

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**доктора технических наук, профессора Болдырева Геннадия Григорьевича на диссертационную работу Абдулова Алишера Бегмуродовича на тему «Деформационная анизотропия галечника и ее учет в расчетах прочности и устойчивости грунтовых плотин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.**

### **Актуальность темы исследований**

В 1944 году Казагранде ввел два понятия, связанных с анизотропными свойствами грунтов: физическая (присущая) анизотропия, обусловленная процессом формирования грунтов, и наведенная анизотропия, вызванная напряженным состоянием от внешней нагрузки. Влияние анизотропии напряженного состояния, как правило, не учитывается при проектировании не только вследствие кажущейся ее малости, но преимущественно из-за отсутствия соответствующих приборов для исследования данного явления. Исключением из правила являются работы А.К. Бугрова, А.И. Голубева; Г.М. Ломизе и А.Л. Крыжановского выполненные в период 1986-1993 гг.

Физическая анизотропия в сыпучих грунтах, к которым относится также и галечник, использованный соискателем, явно сказывается на их сопротивлении в зависимости от направления нагружения при монотонном сдвиге. Для заданного направления нагружения прочность и деформируемость грунта зависят от плотности, формы частиц и истории нагружения. Выполненные ранее исследования показали, что отложения сыпучих грунтов не являются изотропными. Несферические частицы песка откладываются преимущественно в направлении нормальном к плоскости отложения. В результате механические свойства сыпучего грунта становятся анизотропными. При нагружении частицы сыпучего грунта изменяют свое положение по отношению к направлению созданных напряжений. Подобная

анизотропия механических свойств проявляется и у глинистых грунтов, но не только из-за отложения их минералов, а также из-за формирования структуры, прочности связей, зависящей от направления главных напряжений.

Предметом исследований А.Б. Абдулова является исследование влияния физической анизотропии грунта на его деформационные и прочностные свойства и их учет при проектировании откосов грунтовых плотин, что, несомненно, является актуальным вопросом, имеющим как теоретическое, так и практическое значение.

### **Структура и содержание работы**

**В первой главе** приведен обзор ранее выполненных работ, посвященных исследованиям влияния физической анизотропии на фильтрационные, прочностные и деформационные свойства грунтов. Отмечено влияние структуры грунта, формы частиц, плотности на свойства грунтов. Здесь же приведены результаты ранее выполненных исследований деформационной и прочностной анизотропии глинистых грунтов. Показано, что коэффициент деформационной  $\eta = E_x/E_z$  анизотропии глинистых грунтов может изменяться в пределах от 1, до 4,0. Коэффициент прочностной анизотропии угла внутреннего трения и сил удельного сцепления зависит от направления сдвига вдоль слоистости или поперек слоистости.

В разделе 1.6 рассмотрены некоторые методы учета анизотропных свойств грунтов в расчетах прочности и устойчивости грунтовых плотин и грунтовых оснований зданий. Приведены ссылки на работы отечественных и зарубежных ученых. В том числе и на модель Л.Н. Рассказова, и Ю.К. Зарецкого, которые, к сожалению, соискатель не использует в своих теоретических исследованиях в пятой главе. Точно также не понятно, для чего рассмотрены две модели анизотропной среды - модели К. Вольфа и Л. Бардена, которые соискатель также не анализирует и не использует в дальнейшем.

Представляет интерес сравнение двух методов З.Г. Тер-Мартirosяна и О.А. Коробовой в части оценки влияния коэффициента деформационной анизотропии на характер распределения вертикальных и горизонтальных напряжений.

В заключении по первой главе А.Б. Абдулоев отмечает, что в настоящее время практически отсутствуют расчетные методы оценки устойчивости откосов, склонов с учетом анизотропных свойств грунтов, также мало работ, посвященных методикам учета анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин.

**Во второй главе** приведены результаты экспериментальных исследований деформационной анизотропии гравийно-галечникового грунта в условиях одномерной и трехмерной деформации. В первом случае был применен компрессионный прибор, во втором вакуумный стабилометр. Подробно рассмотрена методика подбора гранулометрического состава гравийно-галечникового грунта с размером части от 1 до 60 мм. В опытах использовался одомер и стабилометр с образцами большого диаметра.

Эксперименты исследования показали, что послойно уложенные гравийно-галечниковые грунты обладают свойством деформационной анизотропии. Показано, что эти грунты имеют бóльшую сжимаемость поперек оси слоистости, чем по направлению слоистости. Коэффициент деформационной анизотропии имеет максимальное значение при маленьких напряжениях и уменьшается с увеличением действующих напряжений и меняется в диапазоне  $\eta = 1,9 \div 1,3$ .

