

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УПЛОТНЕННОГО СКЕЛЕТНО-ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ЯДЕР ВЫСОКОНАПОРНЫХ ПЛОТИН *

(на примере возведения ядра Нурекской плотины)

Сафедобский грунт ядра Нурекской плотины — типичный скелетно-глинистый грунт, состоящий из мелкозема (диаметр фракций меньше 2—5 мм) и крупнозернистой составляющей (диаметр больше 2—5 мм). Для подобных грунтов состав и свойства необходимо проектировать таким образом, чтобы полученная структура уплотненного грунта обеспечивала невозможность процессов суффозии. Согласно принятой технологии уплотнения, следует соблюдать такие пропорции между мелкоземом и крупнозернистой составляющей, которые исключают образование жесткого скелета. В этом случае крупнозернистые фракции грунта разобщены мелкоземом. При соблюдении указанных требований механические и фильтрационные свойства уплотненного грунта, определяющие прочность сооружения, зависят главным образом от мелкозема, представленного глинистым грунтом [1].

Мелкозема в сафедобском грунте содержится 50—80%. По физическим свойствам и зерновому составу он относится к супеси, близкой к нижней границе зернового состава, допускаемого к укладке в ядро Нурекской плотины. Пылевато-глинистых частиц (меньше 0,05 мм) в нем 40,6%, коэффициент неоднородности (U) равен 80 (табл. 1, 2).

Экспериментально обследованы три начальных состояния мелкозема, определяемые плотностью, влажностью и удельной работой, затрачиваемой на уплотнение [2]. Первое начальное состояние грунта (I) является проектным состоянием для ядра Нурекской плотины. Оно отвечает начальной консистенции при влажности $W=0,095$ и оптимальном уплотнении по модернизированному методу *AASHO*, что эквивалентно уплотнению грунта в полевых условиях тяжелыми механизмами [3]. Второе начальное состояние грунта (II) принято при влажности $W=0,12$ и уплотнении удельной работой, аналогичной первому рассматриваемому состоянию (I). Такое начальное состояние было принято на первом этапе строи-

* Данная статья — результат исследований, выполненных автором в лаборатории строительных свойств грунтов кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов МИСИ имени В. В. Куйбышева.

Таблица 1

Физико-механические свойства мелкоземов*

Начальное состояние грунта	Плотность, г/см ³	Естественная влажность	Коэффициент пористости	Предел текучести мелкозема	Предел раскатывания мелкозема	Число пластичности	Степень влажности	Показатель консистенции	Удельная работа уплотнения, г·см/см ³
I	2,14	0,095	0,280				0,93	-0,5000	28000
II	2,04	0,120	0,343	0,155	0,115	0,040	0,96	0,125	28000
III	2,04	0,095	0,343				0,76	-0,5000	10000

* Объемная масса грунта — 2,74 г/см³.

Таблица 2

Гранулометрический состав (%) фракции, мм

5,0—3,0	3,0—1,0	1,0—0,5	0,50—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	<0,005
4,9	16,1	4,0	6,75	10,5	17,5	10,4	9,8	20,4

тельства. Третье обследованное состояние (III) повторяет консистенцию первого, но при плотности $\gamma_{ск}=2,04$ г/см³, т. е. грунт оказывается недоуплотненным в сравнении с первым состоянием. Недоуплотнение отвечает коэффициенту относительного уплотнения по формуле

$$D = \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{ск}^{max}} = 0,95, \quad (1)$$

где $\gamma_{ск}$ — плотность при допущенном недоуплотнении; $\gamma_{ск}^{max}$ — плотность, отвечающая оптимальному уплотнению при заданной влажности $W = 0,095$.

