

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор АО «Проектно-
изыскательский и научно-
исследовательский институт
«Гидропроект» имени С. Я. Жука», доктор
технических наук



Беллендир Е.Н.

22 апреля 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

«ДЕФОРМАЦИОННАЯ АНИЗОТРОПИЯ ГАЛЕЧНИКА И ЕЕ УЧЕТ В РАСЧЕТАХ
ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН»

Абдулова Алишера Бегмуродовича

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Актуальность темы исследования

Укладка галечникового грунта в тело каменной плотины требует его уплотнения. Современные технологии позволяют достичь очень высокой плотности галечникового материала, вплоть до $23 \div 23,5 \text{ кН/м}^3$, что достигается послойными многократными проходками насыпи тяжелыми виброкатками. При таком уплотнении галечник, имеющий уплощенную форму с соотношением максимального и минимального размера частицы более 1:5, располагается в насыпи с преобладающей горизонтальной ориентацией частиц вдоль направления уплотнения, что придает насыпи неоднородность, наведенную слоистость, которая отражается на различии механических свойств грунта по взаимно перпендикулярным направлениям. Схожий характер имеют и русловые, и пойменные галечниковые отложения, что нередко отмечается в описании грунта.

В мировой практике известно большое количество плотин, чьи упорные призмы сложены галечниковым грунтом, среди них крупнейшие каменно-земляные плотины Нурекской ГЭС, Рогунской ГЭС, Чарвакской ГЭС, плотины Эль-Инфернило, Асуанской плотины и др., однако в настоящее время отсутствуют данные об экспериментальных

исследованиях анизотропных механических свойств галечника и учета различий в механических свойствах галечника по направлениям в расчетах напряженно-деформированного состояния плотин. Для грунтовых плотин актуальным является вопрос оценки устойчивости откосов, при этом наведенная слоистость галечникового грунта и снижение его прочностных свойств вдоль оси слоистости может понизить параметры устойчивости откосов, что может быть учтено при проектировании.

Изучение деформационной и прочностной анизотропии гравийно-галечниковых грунтов, укладываемых в тело гидротехнических сооружений, а также исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости откосов с учётом фактора анизотропии грунта является вопросом актуальным с точки зрения, обеспечения безопасной эксплуатации грунтовых плотин.

Структура и содержание работы

В первой главе проведен обзор литературы по теоретическим и экспериментальным исследованиям анизотропных свойств грунтов. Приводятся результаты экспериментальных исследований анизотропии для глинистых грунтов. Приведены сопоставления по расчёту напряжений в анизотропном основании на основании методики расчёта, предложенной З.Г. Тер-Мартirosяном и О.А. Коробовой. Рассмотрены методики учета анизотропных свойств пород в расчетах устойчивости скальных склонов.

Отмечено, что в научной литературе отсутствуют работы, связанные с исследованиями анизотропных механических свойств галечникового грунта, также этот фактор не рассматривается в вопросах прочности и устойчивости грунтовых плотин.

Во второй главе разработана усовершенствованная конструкция вакуумного стабилметра. Разработана методика проведения экспериментов по определению анизотропных механических свойств галечника. Проведены серии экспериментальных исследований в одометре и вакуумном стабилметре. Выявлено, что при нагружении у послойно уложенных галечниковых грунтов модуль деформации отличается по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Получено, что модуль деформации по направлению перпендикулярному оси слоистости ниже, чем по направлению вдоль оси слоистости $E_{\perp} < E_{\parallel}$, эта разница выражается в том, что коэффициент деформационной анизотропии, определяемый как соотношение модулей $\eta = \frac{E_{\parallel}}{E_{\perp}}$ изменяется в диапазоне от 1,9 до 1,3, и по мере увеличения сжимающих напряжений снижается.

