



ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ УКРАИНЫ

УДК 627.5

АВТОРЫ

ОГЛОБЛЯ А.И., докт. техн. наук, директор Украинского государственного научно-исследовательского и проектно-изыскательского института «УкрНИИводоканалпроект»

КРАВЧУК И.Н., начальник ВИТР Украинского государственного научно-исследовательского и проектно-изыскательского института «УкрНИИводоканалпроект»

РАЗДАЙБЕДА С.Л., заведующий лабораторией Украинского государственного научно-исследовательского и проектно-изыскательского института «УкрНИИводоканалпроект»

АННОТАЦИЯ

На примере хвостохранилища Ингулецкого горно-обогатительного комбината рассматриваются особенности расчета и проектирования ограждающих сооружений с учетом сейсмических воздействий.

The features of the calculation and design of enclosing structures considering seismic effects by ex-ample of Ingulets iron ore enrichment works are considered.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

хвостохранилище, ограждающие сооружения, сейсмические воздействия

При разработке полезных ископаемых, обогащении и гидрометаллургической переработке руд и концентратов, неотъемлемой частью рудоперерабатывающего производства промышленных предприятий являются хвостовые хозяйства, созданные для решения вопросов транспортировки и организованного складирования минеральных отходов этих предприятий. Проектирование и реконструкция объектов хвостового хозяйства горно-обогатительных комбинатов Украины является основным направлением деятельности ГИ «УкрНИИводоканалпроект» как главной организации - генерального проектировщика указанных объектов.

Основным сооружением хвостового хозяйства является хвостохранилище – естественно или искусственно созданная емкость для складирования хвостов, которые перемещают из мест их образования преимущественно гидравлическим способом. Различают хвостохранилища наливные, которые не имеют искусственных подпорных сооружений, и намывные, подпорные сооружения которых частично или полностью сооружаются из хвостов в процессе их гидравлического складирования [1].

Емкость хвостохранилища по контуру ограничивается ограждающими сооружениями (плотинами) комбинированного типа, состоящими из первичных дамб обвалования из суглинистого грунта, дамб наращивания и разделительных дамб из каменной наброски (часто используется вскрыша рудных карьеров или бедные руды). Эти дамбы образуют систему карт, замываемых хвостами. Поверхность замытых карт после соответствующего периода отстаивания является основанием для устройства карт следующего яруса.

Специфика таких объектов заключается в том, что проектирование и строительство ограждающих сооружений (дамб и плотин) производится не сразу на полную высоту, а поэтапно, по мере заполнения



емкости хвостохранилищ отходами обогащения рудных ископаемых. На сегодня высота ряда плотин хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Украины превысила 100-метровую отметку и продолжает расти.

Многолетний опыт проектирования и авторского сопровождения строительства хвостохранилищ был использован ГИ «УкрНИИводоканалпроект» при разработке ДБН В.2.4-5:2012 «Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво» [1].

В 2006 г. был введен в действие нормативный документ [2], в соответствии с которым сейсмические воздействия необходимо учитывать, начиная с 6-ти баллов (раньше было с 7-ми) и гидротехнические водоподпорные сооружения 1-го и 2-го классов следует рассчитывать прямым динамическим методом с использованием акселерограмм. В связи с отсутствием в Украине программных средств для выполнения данных расчетов, ГИ «УкрНИИводоканалпроект» был закуплен программный комплекс GEO STUDIO (Канада). ПК GEO STUDIO имеет современный интерфейс пользователя и позволяет выполнять для ограждающих дамб все необходимые расчеты, регламентированные нормативными документами [1-5].

В 2014 г. ГИ «УкрНИИводоканалпроект» выполнена научно-исследовательская работа по определению предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища Ингулецкого ГОКа в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов основания. В результате инженерно-геологических изысканий [6, 7] и лабораторных испытаний определены физико-математические характеристики грунтов, включающие прочностные, деформационные, фильтрационные и динамические свойства, а также гранулометрический и минеральный состав. Это относится как к грунтам, слагающим тело плотины, так и к грунтам основания.

Сейсмическая опасность изучаемой территории определяется сильными подкорковыми землетрясениями очаговой зоны Вранча, расположенной в зоне сочленения Восточных и Южных Карпат, а также «местными» землетрясениями, происходящими в непосредственной близости от исследуемой территории и связанными с тектоническими нарушениями Украинского щита. В соответствии с картой ОСР-2004-С сейсмическая интенсивность строительных площадок ответственных сооружений в г. Кривой Рог составляет 7 баллов по шкале MSK-64.

