3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЭТАПНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ НАКОПИТЕЛЯ ЖИДКИХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Н.А. Калашник, *научный сотрудник*
Горный институт КНЦ РАН
(Россия, г. Апатиты)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11897

Аннотация. *Изложены результаты компьютерного многовариантного параметрического 3D моделирования поэтапного возведения ограждающей дамбы накопителя жидких горнопромышленных отходов. По результатам расчетов получены картины (цветовые палитры), отражающие изменения гидрогеомеханического состояния накопителя отходов. Выполнен комплексный анализ результатов моделирования, направленный на идентификацию общих зависимостей и тенденций, обусловленных поэтапным наращиванием дамбы. Выявлены общие закономерности изменения общих, вертикальных и горизонтальных перемещений грунтов при наращивании ограждающей дамбы, для которых определены математические выражения и графические тренды.*

Ключевые слова: *3D моделирование, накопитель отходов, ограждающая дамба, поэтапное возведение.*

Накопители жидких горнопромышленных отходов, представляющих собой в основном хвостохранилища обогатительных фабрик горнодобывающих предприятий, создаются, как правило, на относительно слабых грунтах в оврагах или котловинах рек [1]. При этом, согласно работе [2], хвостохранилища подразделяются по способу возведения ограждающей дамбы:

– в сторону верхового откоса (upstream method);

– центральная отсыпка (central line);

– наращивание в сторону низового откоса (down stream method).

Исходя из того, что на хвостохранилищах северо-запада РФ в основном применяется наращивание ограждающих дамб в сторону верхового откоса, научный и практический интерес представляет исследование изменения гидрогеомеханического состояния хвостохранилища при поэтапном возведении (наращивании) ограждающей дамбы.

Компьютерное 3D моделирование поэтапного возведения ограждающей дамбы накопителя жидких горнопромышленных отходов выполнено на примере хвостохранилища обогатительной фабрики одного из крупных горнодобывающих предприятий Мурманской области. Параметры физико-механических свойств техногенных грунтов дамб и отложений естественного основания хвостохранилища для модели были приняты по результатам лабораторных исследований, выполненных на данном предприятии в 2016-2018 гг. специализированными организациями [3-6].

Оценка ретро, текущего и прогнозного гидрогеомеханического состояния ограждающей дамбы, устойчивости ее низового откоса и фильтрационного режима хвостохранилища выполнен с учетом наращивания дамбы от пионерной до проектной отметки гребня + 133,5 м, то есть на высоту более 30 м (рис. 1).

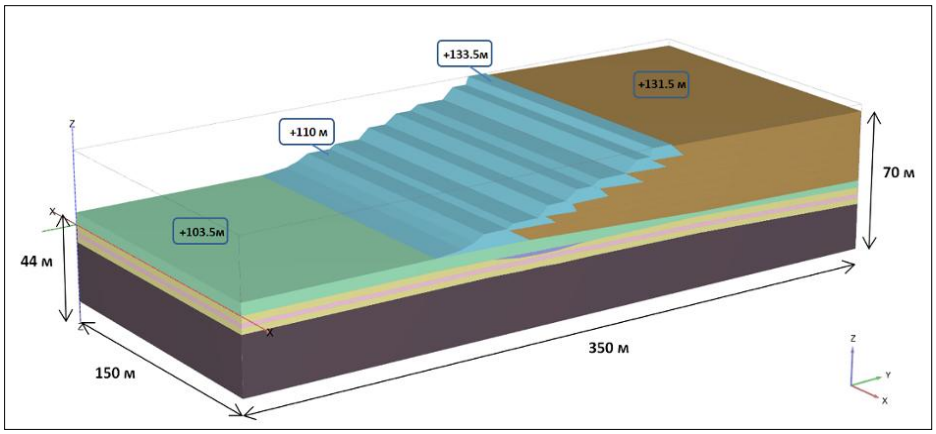

Рис. 1. Компьютерная 3D модель накопителя жидких горнопромышленных отходов (поэтапное наращивание дамбы)

Построение расчетной 3D модели выполнялось в следующей последовательности: создание геометрии природно-технической системы «геологическое основание – хвостохранилище – ограждающая дамба», построение расчетной модели инженерно-геологического строения системы, задание свойств компонентов системы (характеристики деформационных, прочностных и фильтрационных свойств), задание граничных условий и нагрузок, разбивка геометрической модели на конечные элементы, проведение тестовых расчетов.

3D моделирование выполнялось посредством проведения многовариантных параметрических расчетов [7]. В расчетах использовались гидрогеологические условия, а также данные комплексных инженерно-геологических и геотехнических изысканий, полученные в результате натурных измерений.

Обработка полученных результатов заключалась в построении картин (объемных цветовых палитр) распределения перемещений, напряжений, порового давления и фильтрационных условий в грунтах хвостохранилища и ограждающей дамбы.

Комплексный анализ результатов моделирования был направлен на выявление общих закономерностей изменения параметров гидрогеомеханического состояния хвостохранилища (накопителя жидких горнопромышленных отходов). За основу был принят анализ перемещений грунтов, отражающий в целом состояние исследуемого накопителя (рис. 3).

