УДК 622.271.333:626:550.372

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕЛЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ПЕРЕМЫЧКИ ГИДРООТВАЛА

Диагностика и прогноз геомеханического состояния ограждающих сооружений (дамб, плотин, перемычек и т.д.) основаны на знании физико–механических свойств пород, изучении напряженного состояния техногенного массива и деформационных процессов, происходящих под действием внешних и внутренних факторов, влияющих на рассматриваемое сооружение. Так, под действием напорного фронта в теле техногенного массива формируются фильтрационные коллекторы и водопроводящие зоны, которые усиливают проявление гидростатических и гидродинамических сил, изменения температуры и влажности способствуют дезинтегрированию элементов массива, а гравитационных сил – его консолидации, возникновение избыточного порового давления, характерного для глинистых грунтов, обладающих низкой водоотдачей, приводит к снижению удерживающих сил. Поставленная задача осложняется тем, что описанные процессы весьма неравномерно развиваются во времени.

Комплексные экспериментальные исследования геомеханических процессов проведены на ограждающей перемычке гидроотвала ОАО "Разрез Кедровский". Отличительной особенностью данного объекта является сооружение техногенного массива из скальных вскрышных пород разреза поверх намывных четвертичных отложений бывшего гидроотвала №3 (рис. 1). Перемычка высотой до 15 м; длиной по гребню 600 м и шириной более 80 м предназначена для формирования с ее восточной стороны напорного фронта нового гидроотвала.

Исследования включали комплексное применение трех методов контроля состояния массива: инженерно–геологического; маркшейдерско-геодезического; геоэлектрического.

Инженерно-геологический метод предусматривал бурение двух скважин (глубиной 41 м и 64 м) с гребня перемычки через насыпные и намывные породы (инженерно-геологические изыскания проведены комплексной инженерно–геологической экспедицией ОАО "КузбассТИСИЗ" в 2002 г.) (рис. 1). В результате исследований составлена геологическая колонка техногенного массива, описание которой приводится сверху вниз.

1. Насыпные грунты тела перемычки мощностью *11÷15 м* образованы путем отсыпки скальных вскрышных пород и представлены глыбами песчаника, аргиллита и алевролита размером более *20 см*;

2. Намывной грунт основания перемычки представлен суглинком, образованным за счет размыва дисперсных вскрышных пород. Суглинок имеет бурый и реже серый цвет, туго–мягкопластичную консистенцию, в единичных случаях твердую и полутвердую, водонасыщен. Грунт неоднороден по плотности и по показателю пластичности, изменяется от суглинка легкого песчанистого до тяжелого пылеватого. При дополнительном замачивании грунт не меняет свои прочностные и деформационные характеристики. Мощность намывного слоя *12,2÷40,9 м*;

3. Ниже намывных суглинков залегают коренные аллювиальные и элювиальные суглинки четвертичных отложений, подстилаемые скальными грунтами.

Одновременно с инженерно-геологическими исследованиями, через 12 месяцев с начала формирования напорного фронта с восточной стороны ограждающей перемычки, выполнены первые серии геоэлектрических и маркшейдерско-геодезических наблюдений.

Геоэлектрический метод контроля основан на связи удельного электросопротивления (УЭС) грунтов с их пористостью и степенью влагонасыщения. Первый этап заключался в привязке результатов геоэлектрических измерений к геологической информации: определении границ

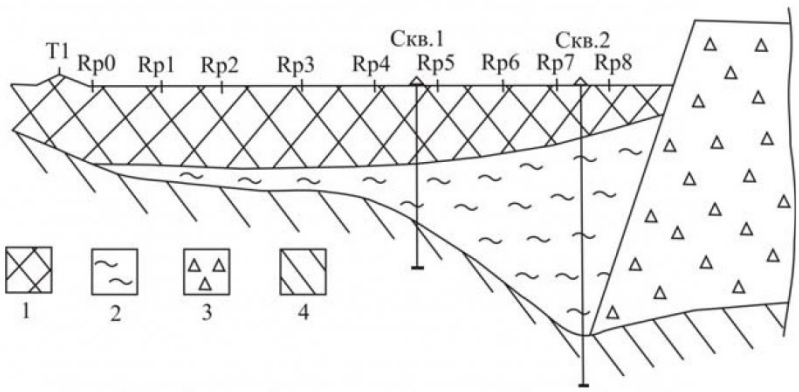

Рис. 1. Продольный разрез по оси ограждающей перемычки (масштабы – горизонтальный 1:5000, вертикальный – 1:1000): 1 – насыпной техногенный массив; 2 – намывной грунт гидроотвала №3; 3 – отвал вскрышных пород; 4 – основание; Rp0-Rp8 – реперы маркшейдерской станции; Скв.1, 2 – геологические скважины

слоев геоэлектрического разреза методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и сопоставлении этих границ с результатами инженерно–геологических изысканий (рис. 2).

