

УДК 624.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОКРЫТИЙ-ОБОЛОЧЕК ПОДЗЕМНЫХ ЗДАНИЙ

Марей Бассил (Кувейт)

В теории планирования экстремальных экспериментов широко используется метод крутого восхождения Бокса-Уилсона. В [1] предложено применить этот метод для оптимального проектирования конструкций.

По [2] в процессе решения задачи строится линейная функция, характеризующая зависимость целевой функции от переменных факторов.

Для рассматриваемой задачи оптимизации покрытий-оболочек (рис. 1) подземных зданий необходимые операции выполнялись в порядке, указанном ниже.

1. Целевой функцией является стоимость конструкции, которая определяется стоимостью материалов (бетона и стали), расходуемых на ее изготовление. Исходя из этого целевая функция может быть представлена в виде суммы

$$y_c = y_b + y_a; \quad (1)$$

Здесь y_b – стоимость бетона, определяемая в случае достаточно пологой

оболочки переменной толщины; y_a – стоимость арматуры, подсчет которой производится на основе рекомендаций по армированию рассматриваемого типа оболочек с подбором сечения арматуры по СНиП 2.03.01-84.

2. Перечисленными факторами являлись: x_1 – стрела подъема, м; x_2 – ширина зоны утолщения по оси X , м; x_3 – ширина зоны утолщения по оси Y , м; x_4 – толщина края оболочки по y , см; x_5 – толщина края оболочки по x , см; x_6 – толщина оболочки в центре, см; x_7 – площадь светопроемов, см².

3. В качестве начального приближения была выбрана модель оболочки, конструкция которой приведена на рис. 1 [3]. Значения переменных факторов x_1^0, \dots, x_7^0 и целевой функции y_c в начальном приближении представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ варианта	Матрица планирования							Значения переменных факторов							Целевая функция	
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_1 , м	x_2 , м	x_3 , м	x_4 , см	x_5 , см	x_6 , см	x_7 , см ²	y_c^* , руб
0	+1	0	0	0	0	0	0	0	2,4	2,4	2,1	18	24	8	800	3138,98
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	2,7	2,7	2,4	21	27	10	900	3756,88
2	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	2,1	2,7	1,8	21	21	10	700	3702,88
3	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	2,7	2,1	1,8	21	27	6	700	2688,28
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2,1	2,1	2,4	21	21	6	900	2549,73
5	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	2,7	2,7	2,4	15	21	6	700	2446,43
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	2,1	2,7	1,8	15	27	6	900	2680,48
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	2,7	2,1	1,8	15	21	10	900	3677,48
8	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	2,1	2,1	2,4	15	27	10	700	3563,03

Расчет материалов выполнен в ценах 1984: бетон 1 м³ – 50 руб.; арматура 1 кг – 0,19 руб.

4. Значение интервала варьирования переменных факторов a_i выбирались минимально возможными по конструктивным соображениям: $a_1=0,3$ м; $a_2=0,3$ м; $a_3=0,3$ м; $a_4=3$ см; $a_5=3$ см; $a_6=2$ см; $x_7=100$ см².

5. Построены две линейные функции. В качестве матриц планирования использованы две дробные реплики 2^{7-3} [2]. Эти дробные реплики представлены в левой части табл. 1, 2.

6. Каждая строка матрицы определяет условия одного из вариантов расчета. Значения функции y по результатам расчета по программе ОРТИМА на языке TurboPascal представлены в правых крайних столбцах табл. 1, 2.

Таблица 2

m	g	\bar{x}_g	y_c^p , руб.	y_c^1 , руб.	y_c^2 , руб.	y_c , руб.	σ_1	σ_2	σ
1	1	1	3205,98	3142,27	3035,63	3088,95	2,03	5,60	3,79
2		-2	3004,98	3114,91	3076,09	3095,51	-3,53	-2,34	-2,94
3	2	1	3045,38	3146,67	3055,83	3101,25	-3,22	-0,33	-1,81
4		-2	3268,33	3106,11	3035,69	3070,90	5,22	7,68	6,45
5	3	1	3059,68	3079,02	2977,46	3028,24	-0,63	2,75	1,02
6		-2	3314,48	3241,41	3192,44	3216,93	2,25	3,82	3,05
7	4	2	3213,08	3215,73	3179,75	3197,75	-0,06	1,07	0,50
8		-3	2979,08	3009,28	2853,14	2931,21	-0,90	4,42	1,60
9	5	2	3194,88	3211,19	3149,22	3180,20	-0,53	1,43	0,44
10		-3	3007,68	3016,09	2898,97	2957,53	-0,29	3,76	1,69
11	6	3	4771,13	4758,91	4504,79	4631,85	0,27	5,93	3,02
12		-1	2569,58	2591,23	2563,89	2577,56	-0,84	0,23	-0,31
13	7	4	3171,48	3265,13	3056,62	3160,37	-2,88	3,80	0,34
14		-4	3067,48	3001,17	3042,62	3021,89	2,20	0,82	1,52

