

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.1/21.012.35:519.876.5[004.942]

А. В. ГАСЕНКО^{1*}, І. А. ЮРКО², П. А. ЮРКО³, Л. В. ГАСЕНКО⁴

^{1*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, тел. +38 (050) 404 64 88, ел. пошта gasentk@gmail.com, ORCID 0000-0003-1045-8077

² Кафедра автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, ORCID 0000-0003-3758-206X

³ Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Преображенська, 5/2, м. Київ, Україна, 03037, ORCID 0000-0002-3485-435X

⁴ Кафедра автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, ORCID 0000-0002-1310-914X

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ СТЕРЖНІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Мета. Виконати скінченно-елементний перевірочний розрахунок позацентрово-стиснутих стержнів залізобетонних конструкцій інженерних споруд. **Методика.** Чисельне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій виконано в системі скінченно-елементного аналізу NASTRAN. Розрахунок виконано на основі деформаційної моделі та екстремального критерію міцності з використанням нелінійної діаграми бетону і дволінійної діаграми стану арматури. Як приклад, розраховано найбільш напружений елемент Г-подібної суцільної піврами двотаврового поперечного перерізу. **Результати.** Отримано графіки розподілу відносно головних осей деформацій і напружень на поверхні моделей, в арматурних стержнях та їх числові значення із вказуванням екстремумів. **Наукова новизна.** З'ясовано, що скінченно-елементне моделювання роботи конструкцій та їх елементів дає змогу врахувати особливості вичерпання їхньої несучої здатності та втрати місцевої чи загальної стійкості. Встановлено доцільність розбивання моделі будівельних конструкцій правильної геометричної форми на гексаедри із стороною, що складає 2-3 % від загальної висоти чи довжини досліджуваної моделі. **Практична значимість.** Розглянута чисельна модель залізобетонного елемента колони дозволяє проводити дослідження напружено-деформованого стану при різному відсотку армування та прикладання зосередженої сили. Моделювання напружено-деформованого стану стиснутого елемента дозволяє оптимізувати розміри зразків для проведення експериментальних випробувань, а також виділити місця на зразках, на які потрібно звернути особливу увагу під час проведення експерименту.

Ключові слова: залізобетонні конструкції; чисельне моделювання; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан; позацентровий стиск

Вступ

Виявлення у конструкціях мостів і тунелів місць із найбільшими напруженнями в їх елементах завжди було актуальним питанням під час оптимізації розрахункових схем споруд, зміни умов їх роботи тощо [12, 13]. Для зменшення обсягів експериментальних досліджень можливе створення та дослідження моделей конструкцій шляхом комп'ютерного моделювання із використанням чисельних методів розрахунку [1].

Одними із основних будівельних матеріалів для спорудження мостів і тунелів є бетон та арматура. На протязі багатьох років сумісне

використання цих матеріалів дозволяло швидко та надійно споруджувати конструкції різного характеру й призначення [13]. На даному етапі розвитку теорії залізобетону його розглядають як нелінійно деформований матеріал [3]. Деформаційна модель розрахунку, заснована на повних діаграмах стану матеріалу, представлена в ДБН-В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції». Ця модель ускладнює розрахункові положення, а в деяких випадках вимагає проведення додаткових досліджень.

Розрахунок і конструювання стиснутих залізобетонних конструкцій на сьогодні розроблені

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

недостатньо, що сповільнює впровадження їх у практику будівництва [8, 11]. Проектування цих конструкцій ведеться в основному згідно з діючими ДБН-В.2.6-98:2009 та посібників до них. У деяких випадках виникає потреба для проведення ряду експериментальних досліджень направлених на отримання додаткових даних [10].

Одним з факторів, від яких залежить збільшення корисних навантажень на конструкції інженерних споруд, є несуча здатність колон, тому дослідження стиснутих залізобетонних елементів є актуальною задачею [2, 7].

Мета

Виконати скінченно-елементний перевірочний розрахунок позакентровано-стиснутих стержнів залізобетонних конструкцій інженерних споруд.

