УДК 624.151.6.046:004.42

Пойта П.С., Лях Ю.В.

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ ГРУППЫ ЗДАНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА УПЛОТНЕННЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ПОДУШКАХ И ПОДСТИЛАЕМЫХ УПЛОТНЕННЫМИ ЕСТЕСТВЕННЫМИ ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ, СРЕДСТВАМИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Введение

В настоящее время при решении инженерных задач, связанных с расчетами зданий и сооружения используются различные методы математического моделирования, представляющие собой весьма эффективный инструмента, позволяющий легко и с достаточной степени надежности решить поставленную проблему. В основном, программные продукты проектирования фундаментов основаны на переборе возможных конструктивных вариантов определенного типа фундаментов с учетом грунтовых условий строительной площадки и оценке каждого из рассматриваемых вариантов по стоимости или объему расходуемого материала.

Более перспективным, на наш взгляд, является другое направление, предусматривающее применение специальных, теоретически обоснованных математических методов целенаправленного поиска оптимального решения без перебора возможных вариантов.

В математической постановке задача сводится к определению экстремума функции цели, в качестве которой должны использоваться экономические показатели – себестоимость, приведенные затраты и др.

Основная трудность при решении инженерных задач такими методами заключается в том, чтобы решаемую инженерную задачу свести по форме к математической задаче теории оптимизации.

Анализ методов расчета фундаментных конструкций позволяет сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют какие-либо оптимизационные решения, учитывающие технико-экономические показатели системы, включающей узкие ленточные фундаменты на указанных песчано-гравийных подушках, подстилаемых уплотненными естественными грунтами оснований.

Теоретические исследования

При решении различных оптимизационных задач механики грунтов и фундаментостроения нередко используется математический аппарат теории линейного программирования, в соответствии с которым ставиться задача по определению минимума функции цели:

$$\lambda^0 = c_1 t_1 + \ldots + c_n t_n \qquad (1)$$

при выполнении условий

$$a_{i1} t_1 + \ldots + a_i t_n = b_i, \quad t = 1, \ldots, S \qquad (2)$$

$$c_{i1} t_i + \ldots + c_{in} t_n < d_i, \quad i = 1, \ldots, l.$$

Кроме условий (2) и (3) могут еще налагаться условия неотрицательности на все или некоторые переменные.

Задача формулируется следующим образом. Считают, что координаты n-мерного вектора $a = (a_1, \ldots, a_n)$ удовлетворяют условиям (2) и (3), если при подстановке чисел, соответственно, вместо $t_1, \ldots, t_n$ уравнения (2) и неравенства (3) обращаются в верные равенства.

Вектор $a = (a_1, \ldots, a_n)$ является планом задачи, если он удовлетворяет условиям (2) и (3). Значение функции λ^0 при $t_1 = a_1; \ldots; t_n = a_n$ или $c_1 a_1 + \ldots + c_n a_n$ является значением функции λ^0 для вектора $a = (a_1, \ldots, a_n)$ и обозначается $\lambda(a)$. Координаты плана задачи обозначаются буквами $t_1, \ldots, t_n$, а план – T. Под $t_1, \ldots, t_n$ подразумеваются некоторые фиксированные числа, удовлетворяющие условиям (2) и (3).

Математическая модель оптимизационного метода расчета фундаментов группы зданий может быть сформулирована следующим образом: требуется найти обобщенный скалярный критерий (функцию цели – C^0) из условия минимума суммы произведений $c_j^0 x_i$:

$$C^0 = c_1^0 x_1 + c_2^0 x_2 + \ldots + c_n^0 x_n \to min; \qquad (4)$$

$$\left.\begin{array}{l} t_{11} x_1 + t_{12} x_2 + t_{13} x_3 + \ldots + t_{1n} x_n \le a; \\ t_{21} x_1 + t_{22} x_2 + t_{23} x_3 + \ldots + t_{2n} x_n \le b; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ t_{m1} x_1 + t_{m2} x_2 + t_{m3} x_3 + \ldots + t_{mn} x_n \le k \end{array}\right\}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \le 100,$$

