

УДК 624.131

ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ НАБУХАНИИ ГРУНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

С. Г. АЙРОЯН*

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии ЕГУ, Армения

Работа посвящена проблемам применения противодеформационных мероприятий на плотинах, построенных из набухающих грунтов. Полевыми и лабораторными исследованиями установлено, что зависимость деформации набухания от уплотняющих напряжений имеет нелинейный характер. Предлагается для расчета стабилизирующей нагрузки использовать следующую формулу: $h = 0,3\sigma_{sw}/\rho$, где ρ – плотность грунта, σ_{sw} – давление набухания.

Keywords: swelling soils, swelling pressure-compaction tension, density, dams, load.

Введение. Большие потери воды при ее аккумуляции и транспортировке по различным каналам связаны с фильтрацией через основания и тела плотин из грунтовых материалов, через дно и борта водохранилищ. В отличие от промышленного и гражданского строительства, где влияние климатических факторов и замачивание грунта сводятся к минимуму благодаря заглублению фундаментов при гидротехническом строительстве, грунты водохранилищ находятся под непосредственным воздействием этих факторов.

Совершенно очевидно, что проблема борьбы с потерями воды из водохранилищ приобретает особо важное значение. В мировой практике гидротехнического строительства и эксплуатации земляных сооружений известны многие случаи использования набухающих глин для снижения фильтрационных свойств различных грунтов в качестве материалов для водоупорных элементов: противофильтрационных экранов, облицовок каналов, тела плотины и т.д. Благодаря высокой дисперсности и микропористости набухающие глинистые грунты имеют низкий коэффициент фильтрации, однако склонность к набуханию не позволяет применять их в качестве стройматериалов при возведении сооружений.

Действующими нормами на проектирование земляных плотин устанавливается, что применение глинистых грунтов в качестве стройматериалов должно быть ограничено вследствие того, что состояние и свойства этих грунтов могут существенно изменяться под воздействием замачивания. Однако, детальные указания касаются лишь жирных глин, использование которых в качестве стройматериала недопустимо. Очевидно, что эти указания не могут в

* E-mail: hairoyan@ysu.am

достаточной степени ограничить применение для строительства земляных плотин грунтов неудовлетворительного качества.

Деформационные свойства набухающих глинистых грунтов определяются характером и прочностью их структурных связей, которые обуславливают прочность грунтов в целом [1–4]. Известны многочисленные случаи, когда увлажнение набухающих глинистых грунтов являлось причиной возникновения аварийных ситуаций на сооружениях. На основе обобщения данных по большому количеству деформирующихся участков земляных плотин на территории Сирийской Арабской Республики установлено, что подавляющее большинство деформаций относится к участкам, где грунт представлен набухающими глинами. В качестве примера можно привести плотины Баб-Аль-Хадида (САР).

Для устранения процесса набухания в гидротехнических сооружениях применяются различные противодеформационные мероприятия, которые подразделены на два типа: активные (конструктивные) и пассивные (искусственные) стабилизации грунтов. В данной работе рассмотрены активные противодеформационные мероприятия, которые направлены на прекращение или ослабление деформации набухания путем подавления грунтов балластом.

Особенности изменения плотности-влажности глинистых грунтов в теле плотины водохранилища Баб-Аль-Хадида. Особенностью рассматриваемого материала тела плотины является наличие процессов набухания-усадки грунтов. Главным и наиболее существенным результатом такого воздействия на грунт является изменение режима влажности тела плотины. Условия работы глинистого грунта в верховых откосах плотины особые, здесь присутствуют значительные колебания влажности. Как показали полевые наблюдения, в период высыхания влажность снижается почти до предела усадки, а в период увлажнения она может стать близкой к пределу текучести, увлажнение грунтов происходит без пригрузки, т.е. в условиях свободного набухания в постоянном режиме влажности. В верхних частях верховых откосов плотины увлажнение грунтов происходит при низкой пригрузке, т.е. в условиях почти свободного набухания. Процесс набухания приводит к увеличению влажности и уменьшению плотности скелета грунта, что в свою очередь приводит к уменьшению сопротивления сдвигу.