Методика

Для прикладу було розраховано Г-подібну суцільну півраму двотаврового поперечного перерізу по серії 1.800-2/74, випуск 3, яка застосовується при спорудженні збірних залізобетонних конструкцій [4]. Габаритні розміри таких Г-подібних піврам показано на рис. 1. Опорний, коньковий та карнизний вузли виконані прямокутного поперечного перерізу. Ухил ригельної частини піврами складає $\frac{1}{4}$. Опорний та коньковий вузли поперечної рами виконані шарнірними, а карнизний – жорстким. Залізобетонна піврама запроєктована з важкого бетону класу В30. В якості робочої арматури застосовується арматурна сталь класу А400С і А240С.

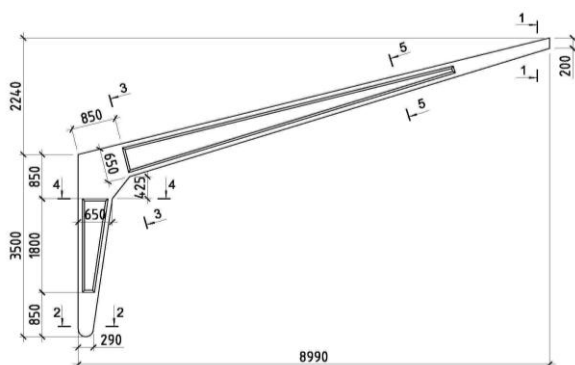


Рис. 1. Габаритні розміри та розрахункові перерізи Г-подібної піврами

Розрахунковий поперечний переріз елементів рами – симетричний двотавр з арматурою, що розташована у верхній і нижній полках (рис. 2). Висота перерізу ригеля і стійки змінюється прямолінійно від пришарнірних перерізів до конькового вузла. Для врахування зміни форми поперечного перерізу та армування, ригель піврами розбивається на сім розрахункових ділянок, а стійка – на п'ять. У межах кожної ділянки величина армування рами і всі геометричні характеристики поперечного перерізу, крім висоти, приймаються постійними. Кожна ділянка характеризується своєю крайньою координатою. Міцність перерізу перевіряється при кожній комбінації навантаження в наступних місцях рами (розрахункові перерізи показані на рис. 1):

- 1) біля шарнірів ригеля та стійки (перерізи 1-1 і 2-2);
- 2) в перерізах ригеля та стійки, що стиковані до місця перетину внутрішніх поверхонь ригеля і стійки з кутом карнизного вузла, зліва і справа від межі кожної ділянки на ригелі і стійці (перерізи 3-3 і 4-4);
- 3) в прольотному перерізі ригеля (переріз 5-5).

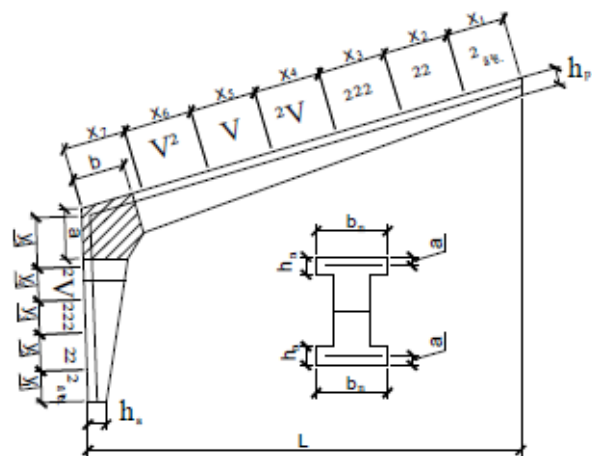


Рис. 2. До розрахунку піврами:

а) геометрична схема; б) поперечний переріз

Найбільш напруженим приймається переріз 4-4, що працює на позакентровий стиск. Розрахунок міцності у нормальному перерізі позакентровано-стиснутих залізобетонних стійок прямокутного перерізу піврам доцільно проводити на основі деформаційної моделі та екстремального критерію міцності з використанням нелінійної діаграми бетону і дволінійної діаграми стану

арматури [5]. Розподіл напружень у бетоні приймався за законом (згідно ДБН-В.2.6-98:2009):

$$\sigma_c = f_{cd} \sum_{n=1}^5 A_n \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \right)^n, \quad (1)$$

де f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск; A_n – коефіцієнти, котрі характеризують міцнісні властивості бетону; ε_{c1} – деформації, що відповідають межі міцності бетону при стиску.