где $x_1, x_2, \ldots, x_n$ – количество типоразмеров ленточных фундаментов;

C^0 – суммарная сметная стоимость фундаментов группы зданий, возводимых на уплотненных песчано-гравийных подушках применительно к какой-либо конкретной строительной площадке (должна быть минимальной);

$c_1^0, c_2^0, \ldots, c_n^0$ – общая сметная стоимость возведения каждого типоразмера фундамента;

100 – количество типоразмеров ленточных фундаментов;

a, b, …, k – требуемая трудоемкость работ за весь период строительства всех фундаментов на данной строительной площадке. Эти обобщенные затраты труда, предопределяющие количество необходимых машин и механизмов, и производительность, должны быть обеспечены при принятом сроке строительства всех фундаментов.

Количество типоразмеров фундаментов x_i принимается по расчету согласно номенклатуре типовых фундаментных блоков ФБС и номенклатуре типовых плит ленточных фундаментов серии СТБ 1076-97, хотя может быть принята любая другая номенклатура ленточных фундаментов или монолитных ленточных фундаментов различных типоразмеров. Диапазон изменения фундаментов по номенклатуре принимается согласно расчетам.

Таким образом, произведение $c_1^0 x_1$ обозначает сметную стоимость строительства всех фундаментов марки x_1. Произведение $c_2^0 x_2$ – это общая сметная стоимость возведения всех фундаментов марки x_2 и т.д. В результате решения выражения (4) определяется количество типоразмеров каждой марки ленточных фундаментов из условия минимума функции цели.

Лях Ю.В., *младший научный сотрудник НИАП «Стройэкономика».*

Таблица 1. Стоимость и трудоемкость работ при возведении фундаментов ФБС 12.3.3, ФБС 12.4.3, ФБС 12.5.3

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат, единицы измерения	Стоимость единицы, руб.	Затраты труда рабочих-строителей, чел-ч/ затраты труда машинистов, чел-ч.	ФБС 12.3.3			ФБС 12.4.3			ФБС 12.5.3		
					количество	стоимость (прямые затраты)	затраты труда	количество	стоимость (прямые затраты)	затраты труда	количество	стоимость (прямые затраты)	затраты труда
1	Е1-145-2	Предварительная планировка площадки механизированным способом, грунт 2 группы, 1000 м^2	12,31	0,00	0,0108	0,13	0,00	0,0108	0,13	0,00	0,0108	0,13	0,00
				1,68			0,02			0,02			0,02
2	Е1-18-2 к = 1,2	Разработка грунта с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью 0,4 (0,3-0,45) м3, группа грунтов 2, 1000 м^3	633,82	36,52	0,00994	6,30	0,36	0,01013	6,42	0,37	0,01032	6,54	0,38
				105,88			1,05			1,07			1,09
3	Е1-13-2	Разработка грунта в отвал экскаватором драглайн или обратной лопатой с ковшом вместимостью 0,4 (0,3-0,45) м3, группа грунтов 2, 1000 м^3	380,17	12,31	0,00235	0,89	0,03	0,00235	0,89	0,03	0,00235	0,89	0,03
				53,55			0,13			0,13			0,13
4	Е1-24-1	Разработка грунта бульдозерами мощн. 59 (80) кВт (л.с.) при перемещении грунта до 10 м, грунт 1 группы, 1000 м^3	99,88	0,00	0,00235	0,23	0,00	0,00235	0,23	0,00	0,00235	0,23	0,00
				16,73			0,04			0,04			0,04
						7,56	***1,63***		***7,68***	***1,65***		***7,80***	***1,68***
5	ССЦ 4.1	Перевозка грунта до 15 км, класс груза 1, т	1,28	0,00	15,90	20,35	0,00	16,21	20,75	0,00	16,51	21,13	0,00
				0,00			0,00			0,00			0,00
6	Е1-24-1	Разработка грунта бульдозерами мощн. 59 (80) кВт (л.с.) при перемещении грунта до 10 м , грунт 1 группы, 1000 м^3	99,88	0,00	0,00006	0,01	0,00	0,00023	0,02	0,00	0,00041	0,04	0,00
				16,73			0,00			0,00			0,01

