

от верховьев рек и балок, общим уклоном русла и подтоком грунтовых вод, впадающих в них балок. Закономерное изменение химического состава грунтовых вод от истоков долин и балок к устьям и от бортов к днищам наиболее полно может быть представлено в такой последовательности: гидрокарбонатно-кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциевые, гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриево-магниевые, сульфатно-гидрокарбонатные — пресные воды в верховьях долин и балок (0,3—0,8 г/л, на юге — до 1,1 г/л); сульфатно-хлоридно-карбонатные, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные и все три катиона, сульфатно-хлоридные магниево-натриево-кальциевые, хлоридно-сульфатные натриево-магниевые, хлоридно-сульфатные натриевые, хлоридные натриевые — солоноватые воды средней части долин (1—5 г/л, редко 8—12 г/л), солоноватые и соленые воды низовьев рек (2,5—12 г/л).

Кроме того, в III гидрохимической зоне, в южной части междуречий рек Южный Буг—Днепр—Молочная, выделяютсяazonальные территории, приуроченные к районам развития «подов», воды которых гидравлически связаны с горизонтом эолово-делювиальных суглинков. Грунтовые воды подов имеют невысокую минерализацию (0,3—1,6 г/л) и гидрокарбонатный магниево-кальциевый и натриево-кальциевый состав.

В заключение отметим, что проблема зонального распределения гидрохимических типов грунтовых вод еще не может считаться окончательно выясненной. Если связь гидрохимической зональности и современной физико-географической обстановки можно считать достаточно обоснованной, то выявлению связи с недрами источниками солей и с геологической историей изучаемой территории еще не уделено достаточного внимания.

1. Коноплянцев А. А. Зональность и аazonальность грунтовых вод.— Сов. геология, 1960, № 12, с. 86—97. 2. Комарова В. М., Сурдутович О. И. Некоторые вопросы формирования химического состава грунтовых вод Украины.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Украины. М.: Колос, 1969, вып. 2, с. 87—92. 3. Солдак А. Г. Гидрогеолого-мелиоративные условия степной зоны УССР. Киев: Вища шк., 1979. 193 с.

Поступила в редколлегию 20.12.83

УДК 624.131

Г. В. ЖОРНИК, канд. техн. наук, Е. П. СИДОРЕНКОВ, мл. науч. сотр.,
Р. Н. ОСАДЧИЙ, гл. геолог, А. В. ШОСТАК, ассист.

ОПЫТ ОЦЕНКИ УПЛОТНЯЕМОСТИ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ СТЕПНОГО КРЫМА

Крупнообломочные грунты пролювиально-алювиального генезиса занимают значительные площади западной части Степного Крыма, на которых возводятся объекты второй и третьей очереди строительства системы Северо-Крымского канала. На трассе только одного из сооружений — Сакского канала — эти грунты состав-

ляют около 6 % объема грунтов, подлежащих выемке при строительстве. Данное обстоятельство обуславливает целесообразность использования крупнообломочных грунтов не только как оснований сооружений, но также в качестве строительного материала — при возведении плотин, дамб, каналов, земляного полотна приканальных дорог.

Крупнообломочные грунты, используемые в гидротехническом строительстве, обычно представляют собой либо смесь обломков пород, разрушенных для строительных целей, либо природные грунты. Как искусственные, так и природные грунты часто содержат наполнитель (частицы мельче 2 мм) в незначительных количествах, не представляющих практического интереса. В отличие от них, грунты, изучаемые нами, могут состоять только на 50—70 % из частиц крупнозема и содержат наполнитель различного состава и пластичности.

Одно из свойств, подлежащих детальному изучению при использовании грунтов как материала сооружений — их уплотняемость. Задача оценки уплотняемости крупнообломочных грунтов (в соответствии с рекомендациями СНИП II-53-73) решается в основном путем опытно-производственного уплотнения непосредственно на строящихся объектах. В несколько меньших масштабах этот же метод может быть использован в лабораторных условиях, о чем свидетельствует интересный опыт использования во ВНИИ-ВОДГЕО крупногабаритной установки для уплотнения грунтов укаткой. Несмотря на некоторые несомненные достоинства, метод опытных укаток является дорогостоящим, трудоемким и требует значительных затрат времени. К тому же проведение укаток в период строительства исключает возможность прогноза для целей проектирования и предварительных расчетов. Для оценки и прогноза уплотняемости песчано-глинистых грунтов используется известный метод (ГОСТ 22733-77). Методика уплотнения в лабораторных условиях для крупнообломочных грунтов не может считаться в достаточной мере разработанной. Необходима и возможна разработка методики, основанной на использовании опыта уплотнения различных видов грунтов и установленных для них зависимостей результатов уплотнения от основных параметров методики (с использованием приборов, конструкция которых отвечает стандартным). Об этом свидетельствует опыт некоторых исследователей [4]. Кроме того очевидно, что необходимо также рекомендовать параметры укатки по данным лабораторного уплотнения.

