УДК 528 Р.А. Дем'яненко

ПРИНЦИПОВИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІФТІВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Постановка проблеми. В сучасних умовах розвитку будівельних технологій, які застосовуються у будівництві, необхідно весь час удосконалювати та покращувати методи інженерно-геодезичного забезпечення будівельно-монтажних робіт під час будівництва висотних споруд. Невід'ємною частиною таких споруд є ліфти. Нові технології будівництва дають змогу значно підвищити продуктивність праці та швидкість зведення споруд, але тим самим ускладнюють їх геометричну форму. Ці фактори вимагають оперативного інженерно-геодезичного контролю будівельно-монтажних робіт.

Будівництво ліфтів можна розділити на декілька етапів:

1) спорудження ліфтової шахти; 2) монтаж ліфтового обладнання. Кожен з цих етапів обслуговується комплексом інженерно-геодезичних робіт, від якості виконання яких, залежить безпека експлуатації ліфтів.

Отже, після етапу спорудження ліфтової шахти, виникає необхідність розміщення в ній ліфтового обладнання. До основних складових, які мають значення з огляду на дотримання геометричних параметрів ліфта є: кабіна, противага, напрямні кабіни та противаги. Відповідно, виникає необхідність в інженерно-геодезичному забезпеченні встановлення комплексу ліфтового обладнання в проектне положення з урахуванням індивідуальних особливостей ліфтової шахти, яка безумовно, внаслідок дії різного роду факторів має відхилення від проектних розмірів. Саме цей фактор і вимагає ґрунтовного підходу до оптимального розміщення або „вписування" елементів обладнання в шахту, враховуючі всі обмеження, які накладаються на розміщення відповідного обладнання. Ця проблема має ще більше значення для ліфтів, які експлуатуються. Система, яка розрахована на оптимум, в наслідок впливу зовнішніх факторів перестає бути оптимальною. Зміна проектних параметрів системи зумовлена впливом таких факторів, як: осідання основ та фундаментів, крени споруд, релаксація бетону, зношення деталей в процесі експлуатації.

Отже, в зв'язку з вищесказаним, виникає задача постійного моніторингу стану ліфтових установок, в тому числі і їх геометричних параметрів. Збір даних та їх систематизація дозволить мати інформацію про стан системи, що в свою чергу дає можливість швидкого та оперативного прийняття відповідних рішень для усунення недоліків чи дефектів.

Аналіз попередніх досліджень. В нормативних документах [4,5], які по суті регламентують правила безпечної організації та виконання робіт по спорудженню і експлуатації ліфтів абсолютно не приділяється увага питанню оптимального розміщення ліфтового обладнання в шахті, незважаючи на те, що це є одним з найважливіших елементів, від яких залежить правильна робота системи.

Порушені питання розглядались в праці [1]. Запропонований математичний апарат, а саме методи математичного програмування, який цілком підходить для вирішення поставленої задачі. Але в даній роботі не висвітлений механізм отримання результату в сучасних умовах з використанням комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, що дозволяє значно скоротити час на отримання та аналіз результатів. Окрім того як зазначено в [1], процес оптимізації розміщення ліфтового обладнання дозволить провести додатковий контроль кондиційності шахти ліфта. Головне, це те що етап визначення кондиційності шахти повинен, принципово, передувати процесу оптимізації шахти.

Метою дослідження є розробка зручного та швидкого алгоритму розв'язання задачі оптимізації розміщення ліфтового обладнання в шахті з використанням стандартної програми MS Office Excel.

Виклад основного матеріалу До елементів, які визначаються в процесі зйомки ліфтової шахти відносяться прямокутні координати a_{ji} $в_{ji}$, де (*j=1,2,3,..., n; n - кількість контрольних точок на ярусі); (i=1,2,3,..., m; m – кількість ярусів).* (Рис.1), системи координат XOY. Такі координати визначають на кожному поверсі (ярусі), включаючи приямник та перекриття останнього поверху. Перша цифра індексу означає номер точки яку визначаємо, друга номер поверху (ярусу) споруди.