Продолжение таблицы 1

7	Е1-138-7	Уплотнение грунта под основание здания трамбующими плитами в котлованах площадью дна менее 100 м2 при 10-14 ударах по 1 следу, диаметр трамбовки до 1,5 м, 1000 $м^2$	1500,03	192,10	0,00072	1,08	0,14	0,00096	1,44	0,18	0,0012	1,80	0,23
				169,12			0,12			0,16			0,20
8	Е1-164-1 к = 1,2	Доработка грунта 1 группы вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, 100 $м^3$	363,00	473,75	0,0072	2,61	3,41	0,0072	2,61	3,41	0,0072	2,61	3,41
				83,84			0,60			0,60			0,60
						24,05	***4,28***		***24,83***	***4,37***		***25,59***	***4,45***
9	Е1-18-1 к=1,2	Разработка песчано-гравийной смеси в карьере с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью 0,4 (0,3-0,45) м3, группа грунтов 1, 1000 $м^3$	494,65	28,97	0,00006	0,03	0,00	0,00023	0,11	0,01	0,00041	0,20	0,01
				0,00			0,00			0,00			0,00
10	ССЦ 4.1	Перевозка песчано-гравийной смеси на расстояние до 15 км, класс груза 1, т	1,28	0,00	0,000096	0,0001	0,00	0,000368	0,0005	0,00	0,000656	0,0008	0,00
				0,00			0,00			0,00			0,00
11	Прейскурант цен РБ 061203	Оптовая цена песка, $м^3$	2,20	0,00	0,06	0,13	0,00	0,23	0,51	0,00	0,41	0,90	0,00
				0,00			0,00			0,00			0,00
12	Е1-27-1	Засыпка траншей в котловане с перемещением песчано-гравийной смеси до 5 м бульдозером мощностью 59 (80) кВт (л.с), 1000 $м^3$	70,75	0,00	0,00006	0,00	0,00	0,00023	0,02	0,00	0,00041	0,03	0,00
				11,75			0,0007			0,0027			0,0048
						0,17	***0,0024***		***0,64***	***0,01***		***1,13***	***0,02***
13	Е1-138-7	Уплотнение грунта под основание здания трамбующими плитами в котлованах площадью дна менее 100 м2 при 10-14 ударах по 1 следу, диаметр трамбовки до 1,5 м, 1000 м2	1500,03	192,10	0,00072	1,08	0,14	0,00096	1,44	0,18	0,0012	1,80	0,23
				169,12			0,12			0,16			0,20

Продолжение таблицы 1

14	Е1-164- 1 к = 1,2	Доработка песчано-гравийной смеси вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами под фундамент, 100 м³	363,00	473,75	0,00006	0,02	0,03	0,00023	0,08	0,11	0,00041	0,15	0,19	
				0,00			0,00			0,00			0,00	
15	Е1-24-1	Разработка грунта бульдозерами мощн. 59 (80) кВт (л.с.) при перемещении грунта до 10 м для обратной засыпки и подсыпки под полы, грунт 1 группы, 1000 м³	99,88	0,00	0,00235	0,23	0,00	0,00235	0,23	0,00	0,00235	0,23	0,00	
				16,73			0,04			0,04			0,04	
16	Е1-13-1 к = 1,45	Подсыпка под полы (под ноль) грунтом 1 группы экскаватором с грейферным ковшом емк. 0,4 м3, 1000 м³	616,96	13,83	0,00072	0,44	0,01	0,00072	0,44	0,01	0,00072	0,44	0,01	
				60,15			0,04			0,04			0,04	
						1,78	*0,38*		*2,20*	*0,55*		*2,63*	*0,72*	
						33,56			*35,35*			*37,15*		

