

ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДВОПРОГІННОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ПРЯМОКУТНОГО ПРОФІЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК ANSYS

Крантовська О.М. · к.т.н. · доц. · Коцюрубенко **О.М.** · асп. ·
Одеська державна академія будівництва та архітектури · м. Одеса ·

Універсальний програмний комплекс ANSYS належить до так званих важких розрахункових комплексів разом з ABAQUS, MSC Nastran та ін., які дозволяють вирішувати складні інженерні задачі. Так, у сфері розрахунків залізобетонних конструкцій він дозволяє враховувати тріщиностійкість та нелінійні залежності напружень і деформацій, що якісно позначається на проектуванні та збільшує точність прогнозування напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій. Потужність даної платформи, поки що, залишається поза увагою широкого кола вітчизняних науковців, втім світова практика його використання [1] засвідчує задовільну збіжність отриманих схем виникнення й розвитку тріщин у будівельних конструкціях із натурними дослідженнями, що особливо важливо для прогінних залізобетонних елементів, які зазнають різних силових впливів.

Моделювання та розрахунок залізобетонного елемента за допомогою ПК ANSYS, що використовує метод скінчених елементів (МСЕ) має свої особливості. Так, балка моделюється у об'ємній постановці, що обумовлює наявність таких компонентів: бетонна балка, арматура (поздовжня і

поперечна) та металеві пластини, які моделюються для уникнення концентрації напружень у місцях прикладення зосередженого навантаження й у місцях розташування опор. Для кожного із перерахованих компонентів вибирається свій скінчений елемент, а також привласнюються свої атрибути сітки скінчених елементів із відповідними характеристиками: тип скінченного елемента, реальні константи та номер моделі матеріалу. Вказані операції, разом із побудовою геометрії, належать до передпроцесорного етапу. Наступним кроком є процес розрахунку, що включає: введення обмежень на переміщення у місцях розташування опор, прикладення навантажень та безпосередньо команда відправлення на розрахунок. Після виконання розрахунку виконується постпроцесорна обробка результатів: виведення необхідних схем, значень напружень тощо.

Розглянемо операції передпроцесорного етапу числового моделювання конструкції у ПК ANSYS Multiphysics 11.0 на прикладі нерозрізної двопрогінної залізобетонної балки прямокутного поперечного перерізу. Даний дослідний елемент належить до V-ої серії комплексного натурального дослідження прогінних залізобетонних елементів. Балки V-ої серії досліджувались на дію поперечної сили з урахуванням п'яти дослідних факторів, а саме: відносного прогону зрізу a/d , класу бетону C, армування поперечного ρ_{sw} , поздовжнього верхнього ρ_{sv} і нижнього ρ_{sh} . Детальний опис методології, обладнання та основних характеристик дослідних зразків балок наведено у роботі [2].

Скінченні елементи та їх опції. Моделювання залізобетонних елементів виконується за допомогою скінчених елементів з вбудованої бібліотеки. Детальна характеристика елементів наведена у відповідній довідковій літературі [3] або її можна знайти у вбудованому довіднику (пункт Help з Utility Menu програми). Для бетону прийнято елемент Solid65; для стержнів армування – Link8; для сталевих пластин – Solid45.

Реальні константи. Кожен тип скінчених елементів має свій унікальний набір властивостей (Options), де містяться певні константи. Тип реальних констант №1 надано бетону (елемент Solid65). Реальні константи стосуються параметрів стержнів армування, якщо воно задається за типом «розмазаного» (the smeared model) або вбудованого (the embedded model). У нашому дослідженні армування моделюється за типом окремих елементів (the discrete model), і задається окремим скінченим елементом, тому показники реальних констант Solid65 ігноруються. Тип реальних констант №2 надано металевій пластині (елемент Solid45), де показники відсутні. Тип реальних констант №3 і №4 надано поздовжньому нижньому та верхньому армуванню (елемент Link8). Тип реальних констант №5 і №6 надано поперечному армуванню (елемент Link8) поблизу опор та у зоні чистого згину. Для вказаного елемента Link8 передбачено набір реальних констант, до якого належать площа поперечного перерізу стержня армування і початкові деформації.

Оскільки попереднє напруження відсутнє, то константа початкових деформацій ігнорується.

