ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.5

Н.А. Анискин, В.В. Малаханов, А.С. Антонов

НИУ МГСУ

АНАЛИЗ РАБОТЫ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА МИРНИНСКОГО ГОК

Аннотация. Рассмотрены вопросы экологической безопасности хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов, для которой большое значение имеют параметры дренажа оградяющих дамб. Дано описание оградяющей дамбы Мирнинского ГОК и схемы заполнения хвостохранилища. Представлены результаты натурных и модельных исследований дренажной системы оградяющей дамбы хвостохранилища Мирнинского ГОК. Проведен анализ проекта реконструкции дренажной системы. Выдвинуты предложения по его совершенствованию.

Ключевые слова: хвостохранилище, фильтрация, дренаж, пьезометрические наблюдения, коэффициент фильтрации грунтов, кольматация

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.91-102

Надежность и безопасность для окружающей среды хвостохранилищ, являющихся важнейшими составляющими горно-обогатительных комбинатов (ГОК), во многом определяется надежной работой оградяющих дамб [1]. Большое количество таких сооружений в России расположено в суровых климатических условиях, где большую роль в обеспечении их нормальной работы играют фильтрационный и температурный режимы [2, 3]. В соответствии с принятой классификацией, конструкции плотин, возводимых в криолитозоне, могут быть двух типов: с сохранением грунтов в мерзлом состоянии (мерзлый тип) или с допущением их оттаивания (талый тип) [4, 5]. По статистике, почти 70 % аварийных ситуаций низконапорных плотин и дамб в криолитозоне связаны с нарушением или несоблюдением необходимого фильтрационно-температурного режима в первые три года эксплуатации [6–8]. Это может быть вызвано, в частности, неполадками дренажных систем оградяющих дамб хвостохранилищ [9].

Описание конструкции оградяющей дамбы. Хвостохранилище Мирнинского ГОК введено в эксплуатацию осенью 1989 г. Основным сооружением является оградяющая дамба максимальной высотой 72,0 м с отметкой гребня 360,00, земляная, однородная, талая, I класса капитальности. В настоящее время планируется реконструкция дамбы для увеличения емкости хвостохранилища. По проекту реконструкции, предусматривается наращивание дамбы путем возведения трех вторичных оградяющих дамб обвалования. Общая высота дамбы составит 82,0 м с отметкой гребня дамбы 370,00 при отметках НПУ 367,10 и ФПУ 367,50 (рис. 1).

Оградяющая дамба состоит из пионерной дамбы высотой 28,0 м, возведенной из щебня до отметки 317,50 м и выполняющей роль дренажа. С отмет-

ки 317,50 до 346,20 м вторичные дамбы отсыпаны из песка (хвостов). Выше отметки 346,20 м и до отметки 360,00 м вторичные дамбы возведены из щебенистого грунта. По проекту реконструкции отсыпка трех ярусов вторичных дамб выше существующей отметки 360,00 м до проектной отметки 370,00 м также выполняется из щебня. Ширина гребня дамб первых двух ярусов 10 м, третьего 14 м, заложение откосов 1 : 1,5.

Заполнение хвостохранилища происходит в теплый период года (май–октябрь) путем гидроукладки хвостов рассредоточенным способом «от плотины к берегам». Предусматривается формирование пляжа шириной не менее 50 м.

Рис. 1. Поперечный разрез ограждающей дамбы хвостохранилища

При такой схеме обеспечивается лучшее фракционирование хвостов по крупности и плотности частиц материала в пределах упорной призмы по принципу обратного фильтра. Это позволяет достичь большей плотности укладки материала и увеличить устойчивость низового откоса, уменьшить потери воды на фильтрацию через тело ограждающей дамбы и предотвратить кольматацию щебня вторичных ограждающих дамб. В этом случае вторичные дамбы обвалования, как и пионерная дамба, выполняют роль дренажа.

Общий фильтрационный расход через дамбу составляет около 2200 м³/ч (0,6 м³/с) и поступает в маневренную емкость — пруд ниже хвостохранилища.