Уравнения (5) являются ограничениями при решении выражения (4) и характеризуют трудоемкость работ на отдельные виды работ при строительстве всех фундаментов на строительной площадке, а также требуемую трудоемкость выполнения работ с использованием всех механизмов и машин при возведении группы зданий на уплотненных песчано-гравийных подушках. Например, в первом уравнении (5) трудоемкость разработки грунта экскаватором с погрузкой на автомобили-самосвалы обозначается t_{11}, где второй индекс при t означает, что трудоемкость работ относится к марке фундамента x_1. Следовательно, произведение $t_{11}x_1$ означает трудоемкость работ при разработке грунта экскаватором под все фундаменты марки x_1. произведение $t_{12}x_2$ – это трудоемкость работ при разработке грунта экскаватором под все фундаменты марки x_2.

В систему ограничений (5) могут быть включены все виды работ согласно таблицы 1 и требуемые суммарные трудоемкости при использовании всех машин и механизмов на строительной площадке при возведении всех фундаментов. Однако с целью сокращения объема вычислительных работ, связанных с составлением уравнений (5), рекомендуется в систему этих ограничений включить лишь основные виды работ и основные виды машин и механизмов, используемых при строительстве ленточных фундаментов группы зданий на данной строительной площадке.

В соответствии с поставленной математической задачей нами определена стоимость и трудоемкость всех строительных работ при возведении фундаментов ФБС 12.3.3, ФБС 12.4.3, ФБС 12.5.3, ФБС 12.6.3 и ФЛ 10.12-9, наиболее широко используемых при возведении зданий и сооружений на уплотненных песчано-гравийных подушках. Некоторые из этих расчетов приведены в табл. 1-3 при нагрузке на ленточные фундаменты 208 кН/м, 420 кН/м, 570 кН/м. 720 кН/м и 960 кН/м.

На основании указанных таблиц составлено уравнение для определения минимума стоимости возведения всех фундаментов, которое имеет вид:

$$C^0 = 33.56x_1 + 35.35x_2 + 37.15x_3 + 39.21x_4 + 44.40x_5 . \quad (6)$$

Из расчета на 100 элементов в качестве ограничений приняты следующие уравнения:

$$\begin{gathered} 1.63x_1 + 1.65x_2 + 1.68x_3 + 1.71x_4 + 1.82x_5 \le 169.80 ; \\ 4.28x_1 + 4.37x_2 + 4.45x_3 + 4.55x_4 + 5.95x_5 \le 472.00 ; \\ 0.002x_1 + 0.01x_2 + 0.02x_3 + 0.03x_4 + 0.04x_5 \le 2.10 ; \quad (7) \\ 0.38x_1 + 0.55x_2 + 0.72x_3 + 0.93x_4 + 1.23x_5 \le 76.20 ; \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \le 100 . \end{gathered}$$

Коэффициенты в уравнениях (7) представляют собой обобщенные затраты трудна в чел.-час на каждый элемент типоразмера фундамента, количество которых обозначено соответственно через x_1, x_2, x_3, x_4, x_5. Например, коэффициент 1,63 в первом уравнении является суммой затрат труда по четырем первым позициям в таблице 1 для фундамента ФБС 12.3.3; коэффициент 4,28 во втором уравнении является суммой последующих четырех позиций для фундамента ФБС 12.3.3.

Решение уравнений (7) выполнено на основе использования симплекс-метода, первая и последняя итерации при решении задачи приведены в табл. 2 и 3.

Результаты расчетов на основе оптимизационного метода выбора оптимальных размеров фундаментов при их массовом строительстве свидетельствуют о том, что нужно построить 81,56 шт. фундаментов ФБС 12.6.3 и 18,44 шт. фундаментов ФЛ 10.12-9.

