ISBN 978-5-901722-00-8
5 [2025]
ТРАНСПОРТ. ГОРИЗОНТЫ РАЗВИТИЯ

УДК 627.1

ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ В РАМКАХ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

Агеев Сергей Олегович[1], кандидат технических наук, доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений
e-mail: gg6258@yandex.ru
Гоголева Вера Валерьевна[2], кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и транспортных сооружений
e-mail: Sbag.nn@mail.ru
Романов Денис Романович[2], студент
e-mail: rom24den110@yandex.ru

[1] Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия
[2] Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются основные этапы проведения обследования, методы сбора данных и анализа полученной информации, с применением в т.ч. инженерных программных комплексов. Особое внимание уделяется важности системного подхода к обследованию, используются численные методы моделирования, расчеты проводятся по методу конечных элементов, которые позволяют получить наиболее полную и точную картину текущего состояния сооружения и прогнозирования дальнейшей эксплуатации. Результаты обследования могут быть использованы для принятия решений о дальнейшей эксплуатации, ремонте или реконструкции гидротехнического сооружения.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, расчет устойчивости, безопасность, эксплуатационная надежность, метод конечных элементов.

CONDUCTING STATIC CALCULATIONS USING SOFTWARE PACKAGES IN THE FRAMEWORK OF GTS SECURITY ANALYSIS

Sergey O. Ageev[1], Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures
e-mail: gg6258@yandex.ru
Vera V. Gogoleva[2], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Hydraulic Engineering and Transport Structures
e-mail: Sbag.nn@mail.ru
Denis R. Romanov[2], Student
e-mail: rom24den110@yandex.ru

[1] Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia
[2] Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper discusses the main stages of the survey, methods of data collection and analysis of the information obtained, including the use of engineering software systems. Special attention is paid to the importance of a systematic approach to the survey, numerical modeling methods are used, calculations are carried out using the finite element method, which allow us to obtain the most complete and accurate picture of the current state of the structure and predict future operation. The survey results can be used to make decisions on further operation, repair, or reconstruction of a hydraulic structure.

Keywords: hydraulic engineering, stability calculation, safety, operational reliability, finite element method.

Анализ безопасности является приоритетной задачей при обследовании гидротехнических сооружений в период его эксплуатации. С помощью него оценивается техническое состояние сооружений, своевременно выявляются возможные риски и разрабатываются планы по их устранению, что обеспечивает безопасную эксплуатацию ГТС, оптимизацию затрат на ремонты ГТС, сохранение водных ресурсов и экологического баланса [1].

В качестве примера рассматривался комплекс гидротехнических сооружений второго класса, предназначенный для водоснабжения небольшого населенного пункта. С целью подготовки исходных данных для выполнения анализа безопасности и проведения фильтрационного и статического расчетов на рассматриваемом объекте были выполнены следующие работы [2]:

– инженерно-геодезические работы, включающие в себя топографическую сьемку комплекса ГТС, обмерные работы, вычерчивание характерных разрезов (рисунок 1).

– инженерно-геологические изыскания, включающие в себя изучение геолого-литологического разреза (рисунок 1), гидрогеологических и инженерно-геологических условий, отбор проб грунтов.

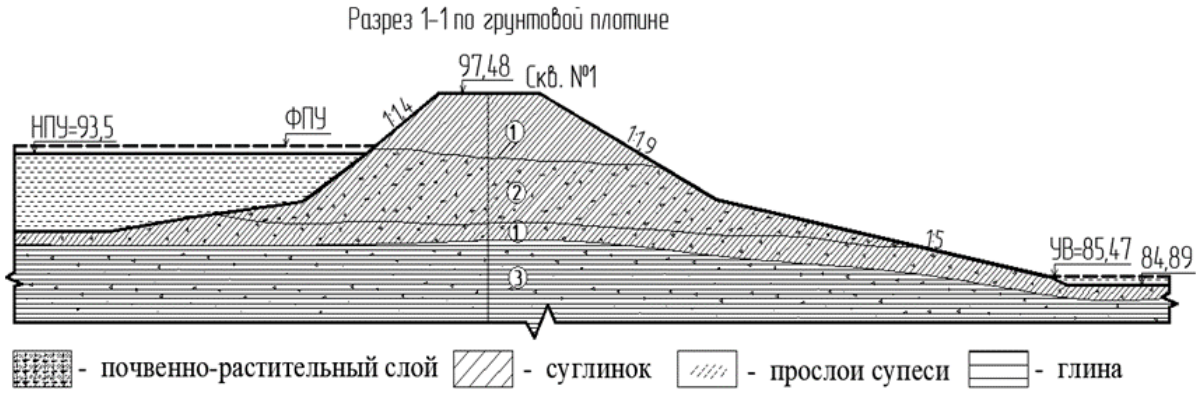

Рисунок 1 – Разрез по грунтовой плотине (наиболее уязвимое сечение) по результатам проведенных изысканий

– визуальное и инструментальные обследование. В рамках визуального и инструментального обследования методом косвенной характеристики прочности и целостности материалов конструкций определялась прочность бетона, ультразвуковым толщиномером определялась остаточная толщина металла, составлялась подробная ведомость дефектов.