Хвостохранилище расположено в Якутии в зоне многолетнемерзлых пород со среднегодовой температурой воздуха минус 7,7 °С в 5-балльной сейсмической зоне. На участке района хвостохранилища до глубины 120 м вскрыты породы кембрия (мергели, известняки, песчаники) прорывающие их интрузии девона (долерита). В основании дамбы залегают чистые суглинки и суглинки с примесью щебня, мерзлые сезонно протаивающие, слабо льдистые и пластично мерзлые со средней температурой –1,00 °С. Тело дамбы представлено техногенными и элювиальными четвертичными образованиями, как мерзлыми, так и талыми. В летний период тело дамбы находится в мерзлом и сезонно-талом состоянии. На крыльях дамбы кровля многолетнемерзлых грунтов достигает 2 м, в центральной части дамбы она опускается до 100 м.

Задачи исследований. Для изучения вопроса о реконструкции существующей дамбы и ее дренажной системы решены следующие задачи:

- произведена оценка необходимости и возможности строительства, работоспособности и ремонтпригодности трубчатого дренажа по предлагаемому проекту реконструкции;
- дана оценка возможной замены трубчатого дренажа на намывной экран дамбы (пляжа) увеличенной длины сверх проектных 50 м;
- предложены альтернативные, менее капиталоемкие варианты дренажного устройства.

Анализ работы существующего дренажа. На действующей ограждающей дамбе в нижнем бьефе по правому и левому склонам долины выполнена дренажная канава глубиной до 2,5 м, заполненная щебнем без устройства обратного фильтра. Дренажная канава обеспечивает в основном отвод дождевых и талых вод на склонах долины вдоль низового откоса дамбы, а также фильтрационный потока под вторичными ограждающими дамбами.

В период эксплуатации с 1989 г. за вторичными дамбами обвалования не наблюдались выходы фильтрующейся воды на дневную поверхность. Вместе с тем зимой отмечено образование наледей вдоль трассы дренажа на отметках 320,00...330,00 м, что свидетельствует о поступлении воды в дренаж со стороны хвостохранилища под вторичными дамбами, выполненными из намывных песков. В процессе эксплуатации также наблюдается замачивание летом и обледенение зимой двух участков левого склона долины в створе гребня пионерной дамбы (рис. 2). Это свидетельствует о формирующемся здесь сосредоточенном глубинном фильтрационном потоке, что подтверждается и результатами геофизического и мерзлотного контроля.

Рис. 2. Данные натурных наблюдений, план изолиний удельных электрических сопротивлений (на глубине 3 м от дневной поверхности)

Процесс фильтрации на хвостохранилище можно представить следующим образом. Основным дренажем ограждающей дамбы хвостохранилища служит пионерная дамба (см. рис. 1). В срединной части ограждающей дамбы фильтрующая вода движется по нормали к вторичным дамбам обвалования и пионерной дамбе через толщу намывных хвостов. На участках примыкания вторичных дамб обвалования к бортам (склонам долины) фильтрующая вода движется по нормали к вторичным дамбам обвалования, а затем разворачивается и направляется вдоль примыкания в сторону пионерной дамбы, поскольку на пути по нормали она встречает водонепроницаемые многолетнемерзлые грунты основания. Таким образом, фильтрация в теле хвостохранилища носит явно выраженный пространственный характер.

На участках примыкания ограждающей дамбы к левому склону на отметках от 317,50 до 346,20 м, где вторичные дамбы отсыпаны из песка (хвостов), наблюдается поступление фильтрующейся воды в дренажную канаву. Об этом свидетельствует образование на этом участке зимой наледей, что связано с недостаточной пропускной способностью существующей дренажной канавы и выходом фильтрующейся воды на дневную поверхность.

За период эксплуатации щебень в дренажной канаве был замыв покровными супесчаными и песчаными грунтами, что снизило его коэффициент фильтрации и пропускную способность. Эти изменения в работе дренажа могут привести при росте напора к развитию эрозии склона и снижению устойчивости низового откоса ограждающей дамбы.

