

УДК 624.01

Баженов В.А., д-р техн. наук  
Слободян Я.О., канд. техн. наук

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ СПОРУД

**Актуальність.** При автоматизованому проектуванні будівельних конструкцій ставиться задача одержати найбільш економічне розв'язання, що забезпечує зниження матеріалоемності споруди. Традиційно цю задачу намагаються вирішувати шляхом розгляду обмеженого числа різних варіантів конструктивних рішень, обраних на основі інтуїції і досвіду. Однак, аналіз показує, що при цьому навіть, у найпростіших випадках для залізобетонних конструкцій типу балок і рамних каркасів перевищення витрат матеріалів складає в середньому 7-10%, а в окремих випадках до 15-20% у порівнянні з розв'язаннями, отриманими методами оптимального проектування.

У широкому значенні під оптимальним проектуванням будівельних конструкцій розуміють відшукування таких архітектурно-конструктивних рішень, при яких приведені витрати, що враховують технологічні витрати, зв'язані з експлуатацією споруди та ін., будуть мінімальними за умови забезпечення усіх вимог, пропонованих до розглянутої проектною задачі. Однак необхідність урахування великого числа різних факторів ускладнює розв'язання задачі в такій постановці.

Задачу суттєво звужують, і показником якості (чи критерієм оптимальності) приймається об'єм, вага чи вартість матеріалу конструкції. Однак, і в такій постановці задача є досить складною і рідко доводиться до практичної реалізації в умовах реального проектування через наявність великої кількості обмежень. У розвитку досліджень по оптимізації залізобетонних конструкцій можна виділити ряд етапів.

На першому етапі дослідники ставили перед собою задачу розробити аналітичні методи оптимізації з метою одержання формул для відшукування оптимальних параметрів, і більшість авторів прагнуло одержати спрощені розв'язання по відшукуванню деякої функції вартості конструкцій при наявності обмежень у вигляді рівності, що відображає умову міцності нормальних перетинів.

Другий етап у дослідженнях оптимізації залізобетонних конструкцій зв'язаний з розвитком обчислювальної техніки, що спричинило за собою якісна зміна підходу до розрахунку і проектування конструкцій і знаменувало перехід до нових методів, відомим як методи математичного

програмування. Як правило, ставилася, задача одержання оптимального розв'язання на один вид навантаження, що в умовах реального проектування є недостатнім. Тому більшість розглянутих підходів до оптимізації проектування конструкцій не знайшли широкого застосування в проектній практиці.

До третього етапу в дослідженнях питань оптимального проектування залізобетонних конструкцій можна віднести ряд комплексних досліджень, основаних на сполученні різних підходів.

**Постановка задачі.** У роботі ставиться задача одержання оптимальних теоретичних площ подовжньої арматури для елементів стержневих залізобетонних конструкцій споруд на деформованій основі у випадку багатьох навантажень. Задача формулюється стосовно до розробки методів розрахунку з урахуванням перерозподілу зусиль від непружних властивостей матеріалів конструкцій і ґрунтових основ споруд у рамках системи автоматизованого проектування будівельних споруд на основі ПК ЛІРА (рис. 1).



Рис. 1. Система автоматизації оптимального проектування об'єктів будівництва на основі ПК ЛІРА [2].

При розв'язанні задачі передбачається, що геометрична схема споруди, форма і розміри поперечних перетинів задані. При виводі формул розглядаються стержневі системи. Варіюваними параметрами при цьому є площі стиснутої (розтягнутої) арматури. По довжині кожного стержня системи вибираються характерні перетини, і підбір арматури виконується для відповідних ділянок стержнів.

Задача в цьому випадку розв'язується в два етапи. На попередньому етапі, використовуючи традиційну практику розрахунків і конструювання, визначаються деякі припустимі перетини арматури і виконується розрахунок системи з урахуванням перерозподілу зусиль на дію кожного з навантажень. На основному другому етапі, використовуючи отримані результати, визначається оптимальне армування при багатьох навантаженнях.

Розглянемо метод розв'язання нелінійної задачі другого етапу. Приймаючи допущення про незначну зміну зусиль і переміщень на кожній кроці оптимізації при досить малих змінах армування і, використовуючи при формулюванні відповідних обмежень по міцності дані про напружено-деформований стан і жорсткісних характеристиках, сформовані на попередньому кроці розрахунку, одержуємо лінеаризовану систему обмежень. Це дозволяє проводити оптимізацію окремо для кожного розглянутого перетину елемента конструкції. При цьому трудомісткість розв'язання задачі суттєво знижується.

