УДК 004.942:624.015

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОН ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА

NUMERICAL RESEARCHES OF STRESS-STRAIN STATE REINFORCE-CONCRETE COLON OF THE INDUSTRIAL BUILDING

Чередніков В.М., к.т.н., доц., Гасенко А.В., к.т.н., доц., Крупченко О.А., к.т.н., доц. (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Чередников В.Н., к.т.н., доц., Гасенко А.В., к.т.н., доц., Крупченко А.А., к.т.н., доц. (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Cherednikov V.N., candidate of technical sciences, assistant professor, Gasenko A.V. candidate of technical sciences, assistant professor, Krupchenko A.A. candidate of technical sciences, assistant professor (Poltava National Technical University named in honour of Yuri Kondratyuk)

У статті наведені результати чисельного дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних колон середнього ряду промислової будівлі. Досліджено вплив величини руйнування бетонного тіла колони на несучу здатність конструкції. Зроблено висновки щодо доцільності підсилення колон сталевою обоймою.

В статье приведены результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния поврежденных железобетонных колон среднего ряда промышленного здания. Исследовано влияние степени повреждения бетона колоны на несущую способность конструкций. Сделано выводы о целесообразности усиления колон стальной обоймой.

Results of numerical research are given in article stress-strain state damaged reinforce-concrete colon of an average number of the industrial building. Influence of a damage rate of concrete colons on bearing ability of designs is investigated. It is made conclusions about expediency of strengthening colon a steel holder.

Ключові слова:
Бетон, арматура, колони, пошкодження, підсилення.
Бетон, арматура, колоны, повреждения, усиления.
Concrete, armature, columns, damages, strengthening.

Стан питання. Аналіз сучасної матеріально-технічної бази народного господарства показує, що в багатьох випадках відновити виробництво, підвищити його ефективність можливо за умови реконструкції існуючих будівель та споруд [7]. З іншого боку, неправильна експлуатація існуючих будівель може призвести до зниження (нижче від допустимого рівня) несучої здатності конструкцій. В обох випадках, найчастіше проблема вирішується шляхом підсилення несучих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1, 2, 4] показав, що пошкоджені залізобетонні конструкції, як правило, підсилюються сталевими елементами (влаштування сталевих обойм, введенням в роботу прокатних профілів, влаштування шпренгельних затяжок, тощо). На сьогодні мало даних про сумісну просторову роботу сталевих конструкції підсилення із залізобетонними конструкціями, тому вони, за звичай, працюють «із запасом» так як в більшості випадків влаштовуються конструктивно [5].

Метою даної статті є чисельне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) пошкоджених залізобетонних колон на предмет доцільності та ефективності їх підсилення сталевою обоймою в залежності від величини пошкодження бетону.

Виклад основного матеріалу. Чисельне моделювання НДС конструкцій було виконано в системі NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) Femap 10.1.1 SC 32bit / 64 bit [3, 6]. Використовувалася учбова демо-версія SDRC-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000. Для створення геометрії моделі спочатку створювався плоский поперечний переріз досліджуваної залізобетонної конструкції за допомогою прямих, що задавалися координатами вузлових точок. Об'ємна модель формувалася шляхом видовження утвореної завчасно по заданих прямих плоскої граничної поверхні на необхідну висоту моделі. Для задавання арматурних стержнів спочатку виділяли напрямні лінії розташування їх у твердому тілі (бетоні). Для цього тверде тіло різалося площинами, на перетині яких утворювалися прямі для послідуючого розташування на них арматурних стержнів.

Матеріали моделі 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) бралися згідно діючих нормативних документів. Третя константа – модуль зсуву G – визначалася автоматично по відомому співвідношенню між E та ν.

Під час моделювання конструкцій передбачалося, що вони будуть працювати у пружно-пластичній стадії. Тому при задаванні характеристик бетону використовували криволінійну залежність між навантаженням-деформаціями. Діаграма роботи сталі задавалася спрощеною, за допомогою діаграми Прандтля. Вважалося, що критичні руйнівні деформації бетону наступають раніше, ніж ділянка зміцнення сталі. Тому діаграма роботи сталі обривалася на ділянці текучості.

Задавання граничних умов (ступенів вільності) – в'язей, що прикладаються до конструкції. Відповіддю конструкції на прикладені навантаження є опорні реакції в точках закріплення конструкції, де накладені граничні умови у формі фіксування певних ступенів вільності моделі. До зразків прикладались розподілені по площині граничні умови. Для нижнього горизонтального обрізу моделі колони заборонялися поступальні та кутові переміщення.

