

По полученным зависимостям составлены табл. 1 и 2 для различных соотношений коэффициентов бокового расширения и модулей деформаций. При их назначении исходили из условия положительности упругого потенциала для плоского деформированного состояния, т.е.

$$D = 1 - \nu_1 - 2n\nu_2^2 > 0, \quad (13)$$

где D – угловой минор системы уравнений (1), (2). Из таблиц видно, что конечные напряжения довольно чувствительны к отношению модулей и почти не чувствительны к коэффициентам бокового расширения.

Избыточное поровое давление, возникающее в основании при приложении нагрузки, принимает максимальное значение для коэффициентов бокового расширения, равных друг другу ($\nu_1 = \nu_2$). Таким образом, представляется возможным рекомендовать в расчетах принятие коэффициентов бокового расширения как для изотропного основания при соблюдении условия (13), что значительно упрощает вопросы прогнозирования поведения оснований.

Анализ таблиц позволил сделать вывод, что если искусственно создавать механическую анизотропию с преобладанием модуля общей деформации в вертикальном направлении, то можно до минимума свести влияние фактора порового давления на устойчивость основания и основную долю нагрузки передавать на скелет грунта. Это целесообразно делать при уплотнении слабых оснований (торфяных, илистых и т.д.). Например, при устройстве песчаных вертикальных дрен с последующим уплотнением трамбовками. Однако в этом случае возможна большая осадка по сравнению с изотропным основанием, так как вертикальные напряжения и активная зона сжатия значительно увеличиваются. И, наконец, если необходимо уменьшить активную зону сжатия, применяют горизонтальное армирование, т.е. устройство оснований с преобладающим модулем общей деформации в горизонтальном направлении. При этом избыточное поровое давление по сравнению с изотропным основанием возрастает, что важно учитывать при определении безопасной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л е х н и ц к и й С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М., 1977. – 415 с.
2. Ф л о р и н В.А. Основы механики грунтов. – М., 1961. – 543 с.
3. Б а н н и к о в Н.Д. Начальное поровое давление в трансверсально-изотропных основаниях // Прибалтийская геотехника VI. – Таллинн, 1986. – С. 145–148.

УДК 624.138

ГУЛЛА ЙОЗЕФ

ВОДОУТЛИВ В КОТЛОВАНАХ ВНУТРИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВАНН*

На реке Дунай у дер. Габчиково вблизи границы ЧССР и ВНР возводится гидроузел, в состав которого входят ГЭС проектной мощностью 720 МВ и судоходный шлюз. Особенностью инженерно-геологических условий площадки

* Переводчики: Ю.А. Соболевский, М.И. Никитенко.

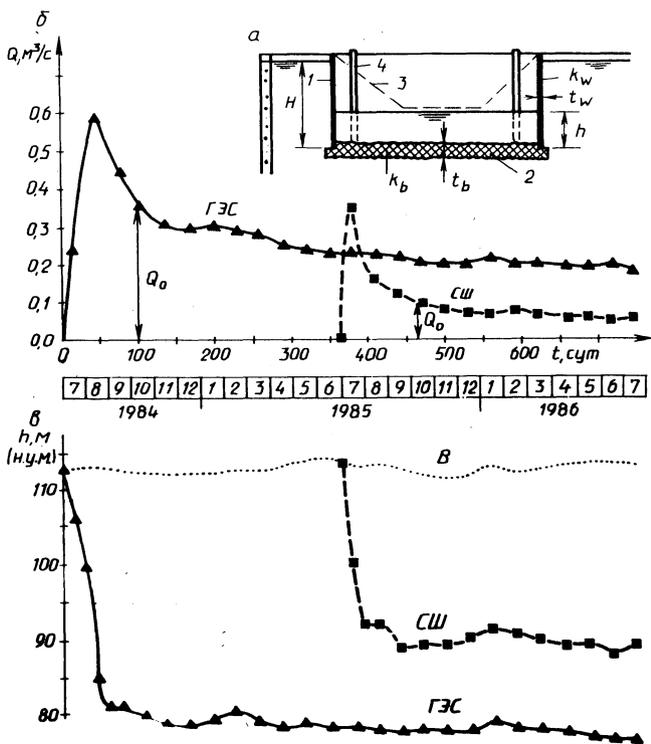


Рис. 1. Изменение расходов и соответствующих положений уровней воды в противοфильтрационных ваннах для ГЭС и судоходных шлюзов (СШ) гидроузла "Габчиково": а – расчетная схема ванны; б – расходы воды; в – уровень воды; 1 – противοфильтрационные стены; 2 – противοфильтрационное дно; 3 – откосный котлован; 4 – буровые водопонизительные колодцы; В – уровни воды снаружι ванны.