В лаборатории инженерной геологии Киевского университета мы провели исследования, результаты которых описаны ниже.

В настоящее время считается установленным, что одинаковая плотность образцов грунта достигается при равных удельных работах уплотнения A_y . Поэтому для сопоставления результатов уплотнения различных грунтов необходимо при уплотнении всех сравниваемых образцов выбирать параметры методики, обеспечивающие равенство A_y . По нашему мнению, за исходную можно

принять величину удельной работы при уплотнении по стандартной методике (ГОСТ 22733-77) — A_{yc} . Тогда указанное требование можно записать в виде равенства

$$A_y = A_{yc}. \quad (1)$$

Исходя из этого равенства и учитывая гранулометрический состав конкретных видов крупнообломочных грунтов, можно определить все основные параметры методики уплотнения: количество ударов уплотняющегося груза N , его массу M и высоту падения H , диаметр образца D и мощность уплотняемого слоя h .

Результаты экспериментов по оценке зависимости плотности образца (плотности сухого грунта — ρ_a) от количества ударов N , проведенных нами для крупнообломочных грунтов различных видов, показывают, что для них N можно принимать равным стандартному. Высоту падения груза H [4] можно увеличивать против стандартной до 40—60 см. Это позволяет соответственно уменьшить его массу. Размеры образца (площадь сечения F , D , h) выбирают с учетом известного соотношения $D/d_{max} > 5$ в зависимости от размера частиц наиболее крупной фракции d_{max} . Результаты опытов по уплотнению в лабораторных условиях необходимы для прогнозирования плотности грунта в теле сооружения после опытной укатки. Такой прогноз можно осуществить при использовании выводов работ [1, 2]. Например, используя равенство (1) и формулы, приведенные в работе [1], можно предложить следующее соотношение между параметрами уплотнения лабораторным методом, а также катками в производственных условиях:

$$\frac{MHN}{Fh} = \frac{M_k N_k f}{B h_k}, \quad (2)$$

где f — средний коэффициент сопротивления перекатыванию катка; h_k — толщина слоя, уплотняемого при укатке; M_k , B , N_k — соответственно масса катка, его ширина и количество проходов по одному следу.

Из этого соотношения можно получить зависимость, позволяющую при известных результатах уплотнения в лабораторном приборе определить параметры укатки, которые должны привести к тем же результатам

$$N_k = \frac{MHN}{Fh} \frac{B h_k}{f M_k}. \quad (3)$$

Крупнообломочные грунты изучаемого района характеризуются наличием большого количества разновидностей с неодинаковой крупностью и содержанием частиц крупнозема, а также разным гранулометрическим составом и пластичностью мелкозема. Вследствие этого нецелесообразно опытное определение значений максимальной плотности сухого грунта для всех возможных сочетаний состава и структуры. В таких условиях наиболее приемлемый вариант решения задачи оценки уплотняемости — построение ма-

тематической модели, т. е. зависимости, связывающей плотность грунта с показателями его состава, структуры и удельной работы уплотнения. Задача поиска оптимальных характеристик уплотняемости (максимальной плотности и оптимальной влажности) является экстремальной и может быть решена с использованием теории планирования эксперимента. Такое решение позволяет получить математическую модель-зависимость плотности сухого грунта ρ_α от факторов, определяющих ее. Построенную модель можно использовать для прогноза уплотняемости в диапазонах, вероятных для данного региона, величин параметров состояния и структуры грунтов.

При построении модели в качестве факторов, определяющих величину плотности сухого грунта мы рассматривали:

1. *Влажность*. Поскольку влажность учитывает и влагу, удерживаемую внутри частиц крупнозема и не влияющую на уплотняемость, то определяли и учитывали влажность мелкозема — W_m .

