

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.РАЗЗАКОВА**

**ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Диссертационный совет Д.01.17.556

На правах рукописи

УДК 539.4+628.36

Чукин Руслан Бектурович

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОГО
ОСНОВАНИЯ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ
УСТОЙЧИВОСТЬ ДАМБЫ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА РУДНИКА КУМТОР НА
ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальности: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и
25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Бишкек 2019

Работа выполнена на кафедре Прикладной математики и информатики КГТУ им. И.Раззакова, и в лаборатории Прогнозирования природно-техногенных катастроф ИГиОН НАН КР, г. Бишкек

Научные руководители:

**Джаманбаев Мураталы
Джузумалиевич**
д.ф.-м.н., профессор,
ректор КГТУ им. И. Раззакова

**Кожогулов Камчыбек
Чонмурунович**
д.т.н., профессор, чл.-
корр. НАН КР, директор
ИГиОН Нан КР

Официальные оппоненты:

Баймахан Рысбек Баймаханович, доктор технических наук, профессор заведующий лабораторией «Математическое моделирование геомеханических процессов» НИИ НАН РК «Механика и машиноведение» им. акад. У.А. Джолдасбекова (Казахстан).

Абдылдаев Эркинбек Кыянович доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и экологии» АО «Университет НАРХОЗ» (Казахстан)

Ведущая организация:

Ошский технологический университет имени академика М.М.Адышева, 723503, Кыргызская Республика, г.Ош, ул. Н. Исанова, 81

Защита состоится «15» марта 2019 года в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.01.17.556 при Кыргызском Государственном Техническом Университете им. И. Раззакова и КРСУ им. Б. Ельцина по адресу: 720044, г. Бишкек, ул. проспект Чингиза Айтматова, 66, в конференц. зале КГТУ им. И. Раззакова (ауд.1/314).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках КГТУ им. И. Раззакова по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, проспект Ч. Айтматова 66, www.kstu.kg и КРСУ им. Б. Ельцина по адресу: 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, www.krsu.edu.kg

Автореферат разослан «___»_____2019 года.

Ученый секретарь Диссертационного
совета, к.ф.-м.н., доцент



Доталиева Ж.Ж.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Развитие горнодобывающей промышленности является важной составляющей экономического развития Кыргызской Республики. Как правило, при разработке полезных ископаемых необходимо строительство хранилищ жидких отходов в состав, которых входят ограждающие сооружения – грунтовые дамбы. Грунтовые дамбы хвостохранилищ в настоящее время являются основным типом подпорных сооружений, проектируемых и возводимых в районах высокой сейсмической активности. В результате сейсмического воздействия возможна потеря устойчивости грунтовой дамбы и как следствие, развитие гидродинамической аварии, сопровождаемой волной прорыва и выносом промышленных отходов за пределы территории хвостохранилища. Как показала практика, гидродинамическая авария носит катастрофический характер, т.к. способна привести к человеческим жертвам, а также значительным экономическим и долговременным трудно восстанавливаемым экологическим последствиям. Одним из важнейших факторов, влияющих на сейсмическую устойчивость, дамб хвостохранилищ является грунтовые условия и рельеф площадки строительства. Местные грунтовые условия способны оказать существенное влияние на параметры сейсмических колебаний дневной поверхности. Влияние местных грунтовых условий на сейсмическую устойчивость грунтовых дамб хвостохранилищ, и разработка рекомендаций для их проектирования является актуальной и важной научно-исследовательской задачей.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР ИГиОН НАН Кыргызской Республики по проектам: 1. «Разработка методов оценки, прогноза и мониторинга опасных природно-техногенных процессов при освоении горных территорий Кыргызстана», раздел «Оценка устойчивости дамб хвостохранилищ и бортов карьеров в горных регионах на основе численного моделирования» (№ гос. Регистрации 0005623, 2009-2011 г.г.); 2.: «Обеспечение устойчивости геотехнических объектов и прогнозирование геоэкологических рисков на территории Кыргызской Республики», раздел «Вероятностные методы оценки надежности геотехнических объектов» (№ гос. Регистрации 0006582, 2012-2014 г.г.).

Целью диссертационной работы является установление влияния местных грунтовых условий на сейсмическую устойчивость дамб хвостохранилищ, возведенных на слоистом основании в сейсмоактивных зонах.

