

Из приведенных способов контроля гранулометрического состава и содержания твердой фазы пульпы каждый имеет свои достоинства и недостатки, обобщая которые можно прийти к **следующим выводам:**

1. Для осуществления контроля по способам [5,7,8] необходимо проводить предварительную дегазацию пульпы, что связано с усложнением конструкции гранулометра, снижением ее надежности.
2. Измерения гранулометрического состава по способу [7] не являются абсолютными, поэтому требуется настройка приборов по месту контроля.
3. Способы [5,8] имеют невысокую точность измерения контролируемых параметров.

Список литературы

1. **Бергман Л.** Ультразвук и его применение в науке и технике. - М.: Изд-во иностран. лит., 1957. – 726 с.
2. **Моркун В.С., Потапов В.Н.** Современные методы ультразвуковой гранулометрии. – М.: Ин-т Черметинформация, 1991. – 22 с.
3. **Моркун В.С.** Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТПобогатительного производства / **В.С. Моркун, В.Н. Потапов, Н.В. Моркун, Н.С. Подгородецкий** // Монография. - Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. - 283 с.
4. **Моркун В.С., Поркуян О.В.** Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах. – Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2006.- 261 с.
5. Пат. 3438798 А1 Германия, МКИ G 01 N 15/02. Verfahren und Vorrichtung zum Messen der Feststoffkonzentration und der Korngobenverteilung in einer Suspension mittels Ultraschall/Löffler F.(Германия) - № 58730; Заявл. 23.10.84; Опубл. 24.04.86.- 14 с.
6. Hinde A.L. A real-time size analyser for plant use//IFAC Symp. "Automat Mining, Miner. and Metal. Proc." – Sydney. – 1975.- P. 45-47.
7. Пат. 4381674 США, МКИ G 01 N 29/00. Ultrasonic detecting and identifying of particulates/Leigh R. (США). - № 276038; Заявл. 22.06.81; Опубл. 03.05.83. – 6 с.
8. Пат. 4412451 США, МКИ G 01 N 29/00. Method and apparatus for the determination of the average particle size in a slurry/Seppo J. Uusitalo, Georg C. Von Althfan (Финляндия). – № 399002; Заявл. 16.07.82; Опубл. 01.11.83. - 16 с.
9. **Моркун В.С.** Адаптивная система стабилизации гранулометрического состава выходного продукта замкнутого цикла измельчения на базе средств ультразвукового контроля: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. - Кривой Рог, 1984. – 227 с.
10. Пат. 5841336 Япония, МКИ G 01 N 15/07. Particle analyzer/Toua Iyoudenshi, Masayoshi Hayashi (Япония). - № 56139955; Заявл. 04.09.81; Опубл. 10.03.83. – 4 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.16

УДК 519.242.7

Р.А. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук,
В.О. САВЕНКО, аспирант, Криворожский национальный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВАНИИ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ

Подпорные стены в настоящее время находят широкое применение не только в гражданском и промышленном строительстве, но и в градостроительном проектировании для сложных ландшафтов. Возникают ситуации строительства объектов в стесненных условиях, на неблагоприятных территориях с активными действующими деформационными воздействиями, что усложняет применение имеющихся типов конструкций подпорных стен. В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции. Поэтому на стадии проектов детальной планировки с целью комплексной защиты населенных пунктов, промышленных объектов, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с определенным уровнем безопасности и защиты необходимо использовать инженерные сооружения специального назначения. Поставлена следующая задача: провести исследования с использованием положений теории планирования эксперимента, определить оптимальное конструктивное решение подпорной стены специального типа. Целью исследований является определение такого сочетания факторов, при котором нагрузка на удерживаемый грунт будет максимальной. Для выбора оптимального конструктивного решения подпорной стены специального типа планируется учитывать несколько факторов: контактная площадь опорных призматических участков; объем полостей; угол резанья, градус; вид грунта (в виде удельного сцепления); несущая способность основания. Получен-

ное уравнение позволит уменьшить количество экспериментов и определить максимальную нагрузку на удерживаемый конструкцией грунт (функция отклика) с учетом оптимального сочетания значимых факторов.

Ключевые слова: подпорные стены специального типа (ПССТ); планирование эксперимента; матрица планирования, модель регрессии.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Подпорные стены в настоящее время находят широкое применение не только в гражданском и промышленном строительстве, но и в градостроительном проектировании для сложных ландшафтов.