Опыты по изучению закономерностей развития напряженно-деформированного состояния в допредельной области, предельном состоянии равновесия и последующем течении выполнены в стабилометре (цилиндрический образец $d=60$ мм и $h=127$ мм), когда $\sigma_1 \leq \sigma_2 = \sigma_3$ при значении параметра Лоде $\mu_\sigma = -1$, и на стенде I (полый цилиндрический образец $d_n=60$ мм, $d_b=35$ мм и $h=80$ мм) [4]. Обследовано пространственное напряженное состояние при различных значениях μ_σ . Эксперименты выполнены в режиме, задаваемом напряжениями. На первом этапе всех обследованных

траекторий развития напряженного состояния образец подвергался изотропному обжатию до заданного значения $\sigma_{нд}$. Девиаторный этап нагружения осуществлялся при постоянном значении в каждом опыте параметров траекторий $K_{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sigma_i}$ и μ_{σ} . Таким образом,

траектория определялась тремя параметрами ($\sigma_{нд}$, K_{σ} и μ_{σ}), постоянными в каждом опыте [2].

Исследованию дилатансии уделялось особое внимание как основному фактору, определяющему совместное влияние инвариантов σ и σ_i на формоизменение и объемную деформацию. Для этого дилатантная составляющая объемной деформации выделялась из общей объемной деформации [5, 6].

Результаты выполненного экспериментального исследования показали, что изотропное обжатие мелкозема сафе-

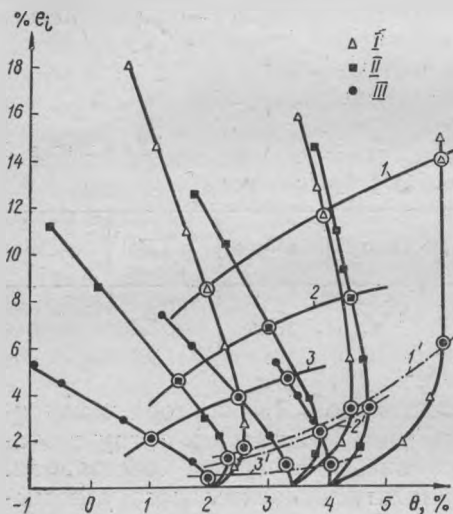


Рис. 1. Зависимости $e_i = e_i(\theta)$ формоизменения от общей объемной деформации в различных траекториях нагружения при $\sigma_{нд} = 5,15$ и 25 кгс/см² ($\mu_{\sigma} = -1$, стабилометр): I — $K_{\sigma} = 0,33$; II — $K_{\sigma} = 0$; III — $K_{\sigma} = -0,7$

добского грунта уменьшается до 2—2,5 раза при увеличении плотности от $2,04$ г/см³ (второе и третье исследованные начальные состояния) до $2,14$ г/см³ (первоначальное состояние). Существенно также влияние начального уплотнения на деформируемость в процессе девиаторного этапа развития траектории. Для тех же плотностей $2,04$ и $2,14$ г/см³, отвечающих соответственно коэффициентам пористости $0,343$ и $0,280$, величина формоизменения e_i на различных этапах допредельного нагружения отличается до 3 раз, а $e_i^{пр}$ — до 1,6 раза.

При этом вызванная сдвигом дилатансия несколько увеличивает объемные деформации. Указанное влияние можно проследить по графику (рис. 1), на котором для различных уровней изотропного обжатия $\sigma_{нд}$ показаны семейства кривых зависимостей $e_i(\theta)$. Так, дилатансия уплотнения с изменением K_{σ} от $0,7$ до $0,33$ при $\sigma_{нд} = 25$ кгс/см² увеличивается на $1,2\%$, а дилатансия разрыхления,

являющаяся следствием начального уплотнения, меняется в зависимости от параметра траектории K_σ до 1%. Указанные величины меньше значений объемной деформации от изотропного обжатия, но они приводят к качественному изменению работы грунта во всей зоне возникающего разрыхления. Вследствие этого существенно увеличивается сопротивляемость грунта действующей нагрузке.

Из анализа экспериментального материала для I и III изученных начальных состояний следует, что значение коэффициента относительного уплотнения D должно приближаться к 0,98. Эта величина рассматриваемого критерия соответствует требованию, согласно которому грунт в процессе полного водонасыщения при эксплуатации плотины сохраняет принятую начальную консистенцию. Данный вывод относится не только к строительству Нурекской плотины. Он должен получить более широкое обобщение.