Для реализации поставленной цели в диссертационной работе определены следующие основные задачи:

1. Анализ теоретических и методологических основ оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб;
2. Исследования влияния местных грунтовых условий на изменение характера колебаний (пиковое ускорение, частотные составляющие и продолжительность) при сейсмическом воздействии с помощью численных экспериментов;

3. Выбор, подготовка и исследование акселерограмм землетрясений для численного моделирования напряженно-деформированного состояния слоистого основания при сейсмическом воздействии;

4. Численное моделирование и оценка сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор в условиях неоднородного слоистого основания при воздействии разночастотных акселерограмм;

5. Анализ полученных результатов и разработка рекомендаций, направленных на повышение сейсмической устойчивости грунтовых дамб хвостохранилищ на слоистом основании.

Научная новизна работы состоит в следующем:

(по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».)

1. Выявлена специфика процесса распространения сейсмической волны в неоднородной среде, заключающаяся в изменении частоты колебаний и увеличении их продолжительности в результате эффекта «ловушки», возникающего из-за отражения сейсмических волн от границ раздела двух различных грунтов.

2. Выявлено, что более неблагоприятной с точки зрения сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор является акселерограмма с низкочастотным энергетическим спектром, т.к. приводит к наибольшим колебаниям поверхности основания.

(по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».)

3. Предложена классификация акселерограмм по доминантным частотам энергетических спектров ускорений, т.к. частота амплитудных максимумов энергетических спектров ускорений чаще всего не превышает 10-15 Гц, предложено разделить частоты энергетических спектров на три диапазона: 1 – 3 Гц, 3 – 6 Гц, 6 и выше Гц.

4. Создана численная модель грунтовой колонны, состоящая из различных слоев для проведения экспериментов, по прохождению импульса поперечной сейсмической волны. Данная модель позволяет анализировать процесс прохождения поперечной сейсмической волны в неоднородной среде.

5. Разработана методика проведения численного анализа сейсмической устойчивости дамб хвостохранилищ, возведенных на слоистом основании, заключающаяся в поэтапном моделировании в начале скального основания с последующей заменой на реальное слоистое основание, с применением разно частотных записей акселерограмм

Практическая значимость полученных результатов. Результаты диссертационной работы использованы в трех проектах по наращивания дамбы ЗИФ рудника Кумтор на 2011– 2012 г.г, 2013-2014 г.г, 2015-2016 г.г. в разделе сейсмическая устойчивость дамбы. Все проектные решения внедрены в практику. Документы, подтверждающие практическое использование и акты внедрения имеются.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

(по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».)

1. Скорости горизонтальных смещений и продолжительность колебаний поверхности слоистого грунтового основания при прохождении поперечной сейсмической волны закономерно увеличиваются в результате того, что сейсмическая волна отражается от границ раздела слоев грунта и остается в слое, становясь источником колебаний (эффект «ловушки»).

2. Установлены закономерности изменения характеристик сейсмических колебаний поверхности из-за местных грунтовых условий, которые необходимо учитывать на стадии проектирования с целью обеспечения устойчивости дамбы при наихудших условиях динамической нагрузки.

(по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».)

3. Численное моделирование методом конечных разностей (FLAC) на основе математической модели волновых процессов в слоистой грунтовой колонне с приложением импульса касательных напряжений в ее основании и использование аппарата статистического анализа с выполнением вычислительных экспериментов позволяет провести микросейсмическое районирование с установлением наиболее важных факторов, влияющих на сейсмическую нагрузку, передаваемую на поверхность.

4. Использование масштабирования расчетных акселерограмм на численной модели скального основания, модификация численной модели с внедрением в нее реальных грунтовых условий, а также выявление и оценка изменений сейсмического эффекта на поверхности – позволяет провести оценку сейсмической устойчивости грунтовых дамб, возведенных на слоистом основании при отсутствии записей землетрясений непосредственно с площадки строительства.