**В третьей главе** приводятся результаты экспериментальных исследований в условиях трехосного сжатия. Данные эксперименты дали возможность выявить не только деформационную, но и прочностную анизотропию послойно уложенных гравийно-галечниковых грунтов. Согласно полученным результатам, угол сдвига вдоль оси слоистости ниже на  $3^\circ \div 5^\circ$  по сравнению с перпендикулярным направлением.

По результатам проведенных экспериментов получены функциональные зависимости изменения углов сдвига грунта для горизонтальной и вертикальной слоистости в зависимости от нормального напряжения на площадке сдвига:  $\varphi_{(max, min)} = f(\varepsilon, \sigma)$ . На основе экспериментальных данных других авторов (приведены в диссертации) получены интерполяционные зависимости углов сдвига галечникового грунта в зависимости от его плотности, в результате чего найдены функции изменения углов сдвига галечникового грунта для разной ориентации частиц в зависимости и от уровня действующих напряжений и от его плотности:  $\varphi(\varepsilon, \sigma, \gamma)$ .

**В четвертой главе** обоснована методика учета анизотропных свойств гравийно-галечникового грунта в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин. При этом угол сдвига для грунта определяется на основе построенной ранее функции  $\varphi(\varepsilon, \sigma, \gamma)$ , но с учетом угла между направлением главного напряжения и осью слоистости грунта. При этом положения площадок главных напряжений определяются в ходе расчетов напряженно-деформированного состояния плотины. Проведена модернизация авторской программы ОТКОС-22 с учетом полученных функциональных зависимостей для углов сдвига анизотропного грунта. Проведены расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин разных типов и предложены номограммы с корректирующими коэффициентами для учета влияния анизотропных свойств галечника на устойчивость откосов. Расчеты показали, что учет анизотропных свойств галечника приводит к снижению устойчивости откосов грунтовых плотин на 3÷11%.

**Пятая глава** посвящена расчетам напряженно-деформированного состояния высокой плотины (на примере Нурекской плотины) с учетом анизотропных свойств гравийно-галечникового грунта. Расчеты выполнены с использованием различных моделей грунта в программном комплексе Plaxis, в том числе с использованием модели анизотропного грунта.

Получено, что учет анизотропии в расчетах напряженно-деформированного состояния, снижает расчетные значения осадок и смещения в теле грунтовых плотин.

Выполнено сопоставление расчетных значений осадок и смещений с данными натурных наблюдений. Анализ показал, что учет анизотропных механических свойств галечника, уложенного в тело плотины, приближает результаты расчетов к данным натурных наблюдений, хотя полученная разница незначительна.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

**Достоверность результатов** работы обусловлена проведением экспериментальных исследований с использованием сертифицированных приборов; анализом результатов экспериментальных исследований с различной ориентацией частиц грунта относительно плоскости сдвига; проведением численных исследований прочности и устойчивости грунтовой плотины с учетом анизотропных свойств галечника в сертифицированном ПК Plaxis-2D и модифицированном автором ПК Откос-22; сопоставлением результатов с данными натурных наблюдений за осадками и смещениями Нурекской плотины.

**Научная новизна** заключается в том, что автором исследованы анизотропия в механических (прочностные и деформационные) свойствах гравийно-галечниковых грунтов, обусловленная послойным способом укладки их в тело грунтовых плотин; разработана методика учета анизотропных механических свойств галечникового грунта в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин; предложены номограммы с корректирующими коэффициентами для учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин разных конструкций и разной высоты; показано влияние анизотропии в механических свойствах грунта упорных призм плотины на расчетные значения осадок, смещений и коэффициент трещинообразования ядра каменно-земляной плотины.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы прошли широкую апробацию и изложены в 12 научных публикациях, из которых 4 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 работа опубликована в журнале из международной базы цитирования Scopus и 7 публикаций на всероссийских и международных конференциях.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая и практическая значимость заключается в следующем:

- экспериментальными исследованиями доказано, что послойно уложенные гравийно-галечниковые грунты обладают свойством деформационной и прочностной анизотропии;
- получены зависимости изменения модулей деформации и углов сдвига в зависимости от действующих напряжений вдоль и поперек оси слоистости;
- разработана методика расчета устойчивости откосов грунтовых плотин с учетом прочностной анизотропии;
- численными исследованиями выявлено, что учет прочностной анизотропии снижает коэффициент устойчивости грунтовых плотин;
- предложены номограммы с корректирующими коэффициентами для учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин разных конструкций из гравийно-галечникового грунта.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе, автор логично и убедительно обозначил проблемы и комплексно решил их большим количеством экспериментальных и численных исследований. Доказал наличие деформационной и прочностной анизотропии в послойно уложенных гравийно-галечниковых грунтах и показал ее влияние в расчетах напряженно-деформированного состояния и устойчивости откосов грунтовых плотин.