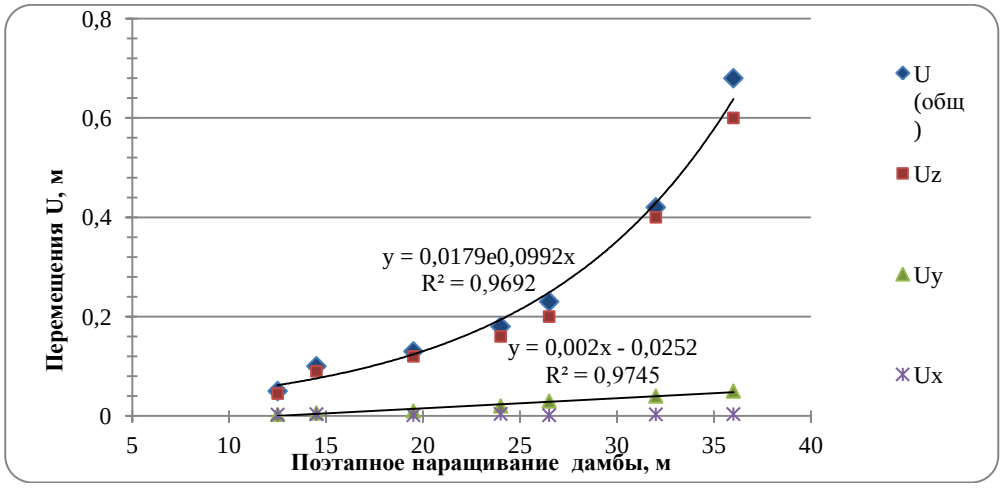

Рис. 3. Общие закономерности перемещений грунтов при поэтапном наращивании ограждающей дамбы накопителя жидких горнопромышленных отходов

Из рисунка 2 следует, что общие перемещения в основном состоят из вертикальных, ориентированных сверху вниз (от дневной поверхности вниз) в пределах ограждающей дамбы. Закономерности их изменения при наращивании ограждающей дамбы подчиняются с высокой достоверностью полиномиальному закону (для рассмотренных условий), математическое выражение и линия тренда которого отображены соответственно на рисунке.

Горизонтальные перемещения, ориентированные вкрест (поперек) и вдоль ограждающей дамбы, имеют существенно меньшие значения. Закономерности их изменения при наращивании ограждающей дамбы подчиняются с высокой достоверностью линейному закону (для рассмотренных условий), математическое выражение и линия тренда которого отображены соответственно на рисунке 2.

Заключение. Выполнено компьютерное многовариантное параметрическое 3D моделирование поэтапного возведения ограждающей дамбы накопителя жидких горнопромышленных отходов на примере хвостохранилища обогатительной фабрики крупного горнодобывающего предприятия. По результатам моделирования построены картины (цветовые палитры) распределения перемещений, напряжений, порового давления и фильтрационных условий в грунтах хвостохранилища и ограждающей дамбы. Выявлены общие закономерности изменения перемещения грунтов при наращивании ограждающей дамбы: общие и вертикальные подчиняются с высокой достоверностью полиномиальному закону (для рассмотренных условий), а перемещения грунтов в горизонтальной плоскости – линейному закону. Для выявленных закономерностей определены математические выражения и линии трендов.

Библиографический список

1. *Мельников Н.Н.,* Усачев П.А., Демидов Ю.В. и др. Научно-технический прогресс на горнорудных предприятиях Заполярья. – Л.: Наука, 1988. – 239 с.

2. *Ritcey G. M.* Tailings management. Elsevier – Amsterdam – Oxford – New-York – Tokyo, 1989. – 970 с.

3. *Калашник А.И.,* Калашник Н.А. Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2013. – № 1 (12). – С. 27-30.

4. *Мельников Н.Н.,* Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В. Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2017. – Т. 20. № 1-1. – С. 13-20.

5. *Калашник А.И.,* Запорожец Д.В., Калашник Н.А. Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2013. – №2 (13). – С. 13-16.

6. *Мельников Н.Н.,* Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – №1 (107). – С. 39-49.

7. *Калашник А.И.* Методология применения информационных технологий при освоении минерально-сырьевых ресурсов Кольского полуострова // Наука и образование. 10 лет вместе. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 132-139.

3D SIMULATION OF STEP-BY-STEP ERECTION OF CONTAINMENT DAM OF LIQUID MINING WASTES ACCUMULATOR

N.A. Kalashnik, *Researcher*
Mining Institute Kola Science Center RAS
(Russia, Apatity)

Abstract. *The results of computer multivariate parametric 3D simulation of step-by-step erection of liquid mining wastes accumulator enclosing dam are presented. Based on the results of the calculations, pictures (color palettes) were obtained, reflecting changes in the hydrogeomechanical state of the waste accumulator. A comprehensive analysis of simulation results was carried out, aimed at identifying general dependencies and trends caused by the step-by-step expansion of the dam. Common regularities of change of general, vertical and horizontal movements of soils during building-up of the enclosing dam, for which mathematical expressions and graphical trends are defined, have been revealed.*

Keywords: *3D simulation, waste storage, enclosing dam, phased erection.*