Анализ проекта реконструкции ограждающей дамбы и дренажа. По проекту реконструкции предусмотрено наращивание гребня дамбы с отметки 360,00 м до отметки 370,00 м с устройством горизонтального трубчатого дренажа за низовым откосом ограждающей дамбы по правому и левому склонам долины. Трубчатый дренаж предназначен для снижения кривой депрессии в теле дамбы и отвода фильтрующейся воды. Общая длина трубчатого дренажа составляет 3344 м. По левому склону долины длина трубчатого дренажа составляет 1880 м, он выполнен в виде двухслойных гофрированных перфорированных пластиковых труб ПНД $\varnothing = 250$ (216) мм. По правому склону длина трубчатого дренажа составляет 1464 м, он выполнен в виде двухслойных гофрированных перфорированных пластиковых труб ПНД $\varnothing = 315$ (271) мм. Трубы дренажа по условиям недопущения их промерзания размещаются в дренажных канавах на глубине 4 м с последующей засыпкой обратным фильтром. Обратный фильтр состоит из камня с диаметром фракций 10...50 мм и слоя песка с диаметром фракций 1...3 мм. Минимальная толщина слоев обратного фильтра составляет 20 см. На трассе трубчатого дренажа предусматривается устройство нескольких смотровых колодцев, а на концевых участках дренажа устроен электроподогрев отводящих дренажных труб греющим кабелем: по левому борту длина обогреваемого участка 64,0 м, а по правому борту — 21,0 м.

По предлагаемому проекту реконструкции дренажной системы имеются следующие замечания.

При устройстве обратного фильтра песок крупностью 1...3 мм отсыпается на слой щебня с размерами фракций 10...50 мм. Известно, что условие непротсыпаемости одного грунта через поры другого имеет следующий вид [9]:

$$d''_{10} \leq d'_{50} / \alpha_n, \quad (1)$$

где d''_{10} — диаметр частиц второго слоя фильтра 10%-й обеспеченности; d'_{50} — диаметр частиц первого слоя фильтра 50%-й обеспеченности; α_n — коэффициент, учитывающий пористость грунтов n .

Для рассматриваемого фильтра из щебня $d''_{10} = 14$ мм и песка $d'_{50} = 2$ мм при $\alpha_n = 0,155$ получим: $14 \leq 2 \text{ мм} / 0,155 = 13 \text{ мм}$.

Таким образом, условие непротсыпаемости формально не выполняется, но лучше утверждать, что приблизительно соблюдается равенство в условии (1). Однако следует учесть, что при разнотерности используемого песка, равной 3, коэффициент α_n несколько больше (см. график на рис. 3.19 [8]). Тогда условие (1) не будет выполняться. Известно, что диаметр пор грунта равен 1/7 диаметра частиц грунта, поэтому при укладке песка размером 1...3 мм поверх промытого камня размером 10...50 мм с порами диаметром от 1,4 до 7 мм, песок будет частично просыпаться в поры камня. Это вызовет снижение водопроницаемости каменной обсыпки трубы дренажа, а в дальнейшем при фильтрации воды — просадку насыпи и кольматацию фильтра глинистыми частицами покровных суглинков с последующим заиливанием тканевой обертки трубы дренажа.

Устройство предлагаемой конструкции трубчатого обогреваемого пластикового дренажа связано с трудновыполнимой в летний период года бездефектной укладкой дренажных труб и отсыпкой обратного фильтра. Все это должно производиться в условиях глубокой (до 4 м) траншеи в мерзлых грунтах и при ее обводнении. Также неизбежны значительные затраты на строительство дренажа и особенно его эксплуатацию, когда потребуется создание целой службы по контролю его работы и обслуживанию. Однако даже это не будет гарантировать его надежную работу в многолетней перспективе.

Для решения поставленных вопросов необходимо было провести исследования фильтрационного и температурного режимов дамбы. Вопросам расчетов фильтрационного, температурного и совместного температурно-фильтрационного режимов грунтовых плотин и их оснований посвящено множество научных исследований как в России, так и за рубежом [10–15]. В последние годы для решения подобных задач широко используется математическое моделирование [16–21]. Однако большинство программных комплексов, в т.ч. и промышленных, выполняют решения задач фильтрации или температурных задач без учета совместной работы этих двух процессов. Ниже приводятся методика и некоторые результаты решения одной из частей совместной задачи — фильтрационной.