является залегание на глубину 360 м сильноводопроницаемых гравийных грунтов. Для защиты котлованов под ГЭС и шлюз от притока подземных вод устроены противοфильтрационные ванны, состоящие из замкнутой по контуру вертикальной диафрагмы из самотвердеющей суспензии, ниже дна котлованов – слой искусственного водоупора из заинцементированного грунта. Эти противοфильтрационные ванны – самые крупные в мире.

Противοфильтрационные диафрагмы были выполнены чехословацким предприятием "Гидростав-Братислава" методом "стена в грунте" с разработкой траншеи механическими экскаваторами с гидравлическими грейферами на жестких и телескопических штангах. Толщина диафрагм 0,6, глубина – 47,5 и 55 м соответственно для котлованов под ГЭС и судоходный шлюз.

Чехословацким предприятием "Вагостав-Жилина" иньектированием закрепляющих (глиноцементных и химических) растворов в грунт выполнены днища водозащитных ванн. Иньекционные трубы располагались по площадям котлованов в узлах квадратных сеток с шагом 7 м.

После осуществления водоотлива изнутри гидроизолированных грунтовых массивов вскрыты котлованы с пологими откосами. Наиболее эффективным

оказался глубинный водоотлив из буровых скважин, доведенных до искусственного водоупора.

Количество просочившейся через стенки противофильтрационной ванны (рис. 1, а) грунтовой воды

$$Q = k_w L_w \frac{H^2 - h^2}{2t_w}, \quad (1)$$

где k_w — коэффициент фильтрации стен ванны; L_w — длина стен в плане, м; H — глубина стен ниже уровня подземной воды до кровли днища ванны, м; h — глубина воды внутри ванны после откачки, м; t_w — толщина стен, м.

Количество воды, поступающей через водонепроницаемое (заинжецированное) днище ванны:

$$Q_b = k_b A_b \frac{H - h}{t_b}, \quad (2)$$

где k_b — коэффициент фильтрации днища ванны, м/с; A_b — площадь днища, м²; t_b — толщина днища, м.

Количество воды, которое предположительно будет поступать из пор грунта при водоотливе и стабилизации ее уровня в пределах объема ванны:

$$Q_s = n_a A_b V_1,$$

где n_a — активная пористость грунта; V_1 — скорость понижения уровня воды, м/с.

Общее количество откачиваемой из котлована воды

$$Q = Q_w + Q_b + Q_s.$$

Очевидно, что значение не постоянно и будет изменяться во времени. При проектировании системы водоотлива в качестве определяющей считаем величину Q_{\max} , которая возникает при достижении требуемого снижения уровня воды.

Наиболее эффективен глубинный водоотлив из буровых скважин. Это обусловлено надежным контролем эффективности противофильтрационных элементов и возможностью их доуплотнения в случае необходимости еще перед началом отрывки котлована. Требуемое количество буровых скважин

$$n = Q_{\max} / q_{\max},$$

где q_{\max} — максимальное количество воды, откачиваемое из одного колодца, м³;

$$q_{\max} = A_{\min} V_{\max},$$

где A_{\min} — минимальная площадь притока воды в колодец, м²; V_{\max} — максимальная входящая скорость притока воды, при которой обеспечивается фильтрационная устойчивость грунта вокруг буровой скважины, м/с. Для ее вычисления рекомендуется предложенное О. Тявдой [5] уравнение

$$V_{\max} = 80 \sqrt[3]{k},$$

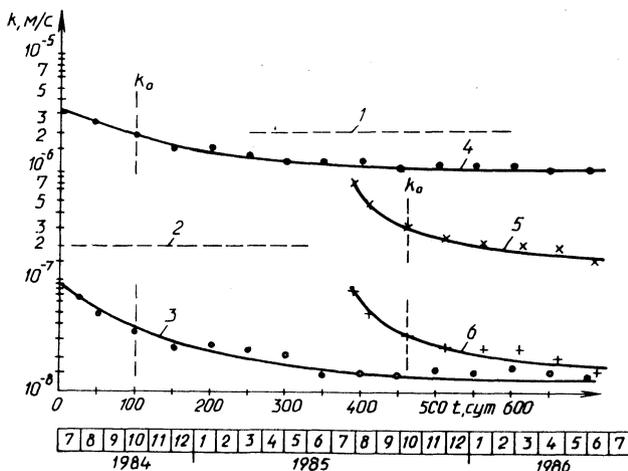


Рис. 2. Изменение водопрооницаемости противofильтрационных элементов на объектах гидроузла "Габчиково":

1, 2 — по проекту для дна и стен противofильтрационных ванн; 3, 4 и 5, 6 — фактическое для дна и стен ванн соответственно электростанции судоходных шлюзов.

где k — коэффициент фильтрации грунта, м/с. Для большего эффекта снижения уровня воды погружные насосы следует подбирать по величине q_{\max} .

