

УДК 624.075

*О.І. Лапенко, д.т.н.
П.С. Білокуров, аспірант
Г.І. Гришко, аспірант
Національний авіаційний університет, м.Київ*

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОНОЛІТНОЇ ПЛОСКОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ, ПІДСИЛЕНОЇ СТАЛЕВОЮ ПЛАСТИНОЮ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ

Запропоновано методику розрахунку монолітної плоскої плити перекриття, підсиленої сталевую пластину в розтягнутій зоні за допомогою сучасного програмного комплексу.

Ключові слова: залізобетонна плоска плита, моделювання підсилення конструкцій, напружено-деформований стан.

УДК 624.075

*А.И. Лапенко, д.т.н.
П.С. Белокуров, аспирант
Г.И. Гришко, аспирант
Национальный авиационный университет, г. Киев*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОНОЛИТНОЙ ПЛОСКОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ, УСИЛЕННОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНОЙ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ

Предложена методика расчета монолитной плоской плиты перекрытия, усиленной стальной пластиной в растянутой зоне с помощью современного программного комплекса.

Ключевые слова: железобетонная плоская плита, моделирование усиления конструкций, напряженно-деформированное состояние.

UDC 624.075

*O.I. Lapenko, ScD
P.S. Bilokurov, post-graduate
G.I. Grischko, post-graduate
National Aviation University, Kyiv*

COMPUTER MODELLING OF MONOLITHIC PLANE OVERLAPPING WHICH IS STRENGTHENED WITH STEEL PLATE IN THE TENSILE REGION

There was proposed the procedure of plane overlapping calculation strengthened with steel plate in the tensile region by means of modern software package.

Keywords: reinforced concrete plane plate, modeling, structures strengthening, stress-strain state.

Вступ. На сучасному етапі розвитку науки та техніки провідною концепцією підвищення надійності будівельних конструкцій є системний підхід, що охоплює весь життєвий цикл кожної інженерної споруди – проектування, будівництво, експлуатацію, а також моніторинг її технічного стану, проведення діагностичних досліджень перед підсиленням (ремонт), виконання проектних робіт з ремонту та підсилення з наступним контролем якості виконаних робіт.

Аналітичні методи оцінювання реакцій конструкцій на зовнішні навантаження різноманітної фізичної природи без натурного моделювання виникли досить давно. Поява та розвиток обчислювальної техніки дали новий поштовх удосконаленню числових методів аналізу, які сьогодні є основним інструментом розробника. Засоби автоматизації інженерного аналізу, які ґрунтуються на числових методах, стали невід’ємною частиною процесу проектування [1]. Для моделювання напружено-деформованого стану конструкції, яка підсилюється, можливе використання сучасних програмних комплексів для розрахунку конструкцій.

У статті розглянуто питання підсилення будівельних конструкцій та моделювання і розрахунок комп’ютерної моделі підсилювальної конструкції із заданими параметрами шляхом наклеювання сталевих пластин у розтягнутій зоні елемента. Такий метод показав, що він є досить ефективним для підвищення несучої здатності залізобетонних конструкцій. З метою підсилення використовуються тонкі пластини з низьковуглецевої сталі. Крім збільшення опору залізобетонних плит-балок дії згинального моменту, пластини підвищують також і жорсткість самої конструкції, що призводить до зменшення прогинів.

Отже, нова, підсилена конструкція потребує дослідження її напружено-деформованого стану. Для розв’язання поставленого завдання слід використовувати програмні комплекси для розрахунку конструкції на основі скінченноелементного аналізу.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Питанню підсилення будівельних конструкцій на сьогоднішній день приділяють велику увагу. Причини та способи підсилення залізобетонних балок проаналізовано в роботах багатьох авторів: А.Я. Барашикова [2], С.В. Бондаренко [3], А.Б. Голишева, Є.В. Клименка, П.І. Кривошеєва [4], Д.Н. Лазовського, А.І. Мальганова, Н.М. Онуфрієва й інших. Більшість учених підкреслюють, що для економічного вирішення підсилення та прогнозованої оцінки напруженого стану згинальних елементів після підсилення необхідно визначати напружений стан елементів до підсилення й забезпечувати сумісну роботу конструкції та елемента підсилення.