При цьому в основу теоретичних досліджень покладено такі передумови:

- вважається, що бетон і поздовжня арматура працюють сумісно;
- не враховується гнучкість елементів (колон);
- при руйнуванні нормального перерізу в граничному стані нехтують роботою у розтягнутій зоні бетону;
- нейтральні лінії напружень і деформацій у нормальному перерізі співпадають;
- за розрахункову діаграму фізичного стану бетону при стиску приймається криволінійна діаграма з низхідною гілкою, для арматури при стиску (розтягу) – дволінійна діаграма Прандтля.

Прийняті передумови дають змогу значно спростити нелінійну деформаційну модель розрахунку. Запропонована методика розрахунку апробована авторами під час проведення експериментальних досліджень та комп'ютерного скінченно-елементного моделювання серії зразків [1].

Чисельне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій виконано в системі NASTRAN. Ця програма скінченно-елементного аналізу визнана лідером у даному напрямку завдяки повному огляду явищ різної фізичної природи досліджуваних матеріалів [6, 9]. Використовувалася учбова демо-версія SDRС-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000.

Геометричні моделі досліджуваних віртуальних зразків створювалися безпосередньо в підпрограмі Femap. Сталева та бетонні частини створювалися окремо. Габаритні розміри моделі складала 120×120×1000 мм. Для можливості прикладати зовнішнє навантаження із ексцент-

риситетом на кінцях моделі виконано збільшення перерізу. Схема моделі та ескіз прикладення навантаження показано на рис. 3.

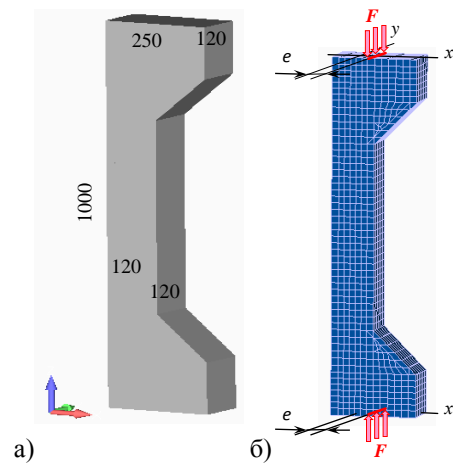


Рис. 3. Схема моделі (а) та ескіз прикладення навантаження на модель зразка (б)

Матеріали моделі – сталеві арматура і бетон – задавалися окремо, як ізотропні. Всі властивості матеріалів задавалися у вигляді скалярних величин. Значення фізико-механічних характеристик матеріалів (модуль пружності Юнга E і коефіцієнт поперечних деформацій ν) та закону деформування (σ - ε), що показані на рис. 4, бралися згідно діючих норм. Приймалося, що розподіл напружень змінюється за законом (1).

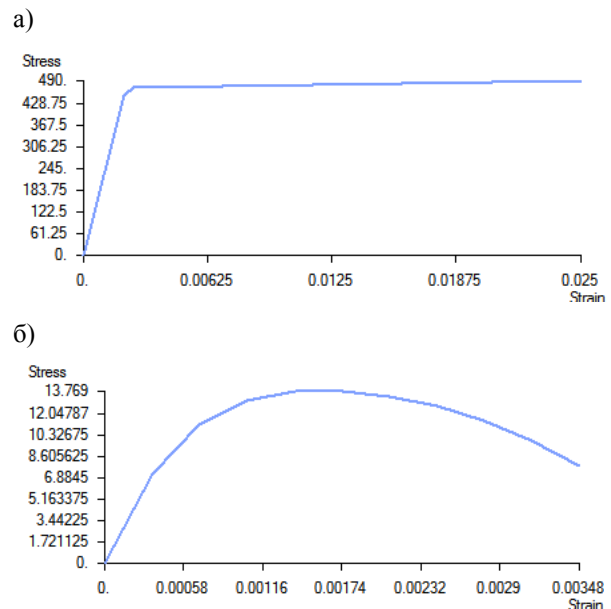


Рис. 4. Діаграми роботи сталі А400С (а) і бетону класу С20/25 (б)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Результати

