

Г.Г. КРУГЛОВ,

к. т. н., доцент, зав. кафедрой БНТУ

А.И. БЛОВАЦКАЯ,

студентка V курса БНТУ

Ю.И. ПАНКРАТОВА,

студентка V курса БНТУ



Рисунок 1 — Земляная плотина водохранилища «Лошица-2»

О практике применения ТКП 45-3.04-150-2009 «Плотины из грунтовых материалов»



Рисунок 2 — Водосброс, право- и левобережная земляная плотины водохранилища «Дрозды»

Земляные плотины на протяжении всей истории человечества являются основным видом водоподпорных сооружений, с помощью которых перекрываются реки и создаются водохранилища. За 4400 лет до н. э. в Египте создавались каналы для орошения земель в долинах реки Нил и строились для этого земляные плотины. За 2000 лет до новой эры с помощью земляных плотин отгораживались от моря значительные территории в Голландии. В VIII–VI веках до н. э. каналы и плотины строились в Хорезме, Китае, Индии и т. д.

В Средние века для работы водяных мельниц, а позже (XVII–XVIII века) станков на мануфактурах и фабриках с помощью плотин перегораживались реки и строились гидросиловые установки. И в настоящее время земляные плотины остаются во всем мире самыми распространенными подпорными сооружениями. Они входят в состав абсолютного большинства подпорных гидроузлов различного назначения, а также широко используются в гидромелиоративном строительстве.

Такое широкое распространение земляных плотин обуславливается следующими их достоинствами:

- грунт является самым дешевым строительным материалом для подпорных сооружений;
- для возведения плотин могут использоваться практически любые грунты, поэтому их всегда можно добывать непосредственно на месте строительства;
- земляные плотины строятся практически на любых грунтах осно-

вания (в том числе и на слабых, просадочных) и в любых климатических условиях;

- они имеют простую конструкцию и надежны в эксплуатации;
- все технологические операции по возведению земляных плотин полностью механизированы.

С помощью земляных плотин на территории Беларуси создано около 140 водохранилищ и 1500 прудов. Входят земляные плотины и в состав строящихся и проектируемых гидроузлов малых ГЭС на крупных реках Неман (Гродненская и Немновская ГЭС), Западная Двина (Полоцкая ГЭС) и др. (на рисунках 1 и 2 приведены земляные плотины на гидроузлах г. Минска).

Основное требование, предъявляемое к земляным плотинам, заключается в том, что откосы плотины и грунты основания должны быть устойчивы при всех возможных сочетаниях нагрузок и воздействий, как в период строительства, так и в период эксплуатации.

Основной задачей расчетов устойчивости откосов земляных плотин и дамб является нахождение минимального значения коэффициента устойчивости.

В соответствии с действующим нормативным документом [1] основным методом расчета устойчивости откосов земляных плотин и дамб является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Этот метод впервые был предложен шведским инженером Патерсоном в 1916 году, когда при обследовании набережных он обратил внимание на то, что поверхности обрушения близки к цилиндрическим. В дальнейшем метод

разрабатывался рядом авторов: Р.Р. Чугаевым, А.А. Ничипоровичем, Кремом, К. Терцаги, Мейером, В.А. Флориным, Бишопом и др. [2, 3].

Коэффициент запаса на устойчивость откоса может определяться различными способами:

- по отношению сил разрушающих (предельных) к расчетным;
- по отношению сил сопротивления сдвигу (реактивных) к силам сдвигающим (активным);
- по соотношению характеристик сопротивления грунта сдвигу, при которых происходит обрушение, к фактически имеющимся.

Наиболее распространенным является определение коэффициента запаса по отношению сил или моментов сил, сопротивляющихся сдвигу, к силам или моментам сил сдвигающих.

Наибольшее практическое значение имеют способы расчета, предусматривающие деление сдвигающегося массива грунта на отсеки (рисунок 3), так как позволяют учитывать неоднородность грунтов и различные силы, действующие на откос (гидродинамические, сейсмические и др.).

