

УДК 626-315.3

## ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН МЕЛИОРАТИВНЫХ 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.** Гидротехнические сооружения мелиоративного комплекса в настоящее время требуют работ по их реконструкции и модернизации. Задачи в этой области стоят весьма актуальные и амбициозные – приведение в нормативное соответствие грунтовых и железобетонных гидроузлов для повышения уровня их надежности и эффективности работы на частный и государственный сектор экономики. Каждое гидротехническое сооружение уникально. Следовательно, у каждого из них, у кого срок эксплуатации более 25 лет при реконструкции могут возникать свои особенности и методы их инженерного разрешения.

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

## FEATURES OF RECONSTRUCTION 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,**

PhD, Acting Director, Federal State Budgetary  
Scientific Institution All-Russian Research Institute "Raduga"

**Abstract.** Hydraulic structures of the melioration complex currently require work on their reconstruction and modernization. The tasks in this area are very urgent and ambitious - bringing soil and reinforced concrete hydraulic structures into regulatory compliance to increase their reliability and efficiency in the private and public sectors of the economy. Each hydraulic structure is unique. Therefore, each of them, whose service life is more than 25 years, may have its own features and methods of their engineering resolution during reconstruction.

**Key words:** soil dam, hydraulic structure, filtration, pore pressure, stability, deformation.

**Введение.** Современное проектирование грунтовых плотин требует тщательного анализа как статической, так и динамической их работы. Математические модели плотин, основанные на теории пластичности, часто не учитывают влияние времени и скорости нагрузки на деформацию. Анализ фильтрационного потока, который в начале работы плотины имеет неустановившийся характер, также усложняется неопределённостью граничных условий и анизотропностью грунтовых свойств.

Грунтовые плотины широко применяются в разных климатических зонах, создавая большие водохранилища, аварии с которыми могут брать катастрофические масштабы. Климатические, геологические и сейсмические условия существенно влияют на проектирование этих сооружений.

При реконструкции плотин, таких как увеличение уровня воды или укрепление дамбы, важно оценить их техническое состояние, включая исследование геологического фундамента. Многие из этих сооружений были построены без надлежащей документации и часто оказываются ненадежными.

Настоящая работа направлена на оценку состояния грунтовой плотины в с. Мамаевка, что дало возможность определить необходимые меры для

улучшения её эксплуатационных характеристик. Плотина была построена в 1980-90-х годах и требует защиты для повышения своей устойчивости.

Плотина была построена в период с 1985 по 1990 год. Согласно общепринятой классификации в гидротехнике, рассматриваемое сооружение является грунтовой, насыпной и однородной плотиной, не имеющей ядра, экранов и диафрагм. По высоте гребня она классифицируется как низкая ( $H < 25$  м). Информация о конструктивных особенностях плотины, способах её возведения, составе грунтов, на которых она покоится, а также о методах уплотнения грунта в её теле отсутствует.

Эти факторы существенно оказали влияние на выбор подхода к исследованию и анализу условий, влияющих на функциональность сооружения, а также на отбор различных критериев оценки. Для расчета устойчивости откосов необходимо создать гидродинамическую сеть для движения фильтрационного потока и депрессионной поверхности, а также определить параметры самого потока и расчетные фильтрационные расходы через плотину. Предшествует этому обширный комплекс топогеодезических, инженерно-геологических, гидрогеологических и радометрических исследований.

Основные результаты исследований показывают, что для формирования тела плотины длиной приблизительно 100 м использовался местный строительный материал. Грунты представлены желто-бурыми лесовидными супесями и легкими суглинками мощностью 12-14 м, которые, вероятно, закладываются на глубине каменноугольных отложений. Максимальная глубина водохранилища составляет 5-5,5 м, ширина по гребню – 6-10 м, при этом высота с нижнего бьефа достигает 12 м. Общий вид плотины доступен на рисунке 1.