Задача оптимального армування перетинів стержневих систем споруд від дії багатьох навантажень у загальному випадку розрахунку по міцності у термінах математичного програмування формулюється в такий спосіб: мінімізувати лінійну форму об'єму (вартості) арматури

$$V = \sum_{i=1}^m A_{si} p_i, \quad i=1,2,\dots,m; S=1,2,\dots,g \quad (1)$$

при нелінійних обмеженнях умов міцності [1] від навантаження  $S$ :

$$M^S \leq \sum_i^m \sigma_{si} A_{si} h_{0i} + R_b A_b z_b; \quad N^S \leq \sum_i^m \sigma_{si} A_{si} + R_b A_b \quad (2)$$

конструктивних обмеженнях площ  $i$ -тої ділянки армування  $A_{si}$ .

$$A_{si,\min} \leq A_{si} \leq A_{si,\max}, \quad (3)$$

Лінеаризовані умови міцності можна записати у вигляді:

$$\Delta M^S \leq \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \Delta A_{si} h_{0i}; \Delta N^S \leq \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \Delta A_{si}. \quad (4)$$

Формування виразів (4) дозволяє сформулювати задачу лінійного програмування, як кроку оптимізації армування від дії декількох розрахункових комбінацій зусиль. Задача оптимального армування на кожному кроці оптимізації зводиться до розв'язання наступної задачі лінійного програмування.

Максимізувати функцію зменшення об'єму (вартості) арматури

$$\Delta V = \sum_{i=1}^m \Delta A_{si} p_i \quad (5)$$

при лінійних обмеженнях умов міцності

$$\Delta M^S \leq \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \Delta A_{si} h_{0i}; \Delta N^S \leq \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \Delta A_{si} \quad (6)$$

і конструктивними обмеженнях

$$A_{si,\min} \leq A_{si} \mp \Delta A_{si} \leq A_{si,\max}. \quad (7)$$

Нерівності (6), (7) у матричному вигляді:

$$AB \leq C, \quad (8)$$

де  $A$  - матриця (симплекс-таблиця 1), що складається з коефіцієнтів при приростах  $\Delta A_{si}$ ,  $B$  - вектор елементів  $\Delta A_{si}$ ;  $C$  - вектор обмежень (симплекс-таблиця 1), що включає елементи:  $\Delta M^S, \Delta N^S$ ,  $A_{si,\min} - A_{si}$ ,  $A_{si,\max} - A_{si}$ .

За допомогою симплекс-методу на  $k$  кроці оптимізації розв'язується нерівність (8) і визначаються приріст площі  $\Delta A_{si}$ . У результаті оптимізації визначаються нові значення площі арматури по формулі.

$$A_{si}^k = A_{si}^{k-1} \mp \Delta A_{si}^k.$$

Значення  $A_{si}^k$  є вихідними для наступного  $k+1$  кроку оптимізації.

Процес оптимізації закінчується за умови

$$\Delta V = \sum_{i=1}^m \Delta A_{si} p_i \leq \varepsilon.$$

Симплекс-таблиця 1

А				С
Типи ділянок арматури				Вектор обмежень
1	2	3	4	
$\sigma_{s1}h_{01} + \sigma_{s3}h_{03}$	$\sigma_{s2}h_{02}$	$\sigma_{s4}h_{04} + \sigma_{s6}h_{06}$	$\sigma_{s5}h_{05}$	$\Delta M^1$
$\sigma_{s1} + \sigma_{s3}$	$\sigma_{s2}$	$\sigma_{s4} + \sigma_{s6}$	$\sigma_{s5}$	$\Delta N^1$
$\sigma_{s1}h_{01} + \sigma_{s3}h_{03}$	$\sigma_{s2}h_{02}$	$\sigma_{s4}h_{04} + \sigma_{s6}h_{06}$	$\sigma_{s5}h_{05}$	$\Delta M^2$
$\sigma_{s1} + \sigma_{s3}$	$\sigma_{s2}$	$\sigma_{s4} + \sigma_{s6}$	$\sigma_{s5}$	$\Delta N^2$
...	...	...	...	...
$\sigma_{s1}h_{01} + \sigma_{s3}h_{03}$	$\sigma_{s2}h_{02}$	$\sigma_{s4}h_{04} + \sigma_{s6}h_{06}$	$\sigma_{s5}h_{05}$	$\Delta M^S$
$\sigma_{s1} + \sigma_{s3}$	$\sigma_{s2}$	$\sigma_{s4} + \sigma_{s6}$	$\sigma_{s5}$	$\Delta N^S$
-1				$A_{s1,3} - A_{s1,3,max}$
+1				$A_{s1,3,min} - A_{s1,3}$
	-1			$A_{s2} - A_{s2,max}$
	+1			$A_{s2,min} - A_{s2}$
		-1		$A_{s4,6} - A_{s4,6,max}$
		+1		$A_{s4,6,min} - A_{s4,6}$
			-1	$A_{s5} - A_{s5,max}$
			+1	$A_{s5,min} - A_{s5}$

1. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции.
2. Городецкий А.С., Слободян Я.Е. и др. / Программный комплекс ЛИРА-Windows. Теоретические основы. - Киев: НИИАСС. - 1997. -Т. 5. -90 с.

Матеріал надійшов до редакції 18.10.04.