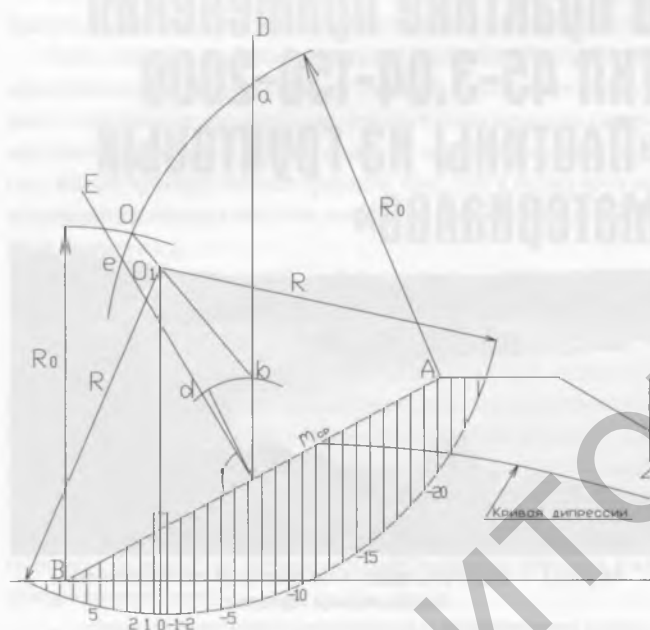


Рисунок 3 — Схема к определению устойчивости верхового откоса грунтовой плотины

Разработано несколько методов расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения с делением массива на отсеки, которые отличаются друг от друга способом определения нормальных напряжений, действующих на поверхности оползания: метод Крея, Терцаги-Флорина, Мейера-Ничипоровича, Р.Р. Чугаева.

При выполнении расчетов устойчивости откосов дамб шламохранилищ ПО «Беларускалий» [4] был проведен анализ результатов расчетов, полученных по вышеперечисленным методам. Анализ показал, что метод Мейера-Ничипоровича дает заниженные на (20 + 30) % результаты, а методы Р.Р. Чугаева, Терцаги-Флорина и Крея дают результаты, отличающиеся друг от друга на (2 + 5) %. Таким образом, в качестве основного в работе был принят метод Мейера-Ничипоровича, который давал минимальные значения коэффициентов устойчивости.

В действовавшем на территории республики до 1 марта 2009 г. СНиП 2.06.05-84 «Плотины из грунтовых материалов» [5] при расчетах устойчивости низовых откосов плотин необходимо было рассматривать следующий расчетный случай (основной): в верхнем бьефе — нормальный подпорный уровень (НПУ); в теле плотины — установившаяся фильтрация; при наличии воды в нижнем бьефе глубину ее принимают мак-

симально возможной при НПУ, но не более $0,2h_{пл}, h_{пл}$ — высота откоса плотины.

Введение ограничения глубины воды в нижнем бьефе величиной $0,2h_{пл}$ должно было предполагать, что это будет самый невыгодный случай, который будет давать минимальные значения коэффициента устойчивости. Действительно, с одной стороны, при увеличении глубины воды в нижнем бьефе уровни грунтовых вод в теле плотины (кривая депрессии) повышаются, что всегда ведет к уменьшению устойчивости откоса. С другой стороны, увеличение грунтовых вод в нижнем бьефе увеличивает пригрузку воды над откосом, а следовательно, увеличивает собственный вес откоса, что повышает его устойчивость. Предполагалось, что при $h_{нб} = 0,2h_{пл}$ будет минимальный коэффициент устойчивости откоса.

Выполненные ранее многовариантные расчеты устойчивости низовых откосов плотин с параметрами (высота плотины, глубина воды в нижнем бьефе, крутизна откоса, грунты тела плотины), характерными для условий республики, показали, что результаты не подтвердили высказанное предположение (рисунок 4). Во всех случаях с увеличением глубины воды в нижнем бьефе коэффициенты устойчивости низового откоса уменьшаются, а это значит, что повышение кривой депрессии в теле плотины оказывает значительно больше влияния на устойчивость откоса, чем пригрузка воды над откосом [4].