Проведення чисельних розрахунків методом скінченних елементів на електронно-обчислювальних машинах дозволило отримати графіки розподілу відносно головних осей деформацій і напружень на поверхні моделей, в арматурних стержнях та їх числові значення із вказуванням екстремумів. Виконано детальний аналіз місць концентрації напружень. Вигляд моделі ділянки колони із різним ексцентриситетом прикладання навантаження після деформування показано на рис. 5.

На рис. 6 та 7 показано розподіл напружень на поверхні та в арматурних стержнях модельованих елементів колон. На шкалі справа показані величина напружень на поверхні бетону та арматури згідно кольорового відтінку.

Значення міцності випробуваних зразків змінювалося залежно значення ексцентриситету прикладення навантаження. За граничне значення навантаження залізобетонного елемента прийнято таке, за якого в найбільш стиснутому чи в найбільш розтягнутому волокні перерізу елемента досягаються деформації, котрі відповідають межі текучості арматури або межі рівня деформацій η_u бетону.

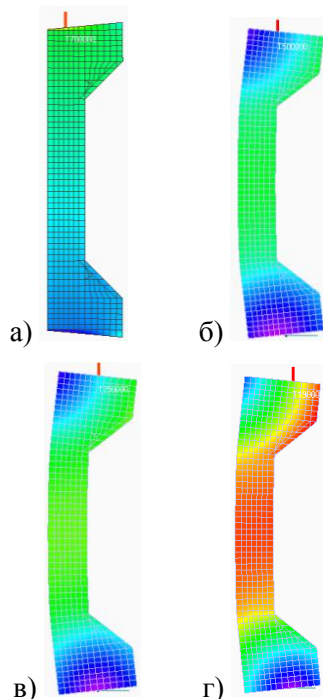


Рис. 5. Форма загальної втрати стійкості моделей при ексцентриситетах завантаження: 0 мм (а), 30 мм (б), 60 мм (в) і 90 мм (г)

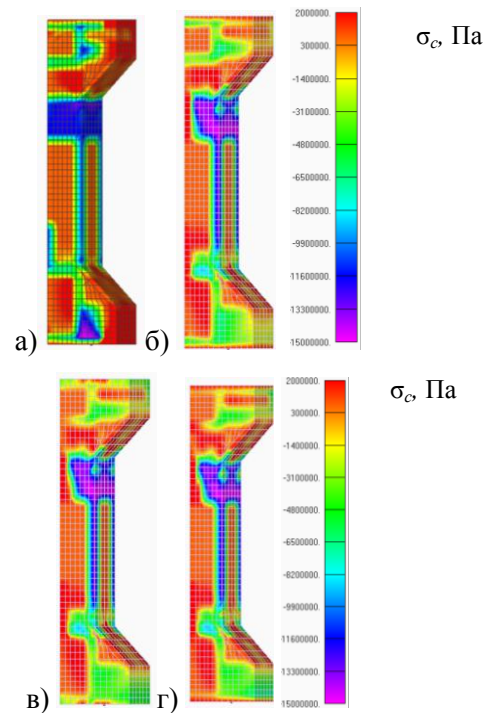


Рис. 6. Розподіл нормальних напружень на поверхні бетону моделей при ексцентриситетах навантаження: 0 мм (а); 30 мм (б); 60 мм (в); 90 мм (г)