Математическая модель фильтрации. Для решения вопросов влияния пляжной зоны на работу дренажа и оценки проницаемости пионерной дамбы были выполнено математическое моделирование фильтрации на левобережном примыкании дамбы.

Для решения фильтрационной задачи в работе используется математическое моделирование методом конечных элементов в локально-вариационной постановке [19]. Метод базируется на решении основного дифференциального уравнения фильтрации. В случае решения в пространственной постановке для неустановившегося процесса данное уравнение записывается в виде уравнения Пуассона [9]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] - \mu \frac{\partial H}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

где K_x , K_y , K_z — коэффициенты фильтрации (по направлению координатных осей); $H = f(x, y, z, t)$ — искомая напорная функция в расчетной области, изменяющаяся во времени t ; μ — коэффициент водоотдачи грунта.

Современные, часто используемые универсальные промышленные программные комплексы конечно-элементного моделирования (ANSIS, Plaxis) [17, 20, 22, 23] редко предусматривают возможность решения задачи на основе дифференциального уравнения фильтрации (2), вследствие чего приходится прибегать к аналогиям.

В данной работе использовалась аналогия между фильтрационными и температурными задачами. В рамках температурной аналогии решение задачи фильтрации базируется на использовании дифференциального уравнения теории теплопроводности [9].

Решение фильтрационных задач проводилось с помощью универсального промышленного программного комплекса конечно-элементного моделирования на платформе ANSYS Mechanical APDL [22, 23].

Задачи и результаты моделирования фильтрационного режима. Для определения фильтрационного режима ограждающей дамбы была разработана пространственная имитационная математическая модель (рис. 3).

Модель описывает грунтовую дамбу, низовую упорную призму, дренаж, нижний маневровый бассейн и пляж.

Рис. 3. Твёрдотельная аппроксимация грунтовой плотины Мирнинского ГОКа

В ходе выполнения моделирования фильтрации были поставлены и решены следующие задачи.

1. В процессе заполнения хвостохранилища происходит кольтматирование — заполнение пор щебня песчаными фракциями хвостов. Это снижает коэффициент фильтрации пионерной дамбы и приводит к подъему кривой депрессии в теле дамбы. Для оценки влияния этого процесса была выполнена серия расчетов фильтрации по сечению максимальной высоты хвостохранилища при варьировании значений коэффициента фильтрации пионерной дамбы. Критерием для определения действительной величины коэффициента фильтрации пионерной дамбы служило сравнение положения расчетной кривой депрессии с показаниями пьезометров в рассматриваемом сечении. Наилучшее совпадение получено при величине коэффициента фильтрации 50 м/сут. Это значение и было использовано в дальнейших расчетах.

2. Были выполнены расчеты фильтрации при различных длинах пляжа (50, 70, 100 и 150 м) для нескольких сечений оградительной дамбы. Результаты для сечения дамбы с максимальной высотой даны на рис. 4. Как показали расчеты, влияние длины пляжа на положение кривой депрессии выражено слабо.

Рис. 4. Положение депрессионной кривой при изменении длины пляжа: *а* — 50 м; *б* — 70 м; *в* — 100 м

3. Были выполнены расчеты фильтрации для вторичных дамб без устройства дренажа и для трех вариантов дренажа с дренажной канавой глубиной 2, 4 м, и с дренажной канавой глубиной 4 м и засыпкой щебнем. Влияние конструкций дренажа выражено более очевидно. Кривая депрессии значительно снижается при конструкции дренажа в виде дренажной канавы глубиной 4 м с засыпкой ее щебнем.

Результаты фильтрационных расчетов на следующих этапах исследований могут использоваться для решения совместных температурно-фильтрационных задач [24] и оценки устойчивости откосов дамбы и ее напряженно-деформированного состояния [25, 26].