Для знаходження оптимального положення корпуса кабіни ліфта в шахті необхідно знайти абсциси та ординати $x_j; y_j$ - відстань від відповідних осей координат до точок кабіни ліфта, які визначаються в системі прямокутних координат XOY. Тепер, склавши рівняння поправок можливих відхилень корпуса ліфта від стінок шахти, отримаємо залежності:

$$\begin{aligned} v_{1i} &= -a_{1i} + x_1; & w_{1i} &= -b_{1i} + y_1; \\ v_{2i} &= a_{2i} - x_2; & w_{2i} &= -b_{2i} + y_2; \\ v_{3i} &= a_{3i} - x_3; & w_{3i} &= b_{3i} - y_3; \\ v_{4i} &= -a_{4i} + x_4; & w_{4i} &= b_{4i} - y_4. \end{aligned} \qquad (1)$$

Виходячи з геометричних умов задачі можна зробити заміну деяких шуканих величин, а саме:

$$x_2 = x_1 + B_x; \quad x_3 = x_4 + B_x;$$
$$y_3 = y_2 + B_y; \quad y_4 = y_1 + B_y, \tag{2}$$

де B_x, B_y - розміри корпуса кабіни ліфта з технологічними зазорами (Рис.1).

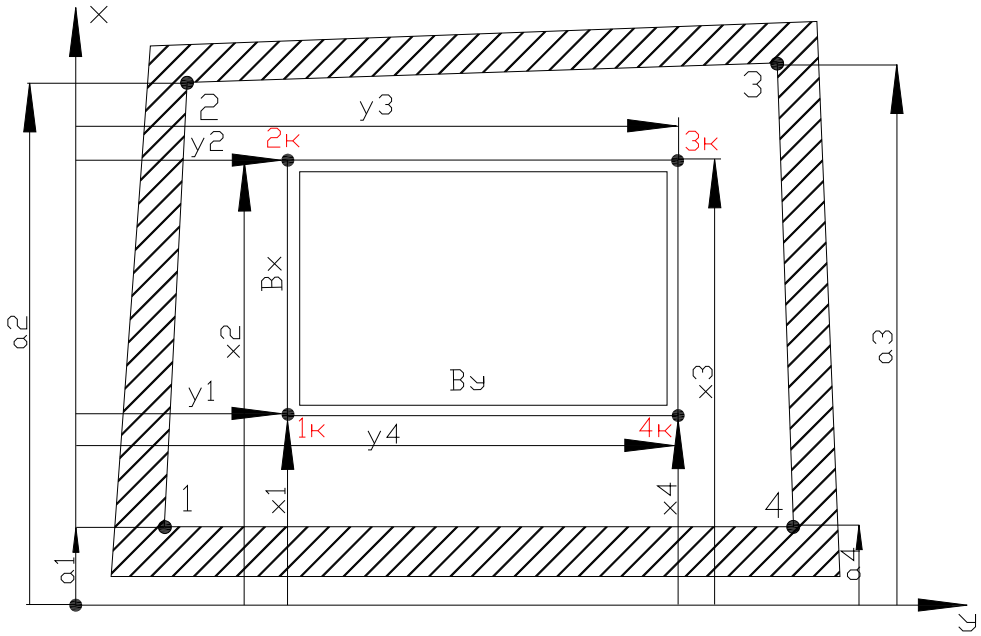

Рис.1 Схема ліфтової шахти.

Тоді остаточні рівняння поправок матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} v_{1i} &= x_1 - a_{1i}; & w_{1i} &= y_1 - b_{1i}; \\ v_{2i} &= a_{2i} - x_1 - B_x; & w_{2i} &= y_2 - b_{2i}; \\ v_{3i} &= a_{3i} - x_4 - B_x; & w_{3i} &= b_{3i} - y_2 - B_y; \\ v_{4i} &= x_4 - a_{4i}; & w_{4i} &= b_{4i} - y_1 - B_y. \end{aligned} \tag{3}$$

Приймаючи до уваги, що для прямокутного перерізу корпуса ліфта абсциси і ординати виразу (3) повинні задовольняти умові ортогональності, відповідно для точок 1, 2, 3

$$\left.\begin{aligned} ey_2 - ey_1 - x_1 + x_4 = 0 \\ ey_1 - ey_2 - x_2 + x_3 = 0 \\ ey_4 - ey_3 - x_3 + x_2 = 0 \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

які з урахуванням заміни (2) приймуть вигляд:

$$\left.\begin{aligned} ey_2 - ey_1 - x_1 + x_4 = 0 \\ ey_1 - ey_2 - x_1 + x_4 = 0 \\ ey_1 - ey_2 - x_4 + x_1 = 0 \end{aligned}\right\}, \tag{5}$$

де $e = \dfrac{B_y}{B_x}$.

