

УДК 626-315.3

**ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ
КОМПЛЕКСНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВЫХ
ПЛОТИНМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

Качаев Александр Евгеньевич,

к.т.н., заведующий кафедрой строительного производства,
Коломенский институт (филиал) Московского политехнического
университета

Турапин Сергей Сергеевич,

к.т.н., врио директора, ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

Аннотация: В исследовании вопроса разработки комплексных моделей гидротехнических сооружений на примере грунтовых плотин мелиоративных систем показан подход к определению их напряженно-деформационно-фильтрационных параметров, а также в динамике изменения параметров порового давления и фильтрации в различных слоях грунтов подобного типа сооружений. Представлена последовательность определения порового давления внутри грунтовой плотины и расчет устойчивости боковых откосов в программе Plaxis.

Ключевые слова: грунтовая плотина, гидротехническое сооружение, фильтрация, поровое давление, устойчивость, деформация.

**JUSTIFICATION OF THE NEED FOR DEVELOPING COMPREHENSIVE
CALCULATION MODELS OF EARTH DAMS OF RECLAMATION
SYSTEMS**

Kachaev Alexander Evgenievich,

PhD, Head of the Department of Construction Production,
Kolomna Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University

Turapin Sergey Sergeevich,

Abstract: In the study of the development of complex models of hydraulic structures using the example of earth dams of melioration systems, an approach to determining their stress-strain-filtration parameters is shown, as well as in the dynamics of changes in the parameters of pore pressure and filtration in various soil layers of this type of structures. The sequence of determining the pore pressure inside the earth dam and calculating the stability of side slopes in the Plaxis program is presented.

Keywords: earth dam, hydraulic structure, filtration, pore pressure, stability, deformation.

Введение. На современном этапе развития сельского хозяйства в нашей стране особое внимание необходимо уделить мелиоративным системам. Мелиоративный комплекс, состоящий из различных технических средств и сооружений в нашей стране переживает возрождение. Наличие эффективных и малозатратных технологий в сельском хозяйстве позволяет фермерам нашей страны быть конкурентоспособными, что сказывается положительно на экономике нашей страны.

Эффективное орошение сельхозпродукции позволяет получать максимальные урожаи и должным образом содержать хозяйства на быстроизменяющемся рынке продовольствия. Это было бы невозможным, если гидротехнические сооружения должным образом не обеспечивали необходимость и эффективность полива сельскохозяйственных культур.

Проектирование новых гидротехнических комплексов для мелиорации сельхозземель, реконструкция существующих плотин и дамб в настоящее время должно осуществляться по технологии BIM (BuildingInformationModel)[1]. Используя технологии информационного моделирования гидротехнических сооружений, возможно на любой стадии

жизненного цикла объекта выполнять различные технические работы, которые могут связаны с реконструкцией, модернизацией или ремонтом сооружений, оценкой их эксплуатационного состояния и надежности[2].

При этом не стоит забывать, что методы расчета гидротехнических сооружений, их сравнение с результатами моделирования должны обеспечивать сходимость результатов. Математическое описание процессов, происходящих на гидротехнических сооружениях, также должно быть в явном виде соотнесено с результатами комплексного моделирования и расчета таких сооружений [3].

Целью настоящего исследования является разработка методики численного моделирования для оценки устойчивости грунтовой плотины при различном заполнении водохранилища (в том числе при быстрой сработке водохранилища, как случая, при котором плотина максимально нагружена различным динамическим воздействием водных масс).

Поставленная цель в исследовании решается несколькими задачами:

- проводится численный анализ напряженно-деформируемого состояния (НДС) тела плотины и прилегающих к нему грунтов (в том числе кривая депрессии при различных значениях порового давления) на различных стадиях наполненности водохранилища;
- рассчитывается фильтрация плотины для случая быстрой сработки водохранилища, при этом рассматривается модель нестационарного режима;
- численно рассчитывается и описывается устойчивость грунтовой плотины при различных режимах сработки водохранилища и учетом процесса фильтрации.

Исследование проблемы нестационарной фильтрации в условиях резкого падения уровня верхнего бьефа с акцентом на грунтовые плотины и дамбы было предметом анализа в работах как отечественных, так и зарубежных ученых.

Тематики исследований в этой области различны. Стоит отметить, что в этих работах обращается внимание на исследование состояний грунтовых

плотин на различных грунтах, физико-механические характеристики которых моделируются в соответствии с определенными особенностями той или иной местности.