Личный вклад соискателя заключается в: выполнении исследований по изучению прохождения сейсмической волны через слоистое грунтовое основание с помощью численных экспериментов; проведении многофакторного анализа слоистого основания на примере дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор; создании методики расчета оценки влияния слоистого основания на сейсмический эффект; выборе и подготовке расчетных акселерограмм с различными доминантными частотами; обосновании необходимости учета слоистого основания в динамических расчетах; оценке сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор и внедрении результатов исследований в проектную документацию; обосновании индивидуального подхода к оценке сейсмической устойчивости грунтовых дамб.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были доложены и обсуждены на трех международных симпозиумах:

- симпозиум, посвященный вопросам численного моделирования в кодах FLAC, проводимый совместно с Китайским Обществом Геомеханики и Инженерии (www.csrme.com/en) под эгидой Китайской Академии Наук, «Третий международный симпозиум FLAC» (Китай, Хангжу, 2013г.);

- международный симпозиум Комитета по Большим Плотинам и Дамбам (ICOLD), «Дамбы в глобальных проблемах окружающей среды» (Индонезия, Бали, 2014г.);
- международный симпозиум, посвященный 35-й годовщине компании ITASCA, «Численное моделирование в геомеханике» (Перу, Лима, 2016г.);
- международная учебно-практическая конференция Московского Государственного Строительного Университета, публикация заняла почетное второе место (Россия, Москва, 2017г.).

Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались ежегодно (2010-2014 г.г.) на отчете молодых ученых Института Геомеханики и Освоения Недр НАН КР, а работа в завершенном виде доложена и одобрена на объединенном заседании кафедры Прикладной математики и информатики КГТУ им. И.Раззакова и секции Ученого совета «Геомеханика» ИГиОН НАН КР.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Основное содержание диссертации отражено в 13 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы, приложения, содержит 151 страницу текста, 6 таблиц, 106 рисунков, список использованных источников из 138 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, определены цели и задачи, а также основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ изученности вопросов и методов оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб, изучены виды сейсмического районирования, выполнен анализ экспериментальных исследований сейсмической устойчивости грунтовых дамб на крупномасштабной сеймоплатформе.

До середины 70-х годов изучение динамики грунтов и проектирование сейсмически устойчивых грунтовых дамб идут практически изолировано. Связь между основными работами этих двух направлений не просматривается. Исследуются закономерности поведения грунтов в условиях динамических воздействий, в вопросах сейсмической устойчивости грунтовых дамб их не учитывают. Ситуация меняется в последние 20 лет. Создаются расчетные модели динамической реакции грунтов, ориентированных на задачи проектирования грунтовых дамб. Начиная с 1975 года, Международной Комиссией по Большим Плотинам и Дамбам публикуются первые обзорные издания, обобщающие мировой опыт по данной проблематике. До публикации 1989 года, во многих странах мира была практика оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб, используя псевдо статический анализ для

горизонтального ускорения $0,1g$. Как уже известно, землетрясения могут производить большее значение ускорений. Динамические расчеты выявили необходимость учета основания дамбы. Основание – не твердый однородный грунт, а сложная структура, со своим динамическим откликом, изменяющая характеристики сейсмического воздействия.

Из кыргызских ученых в области динамики грунтов необходимо отметить работы К.А. Кожобаева. Его научные труды посвящены тиксотропии, дилатансии и разжижению дисперсных грунтов. Прогнозирование активизации оползней при землетрясениях в Кыргызской Республике являются результатом научных трудов В.Е. Матыченкова, Ш.Э. Усупаева, Дж.Ш. Кожобаева, Дж.А. Шаймбетова и др.

Расчетами напряженно-деформированного состояния геотехнических объектов численным моделированием в Кыргызской Республике занимаются И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов, О.В. Никольская, К.Ж. Усенов, С.Ф. Усманов, Э.К. Абдылдаев, А. Алибаев, Б.А. Чукин, К.А. Абдыгазиев, Э.А. Ким, Г. Исаева, З. Шамбетов и др.

Исследование фильтрационных и тепловых процессов является научным направлением М. Дж. Джаманбаева, Ч. Дж. Джаныбекова, А.И. Исманбаева, Б.И. Бийбосунова и др.

Оценкой напряженно-деформированного состояния геотехнических объектов аналитическим методом занимаются Б.Ж. Жумабаев, А.А. Аманалиев и др.

Прогнозирование и оценка сейсмической опасности территории Кыргызской Республики является научно-исследовательским направлением К.Е. Абдырахматова, Э. Мамырова, М. Омуралиева, В.Н. Погребного, Дж.Ж. Кендирбаевой, К. Джанузакова, А.Т. Турдукулова, М.П. Камчыбекова и др.

