

4. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г.Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 313 с.

УДК 627.8.04

Особенности расчета устойчивости откосов дамб шламохранилищ

Богославчик П. М.¹, Шейко А. М.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²ОАО Белгорхимпром
Минск, Республика Беларусь

На основе опыта проектирования выделены и проанализированы особенности расчетов устойчивости откосов дамб шламохранилищ. Проведен анализ ряда наиболее популярных формул, реализующих метод «по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с разбивкой на отсеки. Приведены особенности фильтрационных расчетов. Дана оценка влияния слоистости профиля на результаты расчетов.

При строительстве и реконструкции шламохранилищ всегда возникает необходимость в решении вопроса устойчивости откосов ограждающих дамб. Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ много лет сотрудничает с институтом «Белгорхимпром», выполняя соответствующие расчеты для проектов шламохранилищ ОАО «Беларускалий». Нарботанный опыт позволяет сделать некоторые обобщения.

Метод расчетов устойчивости откосов грунтовых плотин «по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с разбивкой на отсеки представлен на рис.1.

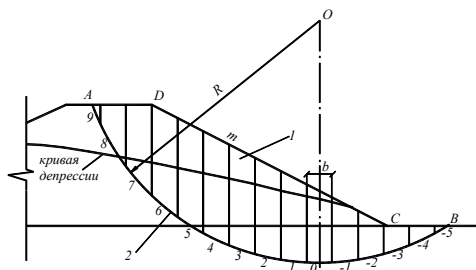


Рис. 1. К расчету устойчивости откоса:

1 – призма обрушения; 2 – кривая скольжения

Согласно этому методу, призма обрушения $ABCD$ разбивается на отдельные вертикальные элементы (отсеки), причем каждый отсек считается монолитным твердым телом, стоящим своей подошвой на дуге обрушения. Такой метод позволяет легче учитывать неоднородность грунта, слагающего откос.

Существует ряд формул, реализующих этот метод. Ранее был проведен анализ ряда наиболее популярных формул. Это следующие формулы, которые с учетом исследований, изложенных в [1], имеют следующий вид.

Формула Крея

$$k_y = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \sum \frac{G_i + c_i b_i \operatorname{ctg} \varphi_i}{\cos \alpha_i \operatorname{ctg} \varphi_i + \sin \alpha_i} \frac{m}{n_c}. \quad (1)$$

Формула Терцаги–Флорина

$$k_y = \frac{\sum G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c} \quad (2)$$

Формула Мейера–Бишопа–Ничипоровича

$$k_y = \sum \frac{G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c}. \quad (3)$$

Формула Чугаева

$$k_y = \sum \frac{G_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i + P_\phi} \frac{m}{n_c}. \quad (4)$$

В формулах (1)–(4) приняты следующие обозначения: k_y – коэффициент запаса устойчивости; G_i – вес i -го отсека; P_ϕ – фильтрационное давление [1]; α_i – угол наклона подошвы отсека к горизонту; φ_i – угол внутреннего трения грунта в подошве отсека; c_i – удельное сцепление грунта в подошве отсека; l_i – длина подошвы отсека; m – коэффициент условий работы; n_c – коэффициент сочетания нагрузок.

По приведенным формулам были выполнены расчеты для различных условий. Главная трудность выбора заключается в том, что отсутствует возможность корректного сравнения расчетных данных с эксперименталь-

ными. Поэтому для выбора было выполнено сравнения результатов расчетов и проанализированы литературные источники.

В литературных источниках [2, 3] приводится следующий анализ вышеперечисленных методов:

- метод Крея достаточно точен, рекомендован межведомственной комиссией Госстроя СССР для расчетов устойчивости откосов из неоднородных грунтов;

- метод Терцаги-Флорина нашел широкое применение благодаря своей простоте, однако при расчетах пологих откосов (с заложением $m > 2,5$) может давать ошибку в сторону преуменьшения величины коэффициента запаса устойчивости;

- метод Мейера-Ничипоровича, который является частным случаем метода Бишопа, дает резко заниженные значения коэффициента запаса устойчивости;

- метод «весового давления» Р. Р. Чугаева, в связи с принятым способом его обоснования, не позволяет оценить его достоверность при различных сочетаниях нагрузок, а также при неоднородном сложении откоса и его основания. При условии, когда в основании на значительную глубину залегают грунты, обладающие более низкими прочностными свойствами, чем материал откоса, этот метод дает заниженные значения коэффициента запаса устойчивости.