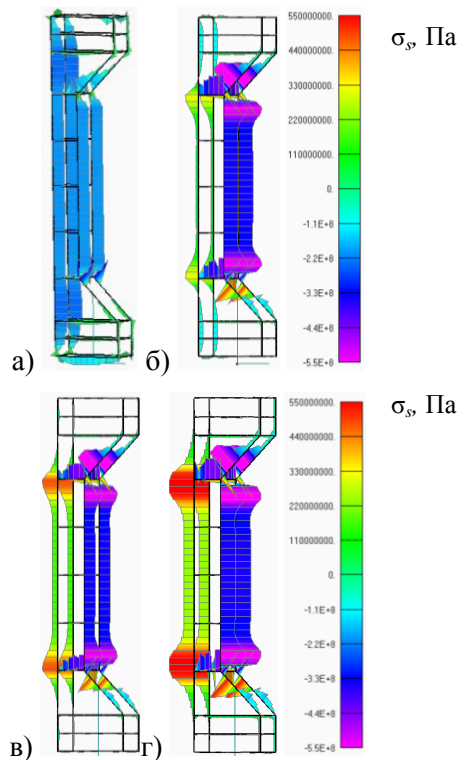


Рис. 7. Розподіл нормальних напружень в арматурі моделей при ексцентриситетах навантаження: 0 мм (а); 30 мм (б); 60 мм (в); 90 мм (г)

Найбільшу міцність зафіксовано у зразку, «випробуваному» на центральний стиск. Найменшу міцність мав зразок, «випробуваний» з ексцентриситетом прикладання навантаження $e_0=90$ мм. Загалом при збільшенні ексцентриситету від 0 до 90 мм міцність зменшилася до 43 %. При дослідженні позацентрово стиснутих елементів особлива увага приділялась з'ясуванню положення нейтральної лінії у нормальному перерізі. Її положення у граничному стані дає можливість обчислювати значення рівнодійної напружень у бетоні стиснутої зони та встановлювати випадок розрахунку.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті проведення дослідження визначено, що скінченно-елементне моделювання роботи конструкцій та їх елементів на електронно-обчислювальній машині методом скінченних елементів дає змогу врахувати особливості вичерпання їхньої несучої здатності та втрати місцевої чи загальної стійкості. Авторами статті пропонується проводити розрахунок міцності у нормальному перерізі позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів прямокутного перерізу на основі деформаційної моделі та екстремального критерію міцності з використанням нелінійної діаграми бетону і дволінійної діаграми стану арматури. Прийняті під час проведення скінченно-елементного моделювання розрахункові моделі будівельних конструкцій в програмному комплексі адекватні та відповідають реальним конструкціям.

Визначено доцільність розбивати моделі будівельних конструкцій правильної геометричної форми на гексаедри із стороною, що складає 2-3% від загальної висоти чи довжини досліджуваної моделі. При такій скінченно-елементній сітці значення нормальних напружень відрізнялися від середнього значення, порогового по результатам всіх розрахунків, до 8,9%.

Висновки

Розглядувана чисельна модель залізобетонного елемента колони є досить проста і дозволяє провести дослідження напружено-деформованого стану при різному відсотку армування та прикладення зосередженої сили. Використання комп'ютерної програми для мо-

