

УДК 627.431

БЕСИМБАЕВА О.Г.,
НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К.,
ДОЛГОПОСОВ В.И.Расчет устойчивости откосов ограждающих дамб
золоотвалов

Безопасная и эффективная работа золоотвала Топарской ГРЭС № 2 возможна при организации наблюдений за состоянием устойчивости откосов ограждающих и внутренних разделительных дамб. Исследуемый золоотвал овражного типа образован ограждающими дамбами № 1, № 3 и хвостовой частью дамбы № 3, а также природными возвышенностями. Рельеф основания всей площади золоотвала имеет общий понижающий уклон в сторону ограждающих дамб № 1, № 3.

При гидравлической укладке золошлакового материала в отвал ограждающие дамбы подвергаются гидравлическому давлению этого материала в водонасыщенном состоянии (или воды отстойного пруда), а также воздействию фильтрационного потока.

Гидрогеологические условия всех дамб Топарской ГРЭС определяются наличием золоотстойников – сбросные, технические воды и атмосферные осадки, инфильтруясь через золу и дресвяно-щебневы прослойки в теле дамб, подпитывают природные грунтовые воды, приуроченные к элювиальным грунтам (кора выветривания скальных пород). Анализ материалов прошлых лет [1] по золоотвалу показывает повышение уровня подземных вод в связи с наращиванием дамб и расширением золоотвала. Скорость подъема уровня грунтовых вод в теле дамб обуславливается литологическим составом грунтов и достигает 0,5 м в год.

Разведочными работами золоотвала Топарской ГРЭС установлено, что происходит фильтрация из водохранилища под телом ограждающих дамб № 1 и № 3 через мелкие пески четвертичного возраста. Частичную фильтрацию можно предполагать в обход дамбы через дресвяно-щебневы породы девона и на отдельных участках через тело плотины. Фильтрация имеет напорно-безнапорный характер движения: напорный – под плотиной, свободный – в обход плотины и в нижнем бьефе. Депрессионная кривая имеет сложную форму, понижаясь к центру тела дамбы в продольном и поперечном профилях. В верхнем бьефе воды вскрыты на глубинах от 0.0 до 5.60-9.0 м, по оси дамбы – на глубинах 3.40-12.0 м. В нижнем бьефе воды залегают на глубине 0.50-1.40 м.

Устойчивость ограждающих и разделительных дамб хвостохранилищ определяется комплексом инженерно-геологических, гидрогеологических и техногенных факторов, из которых наибольшее влияние оказывают следующие: физико-механические характеристики грунтов и хвостов; технология возведения и эксплуатации сооружения; характер основания; гидродинамические, гидростатические, сейсмические и динамические силы.

При расчетах устойчивости откосов ограждающих дамб хвостохранилищ необходимо учитывать, что физико-механические характеристики тела дамбы

претерпевают существенные изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения за счет: неравномерности намыва и заполнения секций золоотвала, изменения пьезометрического уровня воды, фильтрации и выноса глинистых частиц из тела дамбы, температурного режима, наращивания высоты дамбы, влияния транспортных средств и т.п.

С геомеханической точки зрения ограждающее намывное сооружение представляет собой водонасыщенный массив, который находится в динамическом состоянии. В результате намыва отходов происходит рост ограждающего сооружения в высоту, что приводит к деформациям намывного массива. С появлением прудка и по мере роста высоты сооружения в нем происходит изменение фильтрационного режима.

В процессе строительства и эксплуатации насыпных ограждающих дамб сталкиваются с различными видами фильтрации воды. Различают фильтрационные потоки допустимые, которые в случае принятия соответствующих мер не являются опасными для сооружения, и недопустимые, которые представляют угрозу для устойчивости сооружения. Возникновению опасных сосредоточенных фильтрационных потоков могут способствовать недостаточное и нетщательное уплотнение отсыпаемого грунта; таяние льда, попавшего в насыпь во время отсыпки грунта; неравномерная осадка основания.

Для обоснования устойчивости откосов ограждающих дамб требуется детальное изучение всех факторов, влияющих на процесс сдвижения пород насыпного сооружения, при этом решающее значение приобретает выбор способа расчета, который отвечает бы конкретным гидрогеологическим условиям и физико-механическим свойствам пород, слагающих тело дамб и их оснований.

Разнообразие инженерно-геологических и гидротехнических условий, технических решений по возведению ограждающих дамб и способов их наращивания в процессе работы золоотвалов, намываемых гидротранспортом, предопределило наличие разных способов расчета устойчивости откосов насыпных сооружений, учитывающих конкретные случаи нарушения целостности ограждающих дамб.