Для этого ВЭЗ выполняли на участках бурения геологических скважин. Результаты ВЭЗ показали, что исследуемый техногенный массив представляет собой двухслойную геоэлектрическую среду: первый слой сухих пористых насыпных пород 1 с эффективным УЭС в диапазоне ρ_K = 25-120 Ом·м; второй слой 2 намывных влагонасыщенных грунтов с относительно стабильной величиной УЭС ρ_K = 20-25 Ом·м. Граница между нижними геоэлектрическими слоями 2 и 3 размыта, поскольку намывные и коренные суглинки имеют одинаково высокую естественную влажность (*W=0,24–0,26*).

Маркшейдерско-геодезический метод контроля включал измерения горизонтальных и вертикальных смещений реперов установленных по профильной линии (Rp0÷Rp8) вдоль гребня перемычки (рис. 1). Привязку рабочих реперов и точек геоэлектрических измерений производили электронным тахеометром *Sokkia Set600*. По каждой серии наблюдений выполняли контроль результатов двумя методами: *"измерения расстояний и углов"* и *"координатных измерений"* [2]. Кроме того, на каждой станции выполнялся контроль качества измерений, погрешность всех наблюдений не превышала требований полигонометрии 1 разряда: угловая не более *5″*, линейная *1:10000*.

В каждой серии маркшейдерско-геодезических измерений определяли следующие величины: смещения по осям абсцисс *x*, ординат *y* и высот *z*; векторы горизонтальных смещений $\vec{E}$ и оседаний $\vec{\eta}$; полный вектор смещений $\vec{b}$; скорости горизонтальных смещений V_E и оседаний V_Z; полный

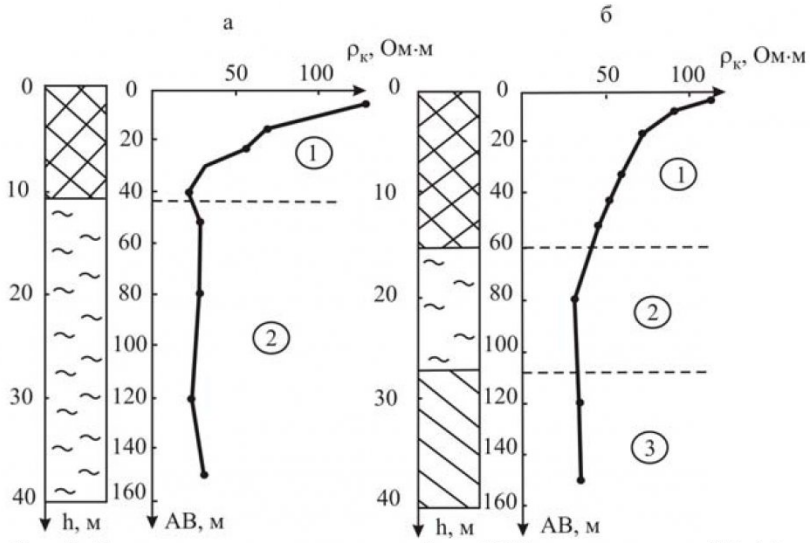

Рис. 2. Геологические колонки и графики ВЭЗ по скважинам №2 (а) и №1 (б):1-насыпной грунт (обломки песчаника, аргиллита, алевролита); 2-намывной грунт (суглинок бурый и серый туго- и мягкопластичный, водонасыщенный); 3-суглинок бурый элювиальный, твердый, влажный

вектор скорости V_b. Наиболее информативными показателями, характеризующими активность протекающих геомеханических процессов в теле перемычки и ее основании, явились скорости горизонтальных V_E и вертикальных V_Z смещений (рис. 3).

В течение всего периода наблюдений (более 16 месяцев) по всей профильной линии на гребне перемычки происходили как оседания, так и горизонтальные смещения реперов. Наибольшие смещения зафиксированы на северном участке объекта на интервале *Rp3÷ Rp8* в зоне максимальной мощности намывных грунтов основания (рис. 1). Максимальные скоро-