делювання напружено-деформованого стану нормального перерізу стиснутого залізобетонного елемента колони дозволило виявити в конструкціях місця із найбільшими напруженнями. Моделювання напружено-деформованого стану стиснутого елемента дозволяє оптимізувати розміри зразків для проведення експериментальних випробувань, а також виділити місця на зразках, на які треба звернути особливу увагу під час проведення експерименту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гасенко, А. В. Прогнозування напружено-деформованого стану стиснутих залізобетонних елементів шляхом комп'ютерного моделювання [Текст] / А. В. Гасенко, П. А. Юрко // Вісник СНАУ. Серія: Будівництво. – Суми, 2014. – Вип. 10 (18). – С. 85-90.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. [Текст]. – Надано чинності 2007-01-01. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 60 с.
3. Павликов, А. М. Решение задач прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов в нормальном сечении на основе нелинейной диаграммы состояния бетона [Текст] / А. М. Павликов, П. А. Юрко // Сборник научных трудов (отраслевое машиностроит., строит-во) / Полтав. нац. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава : ПолтНТУ, 2011. – Вып. 1 (29). – С. 61-65.
4. Першаков, В. М. Каркасные здания из трёхшарнирных железобетонных рам : [монография] [Текст] / В. М. Першаков. – Киев : Книжное издательство НАУ, 2007. – 301 с.
5. Семко, О. В. Особливості моделювання напружено-деформованого стану легких сталевих тонкостінних конструкцій [Текст] / О. В. Семко, А. В. Гасенко, Д. М. Лазарев, Ю. О. Авраменко // Вісник ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 39. – С. 191-194.
6. Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows [Текст] / Д. Г. Шимкович. – Москва : ДМК, 2003. – 448 с.
7. Beicha, D. Effective transverse elastic properties of unidirectional fiber reinforced composites [Text] / D. Beicha, T. Kanit, Y. Brunet, A. Imad, A. E. Moumen, Y. Khelifaoui // Mechanics of Materials. – 2016. – Vol. 102. – pp. 47-53. – DOI: 10.1016/j.mechmat.2016.08.010.
8. Bishnu, P. A New method of applying long-term multiaxial stresses in concrete specimens

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- undergoing ASR, and their triaxial expansions [Text] / P. G. Bishnu, K. P. Daman // Materials and Structures. – 2016. – Vol. 49 (9). – pp. 3409-3508. – DOI : 10.1617/s11527-015-0734-z.
9. Hamid, H. Static and dynamic analysis of cracked concrete beams using experimental study and finite element analysis [Text] / H. Hamid, H. Mazaheri, H. Rahami, A. Kheyroddin // Periodica Polytechnica. Civil Engineering. – Budapest, 2017. – Vol. 62 (2). – pp. 337-345. – Access Mode : DOI : <https://doi.org/10.3311/PPci.11450>
 10. Hasenko, A.V. Causes of the eccentric compression reinforced concrete elements fixed joint stanchion and rafter gable frame of agricultural buildings [Text] / A. V. Hasenko, I. A. Yurko, O. G. Fenko, P. A. Yurko // The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies". – Germany : Karlsruhe, 2017. – Issue № 2, Vol. 2. – pp. 126-129. DOI : 10.21893/2567-5273.2017-02-02-033
 11. Hladka, K. I. Construction the bridge pier as parametric object using autodesk revit [Text] / K. I. Hladka, N. P. Bocharova // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu. – Dnipro, 2017. – Vol. 4 (70). – pp. 129-140. – Access Mode : DOI : <https://doi.org/10.15802/stp2017/109648>
 12. Kluchnik, S. V. Stress-strain state of beam staged connection point of the railway bridge track-way [Text] / S. V. Kluchnik, K. I. Hladka, N. P. Bocharova // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu. – Dnipro, 2017. – Vol. 3 (69). – pp. 160-170. – Access Mode : DOI : <https://doi.org/10.15802/stp2017/104762>
 13. Marinichenko, O. H. Dynamic behavior of two-span continuous concrete bridges under moving of high-speed trains [Text] / O. H. Marinichenko // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu. – Dnipro, 2017. – Vol. 5 (71). – pp. 124-130. – Access Mode : DOI : <https://doi.org/10.15802/stp2017/115385>

A. В. ГАСЕНКО^{1*}, И. А. ЮРКО², П. А. ЮРКО³, Л. В. ГАСЕНКО⁴

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011, тел. +38 (050) 404 64 88, эл. почта gasentk@gmail.com, ORCID 0000-0003-1045-8077

² Кафедра автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011, ORCID 0000-0003-3758-206X

³ Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Преображенская, 5/2, г. Киев, Украина, 03037, ORCID 0000-0002-3485-435X

⁴ Кафедра автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011, ORCID 0000-0002-1310-914X