В решение проблемы обеспечения сейсмической устойчивости грунтовых дамб и понимании закономерностей поведения грунтов при динамических нагрузках внесли значительный вклад видные ученые: Д.Д. Баркан, О.Я. Шехтер, О.А. Савинов, Н.Н. Маслов, Б.М. Гуменской, И.М. Горькова, П.Л. Иванова, Л.К. Танкаева, Е.Н. Зарецкий, Л.Н. Рассказов, Е.Н. Беллендир, В.Н. Ломбардо, А.С. Бестужев, В.Г. Мельник, Е.А. Вознесенский и др., а также зарубежные ученые К. Терцаги, Т. Лэмб, Е. Рейсснер, Г. Фрейндлих, Г.Б. Сид, К. Чен, Н.М. Ньюмарк, Т.К. Сай, Дж. Лайсмер, Ф. Ричарт, К. Ли, А. Казагранде, Г. Кастро, К. Ишихара, Т.Л. Яуда, Дж. Митчелл, В.Д.Л. Финн и др.

Выполнен анализ видов сейсмического районирования. Сейсмическая опасность площадки строительства производится на основании исследований: общего сейсмического районирования (ОСР), детального сейсмического районирования (ДСР) и сейсмического микрорайонирования (СМР). Работы по ОСР охватывают всю территорию страны с построением карты. Основным элементом градации карты является интенсивность землетрясения. Построением карты ОСР Кыргызской Республики успешно занимается Институт Сейсмологии НАН КР. Задачей ДСР является изучение сейсмогенерирующих зон. Изучается распределение очагов, тип подвижек,

максимальные магнитуды и т.д. СМР оценивает влияние местных условий на очаговое сейсмическое воздействие. В последние годы в комплексе СМР важную роль играют численные методы, точность которых обусловлена учетом многофакторности, возможностью описания резкой изменчивости форм границ среды, учетом уровня грунтовых вод, а также изменением скоростных и прочностных свойств грунтов.

Наибольшую известность в области экспериментальных исследований сейсмической устойчивости грунтовой дамбы получили работы, проведенные для строительства плотины Нурекской ГЭС. Для определения сейсмической устойчивости откосов была построена сейсмоплатформа. Эксперименты на сейсмоплатформе проводились с гравийно-галечниковой смесью Нурекских карьеров. Всего на платформе было выполнено более 100 опытов, отличающихся прикладываемыми ускорениями от 0,1g до 0,5g. Откос имел заложение $m = 2,25$ с плотностью укладки $\rho = 1,9 - 2,27 \text{ т/м}^3$.

Проведенные опыты выявили, что величина сейсмических деформаций сооружения зависит от:

- динамических параметров землетрясения;
- физико-механических свойств грунта дамбы;
- и практически мало зависит от высоты сооружения.

Проанализированы результаты проделанной экспериментальной работы, сделаны следующие выводы: плотины из гравийно-галечниковой смеси обладают высокой динамической устойчивостью при ускорениях до 0,5g, если плотность укладки материала не менее $2,15 \text{ т/м}^3$. Рыхло уложенный галечник с $\rho < 1,95 \text{ т/м}^3$, обладает достаточной динамической устойчивостью в сухом состоянии, имеет резко пониженную динамическую устойчивость в водонасыщенном состоянии. Важным выводом является то, что величина сейсмических деформаций сооружения зависит от динамических параметров землетрясения, в виде колебания земной поверхности, на которые влияют местные грунтовые условия.

Во второй главе изложены существующие методы оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб.

В основу спектрального метода положена идея, о том, что вместо описания сейсмических колебаний сооружения в функции времени определяют максимальные ускорения, скорости, смещения на основе анализа динамических параметров (период собственных колебаний, показатель рассеяния энергии и т.д.). Для определения этих величин используются акселерограммы ранее прошедших землетрясений. В результате строятся спектральные кривые, описывающие максимальные сейсмические ускорения, скорости и смещения системы с одной степенью свободы в функции периода его собственных колебаний. Данный метод рекомендован СНИП КР 20-02:2009 для оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб ниже I и II класса ответственности. Для грунтовых дамб максимальное ускорение $u_{ik}(t)$ в точке k может быть определено из выражения:

$$\max_t |u_{ik}(t)| = a_p \beta_i \eta_{ik}$$

где, a_p – максимальная амплитуда действующего ускорения; η_{ik} – коэффициент формы деформаций сооружения; β_i – коэффициент динамичности, зависимость абсолютных значений максимальных ускорений системы с фиксированным затуханием от периодов собственных колебаний T_i . Значения β_i в зависимости от периода собственных колебаний T_i сооружения определяются по спектральным графикам показанным на рисунке 1. Кривая 1 – для грунтов I категории по сейсмическим свойствам; кривая 2 – для II и III категорий при мощности слоя ≤ 30 м; кривая 3 – для грунтов II и III категорий при мощности слоя > 30 м. В линейно-спектральной теории для дамб из грунтовых материалов расчетные сейсмические нагрузки определяются через расчетное ускорение a_{pkj} в точках k сооружения.