Выводы. На основе анализа результатов математического моделирования, натурных фильтрационных, геофизических и температурных наблюдений и проекта реконструкции трубчатого дренажа с обогревом были сформулированы следующие выводы.

1. Необходимость реконструкции существующей дренажной системы хвостохранилища обоснована результатами натурных геофизических, мерзлотных, фильтрационных исследований. Устройство предлагаемой конструкции дренажа связано с технологическими трудностями и значительными затратами при его эксплуатации. *Работоспособность проектного дренажа не обеспечена* из-за возможной кольматации обратного фильтра в результате просыпки песка в щебень, что было показано выше. *Ремонтопригодность проектного дренажа затруднена.*

2. Влияние длины пляжной зоны на положение депрессионной поверхности выражено слабо, поэтому *увеличение длины намывного экрана дамбы не позволит отказаться от устройства дренажа.* Однако удлинение пляжной зоны повысит надежность дамбы при возможном развитии суффозионных процессов на контакте вновь возводимых вторичных дамб с основанием. Длину пляжной зоны можно удлинять сверх проектных 50 м в процессе эксплуатации в районе примыкания наращиваемого участка дамбы к склонам (бортам долины) по мере необходимости по результатам натурных наблюдений.

3. В качестве альтернативных, менее капиталоемких вариантов предлагаются два варианта дренажа:

- в виде дренажной канавы глубиной 4 м с выстиланием ее ложа фильтрующим геосинтетическим материалом (типа «Террам», «Славрос», «Полифельт» и др.) и заполнением канавы щебнем, что позволит отказаться от устройства дорогого обратного фильтра и значительно упростит и удешевит производство работ;
- в виде наклонного дренажа путем отсыпки щебня по геосинтетическому полотнищу по низовым откосам вторичных дамб и поверх существующего дренажа с предварительной частичной выемкой закольматированного щебня, что позволит значительно ускорить и упростить выполнение дренажа и обеспечит его надежную работу в процессе длительной эксплуатации.

Библиографический список

1. McFadden T.T., Bennet F.L. Constraction in cold regions. New-York : Jonh Willey&sons, 1991. 615 p.

2. Гузенков С.Н., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Надежность хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. Белгород : Везелица, 2007. 674 с.
3. Phukan A. Frozen ground engineering. New Jersey : Prentice Hall Eglewood Cliffs, 1985. 336 p.
4. Гулый С.А. Анализ работы плотины, перешедшей с мерзлого на талый тип эксплуатации (на примере плотины АрГРЭС) на р. Мяунджа // Проблемы инженерного мерзлотоведения : материалы IX Междунар. симпозиума (г. Мирный, 3–7 сентября 2011 г.). Якутск : УРАН ИМЗ СО РАН, 2011. С. 238–242.
5. Cavanagh P.C., Tchekhovski A. Design and performance of a frozen core dam in Cape Dorsel, Nunavut // AMEC Earth and Environmental, GEO2010, Calgary, Alberta, 2010. Pp. 625–633.
6. Foster M., Fell R., Spannagle M. The statistics of embankment dam failures and accidents // Canadian Geotechnical Journal. 2000. Vol. 37. No. 5. Pp. 1000–1024.
7. Zhang R.V. Monitoring of small and medium embankment dams on permafrost in a changing climate // Sciences in Cold and Arid Regions. 2014. Vol. 6. Issue 4. Pp. 348–355.
8. Чжан Р.В. Геокриологические принципы работы грунтовых плотин в криолитозоне в условиях меняющегося климата // Фундаментальные исследования. 2014. № 9–2. С. 288–296.
9. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малаханов В.В., Бестужева Л.Н. Гидротехнические сооружения (речные) : в 2-х чч. / под ред. Л.Н. Рассказова. 2-е изд., испр. и доп. М. : Изд-во АСВ, 2011. Ч. 1. 581 с.
10. Береславский Э.Н., Александрова Л.А., Пестерев Е.В. Математическое моделирование фильтрационных течений под гидротехническими сооружениями // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2009. Т. 5. № 16. С. 32–46.
11. Мархилевич О.К. Применение методов моделирования геофильтрации при проектировании гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2009. № 4. С. 61–72.
12. Yousefi S., Noorzad A., Ghaemian M., Kharaghani S. Seepage Investigation of Embankment Dams using Numerical Modelling of Temperature Field // Indian Journal of Science and Technology. 2013. Vol. 6 (8). Pp. 5078–5082.
13. Bussiere B., Chapuis R.P., Aubertin M. Unsaturated flow modelling for exposed and covered tailings dams // ICOLD Conference, Montreal. 2003.
14. Rakhshandehroo G., Bagherieh A. Three dimensional analysis of seepage in 15-Khordad dam after impoundment // Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering. 2006. Vol. 30. Issue. B1. Pp. 55–68.
15. Chen Q., Zhang L.M. Three-dimensional analysis of water infiltration into the Gouhou rockfill dam using saturated-unsaturated seepage theory // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43 (5). Pp. 449–461.
16. Li Yuan, Jia Lei. The Analysis of the Seepage Characteristics of Tailing Dams Based on FLAC3D Numerical Simulation // The Open Civil Engineering Journal. 2015. Vol. 9. Pp. 400–407.
17. Zhao X.-X., Zhang B.-L., Wang Z.-M. Stability analysis of seepage flow through earth dam of Huangbizhuang Reservoir based on ANSYS/APDL // Wang Zongming, 2005.
18. Finn W.D.Liam. Finite-element analysis of seepage through dams // J. Soil Mechanic Foundation Div. 1967. 93 (6). Pp. 41–48.
19. Анискин Н.А. Температурно-фильтрационный режим основания и плотины Курейской ГЭС во втором правобережном понижении // Вестник МГСУ. 2006. № 2. С. 43–52.