Очевидно, що вертикальне розміщення корпуса ліфта буде можливим тільки при умові, що поправки будуть більше нуля, тобто $v_{ij} \geq 0;$ $w_{ij} \geq 0$, або

$$\begin{array}{ll} x_1 - a_{1i} \geq 0; & y_1 - b_{1i} \geq 0; \\ a_{2i} - x_1 - B_x \geq 0; & y_2 - b_{2i} \geq 0; \\ a_{3i} - x_4 - B_x \geq 0; & b_{3i} - y_2 - B_y \geq 0; \\ x_4 - a_{4i} \geq 0; & b_{4i} - y_1 - B_y \geq 0. \end{array} \qquad (6)$$

Отже, задача визначення оптимальних значень координат точок, які фіксують оптимальне розміщення кабіни ліфта, зводиться до задач математичного програмування. Основною умовою розв'язку задачі знаходження оптимального положення кабіни ліфта з устаткуванням методами математичного програмування є формулювання цільової функції та систем обмежень.

При лінійному програмуванні цільова функція має вигляд

$$W = \sum_{j=1}^{4} \sum_{i=0}^{n+1} (v_{ji} + w_{ji}) = \min, \qquad (7)$$

де j – номер точки кабіни ліфту,

i – номер поверху (ярусу) споруди.

При лінійному програмування, варто звернути увагу на те, що цільова функція має лінійний вигляд, внаслідок чого, після її розв'язку знайдені значення поправок v_{ij}, w_{ij} відповідатимуть умові мінімум, але не відповідатимуть оптимальному положенню кабіни ліфта в шахті.

В зв'язку з цим, очевидно, виникає необхідність в створенні додаткових обмежень для коректного розв'язку задачі. Якщо за різницю поправок прийняти величину Δ, то отримаєм

$$\left.\begin{array}{l} \Delta_{21} = v_2 - v_1; \\ \Delta_{34} = v_3 - v_4; \\ \Delta_{41} = w_4 - w_1; \\ \Delta_{32} = w_3 - w_2 \end{array}\right\}; \qquad (8)$$

які виражаються через різницю поправок (8), та повинні задовольняти умові (9)

$$\left.\begin{array}{l} -\Delta_{max} \leq \Delta_{21} \leq \Delta_{max}; \\ -\Delta_{max} \leq \Delta_{34} \leq \Delta_{max}; \\ -\Delta_{max} \leq \Delta_{41} \leq \Delta_{max}; \\ -\Delta_{max} \leq \Delta_{32} \leq \Delta_{max} \end{array}\right\} \qquad 9)$$

де Δ_{max}=*const.*

За абсолютне значення Δ_{max} можна взяти величину, яка дорівнює точності визначення координат контрольних точок шахти. Але процес оптимізації повинен виконуватись після виправлення грубих дефектів шахти.

Розв'язуючи цільову функцію (7) при обмеженнях (5, 6, 9), отримаємо значення невідомих x_1, x_4, y_1, y_2, а по них - величини x_2, x_3, y_3, y_4, згідно з умовою (2). Підставивши знайдені величини у формулу (1) визначимо відхилення кабіни ліфта v_{ij}; w_{ij} від стінок шахти.

При розв'язанні даної задачі система обмежень (6) може бути суттєво обмежена за рахунок того, що вони перекривають один одного. Це дозволяє використовувати лише екстремальні обмеження, тобто такі в які входять мінімальні a_{min}, b_{min} та максимальні a_{max}, b_{max} значення координат фактичного положення шахти. Відповідно до (Рис. 1) a_{min} - буде для точок (2; 3), b_{min} – точки (3; 4), a_{max} – точки (1, 4), b_{max} - точки (1; 2).