Дослідженню згинальних елементів при різноманітних силових впливах і армуванні присвячено роботи А.Я. Барашикова, Є.М. Бабича, С.В. Бондаренка, П.Ф. Вахненка, А.Б. Голишева, Є.В. Горохова, В.С. Дорофєєва, Є.В. Клименка, І.Є. Прокоповича, О.Л. Шагіна та інших.

Підсиленням залізобетонних конструкцій з використанням сталевих пластин займалися такі закордонні вчені, як R.D. Raithby, R. Jones, R.N. Swamny, T.M. Roberts, Haji-Kazemi, K. Brown, T. Lino, R. Otakawa [5 – 7].

Постановка завдання. У роботі вирішуються такі питання:

- актуальність проблеми підсилення будівельних конструкцій;
- аналіз особливостей роботи на прикладі залізобетонної монолітної плити перекриття та методів її розрахунку;
- розроблення та розрахунок просторової розрахункової схеми монолітної плити перекриття, яка б найбільш адекватно відображала напружено-деформований стан конструкції;
- виконання порівняльного аналізу результатів розрахунку запропонованої комп'ютерної моделі монолітної плити перекриття до та після її підсилення.

Основний матеріал і результати. Сучасний розвиток промислового виробництва, модернізацію громадського та житлового фонду пов'язано з реконструкцією, розширенням, технічним переобладнанням і поліпшенням умов праці й мешкання на діючих підприємствах, у житлових, адміністративних і громадських будівлях.

Будь-яка реконструкція будівлі або споруди супроводжується, як правило, зміненням навантажень на будівельні конструкції, зміною їх первинних конструктивних схем. Це приводить до необхідності визначення залишкового ресурсу їх експлуатаційних якостей, прийняття рішення про їх подальшу долю, підсилення, відновлення чи заміну.

Необхідність підсилення або відновлення будівельних конструкцій виникає не тільки при реконструкції чи технічному переоснащенні, але й унаслідок передчасного корозійного або механічного зношення. Втрата експлуатаційних якостей може виникнути у результаті ускладнень чи непередбачених проектом змін у технології виробництва, різних пошкоджень та дефектів тощо. Усе це викликає підвищений інтерес до проблеми підсилення й відбудови існуючих будівельних конструкцій [8].

Однією з основних причин підсилення будівельних конструкцій є зміни функціонального призначення будівлі та збільшення навантажень на конструкцію.

Найчастіше на практиці виникає необхідність підсилення залізобетонних згинальних елементів – монолітних плит перекриття або покриття та балок.

Розрахунок згинальних залізобетонних елементів конструкції, що підсилюється, згідно з нормативними положеннями, необхідно використовувати за міцністю перерізів, нормальних і похилих до поздовжньої осі елемента та за другою групою граничних станів, включаючи перевірку отриманих результатів розрахунку за величиною граничних розрахункових деформацій.

За експериментальну модель згинального елемента приймаємо монолітну плоску плиту перекриття.

Для розрахунку міцності зусиль у перерізі нормальної та поздовжньої осі елемента прийнято такі припущення:

- опір бетону розтягнутої зони приймається таким, що дорівнює нулю;
- опір бетону стиску визначається напруженнями, які дорівнюють R_b і рівномірно розподілені по стиснутій зоні бетону;
- розглядати напруги в сталевій пластині такими, що рівномірно розподілені по висоті й дорівнюють розрахунковому опору сталі R_n з уведенням для пластини коефіцієнта умов роботи $\gamma_n = 0,8$;
- напруження в гнучкій арматурі приймаються рівними розрахунковим опорам R_s та R_{sc} з уведенням відповідних коефіцієнтів умов роботи;
- плоский переріз до прикладання навантаження залишається таким самим і після його прикладання (гіпотеза плоских перерізів);
- зсув по поверхні між бетоном і сталеву пластину виключається (таке припущення є обґрунтованим для адгезивних матеріалів при товщині шару склеювання від 1,0 до 1,5 мм, які деформуються в'язко-пружно, а деформації зсувної повзучості й усадки є незначними).

