

УДК 550.372: 622.271.333

С.М. Простов, Е.В.Костюков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДАМБ НА ТОЧНОСТЬ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИХ СОСТОЯНИЯ

Контроль аномалий геологической структуры обводненных породо-грунтовых массивов основан на измерении пространственно-временных вариаций эффективного удельного электросопротивления (УЭС) ρ_K массива.* Результатом геоэлектрических измерений являются графики $\rho_K(AB)$ при ВЭЗ и $\rho_K(x,y)$ при ЭП (AB – разнос питающих электродов, м; x , y – продольная и поперечная координаты по осям сооружения) [1]. Эффективное УЭС (в Ом·м) массива определяют по формуле:

$$\rho_K = k \frac{\Delta U}{I}, \quad (1)$$

где k – геометрический коэффициент установки $AMNB$, зависящий от взаимного расположения электродов, м; ΔU – падение напряжения на электродах MN , В; I – ток через электроды AB , А.

В теории электроразведки геометрический коэффициент установки при зондировании и профилировании определен для идеальных условий и рассчитывается по формуле [2]:

$$k = \psi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right), \quad (2)$$

где ψ – центральный телесный угол растекания тока от питающих электродов AB , принимаемый равным 4π при подземных скважинных измерениях в пространстве и 2π – при зондировании с поверхности полупространства, рад.; AM , AN , BM , BN – расстояния между электродами установки $AMNB$, м.

Особенностью дамб как

* Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования России А 03–2.13–12

объекта геоэлектрического контроля является сложная форма поверхности, существенно отличающаяся от плоскости. При этом массив не является полупространством, как это заложено в теоретических моделях. Степень влияния геометрических параметров дамбы (ширина гребня, высота насыпного слоя, заложение откосов, степень заполнения хранилища) на изменение плотности зондирующего тока и геометрического коэффициента установки была исследована на физической (электролитической) модели. Модель дамбы представляет собой герметичную емкость из непроводящего материала с внешними размерами $1 \times 1 \times 0,3$ м, заполненную проводящей

жидкостью (водопроводной водой) (рис. 1).

Подвижность внутренних элементов модели предоставляла возможность проведения исследований для широкого диапазона изменения основных параметров дамб, а именно: угол наклона α низового 1 и верхового 2 откосов дамбы изменялся от 27 до 55° ; уровень заполнения накопителя регулировался горизонтальной панелью 3 и устанавливался в три основных положения – $H_3 = 0,17$ м, $0,5$ м, $0,7$ м. Поскольку в качестве материала заполнителя внутреннего пространства модели была использована водопроводная вода, в эксперименте имитировался однородный изотропный насыпной массив дам-

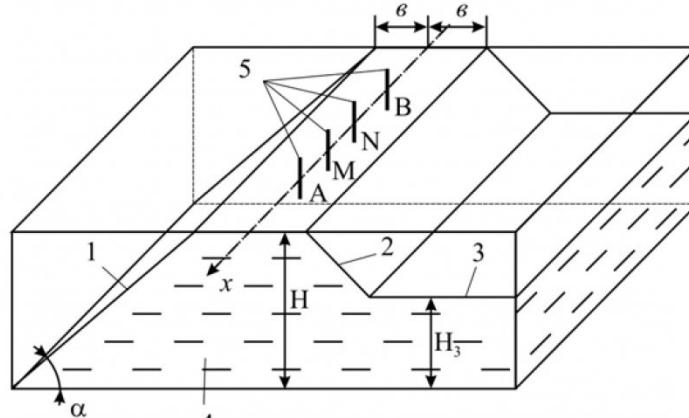


Рис. 1 Схема электролитической модели дамбы хранилища жидких промышленных отходов: 1 – низовой откос; 2 – верховой откос; 3 – уровень заполнения накопителя; 4 – электропроводящая жидкость; 5 – измерительная установка; α – угол наклона откоса; x – расстояние от оси профиля до бровки откоса; H – высота дамбы; H_3 – высота заполнения хранилища.

