

## АНАЛІЗ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОЇ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ПІДСИЛЕННІ

© Шиндер В. К., Лобзін М. В., 2017

Під час експлуатації споруди виникають ситуації, коли необхідно змінити планувальне рішення, яке веде до втручання в несучі елементи конструкції. Підсилення будь-якого елемента конструкції охоплює не тільки визначення ступеня пошкодження елемента, але і методу його підсилення. Саме визначення ступеня пошкодження є надзвичайно складним і відповідальним завданням для інженера. В більшості випадків пошкоджений елемент вважається таким, що не може сприймати навантаження і, як наслідок, під час проектування підсилення нові елементи підсилення розраховуються без врахування несучої здатності пошкодженого елемента. Такий підхід не виправдовує себе у випадку, коли ми змушені враховувати габарити елемента після підсилення. Тому що точніше ми зможемо визначити фактичний стан пошкодженого (аварійного) елемента, то ефективніше зможемо усунути аварійну ситуацію з мінімальними змінами показників приміщення, споруди, тощо.

**Ключові слова:** моделювання, залізобетонний елемент, несуча здатність.

V. Shynder, M. Lobzin

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Strength of Materials and Structural Mechanics

## ANALYSIS BY MATHEMATICAL MODELING OF CARRYING CAPACITY OF EXISTING RESIDUAL STRUCTURAL ELEMENTS DURING REINFORCEMENT

© Shynder V., Lobzin M., 2017

During the operation of the building there are situations when it is necessary to change the planning decision, which leads to interference in the bearing elements of the structure. Strengthening of any element of design – a complex engineering task that involves determining the degree of damage and the method of its strengthening. In most cases, the practice is used – the damaged element is considered to be unable to accept the load, and as a consequence, when designing the reinforcement, the new reinforcement elements are calculated without taking into account the bearing capacity of the damaged element. This approach justifies itself in the case when the new dimensions of the damaged element after the reinforcement are not limited. Very often we have to take into account the dimensions of the item after strengthening in order not to violate the requirements of the operation, not to disturb the existing production lines in production, the possibility of the strengthening in terms of manufacturability and also, of course, the financial component. With the above said, we can conclude – the more accurately we can determine the actual condition of the damaged (emergency) element, the more efficiently we can eliminate an emergency situation with minimal changes characteristics of buildings, structures, and so on.

**Key words:** mathematical modeling, concrete elements, carrying capacity.

**Вступ.** Порушити цю тему нас спонукав багаторічний досвід обстеження наявних конструкцій для встановлення їхнього фактичного стану, визначення можливості безпечної подальшої експлуатації згідно з [1, 2]. Загальновідомо, що зазвичай інженер отримує замовлення на виконання технічних висновків, коли споруда або її окремі елементи перебувають в незадовільному або ава-

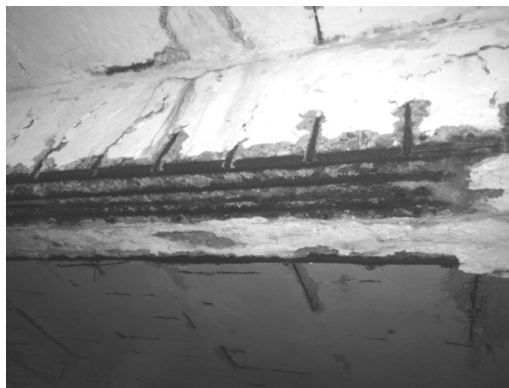
рійному стані. В багатьох випадках ми змушені давати висновок про необхідність заміни певного елемента або виконання його підсилення. Зупинимось детальніше на другому – на підсиленні.

Підґрунтям для подальшої дослідницької роботи стали результати обстеження та реконструкцій низки промислових споруд:

- значні пошкодження залізобетонних ригелів (рис. 1);
- наявність порушень у технології виготовлення ригелів (захисний шар, порушення геометрії опалубки) (рис. 2);
- наявні монтажні відхилення;
- наявність збірних залізобетонних елементів, що належать до перших типових серій збірного залізобетону. Знайти будь-які матеріали щодо армування – неможливо.
- суворі вимоги щодо габаритів майбутнього підсилення зі сторони замовника.



*Рис. 1. Пошкодження центрального несучого ригеля*



*Рис. 2. Пошкодження зумовлені порушенням технологічного процесу виготовлення*

**Мета та задачі досліджень.** Мета цієї роботи – систематизувати підхід та фактори, які впливають на процес прийняття рішення щодо підсилення пошкодженого (аварійного) залізобетонного елемента.

Відповідно до мети роботи визначено такі завдання:

- аналіз чинників, що впливають на процес моделювання існуючого залізобетонного елемента з метою визначення фактичної несучої здатності.