Приклад 1: Для розв'язання задачі маємо результати виконавчої зйомки ліфтової шахти, які показані на Рис.2 в Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
24										
25				Таблиця15. Результати зйомки шахти						
26										
27	поверх	ярус			Координати точок, мм					
28			1		2		3		4	
29			a1	b1	a2	b2	a3	b3	a4	b4
30	10(перекритта)	11	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
31	9	10	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
32	8	9	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
33	7	8	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
34	6	7	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
35	5	6	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
36	4	5	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
37	3	4	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
38	2	3	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
39	1	2	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
40	Приямник	1	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
41		[a],[b]	0	0	22550	0	22550	19800	0	19800
42		a_{max}, b_{max}	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
43		[axa],[bxb]	0	0	46227500	0	46227500	35640000	0	35640000
44		a_{min}, b_{min}	0	0	2050	0	2050	1800	0	1800
45			$\Delta_x = B_x - b_x$	450	$\Delta_y = B_y - b_y$	400	e	0.8484848		
46	n+2=	11	b_x	1200	by	1000	Bx	1650	By	1400
47										

Лін. програмування

Рис. 2. Результати виконавчої зйомки ліфтової шахти в оболонці Excel.

Для більшої наглядності та можливості контролю результатів отриманих данних був взятий ідеальний варіант шахти, яка має прямокутний переріз. Розміри шахти становлять B_x=2050 та B_y=1800 мм. Розв'язок задачі полягав в знаходженні оптимального положення кабіни ліфта в шахті.

Використовуючи вище наведені формули, ми формуємо:

- цільову функцію при лінійному програмуванні за формулою (7);

- обмеження (6, 5, 9);
- шукані величини x_1, x_4, y_1, y_2, x_2, x_3, y_3, y_4

розміщуючи формули для їх знаходження у відповідні комірки (Рис.3).