Возникают ситуации строительства объектов в стесненных условиях, на неблагоприятных территориях с активными действующими деформационными воздействиями, что усложняет применение имеющихся типов конструкций подпорных стен.

По экспертным оценкам 90% площади территории Украины характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, ухудшающимися вследствие влияния природных и техногенных факторов [1].

Для освоения указанных территорий необходимо применять наиболее прогрессивные конструктивные решения подпорных стен, способные воспринимать дополнительно возникающие нагрузки.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции.

В особенности для города Кривого Рога техногенная нагрузка на геологическую среду на несколько порядков выше, чем для других городов. Встречаются крайне неблагоприятные сочетания подработки территории с просадочностью грунтов, подтопление застроенных жилых массивов, сдвижение пород и т.д. Поэтому на стадии проектов детальной планировки с целью комплексной защиты населенных пунктов, промышленных объектов, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с определенным уровнем безопасности и защиты необходимо использовать инженерные сооружения специального назначения.

Постановка задачи. Провести исследования с использованием положений теории планирования эксперимента, определить оптимальное конструктивное решение подпорной стены специального типа (ПССТ).

Целью исследований является определение такого сочетания факторов, при котором нагрузка на удерживаемый грунт будет максимальной.

Изложение материала и результаты. Планирование эксперимента - это четкая организация экспериментального исследования, которое позволяет собрать необходимые данные, применить для их анализа статистические методы и сделать правильные и объективные выводы. Поиск оптимального решения осуществляется на математической модели, представляющей собою функцию отклика. В данном случае функцией отклика будет максимальная нагрузка на грунт, удерживаемый ПССТ.

Планируется ставить последовательные серии опытов, в каждой из которых будут варьировать определенные факторы. Серии организовываются таким образом, чтобы после математической обработки предыдущей можно было спланировать условия проведения следующей. В конечном итоге, шаг за шагом, достигается области оптимума. В данном случае статистический подход позволит провести объективный анализ, особенно если данные эксперимента содержат ошибки [2-4].

Этапы проведения математического планирования эксперимента:

постановка задачи;

выбор наиболее значимых факторов, непосредственно влияющих на объект исследования;

выбор основного уровня факторов, а также интервала варьирования;

построение матрицы планирования;

проведение массива опытов по плану;

обработка результатов эксперимента;

выводы на основании результатов, разработка рекомендаций по оптимизации исследуемого явления.

Объектом исследования является ПССТ, а именно монолитная подпорная стена углового типа, которая имеет вертикальный и горизонтальный элементы на поверхности которых, с контактной стороны, размещены опорные части и пустоты в виде усеченных пирамид одинакового размера и направленных меньшим основанием вглубь вертикального и фундаментного элементов [5].

Монолитная подпорная стенка углового типа (рис. 1) состоит из фундаментной плиты 1, которая имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены на подошве и вертикального элемента 2, который также имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены с тыльной стороны. Г

рунт 5 направленный в пустоты 3, которые имеют форму усеченных пирамид.

Под подошвой фундаментной плиты и с тыльной стороны вертикального элемента расположены два листа упругоподатливого материала.

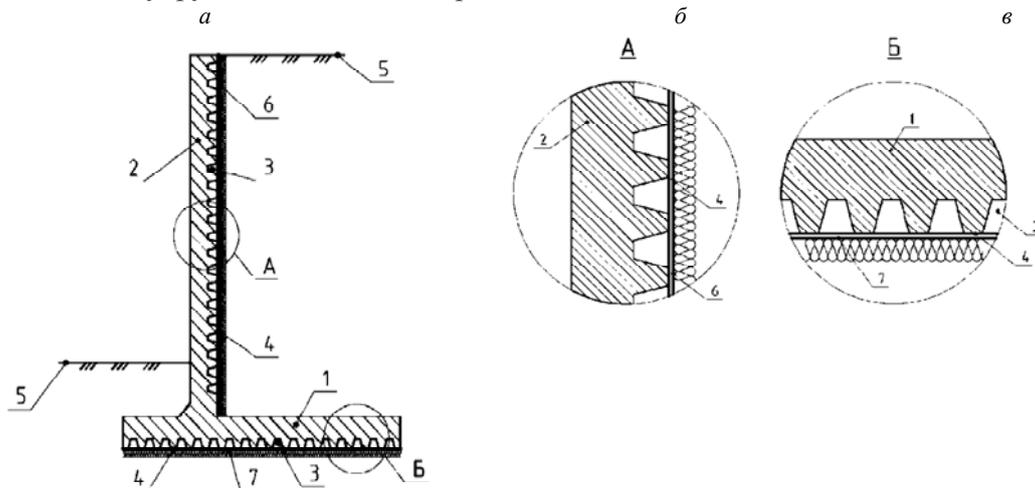


Рис. 1. Монолитная подпорная стена специального типа: а – поперечный разрез; б – узел А; в – узел В;
1 – фундаментная плита, 2 – лицевая плита, 3 – пустоты, 4 – опорные части, 5 – грунт,
6, 7 – листы упругоподатливого материала