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЕТ ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель. Выполнить конечно-элементный проверочный расчет внецентренно-сжатых стержней железобетонных конструкций инженерных сооружений. **Методика.** Численное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций выполнено в системе NASTRAN. Расчет выполнен на основе деформационной модели и экстремального критерия прочности с использованием нелинейной диаграммы бетона и двухлинейной диаграммы состояния арматуры. Для примера была рассчитана Г-образная сплошная полурама двутаврового сечения. **Результаты.** Получены графики распределения относительно главных осей деформаций и напряжений на поверхности моделей, в арматурных стержнях и их числовые значения с указанием экстремумов. **Научная новизна.** Выяснено, что конечно-элементное моделирование работы конструкций и их элементов позволяет учесть особенности исчерпания их несущей способности и потери местной или общей устойчивости. Установлена целесообразность разбивать модели строительных конструкций правильной геометрической формы на гексаэдр со стороны, составляющей 2-3 % от общей высоты или длины исследуемой модели. **Практическая значимость.** Рассмотренная численная модель железобетонного элемента колонны позволяет проводить исследования напряженно-деформированного состояния при различных процентах армирования и приложениях сосредоточенной силы. Моделирование напряженно-деформированного состояния сжатого элемента позволяет оптимизировать размеры образцов для проведе-

ния экспериментальных испытаний, а также выделить места на образцах, на которые нужно обратить особое внимание при проведении эксперимента.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; численное моделирование; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; внецентренное сжатие

A. V. HASENKO^{1*}, I. A. YURKO², P. A. YURKO³, L. V. HASENKO⁴

^{1*} Department of reinforced concrete and stone construction and strength of materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneva avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, tel. +38 (050) 404 64 88, e-mail gasentk@gmail.com, ORCID 0000-0003-1045-8077

² Department of highways, geodesy, land management and rural buildings, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneva avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, ORCID 0000-0003-3758-206X

³ State enterprise „State research institute of building constructions”, Preobrazhenska, 5/2, Kyiv, Ukraine, 03037, ORCID 0000-0002-3485-435X

⁴ Department of highways, geodesy, land management and rural buildings, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneva avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, ORCID 0000-0002-1310-914X

FINITE ELEMENT CALCULATION OF ECCENTRICALLY COMPRESSED RODS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN ENGINEERING STRUCTURES DESIGN

Purpose. To perform a finite-element verification calculation of eccentrically-compressed rods of engineering structures' reinforced concrete structures. **Methodology.** Structures' stress-strain state numerical simulation in the NASTRAN system was performed. The calculation is based on the deformation model and the extreme strength criterion using a concrete nonlinear diagram and a reinforcement two-line state diagram. As an example, the most intense element L-shaped solid half-frame of the I-section was calculated. **Findings.** Graphs of the distribution relative to the principal axes of deformations and stresses on the surfaces of models, in reinforcing bars and their numerical values with extremum indications were obtained. **Originality.** It was found that the finite element simulation of the operation of structures and their elements allows taking into account the features of depletion of their bearing capacity and loss of local or general stability. The expediency of dividing the models of regular geometric shape building structures into a hexahedron with a side that is 2-3 % of the total height or length of the model under study was established. **Practical value.** The considered numerical model of the reinforced concrete column element allows to conduct studies of the stress-strain state at various percentages of reinforcement and applications of concentrated force. The compressed element stressed-deformed state simulation allows to optimize samples' dimensions for carrying out experimental tests, and to allocate places on the samples to pay special attention during the experiment.

Keywords: reinforced concrete structures; numerical modeling; finite element method; stress-strain state; eccentric compression

