Калашник Н.А.
3D Моделирование насыпной грунтовой плотины водохранилища
муниципального и горнопромышленного значения

*Горный институт КНЦ РАН
(Россия, Анапты)*

doi: 10.18411/lj-05-2019-31

idsp: ljjournal-05-2019-31

Аннотация

Выполнено 3D компьютерное моделирование насыпной грунтовой плотины водохранилища Селиакка-Ярви, являющегося основным и важным источником производственного водоснабжения г. Заполярный и промышленных объектов АО «Кольская ГМК». Построение 3D модели и ее исследование выполнены на основе данных натурных инженерно-геологических, гидрологических и геодезических измерений и визуальных обследований плотины. По результатам исследований определены значения и размеры зон смещений грунтов плотины и подстилающего геологического основания, а также выявлены тенденции их изменения в плане и по глубине. Рассчитаны значения коэффициента устойчивости (безопасности) плотины, на основании чего сделан вывод о ее устойчивом состоянии для рассматриваемых условий.

Ключевые слова: водохранилище, плотина, моделирование, смещения грунтов, устойчивость.

Abstract

3D computer modeling of a bulk soil dam of the reservoir Seliakka-Yarvi which is the main and important source of production water supply of city Zapoljarnui and industrial facilities of JSC “Koliskaja GMK” is executed. Creation of a 3D model and its research are executed on the basis of these natural engineering-geological, hydrological and geodetic measurements and visual inspections of a dam. By results of researches values and the sizes of zones of shifts of soil of a dam and the spreading geological basis are defined and also trends of their change in the plan and on depth are revealed. Values of coefficient of stability (safety) of a dam are calculated on the basis of what the conclusion is drawn on its steady state for the considered conditions.

Keywords: reservoir, dam, modeling, movements of soil, stability.

Необходимость и актуальность данного исследования определяются тем, что водохранилище Селиакка-Ярви является основным и важным источником муниципального и горнопромышленного водоснабжения. Забор водных ресурсов из водохранилища осуществляется для технических нужд и нужд горячего водоснабжения г. Заполярный, а также для расположенных здесь промышленных объектов АО «Кольская ГМК» [1].

Водоохранилище Селиакка-Ярви сформировано в пределах расширения реки Селиакка-Ярви (Быстрая) в ее среднем течении. Сооруженная насыпная грунтовая плотина перегораживает суженную часть долины, сложенную перемежающимися аллювиальными и водно-ледниковыми образованиями. Кристаллические породы геологического основания интенсивно трещиноваты, на отдельных участках раздроблены.

Плотина водохранилища Селиакка-Ярви характеризуется следующими основными параметрами: высота плотины - 18,0 м; длина плотины по гребню - 510,0 м; ширина плотины по гребню - 20,0-50,0 м; ширина плотины по подошве - 120,0 м; отметка гребня - 201,2 м. Водоохранилище имеет полный объем 3,2 млн. м³, площадь зеркала - около 0,6 км²; при этом отметка нормального подпорного уровня на верхнем бьефе плотины составляет 198,4 м.

Гребень плотины, отсыпанный песчано-глыбовым материалом, представляет собой уплотненную волнистую поверхность с небольшим (0,5-0,7 м) перепадом высот (рис.1). Водоприемная часть (верхний бьеф) плотины представляет собой склон под углом около 45°, сложенный крупноглыбовым и валунным материалом местных пород. Упорная часть

(нижний бьеф) плотины представляет собой склон под углом от 55° до 75° , сверху отсыпанный крупноглыбовым и валунным материалом практически до нижнего бьефа плотины. Вдоль бьефа, в песчано-гравийных отложениях, прослеживается небольшое понижение, к которому приурочены несколько водотоков и водоемов, сформировавшихся вследствие инфильтрационного просачивания воды водохранилища через тело плотины.

Рисунок 1 – Схема компьютерной 3D модели «водохранилище-плотина-геологическое основание»

Целью данной работы являлась оценка устойчивости насыпной грунтовой плотины озера водохранилище озера Селиакка-Ярви на основе компьютерного 3D моделирования условий ее работы. Для достижения поставленной цели была построена 3D модель системы «водохранилище-плотина-геологическое основание» и выполнено компьютерное исследование ее фильтрационно-деформационного состояния. По результатам 3D компьютерного моделирования определены расчетные значения смещений грунтов плотины и геологического основания, и выполнена оценка устойчивости плотины в целом.

Для выполнения исследований была построена 3D модель системы «водохранилище-плотина-геологическое основание». Вначале была создана геометрически подобная схема, с выделением основных слоев грунтов в геологическом основании и в теле плотины, для которых, на основании данных натурных инженерно-геологических условий, были заданы соответствующие параметры физико-механических свойств [2,3].