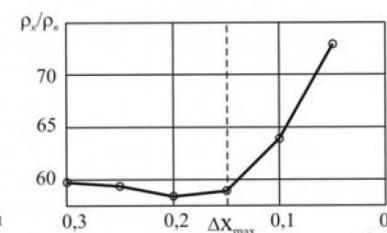
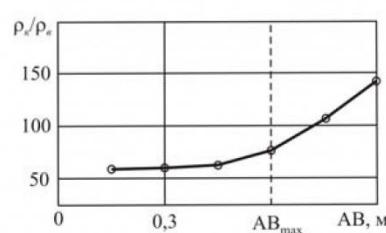


Рис. 2. Оценка размеров зон влияния границ раздела по глубине AB и ширине x модели

бы. Измерения проводили по схеме четырехэлектродной установки $AMNB$ ($AM = MN = NB$).

Поскольку УЭС среды равно УЭС воды $\rho_e(\rho_k = \rho_e = \text{const})$, при геометрическом подобии модели и натуры, стабилизированном токе модели ($I = \text{const}$) из уравнения (1) следует, что соотношение коэффициентов установок k/k_0 для нестандартных и стандартных условий измерений обратно пропорционально отношению соответствующих падений напряжений. Это отношение, интерпретируемое как поправочный коэффициент k_n , исследовалось на модели как функция параметров $AB, \alpha, \vartheta, H_3$:

$$k_n(AB, \alpha, \vartheta, H_3) = \frac{k(AB, \alpha, \vartheta, H_3)}{k_0} = \frac{\Delta U_0}{\Delta U(AB, \alpha, \vartheta, H_3)}, \quad (3)$$

где $k_0, \Delta U_0$ – коэффициент установки и падение напряжения, измеренные для полупространства; $k, \Delta U$ – то же для смоделированного профиля дамбы при переменных параметрах $AB, \alpha, \vartheta, H_3$.

Для установки предельных диапазонов изменения разноса AB были оценены зоны влияния боковых и нижней границ раздела "модель-воздух": при увеличении глубины зондирования ($AB = \text{var}$) и приближении к стенкам модели при профилировании ($AB = \text{const}$) наблюдалось возрастание ρ_k (рис. 2).

Используя критерии предельного отклонения $\Delta\rho_k \leq 0,05 \rho_\vartheta$ получено, что $AB_{max} = 0,5$ м, $\Delta x_{max} = 0,15$ м. Все последующие измерения проводили в пределах установленных границ рабочей зоны модели.

На рис. 3 представлены экспериментальные графики зависимостей $k_{n1}(\alpha, AB/H, \vartheta/H)$ для низового и верхового откосов при незаполненном хранилище. Использование относительных размеров позволяет применять

