

УДК 624.07:681.3.01

*М.С. Барабаш, к.т.н., доц,  
О.І. Лапенко, д.т.н., доц.  
Національний авіаційний університет, м. Київ*

## **МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ**

*Проведено аналіз напружено-деформованого стану сталезалізобетонної плити перекриття за допомогою комп'ютерного моделювання.*

***Ключові слова:** моделювання, напружено-деформований стан, сталезалізобетон.*

**Вступ.** В даний час широко поширеним є монолітно-каркасне будівництво. Застосування монолітних сталобетонних плит обмежено рядом причин. Зокрема, поширена думка, що проектування таких плит є дуже матеріаломістким, тобто викликає сумнів економічна доцільність сталобетонних плити, у зв'язку з великою витратою сталі. Ще однією з основних причин відмови від даного виду перекриттів є відсутність методики побудови розрахункових моделей перекриттів в програмних комплексах міцнісного розрахунку. Відомі способи побудови розрахункових моделей сталобетонних перекриттів не завжди відображають реальну роботу перекриттів при порівнянні з роботою реальних зразків і вимагають уточнення та доопрацювання їх для аналізу напружено-деформованого стану конструкцій.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** В статті розглянуто методи створення просторової розрахункової моделі сталобетонної плити-перекриття з

урахуванням особливостей її влаштування та забезпечення сумісної роботи залізобетону і профільованого настилу. В статті було використано матеріали студентської науково-дослідної роботи Попова М. Є., науковий керівник зав.каф. прикладної та будівельної механіки, доцент, д.т.н., Доненко В. І.

**Постановка завдання.** Вирішуються наступні основні завдання:

- проаналізовано особливості роботи сталобетонних перекриттів та методи їх розрахунку;
- розроблено просторову розрахункову схему, яка найбільш адекватно відображатиме напружено-деформований стан конструкції;
- виконано порівняльний аналіз результатів розрахунку запропонованої комп'ютерної моделі сталобетонної плити-перекриття в ПК «ЛІРА САПР» з результатами ручного розрахунку.

**Основний матеріал і результати.** Ефективність сталезалізобетонних конструкцій в порівнянні з суцільно сталевими або залізобетонними досягається за рахунок спільної роботи двох матеріалів (бетону і сталі), тобто реалізації одного з основоположних принципів проектування - принципу поєднання функцій різних елементів. Спільна робота сталевий і залізобетонної частин досягається запобіганням їх зсуву відносно один одного по поверхні контакту при дії навантажень, за допомогою об'єднаних деталей, приклеюванням, тертям і зчепленням.

Сталезалізобетонні перекриття зі сталевими балками і монолітною плитою по сталевим оцинкованим профільованим настилах рекомендується застосовувати при зведенні і реконструкції багатопверхових і малоповерхових промислових, цивільних і громадських будівлях, відкритих промислових етажерках, транспортних галереях і т.п. Несуча здатність настилів приймається в залежності від робочого прольоту та схеми спирання.

Монолітні плити, армовані профільованими настилами, застосовують для прольотів 1,5-6,0 (9,0) м і експлуатаційних навантажень 1-15 кН/м<sup>2</sup>. Повна висота поперечного перерізу плит приймається від 10 до 18 (36) см або 1/22 для однопрогонових, 1/27 для крайніх і 1/32 для середніх прольотів багатопрогонових плит. Таке співвідношення висоти плити і прольоту обумовлено граничними значеннями прогинів, що виникають при дії експлуатаційних навантажень. Прогини на стадії монтажу обмежують 1/180 · l<sub>0</sub>.

При проектуванні монолітних залізобетонних плит із застосуванням сталевих профільованих настилу розрахунок виконують для двох стадій роботи: зведення й експлуатації.

В стадії експлуатації несучою конструкцією є залізобетонна плита, в якій сталевий профільований настил використовується як зовнішня робоча арматура. При розрахунку плити слід враховувати повне розрахункове навантаження на неї.

Розрахунковий проліт залізобетонної плити приймають рівним відстані між прогонами в їх осях. При широких опорах допускається зменшувати проліт, але не менше ніж до величини, рівної прольоту в світлі між гранями суміжних прогонів плюс 100 мм.

