

УЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ НАСЫПНЫХ ПЛОТИН ПРИ КОНСОЛИДИРОВАННЫХ РАСЧЕТАХ

Качаев А.Е.

*Всероссийский научно-исследовательский институт орошения и
сельхозводоснабжения «Радуга», Коломна, Россия*

Ключевые слова: деформация, консолидация, поровое давление, гидротехническое сооружение, грунт, плотина.

Аннотация. Учет деформаций грунтов насыпных плотин в консолидированных расчетах на устойчивость критически важен для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Исследование показало, что консолидация грунтов зависит от множества факторов. Результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по проектированию и эксплуатации плотин, повышая их надежность и безопасность.

ACCOUNTING FOR SOIL DEFORMATIONS OF EMBANKMENT DAMS IN CONSOLIDATED CALCULATIONS

Kachaev A.E.

*All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply
"Raduga", Kolomna, Russia*

Keywords: deformation, consolidation, pore pressure, hydraulic structure, soil, dam.

Abstract. Consideration of soil deformations of bulk dams in consolidated stability calculations is critically important for ensuring the safety of hydraulic structures. The study showed that soil consolidation depends on many factors. The results can be used to develop recommendations for the design and operation of dams, increasing their reliability and safety.

Введение. Насыпные плотины представляют собой одни из наиболее распространенных конструкций в гидротехническом строительстве. Их надежность и долговечность напрямую зависят от механических свойств грунтов, из которых они состоят, а также от условий эксплуатации. В процессе эксплуатации плотин происходит консолидация грунтов, что приводит к изменению их объемной массы и деформациям. Эти изменения могут негативно сказаться на устойчивости плотин, что делает необходимым учет деформаций в расчетах [1].

Консолидация грунтов – это сложный процесс, который зависит от множества факторов, включая физические и механические свойства грунта, уровень нагрузки, время и условия дренажа [2]. В данной статье рассматриваются методы расчета деформаций насыпных плотин, основные формулы, а также влияние различных факторов на процесс консолидации и деформации грунтов.

Цель исследования является анализ деформаций грунтов насыпных плотин с использованием консолидированных расчетов. В частности, исследуются следующие вопросы:

1. Определение основных факторов, влияющих на консолидацию и деформацию грунтов.
2. Анализ существующих методов и формул для расчета деформаций.
3. Оценка влияния различных условий эксплуатации на поведение грунтов под нагрузкой.

Методы исследования. Для изучения этого вопроса исследования используются консолидационные испытания (анализ поведения грунта под нагрузкой с целью определения коэффициента консолидации и других параметров); численные методы (метод конечных элементов используется для моделирования деформаций и напряжений в грунтах под воздействием различных нагрузок; метод конечных разностей применяется для решения задач по течению жидкости в грунте и анализу его консолидации); математическое моделирование (разработка моделей, отражающих физические процессы, происходящие в грунте, для прогнозирования его поведения под нагрузкой).

Эти методы позволяют комплексно оценивать деформации грунтов насыпных плотин и обеспечивают надежность расчетов и проектирования сооружений [3].

Результаты и обсуждение

1. Основные факторы, влияющие на консолидацию.

– Нагрузки от воды: при заполнении водоемов, создаваемых плотинами, на грунт действуют значительные гидростатические нагрузки. Это приводит к увеличению порового давления и, как следствие, к уменьшению эффективного напряжения.

– Время: консолидация является зависимым от времени процессом. Чем больше время, тем больше степень консолидации. Это можно описать уравнением К. Терцаги [4]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{k}{\gamma} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2},$$

где u – поровое давление, Па; k – коэффициент фильтрации, м/с; γ – вес грунта, кг; z – глубина, м; t – время, с.

– Структура и состав грунта: грунты различных типов (глина, песок, суглинки) имеют разные механические свойства, что влияет на скорость консолидации и величину деформаций.

2. Для расчета деформаций грунтов насыпных плотин используются различные подходы. Один из наиболее распространенных – это метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать сложные геометрические формы и неоднородность грунтов.

Основные формулы, применяемые для расчета деформаций, включают:

– закон Гука для однородных и изотропных материалов [4]:

$$\varepsilon = \sigma' E,$$

где σ' – эффективное напряжение от нагрузки, Па; E – модуль упругости грунта, Па.

– Уравнение для расчета эффективного напряжения σ' определяется по работе [4]:

$$\sigma' = \sigma - u,$$

где σ – общее напряжение, Па.

– Определение времени консолидации вычисляется по работе [5]:

$$t = \frac{D^2}{k},$$

где D – толщина слоя грунта, м.

3. Влияние условий эксплуатации на поведение грунтов. Условия эксплуатации насыпных плотин могут существенно влиять на консолидацию и деформации грунтов. Ключевые аспекты, которые следует учитывать [1, 2]:

– Сезонные колебания уровня воды: изменение уровня воды в водоеме может вызывать циклические нагрузки на грунт, что приводит к изменению порового давления и, следовательно, к деформациям.

– Климатические условия: осадки, испарение и температурные колебания могут изменять влажность грунтов, что также влияет на их механические свойства.

– Технические условия: неправильная эксплуатация плотин, например, чрезмерное осушение или затопление, могут привести к ускоренной консолидации и увеличению деформаций.

Выводы. Учет деформаций грунтов насыпных плотин при консолидированных расчетах является важной задачей для обеспечения безопасности и долговечности гидротехнических сооружений. В результате проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Консолидация грунтов – это сложный процесс, который зависит от множества факторов, включая нагрузки, время и свойства грунтов.

2. Существуют различные методы и формулы, позволяющие оценить деформации грунтов, включая уравнения К. Терцаги и закон Гука.

3. Условия эксплуатации насыпных плотин могут существенно влиять на поведение грунтов, что требует тщательного мониторинга и учета при проектировании.

Список литературы

1. Качаев А.Е., Турапин С.С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – №3. – С. 1-5. – doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
2. Турапин С.С., Ольгаренко Г.В. Методические рекомендации по правилам эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 68 с.
3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
4. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии): учебник для вузов. – 7-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2024. – 416 с.

5. Дашко Р.Э. Исследования и анализ процесса консолидации водонасыщенных глинистых грунтов // Грунтоведение. – 2014. – №1. – С. 30-53.

References

1. Kachaev A. E., Turapin S. S. Substantiation of the need to develop complex computational models of soil dams of reclamation systems // Science and world. 2024, no. 3, pp. 1-5. doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
2. Turapin S.S., Olgarenko G.V. Methodical recommendations on the rules for the operation of melioration systems and separately located hydraulic structures. – Kolomna: IP Vorobyov O.M., 2015. – 68 p.
3. Talapov V.V. BIM Fundamentals: Introduction to Building Information Modeling. – М.: DMK Press, 2011. – 392 p.
4. Dalmatov B.I. Soil mechanics, foundations and foundations (including a special course in engineering geology): textbook for universities. – 7th ed., reprinted. – SPb.: Lan, 2024. – 416 p.
5. Dashko R.E. Research and analysis of the consolidation process of water-saturated clay soils // Soil Science. 2014, no. 1, pp. 30-53.

Качаев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, научный сотрудник отдела сельхозводоснабжения doctor_cement@mail.ru	Kachaev Aleksandr Evgenievich – candidate of technical sciences, research fellow of the agricultural water supply Department
--	---

Received 24.06.2025