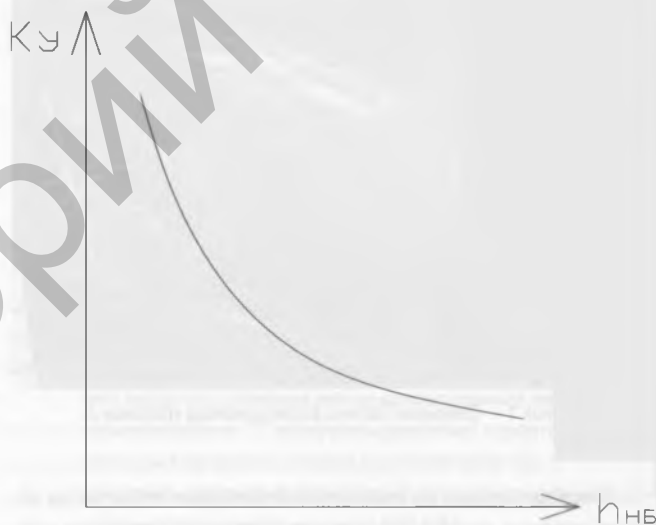


Рисунок 4 — Кривая зависимости коэффициента устойчивости низового откоса плотины K_u от глубины вод в нижнем бьефе $h_{нб}$

Следовательно, минимальное значение коэффициента устойчивости низового откоса плотины всегда будет при максимальной глубине воды в нижнем бьефе.

В связи с этим при разработке ТКП 45-3.04-150-2009, введенного в действие 01.03.2009, был откорректирован следующим образом расчетный случай для **низового откоса плотин**:

- первый расчетный случай (основной): в верхнем бьефе — НПУ; в теле плотины — установившаяся фильтрация; при наличии воды в нижнем бьефе глубину ее принимают максимально возможной при НПУ.

Для **верхового откоса плотин** установлены следующие расчетные случаи:

- первый расчетный случай (основной): максимально возможное снижение уровня воды в водохранилище от НПУ или от подпорного уровня, соответствующего пропуску максимального расхода, относимого к основным сочетаниям воздействий, с наибольшей возможной скоростью, при этом учитывают фильтрационные

силы неустановившейся фильтрации;

- второй расчетный случай (строительного периода): уровень воды в верхнем бьефе находится на самой низкой отметке, но не ниже $0,2l_{г.пл.}$; уровень грунтовой воды в теле плотины принимают соответствующим установившемуся.

Основной задачей данной работы была проверка требований ТКП по второму расчетному случаю. Необходимо было определить, при какой глубине воды в верхнем бьефе будут минимальные значения коэффициентов устойчивости.

С этой целью были выполнены расчеты устойчивости верхового откоса однородной плотины из мелкозернистого песка высотой 10 м по методу Мейера-Ничипоровича. В основании плотины залегает суглинок. Коэффи-

циент заложения верхового откоса плотины (крутизна откоса) принимался равным 2,5; 3,0; 3,5; 4,0. Для каждого варианта глубина воды в верхнем бьефе принималась равной 2; 3; 4 и 5 м, а глубина воды в нижнем бьефе плотины — 1 и 1,5 м. Таким образом, было выполнено 32 варианта расчетов, охватывающих диапазон изменения параметров плотин, характерных для условий республики.

Расчеты выполнялись на ПЭВМ с использованием программы, разработанной на кафедре гидротехнического и энергетического строительства Белорусского национального технического университета. Для каждого варианта определены от 98 до 124 коэффициентов устойчивости откоса, и находилось его минимальное значение.

Результаты расчетов приведены на рисунке 5.