Навантаження до зразків прикладалась як статичне рівномірно розподілене по площині верхнього обрізу колони (навантаження від ферм покриття та конструкції покрівлі) та по площинах консолей колони (від дії мостових кранів). При цьому навантаження від мостових кранів враховане як вертикальне, так і горизонтальне від гальмування візка крану з вантажем. У поєднанні зусиль навантаження від власної ваги не включали так як вона незначна у порівнянні із загальною несучою здатністю модельованої конструкції.

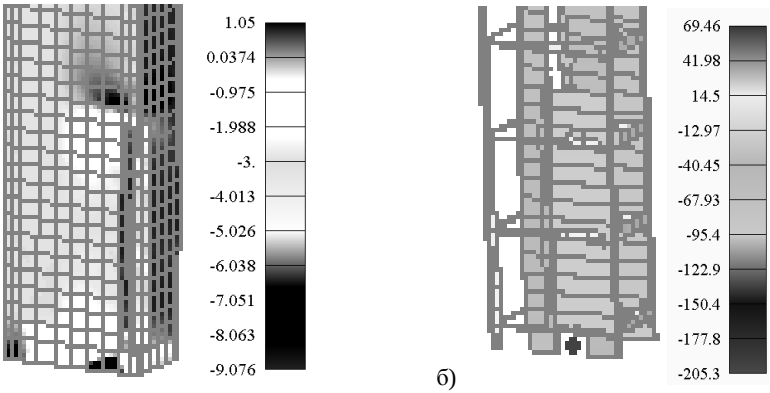
Спочатку було проведено чисельний розрахунок залізобетонної колони середнього ряду без пошкодження. За результатами розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні –8,6 МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури – +69,35 МПа, у стиснутих – 205,7 МПа.

Наступним етапом було моделювання пошкодження колони у вигляді "збитого" кута бетону на глибину 50 мм та оголення несучої поздовжньої арматури на довжині 1000 мм від опорної частини колони. При цьому досліджувалися дві окремі моделі – із розташуванням пошкодження із стиснутої чи розтягнутої сторони колони. Загальний вигляд розподілу напружень на скінченно-елементній сітці колони показано на рисунку 1.

Слідуючим кроком було моделювання підсилення пошкодженої колони – влаштування обойми по кутам колони із рівнополичкових кутників, які з'єднуються за допомогою горизонтальних накладок.

Аналізуючи розподіли напружень, в досліджуваних конструкціях, можна зазначити, що наявність пошкодження бетонного осердя колони на глибину 50 мм, що складає 0,6% площі поперечного перерізу, практично не впливає на розвиток напружень у конструкції колони: у бетоні при цьому напруження збільшуються до 5%, а в арматурних стержнях напруження майже не змінюються. Проте при оголенні поздовжньої арматури у стиснутій зоні, спостерігається концентрація напружень у вказаному місці, що може

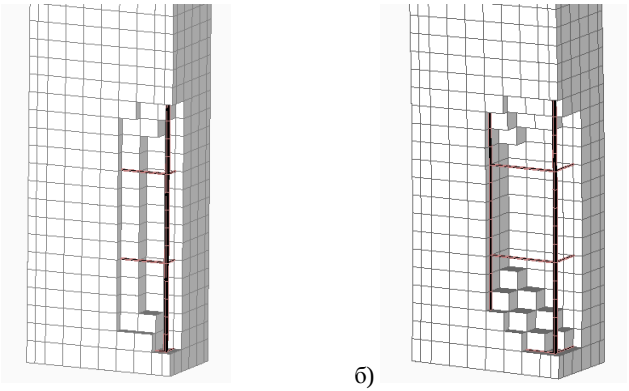
привести до місцевої втрати стійкості арматурного стержня. Влаштування сталевої обойми з кутників при цьому є необґрунтованим, проте наявність такої обойми зменшує напруження у бетоні та арматурі на 17…23%, тобто колона може сприймати більше корисне навантаження.



а) б)

Рис. 1. Розподіл напружень (МПа) на бетоні колони (а) та в арматурних стержнях (б) при пошкодженні бетону глибиною 50 мм у стиснутій зоні

Для визначення ступеня впливу величини пошкодження на НДС залізобетонної колони, були змодельовані ще два типи пошкоджень висотою 1000 мм на куті колони біля при опорної зони, які відрізнялися глибиною пошкодження: 100 мм і 200 мм, що складає 2,5% і 10% площі поперечного перерізу колони відповідно. Загальний вигляд вказаних пошкоджень на скінченно-елементній сітці колони показано на рис.2.