По результатам изучения инженерно-геологических условий и выполненного микросейсмораионирования, было установлено, что территория размещения хвостохранилищ ИнГОКа относится к одной сейсмической зоне с приращением сейсмической интенсивности 0 баллов относительно исходной сейсмичности. Для ограждающих дамб приращение сейсмической интенсивности составляет +1 балл. Таким образом, прогнозные значения сейсмичности при МРЗ для исследуемой территории составляют 8 баллов.

Динамические характеристики грунтов с учетом прогнозной сейсмичности были исследованы лабо-

раторными и геофизическими методами. В результате лабораторных исследований установлено, что все разновидности грунтов, соответствующие пескам мелким, пескам пылеватым, суглинкам и супесям, динамически устойчивы в заданном диапазоне ускорений $a=120...180$ см/с². Наиболее склонны к разжижению пески пылеватые, однако они переходят в разжиженное состояние при ускорениях порядка 0,7g.

Исследованиями, выполненными ООО «Фундаментстроймакс» [7], были изучены возможности использования геофизических критериев для прогноза разжижения намывных грунтов при сейсмических воздействиях. В ходе выполнения исследований были проанализированы результаты зарубежного опыта, проведены полевые сейсморазведочные работы в модификации корреляционного метода преломленных волн в юго-восточной части хвостохранилища ПАО «ИнГОК», построена цифровая скоростная модель техногенной толщи для продольных и поперечных волн до глубины 20 м, выполнен сбор и анализ ретроспективных данных скважинных сейсморазведочных работ на хвостохранилище ПАО «ИнГОК», построены цифровые скоростные модели по скважинным данным, разработана вычислительная программа для расчета геофизических критериев прогноза разжижения техногенных грунтов.

В результате выполненных расчетов было определено, что для уровня проектного землетрясения (ПЗ – 6 баллов по шкале MSK-64, горизонтальные пиковые ускорения 0,05 g) явление сейсмического разжижения намывных грунтов в чаше хвостохранилища ПАО «Ин-ГОК» наблюдаться не будет, а для уровня максимального расчетного землетрясения (МРЗ – 8 баллов по шкале MSK-64, горизонтальные пиковые ускорения 0,2 g) оно возможно для отдельных интервалов и линз в верхней части толщи намывных грунтов.

Для определения значения коэффициента запаса устойчивости ограждающих сооружений, были выбраны характерные (по конструкции и месту положения) участки, на которых по 7-ми створам, при наращивании до отметок 165,00 м и 182,50 м, были проведены соответствующие расчеты с использованием программного комплекса GEO STUDIO. В качестве исходных данных использованы: проектные сечения ограждающих дамб, таблицы физико-механических характеристик грунтов при статических [6] и динамических [7] испытаниях, а также наборы расчетных акселерограмм близких и дальних землетрясений для площадок сейсмической интенсивностью 6, 7 и 8 баллов в формате текстовых файлов [8].

Для каждого из 7-ми створов при двух отметках наращивания 165,0 и 182,5 м расчеты выполнены по прямому динамическому методу с моделированием сейсмического воздействия при помощи набора акселерограмм.

На рис. 1, 2 показаны результаты расчетов для сечения 2-2 при наращивании плотины до отметки 165,00 м. Расчеты динамической устойчивости хвостов были выполнены для всех расчетных створов и отметок наращивания.

Ввиду наличия общих закономерностей для всех

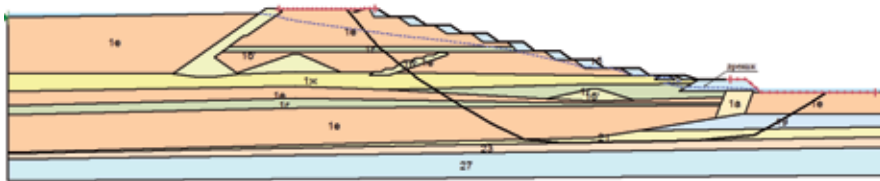


Рис.1. Сечение 2-2 на ПК 28+00. Расчет устойчивости. Коэффициент устойчивости без учета сейсмики $k_s = 1,435$.

