

4. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц - М.: Наука, 1988. – 736 с.
5. Мельников Н.Н. Инновационные георадарные технологии изучения подповерхностной структуры и состояния природно-технических систем / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник // Вестник Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 2010. - № 3. - С. 4-8.
6. Данилкин А.А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа / А.А. Данилкин, А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, Д.А. Максимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 7. - С. 344-351.
7. Калашник А.И. Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища / А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, Н.А. Калашник // Вестник Кольского научного центра РАН. - 2013. - № 2. - С. 13-16.

УДК 622.271.63:627.514:004

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Н.А. Калашник

научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Россия, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Аннотация. На основе объемного моделирования ГТС хвостохранилища выявлены параметрические зависимости перемещений грунтов дамбы от ее геометрических и гидродинамических характеристик. Для оценки ее механической прочности и противofильтративной функциональности предварительно определены значения надежности (безопасности). Полученные результаты предоставляют научную основу, например, для решения обратной задачи оценки устойчивости дамбы хвостохранилища по результатам геодезических и геометрических измерений.

Ключевые слова: хвостохранилище, моделирование, перемещения грунтов, надежность.

COMPUTER MODELING OF MECHANICAL STRENGTH AND IMPERVIOUS FUNCTIONALITY OF TAILINGS EMBANKMENT DAM

Nadezhda Kalashnik

researcher, Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia; e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Abstract. 3D modeling of tailing's hydro-technical system was applied to reveal parametrical dependencies of a dam's soils movement upon its geometric and hydrodynamic characteristics. Values of reliability (safety) have been preliminary determined in order to assess the dam's mechanical strength and impervious functionality. The results obtained can

be a scientific basis for the dam's stability assessment inversion based on the survey and geometric measurements results.

Keywords: *tailing, modeling, soil movement, reliability.*

Введение. Обеспечение противofильтрационной устойчивости ограждающих дамб хвостохранилищ осложняется тем обстоятельством, что в теле дамбы формируются зоны повышенной фильтрации, идентифицировать которые на их начальной стадии традиционными визуальными и инструментальными методами не представляется возможным.

Натурные измерения. Режимными еженедельными георадарными определениями на одном из крупных хвостохранилищ на Кольском полуострове были выявлены несколько зон неоднородностей в теле дамбы, одна из которых была идентифицирована и прослежена в динамике развития как зона суффозионного размыва [1]. Первоначальными измерениями было определено, что структура данного участка дамбы является относительно однородной и уровень грунтовых вод располагался на глубине 4,5-5,0 м. Спустя три недели измерениями было выявлено изменение картины ниже уровня грунтовых вод, а еще через неделю было установлено общее изменение волновой картины, к наиболее существенным отличиям которой следует отнести «прерывистость» или «размытость» уровня грунтовых вод на интервале около 10 м. Последующими определениями была прослежена общая динамика формирования зоны повышенной фильтрации протяженностью до 10 м и вертикальными размерами около 6 м.

Представляется уместным отметить, что проведенные Горным институтом КНЦ РАН тестовые исследования применимости георадарного зондирования для оценки состояния ограждающей дамбы хвостохранилища показали их высокую информативность и достаточную для решения практических задач локализации депрессионной плоскости и зон повышенной фильтрации разрешающую способность [1, 2].

Цель исследований. В целях выявления особенностей формирования зоны повышенной фильтрации была разработана гидрогеомеханическая модель ГТС хвостохранилища и, на этой основе, создана объемная (3D) компьютерная модель, учитывающая неоднородность структуры ограждающей дамбы, строение подстилающего основания, геометрию дамбы, уровни заполнения хвостохранилища и условия дренирования [3]. На сопряжении нижней части тела дамбы и подстилающего основания имитировалась трапецеидальная зона с размерами: нижняя граница -10 м, верхняя – 6м, высота- 3,5 м (условно названная «одинарная») с

последующим ее практически двукратным увеличением до размеров 20, 10 и 4 м, соответственно (условно названная «двойная»).

Компьютерное моделирование. Выполнено многовариантное компьютерное моделирование фильтрационно-деформационных процессов, формирующихся в теле дамбы. В качестве изменяющихся внешних параметров были приняты уровни воды на нижнем и верхнем склонах и мощность хвостовых отложений, а внутренних: деформационные свойства грунтов (сцепление, угол внутреннего трения), а также скорость и давление фильтрации дренирующейся воды. При этом для каждого слоя грунтов дамбы и подстилающего ее основания задавалась, с учетом исходных гидрогеологических данных, соответствующая модель деформирования: упругопластическая, упруго-вязко-пластическая, фильтрационной консолидации.

Результаты моделирования. По результатам расчетов для различных вариантов были определены напряжения и деформации, реализующиеся в перемещениях грунтов) в теле дамбы и подстилающем основании, а также выявлены закономерности особенностей изменений эффективных напряжений в скелете грунтов и порового давления воды, как активного, так и избыточного. Проведение гидравлических расчетов позволило выявить особенности формирования зон повышенной фильтрации и развития фильтрационно-деформационных процессов.

На рисунке 1 показана динамика полных перемещений дамбы вследствие увеличения размеров зоны фильтрации при прочих равных условиях. Можно видеть, что возникновение зоны фильтрации приводит к существенному изменению картины перемещений, а увеличение ее размеров вдвое меняет эту картину кардинальным образом.

Обсуждение результатов. На основе моделирования было выявлено, что изменение гидродинамических характеристик (скорости и давления дренирующейся воды на породные грунты) в зоне фильтрации сказывается в результирующих значениях и нелинейном характере полных перемещений поверхности дамбы (рис. 2). Даже незначительное увеличение скорости и, соответственно, давления фильтрующейся воды приводит к краткому возрастанию перемещений грунтов, которые для рассмотренных условий могут достигать 60 см на гребне дамбы.