– водолазное обследование с составлением ведомости дефектов.

Проведение поверочных расчетов.

На первом этапе по результатам проведённых инженерных изысканий была построена твердотельная модель (рисунок 2), представляющая собой триангуляционную сеть. Модель представляет собой двухмерную сеть с промежуточным переразбиением поверхностной сети и учитывает качественный характер залегающих слоев грунта тела и основания [3].

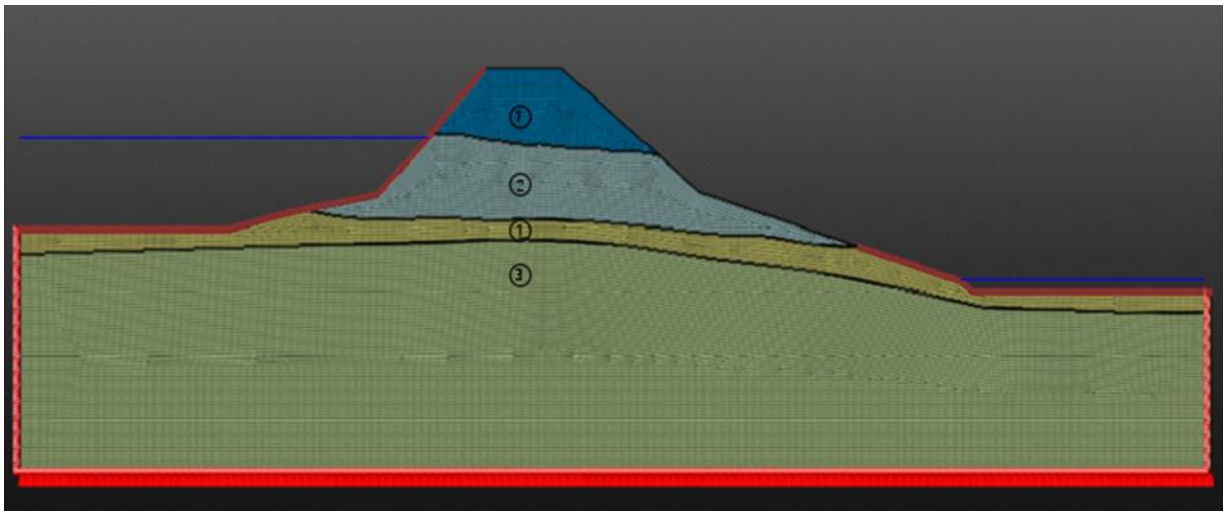

Рисунок 2 – Схема для расчета устойчивости

Далее на втором этапе выполнен расчет фильтрационной прочности сооружения. При расчете учитывалось влияние различных факторов на процесс фильтрации: пористость, неоднородность среды и т.д. Результаты фильтрационного расчета показан на рисунке 3. Результаты расчета сверялись с допустимыми градиентами, по результатам сравнения сделан вывод о непревышении фактических градиентов над допустимыми [4].

Контролировались получившиеся результаты положения кривой депрессии (КД) сравнением с фактическими отметками КД по буровым скважинам. Выяснилось, что отклонения фактического положения кривой депрессии от расчетной минимально.