## Замечания

1. Общее замечание по оформлению работы. В рукописи имеются ошибки в ссылках на ГОСТ (например, ГОСТ 12248-2010, который обновлен в 2020 году), в написании формул и обозначений к ним, в некоторых ссылках на работы других авторов, например:
  - в первой главе А.Б. Абдулоев отмечает работу Кубецкого В. Л. и Семенова И. И., которая по своей сути не относится к теме исследований, так как это патент на способ испытаний скальных грунтов. В патенте нет данных об анизотропных свойствах грунтов.
2. В разделе 1.3 первой главы приведено краткое описание фильтрационной анизотропии. Отмечено, что коэффициент фильтрации в укатанных ядрах грунтовых плотин по разным направлениям может различаться в 10 и более раз. Однако этот вопрос не был включен соискателем в предмет собственных исследований и не использовался в главе 5 при расчете напряженно-деформированного состояния плотин, а также в главе 4 при расчете коэффициента устойчивости склона.
3. На стр. 30 отмечено: «... Для оценки влияния прочностных анизотропных свойств грунтов на устойчивость скального массива, Зерцалом О.В. была проведена серия стандартных расчетов с использованием метода Моргенштерна - Прайса, предусмотренного СП 11-105-97 [51]...». Здесь две ошибки, во-первых, не Зерцалом О.В., а Зерцаль О.В. и второе, то, что СП 11-105-97 это свод правил по изысканиям и поэтому в нем нет методов расчета устойчивости склонов.
4. В разделе 2.2.5 приведены формулы для определения среднего значения и случайной ошибки. Однако, отсутствуют значения этих характеристик, как и статистической обработки данных. Нет

основных статистик в виде коэффициента вариации и среднеквадратичного отклонения.

5. В таблицах 2.3, 2.4 приведены значения компрессионного модуля деформации, с использованием коэффициента бокового расширения, равного 0,8. Значение коэффициента принято согласно ГОСТ как для песка несмотря на то, что исследования выполнены для гравийно-галечникового грунта. Поэтому анализ данных испытаний целесообразно было бы проводить, используя одометрический модуль деформации. Тем более одометрические кривые автор приводит на рис. 2.9, 2.10.
6. В четвертой главе А.Б. Абдулоев отмечает, что значения прочностных характеристик гравийно-галечникового грунта в любой точке плотины, расположенной на площадке сдвига, зависят от уровня действующих нормальных напряжений, а также от угла наклона площадки главного напряжения по отношению к оси слоистости грунта. Таким образом, это позволяет найти точки предельного состояния, соединить их и отобразить линию скольжения используя программу Plaxis. Данная предельная огибающая существенным образом будет отличаться от круглоцилиндрической, принятой в расчетах устойчивости откосов в программе Откос-22.
7. В продолжение замечания 6. Целесообразно было бы сравнить результаты расчетов коэффициента устойчивости в программах Откос-22 и Plaxis.

### **Заключение**

Диссертационная работа Абдулоева Алишера Бегмуродовича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной.



Диссертация на тему «Деформационная анизотропия галечника и ее учет в расчетах прочности и устойчивости грунтовых плотин» отвечает 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 Абдулов Алишер Бегмуродович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

### Официальный оппонент

Доктор технических наук,  
профессор, директор по  
научной работе и инновациям  
ООО НПП «Геотек»



**Болдырев Геннадий Григорьевич**

« 05 » 04 2024 г.

Адрес: 440004, г. Пенза, ул. Центральная, строение 1М

E-mail: g-boldyrev@geotek.ru

Тел.: +79603173156

Подпись Болдырева Геннадия Григорьевича заверяю

ВЕРНО  
ОФИС-МЕНЕДЖЕР  
КИСЕЛОВА В.В.  
ПОДЛИННИК ДОКУМЕНТА НАХОДИТСЯ  
В ООО ИЦ «ГЕОТЕК» 04.04.2024