В последние годы для анализа устойчивости откосов грунтовых плотин в различных ситуациях снижения уровня воды в водохранилище, включая задачи нестационарной фильтрации, активно используются численные методы. Среди них особенно выделяется метод конечных элементов (МКЭ) [4–6].

Основная часть. Рассмотрим комплексный подход к моделированию гидротехнических сооружений на примере грунтовых плотин, которые используются в сельском хозяйстве. Отметим, что техническое состояние большинства из них оставляет желать лучшего. Именно поэтому актуальной является задача по разработке трехмерных моделей грунтовых плотин мелиоративного комплекса с целью их численного моделирования и наблюдения за ними.

Объектом исследования является однородная грунтовая плотина из суглинка на нескальном основании. Профиль грунтовой плотины представлен на рис. 1. Высота плотины — 29 м, заложение верхового и низового откосов — 1:3,5. Начальная глубина верхнего бьефа $H_1 = 26$ м. Рассматривалось два случая работы: медленная $v = 0,5$ м/сут, быстрая (аварийная) $v = 5,0$ м/сут. В обоих случаях анализировалось понижение уровня воды в верхнем бьефе до отметки $H_2 = 4$ м.

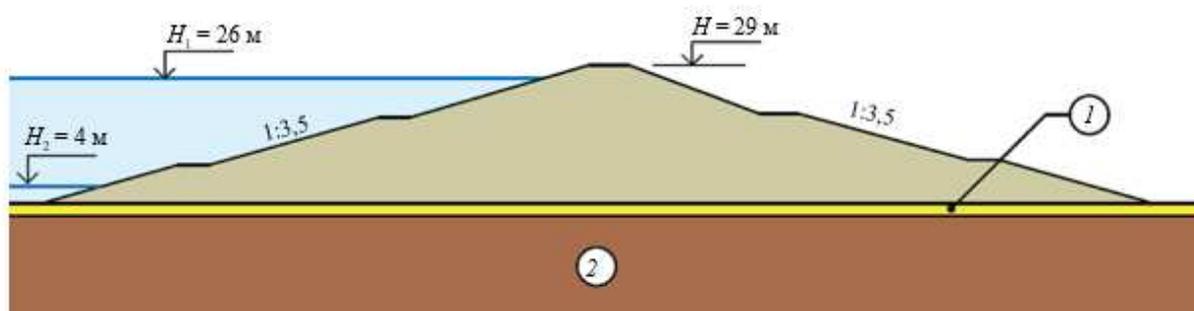


Рис. 1 Классическое устройство ограждающей грунтовой плотины

Комплексное моделирование проектируемых или существующих грунтовых плотин всегда сводится к определению порового давления в различных частях плотины, выявление местоположения кривой депрессии в по телу плотины, а также определения коэффициента устойчивости сооружения в различные временные промежутки при различных ситуациях сработки водохранилища [4].

Так, например, на рис. 2 показаны расчетные положения депрессионных поверхностей в случаях установившейся и неустановившейся фильтрации. Параметры фильтрации грунтовых плотин также относятся к моделируемым показателям, она определяет поведение грунтов сооружения и ее высокие значения быстро выводят из строя откосы.

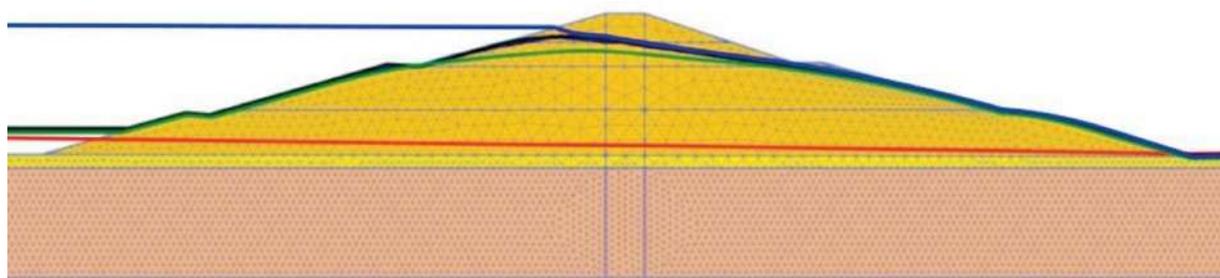


Рис. 2 Стационарная и нестационарная фильтрация с депрессионными поверхностями

Вышеуказанные показатели должны быть верифицированы на предмет адекватности полученных результатов численного моделирования относительно реальных значений фильтрации при помощи лабораторных исследований грунтов, образующих данный объект исследования [7].