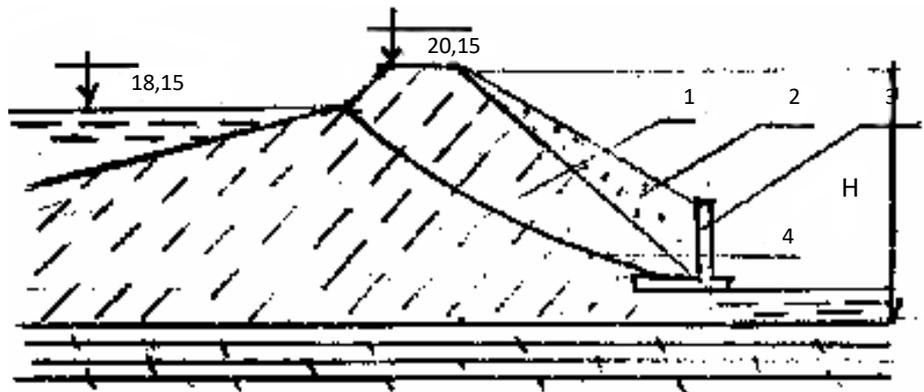


Рис. 1 Устройство плотины: 1– ядро плотины; 2 – откос; 3– подпиральная стенка; 4 –депресссионная кривая.

В ходе исследований и измерительных работ было выявлено, что как сверху, так и снизу плотины наблюдаются фильтрационные деформации ее конструкции. Это проявляется в форме фильтрационных выносов со стороны нижнего бьефа и размыва из-за волновых воздействий со стороны верхнего бьефа. Согласно наблюдениям, величина фильтрационного размыва составляет от 0,3 до 0,6 метра в год, что требует срочных мероприятий по укреплению верхнего склона. Угловое закладка нижнего склона плотины варьируется от 1 до 1,5. Практика строительства и проектирования земляных плотин из песчаных и глинистых грунтов показывает, что для таких высот нижний склон следует делать более пологим.

Для анализа фильтрационного режима в грунтовых плотинах применяются как расчетные, так и экспериментальные методы. Расчетные методы подразделяются на гидравлические и механические. Гидравлический метод строится на использовании ряда упрощений, основанных на следующих принципах, изложенных ниже.

А. Фильтрационный поток считается плавно изменяющимся, и криволинейные эквипотенциалы в однородной плотине можно заменить вертикальными линиями. Для анализа фильтрационного потока в двух

вертикальных сечениях используется известная гидравлическая формула Дюпюи. В случае простейшего прямоугольного сечения кривая депрессии будет представлять собой кривую спада, а расход определяется выражением из работы [3]:

$$q = k_{max} \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}, \quad (1)$$

А величина потока, подвергающегося фильтрации, определяется по формуле:

$$h_{min} = \frac{\sqrt{H_2^2 + (H_1^2 - H_2^2) \cdot x}}{L}, \quad (2)$$

Где  $L$  – расстояние между противоположными сечениями задачи, м.

Б. При прохождении потока сквозь слои с различной проницаемостью можно ввести некоторые условные области фильтрации. В этом случае несколько вертикальных слоёв различной толщины могут быть заменены на один слой с толщиной  $d$  (см. рис. 2б). Это же условие может быть использовано и для ряда горизонтальных слоев [4].