С развитием деформирующей нагрузки во времени, т.е. с вертикальными и горизонтальными перемещениями грунта по отношению к монолитной стене углового типа, после ее установки, происходит постепенное проникновение грунта 5 в пустоты 3. Преждевременное заполнение пустот предотвращается листами упругоподатливого материала 6,7.

Постановка задачи исследований заключается в создании адекватной, статистически значимой модели регрессии.

Для выбора оптимального конструктивного решения подпорной стены специального типа планируется учитывать несколько факторов, которые оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции и основания.

Рассматриваемые факторы разделены на две группы: статические, связанные с геометрическими параметрами ПССТ и геологические, соответствующие грунтовым условиям при устройстве конструкции [6]. Наиболее значимые факторы, непосредственно влияющие на объект исследования:

контактная площадь опорных призматических участков S , м²;

объем полостей V , м³;

угол резанья α , градус;

вид грунта (в виде удельного сцепления c , кПа);

несущая способность основания R , МПа.

Все выделенные факторы удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, основными из которых являются управляемость, однозначность и операциональность [7,8].

Выбор основного уровня факторов осуществляем на основании области определения, а также устанавливаем интервал варьирования табл. 1.

Таблиця 1

Уровни и интервалы варьирования			
Фактор	Область определения	Интервал варьирования	Уровни
X_1 - контактная площадь опорных призматических участков, м ²	0,09–0,36	0,135	0,09
			0,225
			0,36
X_2 - объем полостей, м ³	0,014–0,216	0,101	0,014
			0,115
			0,216
X_3 - угол резания, град.	30–90	30	30
			60
			90
X_4 - вид грунта (в виде удельного сцепления c , кПа)	0–50	15	0
			15
			30
X_5 – несущая способность основания, МПа	0,1–0,6	0,25	0,1
			0,35
			0,6

При выборе матрицы плана принималось во внимание критерии оптимальности и число опытов [9]. В данном случае планируется использовать дробный факторный эксперимент с планом дробной реплики типа 2^{5-2} с разрешающей способностью III табл. 2.

Таблиця 2

Матрица планирования 2^{5-2}_{III}

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	+	+	+	+	+	+
2	+	–	–	+	–	–
3	+	+	+	–	–	+
4	+	–	+	–	+	–
5	+	+	+	+	–	–
6	+	–	–	+	+	+
7	+	+	–	–	+	–
8	+	–	+	–	–	+

Зададим следующие генерирующие соотношения

$$X_4 = X_1 \cdot X_3; X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (1)$$

Для определения смешанных эффектов данной реплики установим определяющие контрасты

$$1 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4; 1 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5; 1 = X_2 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (2)$$

Тогда обобщающий определяющий контраст

$$1 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 = X_2 \cdot X_4 \cdot X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5. \quad (3)$$

Исходя из этого, получим коэффициенты линейного уравнения (коэффициенты регрессии)
 $b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{34} + \beta_{1245} + \beta_{235}$; $b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{1234} + \beta_{45} + \beta_{135}$; $b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{14} + \beta_{2345} + \beta_{125}$;
 $b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{13} + \beta_{25} + \beta_{12345}$; $b_5 \rightarrow \beta_5 + \beta_{1345} + \beta_{24} + \beta_{123}$; $b_{12} \rightarrow \beta_{12} + \beta_{234} + \beta_{145} + \beta_{35}$; (4)
 $b_{15} \rightarrow \beta_{15} + \beta_{345} + \beta_{124} + \beta_{23}$.

Получена довольно сложная система смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия первого, второго, третьего и четвертого порядков.

Если, например, коэффициенты b_{12} и b_{15} отличаются от нуля, то возникают сомнения, можно ли пренебрегать другими парными взаимодействиями, с которыми смешаны линейные эффекты.