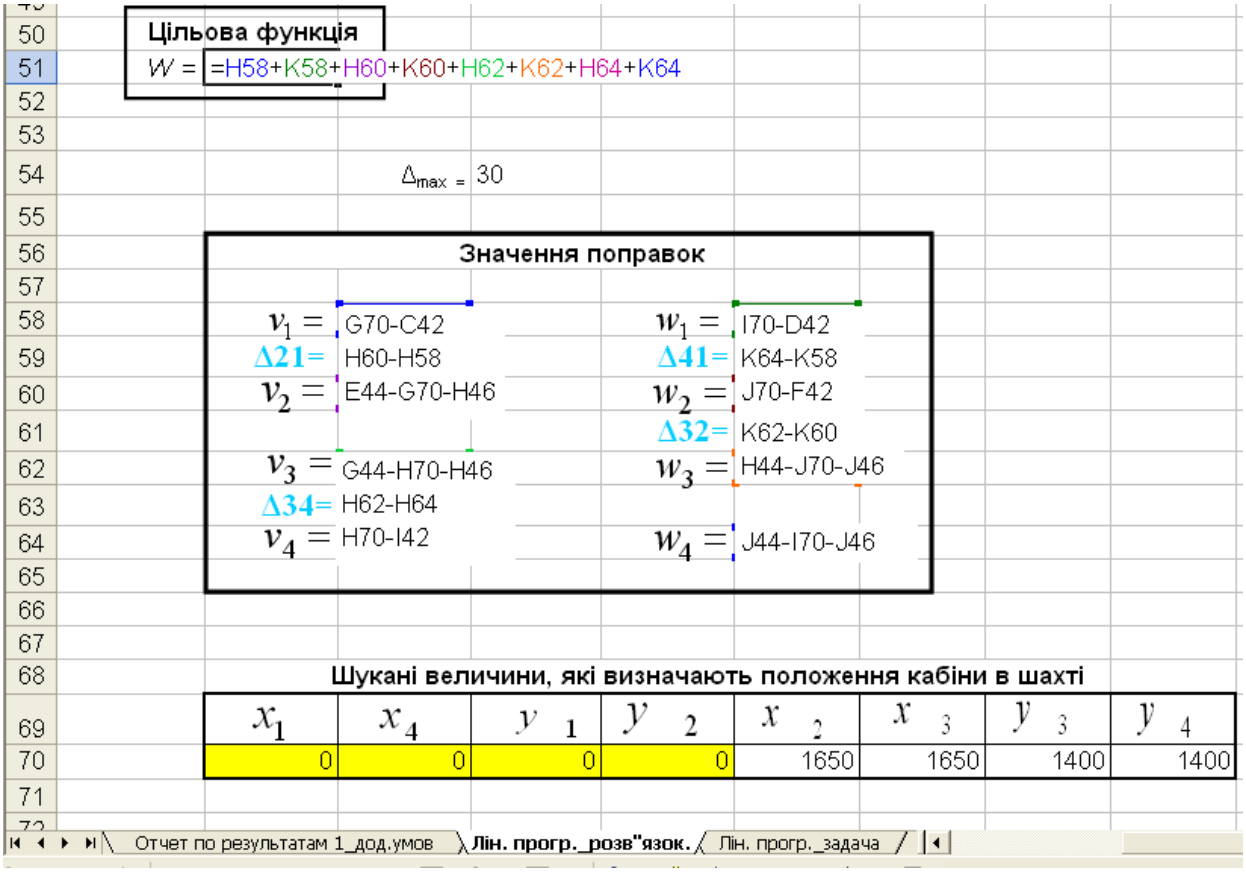

Рис. 3. Постановка задачі в MS Excel (Лінійне програмування).

Використовуючи програмний елемент „Поиск решения” в меню „Сервис” позначаємо цільову функцію, описуємо обмеження (Рис.4) та отримуємо шукані величини x_1, x_4, y_1, y_2 а по них величини x_2, x_3, y_3, y_4 та поправки v_{ij}; w_{ij} .

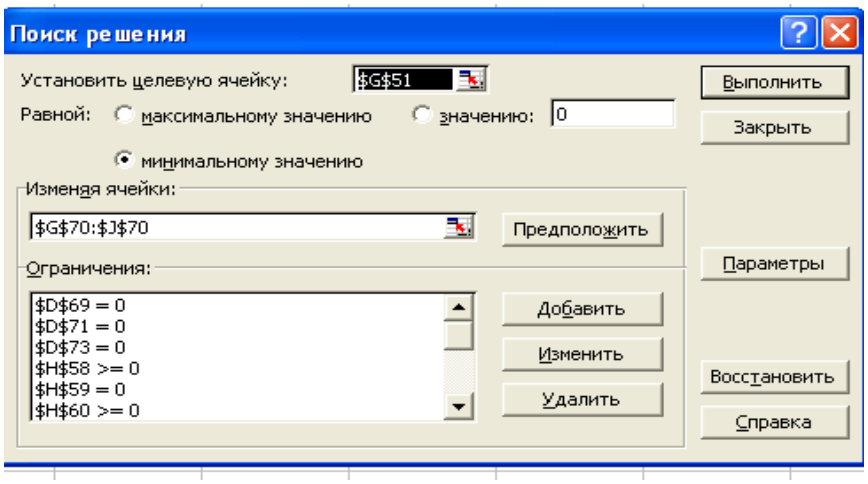

Рис. 4 Пошук рішення в оболонці Excel (Лінійне програмування).

Результат розв'язку приведений в „Microsoft Excel 10.0 Отчет по результатам". При аналізі результатів видно, що шукані величини мають очікувані значення. Отже задачу можна вважати виконаною.

Важливим етапом при будівництві та експлуатації ліфтів є визначення придатності (кондиційності) шахти для монтажу ліфтового обладнання. Дефектними місцями будуть місця звуження ліфтової шахти. Отже, необхідно встановити місцеположення та величину дефекту, що дозволить швидко його виправити та надати шахті кондиційного вигляду. Згідно з умовою (3) дефектні місця можна визначати по від'ємним значенням поправок.

Цільова функція	
W =	1600

Δ_{max} = 30

Значення поправок			
v_1 =	200	w_1 =	200
Δ21=	0	Δ41=	0
v_2 =	200.00023	w_2 =	200
		Δ32=	0
v_3 =	200.00023	w_3 =	200
Δ34=	0		
v_4 =	200	w_4 =	200

Шукані величини, які визначають положення кабіни в шахті

x_1	x_4	y_1	y_2	x_2	x_3	y_3	y_4
199.99977	199.99977	200	200	1850	1850	1600	1600

Рис. 5. Результат рішення (Лінійне програмування).