За розрахунковий переріз плити в прольоті беруть тавровий переріз шириною полки  $b_f$ , яка дорівнює відстані між осями гофрів сталевих профільованих настилу, і висотою, рівній висоті сталевих профільованих настилу і товщині шару бетону над верхньою межею настилу.

Розрахунок залізобетонної плити із зовнішньою арматурою у вигляді сталевих профільованих настилу виконують:

- на міцність нормальних і похилих перерізів плити і анкерування настилу;
- на змінання ребер плити по площині опор;
- за деформаціями - визначення прогину.

Розрахунок плити на створення і розкриття тріщин в розтягнутій зоні бетону знизу (з поверхні закритого сталевих профільованих настилу) не проводиться. Для верхньої

поверхні бетону надпорних зон розрахунок виконується тільки у випадках встановлення розрахункової надпорної гнучкої арматури, що створює нерозрізність конструкції, як для залізобетонного згинального елемента із звичайним армуванням без урахування сталевих профільованих настилу.

При розрахунку міцності перерізів плити необхідно:

- враховувати роботу монолітного бетону і профільованого настилу, вважати опір бетону розтягуванню рівним нулю, а опір стисненню рівним розрахункового опору  $R_b$  з рівномірним розподілом напружень по стиснутій зоні перерізу;
- розглядати напруги в сталевому профільованому настилі рівномірно розподіленими по висоті і рівними розрахункового опору листової сталі  $R_p$  з введенням для настилу з рифами коефіцієнта умов роботи  $\gamma_p = 0,8$ .

Напруження в гнучкій арматурі приймаються рівними розрахунковим опорам  $R_s$  і  $R_{sc}$  з введенням відповідних коефіцієнтів умов роботи.

Робоча висота перерізу  $h_0$  визначається як відстань від крайньої стиснутої грані плити до точки прикладання рівнодіючої зусиль розтягу в сталевому профільованому настилі і гнучкої арматури.

Для реалізації розрахунку сталевих залізобетонної плити перекриття у програмному комплексі ЛІРА САПР використовуємо 3 варіанти завдання просторової моделі сталобетонних плити.

Розміри плити в осях 3000 мм × 1000 мм

**Варіант 1.** Сталобетонне перекриття представлено у вигляді багатошарової ребристої плити. При цьому бетон плити моделюємо за допомогою об'ємних скінченних елементів (СЕ 36). Сталевий профільований настил моделюємо за допомогою пластин (СЕ 41)

Моделюємо гофр розміром 16,86 см × 10 см × 17 см з чотирьох СЕ 36 і чотирьох пластин СЕ 41. Далі тиражуємо гофр для створення плити потрібних розмірів. При цьому ширина ребра приймалася 62,8 мм, так як настил розташований вузькими полками вниз (рис. 1, а). У місцях спирання плити на балки закріплюємо вузли і забороняємо переміщення по вісям  $z$ ,  $x$ ,  $y$  і поворот  $U_z$ . З аналізу результатів розрахунку видно (рис. 1, б), що максимальний прогин плити склав 7,44 мм.

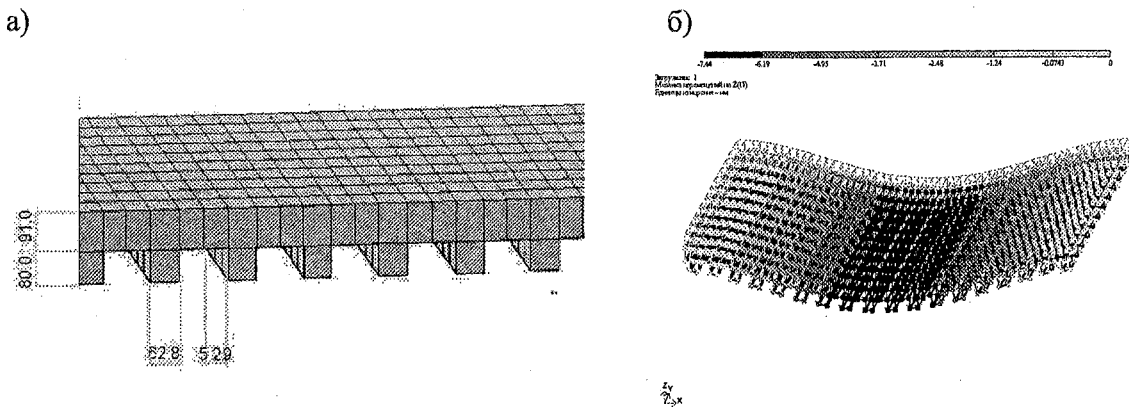


Рисунок 1 - Комп'ютерна модель сталобетонного перекриття (варіант 1):  
а) просторовий вигляд плити; б) мозаїка переміщень по  $Z$