Экспериментальная часть. Для исследования закономерности изменения влажности и плотности грунтов в теле плотины с глубиной вследствие набухания объектом исследования была выбрана плотина Баб-Аль-Хадида. Для исследования изменения режима влажности-плотности грунтов на верховых откосах тела плотины с различных глубин стенок шурфов и скважин были отобраны образцы. Результаты лабораторных определений влажности-плотности скелета, консистенции образцов приведены в табл. 1 и 2, а на рис. 1 (а, б) показаны диаграммы изменения влажности и плотности скелета грунта с глубиной.

Чтобы оценить степень уплотненности глинистых грунтов в верховых откосах тела плотины, методом стандартного уплотнения были определены оптимальная влажность и максимальная плотность скелета грунтов. Расчетным путем определена также максимальная плотность скелета грунта при оптимальной влажности и полном водонасыщении при $S_r = 1$, где S_r – коэффициент водонасыщения: $\rho_d^{\max} S_r / \rho_w = \rho_s / (\rho_w + W_{opt} \rho_s)$.

Результаты определения оптимальной влажности и максимальной плотности скелета грунта приведены в табл. 1. В табл. 2 приведены отношения плотности скелета грунта в теле плотины к максимальной плотности скелета грунта при оптимальной влажности и полном водонасыщении.

Таблица 1

Результаты определения влажности-плотности, плотности скелета и консистенции грунтов, отобранных из тела платины с различных глубин шурфов (Ш) и скважин (С)

| № | Интер. отбора образцов, м | Влажность, W_0 | Пределы пластичности | | | | Плотность, ρ , г/см ³ | Плотность скелета грунта, ρ_d , г/см ³ | | | |
|-------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------------------|--|-------|------|------|
| | | | верхн., W_L | нижн., W_P | число, I_P | показ., I_L | | | | | |
| Глубина до 2,5 м | | | | | | | | | | | |
| Ш-1 | 0,7 | 0,279 | 0,413 | 0,207 | 0,206 | 0,349 | 1,86 | 1,45 | | | |
| Ш-1 | 1,0 | 0,258 | | | | 0,248 | 1,89 | 1,50 | | | |
| Ш-1 | 1,3 | 0,242 | | | | 0,170 | 1,93 | 1,55 | | | |
| Ш-1 | 1,7 | 0,222 | | | | 0,0728 | 2,06 | 1,69 | | | |
| Ш-2 | 0,7 | 0,328 | | | | 0,587 | 1,85 | 1,39 | | | |
| Ш-2 | 1,0 | 0,308 | | | | 0,490 | 1,85 | 1,41 | | | |
| Ш-2 | 1,3 | 0,277 | | | | 0,340 | 1,93 | 1,51 | | | |
| Ш-3 | 0,75 | 0,298 | | | | 0,442 | 1,82 | 1,40 | | | |
| Ш-3 | 1,1 | 0,274 | | | | 0,325 | 1,86 | 1,46 | | | |
| Ш-3 | 1,4 | 0,255 | | | | 0,233 | 1,89 | 1,51 | | | |
| Ш-3 | 1,75 | 0,218 | | | | 0,053 | 1,98 | 1,63 | | | |
| Ш-4 | 0,75 | 0,295 | | | | 0,427 | 1,88 | 1,45 | | | |
| Ш-4 | 1,05 | 0,271 | | | | 0,311 | 1,895 | 1,49 | | | |
| Ш-4 | 1,4 | 0,247 | | | | 0,194 | 1,98 | 1,59 | | | |
| Ш-4 | 1,75 | 0,214 | | | | 0,034 | 2,00 | 1,65 | | | |
| Ш-5 | 0,8 | 0,277 | | | | 0,340 | 1,89 | 1,48 | | | |
| Ш-5 | 1,1 | 0,256 | | | | 0,238 | 1,92 | 1,53 | | | |
| Ш-5 | 1,4 | 0,230 | | | | 0,112 | 1,93 | 1,57 | | | |
| Ш-5 | 1,75 | 0,210 | | | | 0,014 | 1,99 | 1,64 | | | |
| Глубина более 2,5–3,0 м | | | | | | | | | | | |
| С-22 | 5,2–5,7 | 0,222 | | | | 0,413 | 0,207 | 0,206 | 0,073 | 1,99 | 1,63 |
| С-22 | 7,0–7,3 | 0,223 | | | | | | | 0,081 | 1,97 | 1,61 |
| С-23 | 4,7–5,0 | 0,209 | | | | | | | 0,078 | 1,99 | 1,65 |
| С-23 | 7,0–7,2 | 0,201 | | | | | | | <0 | 1,97 | 1,64 |
| С-23 | 11,2–11,5 | 0,216 | | | | | | | 0,044 | 2,05 | 1,69 |
| С-24 | 5,4–5,8 | 0,201 | <0 | | | | | | | | |
| С-24 | 7,9–8,3 | 0,228 | 0,102 | 1,99 | 1,62 | | | | | | |
| С-25 | 5,2–5,6 | 0,221 | 0,068 | | | | | | | | |
| С-25 | 8,0–8,5 | 0,232 | 0,121 | 2,05 | 1,66 | | | | | | |