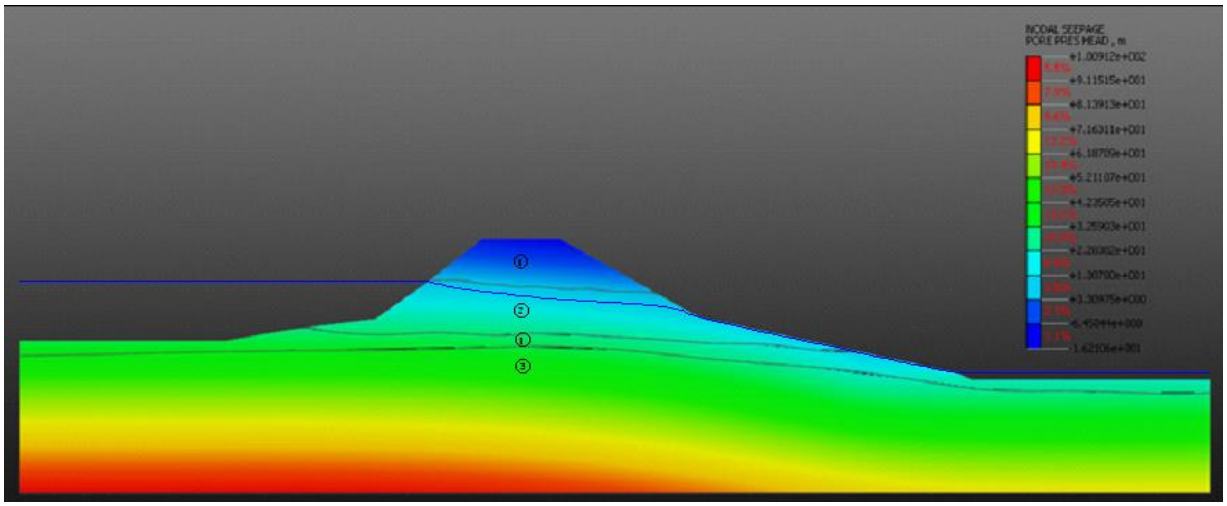

Рисунок 3 – Результаты фильтрационного расчета

На третьем этапе выполнен расчет устойчивости методом анализа напряжений (SAM), основанном на методе конечных элементов. Результаты расчета приведены на рисунке 4.

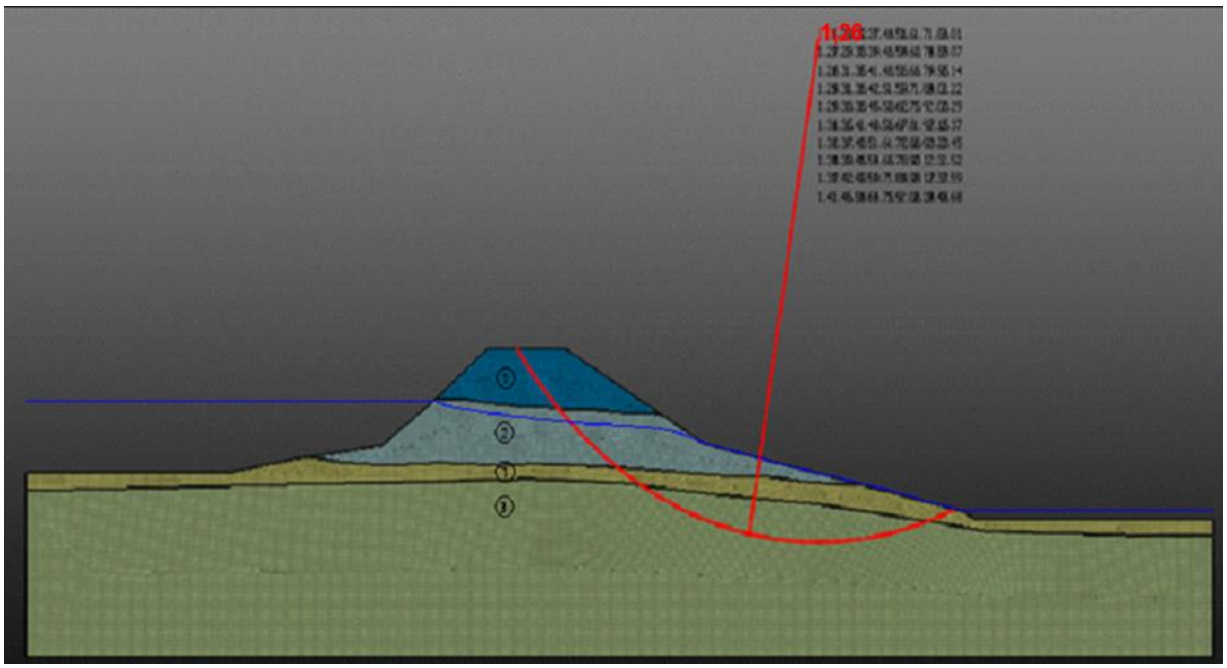

Рисунок 4 – Результат устойчивости откоса

Расчеты показали, что условие устойчивости откоса грунтовой плотины выполняется.

$$K_{уст} = 1{,}26.$$

$$K_{уст} = 1{,}26 > \frac{1{,}2 \cdot 1{,}0}{1{,}0} = 1{,}2,$$

это удовлетворяет требованиям нормативной документации для сооружений II класса [5, 6].