Исследуемые способы расчета производят оценку состояния отдельных элементов ограждающего сооружения (устойчивость низового откоса, откоса дамбы и отдельных плоских прослоек дамбы с глинистым экраном). Однако золошлаковые отвалы представляют собой единую технологическую систему, которые занимают значительные территории с разной топографией земной поверхности, различными условиями намыва и сроком эксплуатации, имеют общее для всех ограждающих и разделительных дамб основание. Поэтому необходимо при расчетах устойчивости рассматривать влияние на состояние ограждаю-

щих дамб обводненности пород тела дамб и грунтов основания и дополнительных нагрузок со стороны шлакоотвала.

Анализ существующих методик и решений показал, что основное внимание в них уделено устойчивости собственно откоса дамбы и влиянию гравитационных и фильтрационных сил. По нашему мнению, недостаточно изучены вопросы устойчивости единой механической системы «шлакоотвал-дамба» и собственно дамбы по основанию с учетом изменяющихся во времени физико-механических свойств грунтов тела дамб и их основания, геометрических параметров сооружения, степени обводненности шлакоотвала и сдвигающего действия сил гидростатического давления. Для решения данной задачи разработаны научно-методические основы расчета устойчивости ограждающих дамб шлакоотвалов и прочих хвостохранилищ, имеющих высокую степень обводненности.

Разработаны две расчетные схемы устойчивости системы «шлакоотвал-дамба» и устойчивости дамбы при сдвигающем действии сил гидростатического давления. Наиболее важные особенности предложенных решений в рамках совершенствования методики расчета устойчивости ограждающих дамб и шлакоотвалов состоят в следующем:

1) разработана расчетная схема устойчивости системы «шлакоотвал-дамба», которая учитывает соотношение сдвигающих и удерживающих сил, действующих по основанию дамбы и шлакоотвала, которая позволяет оценить степень устойчивости данной механической системы;

2) разработана расчетная схема устойчивости дамбы по её основанию, учитывающая сдвигающее действие сил гидростатического давления при высокой степени обводненности шлакоотвала. В соответствии с законом Паскаля величина гидростатического давления линейным образом зависит от глубины шлакоотвала, а эпюра имеет треугольную форму.

На рисунке 1 представлена расчетная схема системы «шлакоотвал-дамба», которая учитывает геометрические параметры сооружения, взаимодействие

элементов системы «шлакоотвал – дамба», степень обводненности шлакоотвала и топографию земной поверхности.

Для оценки состояния ограждающей дамбы строится поперечный профиль по известным геометрическим параметрам дамбы, шлакоотвала и углу наклона основания шлакоотвала. Схема разбивается на расчетные элементы, определяются сдвигающие и удерживающие силы, оказывающие воздействие на дамбу.

Рассмотрим устойчивость системы «шлакоотвал-дамба».

I. Выполняем расчет первого элемента системы (дамбы).

Определяем вес дамбы с учетом треугольника C1DF:

$$P_{дам} = S_{ABCD} \cdot \gamma_{дам} + S_{C1DF} \cdot \gamma_{ш}, \quad (1)$$

где S_{ABCD} и S_{C1DF} – площади фигур на рисунке 1.

Вычисляем нормальные силы блока, действующие на основание AD:

$$N_{\delta} = P_{\delta} \cdot \cos \delta. \quad (2)$$

Вычисляем сдвигающие силы, действующие на призму возможного обрушения по поверхности скольжения AD:

$$T_{\delta} = P_{\delta} \cdot \sin \delta. \quad (3)$$

Определяем удерживающие силы в соответствии с теорией предельного равновесия для данного расчетного элемента по поверхности скольжения AD:

$$T_{\delta, уо} = k_{\delta} \cdot |AD| + N_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \rho_{\delta}. \quad (4)$$

II. Выполняем расчет второго элемента системы – шлакоотвала.

Вычисляем вес шлакоотвала – фигуры EDF:

$$P_{ш} = S_{EDF} \cdot \gamma_{ш}, \quad (5)$$

где S_{EDF} – площадь фигуры на рисунке 1.