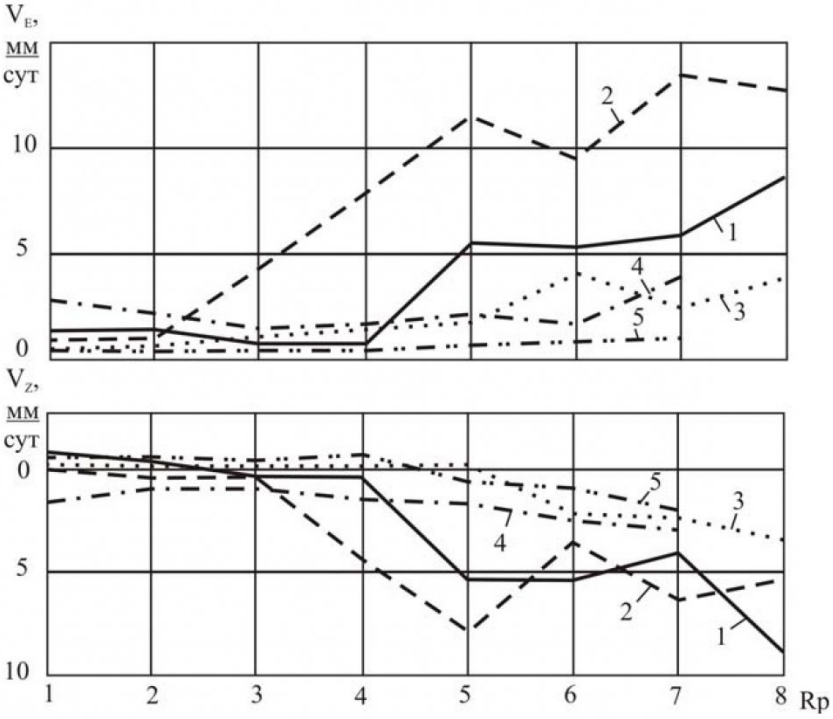

Рис. 3. Графики скоростей горизонтальных V_E и вертикальных V_Z смещений реперов:1–29.05.02; 2–23.07.02; 3–28.08.02; 4–02.09.03; 5–04.10.03

сти смещения реперов (до 14 мм/сут.) приходились на середину сезона гидромеханизации (июль 2002 года). В этот же период на некоторых участках гребня отмечены незначительные по величине (до 0,3 м) локальные просадки насыпного слоя с образованием продольных трещин (длиной до 1,0 м и раскрытием до 20 мм). В районе Rp2 со стороны низового откоса были зафиксированы отдельные выходы фильтрационной воды. Характерные всплески и затухания смещений повторились при наблюдениях в 2003 году, но значения скоростей смещения были значительно ниже ($V_{E\,max}$=4 мм/сут. и $V_{Z\,max}$= 3 мм/сут.).

Параллельно с маркшейдерскими измерениями по профилю *Rp1÷Rp8* выполняли геоэлектрические измерения по схеме электропрофилирования (ЭП). При выборе разноса питающих электродов (АВ=60 м) учитывали расположение верхней границы обводненной зоны, которая устанавливалась по результатам ВЭЗ (рис. 2). В первых сериях геоэлектрических измерений обозначились две явно дифференцированные по УЭС зоны (рис. 4): на интервале реперов *Rp1÷Rp4* УЭС составляло $\rho_к$=*45–55 Ом·м*; на интервале *Rp5÷Rp8* УЭС резко возрасло до уровня $\rho_к$=*75–80 Ом·м*.

Неравномерность изменения УЭС обусловлена различием гранулометрического состава и степени уплотнения грунтов на отдельных участках, а именно: большим содержанием крупных кусков породы (с размером более 200 мм) и образованием пустот внутри тела перемычки, что явилось причиной высоких электросопротивлений в ее северной части. В процессе эксплуатации перемычки происходила консолидация пород, что подтверждено значительными величинами оседаний реперов наблюдательной маркшейдерской станции. Одновременно зафиксировано снижение общего уровня УЭС на указанном участке. В июле 2003 г. уровень УЭС достиг значений $\rho_к$=*55 Ом·м*, а в конце сезона гидромеханизации составил *40 Ом·м*.

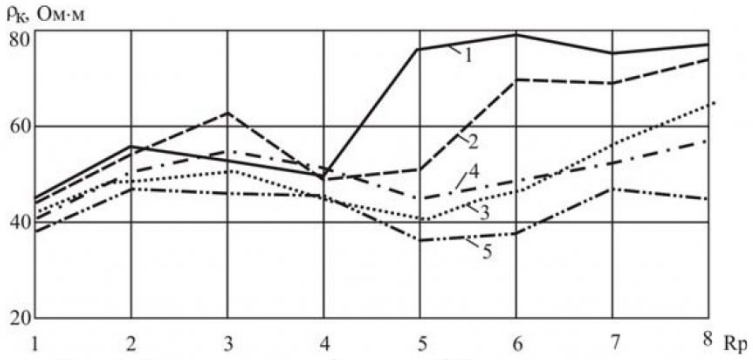

Рис. 4. Результаты продольного ЭП по оси перемычки, совмещенной с профилем реперов: 1–09.07.02; 2–23.07.02; 3–27.09.02; 4–09.07.03; 5–16.10.03