Затем, для проведения расчетов, геометрическая модель была разбита на отдельные элементы. Основными элементами в трехмерной сетке конечных элементов являются десятиузловые элементы-тетраэдры. Автором сетка конечных элементов была построена в автоматическом режиме с использованием опции *Element distribution* как *very fine* (очень мелкая), которая включала: конечных элементов – 48082; узлов – 70653. При этом средний размер элемента был подобен 5,318 м; максимальный размер элемента в основании – 14,66 м; минимальный размер элемента в теле плотины – 0,286 м, что свидетельствует о достаточной детализации исследований.

Далее задавался уровень воды в водохранилище на отметке +198,4 м (отметка нормального подпорного уровня), и строилась, по гидрогеологическим данным, депрессионная поверхность в теле плотины.

На основе созданной 3D модели «водохранилище-плотина-геологическое основание» были выполнены многовариантные параметрические расчеты, по результатам которых были построены цветные картины (палитры) смещений грунтов плотины и геологического основания. На рис.2 приведена объемная палитра общих (полных) расчетных смещений грунтов для рассматриваемых исходных условий, с указанием геометрических размеров зон одинаковых значений смещений вкrest (поперек) плотины.

Рисунок 2 – Объемная палитра общих (полных) расчетных смещений грунтов плотины и геологического основания

Зависимости изменения значений смещений грунтов плотины и геологического основания с глубиной приведены на рис.3.

Рисунок 3 – Зависимости изменения значений смещений грунтов плотины и геологического основания с глубиной

Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что максимальные смещения (до 6,5 см) локализуются на сопряжении гребня плотины и верхнего бьефа. Размеры этой зоны могут достигать до 20 м в плане и до 5-6 м по глубине. Следует заметить, что грунты плотины в целом подвержены относительным смещениям 5-6 см практически на всю ее высоту (10-12 м). В целом, смещения подвержены не только грунты плотины, но и геологического основания: горизонтальный размер зоны смещений достигает 230 м, а вертикальный – 30-33 м (что более чем в 2 раза превышает высоту непосредственно плотины). Но значения этих смещений не велики и не превышают 4 см непосредственно под плотиной, практически с линейным затуханием до глубины 30-33 м.

По результатам компьютерного моделирования и выполненных многовариантных параметрических расчетов была выполнена оценка устойчивости (безопасности), базирующаяся на отношении полученных значений сдвиговой прочности к минимальной сдвиговой прочности, необходимой для равновесия [2,4,5,6]. Было определено, что для рассматриваемых условий работы системы «водохранилище-плотина-геологическое основание», при отметке гребня плотины +201 м и при уровне воды в водохранилище +198,4 м, устойчивость плотины обеспечивается для всех рассмотренных вариантов со значениями коэффициента устойчивости (безопасности) $K_{без}$, большими нормативного коэффициента $K_{безн}$ (согласно нормативным требованиям [7] $K_{безн}$ должен быть не менее 1.5).

Выполненные расчётные исследования устойчивости плотины комплекса гидротехнических сооружений водохранилища оз. Селиакка-Ярви при отметке гребня плотины +201 м и уровне воды в озере +198,4 м, показали, что смещения грунтов верхней части плотины не превышают 6 см, с геометрическим затуханием в подстилающем геологическом основании на глубине 30-33 м. По результатам компьютерного моделирования и выполненных многовариантных параметрических расчетов было установлено, что устойчивость плотины обеспечивается для всех рассмотренных вариантов.

1. Научно-технический прогресс на горнорудных предприятиях Заполярья / Мельников Н.Н., Усачев П.А., Демидов Ю.В. и др. – Л.: Наука, 1988. 239 с
2. Калашник Н.А. Компьютерное моделирование механической прочности и противофильтрационной функциональности ограждающей дамбы хвостохранилища // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. Днепропетровск, 2016. - № 3. - С. 304-308.
3. Калашник А.И., Калашник Н.А. Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия // Вестник КНЦ. 2013. № 1. С. 27-30.
4. Данилкин А.А., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Максимов Д.А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7. С. 344-351.

5. Калашник А.И., Калашник Н.А., Смирнова О.В. Компьютерное 3D моделирование фильтрационно-деформационного состояния ограждающей дамбы хвостохранилища Ковдорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. Спецвыпуск 23. С. 292-298.
 6. Калашник А.И., Запорожец Д.В., Калашник Н.А. Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища // Вестник КНЦ. 2013. № 2. С. 13.
 7. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Утв. Минрегион России 29.12.2011. Ввод в действие 01.01.2013.
-