Матеріали. Як вже зазначалось вище, даний розрахунковий комплекс дозволяє врахувати нелінійні властивості матеріалів і потребує особливої ретельності для належного моделювання їх властивостей. Кожному компоненту (бетонній балці, арматурі та сталевій пластині), а, точніше, відповідному скінченному елементу (**Solid65, Solid45, Link8**) присвоюється своя комбінація, яка може складатися з декількох моделей певного матеріалу. Для усіх матеріалів враховується лінійна пружна робота матеріалу (**Linear Isotropic**) із заданням початкового модулю пружності та коефіцієнту Пуассона. Для бетону (комбінація №1) враховуються також моделі:

- **Multilinear Isotropic** призначений для завдання криволінійної діаграми мультилінійною апроксимацією; мультилінійно-ізотропна модель з кінематичним зміцненням, що відповідає діаграмі « σ », прийнята на основі [4]. Дана модель передбачає утворення тріщин по площадці нормальній до діючих нормальних напружень при перевищенні даним головним напруженням заданої межі міцності при розтягу, а також урахування об'ємного (трьохосного) напруженого стану. Для даного дослідження за межу міцності при розтягу приймався розрахунковий опір бетону розтягу для граничних станів першої групи. Діаграма «напруження-деформація» σ ϵ для стисненого бетону приймалась криволінійною (з полілінійною апроксимацією) згідно з [4];

- **Concrete** реалізує алгоритми об'ємно-напруженого стану бетону, а саме враховується тривимірна модель міцності із введення констант, запропонованих **William K.J.** та **Warnke E.P.**

Для моделювання сталевієї пластини опор (комбінація №2) використовується тільки модель **Linear Isotropic**. Для моделювання сталі поздовжнього армування (комбінація №3), окрім моделі **Linear Isotropic**, враховується модель **Multilinear Isotropic**, призначена для задавання криволінійної діаграми мультилінійною апроксимацією. Для моделювання арматурної сталі поперечного армування (комбінація №4), окрім моделі **Linear Isotropic**, враховується модель **Bilinear Isotropic**, призначена для задавання дволінійної діаграми «напруження-деформація» σ - ϵ для арматурної сталі відповідно до рекомендацій [4].

Усі перераховані атрибути із присвоєними номерами, необхідні для моделювання сітки скінчених елементів, і які можуть використовуватись для будь-якого іншого залізобетонного елемента, наведені у табл. 1. Особливості побудови геометрії елементів моделі та розрахунку конструкцій освітлені у монографії [5]. Для спрощення та економії розрахункових потужностей, при симетричній будові конструкції, раціональним є побудова частини моделі, якщо це не впливає на результати розрахунку. У нашому випадку, завдяки наявності двох площин симетрії, моделювалась тільки четвертина балки.

Атрибути сітки скінчених елементів для побудови
числової моделі дослідної залізобетонної балки

Частина моделі	Тип елемента	Модель матеріалу	Тип реальних констант
Бетонна балка	(1) Solid65	1	1
Сталева пластина навантаження і опори	(2) Solid45	2	2
Поздовжнє армування A500C нижнє	(3) Link8	3	3
Те ж, верхнє			4
Поперечне армування A240C у зоні чистого згину		4	5
Поперечне армування ВрI поблизу опори			6

Виконане дослідження з вибору типу скінчених елементів, призначення реальних констант та задавання властивостей матеріалів у ПК “ANSYS” дозволяє перейти до побудови геометрії, розрахунку та постпроцесорного етапів моделювання у дослідженні двопрогінних залізобетонних елементів з подальшим порівнянням отриманих схем розташування тріщин із результатами натурних експериментів, а також із результатами вже виконаних розрахунків за нормативними методиками [6].

Література

- [1] Юшин А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению, с учетом нелинейности / А.В. Юшин, В.И. Морозов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5 (Электронный журнал) URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15235> (дата звернення 01.04.2016)
- [2] Дорофеев В.С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок (монография) / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская; Одесская государственная академия строительства и архитектуры. – Одесса: Эвен, 2010. – 175 с. [3] ANSYS Mechanical APDL Element Reference. Release 15.0, November 2013 / ANSYS, Inc. – 1424 p. [4] ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – [чинний від 2011–06–01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. [5] Дашенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов. – изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н.Г. Сурьянинова. – Харьков: «БУРУН и К», 2011. – 504 с. [6] Оцінка несучої здатності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних елементів / О.М. Кошорубенко, О.М. Крантовська, В.М. Карпюк. – Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків, Вип 154. – 2016.

NUMERICAL RESEARCH OF STRESS STAIN STATE OF TWO-SPAN REINFORCED CONCRETE BEAM WITH RECTANGULAR CROSS SECTION USING ANSYS

Report is devoted to the reinforced concrete two-span beam modeling by finite element analysis using ANSYS. The description of preprocessing operations for this research element is fulfilled namely the element types, real constants and material models. Finite element types for concrete, steel bar and steel plate are pointed. Real constants model for all of elements types are listed. Such an advantage of ANSYS as considering non linear material properties is used and is taking into account properly by choosing the material models. For concrete it was done by considering multilinear isotropic model responded to applicable building code. Also for concrete except linear isotropic model a criterion for failure due to a multiaxial stress state (criterion of William and Wanke) is considered. Fulfilled analysis is the base for next steps in research of stress stain state of two-span reinforced concrete beam using finite element analysis in ANSYS – solution and postprocessor operations. Fulfilled numerical research can be used for the other types of reinforced concrete elements.