20. Aniskin N.A., Antonov A.S. Development geo-seepage models for solving seepage problems of large dam's foundations, on an example of ANSYS Mechanical APDL // Advanced Materials Research. 2015. Vols. 1079–1080. Pp. 198–201.
21. Aniskin N.A., Antonov A.S. Studding of geo-seepage mode of large dams foundations with allowance failure antifiltering elements // Advanced Materials Research. 2015. Vols. 1079–1080. Pp 272–275.
22. ANSYS Mechanical APDL. Documentation. Режим доступа: <http://www.ansys.com>.
23. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. М. : ДМК, 2005. 639 с. (Проектирование)
24. Korshunov A.A., Doroshenko S.P., Nevzorov A.I. The impact of freezing-thawing process on slope stability of earth structure in cold climate // Advances in Transportation Geotechnics 3 : the 3rd International Geotechnics (ICTG 2016). Procedia Engineering. 2016. Vol. 143. Pp. 682–688.
25. Kamanbedast A., Delvari A. Analysis of Earth Dam: Seepage and Stability Using Ansys and Geo-Studio Software // World Applied Sciences Journal. 2012. 17 (9): Pp. 1087–1094.

Поступила в редакцию в ноябре 2016 г.

Об авторах: **Анискин Николай Алексеевич** — доктор технических наук, профессор, директор института гидротехнического и энергетического строительства, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва. Ярославское шоссе, д. 26, nikolai_aniskin@mail.ru;

Малаханов Вячеслав Васильевич — кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва. Ярославское шоссе, д. 26, vvmalakhnov@mail.ru;

Антонов Антон Сергеевич — аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва. Ярославское шоссе, д. 26, Antonov.An.S.@yandex.ru.

Для цитирования: *Анискин Н.А., Малаханов В.В., Антонов А.С. Анализ работы дренажной системы дамбы хвостохранилища Мирнинского ГОК // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 91–102. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.91-102*

N.A. Aniskin, V.V. Malakhanov, A.S. Antonov

OPERATIONAL ANALYSIS OF THE TAILINGS BUND WALL DRAINAGE SYSTEM AT MIRNY ORE MINING AND PROCESSING ENTERPRISE

Abstract. Issues of environmental safety of tailings of ore mining and processing enterprises are considered; parameters of drainage of bund walls are of great significance for the environmental safety. Description of the bund wall of Mirny ore mining and processing enterprise and the tailings filling layouts are given. Results of field observation and model study of the tailings bund wall drainage system at Mirny ore mining and processing enterprise are presented. The drainage system rebuilding project analysis was performed. Proposals for its improvement were set forward.