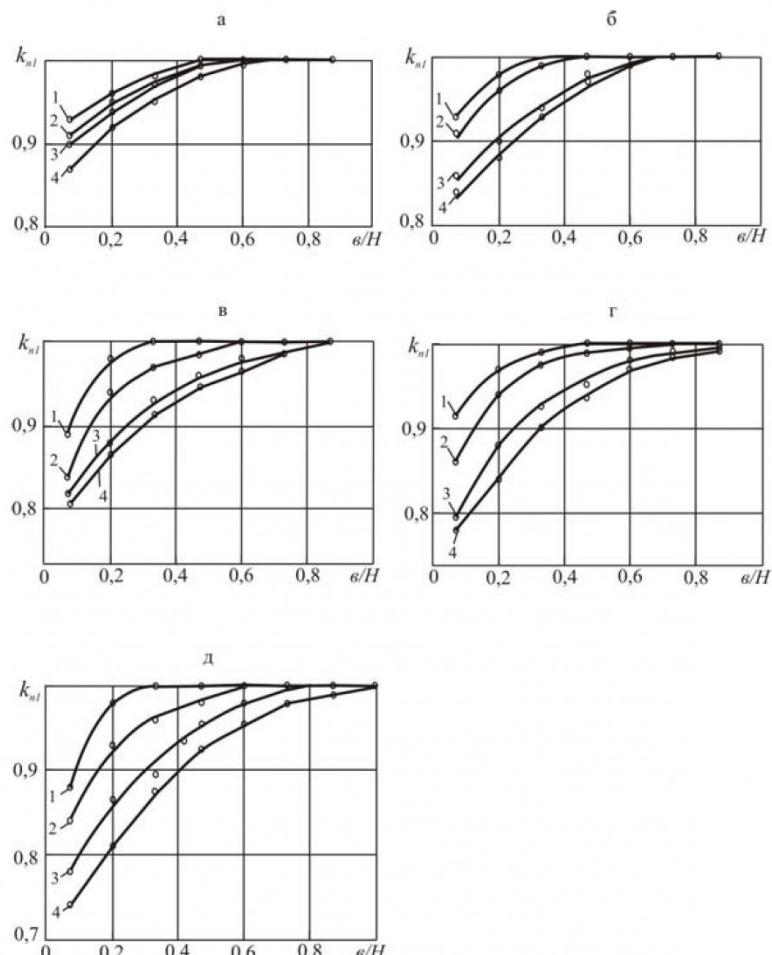


Рис. 3. Зависимости поправочного коэффициента k_{n1} влияния откоса дамбы от относительного расстояния оси профиля v/H при $\alpha = 27^\circ$ (а), 33° (б), 39° (в), 47° (г); 1 – $AB/H = 0,4$; 2 – $0,8$; 3 – $1,5$; 4 – 2

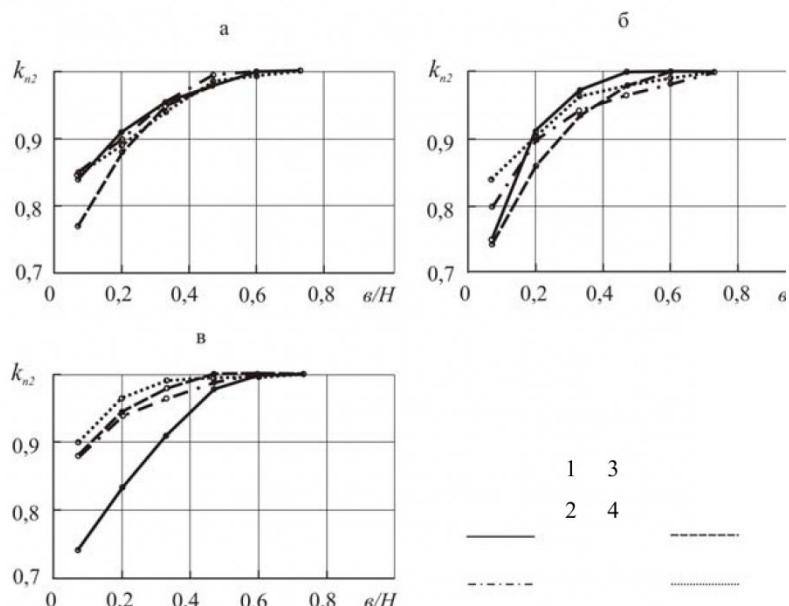


Рис. 4. Зависимости поправочного коэффициента k_{n2} от относительного расстояния v/H при $\alpha = 55^\circ$; $H_3 = 0,17H$ (а), $0,5H$ (б) и $0,7H$ (в); 1 – $AB/H = 0,4$; 2 – $0,8$; 3 – $1,5$; 4 – 2