На рис. 3 показана динамика градиента фильтрации грунтовой исследуемой плотины во время экстренного сброса водохранилища. Такая информация необходима, чтобы понять гидродинамику воды, которая существенным образом влияет на тело плотины.

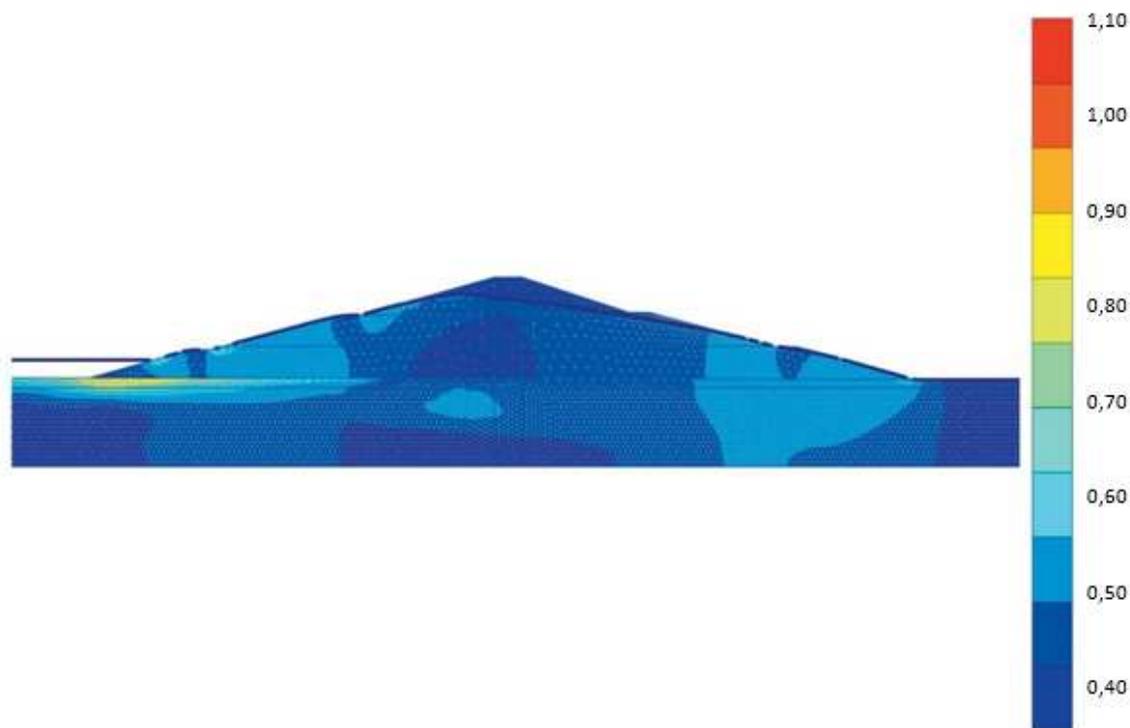


Рис. 3 Динамика градиента фильтрации во время экстренной сработке водохранилища

Говоря о динамике грунтов, которые начинают двигаться под воздействием давления водных масс[8], необходимо оценить места начала движения грунтов и места, где их движение незначительно и не оказывает разрушающего воздействия. Это состояние можно характеризовать плоскостями сдвига, где значения разности переменных нагрузок проявляют себя больше всего. На рис. 4 показаны результаты численного моделирования порового давления в плотине при экстренной сработке водохранилища, определена плоскость сдвига, которая разделяет максимально нагруженные слои плотины от ненагруженных.