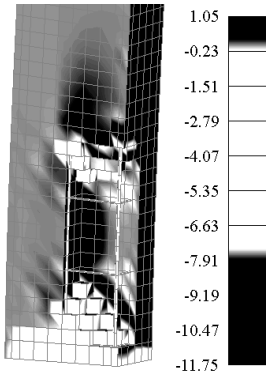


а) б)

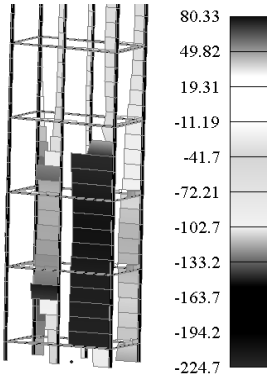
Рис. 3.12. Пошкодження кута колони на глибину 100 мм (а) і 200 мм (б)

Як і передбачалось, найбільші концентратори напружень виникають при глибині пошкодження 200 мм. Розподіл напружень навколо зони такого

пошкодження на бетоні та в арматурних стержнях показано на рис.3. Слід відмітити, що при розташуванні пошкодження бетонного осердя у розтягнутій зоні, арматурний стержень при цьому виявляється практично без напружень (виключається з роботи) (див. рис. 3). А при розташуванні пошкодження бетонного осердя у стиснутій зоні – у арматурному стержні виникають сконцентровані напруження стиску, що приводять до місцевої втрати стійкості арматурного стержня та виникнення косого стиску у поперечних перерізах колони. При цьому у арматурному стержні, що знаходиться по діагоналі навпроти від пошкодження, виникають сконцентровані напруження розтягу, що свідчить про перерозподіл зусиль у комбінованому поперечному перерізі.



а)



б)

Рис. 1. Розподіл напружень (МПа) на бетоні колони (а) та в арматурних стержнях (б) при пошкодженні бетону глибиною 200 мм у стиснутій зоні

За отриманими результатами напружено-деформованого стану виконано порівняння впливу глибини пошкодження на несучу здатність колони. Для зручності виконане порівняння показане на графіках у вигляді гістограм. На рисунках 4 і 5 наведені графіки зміни максимальних напружень у бетоні та у арматурних стержнях відповідно в залежності від величини пошкодження. На вказаних гістограмах на лівому ряді стовпчиків значень (стовпчики залиті однотонним фоном) показані максимальні напружень у колоні без пошкоджень; на наступних двох середніх рядах стовпчиків (стовпчики залиті рябою текстурою для підкреслення саме розгляду пошкоджених колон) – максимальні значення напружень у колоні з різними типами пошкоджень; на крайніх двох правих рядах стовпчиках (границі стовпчиків виділені жирними лініями для підкреслення влаштування обойми з кутників) – максимальні значення напружень у пошкоджених колонах після підсилення.

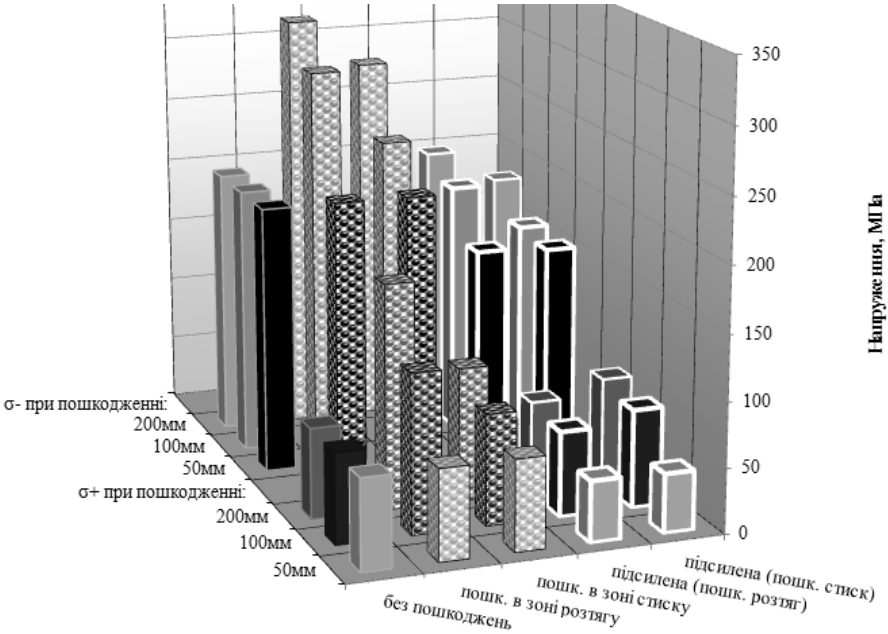


Рис. 4. Зміна максимальних напружень у арматурних стержнях колони середнього ряду в залежності від величини пошкодження