Система підсилення конструкції, що підсилюється, складається з двох важливих складових елементів – сталеві пластини та адгезиву (або клею). Успішність роботи такої системи залежить від надійної роботи кожної зі складових, а також від надійності їх сумісної роботи. Основним призначенням адгезиву, крім приклеювання, є сприйняття зусиль зсуву і відриву між поверхнями, що з'єднуються. Для приклеювання металеві пластини до бетонної поверхні можна застосовувати адгезиви на різних основах: акрилові або епоксидні двокомпонентні склеювальні сполуки.

Підсилення монолітної плоскої залізобетонної плити, що працює на згин, виконуємо зі сталевих пластин шляхом наклеювання їх у розтягнутій зоні плити в поздовжньому та поперечному напрямках, тому що плита «працює» в обох напрямках. Сталеві пластини розміщуємо з кроком 1000 мм в обох напрямках паралельно максимальним розтягувальним зусиллям.

Для реалізації цього розрахунку був використаний сучасний програмний комплекс ЛІРА САПР, за допомогою якого реалізовано розрахунок монолітної плоскої плити перекриття до та після підсилення.

1-й варіант. Розрахунок плити без підсилення.

При розрахунку плити приймаємо бетон класу В30. Армування плити виконується плоскими зварними сітками. Товщину плити приймаємо такою, що дорівнює 200 мм. Усі сторони плити опираються по контуру.

2-й варіант. Розрахунок плити, підсиленої сталевими пластинами.

Параметри плити приймаємо згідно з даними першого варіанта. Сталеві пластини приклеюються до бетонної поверхні за допомогою клею Sikadur-30 з такими характеристиками [9]:

- модуль пружності на розтяг 11200Н/мм²;
- адгезія (згідно з DIN EN 24624) на металі > 21 Н/мм²;
- адгезія (згідно з DIN EN 24624) на бетоні > 4 Н/мм².

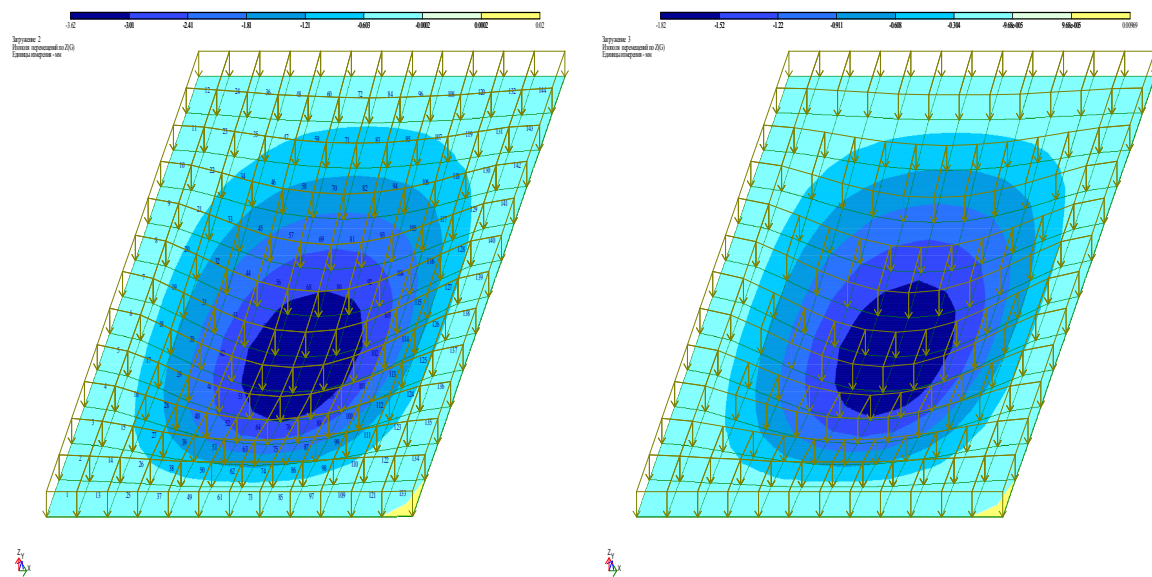
Сталеві плати приймаємо зі сталі марки 09Г2С шириною 100 мм і товщиною листа 5 мм.

