

УДК 550.372:622.271.333:626

Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ТЕЛЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ПЕРЕМЫЧКИ ГИДРООТВАЛА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Специфика ограждающих элементов (дамб, плотин, перемычек и т.д.) гидротехнических сооружений (ГТС) состоит в том, что под действием напорного фронта в насыпном грунтовом массиве формируются фильтрационные зоны и коллекторы*. Наличие выходов воды на низовом откосе не является фактом нарушения нормального режима эксплуатации дамбы, но служит сигналом для проведения систематических наблюдений (мониторинга) за развитием параметров обводненных зон во времени. В свою очередь, информация о развитии или затухании процессов в этих зонах предоставляет возможность оценивать гидродинамические силы, действующие на призму возможного обрушения

На практике, как правило, ограничиваются визуальными осмотрами, фиксируя ширину участка водопроявлений, количество локальных выходов на откосе и косвенно оценивая изменение расхода воды через дамбу. С этой же целью на некоторых сооружениях устанавливают пьезометры, которые представляют собой пробуренные в теле дамбы скважины с размещением в них стальных перфорированных труб и заполнением межтрубного пространства песчано-гравийной смесью. Рассмотренные методы предоставляют лишь точечные данные об уровне депрессионной кривой и не дают объемной информации о размерах зон водонасыщения грунтов.

Предлагаемый геоэлектрический метод контроля основан

ным методам геоэлектрического мониторинга обеспечивает комплексный подход к оценке гидрогеологического и геомеханического состояния дамбы. Основные схемы мониторинга следующие: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) с центрами установок в точках с известным пьезометрическим уровнем депрессионной кривой и максимальным шагом зондирования $\Delta A_{max} = 5 \text{ м}$; электрофильтрование (ЭП) по характерным профилям с фиксированными разносами, соответствующими расположению верхней границы зоны влагонасыщения и шагом профилирования $\Delta x = \Delta y = 5 \text{ м}$.

В течение полутора лет экспериментальные геоэлектрические наблюдения проводили на ограждающей перемычке гид-

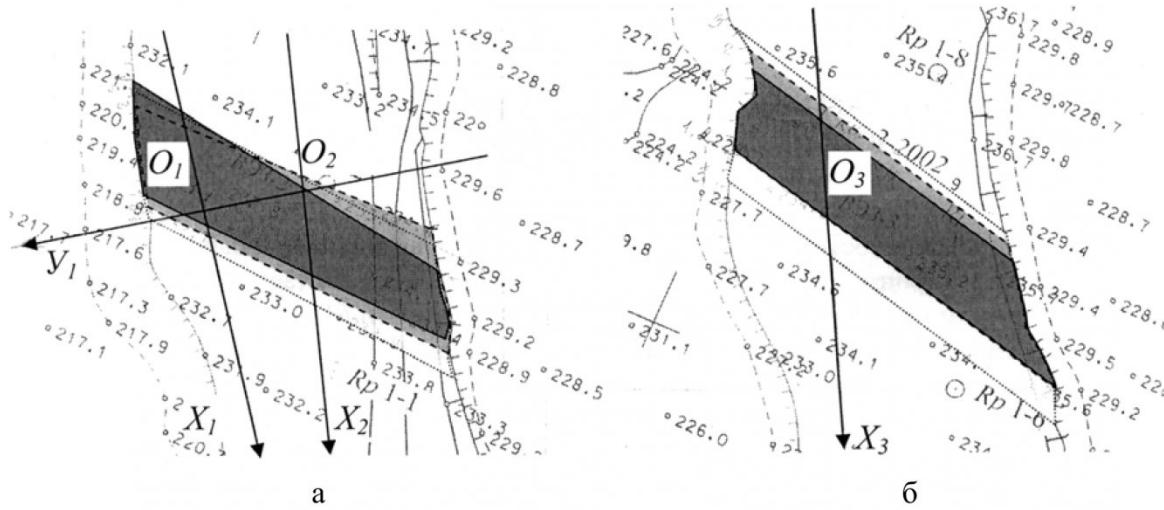


Рис. 1. План экспериментальных участков в южной (а) и северной (б) частях ограждающей перемычки гидроотвала: O_1x_1 , O_2x_2 , O_3x_3 – профили продольного ЭП; O_1y – профиль поперечного ЭП; O_1 , O_3 – центры ВЭЗ

ния и рассчитывать устойчивость сооружения по методике, изложенной в работе [1].