В *Прикладі 1* розглянуто розв'язок задачі при проектних розмірах ліфтової шахти. Але в реальних умовах шахта може відхилятись від номінальних розмірів. Відхилення дійсних внутрішніх розмірів стін шахти (в плані) від номінальних, вказаних в робочих кресленнях, повинно бути не більше +30 мм. Різниця довжин діагоналей шахти (в плані) повинна бути не більше 25 мм (нормативні вимоги).

При навмисному наданні координатам значення, яке зменшує габарити шахти до величини, при якій поправки $v_{ij}; w_{ij}$, згідно [4], приймають від'ємне значення, програма не може знайти рішення, та сповіщає про це користувача. Причина полягає в тому, що однією з умов розв'язання задачі була система обмежень (6), яка встановлює тільки позитивні значення поправок, тобто $v_{ij} \geq 0;\ \ w_{ij} \geq 0$.

У випадку з некондиційною (завуженою) шахтою, представлений алгоритм розв'язку задачі оптимізації положення ліфтового обладнання в шахті за допомогою Excel потребує удосконалення.

Отже, основними складовими системи обмежень (6) є фактичні координати шахти a_{ji} $в_{ji}$, де (*j=1,2,3,..., n; n - кількість контрольних точок на ярусі); (i=1,2,3,..., m; m – кількість ярусів),* оптимальні значення координат (x_1, x_4, y_1, y_2, x_2, x_3, y_3, y_4) положення кабіни та габарити кабіни B_x, B_y з технологічними зазорами. Відповідно, для розв'язання задачі знаходження оптимального положення кабіни ліфта в шахті необхідно навмисно зменшити габарити кабіни B_x, B_y з технологічними зазорами на величину, яка дорівнює *const*. А після розв'язку задачі по знаходженню оптимального положення кабіни, додати до габаритів величину *const*, та знайти значення поправок v_{ij}; w_{ij} . При цьому від'ємні значення будуть свідчити про дефектні місця.

При детальному дослідженні способу лінійного програмування можна зробити наступні зауваження:

1. Необхідність в складанні додаткової системи обмежень (8).
2. При номінальних розмірах шахти враховуючи обмеження (5, 6, 8) задача розв'язується та умова оптимального розміщення виконується.
3. Обмеження (8) – це двосторонні обмеження, які встановлюють діапазон коливань різниць поправок (7). Чим менший діапазон коливань Δ_{max}, тим більш оптимальніше виходить розміщення кабіни з обладнанням.
4. Якщо звужувати шахту до недопустимих розмірів, тобто при яких координати контрольних точок будуть знаходитись в межах положення кабіни з технологічними габаритами, то значення поправок не свідчитимуть про оптимальне положення кабіни. Для прикладу змінювалась координата a_1 на 11 ярусі на величину 51 мм, при цьому координата a_{ji} визначає положення точки по осі X (Рис. 1), то після розв'язку неадекватних значень набували поправки w_{ij} , які визначаються відносно осі У.

Отже, наведені аргументи дозволяють зробити висновок про недоцільність використання методу лінійного програмування для знаходження оптимального положення кабіни та ліфтового обладнання в ліфтовій шахті, коли шахта не кондиційна.

Дослідження способу квадратичного програмування, при якому цільова функція задається в квадратичному вигляді, тобто

$$W = \sum_{j=1}^{4} \sum_{i=0}^{n+1} (v^2{}_{ji} + w^2{}_{ji}) = \min, \qquad (10)$$

а основна система обмежень (5), (6) залишається без змін, дозволяє уникнути складання додаткової системи обмежень (9), у випадку лінійного програмуванням, та відповідно, ускладнення алгоритму розв'язку задачі.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
49					При **квадратичному** програмуванні цільова функція матиме вигляд:						
50											
51						W =	14969.5	$W=\sum_{j=1}^{4}\sum_{i=0}^{n+1}(v^2_{ij}+w^2_{ij})=\min$			
52											
53											
54	де	i – номер поверху (ярусу) споруди,									
55		j – номер точки кабіни ліфту.									
56					Внаслідок перекриття обмежень використаєм екстремальні значення (min) *a* та *b*						
57	Поправки визначаємо за формулами										
58	$v_{1i}=x_1-a_{1i}$			$w_{1i}=y_1-b_{1i}$			$v_1=$	44		$w_1=$	44
59											
60	$v_{2i}=a_{2i}-x_1-B_x$			$w_{2i}=y_2-b_{2i}$			$v_2=$	42		$w_2=$	42
61	$v_{3i}=a_{3i}-x_4-B_x$			$w_{3i}=b_{3i}-y_2-B_y$							
62							$v_3=$	44		$w_3=$	44
63	$v_{4i}=x_4-a_{4i}$			$w_{4i}=b_{4i}-y_1-B_y$							
64							$v_4=$	43		$w_4=$	43
65											