Для моделювання плоскої залізобетонної плити в ПК «ЛІРА САПР» використовуємо такі скінченні елементи:

- плиті присвоюється тип жорсткості «пластина» – 41-й тип СЕ;
- для пружного зв'язку між вузлами приймаємо елемент 10-го типу СЕ, де задаємо параметри клейового розчину;
- для сталевих пластин призначаємо тип «пластина» – 41-й тип СЕ.

Для моделювання навантаження в розрахунковій схемі було прийнято рівномірно розподілене навантаження, прикладене по всій площі конструкції плити.

З аналізу результатів розрахунку видно, що максимальний прогин у плиті без підсилення становив 3,62 мм, а з підсиленням – 1,86 мм (рис.1).



**Рис.1. Комп'ютерна модель залізобетонної монолітної плоскої плити перекриття до та після підсилення.
Мозаїка переміщень по осі Z**

Висновки. Аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної плоскої плити перекриття показав, що для розроблення комп'ютерної моделі та її адекватного розрахунку доцільно використовувати програмний комплекс ЛІРА САПР. У цьому програмному комплексі залізобетонні плоскі плити перекриття доцільно моделювати з використанням об'ємних скінченних елементів і пластин, а пружний зв'язок між плитою та сталевією пластиною типовим елементом (10-й тип СЕ). За результатами

розрахунків було встановлено, що в монолітній плиті перекриття, підсиленій сталевими пластинами, максимальні напруження та прогини значно зменшилися порівняно з початковим напруженим станом непідсиленої плити.

Література

1. Комп'ютерні системи автоматизації інженерних досліджень фірми MFC Neal-Schwender Corporation: методичний довідник. – Львів, 2004, – 4 с.
2. Барашиков, А.Я. Оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений [Текст] / А.Я. Барашиков, А.Н. Малышев. – К.: Віпол, 1998. – 232 с.
3. Реконструкция зданий и сооружений / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина. – М.: Высшая школа, 1991.
4. Расчет и технические решения усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б. Гольшев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий и др.; под ред. А.Б. Гольшева. – К.: Логос, 2008. – 304 с.
5. Raithby, R.D. "External Strengthening of Concrete Bridges with Bonded Steel plates" TRRL Supplementary Report 612 (Department of the Environment and department of Transport, Growthorne, Berkshire, UK, 1980).
6. Jones, R., Swamy, R.N., and ng, T.H., "Under- and over-reinforced concrete beams with glue steel plates", *Int. J. cement Composite lightweight concrete*. – 1982. – №4. – P. 19–32.
7. Swamy, R.N., Jones, R., "Behaviour of plated reinforced concrete beams subjected to Cyclic loading during glue hardening". – 1983. – №5. – P. 223–234.
8. Валовой, О.І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд / О.І. Валовой. – Кривий Ріг, 2003. – 217 с.
9. Техническая карта материала. Издание 09/02/10; UA 04/2011 YS. Идентификационный №:02 04 01 04 001 0 000001 Sikadur-30. Клей, применяемый при усилении конструкций.

Надійшла до редакції 18.10.2013

© О.І. Лапенко, П.С. Білокуров, Г.І. Гришко