* Работа выполнена при поддержке гранта Минобрзования России А 03-2.13-12

на связи удельного электросопротивления (УЭС) грунтов с их физическими характеристиками – влажностью и пористостью [2]. Применение в дополнение к упомянутым визуаль-

го отвала ОАО «Разрез Кедровский», отсыпанной из вскрытых пород поверх намывных отложений гидроотвала №3. В плане перемычка имеет распланированный профиль с шириной по

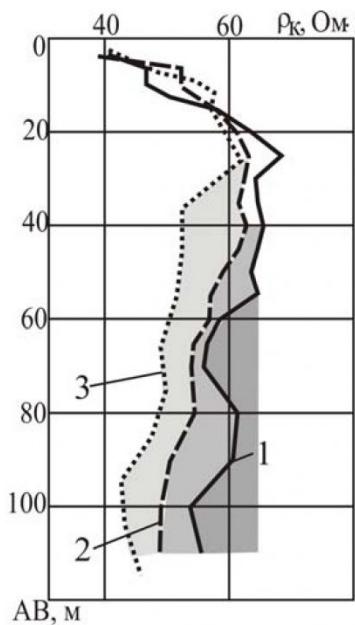


Рис. 2. Результаты ВЭЗ с центром в точке O_1 :
1-09.07.02; 2-23.07.02; 3-
16.10.03

гребню от 84 до 110 м и длиной 680 м.

Было выполнено по 3-5 серий наблюдений на двух участках формирования фильтрационных коллекторов с периодичностью в 1-2 месяца. В каждой серии выполняли замеры по схеме ВЭЗ на участках бурения инженерно-геологических скважин и в створе с зонами водопроявлений в нижнем бьефе (рис. 1). На графике ВЭЗ отрицательное отклонение УЭС до 30% от среднего уровня соответствует расположению верхней границы обводненной зоны. Снижение уровня УЭС с увеличением глубины зондирования h , или с течением времени характеризует увеличение водонасыщенности пород.

Геоэлектрическое состояние приповерхностного слоя насыпного массива (при $AB < 10$ м) в значительной мере подвержено влиянию атмосферных осадков, однако оно стабилизируется в течение суток после их выпадения. Нижняя граница обводненной зоны насыпного слоя при ВЭЗ ($AB < 150$ м) не была установлена, поскольку перемычка имеет значительную высоту (до 15 м), а грунты намывного ос-

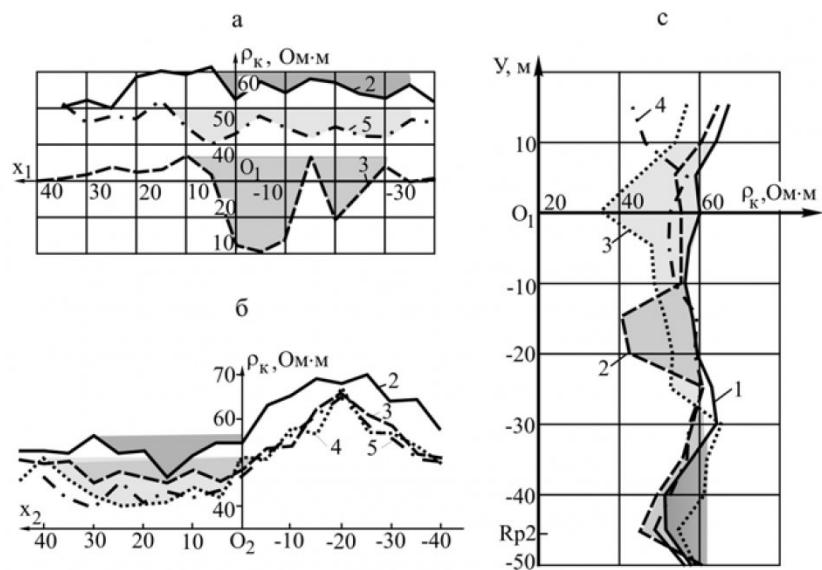


Рис. 3. Результаты ЭП по профилю O_1x_1 у низового откоса (а), по профилю O_2x_2 у верхового откоса (б), по профилю O_1y_1 (в): 1-09.07.02;
2-23.07.02; 3-27.09.02; 4-09.07.03; 5-16.10.03