Для прогнозной оценки механической прочности и противофильтрационной функциональности грунтов дамбы компьютерным моделированием в объемной постановке определены значения надежности (безопасности) как интегральной функции заданных в исследуемой модели параметров в зависимости от продольного (по оси зоны фильтрации) коэффициента фильтрации K_f (таблица). Автор считает

необходимым отметить, что полученные значения носят предварительный прогнозный характер и для их уточнения необходимы дополнительные исследования и заверка экспериментальными определениями.

Таблица 1 - Расчетные значения надежности исследуемой ограждающей дамбы

Продольный коэффициент фильтрации (K_{ϕ})	Зона фильтрации	
	«Одинарная»	«Двойная»
0,03	1,18	1,17
10	1,18	1,07
100	1,17	1,01
500	1,08	0,93
600	1,03	0,75
800	1,02	0,55
900	1,01	0,48

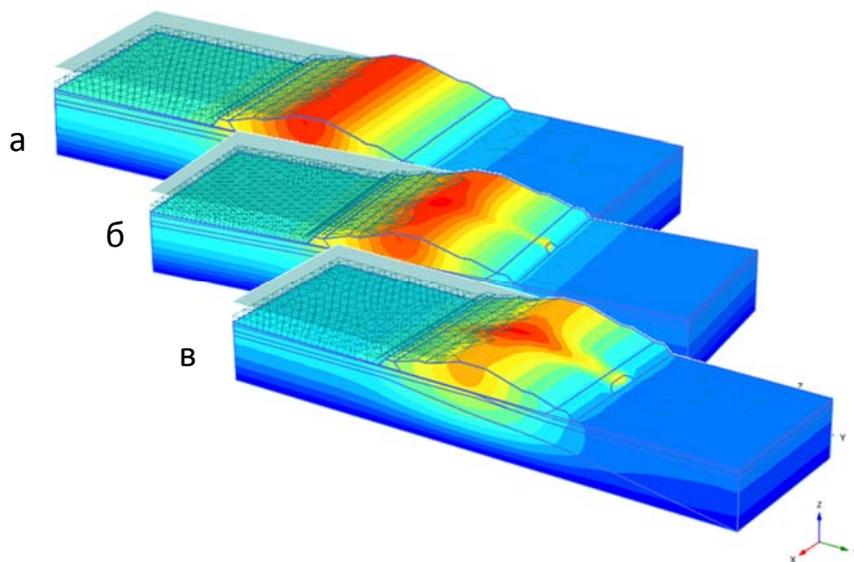


Рисунок 1 - Динамика полных смещений дамбы вследствие увеличения размеров зоны фильтрации:

- а - без фильтрации;
- б – «одинарная»;
- в – «двойная»

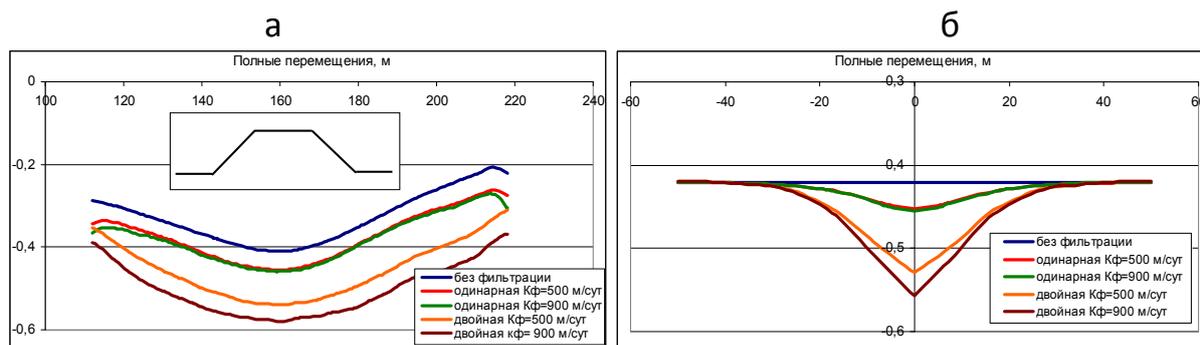


Рисунок 2 – Графики полных перемещений для различной степени фильтрации: а – горизонтальное сечение над зоной фильтрации; б – продольное сечение по центру гребня дамбы

Выводы. Выполненным компьютерным моделированием ГТС хвостохранилища выявлены параметрические зависимости перемещений поверхности ограждающей дамбы от геометрических и гидродинамических характеристик потенциально формирующейся зоны повышенной фильтрации. Для прогнозной оценки ее механической прочности и противофильтрационной функциональности в объемной постановке предварительно определены значения надежности (безопасности) как интегральной функции заданных в исследуемой модели параметров в зависимости от коэффициента фильтрации по продольной оси зоны. Полученные результаты предоставляют научную основу, например, для решения обратной задачи оценки устойчивости дамбы хвостохранилища по результатам геодезических и геометрических измерений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 14-05-98810 и Правительства Мурманской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашник А.И. Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища / А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, Н.А. Калашник // Вестник Кольского научного центра РАН. - 2013. - № 2. - С. 13-16.
2. Мельников Н.Н. Инновационные георадарные технологии изучения подповерхностной структуры и состояния природно-технических систем / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник // Вестник Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 2010. - № 3. - С. 4-8.
3. Калашник Н.А. Моделирование гидротехнических сооружений при ведении горных работ / Н.А. Калашник // Горное дело: Технологии. Оборудование. Спецтехника. – Екатеринбург, 2011. - С. 197.