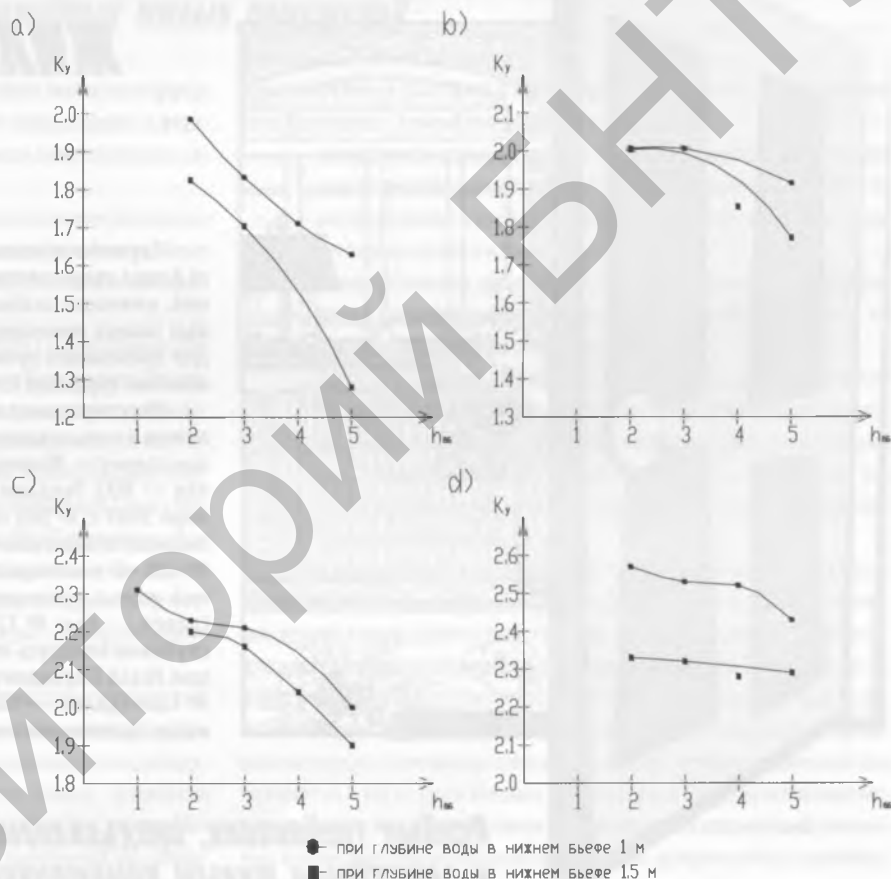


Рисунок 5 — Графики зависимости коэффициента устойчивости верхового откоса K_y плотины от глубины воды в верхнем бьефе $h_{вв}$:

- a — для коэффициента заложения откоса 2,5;
 б — для коэффициента заложения откоса 3,0;
 с — для коэффициента заложения откоса 3,5;
 д — для коэффициента заложения откоса 4,0

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением глубины воды в верхнем бьефе устойчивость откоса уменьшается и, следовательно, минимальный коэффициент устойчивости откоса будет при максимальной глубине воды в верхнем бьефе.

Таким образом, при переработке ТКП 45-3.04-150-2009 «Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования» расчетный

случай для строительного периода при расчете устойчивости верхового откоса плотины следует записать в виде:

- второй расчетный случай (строительного периода): уровень воды в верхнем бьефе находится на самой высокой отметке; уровень грунтовой воды в теле плотины принимают соответствующим установившемуся.

Литература

1. ТКП 45-3.04-150-2009 Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования. — Минск, 2010.
2. Ничипорович А.А. Плотины из местных материалов. — М.: Стройиздат, 1973. — 320 с.
3. Розанов Н.Н. Плотины из грунтовых материалов. — М.: Стройиздат, 1983. — 296 с.
4. Круглов Г.Г., Богославчик П.М., Гатилло С.П. Исследование устойчивости откосов, дамб Д1, Д2, Д3, Д4 шламохранилища «Томилова гора» и обоснование возможности использования тела солеотвала 1-го РУ для частичного опирания на него дамб Д1 и Д4. Заключительный отчет. — Минск, БГПА. — 1988. — № госрегистрации 1998886.
5. СнИП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. — М.: Стройиздат, 1989. — 31 с.
6. Круглов Г.Г., Роговенко В.В., Яковлева Н.А. Выбор расчетного уровня воды в нижнем бьефе при расчете устойчивости низовых откосов земляных плотин. Материалы 5-й научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов РБ., часть 5. — Гродно, 2000.