Для правильного выбора начального состояния при прогнозе работы высоконапорных грунтовых плотин также особенно важно оценить влияние уровня напряженного состояния, т. е. изменения деформаций и прочности в зависимости от величины основных инвариантов, определяющих напряженное состояние сооружения. Для учета этого фактора использовались найденные при широком диапазоне изменения уровня изотропного обжатия $\sigma_{нд}$ выражения для предельного состояния равновесия (кривые 1, 2 и 3) и границы перехода от уплотнения к разрыхлению (кривые 1', 2' и 3') [2]:

$$e_i^{np} = (b_1 + b_2 \sigma_{нд}) \left(\frac{\Theta^{np}}{c_1 c_2} \right)^{\frac{b_3}{c_3}}; \quad (2)$$

$$e_i^0 = (a_1 + a_2 K_\sigma)(\sigma_{нд} + K_\sigma \sigma_i^0) + m \left(\frac{\sigma_i^0}{l} \right)^r, \quad (3)$$

где a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , b_3 , c_1 , c_2 , c_3 , l , m и r — экспериментальные коэффициенты.

Анализ полученных зависимостей показал, что скелетно-глинистый грунт следует укладывать в ядра высоконапорных плотин при влажности, обеспечивающей твердую консистенцию его мелкозема. Так как диапазон изменения предела раскатывания может быть близок к числу пластичности, особое внимание следует уделять устранению возможности перехода мелкозема при строительстве и эксплуатации плотины в текуче-пластичное состояние. Это способствует недоуплотнению грунта, возникновению порового давления, задержке консолидации ядра и проявлению длительных деформаций.

Аналогичный эффект влияния степени уплотнения на деформируемость и прочность установлен также и для чарвакского суглин-

ка [2]. Поэтому опыт применения найденных новых зависимостей для сафедобской супеси, рассмотренных с целью решения некоторых задач выбора параметров начального состояния, можно распространить и на другие глинистые грунты (суглинки и супеси), используемые при возведении ядер высоконапорных грунтовых плотин.

Литература

1. Хоу Б. К. Основы инженерного грунтоведения.— М., 1966.
2. Ломизе Г. М., Федоров В. Г. Влияние начального состояния скелетно-глинистого грунта на его деформируемость и прочность.— Гидротехническое строительство, 1975, № 12.
3. Борткевич С. В. Основные требования к качеству скелетно-глинистых ядер каменно-земляных плотин.— Гидротехническое строительство, 1973, № 8.
4. Ломизе Г. М., Иващенко И. Н., Захаров М. Н., Исаханов А. А. О деформируемости, прочности, ползучести глинистых грунтов ядер высоконапорных плотин.— Гидротехническое строительство, 1970, № 11.
5. Ломизе Г. М. Вопросы деформируемости и прочности грунтовой среды.— В кн.: Вопросы прочности и деформируемости грунтов. Баку, 1966.
6. Ломизе Г. М. Прочность и деформируемость грунтов ядер высоконапорных плотин и оснований гидротехнических сооружений.— Гидротехническое строительство, 1973, № 8.

А. В. КЛОПОЦКИЙ, В. П. БУДЯНОВ

НОВЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

При автоматизации производственных процессов могут быть широко использованы некоторые устройства контроля и управления на основе герконов.

Рассмотрим возможности применения этих устройств для контроля и измерения влажности почвы.

При построении автоматизированных систем полива геркон может быть использован для индикации уровня влажности почвы и включения управляющего агрегата на полив. При этом в качестве первичного измерительного преобразователя влажности используется тензиометр, основной частью которого является длинный фарфоровый полый стержень, заполненный жидкостью [1]. В верхней части стержня имеется механическая мембрана, которая деформируется при изменении внешнего или внутреннего давления. При снижении уровня влажности в почве жидкость через стенки сосуда просачивается в почву, что снижает уровень давления внутри стержня и приводит к деформации мембраны.