REFERENCES

1. Hasenko A. V., Jurko P. A. Prohnozuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu stysnutykh zalizobetonnykh elementiv shliakhom kompiuternoho modeliuvannya [Forecasting of strained-deformed state of compressed reinforced concrete elements by computer simulation]. Visnyk SNAU Publ., Seriya Budivnytstvo. Sumy, 2014, issue 10 (18), pp. 85-90.
2. DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. [System of reliability and safety of building objects. Load and impact]. Kyjiv, Minbud Ukrainy Publ., 2006. 60 p.
3. Pavlikov A. M., Jurko P. A. Reshenie zadach prochnosti vnecentrenno szhatykh zhelezobetonnykh jelementov v normal'-nom sechenii na osnove nelinejnoj diagrammy sostojanija betona [Solving the problems of strength of eccentrically compressed reinforced concrete elements in the normal section on the basis of a nonlinear diagram of the state of concrete]. Sbornik nauchnyh trudov (otraslevoe mashinostrojt., stroit-vo), Poltav. nac. tehn. un-t im. Jurija Kondratjuka. Poltava, PoltNTU Publ., 2011. issue 1 (29). pp. 61-65.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

4. Pershakov V. M. Karkasnye zdaniya iz trjohsharnirnyh zhelezobetonnyh ram, [monografija] [Frame buildings from three-hinged reinforced concrete frames: [monograph]. Kyjiv, Knizhnoe izdatel'stvo NAU Publ., 2007. – 301 p.
5. Semko O. V., Hasenko A. V., Lazariiev D. M., Avramenko Yu. O. Osoblyvosti modeliuvannia napruzhenodeformovanoho stanu lehkykh stalevykh tonkostinnykh konstruksii [Features of the simulated stress-strain state of light steel thin-walled structures]. *Visnyk DNUZT imeni akademika V. Lazariana*, Dnipropetrovsk, 2011. issue 39, pp. 191-194.
6. Shimkovich D. G. Raschet konstrukcij v MSC/NASTRAN for Windows [Calculation of structures in MSC/NASTRAN for Windows]. Moscow, DMK Publ., 2003. 448 p.
7. Beicha D., Kanit T., Brunet Y., Imad A., Moumen A. E., Khelfaoui Y. Effective transverse elastic properties of unidirectional fiber reinforced composites. *Mechanics of Materials*, 2016, vol. 102, pp. 47-53. DOI 10.1016/j.mechmat.2016.08.010.
8. Bishnu P. A., Daman K. P. New method of applying long-term multiaxial stresses in concrete specimens undergoing ASR, and their triaxial expansions. *Materials and Structures*, 2016, vol. 49 (9), pp. 3409-3508. DOI 10.1617/s11527-015-0734-z.
9. Hamid H., Mazaheri H., Rahami H., Kheyroddin A. Static and dynamic analysis of cracked concrete beams using experimental study and finite element analysis. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*. Budapest, 2017, vol. 62 (2), pp. 337-345. Access Mode : DOI : <https://doi.org/10.3311/PPci.11450>
10. Hasenko A. V., Yurko I. A., Fenko O. G., Yurko P. A. Causes of the eccentric compression reinforced concrete elements fixed joint stanchion and rafter gable frame of agricultural buildings *The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies"*. Germany, Karlsruhe, 2017. issue № 2, vol. 2, pp. 126-129. DOI : 10.21893/2567-5273.2017-02-02-033
11. Hladka K. I., Bocharova N. P. Construction the bridge pier as parametric object using autodesk revit. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu*. Dnipro, 2017, vol. 4 (70), pp. 129-140. Access Mode : DOI : [ps:// doi.org/10.15802/stp2017/109648](https://doi.org/10.15802/stp2017/109648)
12. Kluchnik S. V., Hladka K. I., Bocharova N. P. Stress-strain state of beam staged connection point of the railway bridge track-way. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo univ'ersitetu zalizničnogo transportu*. Dnepr, 2017, vol. 3 (69), pp. 160-170. Access Mode DOI <https://doi.org/10.15802/stp2017/104762>
13. Marinichenko O. H. Dynamic behavior of two-span continuous concrete bridges under moving of high-speed trains. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo univ'ersitetu zalizničnogo transportu*. Dnipro, 2017, vol. 5 (71), pp. 124-130. Access Mode DOI <https://doi.org/10.15802/stp2017/115385>

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Нетеса, д.т.н., доц. О. Л. Тют'юкін

Надійшла до редколегії 03.09.2018.

Прийнята до друку 22.10.2018.