В работе представлен подход к оценке прочности грунта по напряжениям на контакте, для чего проведён анализ изменения гранулометрического состава образцов

после экспериментов. Приведена ссылка на задачу Герца, позволяющую оценить напряжения в контактах частиц, для чего проведены эксперименты по определению площади контакта со штампом. Полученные напряжения и подтвержденный рассевом факт разрушения контактов позволяет дать оценку прочностным свойствам частиц гравия в насыпи.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований на большом трехосном приборе «АСИС». Получены зависимости модулей деформации при боковых напряжениях $\sigma_3 = 0,2 \div 0,8$ МПа от действующего напряжения по направлению оси слоистости и по направлению перпендикулярному слоистости. Трехосные эксперименты показали, что механическая анизотропия у гравийно-галечниковых грунтов проявляется в наличии как деформационной анизотропии, так и прочностной анизотропии. Получено, что угол сдвига вдоль оси слоистости ниже на $3^\circ \div 5^\circ$, чем поперек слоистости.

На основе экспериментов с гравийно-галечниковым грунтом, проведенных А.А.Каганом на диапазоне изменяющейся плотности и экспериментов с анизотропным грунтом, автором получены общие зависимости для углов сдвига в виде функций, зависящих от плотности и уровня действующих напряжений для горизонтально и вертикально ориентированной слоистости грунта: $\varphi_{max,min} = f(\gamma, \sigma)$. Полученные функции используются далее в представленной методике учета изменения угла сдвига грунта в зависимости от направления главного напряжения в расчетной области, от плотности грунта и уровня нормального напряжения в точке на площадке сдвига.

Четвертая глава посвящена определению влияния учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин. Полученные углы сдвига галечника во взаимно перпендикулярных направлениях отложены на полуосях эллипса, и на основе канонического уравнения эллипса получена формула для определения угла сдвига в каждой точке плотины при произвольном положении площадки главных напряжений по отношению к оси слоистости грунта, что выражено в виде общей функции $\varphi = F(\sigma, \gamma, \varphi_{max}, \varphi_{min}, \alpha)$, позволяющей по уровню действующего напряжения, углу между вектором главного напряжения и осью слоистости грунта получить расчетное значение угла сдвига галечника с учетом анизотропии.

Разработанная методика, реализованная в программном коде, учтена в программе для ЭВМ ОТКОС-22, по которой проведены численные исследования по определению влияния прочностной анизотропии гравийно-галечникового грунта на устойчивость откосов плотин разных конструкций и высоты. Расчёты показали, что влияние

механической анизотропии грунта проявляется в снижении коэффициента устойчивости откосов грунтовых плотин в пределах $3 \pm 11\%$.

Результаты исследований устойчивости откосов плотин разных типов (плотина с ядром, с диафрагмой, с экраном) и разной высоты (от 50 до 300м) обобщены и представлены в виде номограмм с корректирующими коэффициентами, с помощью которых можно легко получить коэффициент устойчивости откосов грунтовых плотин по формуле: $K_n^{ан} = K_{кор}^{ан} \cdot K_n$, где K_n - коэффициент запаса устойчивости откоса без учета анизотропных свойств грунта.

В пятой главе проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния Нурекской плотины с учетом и без учета анизотропии в ПК Plaxis. Показано влияния анизотропных свойств на расчетные значения осадок и смещений тело плотины.

Анализ результатов численных исследований и натурных наблюдений за осадками и смещений Нурекской плотины показывает, что учет анизотропных механических свойств грунтов тело плотины приближает результаты расчетов к натурным данным.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов исследований обусловлена: проведением экспериментальных исследований в сертифицированном оборудовании “Instron 1000HDX”, «АСИС»; сопоставимостью результатов экспериментов по стандартной схеме (с горизонтальными слоями) с результатами других ученых с гравийно-галечниковым грунтом; проведением большое количество расчетов в ПК Plaxis и ПК Откос-22; согласованностью результатов расчетов НДС Нурекской плотины с данными натурных наблюдений.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем: выявлены анизотропные деформационные и прочностные характеристики послойно уложенных гравийно-галечниковых грунтов; получены функциональных зависимости изменения угла сдвига для разной плотности грунта в диапазоне $16 \div 22$ кН/м³ в виде функции $\varphi_{max,min} = f(\gamma, \sigma)$; предложена методика учета анизотропных свойств галечникового грунта в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин и номограммы с корректирующими коэффициентами для учета анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин разных конструкций и разной высоты; показано влияние анизотропных

механических свойств грунта упорных призм плотины на расчетные значения осадок, смещений и коэффициент трещинообразования ядра каменно-земляной плотины.