В таблице 2 проведена оценка точности аппроксимации целевой функции линейными функциями y_c^1 , y_c^2 , y_c . С этой целью поочередно менялся один из параметров x_g , а остальные параметры x_i ($i = 1, \dots, 7$; $i \neq g$) оставались теми же, что и в начальном приближении.

Представлены расхождения s_1 , s_2 , s , % между значениями стоимости y_c^p и соответственно y_c^1 , y_c^2 , y_c . Например для y_c^1

$$\sigma_1 = \frac{y_c^p - y_c^1}{y_c^1} 100; \quad (2)$$

Точность аппроксимации можно оценить по максимальным значениям s_{1m} , s_{2m} , s_m либо по среднеквадратичному отклонению. Для s_1 среднеквадратичное отклонение определяется по формуле

$$\sigma_1^k = \sqrt{\sum_{m=1}^{14} \sigma_{1m}^2 / 14}; \quad (3)$$

где m – номер варианта расчета по табл. 2.

Значения σ_2^k , σ^k определяются по формулам аналогичным (3).

Из табл. 2 видно, что $\max_m |\sigma_{1m}| = 5,22$; $\max_m |\sigma_{2m}| = 7,68$; $\max_m |\sigma_m| = 6,45$.

Расчеты по формуле (3) показывают, что

$\sigma_1^k = 2,313$; $\sigma_2^k = 3,829$; $\sigma^k = 2,614$. Таким образом, функции y_c^1 , y_c

аппроксимируют с одинаковой точностью, а функция y_c^2 оказывается менее точной.

Описанный прием построения линейных функций используется при реальном проектировании, когда нужно проанализировать влияние изменения переменных параметров на стоимость конструкции оболочки двойной гауссовой кривизны с прямоугольным контуром для подземных зданий и выбрать оптимальный вариант. Вместо выполнения большого числа расчетов

можно построить функцию y_c и y_c^1 и выполнить необходимый анализ.

Исследуя значения целевой функции по таблицам 1 и 2 можно выделить две конструкции оболочек с наименьшей стоимостью на изготовление оболочки. В таблице 1 вариант 5 $y = 2446,43$ руб. с следующими габаритно-конструктивными параметрами: стрела подъема $f = 2,7$ м; ширина утолщения по x – 2,7 м; ширина утолщения по y – 2,4 м; толщина края по y – 15 см; толщина края по x – 21 см; толщина средней части оболочки – 6 см; площадь отверстий под светопроемы 700 см²; в таблице 2 вариант 2 $y = 2458,38$ руб. с следующими габаритно-конструктивными параметрами: $f \approx 2,7$ м; ширина утолщения по x – 2,1 м; ширина утолщения по y – 2,4 м; толщина края по y – 15 см; толщина края по x – 27 см; толщина средней части оболочки – 6 см; площадь отверстий под светопроемы 900 см².

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что основополагающим фактором в определении стоимости конструкций является толщина среднего поля оболочки.

Литература

1. Краковский М.Б. Об оптимальном проектировании конструкций на основе метода крутого восхождения / Строительная механика и расчет сооружений, 1973, № 1, с. 8-10.
2. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статические методы планирования экспериментальных экспериментов, М.: Наука, 1965.
3. Гликман М.Т., Коломийчук Г.П., Марсей Басст. Архитектурно-конструктивные элементы подземных зданий, бетонируемых на пневмоопалубке с применением полимеров и ДПК / в сб. "Использование пластмасс в строительстве". - Харьков: ХИАГХ, 1997.