Тогда следует поставить вторую серию опытов, выбрав нужным образом другую $1/4$ - реплику.

При этом можно использовать метод «перевала». Смысл этого метода заключается в том, что вторая четверть-реплика получается из первой путем изменения всех знаков матрицы на обратные.

Тогда в обобщающем определяющем контрасте тройные произведения имеют знак, противоположный их знаку в первой четверть-реплике.

Тройные произведения определяют парные взаимодействия в совместных оценках для линейных эффектов.

Усредняя результаты обеих четверть-реплик, получаем линейные эффекты, не смешанные с парными взаимодействиями.

Обработка результатов эксперимента и определение коэффициентов регрессии определяется с помощью метода наименьших квадратов [10-] согласно формул

$$b_0 = \sum_{i=1}^n Y_i / n; b_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} Y_i \cdot / n, \quad (5)$$

где b_0 - свободный коэффициент модели регрессии; b_j - коэффициенты модели регрессии $j=1,2,\dots,5$, Y_i - среднее значение функции отклика в каждом отдельном опыте; X_{ij} - кодированное значение фактора по каждому отдельному опыту.

Исходя из этого, модель регрессии будет иметь вид

$$\bar{Y}_x = b_0 - b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5 \quad (6)$$

Выводы и направление дальнейших исследований. Полученное уравнение позволит уменьшить количество экспериментов и определить максимальную нагрузку на удерживаемый конструкцией грунт (функция отклика) с учетом оптимального сочетания значимых факторов.

Полученные значения факторов позволят оптимизировать конструктивное решение подпорной стены специального типа для применения в конкретных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. **П.І. Кривошеєв.** Науково-технічні проблеми координації дій щодо захисту будівель, споруд і територій зі складними інженерно-геологічними умовами. - "Будівництво України" № 6, 2001 р., С. 16-19.
2. **Монтгомери Д.К.** Планирование эксперимента и анализ данных. // **Д.К. Монтгомери** -Л.: Судостроение, 1980.-384 с.
3. **Адлер Ю.П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений. // **Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.** - М.: Наука, 1976. - 276 с.
4. **Адлер Ю.П.** О принятии решений в неформализованных ситуациях. // **Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова** // Методологические проблемы кибернетики - М.: Наука, 1970. Т.2. - С. 35-40.
5. Підпірна стінка : патент 62715 / **Вілкул Ю.Г., Тимченко Р.О., Крішко Д.А., Дмитрієва К.Ю., Бондар Ю.М.** ; власник патенту Криворізький технічний університет. - № 200305 ; заявл. 08.05.2003 ; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
6. **Ершова Н.М.** Обработка данных средствами Excel при планировании эксперимента / **Н.М. Ершова, В.Н. Деревянко, Р.А.Тимченко, О.В. Шаповалова.** - Дніпропетровськ: ПГАСА, 2012. - 351 с.
7. **Барабашук В.И.** Планирование эксперимента в технике / **В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко.** - К.: Техніка, 1984. - 200 с.
8. **Зергенідзе И.Г.** Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. / **И.Г. Зергенідзе.** - М.: Металургия, 1974. - 310 с.
9. **Ершова Н.М.** Системный анализ в материаловедении: Конспект лекций / **Н.М. Ершова.** - Дніпропетровськ: ПГАСА, 2008. -62 с.
10. **Ершова Н.М.** Методика планирования и проведения эксперимента при обработке данных средствами Excel / **Н.М. Ершова** // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБ-таА, 2009. - № 2. - С. 7-18.
11. **Ершова Н.М.** Дисперсионный анализ данных наблюдений с помощью пакета анализа приложения Excel / **Н.М. Ершова** // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБ-таА, 2009. - № 3. - С. 10-20.
12. **Гарькина И.А.** Математические методы синтеза строительных материалов / **И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин.** - Пенза: ПГАСА, 2001. - 106 с.
13. **Ершова Н.М.** Реализация в среде электронных таблиц методов корреляционно-регрессионного анализа и прогнозирования / **Н.М. Ершова.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2002. - 50 с.
14. **Ершова Н.М.** Кореляционный анализ данных наблюдений: Методические указания и задания / **Н.М. Ершова.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2008. - 56 с.
15. **Ершова Н.М.** Дисперсионный анализ данных наблюдений: Методические указания и задания / **Н.М. Ершова, Ю.А. Гнатовская.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2009. - 73 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.02.15