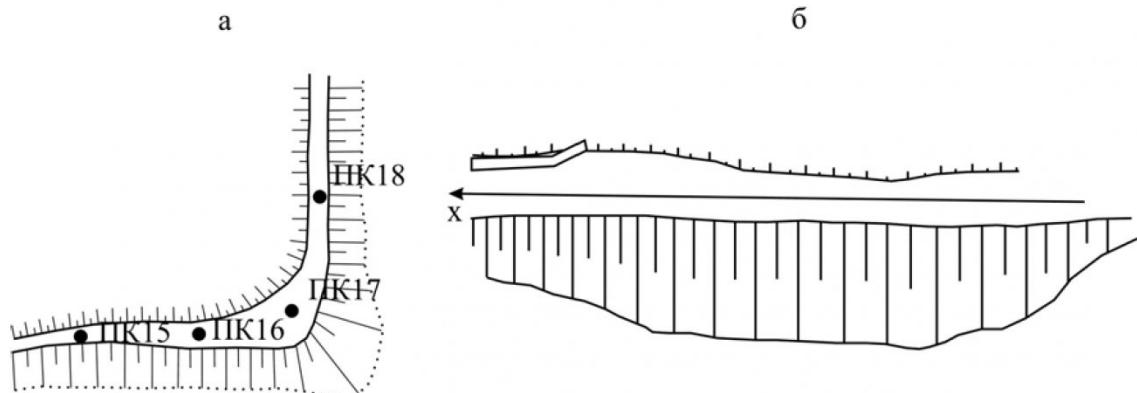


Рис. 5 Планы участков дамб шламового отстойника ОАО "Шахта имени С.М. Кирова" (а) и илонакопителя ЗАО "Черниговец" (б)

установленные зависимости для любых условий. Следует отметить, что на всех графиках наблюдается монотонное уменьшение k_{n1} при приближении к бровке откоса, связанное с дополнительным увеличением плотности зондирующего тока. Минимальное зафиксированное значение k_{n1} и максимальный размер зоны влияния θ_{max} поверхности откоса соответствует наибольшему разносу AB . Диапазоны изменения параметров составили: $k_{n1} = 0,73\text{--}1$; $\theta_{max}/H = 0,47\text{--}1,2$.

При заполнении хранилища электропроводящей массой (водой, пульпой, шламом) условия измерений со стороны верхового откоса приближаются к стандартным, поскольку зондирующий ток распространяется на прилегающие к дамбе участки массива заполнителя. Это приводит к заметному сглаживанию графиков $k_{n2} (\theta/H)$ по мере приближения к бровке уступа, причем при малом заполнении ($H_3 = 0,17$ м) крутизна графиков и диапазоны изменения k_{n2} в целом незначительно отличаются от графиков $k_{n1} (\theta/H)$ на рис. 3, д. Увеличение H_3 эквивалентно уменьшению H и приводит к относительному увеличению k_{n2} .

При обработке результатов геоэлектрических измерений по гребню дамбы следует вводить соответствующие значения поправочных коэффициентов k_{n1} и k_{n2} , причем характерными случаями являются следующие:

- при незначительных изменениях α , θ и H вдоль оси зондирования (дамбы равнинного типа) при электропрофилировании (ЭП) $k_n = k_{n1} \cdot k_{n2} \approx \text{const}$, т.е. условия измерений не изменяются, при вертикальном электроздонировании (ВЭЗ) с ростом AB следует использовать графики с соответствующим отношением AB/H (рис. 3, 4);

- при изменениях ширины 2θ дамбы равнинного типа (местные расширения или сужения) или высоты насыпного слоя H дамб балочного типа необходимо определять поправочные коэффициенты, используя шкалу θ/H и переменное отношение AB/H .

Полученные графики поправочных коэффициентов бы-

ли использованы при интерпретации результатов геоэлектрического мониторинга реальных гидротехнических сооружений.