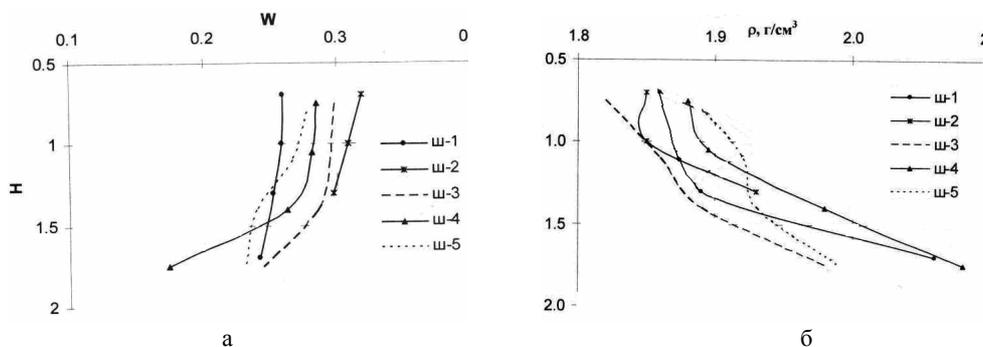


Рис. 1. Изменение влажности (а) и плотности (б) скелета грунта с глубиной.

Таблица 2

Результаты отношения плотности скелета грунта в теле плотины к максимальной плотности скелета грунта при оптимальной влажности и полном водонасыщении

| Место отбора | Глубина отбора, м | ρ_d / ρ_d^{\max} | $\rho_d / \rho_d^{\max}, S_r = 1$ |
|---------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Глубина до 3,0 м | | | |
| С-23 | 0,9–1,2 | 0,888 | 0,852 |
| С-24 | 0,5–1,0 | 0,899 | 0,864 |
| С-25 | 0,9–1,3 | 0,888 | 0,852 |
| Ш-1 | 0,7 | 0,876 | 0,841 |
| Ш-1 | 1,0 | 0,905 | 0,869 |
| Ш-1 | 1,3 | 0,893 | 0,858 |
| Ш-1 | 1,7 | 0,982 | 0,943 |
| Ш-2 | 0,7 | 0,829 | 0,795 |
| Ш-2 | 1,0 | 0,834 | 0,801 |
| Ш-2 | 1,3 | 0,882 | 0,847 |
| Ш-3 | 0,75 | 0,882 | 0,847 |
| Ш-3 | 1,1 | 0,852 | 0,818 |
| Ш-3 | 1,4 | 0,870 | 0,835 |
| Ш-3 | 1,75 | 0,941 | 0,903 |
| Ш-4 | 0,75 | 0,864 | 0,829 |
| Ш-4 | 1,05 | 0,876 | 0,841 |
| Ш-4 | 1,4 | 0,929 | 0,892 |
| Ш-4 | 1,75 | 0,950 | 0,915 |
| Ш-5 | 0,8 | 0,876 | 0,841 |
| Ш-5 | 1,1 | 0,899 | 0,864 |
| Ш-5 | 1,4 | 0,923 | 0,886 |
| Ш-5 | 1,75 | 0,959 | 0,920 |
| Глубина более 3,0 м | | | |
| С-22 | 7,0–7,3 | 0,929 | 0,892 |
| С-23 | 4,7–5,0 | 0,988 | 0,938 |
| С-23 | 7,0–7,2 | 0,970 | 0,932 |
| С-23 | 11,2–11,5 | 0,900 | 0,864 |
| С-24 | 7,9–8,3 | 0,959 | 0,920 |
| С-25 | 5,2–5,6 | 0,994 | 0,954 |

Анализ приведенных на рис. 1 а, б диаграмм показывает, что существенное влияние на набухание оказывают плотностные характеристики глинистых грунтов в верхнем бьефе плотины (до глубины 3,5–4,0 м). Практически все образцы не удовлетворяют условию $\rho_d / \rho_d^{\max} > 0,95$ (табл. 2).