Научная и практическая ценность диссертации

Научная значимость работы заключается в том, что разработана методика проведения экспериментальных исследований по определению анизотропных механических свойств грунтов; доказано наличие деформационной и прочностной анизотропии у послойно уложенных гравийно-галечниковых грунтов; разработана методика учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин.

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные закономерности из экспериментов, можно использовать для галечниковых грунтов любых регионов; можно воспользоваться разработанной методикой для учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин; предложены номограммы с корректирующими коэффициентами, позволяющий оценить устойчивость откосов плотин разной конструкции и разной высоты с учетом анизотропных свойств гравийно-галечникового грунта тела плотины, по формуле: $K_n^{ан} = K_n \cdot K_{кор}^{ан}$; сконструирована усовершенствованная конструкция вакуумного стабилметра для экспериментов крупнообломочных грунтов при напряжениях до 1 кг/см^2 .

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Работа имеет значимость для науки и практики, проведенные исследования расширяют научные знания в области механики гравийных грунтов, работы анизотропного грунта в условиях сложного напряженного состояния, устойчивости откосов грунтовых плотин, сложенных из анизотропного грунта.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты экспериментальных и теоретических исследований, представленные в виде графиков и номограмм могут быть использованы при проектировании каменно-земляных плотин. Программа для ЭВМ с блоком расчета устойчивости откосов с учетом анизотропных свойств галечникового грунта может быть использована при расчетах и оптимизации конструкций грунтовых плотин.

Замечания

1. На рисунках 2.25 и 2.26 приведены совмещенные зависимости модулей деформации полученные при разной ориентации слоистости грунта в рабочей камере из экспериментов в одометре и в вакуумном стабилометре. Целесообразно было бы также привести совмещенные графики модулей, полученных на большом трехосном приборе полученных, при боковых напряжениях $\sigma_3 = 0,2 \div 0,8$ МПа, в одометре и в вакуумном стабилометре. Насколько корректно представление модулей деформации, полученных на разных приборах в разных условиях проведения экспериментов на одном графике?

2. В диссертации не объясняется с чем связано изменение угла сдвига грунта в диапазоне от 50° до 44° в экспериментах с разным боковым обжатием. Чем это объясняется?

3. При расчете напряженно-деформированного состояния Нурекской плотины в ПК Plaxis получена очень незначительная разница в результатах при рассмотрении механической модели галечника как изотропного и анизотропного грунта. Какая модель грунта рассматривалась в демонстрационном расчете и какие параметры анизотропии использовались в этой модели? Достаточно ли адекватна выбранная модель для учета анизотропных свойств галечникового грунта в теле грунтовых плотин?

4. В приведенных расчетах напряженно-деформированного состояния плотины в ПК Plaxis следовало бы показать и результаты расчетного анализа устойчивости откосов плотины, что позволило бы оценить влияние анизотропии на устойчивость откосов плотины в рамках используемой модели анизотропии.

Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Абдулоева Алишера Бегмуродовича на тему «Деформационная анизотропия галечника и ее учет в расчетах прочности и устойчивости грунтовых плотин» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для повышения уровня расчетного обоснования конструкций грунтовых плотин и развития строительной отрасли наук по направлению гидротехнического строительства.

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Абдулоев Алишер Бегмуродович заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании отдела расчётных исследований гидротехнических сооружений филиала АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука»-«Научно исследовательский институт энергетических сооружений» (отдел расчётных исследований гидротехнических сооружений филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС») 22 апреля 2024 года, протокол заседания № 1 от 22 апреля 2024 года

Директор филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» д.т.н., доцент, специальность 05.23.07 – Гидротехническое строительство



Рубин Олег Дмитриевич

Начальник отдела расчётных исследований гидротехнических сооружений, к.т.н., специальность 05.23.07 – Гидротехническое строительство



Федорова Татьяна Сергеевна

Подписи Рубина Олега Дмитриевича и Федоровой Татьяны Сергеевны удостоверяю

Ведущий специалист по кадрам



Волкова Татьяна Викторовна

Филиал АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС», 125362, г. Москва, Строительный проезд, д. 7А, корп. 29.Тел.: +7 (495) 727-36-23, факс: +7 (495) 617-17-81, E-mail: niies@hydroproject.ru