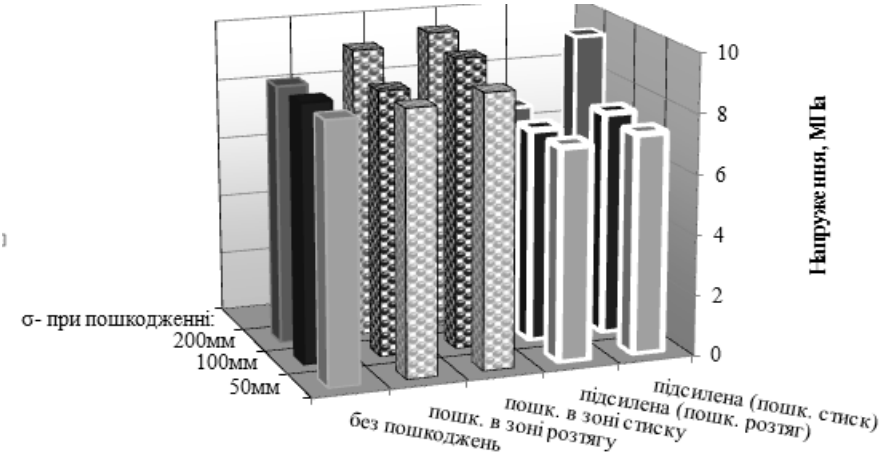


Рис. 5. Зміна максимальних напружень у бетоні колони середнього ряду в залежності від величини пошкодження

Висновок. Аналізуючи результати чисельного моделювання пошкоджених залізобетонних колон, можна стверджувати, що наявність пошкодження бетонного кута колони на глибину 50 мм, що складає 0,6% від площі поперечного перерізу, з оголенням робочої арматури, суттєво не впливає на підвищення напружень у перерізах колони. Влаштування сталевої обойми підсилення при цьому є недоцільним. У колонах з таким пошкодженням необхідно роздрібнений та відколотий бетон видалити, оголену арматуру зачистити від іржі, після чого арматурна сталь фарбується активним антикорозійним складом за два рази, а місце виколу в бетоні замонолічується бетоном класу В35 із ретельним ущільненням до проектних розмірів. При наявності пошкодження бетонного кута колони на глибину 100 мм з оголенням робочої арматури, що складає 2,5% від площі поперечного перерізу, напруження у бетоні підвищуються на 10% в арматурних стержнях на 43%, залишаючись при цьому в межах допустимих граничних. Пошкодження бетонного кута колони на глибину 200 мм (10% від площі поперечного перерізу колони) приводить до збільшення напружень в бетоні на 27%, а в арматурних стержнях на 58%. Напруження при цьому сягають граничнодопустимих значень. Влаштування сталевої обойми з кутників зменшують напруження як в бетоні, так і в арматурних стержнях до рівня напружень в непошкодженій колоні.

1. Вахненко П.Ф. Залізобетонні конструкції / П.Ф. Вахненко, А.М. Павліков, О.В. Горик, В.П. Вахненко. – Київ : Вища школа, 2000. – 508 с. **2.** ДБН В 1.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огороджувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд (затверджено наказом Держбуду України від 02.12.2002 №85) – К.: НДІБВ Держбуду України, 2003. -164с. **3.** Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошной среды / О.С. Зенкевич, И. Чанг. – М.: Недра. – 1974. – 238 с. **4.** Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: навчальний посібник / Є.В. Клименко. – К: Центр навчальної літератури, 2004. –304 с. **5.** Клименко Ф.Е. Внешнее армирование железобетонных элементов полосовой арматурой гладкого и периодического профиля / Ф.Е. Клименко // Изв. вузов : Строительство и архитектура, 1981. – С. 25–29. **6.** Мусинова В.Ц. MSC/NASTRAN. Руководство пользователя. – The MacNeal-Schwendler Corporation, 1995. – 188 с. **7.** Реконструкция сельскохозяйственных зданий и сооружений: справочник / [Вахненко П.Ф., Вахненко В.П., Гармаш Ю.Д. и др.], под ред. П.Ф. Вахненко. – К.: Урожай, 1993. – 280 с.