Рис. 6. Постановка задачі в оболонці Excel (Квадратичне програмування).

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
66											
67											
68		Шукані величини, які визначають оптимальне положення кабіни в шахті									
69		x_1	x_4	y_1	y_2	x_2	x_3	y_3	y_4		
70		48	48	49	49	1948	1948	1949	1949		
71		$y_3=y_2+B_y;$		$x_3=x_4+B_x;$							
72											
73		$x_2=x_1+B_x;$		$y_4=y_1+B_y;$							
74		поверх	ярус	Значення поправок по ярусам, мм							
75				1		2		3		4	
76				v1	w1	v2	w2	v3	w3	v4	w4
77		10(перекриття)	11	48	49	57	54	56	55	49	55
78		9	10	47	54	52	49	52	57	48	71
79		8	9	44	49	52	49	56	61	53	51
80		7	8	48	44	49	53	52	46	46	55
81		6	7	45	49	52	49	48	47	45	52
82		5	6	48	46	50	48	52	44	43	46
83		4	5	53	49	52	42	51	51	48	43
84		3	4	48	45	42	49	44	52	47	51
85		2	3	58	49	52	56	55	51	48	52
86		1	2	48	44	52	49	56	54	54	51
87		Приямник	1	48	49	52	51	52	51	48	51

Рис. 7. Результат рішення (Квадратичне програмування).

Висновки При розв'язанні задачі оптимізації розміщення ліфтового обладнання в шахті методом лінійного програмування не достатньо загальних систем обмежень (5, 6), а додатково необхідно створювати систему обмежень (9), яка дає можливість одержати оптимальні значення поправок та координат,

тільки за умови незначних відхилень лінійних розмірів ліфтової шахти, що задають положення кабіни ліфта в шахті і задовольняють умову оптимальності, але при цьому ускладнюють алгоритм розв'язку. При аналізі отриманих результатів розв'язку задачі, при проектних розмірах шахти, шукані координати кабіни ліфта відповідають прогнозованим, тобто положення кабіни ліфта чітко по центру шахти. А при недопустимих розмірах шахти (звужена) програма не дає розв'язку. Тому оцінку кондиційності шахти розміщення кабіни та обладнання необхідно виконувати в два етапи. Перший – перед процесом знаходження оптимального положення кабіни з устаткуванням, а другий – контрольний, під час оптимізації розміщення кабіни ліфта. В зв'язку з цим доцільніше використовувати метод квадратичного програмування при знаходженні оптимального положення ліфтової установки.

Література

1. *П.И. Баран* Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. – Москва „Недра", 1990.- С. 120-178.
2. *В.В. Степанюк* Методи математичного програмування. – В.О. „Вища школа", 1977.- 272 с.
3. *А.А. Мазаракі, Ю.А. Толбатов* Математичне програмування в Excel. – Навчальний посібник. „Четверта хвиля". – 1998. – 208 с.
4. ГОСТ 22845-85 „Лифты електрические пассажирские и грузовые. Правила организации, производства и приемки монтажных работ"
5. Постановление Гостехнадзора РФ от 16 мая 2003 г. №31 „Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов".

А н н о т а ц и я

Рассмотрены вопросы строительства и эксплуатации лифтовых установок в высотных сооружениях. Разработана методика и предложен алгоритм решения задачи оптимизации положения лифтового оборудования в шахте методом математического программирования.

А н о т а ц і я

Розглянуто питання будівництва та експлуатації ліфтових установок у висотних спорудах. Розроблено методику та запропоновано алгоритм вирішення задачі оптимізації положення ліфтового обладнання в шахті методом математичного програмування.