Таблица 2. Первая итерация симплекс-метода, используемого при решении уравнений-ограничений

№ п/п	P	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
				33,56	*35,35*	*37,16*	*39,21*	*44,40*	*0*	*0*	*0*	*0*
1	P_6	0	169,8	1,63	1,65	1,68	1,71	1,82	1	0	0	0
2	P_7	0	472,0	4,28	4,37	4,45	4,55	5,95	0	1	0	0
3	P_8	0	2,1	0,002	0,01	0,02	0,03	0,04	0	0	1	0
4	P_9	0	76,2	0,38	0,56	0,72	0,93	1,25	0	0	0	1
5				33,56	35,35	37,16	39,21	44,40	0	0	0	0

Таблица 3. Пятая итерация симплекс-метода, используемого при решении уравнений-ограничений

№ п/п	P	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
				33,56	*35,35*	*37,16*	*39,21*	*44,40*	*0*	*0*	*0*	*0*
1	P_4	39,21	80,075	1,009	0,984	1,005	1	0	3,147	-0,962	0	0
2	P_5	44,50	18,107	-0,057	-0,018	-0,021	0	1	-2,407	-0,903	0	0
3	P_8	0	-10,282	-0,026	-0,019	-0,010	0	0	-0,003	-0,005	1	0
4	P_9	0	-24,976	-0,638	-0,495	-0,370	0	0	-1,674	0,392	0	1
5				-3,676	-2,020	-1,353	0	0	-16,499	-2,669	0	0

Выводы

1. Сформулированная математическая модель позволяет решить задачу оптимизации системы, включающей узкие ленточные фундаменты на песчано-гравийных подушках, подстилаемых уплотненными естественными грунтовыми основаниями. Модель учитывает номенклатуру узких ленточных фундаментов, трудоемкость машин и механизмов, используемых при возведении фундаментов группы зданий.
2. Предложен метод расчета узких ленточных фундаментов группы зданий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – МаиС РБ. – 36 с.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М., 1985.
3. Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщения и применение. – М.: Прогресс, 1966. – 96 с.
4. Кузнецов Ю.Н., Холод Н.И. Математическое программирование. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 200 с.

Статья поступила в редакцию 26.03.07

УДК 624.132.345

Дедок В.Н., Шведовский П.В.

ОСОБЕННОСТИ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАМЫВА ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГО - ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Введение

Целью лабораторного моделирования процесса намыва, в условиях Юго-Западного региона Республики Беларусь, является исследование особенностей технологических способов намыва и обоснование оптимальных его схем в условиях, обеспечивающих наибольшую плотность намытого массива при наименьшей неоднородности в плане и по глубине и определяемых текстурой грунта, технологией производства работ, гидравлическими параметрами потока пульпы на откосе намыва, гранулометрическим составом карьерного грунта, характером фракционирования, характером консолидации грунта и др.

Анализ взаимозависимостей этих факторов позволяет отметить, что в качестве модельной схемы фракционирования грунтов целесообразно применить выборочную раскладку частиц из потока пульпы вдоль откоса намыва в порядке уменьшения крупности с распределением, подчиняющимся нормальному закону. Наблюдаемая иногда в практике случайность в раскладке некоторых частиц грунта[1], обуславливается трудностью оценки таких множеств факторов, как неустановившийся режим подачи пульпы, изменение гранулометрического состава карьерного грунта, перемещение фронта намыва при перекладке трубопроводов, наличие органических веществ, химизм водной среды и др.

Поэтому в качестве рабочей модели принята стохастическая модель фракционирования со следующими характеристиками процесса фракционирования: E – параметр силового воздействия; φ – параметр фракционирования; x_0 – параметр расстояния; φ_0 – форма кривых рассеивания частиц; Φ_0 и Φ_{0i} – содержание i-ой фракции в пробе намытого и в составе карьерного грунтов; x – расстояние от выпуска

Дедок Владимир Николаевич, *доцент кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.*

Шведовский Петр Владимирович*, кандидат технических наук, профессор кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.*

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.