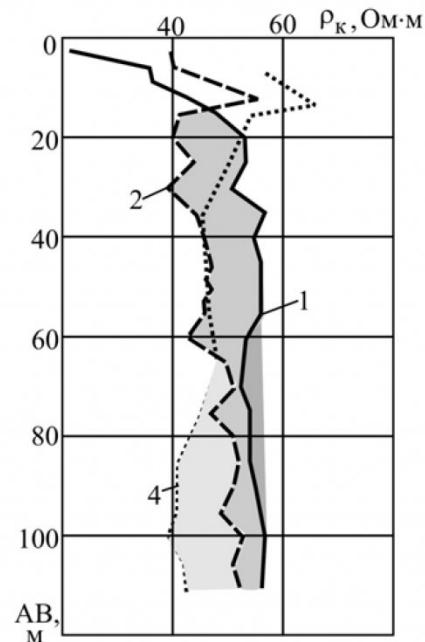


Рис. 4. Результаты ВЭЗ в точках O_3 (а) и ЭП по профилю O_3x_3 (б): 1-23.07.02; 2-27.09.02; 3-09.07.03; 4-16.10.03

нования имеют высокую степень влагонасыщения, вследст-

вие чего граница насыпного и намывного слоя электрически

не контрастна.

Наибольший объем исследований проведен на участке в южной части перемычки (рис. 1, а), где на начало наблюдений в нижней части низового откоса сформировалась несколько сопредоточенных выходов коллекторов, которые были объединены в единый фильтрационный фронт.

Результаты ВЭЗ (рис. 2) показывают, что в начальной стадии развития обводненной зоны расположение ее верхней границы соответствует $AB=55$ м. По данным наблюдений в Скв. №1 уровень грунтовых вод составил $h=8$ м. В дальнейшем, по мере развития процессов влагонасыщения грунтов происходило закономерное снижение уровня эффективного УЭС ρ_k и одновременный подъем этой границы до уровня $h=4$ м. Динамика гидродинамических процессов на графиках ВЭЗ характеризуется площадью участков с тонировкой различной интенсивности.

Для детального исследования параметров водонасыщенной зоны в плане проведены измерения по схеме ЭП на двух продольных профилях O_1x_1 , O_2x_2 , и одном поперечном O_3y_3 . Интерпретация диаграмм ЭП осложняется тем, что на интервале между второй и третьей сериями измерений была произведена планировка поверхности гребня у низового откоса со срезкой слоя грунта на глубину

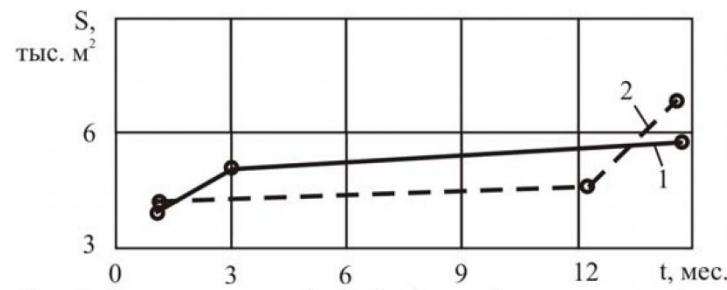


Рис. 5. Изменение площади S обводненной зоны за время t наблюдений: 1-южный участок; 2-северный участок

до 2 м. Это привело к резкому снижению общего уровня ρ_k и увеличению амплитуды соответствующих аномалий (рис. 3, а), достигающих 27 Ом·м (45% от исходного уровня).