Так как на глубине больше 5–6 м в теле плотины процесс набухания существенно ослаблен, перед нами стояла задача исследовать влияние уплотняющего давления на деформацию набухания в лабораторных условиях. Для установления деформационных свойств набухающих грунтов опыты проводились на компрессионном приборе в водонасыщенном состоянии, после определения давления набухания методом компенсации деформации набухания [5, 6]. Деформации набухания определены при уплотняющих давлениях $\sigma = 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,20; 0,30$ МПа. На рис. 2 приведены кривые зависимости деформации набухания от внешнего давления.

Из рис. 2 видно, что зависимость деформации набухания от уплотняющих давлений носит нелинейный характер. Эти кривые можно аппроксимировать в

следующем виде: $\delta_{sw} = \delta_{sw}^0 (1 - \sigma / \sigma_{sw})^k$, где δ_{sw}^0 – деформация набухания при $\sigma = 0$, σ_{sw} – давление набухания; k – показатель, характеризующий нелинейную деформируемость грунта при набухании.

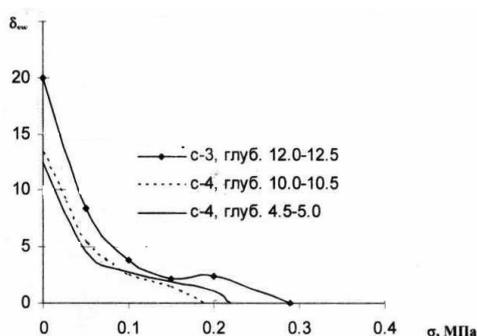


Рис. 2. Кривые зависимости деформации набухания от внешнего давления.

Из кривых рис. 2 видно, что наиболее резко набухание уменьшается при возрастании давления от 0,1 до 0,12 МПа. Если принять за 100% изменение набухания в диапазоне нагрузок от 0 до давления набухания, то увеличение давления от 0 до 0,1 МПа приводит к уменьшению набухания до 75–80%. Резкое снижение деформации набухания в интервале внешних нагрузок от 0 до 0,15 МПа обусловлено деформацией слабосвязанной воды, образующей периферийные слои гидратной оболочки вокруг глинистых частиц грунта. Так

как, по сравнению с давлением набухания, это существенно подавляется относительно небольшими нагрузками, давление от веса подушки необязательно должно быть равно полному давлению набухания, а может составлять лишь относительно небольшую его часть. Согласно этому положению, толщину пригрузочного слоя следует рассчитывать по зависимости

$$H_{Pr} > 0,3 \sigma_{sw} / \rho_{Pr},$$

где H_{Pr} – толщина пригрузочного слоя; ρ_{Pr} – плотность крупнообломочного грунта пригрузочного слоя. Например, для верхнего откоса тела плотины водохранилища Баб-Аль-Хаидид давление набухания грунтов составляет 0,3 МПа, для подавления набухания можно считать достаточной нагрузку, равную 0,1 МПа, тогда, на основании плотности дренирующего защитного слоя 2,0 г/см³, необходимая мощность накладной подушки составит до 4,5–5,0 м (рис. 3), что снизит величину деформации набухания в глине на 70–80%.

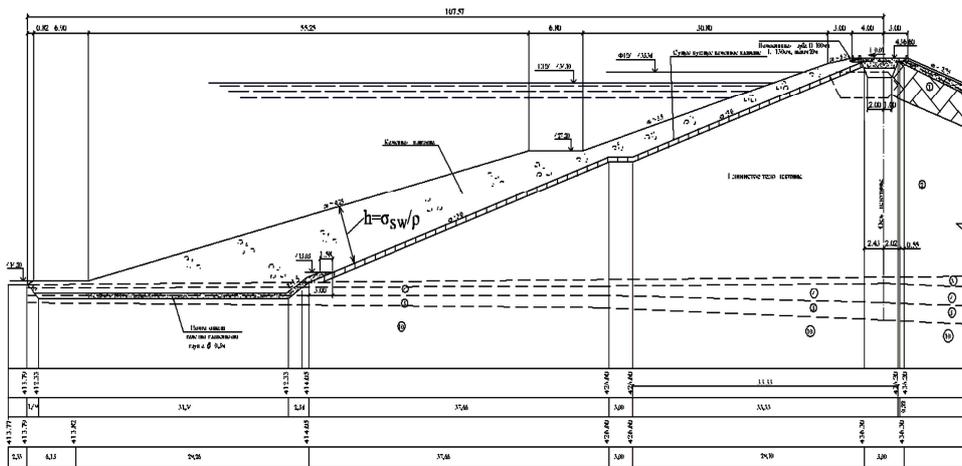


Рис. 3. Схема реконструкции плотины водохранилища Баб-Аль-Хаидид для предотвращения набухания грунтов.