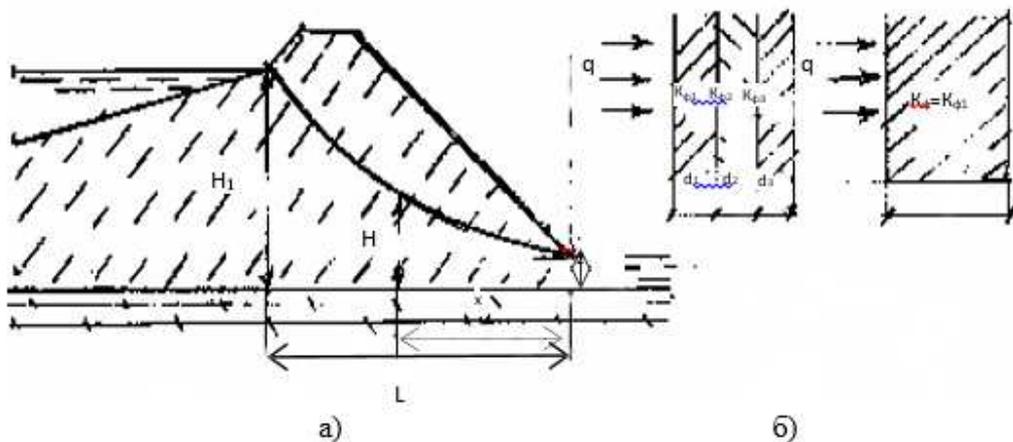


Рис.2Схема фильтрации

В. Верхняя часть плотины может быть представлена в виде эквивалентного прямоугольного массива (см. рис. 3). Если плотина и её основание обладают одинаковым фильтрационным коэффициентом, то ширину этого эквивалентного массива  $в_{эк}$  с достаточной точностью можно принять равной  $0,4 H_1$ , особенно при крутом верхнем откосе ( $m_1 < 2$ ).

$$V_{\text{ЭКВ}} = \frac{m_1}{1+2m_1} \cdot H_1^3 \quad (3)$$

где  $m_1$  – заложение верхнего откоса, м.

Г. Промежутки места фильтрационной активности  $\Delta$  в области низового клина ориентировочно можно определить на основании работы [5].

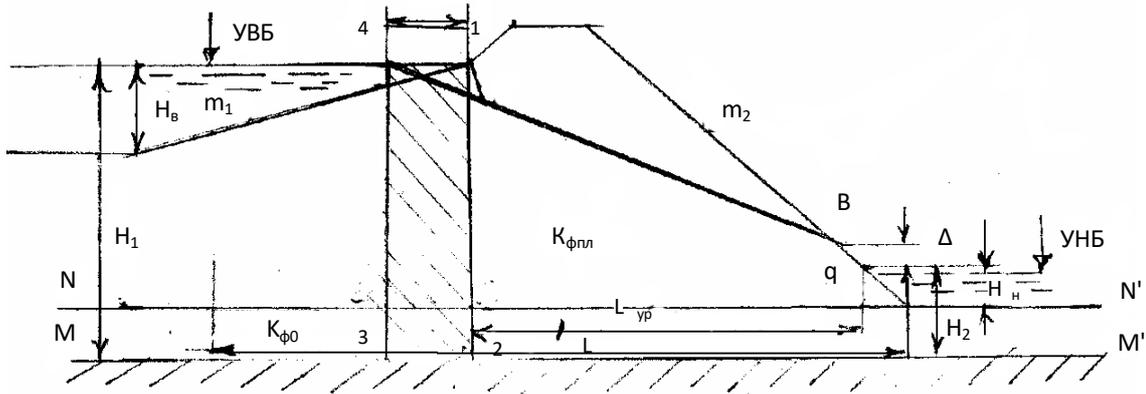


Рис.3 Условия фильтрации в грунтовой плотине при эквивалентном клине прямоугольной формы

Д. Форма поперечного сечения плотины определяется углом наклона верхнего и нижнего откосов, наличием платформ, а также отметкой и шириной её гребня. Отметка гребня устанавливается от нормального и повышенного уровня воды в водохранилище с учетом расчетных параметров ветровых волн и конструктивных особенностей самой плотины.