2. *Число пластичности мелкозема $I_{п}$* , характеризующее его гранулометрический и минеральный состав.

3. *Характеристики гранулометрического состава*: содержание крупнозема P_k , %; средневзвешенный диаметр крупнозема $d_{св}$, в определенной степени учитывающий крупность частиц фракций, присутствующих в грунте в существенном количестве.

4. *Параметры методики уплотнения, определяющие удельную работу A_y* : масса уплотняющего груза M ; мощность уплотняемого слоя h .

Поскольку известно, что зависимость ρ_α от W_m нелинейна, и влажность существенно влияет на величину ρ_α , количество уровней этого фактора было принято равным 4. Нелинейными ожидалось также зависимости плотности сухого грунта от $I_{п}$ и $d_{св}$. Поэтому число уровней этих факторов было равно 3. Факторы P_k , M и h взяты на двух уровнях каждый. Полный факторный эксперимент для этих условий должен включать $4 \times 3^2 \times 2^3 = 288$ опытов. В результате изучения уплотняемости можно сделать вывод, что взаимодействиями между рассматриваемыми факторами можно пренебречь. Поэтому мы приняли решение строить модель только главных эффектов, что существенно сокращает количество опытов.

С учетом числа уровней варьирования факторов использованная модель имеет вид

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^6 b_i x_i + \sum_{i=1}^3 b_{ii} x_i^2 + b_{111} x_1^3.$$

Для определения 11 коэффициентов модели b_i необходимо провести не менее 11 опытов. Требуются также степени свободы для проверки адекватности модели. Поэтому мы выбрали план эксперимента $4 \times 3^2 \times 2^3 / 16$, включающий 16 опытов и составленный с использованием каталога факторных планов [3] (табл. 1).

Эксперименты производили на образцах,готавливаемых следующим образом. Валовую пробу крупнообломочного грунта раз-

Таблица 1. Матрица плана эксперимента в кодовом масштабе

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	z_1	z_2	z_3	q_1	ρ_α
	W_M	I_P	d_{cb}	P_K	M	r					
+1	-2,01	-2,3	-0,71	-1	+1	+1	+1,45	+0,2	+1,76	-0,33	1,815
+1	+0,67	-2,3	+0,21	+1	-1	+1	-1,26	+0,2	-6,74	-1,67	1,949
+1	+1,75	-2,3	+1,21	-1	-1	-1	+1,71	+0,2	+3,23	+0,59	2,111
+1	-0,41	-2,3	-0,71	+1	+1	-1	-1,40	+0,2	+1,76	+1,41	1,906
+1	+2,01	+2,7	+0,21	-1	-1	-1	+1,45	+2,1	-6,74	-0,33	1,954
+1	+0,67	+2,7	-0,71	+1	+1	-1	-1,26	+2,1	+1,76	-1,67	2,021
+1	+1,75	+2,7	-0,71	-1	+1	+1	+1,71	+2,1	+1,76	+0,59	1,868
+1	-0,41	+2,7	+1,21	+1	-1	+1	-1,90	+2,1	+3,23	+1,41	2,189
+1	-2,01	+1,9	+1,21	+1	+1	-1	+1,45	-2,5	+3,23	-0,33	1,995
+1	+0,67	+1,9	-0,71	-1	-1	-1	-1,26	-2,5	+1,76	-1,67	1,760
+1	+1,75	+1,9	-0,71	+1	-1	+1	+1,71	-2,5	+1,76	+0,59	1,717
+1	-0,41	+1,9	+0,21	-1	+1	+1	-1,90	-2,5	-6,74	+1,41	1,797
+1	-2,01	-2,3	-0,71	+1	-1	+1	+1,45	+0,2	+1,76	-0,33	2,036
+1	+0,67	-2,3	+1,21	-1	+1	+1	-1,26	+0,2	+3,23	-1,67	2,083
+1	+1,75	-2,3	+0,21	+1	+1	-1	+1,71	+0,2	-6,74	+0,59	2,061
+1	-0,41	-2,3	-0,71	-1	-1	-1	-1,90	+0,2	+1,76	+1,41	1,923