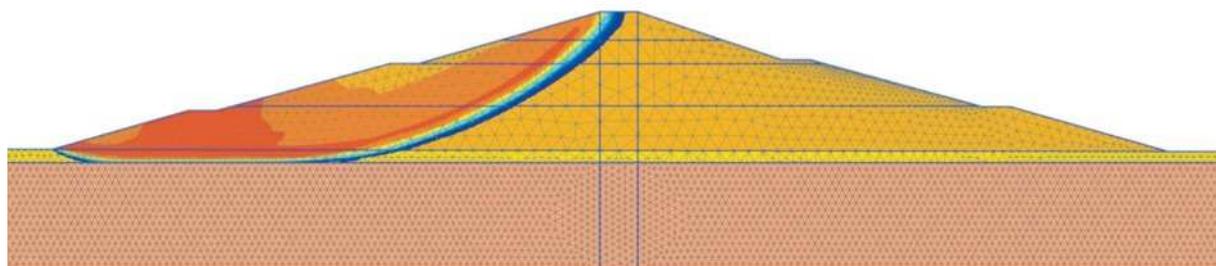


Рис. 4 Сдвиговые плоскости при экстренной сработке водохранилища

Заключение. Комплексное моделирование напряженно-деформационно-фильтрационного состояния грунтовых плотин для мелиоративных систем позволяет одновременно оценивать несколько различных параметров и выявлять их взаимное влияние на друг друга. Полученные результаты по комплексной оценке состояния твердотельных моделей грунтовых плотин целиком и полностью зависят от выбранной модели поведения грунтов в слоях плотины, а также физико-механических свойств грунтов самой плотины. Следовательно, разработка на стадиях проектирования и эксплуатации комплексных моделей, верифицированных по основным параметрам функций отклика – устойчивости, фильтрации, порового давления, - является актуальной задачей и необходима для надежной и долговечной эксплуатации гидротехнических сооружений подобного типа.

Результаты, представленные в данной методике оценки устойчивости дамб, основанной на создании напряженно-деформационно-фильтрационной модели, указывают на достижение целей исследования. Анализ был выполнен на базе полученных численных значений функций отклика, описанных для гидротехнического сооружения подобного рода, в соответствии с предложенным методом моделирования различных режимов нагрузки на ГТС.

Проведённый анализ результатов фокусируется на таких функциях отклика, как активное поровое давление P_{activ} в слоях гидротехнического сооружения, а также коэффициент устойчивости $k_{\text{СТ}}$ при разных эксплуатационных режимах, учитывая кривую депрессии для каждой стадии нагрузки дамбы.

Список источников

1. Сидоренко Д. А., Качаев А. Е. BIM-технологии в строительстве: что будет дальше? // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвящённой 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана

многообразной транспортной космической системы "Буран", Рязань, 12–14 апреля 2023 года / Под редакцией А.Н. Паршина. – Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский политехнический университет", 2023. – С. 490-492.

2. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. - Москва: ДМК Пресс, 2011. - 392 с.

3. Мозголов М. В. К вопросу оценки точности решений моделей метода конечных элементов на примере расчета консольной балки // Системные технологии. – 2024. – № 1(50). – С. 118-128.

4. Турапин С. С. Методические рекомендации по правилам эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений / С. С. Турапин, Г. В. Ольгаренко. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 68 с.

5. Евтушок Г. Ю., Бойко А. В., Яковенко С. Н. [и др.] Модификация и верификация численных алгоритмов для течения при разрушении плотины над горизонтальным дном // Прикладная механика и техническая физика. – 2021. – Т. 62, № 2(366). – С. 88-101.

6. Aniskin N.A., Antonov A.S. Development geo-seepage models for solving seepage problems of large dam's foundations, on an example of ANSYS Mechanical APDL // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1079–1080. Pp. 198–201.

7. Al-Labban S. Seepage and Stability Analysis of the Earth Dams under Drawdown Conditions by using the Finite Element Method // Electronic Theses and Dissertations. 2018. P. 6157.

8. Анискин Н.А. Неустановившаяся фильтрация в грунтовых плотинах и основаниях // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 70–79.

References

1. Sidorenko D. A., Kachaev A. E. BIM technologies in construction: what will happen next?. Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University". 2023. Pp. 490-492.

2. Talapov V.V. BIM Fundamentals: Introduction to Building Information Modeling. - Moscow: DMK Press, 2011. - 392 p.

3. Mozgolov M. V. On the issue of assessing the accuracy of solutions of finite element method models using the example of calculating a cantilever beam // System technologies. - 2024. - No. 1 (50). - Pp. 118-128.

4. Turapin S. S. Methodological recommendations on the rules for the operation of land reclamation systems and separately located hydraulic structures / S. S. Turapin, G. V. Olgarenko. - Kolomna: IP Vorobyov O. M., 2015. - 68 p.

5. Evtushok G. Yu., Boyko A. V., Yakovenko S. N. [et al.] Modification and verification of numerical algorithms for flow during dam failure above a horizontal bottom // Applied mechanics and technical physics. - 2021. - Vol. 62, No. 2 (366). - Pp. 88-101.

6. Aniskin N.A., Antonov A.S. Development of geo-seepage models for solving seepage problems of large dam's foundations, on an example of ANSYS Mechanical APDL // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1079–1080. Pp. 198–201.

7. Al-Labban S. Seepage and Stability Analysis of the Earth Dams under Drawdown Conditions by using the Finite Element Method // Electronic Theses and Dissertations. 2018. Pp. 6157.

8. Aniskin N.A. Unsteady Seepage in Earth Dams and Foundations // Bulletin of MGSU. 2009. No. 2. Pp. 70–79.