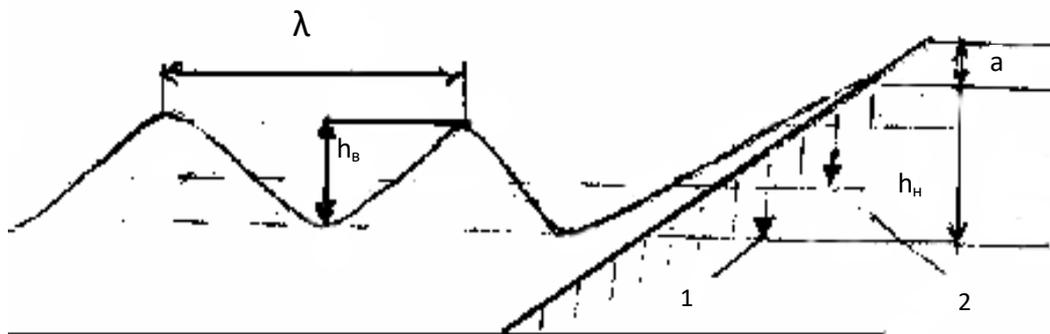


Рис. 4 Схема для расчета высоты гребня грунтовой плотины: 1 – эквивалентный статический уровень гребня; 2 – усредненная волновая линия гребня

Проект реконструкции плотины включает в себя укрепление откосов для защиты от воздействия волн. Укрепление выполняется в пределах зоны, где колеблется уровень воды. Верхняя граница основного укрепления, выполненного из бетонных или железобетонных плит, должна находиться на уровне наката, в то время как нижняя граница располагается ниже отметки УМО на расстоянии двух-трех высот волн.

В качестве материала для наброски используется природный камень с высокой прочностью ( $\delta_{сж} > 50$  МПа,  $F > 50$ ,  $\gamma = 24$  кН/м<sup>3</sup>). Ранее проведенные расчеты устойчивости показали коэффициент 0,9-1. Для повышения устойчивости был предложен проект уголкового подпорной стенки с анкерными тягами. Заполнение откосов контрбанкетной подпорной стенки грунтом позволило увеличить заложение откоса со стороны нижнего бьефа.

В числе защитных мероприятий также предусмотрено создание в центральной части плотины противодиффузионной грунтоцементной диафрагмы длиной 40 м с изменяющейся глубиной. При осуществлении геодезических работ на верхнем бьефе были произведены замеры дна, что позволило установить гипсометрические кривые и определить объем материалов, необходимых для восстановления откоса.

**Выводы.** Полученные результаты исследований обеспечили более обоснованную оценку состояния грунтовой плотины, на основании которой были разработаны и частично внедрены меры по повышению ее устойчивости.

#### 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 многоуровневой 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. Хитров, Я. И. Использование BIM-технологий для объекта промышленного назначения при реконструкции одного из его действующих производств / Я. И. Хитров, А. Е. Качаев // Новые технологии. Наука, техника, педагогика = NewTechnologies. Science, Engineering, Pedagogics : Материалы Всероссийской научно-практической конференции = Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference, Москва, 19–26 февраля 2024 года. – Москва: Московский Политех, 2024. – С. 293-298.

6. Хитров, Я. И. Применение BIM-модели объекта промышленного назначения при реконструкции действующего производства / Я. И. Хитров, А. Е. Качаев // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета: Сборник научных трудов. – Москва: Московский политехнический университет, 2024. – С. 347-352.

7. Сорока, В. В. Информационное моделирование зданий и сооружений как инструмент снижения рисков инвестиционного строительства / В. В. Сорока, А. Е. Качаев // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета: Сборник научных трудов. – Москва: Московский политехнический университет, 2024. – С. 341-346.

## 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. KhitrovYa. I. Use of BIM technologies for an industrial facility during the reconstruction of one of its existing production facilities // New Technologies. Science, Engineering, Pedagogics: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference, Moscow, February 19–26, 2024. – Moscow: Moscow Polytechnic, 2024. – Pp. 293–298.
6. KhitrovYa. I. Application of a BIM model of an industrial facility during reconstruction of an existing production facility // Bulletin of the Kolomna Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University: Collection of scientific papers. - Moscow: Moscow Polytechnic University, 2024. - Pp. 347-352.
7. Soroka V. V. Information modeling of buildings and structures as a tool for reducing the risks of investment construction // Bulletin of the Kolomna Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University: Collection of scientific papers. - Moscow: Moscow Polytechnic University, 2024. - Pp. 341-346.