Помимо процесса уплотнения пород геоэлектрический метод контроля позволил обнаружить участок формирования фильтрационного коллектора. В конце 2002 г. в районе *Rp6* был обнаружен выход воды с низовой стороны перемычки. Выполнение дополнительных исследований по профилю вдоль верхней бровки низового откоса, результаты которых изложены в работе [3], позволило установить границы коллектора и определить направление его русла: зарождение коллектора происходило в районе *Rp5*. В южной части перемычки (*Rp1÷Rp4*) изменение УЭС носило более умеренный характер и связано с увеличением водонасыщения грунтов, так как активные стадии водопроявлений со стороны низового откоса сопровождались снижением общего уровня УЭС.

Статистический анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал, что между изменениями компонентов смещений реперов и эффективного УЭС контролируемого массива существует не только качественная, но и количественная взаимосвязь. Результаты компьютерной обработки графиков приведены на рис. 5.

Установлены линейные корреляционные зависимости между исследуемыми параметрами геомеханического состояния массива:

V_E = 3,07+0,28$\Delta\rho_K$,

(при коэффициенте корреляции r = 0,773 и критерии надежно-

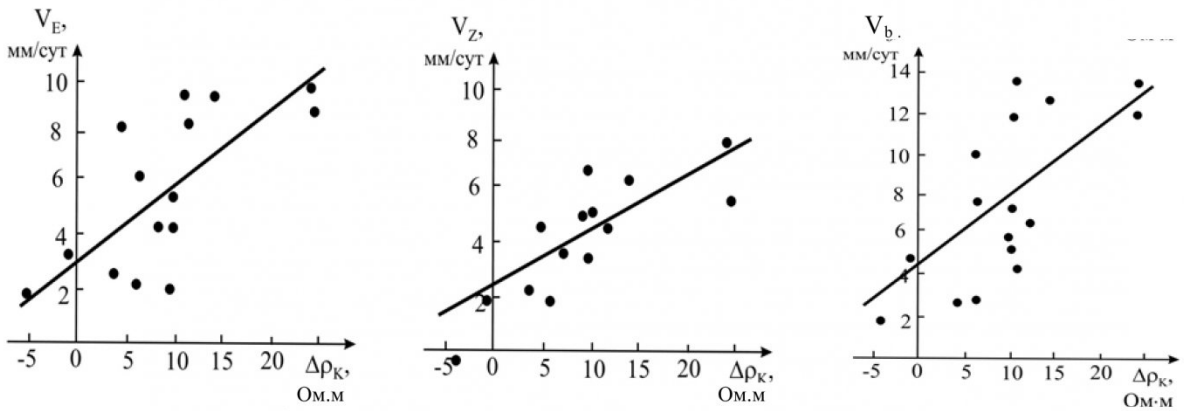

Рис. 5. Зависимости между скоростями горизонтальных V_E, вертикальных V_Z, полных V_b смещений реперов и изменениями УЭС массива перемычки

сти оценки $t = 4{,}39$);

$V_Z = 2{,}39+0{,}2\Delta\rho_K$, ($r = 0{,}677$, $t = 3{,}32$);

$V_b = 4{,}59+0{,}35\Delta\rho_K$, ($r = 0{,}686$, $t = 3{,}34$).

Несмотря на то, что маркшейдерско-геодезический и геоэлектрический методы геоконтроля имеют различную физическую основу и базы измерений, полученные зависимости показывают на возможность их комплексного использования при исследовании геомеханических процессов в техногенных массивах гидротехнических сооружений сложного геологического строения в условиях изменяющейся горнотехнической обстановки.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Простов С.М.* Электрофизические свойства техногенных грунтовых массивов гидротехнических сооружений / С.М. Простов, Е.В. Костюков, М.В. Гуцал // Вестник КузГТУ.–2004.–№3.

2. *Бахаева С.П.* Комплексная оценка геомеханических процессов дамб из грунтовых материалов / С.М. Простов, Е.В. Костюков, Е.А. Серегин // Маркшейдерский вестник.-2003.-№2.-С.62-66.

3. *Костюков Е.В.* Исследование динамики развития фильтрационных коллекторов в теле ограждающей перемычки гидроотвала геоэлектрическим методом / Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева // Вестник КузГТУ.-2004.-№3.

Авторы статьи:

Костюков Евгений Владимирович – аспирант каф. теоретической и геотехнической механики

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

Бахаева Светлана Петровна – канд. техн. наук, зам. директора НФ "КУЗБАСС–НИИОГР"

Серегин Евгений Алексеевич – руководитель группы анализа риска и предотвращения ЧС НФ "КУЗБАСС–НИИОГР"