corbels – a parametric study // IJCIET. – 2018. – Vol. 9. – Is. 1. – Pp. 2274-2288.*
2. Kriz L.B., Raths C.H. *Connections in precast concrete structures – strength of corbels // Journal of the Prestressed Concrete Institute. – 1965. – Vol. 10. – №. 1. – Pp. 16-61.*
3. *ABAQUS Analysis User's Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usb/default.htm?startat=pt05ch18s05abm36.html#usb-mat-cconcretedamaged> – Concrete damaged plasticity*