Вычисляем нормальные силы, действующие на основание шлакоотвала длиной DE:

$$N_{ш} = P_{ш} \cdot \cos \delta. \quad (6)$$

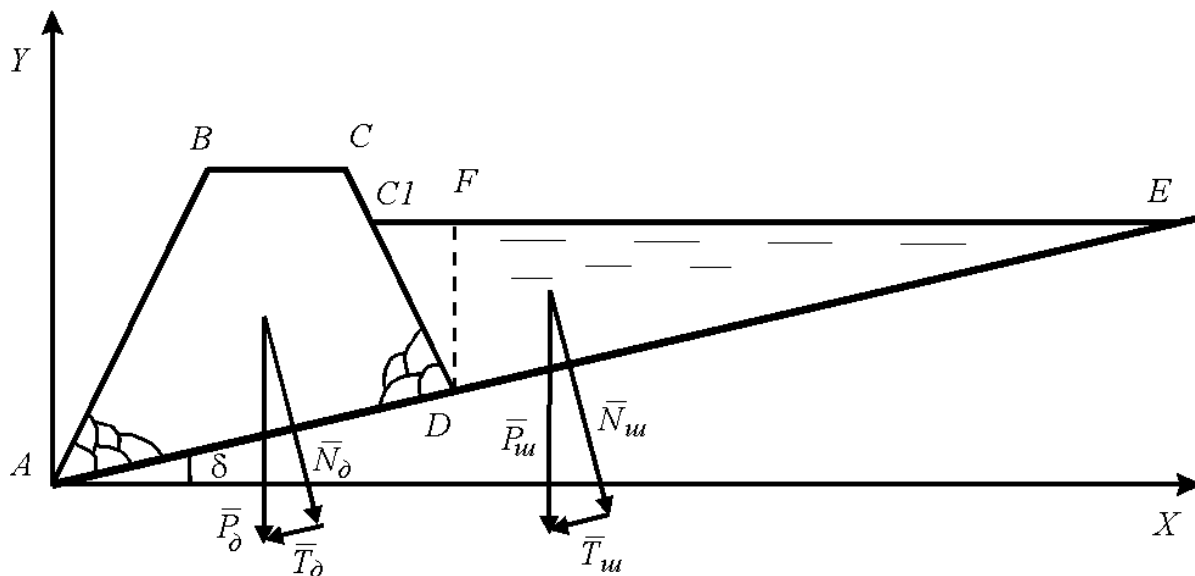


Рисунок 1 – Схема к расчету устойчивости системы «шлакоотвал-дамба»

Вычисляем сдвигающие силы, действующие на призму возможного обрушения, по поверхности скольжения DE:

$$T_{ш} = P_{ш} \cdot \sin \delta. \quad (7)$$

Определяем удерживающие силы в соответствии с теорией предельного равновесия для расчетного элемента системы – шлакоотвала по поверхности скольжения DE:

$$T_{ш\ y\delta} = k_{ш} \cdot |DE| + N_{ш} \cdot tg \rho_{ш}. \quad (8)$$

III. Составляем уравнение предельного равновесия системы «шлакоотвал-дамба». Определяем суммарные сдвигающие и удерживающие силы системы

$$T_{сдв} = T_{\delta} + T_{ш} = (P_{\delta} + P_{ш}) \sin \delta; \quad (9)$$

$$T_{y\delta} = T_{\delta\ y\delta} + T_{ш\ y\delta} = k_{\delta} |AD| + N_{\delta} tg \rho_{\delta} + k_{ш} |DE| + N_{ш} tg \rho_{ш}. \quad (10)$$

Коэффициент запаса системы определяем как отношение удерживающих и сдвигающих сил, действующих по линии AE, определяется по формуле

$$n = T_{y\delta} / (T_{сдв} \cdot n_{з}), \quad (11)$$

где $n_{з}$ – нормативное значение коэффициента запаса.

Рассмотрен простейший случай расчетной схемы с прямолинейным основанием. При более сложной геометрии дамбы и топографии земной поверхности, основание системы разбивается на участки, а сама система – на расчетные блоки. Разработана компьютерная программа «Дамба-1», позволяющая выполнять расчеты устойчивости при различных геометрических параметрах сооружения, при изменении физико-механических характеристик грунтов тела дамбы и ее основания, учитывающая изменение угла наклона основания земной поверхности золоотвала.

Для оценки состояния дамб при сложной топографии земной поверхности золоотвала рассмотрим вопрос устойчивости системы «шлакоотвал-дамба» для условий Топарской ГРЭС № 2 при увеличении

наклона основания. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице.

Выполненные расчеты подтверждают достаточную степень устойчивости системы «шлакоотвал-дамба» для условий дамбы № 3 Топарской ГРЭС № 2.

Столь высокие значения коэффициентов запаса системы обусловлены равнинным характером местности, на которой они расположены, с наклоном от 0,5 до 1,5°. Применение указанной расчетной схемы целесообразно при больших значениях углов наклона участков формирования шлакоотвалов (более 5 – 10°). График изменения коэффициента запаса устойчивости системы «шлакоотвал-дамба № 3» приведен на рисунке 2.