**Результати досліджень.** Для реалізації поставленої задачі вибрано програмний комплекс Femap, який містить розрахунковий модуль NX Nastran. Femap дає змогу швидко та зручно підготувати розрахункову модель (рис. 3), а також проводити імпорт моделей виконаних в інших програмних комплексах (як приклад Solidwoks, Abaqus, Ansys, Caefem, Genesis, Ls-Dyna3D, MARC та інші) [3, 4]. Femap є середовищем для підготовки кінцево-елементних моделей конструкцій і відповідних крайових задач для подальшого їх розрахунку (Finite Element Modeling, пре-процесор), а також для перегляду і документування результатів розрахунку (Post-processing, пост-процесор). З допомогою Femap можна підготувати для NX Nastran, серед інших, крайові задачі лінійного або нелінійного статичного пружного стану, статичного пластичного стану, повзучості, контактного аналізу, оптимізації конструкцій і інші. Конструкція (чи середовище) може бути апроксимована різними кінцевими елементами: одно-, дво- і тривимірних з різними властивостями, з різних матеріалів, характеристики яких можуть залежати від температури, швидкості деформування тощо. Femap with NX Nastran набуває стрімкого поширення в інженерній практиці завдяки простоті і універсальності.

На жаль, у рамках однієї публікації неможливо розглянути весь процес моделювання та розрахунку ригеля і ми вирішили поступово викладати детальнішу інформацію в наступних публікаціях.

Під час роботи над цим підсиленням вирішено такі проблеми:

- моделювання існуючого залізобетонного елемента за допомогою окремих “Solid” елементів в середовищі Femap;
- моделювання арматурних стрижнів за допомогою Solid елементів. Таке питання є надзвичайно важливим. Femap, як і більшість сучасних програмних комплексів, не дозволяє

поєднувати в одній моделі елементи “Solid” та “Line”, що призводить до великої затрати в часі на моделювання арматурних стрижнів за допомогою “Solid” елементів. Ми випробували методику моделювання армування за допомогою “Line” елементів з подальшою конвертацією їх у “Solid” елементи та адаптації моделі бетону згідно з розташуванням армування;

- розглянуто питання контакту при моделюванні зчеплення арматури з бетоном при моделюванні в середовищі Femap;
- проведений аналіз впливу на результати розрахунку ригеля різних методик моделювання опор;
- проведений аналіз математичних моделей для проведення розрахунку. Виконаний аналіз переваг і недоліків обраних моделей.

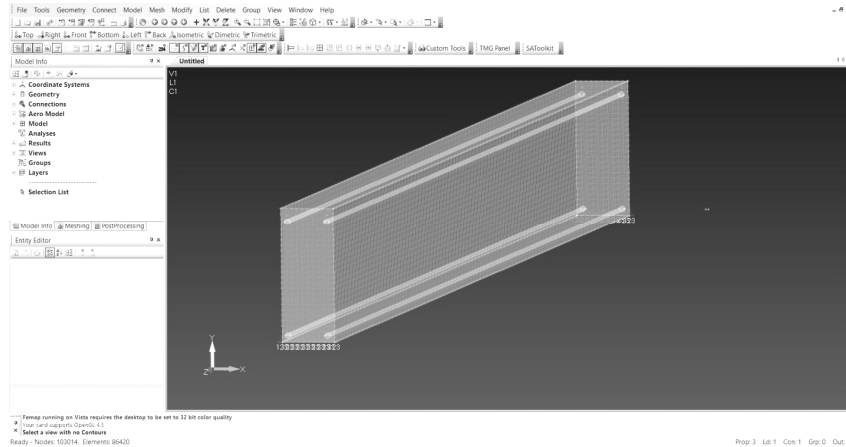


Рис. 3. Моделювання ригеля в середовищі FEMAP

Результатом проведеної роботи стало виконання робочих креслень підсилення центральних ригелів споруди (рис. 3–5).