Анализ графиков продольных ЭП (рис. 2, а, б) показывает, что ширина обводненной зоны у низового откоса за время наблюдений увеличилась в диапазоне $\Delta x_1=40-50$ м, у верхового откоса – в диапазоне $\Delta x_2=35-45$ м, т.е. границы этой зоны примерно параллельны. Выявлена тенденция к смещению русла фильтрационного коллектора в южном направлении. Стабильный уровень $\rho_k=50-70$ Ом·м на интервале $\Delta x_2=0 \div -30$ м, по-видимому, связан с наличием в теле перемычки водупорного слоя, препятствующего развитию коллектора в данном направлении.

Более сложным является характер развития гидродинамических процессов в поперечном сечении техногенного массива по профилю O_3y_3 (рис. 3, в).

Так, на 09.07.02 г. уровень УЭС изменялся незначительно, при этом достаточно хорошо прослеживалось его снижение от верхового до низового откоса, т.е. водонасыщение пород по мере прохождения через перемычку снижается. На момент второй серии наблюдений (23.07.02 г.) в средней части перемычки образовалась аномальная зона с падением электросопротивления $\Delta\rho_k=16$ Ом·м (28% от среднего уровня), ширина зоны составляла $\Delta y=20$ м. В следующую серию измерений (27.09.02 г.) эта зона мигрировала на 15 м в направлении низового откоса и несколько уменьшилась в размерах до $\Delta y=15$ м. Интенсивное образование водонасыщенной зоны и ее перемещение при первых трех замерах объясняется процессом консолидации пород тела перемычки, который сопровождался незначительными по величине и локальными в плане осадками гребня. Следует отметить, что максимальный расход воды через тело дамбы

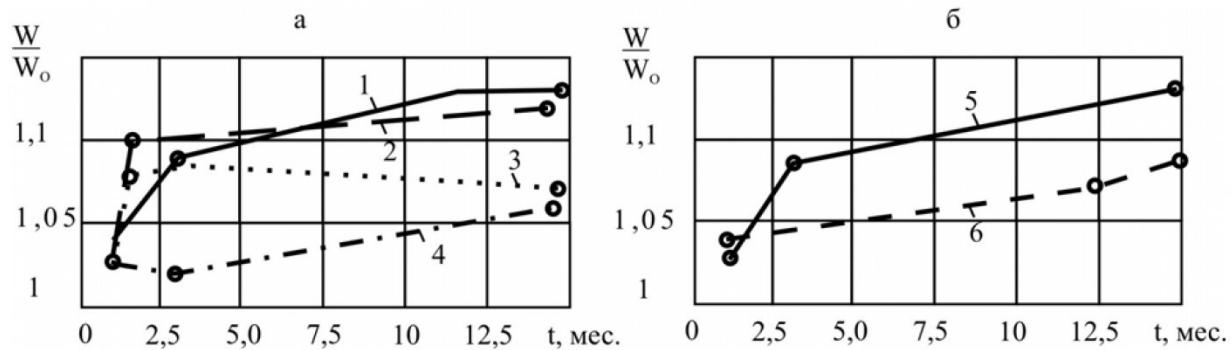


Рис. 6. Изменение средней влагонасыщенности W насыпных грунтов техногенного массива на южном (а) и северном (б) участках в ходе наблюдений: 1, 4, 6 - в продольных сечениях, соответственно, по продольным профилям O_2x_2 , O_1x_1 , O_3x_3 ; 3 - в поперечном сечении; 2, 5 - по глубине

был отмечен в период с 27.07.02 по 27.09.02.

В 2003 г. сброс глиняной пульпы в гидроотвал был прекращен, что способствовало стабилизации, дальнейшему снижению водоотдачи пульпы и прекращению водопроявлений на низовом откосе. Это привело к закономерному повышению УЭС до уровня первых серий измерений на графиках $\rho_K(x_1)$ и $\rho_K(y)$. В то же время у верхового откоса (рис. 3, б), прилегающего к массиву пульпы, все параметры зоны влагонасыщения сохранились. Таким образом, каналы фильтрации в теле перемычки не перекрыты, и при возобновлении сброса пульпы в гидроотвал фильтрационные процессы восстановятся с прежней интенсивностью.