Для проверки коэффициенты устойчивости и опасная кривая скольжения были определены методами Г. Крея, К. Терцаги и «Весового давления» (Р.Р. Чугаева) [7, 8]. Расчет проводился в программе Slope, результаты расчета приведены на рисунке 5.

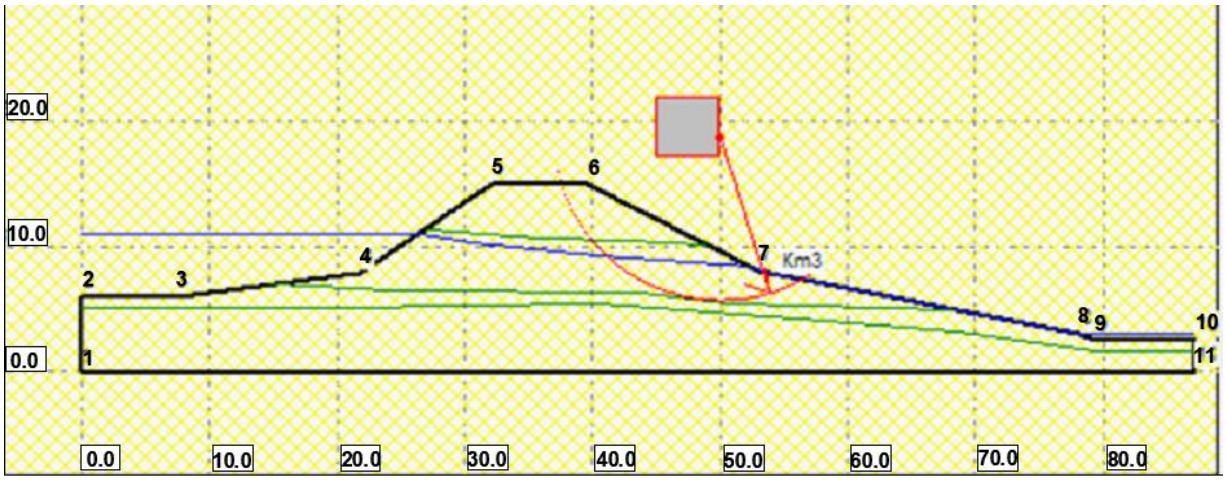

Рисунок 5 – Результаты расчета в программе Slope

Минимальные коэффициенты устойчивости составили:

– по методу Г. Крея – $K_{min} = 1{,}45$;

– по методу К. Терцаги – $K_{min} = 1{,}41$;

– по методу «Весового давления» – $K_{min} = 1{,}38$.

Условие устойчивости выполняется.

Результаты, полученные в программах:

– GTS NX $К_{уст} = 1,26$;

– Slope $К_{min} = 1,38$.

Разница в результатах составила 9%, она связана в том числе с тем, что в программе Slope расчёт ведётся на ограниченном количестве заданных прямых скольжения, в то время как программа GTS NX ведет расчет с использованием всех возможных областей обрушения. С целью изучения процессов, влияющих на снижение прочности сооружения, планируется построить трехмерную модель всего сооружения и оценить его прочность на контакте разных материалов (т.к. при визуальном обследовании наблюдаются очаги фильтрации).

Список литературы:

1. Линкевич Н. Н. Оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. Минск: Изд-во БНТУ, 2021. С. 28–42.
2. Рекомендации по обследованию гидротехнических сооружений с целью оценки их безопасности. СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2001. С. 11–20.
3. Ким М. С., Селезнева В. Н., Волков С. Н. Базовые модели расчета песчаных и глинистых грунтов в программном комплексе MIDAS GTS NX. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. С. 24–29.
4. Приложение к СП 39.13330.2012. Плотины земляные (намывные и насыпные). URL: http://ural.gosnadzor.ru/activity/control/gidrotech/norm.pdf (дата обращения: 24.10.2024).
5. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. СНиП 33-01-2003 (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 16.12.2019 № 811/пр). М.: Стандартинформ, 2020. 35 с.
6. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. СНиП 2.06.05-84 (утв. и введен в действие Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/18). URL: https://docs.cntd.ru/document/ (дата обращения: 24.10.2024).
7. Приложение к СП 39.13330.2012. Плотины земляные (намывные и насыпные). URL: http://ural.gosnadzor.ru/activity/control/gidrotech/norm.pdf (дата обращения: 24.10.2024)
8. П 55-76. Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотины из грунтовых материалов. Л.: Изд-во ВНИИГ, 1976. 80 с.