Так, на ограждающей дамбе шламового отстойника "Дальний" ОАО "Шахта им. С.М. Кирова" выполняли комплекс геоэлектрических наблюдений с целью выявления фильтрационных коллекторов в теле сооружения и проверки фильтрационной устойчивости дамбы [3]. Дамба характеризуется большой протяженностью (длина напорного фронта 1840 м) и постоянной высотой 7 м, при $\alpha = 38^\circ$. На участке ПК18-ПК15 ширина дамбы увеличивается с 4 м до 13,4 м (рис. 5, а). В данном случае на участке максимальной ширины дамбы ПК17-ПК16

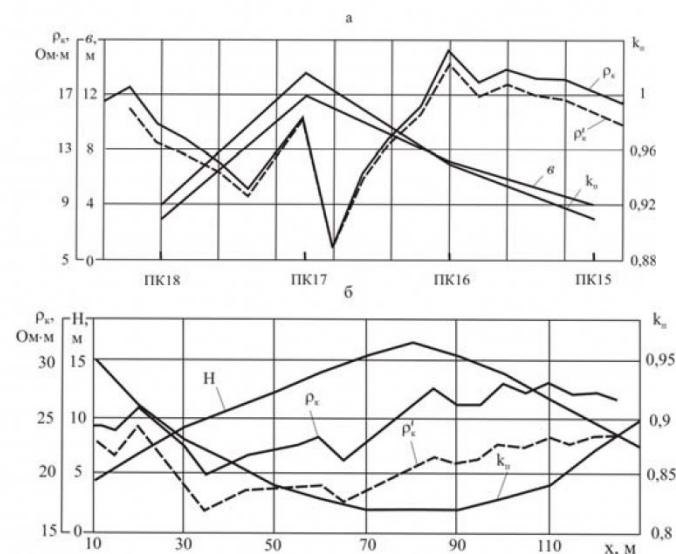


Рис. 6 Корректировка результатов геоэлектрического мониторинга на ограждающей дамбе шламового отстойника "Дальний" ОАО "Шахта им. С.М. Кирова" (а) и дамбе илонакопителя ОФ ЗАО "Черниговец" (б)

скорректированная кривая уровня УЭС (ρ'_k) отличается незначительно, поскольку $\vartheta/H > 0,9$ и $k_{n1} \approx 1$. Вместе с тем, на примыкающих участках (ПК18-ПК17 и ПК16-ПК15) значение поправочного коэффициента снижается, а, следовательно, происходит уменьшение общего уровня УЭС, достигающее 9% (рис. 6, а).

Вторым объектом натурных геоэлектрических наблюдений

была дамба илонакопителя ЗАО «Черниговец» балочного типа (рис. 5, б) [4].

Ширина плотины выдержана по всей длине ($2\vartheta = 5$ м). В этом случае значение поправочного коэффициента определяли одновременно по двум фактограмм: шкале ϑ/H и переменному соотношению AB/H при $AB = \text{const} = 60$ м. Наибольшее влияние изменения высоты дамбы H на результаты геоэлектрических

измерений происходило в средней части дамбы при $H = 12-16$ м, где скорректированная величина отличалась на 23% (рис. 6, б).

Поскольку минимальные возможные значения поправочного коэффициента $k_n = k_{n1} \cdot k_{n2} < 0,6$, приведенная методика позволяет существенно повысить точность прогноза геомеханического состояния дамб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по контролю геомеханических процессов в техногенных породогрунтовых массивах гидротехнических сооружений горных предприятий комплексным геоэлектрическим методом / ГУ КузГТУ, НФ "КУЗБАСС-НИИОГР". – Кемерово, 2003. – 42 с.
2. Якубовский Ю.В. Электроразведка / Ю.В. Якубовский, И.В. Рернард. – М.:Недра, 1991. – 359 с.
3. Костюков Е.В. Исследование параметров обводненных зон в протяженной дамбе шламового отстойника "Дальний" ОАО "Шахта им. С.М. Кирова" / Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева, М.В. Гуцал // Вестник КузГТУ. – 2004. – №2. - С. 18-23.
4. Костюков Е.В. Исследование гидродинамических процессов в дамбе илонакопителя ОФ ЗАО "Черниговец"/ Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева // Вестник КузГТУ.- 2004.- №4.

□ Авторы статьи:

Простов
Сергей Михайлович
- докт. техн. наук, проф.
каф.теоретической и геотехнической
механики

Костюков
Евгений Владимирович
– аспирант каф. теоретической и
геотехнической механики