Key words: tailings, filtration, drainage, piezometric observations, soil permeability, mudding

References

1. McFadden T.T., Bennet F.L. Construction in Cold Regions. New-York : Jonh Wiley&sons, 1991. 615 p.
2. Guzenkov S.N., Stefanishin D.V., Finagenov O.M., Shul'man S.G. *Nadezhnost' khvostovykh hozhaystv obogatitel'nykh fabrik* [Reliability of Tailings Facilities of Ore-Dressing Plants]. Belgorod, Vezelitsa Publ., 2007, 674 p. (In Russian)
3. Phukan A. Frozen Ground Engineering. New Jersey : Prentice Hall Eglewood Cliffs, 1985. 336 p.
4. Gulyy S.A. Analiz raboty plotiny, pereshedshey s merzlogo na talyy tip ekspluatatsii (na primere plotiny ArGRES) na r. Myaundzhe [Operational Analysis of the Dam Transferred from Frozen to Unfrozen Type of Operation (as Exemplified by the ArGRES, Arkagalinskaya State Regional Power Station) Dam on the Myaundzha River]. *Problemy inzhenernogo merzlotovedeniya : materialy IX Mezhdunarodnogo simpoziuma (g. Mirnyy, 3–7 sentyabrya 2011 g.)* [Problems of Engineering Permafrostology : Proceedings of the IX Intern. Symposium (Mirny, September, 3–7, 2011)]. Yakutsk, URAN IMZ SO RAN Publ., 2011, pp. 238–242. (In Russian)
5. Cavanagh P.C., Tchekhovski A. Design and Performance of a Frozen Core Dam in Cape Dorsel, Nunavut. AMEC Earth and Environmental, GEO2010, Calgary, Alberta, 2010, pp. 625–633.
6. Foster M., Fell R., Spannagle M. The Statistics of Embankment Dam Failures and Accidents. Canadian Geotechnical Journal. 2000, vol. 37, no. 5, pp. 1000–1024.
7. Zhang R.V. Monitoring of Small and Medium Embankment Dams on Permafrost in a Changing Climate. Sciences in Cold and Arid Regions. 2014, vol. 6, issue 4, pp. 348–355. DOI: 10.3724/SP.J.1226. 2014. 00348
8. Chzhan R.V. Geokriologicheskie printsipy raboty gruntovykh plotin v kriolitozone v usloviyakh menyayushchegosya klimata [Geocryological Principles of Operation of Ground Dams in Cryolithozone in the Varying Climate Conditions]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2014, no. 9–2, pp. 288–296. (In Russian)
9. Rasskazov L.N., Orekhov V.G., Aniskin N.A., Malakhanov V.V., Bestuzheva L.N. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya (rechnye) : v 2-h ch.* [Hydraulic Engineering Structures (River Type) : in 2 parts]. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, ASV Publ., 2011, part 1, 581 p. (In Russian)
10. Bereslavskiy E.N., Aleksandrova L.A., Pesterev E.V. Matematicheskoe modelirovanie fil'tratsionnykh techeniy pod gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami [Mathematical Modeling of Filtration Flows below Hydraulic Engineering Structures]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika* [Scientific Journal of Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics]. 2009, vol. 5, no. 16, pp. 32–46. (In Russian)
11. Markhilevich O.K. Primenenie metodov modelirovaniya geofil'tratsii pri proektirovanii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Application of Geofiltration Modeling Methods in Design of Hydraulic Engineering Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering Construction]. 2009, no. 4, pp. 61–72. (In Russian)
12. Yousefi S., Noorzad A., Ghaemian M., Kharaghani S. Seepage Investigation of Embankment Dams using Numerical Modelling of Temperature Field. Indian Journal of Science and Technology. 2013, vol. 6 (8), pp. 5078–5082.
13. Bussiere B., Chapuis R.P., Aubertin M. Unsaturated Flow Modelling for Exposed and Covered Tailings Dams. ICOLD Conference, Montreal. 2003.
14. Rakhshandehroo G., Bagherieh A. Three Dimensional Analysis of Seepage in 15-Khordad Dam after Impoundment. Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering. 2006, vol. 30, issue. B1, pp. 55–68.
15. Chen Q., Zhang L.M. Three-dimensional Analysis of Water Infiltration into the Gouhou Rockfill Dam Using Saturated-unsaturated Seepage Theory. Canadian Geotechnical Journal. 2006, vol. 43 (5), pp. 449–461.
16. Li Yuan, Jia Lei. The Analysis of the Seepage Characteristics of Tailing Dams Based on FLAC3D Numerical Simulation. The Open Civil Engineering Journal. 2015, vol. 9, pp. 400–407.