**Варіант 2.** Сталобетонне перекриття представлено у вигляді композиційної конструкції: монолітної бетонної плити і сталевих листів, при цьому сталевий лист розглядається як суцільна пластина без гофрів. При цьому бетон плити моделюємо за допомогою об'ємних СЕ 36.

Сталевий профільований настил моделюємо за допомогою пластини (СЕ 41). Моделюємо фрагмент плити розміром 16,86 см × 10 см × 17 см з одного СЕ типу 36 і однієї пластини СЕ 41. Далі виконуємо тиражування для створення плити потрібних розмірів. У місцях спирання плити на балки закріплюємо вузли і забороняємо переміщення по вісям  $z$ ,

x, y і поворот Uz. За отриманими результатами видно, що максимальний прогин плити склав 1,68 мм (рис. 2).

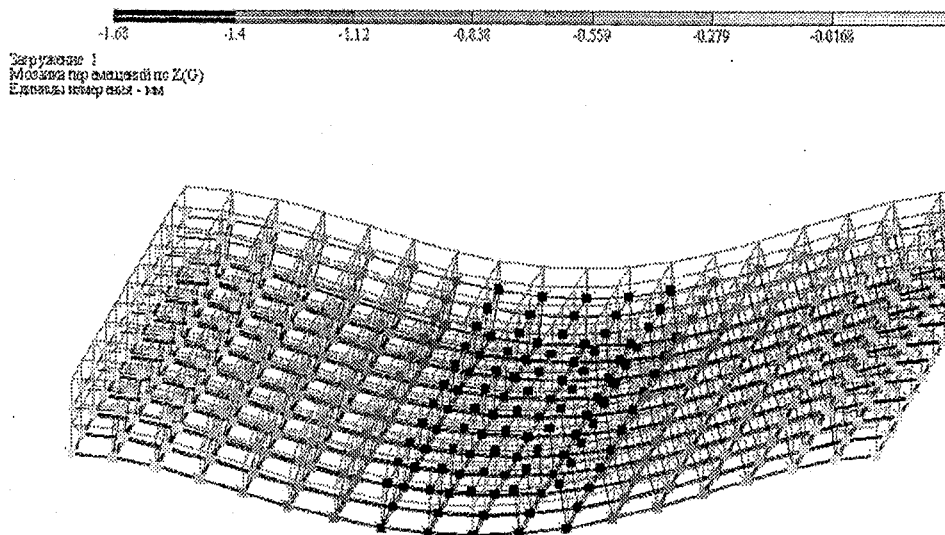


Рисунок 2 - Комп'ютерна модель сталобетонного перекриття (варіант 2)

**Варіант 3.** Сталобетонне перекриття представлено у вигляді пластинчастої скінченно-елементної моделі (СЕ 41), при цьому параметри жорсткості стали і бетону зведені до усередненого значення:

$$E_{\text{усред.}} = \frac{E_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}} + E_{\text{бет}} \cdot h_{\text{бет}}}{h_{\text{ст}} + h_{\text{бет}}}, \quad (1)$$

де  $h_{\text{ст}} = 8$  см - прийнятий по висоті гофра з урахуванням товщини настилу;

$h_{\text{бет}} = 9,1$  см;

$$E_{\text{усред.}} = \frac{210000000 \cdot 8 + 27000000 \cdot 9,1}{8 + 9,1} = 11261500 \text{ т/м}^2.$$

Питома вага задається як усереднене значення об'ємної ваги стали і бетону  $q = 2,531 \text{ т/м}^3$ .

Товщина плити  $t = 17,1$  см, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,20$ .

Моделюємо фрагмент плити розміром  $16,86 \text{ см} \times 10 \text{ см}$  з однієї пластини СЕ 41. Далі виконуємо тиражування для створення плити потрібних розмірів.