Анализ выполненных сравнительных расчетов устойчивости откосов дамб по вышеприведенным формулам показал, что метод Мейера-Ничипоровича дает заниженные на 20–30 % результаты, а формулы Р. Р. Чугаева, Терцаги-Флорина и Крея дают результаты, отличающиеся друг от друга на 2–5 %. В связи с чем, изначально в качестве основного расчетного метода была принята формула Крея. Однако наш опыт работы с ней показал некоторые неудобства. Во-первых, она не очень понятна, на что указывал еще Р. Р. Чугаев [4]. Во-вторых, компьютерная программа, по которой выполнялись расчеты (Delfi-программа), при применении этой формулы часто дает сбои, причину которых так и не удалось найти в силу непонятности некоторых ее положений. Поэтому в более поздних расчетах применялась формула Флорина-Терцаги. Эта формула дает результаты, близкие к результатам, полученным по формуле Крея, но она более понятная и не дает сбоев при расчетах. Кроме того, наши расчеты не подтвердили того факта, что при расчетах пологих откосов (с заложением $m > 2,5$) возникает ошибка в сторону преуменьшения величины коэффициента запаса устойчивости.

При расчетах устойчивости откосов дамб шламохранилищ имеют особенности фильтрационные расчеты, целью которых является определение положения кривой депрессии. Дамбы шламохранилищ имеют противо-

фильтрационное устройство в виде экрана из полимерной пленки или мембраны. Расчеты устойчивости выполнялись для основного и особого сочетания нагрузок. Основное сочетание предполагает нормальную работу противофильтрационного экрана. Особое сочетание возникает при повреждении экрана. Во втором случае положение кривой депрессии определяется как для однородной дамбы без противофильтрационного устройства. Дренаж низового клина либо не предусматривался, либо в ряде случаев применялся трубчатый.

Фильтрационный расчет дамбы с экраном выполнялся «виртуальным» методом (метод Павловского Н. Н.). Экран из полиэтиленовой пленки при этом заменяется пластичным фиктивным грунтовым фрагментом толщиной 0,8 м, имеющим коэффициент фильтрации 1×10^{-10} м/с [5]. Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации пленочный экран как правило абсолютно водонепроницаем. Поэтому расчетное положение кривой депрессии для основного сочетания нагрузок при глубоком залегании грунтовых вод всегда выше реального, что дает некоторый запас устойчивости откоса.

Вторая особенность – неоднородность расчетного профиля по составу грунтов. Чаще всего дамба вместе с основанием представляет собой напластование грунтов с различными физико-механическими свойствами. Количество пластов иногда достигало десяти и более. Если все слои состоят из песчаных грунтов, то при фильтрационном расчете можно брать осредненные характеристики (как правило требуется только коэффициент фильтрации). Точность определения положения кривой депрессии находится в данном случае в пределах точности метода. Проблема возникает тогда, когда попадаете слой глинистого грунта, который по отношению к вышележащему грунту является водоупором, и когда этот слой находится в теле дамбы. Такая ситуация иногда возникала при проектировании наращивания существующих дамб. Проблема в таком случае имеется только при расчете на особое сочетание нагрузок, т. е. при нарушении работы экрана. Проблема состоит главным образом в опасности выхода кривой депрессии на низовой откос, что требует дополнительных конструктивных решений.

При расчете непосредственно устойчивости слоистость профиля проблем не создает, так как разработанная программа позволяет учитывать сколько угодно слоев.

Еще одной особенностью является то, что шламохранилища заполнены не водой с удельным весом $9,81 \text{ кН/м}^3$, а глинисто-солевым шламом, который на 20–25 % тяжелее воды. Поэтому в рассматриваемом случае, по сравнению с традиционными грунтовыми плотинами, на водохранилищах при высоком стоянии кривой депрессии (особое сочетание нагрузок) уве-

личивается вес насыщенной части отсеков, соответственно увеличивается величина G в формулах (1)–(4). Кроме того здесь больше сила фильтрационного давления, удельная величина которого равна в общем случае $f_{\phi} = \gamma_w I$, где γ_w – удельный вес фильтрующей жидкости; I – фильтрационный градиент. Сравнительные расчеты показали, что это обстоятельство уменьшает коэффициент запаса устойчивости дамб шламохранилищ по сравнению с аналогичными по конструкции грунтовых водохранилищных плотин более чем на 15 %.

Литература

1. Богославчик, П. М. Анализ методов определения фильтрационного давления при расчете устойчивости откосов грунтовых плотин / П. М. Богославчик, В. И. Селезнев // Мелиорация. – 2019. – № 4 (90). – С. 12–16.
2. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / под ред. В. П. Недрига. – М: Стройиздат, 1983. – 543 с.
3. Ничипорович, А. А. Плотины из местных материалов / А. А. Ничипорович. – М: Стройиздат, 1973. – 320 с.
4. Чугаев, Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения / Р. Р. Чугаев. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 144 с.
5. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации шламохранилищ на подрабатываемой горными работами территории Старобинского месторождения калийных солей / ВСН 03 – 90 – Солигорск: Агрохим, 1990. – 56 с.

УДК 539.51

Технологические основы производства заготовок для изделий медицинского назначения

Качанов И. В., Ленкевич С. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлен комплексный подход по разработке новых технологических процессов для получения заготовок медицинских изделий на основе выбора материалов и различных способов их обработки в зависимости от требуемых функциональных свойств.

Разработка технологических основ производства заготовок из биосовместимых металлических материалов для изготовления различных им-