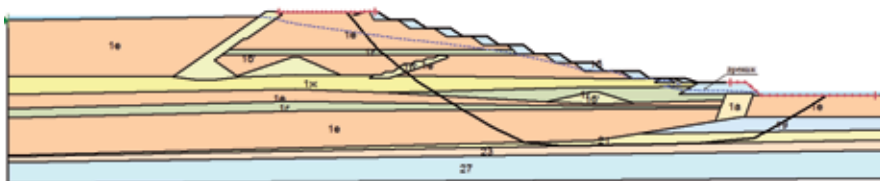


Рис.2. Сечение 2-2 на ПК 28+00. Расчет устойчивости. Коэффициент устойчивости с учетом сейсмики $k_s = 1,399$.

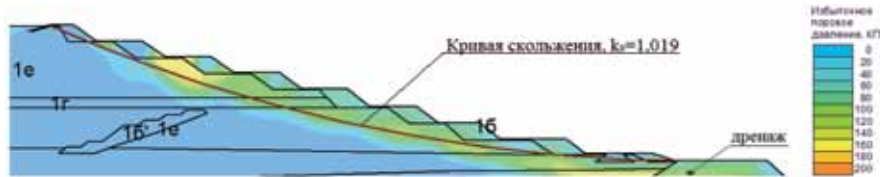


Рис.3. Сечение 2-2 на ПК 28+00, отм. 165,00 м. Устойчивость намывной части плотины при сейсмическом воздействии, $k_s=1,019$.

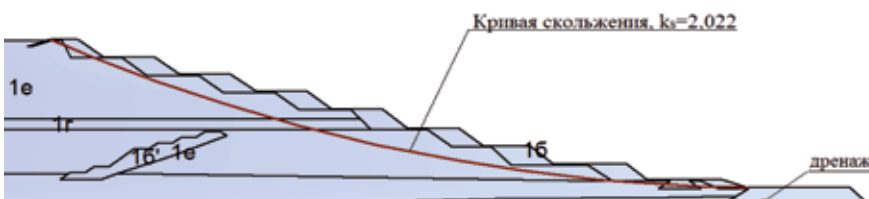


Рис.4. Сечение 2-2 на ПК 28+00, отм. 165,00 м. Устойчивость намывной части плотины до сейсмического воздействия, $k_s=2,022$.

указанных створов приводятся результаты только для сечения 2-2 на ПК 28+00, как наиболее характерного, и отметки наращивания 165,0 м.

На рис. 3 и 4 показаны результаты расчета устойчивости намывной части плотины для кривых скольжения, проходящих на глубине 10...15 м через область избыточного порового давления до и после землетрясения.

Внимание к этой зоне объясняется тем, что в результате расчетов напряженно-деформированного состояния с использованием акселерограмм были выявлены зоны образования избыточного порового давления величиной до 200 КПа (2,0 кг/см²). Сравнение результатов показывает, что при наращивании до отм. 165,0 м снижение устойчивости равно $2,022:1,019=2,0$ раза.

В заключение отметим, что для повышения устойчивости хвостов при сейсмическом воздействии применимы те же мероприятия, что и при статических нагрузках: это снижение кривой де-

прессии и пригрузка грунтом. Эти мероприятия даже более эффективны, чем при статике, так как отсутствие влаги и увеличение статических напряжений уменьшают способность грунтов к разжижению или виброползучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хвостосховища і шламонакопичувачі: ДБН В.2.4-5:2012. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – [Чинні від 2012-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – V, 125 с. – (Будівельні норми України).
2. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 12:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с.
3. Плотины из грунтовых материалов: СНиП 2.06.05-84. – [Действует с 1985-07-01]. – М., 1991. – 49 с.
4. Основания гидротехнических сооружений: СНиП 2.02.02-85. – [Действует с 1987-01-01]. – М., 1987. – 59 с.
5. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов: П-783-88 (Гидропроект).
6. Определение предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища ПАО «ИнГОК» в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов основания. Инженерно-геологические изыскания: научно-технический отчет. Том I. – К., 2013.
7. Определение предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища ПАО «ИнГОК» в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов. Инженерно-геологические изыскания: отчет по геофизическим работам: в 2-х книгах.– Днепропетровск: ООО «Фундаментстроймакс», 2013.
8. Получение расчетных акселерограмм и спектров реакции для расчета устойчивости ограждающих сооружений хвостохранилища Ингулецкого ГОКа при максимальных расчетных землетрясениях (МРЗ): научно-технический отчет. – Киев-Львов, 2011.