Поверхностный водоотлив из системы канавок и дрен влечет за собой пониженные показатели откачиваемого количества воды Q_{\max} . При этом может благоприятно проявиться фильтрационная анизотропия массива грунта между дном котлована и поверхностной горизонтальной противofильтрационного элемента. Недостаток же поверхностного водоотлива заключается в невозможности контроля эффективности противofильтрационных элементов ванны перед отрывкой котлована и осложнении земляных работ. Поверхностный водоотлив, однако, можно использовать как дополняющий глубинный при неожиданном уменьшении его производительности или увеличении водопрооницаемости противofильтрационных элементов.

Характерное изменение во времени количества воды, откачиваемой из котлована в противofильтрационной ванне, представлено на рис. 2. Пиковый расход проявляется во время максимального понижения уровня подземной воды. Затем следует относительно быстрое уменьшение дебита при достижении установившегося уровня, что обусловлено исчезновением доли воды, поступающей из пор грунта Q_s . При установившемся процессе фильтрации из котлована откачивается лишь вода, просочившаяся через противofильтрационные стенки Q_w и заинъецированное днище Q_b , а также атмосферные осадки. При качественных противofильтрационных элементах непрерывно уменьшается количество воды ($Q_t \leq Q_0$), которое нужно откачивать для поддержания постоянной разности уровней $H - h$. Это может быть обусловлено естественным снижением водопрооницаемости противofильтрационных элементов за счет коагуляции и химических процессов уплотнения либо изменениями в систе-

ме откачки при перестановке насосов в другие колодцы или переходе от глубинного к поверхностному водоотливу.

Положение уровней подземной воды с внешней стороны противофильтрационных ванн, на которые оказывает влияние вода русла реки Дунай, показано на рис. 2 точками. Результаты свидетельствуют о том, что в данных условиях процесс неустановившейся фильтрации длился приблизительно сто дней. Соотношения $Q_{\max}/Q_0 = 0,6:0,38 = 1,6$ для ГЭС и $Q_{\max}/Q_0 = 0,35:0,10 = 3,5$ для судоходного шлюза свидетельствуют о наличии значительных резервов в системе водоотлива для длительной эксплуатации, если при ее проектировании исходить из максимального количества Q_{\max} . Сравнительно высокие их значения в котловане судоходного шлюза, по всей вероятности, обусловлены интенсивным процессом понижения уровня воды в начальной фазе.

Если систему координат сместить к началу установившегося процесса фильтрации и определить соотношения откачиваемых количеств воды в определенное время Q_t к начальным значениям Q_0 , то получим для котлованов в Габчиково зависимость, аппроксимируемую выражением

$$Q_t/Q_0 = 1,9t^{-0,2}, \quad (3)$$

которая не дает достоверных данных при малых значениях отрезков времени, но для $t = 50$ дн позволяет определить относительные величины Q_t/Q_0 , хорошо соответствующие результатам измерений. Согласно зависимости (3), можно прогнозировать расходы на дальнейший период строительства. Например, если в июле 1986 г. из котлована ГЭС откачивали $Q_t = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$, то в июле 1989 г. можно предположить $Q_t = 0,16 \text{ м}^3/\text{с}$. В эти же сроки для судоходного шлюза значений $Q_t = 0,062 \text{ м}^3/\text{с}$ уменьшится до $Q_t = 0,042 \text{ м}^3/\text{с}$. Предпосылкой реальности подобного прогноза является обеспечение стабильности работы противофильтрационных элементов. Посредством экстраполяции можно также определить ориентировочные данные о расходах через противофильтрационные стены и дно ванн в период неустановившейся фильтрации.

При устройстве противофильтрационных ванн в Габчиково были сначала выполнены траншейные стены толщиной $t_w = 0,6 \text{ м}$, а затем заинъецированы днища. Из-за грубозернистого сложения грунта и вследствие этого значительного расхода глиноцементной суспензии при большом давлении инъекции днища ванн оказались значительно толще запроектированных и составили для котлована ГЭС $t_b = 14 \text{ м}$ (по проекту 7 м), судоходного шлюза $t_b = 8,6 \text{ м}$ (по проекту 5 м). Реальные значения толщин противофильтрационных днищ потребовали уточнения их водопроницаемости [2, 3].