Нарушение же целостности насыпной дамбы № 3 может произойти в результате повышения уровня воды в верхнем бьефе пруда-отстойника и образования в теле дамбы неустановленных опасных ходов сосредоточенной фильтрации.

Для анализа устойчивости системы «шлакоотвал-дамба» при высокой степени обводненности шлакоотвала разработана расчетная схема устойчивости дамбы по её основанию (рисунок 3), которая учитывает сдвигающее действие сил гидростатического давления. При решении данной схемы учитывается равнодействующая сил гидростатического давления, направленная вдоль основания дамбы, которая оказывает сдвигающее действие.

Рассмотрим устойчивость дамбы под действием сил гидростатического давления воды (рисунок 3).

(I) Определяем вес дамбы

$$P_{\delta} = S_{ABCD} \cdot \gamma_{\delta}, \quad (12)$$

где S_{ABCD} – площадь поперечного сечения дамбы;
 γ_{δ} – объемный вес пород дамбы.

Вычисляем нормальные силы блока, действующие на основание AD:

$$N_{\delta} = P_{\delta} \cdot \cos \delta. \quad (13)$$

Результаты расчета устойчивости системы «шлакоотвал-дамба»

Параметры	Зависимость коэффициента запаса системы от угла наклона основания					
Угол наклона основания δ , градус	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	4,8
Коэффициент запаса системы, n	12,5	10,8	9,0	7,6	6,7	3,4

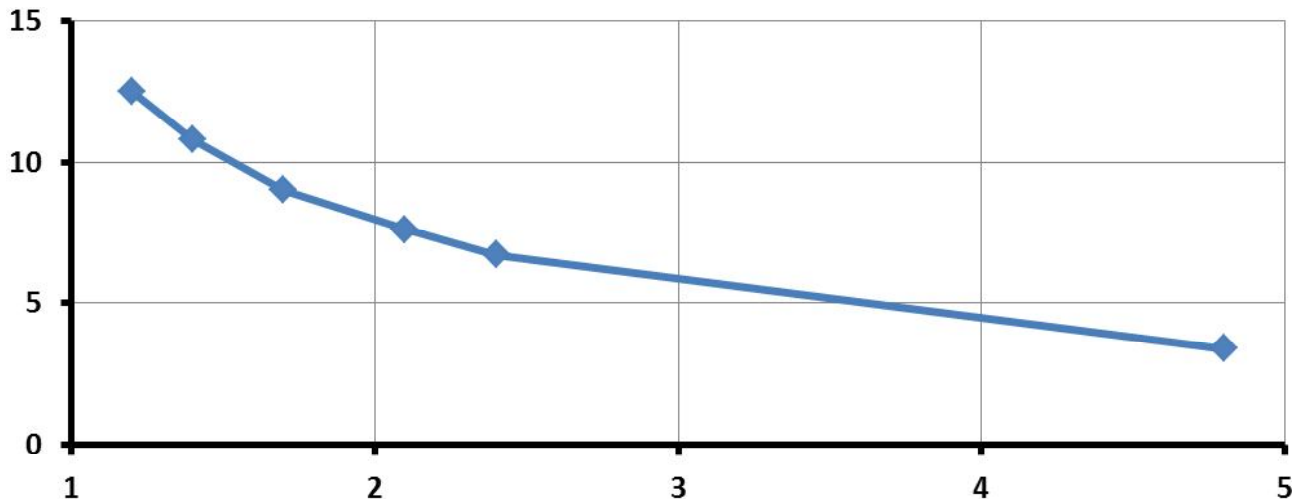


Рисунок 2 – График изменения коэффициента запаса устойчивости системы «шлакоотвал-дамба № 3»

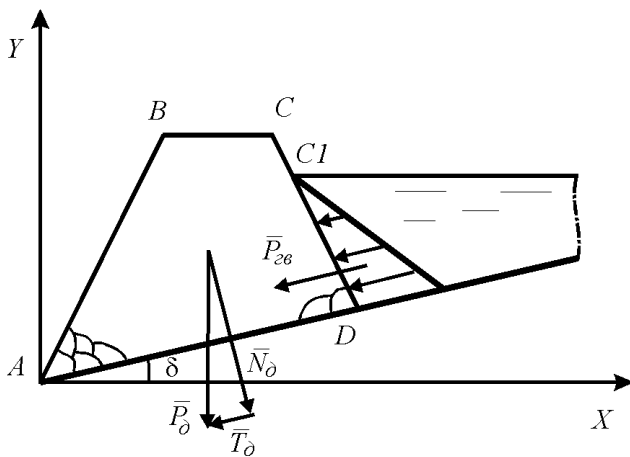


Рисунок 3 – Схема к расчету устойчивости дамбы с учетом сил гидростатического давления