$$a_{pkj} = AK_1K_2\sqrt{\sum_{i=1}^n [K_\psi\beta_i\eta_{ikj}]^2}$$

где: A – коэфф-т, характеризующий сейсмическое ускорение, β_i – коэфф-т динамичности, η_{ikj} – коэфф-т формы колебаний, K_1 – коэфф-т, допустимых повреждений, K_2 – коэфф-т, учитывающий конструктивные решения, K_ψ – коэфф-т, типа сооружения и интенсивности сейсмического воздействия, детерминированны и принимаются согласно нормативных документов. Оценка сейсмической устойчивости грунтовой дамбы после определения сейсмических нагрузок выполняется методом фиксированных поверхностей скольжения, при этом сейсмические нагрузки учитываются как статические.

Оценка сейсмической устойчивости грунтовых дамб при задании воздействия акселерограммой осуществляется по допустимым деформациям. Широкое распространение получил динамический метод Н. Ньюмарка. Данный

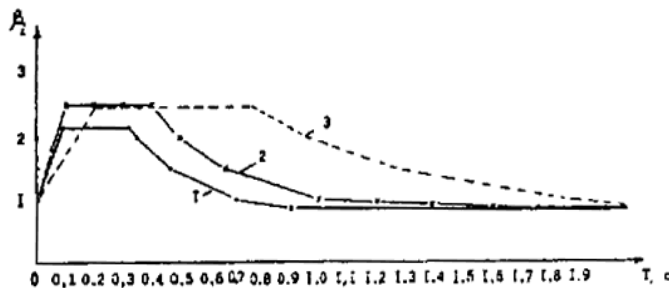


Рис.1. Графики значений коэффициента динамичности β_i от расчетного периода собственных колебаний T_i .

Метод расчета определяет необратимые перемещения откосов по фиксированным поверхностям скольжения при сейсмических воздействиях. Н. Ньюмарком были получены зависимости для оценки предельного ускорения и соответствующей силы, приводящих к необратимым смещениям откосов или дамбы в целом. Если при расчете устойчивости откоса коэффициент запаса отсека, становится меньше единицы, то этот отсек смещается как единое целое.

Научные достижения позволили найти новые современные подходы в сейсмических расчетах грунтовых дамб. Современные методики расчета для описания поведения грунта используют уравнения теории пластичности. Ниже

приводятся исходные предпосылки расчета сейсмонапряженного состояния грунтовых дамб прямым динамическим методом:

- связь между напряжениями и деформациями грунта определяется на основе теории пластичности;
- математическая модель грунта уточняется путем обработки данных лабораторных исследований;
- при расчете учитываются все основные факторы, определяющие напряженно-деформированное состояние дамбы в строительный и эксплуатационный периоды и в процессе сейсмического воздействия;
- допустимые нагрузки на сооружение оцениваются по деформациям, опасным с точки зрения эксплуатации или прорыва напорного фронта сооружения;

В качестве предельной нагрузки на сооружение принимается уровень, при котором происходят незатухающие пластические деформации, выявляющие возможные зоны обрушения дамбы.

В третьей главе описана динамическая неустойчивость грунтов, предложена методика подбора характеристик расчетных акселерограмм в зависимости от наиболее важного типа грунта в геологическом разрезе основания, выполнены новые исследования процесса распространения сейсмической волны в слоистом основании, произведен факторный анализ для трехслойной модели грунтового основания, рассмотрена методика подготовки акселерограмм к расчетам.

Характерными формами реакции песчаных грунтов на динамические нагрузки являются:

1. уплотнение рыхлого песка любой влажности;
2. разжижение водонасыщенного песка, связанное с увеличением порового давления на фоне уплотнения грунта вплоть до исчезновения эффективных напряжений;
3. разуплотнение маловлажных плотных песков и их разупрочнение.

Длительные пульсирующие нагрузки, не позволяя водонасыщенному песку мобилизовать сопротивление сдвигу, что приводит к переупаковке зерен и разжижению грунта в сформировавшихся ослабленных зонах.