Коэффициент фильтрации противофильтрационных стен и днищ можно вычислить из уравнений (1) и (2) при известных соответствующих расходах Q_w и Q_b . Результат наших измерений показал, что разница расходов воды через стены и дно во времени существенно не изменяется. Для котлована ГЭС

$$Q_w = 0,1(Q - Q_s); \quad Q_b = 0,9(Q - Q_s);$$

для судоходного шлюза

$$Q_w = 0,35(Q - Q_s); \quad Q_b = 0,65(Q - Q_s).$$

Значения k_0 отвечают расходам Q_0 в начале установившейся фильтрации

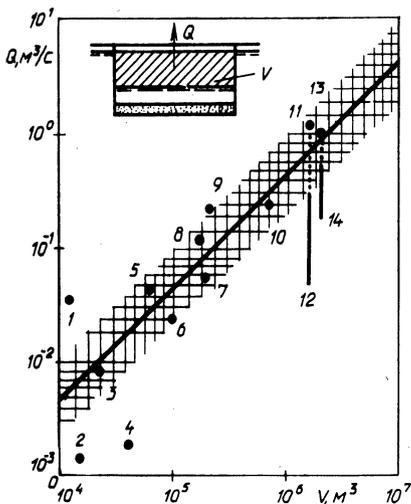


Рис. 3. Сравнение качества противифльтрационных элементов на строительных котлованах различных объектов.

(см. рис. 2). Значения коэффициентов фильтрации в период неустановившейся фильтрации определены экстраполяцией, поэтому они носят ориентировочный характер. Во время откачки максимального количества воды Q_{\max} коэффициенты фильтрации противифльтрационных стен достигали $k = 6 \cdot 10^{-8}$ м/с, у заиленных днищ котлованов ГЭС $k_b = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м/с, судоходного шлюза $k_b = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м/с. В последующих фазах их значения уменьшались и изменялись по зависимости

$$k_t/k_0 = 2,22t^{-0,25}, \quad (4)$$

которая подобна уравнению (3) и также дает реальные результаты для $t \geq 50$ дней от начала установившейся фильтрации. Зависимость (4) можно применять для прогнозов водопроницаемости противифльтрационных элементов — стен из самотвердеющей суспензии и заиленных днищ. Пользуясь ею, можно получить, например, для стен ванны электростанции значение $k_w = 1,4 \cdot 10^{-8}$ м/с, которое в июле 1989 г. уменьшится в $k_w = 1,1 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Результаты изучения изменчивости во времени водопроницаемости противифльтрационных элементов полезны для использования в практике оптимального проектирования водоотлива из противифльтрационных ванн, причем с учетом предполагаемого периода строительства.

Для оценки качества противифльтрационных мероприятий нами взяты некоторые данные [7] (рис. 3). Критерием качества служит расход откачиваемой воды Q , количества — объем котлована $V = A_b(H - h)$, который определяется как произведение площади дна котлована A_b на разность уровней воды в начале и конце откачки $(H - h)$. Точки позволяют оценить зависимость $Q = f(V)$ в соответствии со средним достигнутым международным уровнем осушения подобных котлованов. Этому уровню соответствуют точки для котлованов: 3 — тоннеля Шифол II в Голландии; 5 — административного здания в Амстердаме; каскада ГЭС, построенных на реках Рейн фирмой

"Солетанш" (Франция); 6 — "Герстгайм"; 7 — "Фогельсгайм"; 8 — "Фесенгайм"; 9 — "Рино" и "Маркольсгайм", а также 10 — водохранилища "Дунакилити" (ВНР). Хуже результаты для котлована (точка 1) временного канала вблизи чехословацкой дер. Палковичово, где не была применена подходящая инъекционная смесь. Напротив, точки 2 — котлован тоннеля Шифол I и 4 — котлован административного здания в Гамбурге соответствуют хорошему эффекту осушения.

Точки 11 и 13 отражают данные проектных проработок соответственно для котлованов шлюзовых камер и ГЭС "Габчиково", которые отвечают среднему международному уровню. В действительности же из котлованов откачивались объемы воды, уменьшавшиеся во времени из-за кольматации противофильтрационных элементов ванн. Получаемый при этом эффект показан отрезками прямых 12 и 14, свидетельствующими о высоком качестве работ, превышающем средний мировой уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. H u l l a J. et al.: Vývoj účinnosti tesniacich prvkov stavebných jam pre vodnú elektrárňu a plavebnú komoru Gabčíkovo. Správa pre Hydrostav. Bratislava, stavebná fakulta SVŠT, 1986. 45 с.
2. H u l l a J. et al.: Deep foundation pits for the Gabčíkovo hydropower plant. In: 8 th DECSMFE, (I), Nürnberg, 1986. С. 113—118.
3. H u l l a J. et al.: Účinnosť injektáže dna tesniacich vaní na vodnom diele Gabčíkovo. In.: Zakládání staveb, Brno, 1986. С. 253—256.
4. К о в а ч Ъ Л.: Niektore problémy tesnených stavebných jam Kandidátska dizertačná práca. Bratislava, 1986. SVŠT, stav. fakulta. 120 с.
5. Т а в о д а О.: Hlbkově-odvodňovanie stavebných jam. — SNTL, Bratislava, 1965. 220 с.
6. Т а в о д а О., Š a b o A.: Zakladanie stavieb pod hladinou podzemnej vody. — Alfa. Bratislava, 1985. 165 с.