Результаты исследования показывают, что для подавления деформации набухания глинистого грунта верхового откоса плотины водохранилища Баб-Аль-Хадид достаточны сдерживающие давления порядка 0,1 МПа.

Основные выводы.

• Существенные изменения режима влажности-плотности грунтов на верховом откосе тела плотины распространяются на глубину нескольких метров (до 5 м).

• Зависимости между деформацией набухания и уплотняющими давлениями имеют нелинейный характер.

• Для плотин, сложенных набухающими грунтами, для подавления набухания балластом необходимо внешнее уплотняющее давление, равное $P_z = 0,3\sigma_{sw}$, т.е. толщина балласта $h = 0,3\sigma_{sw} / \rho$.

Поступила 23.05.2014

ЛИТЕРАТУРА

1. Հայրապետյան Ս.Հ. Ուռչման ազդեցությունը կավային գետնահողերի սահմանի դիմադրության վրա Միջազգային գիտաժողովի նյութեր նվիրված ԱԲ ՊՀ Հիմնադրման 40-ամյակին: Պրակ II: Ստեփանակերտ, Դիզակ պլյուս, 2009, էջ. 8–10:
2. Հայրապետյան Ս.Հ. Ուռչման գործոնի ազդեցությունը կավային գետնահողերով լանջերի և կառույցների կայունության վրա: // ԵՊՀ Գիտական տեղեկագիր, 2006, № 3, էջ. 106–112.
3. Айроян С.Г. Упрощенный метод определения остаточного сопротивления сдвигу глинистых грунтов по обратной ветви компрессионной кривой. // Известия НАН РА. Науки о Земле, 2001, т. LIV, № 1, с. 50–52.
4. Айроян С.Г. Определение параметров сопротивления сдвигу набухающих глинистых грунтов методом одного образца. // Ученые записки ЕГУ. Геология и география, 2013, № 2, с. 9–12.
5. Месчян С.Р., Айроян С.Г. Сопротивление сдвигу набухающих грунтов, уплотненных при природной влажности и после водонасыщения под арретир. // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1987, № 4, с. 19–21.
6. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. М.: Стройиздат, 1989, 310 с.

Ս. Հ. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՀԻՂՐՈՏԵՆՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ՈՒՌՉՄԱՆ
ԴԵՄ ԿԻՐԱՌՎՈՂ ՀԱԿԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՄԻՋՈՑԱՌՈՒՄՆԵՐ

Ա մ փ ո փ ո մ

Աշխատանքը նվիրված է ուռչող գրունտներից կառուցված պատվարների համար ուռչման դեմ հակադեֆորմացիոն միջոցառումների կիրառման հիմնահարցին: Դաշտային և լաբորատոր ուսումնասիրություններով ցույց է տրված, որ ուռչման ճնշում-խտացնող լարում կախվածությունը կրում է կորագիծ բնույթ: Օգտվելով նշված կորագիծ կախվածությունից առաջարկվում է ուռչման ճնշման չեզոքացման համար որպես կայունացնող բեռի քաշը հաշվարկելիս օգտվել հետևյալ բանաձևից՝ $h = 0,3\sigma_{sw} / \rho$, որտեղ ρ գրունտի խտությունն է, σ_{sw} ուռչման ճնշումը):

S. H. HAIROYAN

APPLICATION OF DEFORMATION PREVENTING MEASURES IN
SWELLING SOILS FOR HYDROTECHNICAL CONSTRUCTIONS

Summary

The article is devoted to the application of deformation preventing measures for dams constructed out of swelling soils. Laboratory and fields tests have shown the relation between swelling pressure-compaction tension has a nonlinear character. On the basis of received dependence it is proposed to compensate the swelling pressure by the load calculated with the formula $h = 0,3\sigma_{sw} / \rho$, where ρ is a soil density, σ_{sw} is a swelling pressure.