Таблица 2. Сравнение результатов уплотнения с расчетными данными

Факторы и их уровни				Значения ρ_α , г/см ³ , определенные		
W_M	I_P	d_{cb} , мм	P_K %	в приборе, $D=254$ мм	опытной укаткой	расчетом по модели
0,140	0,15	12,0	64	—	1,92—2,04	1,95
0,500	0,18	13,6	75	1,957	—	1,927
0,163	0,00	10,3	65	1,982	—	2,042

деляли на фракции и из этих фракций составляли смесь с определенными соотношениями между ними, что обеспечивало необходимые уровни факторов P_K и d_{cb} . Различные значения числа пластичности обуславливались использованием мелкозема трех разновидностей. Модельные смеси увлажняли количеством воды, необходимым для доведения влажности мелкозема до нужного значения, и выдерживали в эксикаторе до завершения перераспределения влаги. После этого производили эксперименты и определяли значения ρ_α , по которым рассчитаны коэффициенты модели,

$$Y = 1,9491 - 0,0024x_1 - 0,0120x_2 + 0,1078x_3 + 0,0352x_4 - 0,0058x_5 - 0,0173x_6 - 0,0029z_1 + 0,0436z_2 + 0,0050z_3 - 0,0012q_1.$$

Сопоставление величин ρ_α , рассчитанных по модели и полученных экспериментально на приборе с иными параметрами при различных гранулометрических составах грунтов, свидетельствует об адекватности модели (табл. 2). При проверке гипотезы об адекватности модели по критерию Фишера F его расчетное значение

не превышает табличного

$$F_{5;3}^{\text{расч}} = \frac{0,00541}{0,0023} = 2,35; \quad F_{5;3}^{\text{табл}} = 9,01.$$

Построенная таким образом математическая модель для уплотняемости крупнообломочных грунтов позволяет прогнозировать величину плотности грунта в изученных диапазонах изменения факторов. При одновременном использовании соотношения (3) можно предвидеть результаты уплотнения в производственных условиях. Сравнение результатов, полученных при использовании изложенного подхода, с данными опытных укаток (табл. 2) показывает приемлемую сходимость и подтверждает эффективность принятой методики.

1. *Воцнин Н. П.* Теоретические основы процесса уплотнения грунтов и дожно-строительных материалов с энергетической точки зрения.—Тр. Всесоюз. н.-и. дор. ин-та, 1975, вып. 84, с. 35—54. 2. *Коваленко В. И.* Исследование характеристик уплотнения связных грунтов в дорожном строительстве: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев: Б. и., 1979. 24 с. 3. *Новик Ф. С., Арсов Я. Б.* Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с. 4. *Мигин С. И., Федорова И. Г.* Влияние крупнозернистых включений на уплотнение грунта.—Тр. ВНИИВОДГЕО, 1978, вып. 72, с. 32—34.

Поступила в редколлегия 20.12.83

УДК 624.131

Е. П. СИДОРЕНКОВ, *мл. науч. сотр.*

О МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЯ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ НА СДВИГ

В лаборатории инженерной геологии геологического факультета изучаются крупнообломочные грунты различного генезиса: пролювиально-аллювиальные, элювиальные, искусственные. Выполненный нами анализ методик оценки свойств указанных грунтов показал, что отдельные их (методик) положения недостаточно обоснованы. Это обуславливает различия в рекомендациях исследователей и сомнения в достоверности получаемых результатов. В частности, остается нерешенным вопрос о минимально допустимом размере образца при определении сопротивления сдвигу [5]. В результате немногочисленных опытов, проведенных вне связи с размерами образца, даны различные рекомендации по выбору расстояния между обоймами прибора [1, 2, 4]. Выявлена существенная роль дилатансии в сопротивлении грунтов сдвигу, однако влияние ее учитывается только при оценке прочности скальных грунтов. Мы предприняли попытку учета дилатансии при интерпретации результатов испытаний крупнообломочных грунтов [3].

В данной работе приведены результаты исследований, выполненных для определения допустимых величин соотношений между размером образца D , расстоянием между обоймами прибора h_3 и размером частиц наиболее крупной фракции d_{max} .

11-1657

ВЕСТНИК
Киевского университета

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО
И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
УССР

ГЕОЛОГИЯ

ОСНОВАН В 1958 г.

4

КИЕВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ КИЕВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1985