Вычисляем сдвигающие силы, действующие на призму возможного обрушения, по поверхности скольжения AD:

$$T_0 = P_0 \cdot \sin \delta. \quad (14)$$

Удерживающие силы, действующие по основанию дамбы, в соответствии с теорией предельного равновесия:

$$T_{0,y0} = k_0 \cdot |AD| + N_0 \cdot \operatorname{tg} \rho_0. \quad (15)$$

(II) Определяем гидростатическое давление воды

$$p_{ze} = z \cdot \gamma_B = z, \quad (16)$$

где z – глубина;

$\gamma_B = 1$ – объемный вес воды.

В соответствии с законом Паскаля, гидростатическое давление воды одинаково во всех направлениях. Для расчета принимаем наиболее неблагоприятное направление параллельно основанию дамбы (рисунок

3). В этом случае результирующая сила гидростатического давления оказывает сдвигающее действие на дамбу. Величина гидростатического давления, как следует из формулы (16), линейным образом зависит от глубины, а эпюра давления – треугольную форму. Равнодействующая сил гидростатического давления

$$P_{ze} = H \cdot |C_1 D| / 2. \quad (17)$$

(III) Определяем устойчивость дамбы с учетом сдвигающего действия сил гидростатического давления.

Сдвигающие и удерживающие силы системы по поверхности скольжения:

$$T_{сов} = T_0 + P_{ze} = P_0 \cdot \sin \delta + P_{ze}; \quad (18)$$

$$T_{yo} = T_{0,y0} = k_0 |AD| + N_0 \operatorname{tg} \rho_0. \quad (19)$$

Коэффициент запаса системы определяем как отношение удерживающих и сдвигающих сил, действующих по линии AD, по формуле (11).

Разработана компьютерная программа «Дамба-II», позволяющая выполнять расчеты устойчивости ограждающих дамб, учитывающие изменение параметров шлакоотвала, угла наклона поверхности формирования золоотвала и прочностных характеристик элементов системы и их основания. Выполненные расчеты устойчивости системы «шлакоотвал-дамба» для условий Топарской ГРЭС № 2 для предельного случая обводнения шлакоотвала с введением нормативного коэффициента запаса 1,3 показывают, что коэффициент запаса устойчивости дамбы № 1 равен $n = 1,528$, соответственно дамбы № 3 – $n = 1,337$.

С учетом того, что к расчету приняты минимальные значения прочностных характеристик пород дамбы и основания и введен нормативный коэффициент запаса, можно утверждать, что по основанию дамб № 1 и № 3 имеется двукратный запас устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. М.: Высшая школа, 1975.
2. Отчет «Карагандинская ГРЭС-2, Ограждающие дамбы с водосбросами». Ростов-на-Дону: Всесоюзный государственный проектный институт «Теплоэлектропроект», 1962.
3. Бесимбаева О.Г., Низаметдинов Ф.К., Долгонос В.Н., Долгонос Е.В. Расчет устойчивости шлакоотвалов и ограждающих дамб // Материалы VI Междунар. научно-практ. конф. «Dynamika naukowych badan-2010» Volume 10. Techniczne nauki. Nowoczesne informacyjne technologie. Matematyka. Fizyczna kultura i sport. – Przemysł: Nauka i studia, 2010. – P. 46-49.

УДК 622.231
БЕЙСЕМБАЕВ К.М.

Неравновероятное контактирование кровли с верхняками

Проблема вывалообразования из кровли и отжим угля с груди забоя при выемке угля лавами по-прежнему остается актуальной.

Трещины давления, возникающие за счет концентрации напряжений в зоне опорного давления, и трещины под действием растягивающих деформаций в верхних частях слоев кровли инициируют зарождение над забоем блочной системы. Она может находиться в явном, но чаще в неявном состоянии, что зависит от раскрытия трещин, поэтому недостаточное поддержа-

ние этих зон в кровле может вызвать потерю равновесия системы и её разрушение – и определение особенностей распределения нагрузок на кровлю необходимо.

Для расчета устойчивости кровли в рамках её разрушения от изгиба или изгиба-сдвига очень важно знать влияние сопротивления крепи на эти напряжения, а величина неподдерживаемой кровли имеет второстепенное значение. Но в рамках модели кровли, содержащей цикловые трещины, последнее обстоя-