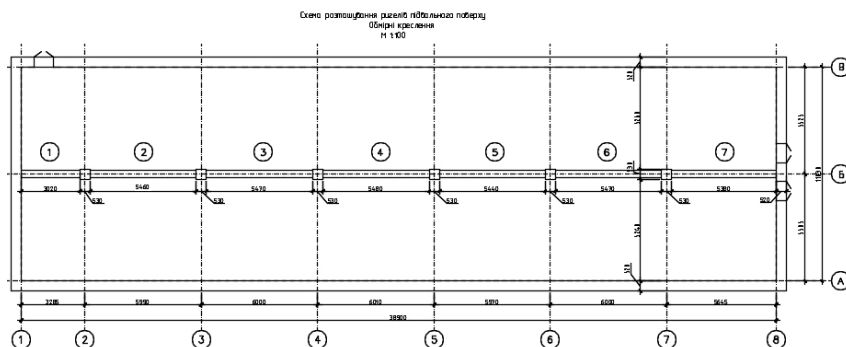


Рис. 3. Ситуаційна схема розташування ригелів

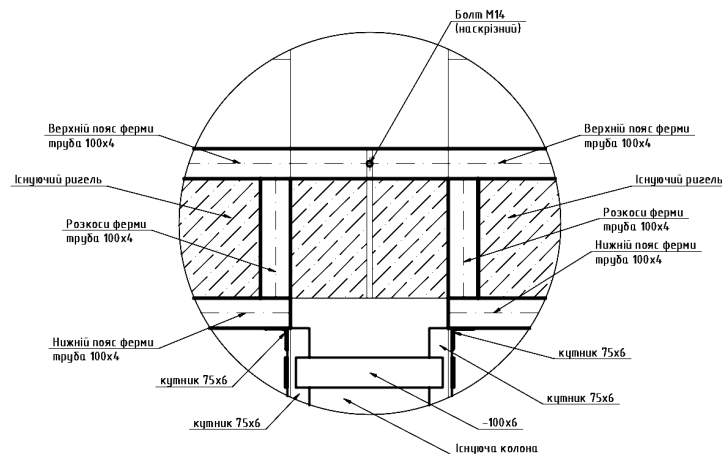


Рис. 4. Варіант підсилення опорного вузла

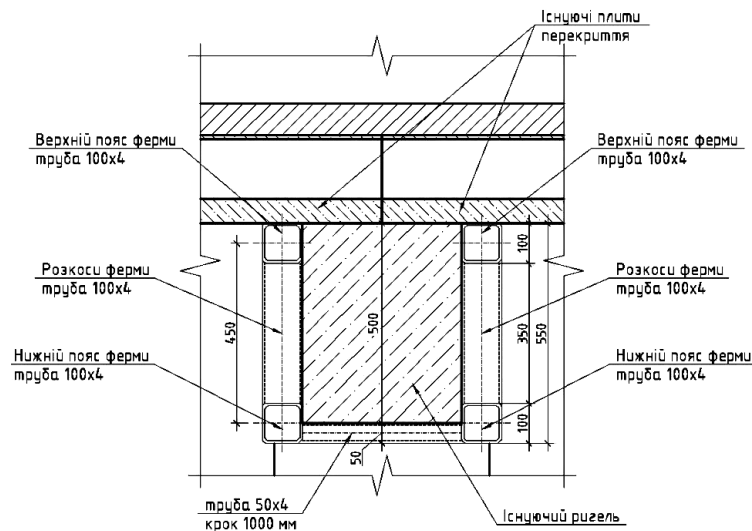


Рис. 5. Варіант підсилення ригелі

**Висновки.** Проаналізувавши отримані в процесі роботи результати, можна зробити такі висновки: застосування в повсякденній роботі інженера математичного моделювання існуючих залізобетонних конструкцій при визначенні їхнього фактичного несучого стану дасть змогу отримати набагато достовірніші результати порівняно з аналітичними методами. Моделювання дає змогу оцінити вплив багатьох чинників на несучу здатність існуючого елемента:

- вплив дефектів виготовлення і монтажу;
- вплив пошкоджень елемента;
- точніше моделювання схеми навантажень,
- підбір найефективнішого методу підсилення.

Таким чином проведені дослідження мають цінну інформативно-аналітичну дослідницьку базу, є за своєю суттю вартими подальшого розвитку для отримання методичних вказівок щодо впровадження математичного моделювання в процес визначення фактичного несучого стану окремих елементів конструкції за допомогою сучасних програмних засобів.

1. ДБН В.2.2-9-2009 Громадські будинки та споруди. Основні положення. Київ. Мінрегіонбуд України. 2009. 2. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки адміністративного та побутового призначення. Київ. Мінрегіонбуд України. 2010. 3. Шимкович Д. Г. 2008. Femap & Nastran. Інженерний аналіз методом кінцевих елементів. – М.: ДМК Пресс. – 704 с. 4. Дмитренко Т. Використання новітніх комп'ютерних технологій при чисельному дослідженні напружено-деформованого стану будівельних конструкцій / Т. Дмитренко // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – № 751. – С. 346–350.

## References

1. DBN V.2.2-9-2009 Gromads'ki budynky ta sporudy. Osnovni polozhennja. [State Standard V.2.2-9-2009. Public buildings and facilities. Substantive provisions] Kyi'v. Minregionbud Ukrai'ny. Publ., 2009. 2. DBN V.2.2-28:2010 Budynky administratyvnoho ta pobutovogo pryznachennja. [State Standard V.2.2-28:2010. Buildings for administrative and household purposes]. – Kyi'v. Minregionbud Ukrai'ny. Publ., 2010. 3. Shymkovych, D. G. 2008. Femap & Nastran. Ynzhenernyyj analiz metodom konechnyyh elementov (Femap & Nastran. Engineering analysis by finite element method) M.: DMK Press. 704p. 4. Dmytrenko T. Vykorystannja novitnih komp'yuternih tehnologij pry chysel'nomu doslidzhenni napruzhenno-deformovanogo stanu budivel'nyh konstrukcij [Use of the latest computer technologies in the numerical study of the stress-strain state of building structures] // Visnyk NU LP. – No. 751. – P. 346–350.