17. Zhao X.-X., Zhang B.-L., Wang Z.-M. Stability Analysis of Seepage Flow Through Earth Dam of Huangbizhuang Reservoir based on ANSYS/APDL. Wang Zongming, 2005.
18. Finn W.D.Liam. Finite-element Analysis of Seepage Through Dams. J. Soil Mechanic Foundation Div. 1967, 93 (6), pp. 41–48.
19. Aniskin N.A. Temperaturno-fil'tratsionnyy rezhim osnovaniya i plotiny Kureyskoy GES vo vtorom pravoberezhnom ponizhenii [Temperature-Filtration Mode of Foundation and Dam of Kureyskaya GES (Hydro Power Station) in the Second Right Bank Low]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2006, no. 2, pp. 43–52. (In Russian)
20. Aniskin N.A., Antonov A.S. Development Geo-seepage Models for Solving Seepage Problems of Large Dam's Foundations, on an Example of ANSYS Mechanical APDL. Advanced Materials Research. 2015, vols. 1079–1080, pp. 198–201. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1079-1080.198
21. Aniskin N.A., Antonov A.S. Studying of Geo-seepage Mode of Large Dams Foundations with Allowance Failure Antifiltration Elements. Advanced Materials Research. 2015, vols. 1079–1080, pp 272–275. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1079-1080.272
22. ANSYS Mechanical APDL. Documentation. Available at: <http://www.ansys.com>.
23. Basov K.A. *ANSYS: spravochnik pol'zovatelya* [ANSYS: User Directory]. Moscow, DMK Publ., 2005, 639 p. (Proektirovanie [Designing]). (In Russian)
24. Korshunov A.A., Doroshenko S.P., Nevzorov A.I. The Impact of Freezing-thawing Process on Slope Stability of Earth Structure in Cold Climate. Advances in Transportation Geotechnics 3 : the 3rd International Geotechnics (ICTG 2016). Procedia Engineering. 2016, vol. 143, pp. 682–688.
25. Kamanbedast A., Delvari A. Analysis of Earth Dam: Seepage and Stability Using Ansys and Geo-Studio Software. World Applied Sciences Journal. 2012, 17 (9), pp. 1087–1094.

About the authors: **Aniskin Nikolay Alekseevich** — Doctor of Engineering, Professor, Director of Institute of Hydrotechnical and Energy Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, nikolai_aniskin@mail.ru;

Malakhanov Vyacheslav Vasilyevich — Candidate of Engineering, Associate Professor of Hydraulics and Hydraulic Engineering Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, vmalakhanov@mail.ru;

Antonov Anton Sergeevich — postgraduate student of Department of Hydraulics and Hydrotechnical engineering, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, Antonov.An.S.@yandex.ru.

For citation: Aniskin N.A., Malakhanov V.V., Antonov A.S. Analiz raboty drenazhnoy sistemy damby khvostokhranilishcha Mirninskogo GOK [Operational Analysis of the Tailings Bund Wall Drainage System at Mirny Ore Mining and Processing Enterprise]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 12, pp. 91–102. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.91-102