У місцях спирання плити на балки закріплюємо вузли і забороняємо переміщення по вісям z, x, y і поворот Uz. За отриманими результатами видно, що максимальний прогин плити склав 18,0 мм (рис. 3).

Отримані результати зведені в порівняльну таблицю 1.

Таблиця 1

Зведена таблиця результатів ручного та автоматизованого розрахунку

Метод розрахунку	Прогин	Розбіжність прогинів	
		в см	в %
Ручний (еталонний)	0,760	0,000	0,00
Варіант 1	0,744	-0,016	-2,10
Варіант 2	0,168	-0,529	-77,89
Варіант 3	1,800	1,040	+136,84

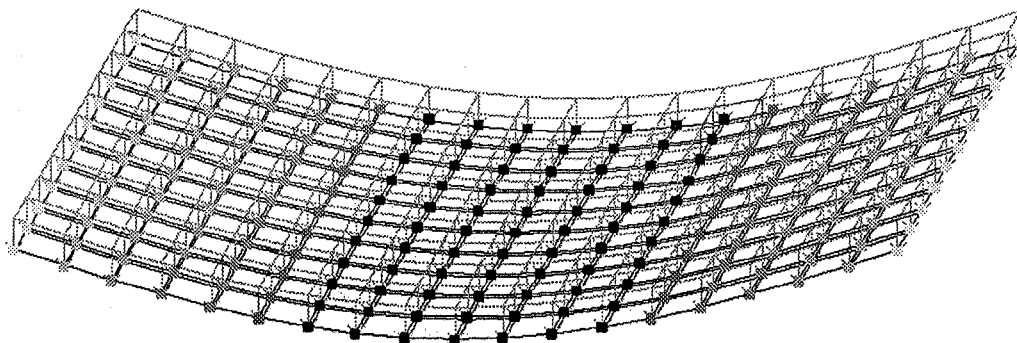
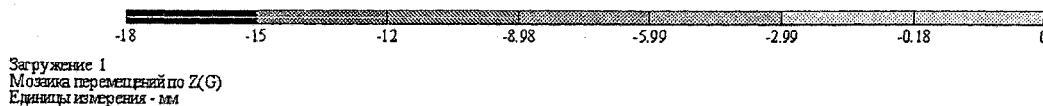


Рисунок 3 - Комп'ютерна модель сталобетонного перекриття (варіант 3)

**Висновки.** Аналіз напружено-деформованого стану сталезалізобетонної плити перекриття показав, що найбільш точно можна описати роботу конструкції, створивши її комп'ютерну модель у програмному комплексі ЛІРА САПР у вигляді часторібристого монолітного перекриття. Монолітне перекриття доцільно моделювати з використанням об'ємних скінченних елементів і пластин. За результатами автоматизованого розрахунку похибка становить 2,1% в порівнянні з результатами ручного розрахунку.

#### Література.

1. Верюжский О.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Ю.В. Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций – К.: Книжное издание НАУ, 2006. – 808 с.
2. Стороженко Л.І., Семко О.В. Сталезалізобетонні конструкції. Навчальний посібник. – Полтава:ПолтНТУ, 2001. – 56 с.
3. Стороженко Л.І., Сурдин В.М., Єфіменко В.І., Вербицький В.І. Сталезалізобетонні конструкції (дослідження, проектування, будівництво, експлуатація): Монографія . – Кривий Ріг: 2007. – 448 с.
4. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.

М.С. Барабаш, к.т.н., доц., А.І. Лапенко, д.т.н., доц.  
 Національний авіаційний університет, г. Києв

## МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонной плиты перекрытия с помощью компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** моделирование, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетон

*M.S. Barabash, Ph.D., docent, O.I. Lapenko, Dr Tech. Sc, docent.  
National Aviation University, Kyiv*

## **METHODS OF COMPUTER MODELING TO CALCULATE COMPOSITE FLOOR SLAB**

*The analysis of the stress-strain state of composite slabs using computer simulation.*

**Keywords:** *modeling, stress-strain state, composite structures.*

*Надійшла до редакції 25.07.2012*

*© М.С. Барабаш, О.І. Лапенко*