Весь комплекс геоэлектрических измерений был повторен в районе второго локального выхода воды на низовой откос в северной части перемычки (рис. 1, б).

Анализ графиков ВЭЗ и продольных ЭП за период наблюдений в течение 15 мес. (рис. 4) свидетельствует о интенсивном развитии обводненной зоны по глубине массива с подъемом уровня грунтовых вод с $h=8$ м ($AB=55$ м) до $h=3$ м ($AB=20$ м) и расширением в плане с $\Delta x_3=35$ м до $\Delta x_3=60$ м. Данная часть перемычки непосредственно примыкает к действующему отвалу вскрышных пород, поэтому влагонасыщение насыпных грунтов сопровождалось их уплотнением под действием сил всестороннего сжатия:

объемных гравитационных сил, напора воды со стороны верхового откоса, порового давления в тонкодисперсных влагонасыщенных глинистых грунтах насыщенного основания и бокового давления отгружаемых пород железнодорожного отвала. Существенного увеличения расхода воды через тело насыпного сооружения в данном сечении при наблюдениях не было зафиксировано.

На основании данных об изменении ширины обводненных зон, полученных из графиков продольных ЭП по профилям O_1x_1, O_2x_2 и O_3x_3 , развитие границ этих зон было зафиксировано на планах опытных участков (рис. 1).

По результатам проведенных исследований рассчитаны интегральные параметры гидрогеологического состояния грунтов, прилегающих к зоне фильтрации, комплексно характеризующие динамику развития процессов в контролируемых объемах с течением времени: площадь обводненной зоны в плане S ; средний относительный уровень влагонасыщенности массива W/W_O в различных сечениях обводненных зон.

Характер изменения площади S обводненной зоны в южной части перемычки свидетельствует о стабилизации фильтрационных процессов на заключительной стадии наблюдений ($t=12-15$ мес.). В северной части объекта, несмотря на прекращение сброса пульпы в гидроотвал, процесс водонасыщения насыпных грунтов со стороны

верхового откоса и намывного основания не только не прекратился, но и интенсифицировался (рис. 5).

Анализ графиков $W/W_O(t)$ (рис. 6) показывает постоянное увеличение водонасыщения пород тела перемычки в процессе ее эксплуатации. При этом наибольшее приращение наблюдавшегося показателя происходило в первые 3-3,5 месяца, после чего большинство графиков выползали. Изменение существующего русла водопроводящего коллектора и формирование новых обводненных зон, зафиксированные на первых сериях наблюдений, связаны, главным образом, с активной стадией процесса консолидации насыпных вскрышных пород тела перемычки. Поскольку в зимний период работы на гидромеханизированном участке прекращаются, напор на перемычку устанавливается на фиксированной величине, которая не изменяется в течение полугода. Это является основной причиной стабилизации геомеханических и гидрогеологических процессов, происходящих в теле насыпного техногенного массива.

Приведенные в работе результаты экспериментальных исследований дают пространственное представление о развитии фильтрационных процессов в техногенном массиве и позволяют прогнозировать стадии, предшествующие нарушениям устойчивости сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюков Е.В. Прогноз устойчивости ограждающих дамб гидротехнических сооружений на основе геоэлектрического контроля их состояния / Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева // Вестн, КузГТУ.-2004.-№ 2. С.
2. Простов С.М. Электрофизические свойства техногенных грунтовых массивов гидротехнических сооружений / С.М. Простов, Е.В. Костюков, М.В. Гуцал // Вестн.КузГТУ.-2004.-№ 3. С.

Авторы статьи:

Костюков Евгений Владимирович – аспирант каф. теоретической и геотехнической механики	Простов Сергей Михайлович – доктор техн. наук, проф. каф. теоретической и геотехнической механики	Бахаева Светлана Петровна – канд. техн. наук, зам. директора НФ "КУЗБАСС-НИИОГР"
---	--	---