Практический интерес к динамическим испытаниям крупнообломочных грунтов невелик из-за их устойчивости в условиях динамических нагрузок. Известны отдельные случаи динамического разжижения таких грунтов при сильных землетрясениях. Анализ этих ситуаций показал, что разжижение таких водонасыщенных грунтов возникает: при высоком содержании пылевато-песчаного заполнителя и рыхлом сложении, гравийные и галечные частицы «плавают» в пылевато-песчаном заполнителе; если гравелистые грунты имеют над собой слой, с существенно меньшей водопроницаемостью препятствующий диссипации избыточного порового давления при сейсмических колебаниях. Чистые гравийно-галечные грунты являются динамически надежными даже при их подводном залегании.

Тиксотропия – явление, присущее дисперсным системам выражающееся в разрушении структурных связей под действием динамической нагрузки и их восстановлении в состоянии покоя. Важным свойством тиксотропных систем является их обратимость, т.е. восстановление прочности до исходного уровня. Схематическая кривая тиксотропной системы приведена на рисунке 2, а. Природные связные грунты не обладают этим свойством. Их прочность после завершения восстановления не достигает исходного уровня (рис. 2, б), либо превышает его (рис. 2, в). Поэтому говорят о квазитиксотропности таких грунтов, т.е. тиксотропные процессы, осложненные некоторыми особенностями.



Рис. 2. Схема восстановления прочности тиксотропной системы (а) и квазитиксотропных природных грунтов (б, в).

Влияние частоты нагружения на динамическую реакцию глинистых грунтов является одной из наиболее неопределенных. Опыт ученых показывает, что подобная зависимость существует. Например, для ила из залива Сан-Франциско, при проведении динамических испытаний, увеличение частоты колебаний с 1 до 2 Гц существенно изменяет количество циклов воздействия, необходимых для разрушения образцов. Частотная зависимость динамической реакции глинистых грунтов осложнена эффектами резонанса, тиксотропного восстановления и ползучести. Чем выше влажность глинистого грунта, тем более выражено влияние частоты динамической нагрузки на его поведение.

Горные породы характеризуются усталостным разрушением. Усталость – снижение прочности материала при динамических нагрузках. Отсутствие единой теории усталости горных пород заставляет опираться на разработки для металлов, имеющие ограниченное применение для неоднородных сред. Как и в металлах, усталость горных пород определяется существующими в них неоднородностями. В них при нагружении возникают поля напряжений, а в местах их концентрации микротрещины. Параметры действующей нагрузки определяют степень проявления усталости. Приводимые разными авторами эмпирические уравнения, описывающие снижение прочности различных пород с увеличением циклов N как в условиях сжатия, так и при растяжении, имеют вид:

$$\frac{\sigma_{\max N}}{\sigma_{cm}} = a - b \lg N ,$$

где $\sigma_{ст}$ – предел прочности в статических условиях, $\sigma_{max N}$ – разрушающее напряжение после N циклов нагружения, a и b – константы. Величина σ_{max} оказывает наибольшее влияние на прочностные характеристики горных пород. Чем выше эта величина, тем больше рост деформаций с увеличением числа циклов нагружения.

На основе анализа накопленного опыта о динамической неустойчивости грунтов, предложена методика подбора характеристик расчетных акселерограмм в зависимости от типа наиболее важного грунта и моделировании наихудших сейсмических воздействий для конкретного случая. Например, для основания, содержащего водонасыщенные пески выбор расчетной записи предложено основывать на ее продолжительности, т.к. даже плотные пески разжижаются после продолжительной сейсмической нагрузки. Рекомендовано использовать акселерограммы продолжительностью более 60 секунд. Для глинистых грунтов, рекомендовано выявлять резонансные эффекты и их влияние на устойчивость сооружения. В скальных породах, для выявления зон напряжения с последующим возникновением трещин, рекомендовано применение акселерограмм содержащих большое количество пиков ускорений близких к максимальным.

Влияние слоистого основания на изменение характеристик колебаний это сложный процесс распространения сейсмических волн. При определенных грунтовых условиях это влияние может принять форму усиления, а в других условиях ослабления. Для исследования процесса прохождения сейсмической волны в слоистом основании были выполнены численные эксперименты с моделью грунтовой колонны высотой 50м и шириной 1м:

1. однородное скальное основание мощностью 50м;
2. двухслойное основание, состоящее из 35м слоя скальной породы и 15м слоя глинистого грунта;
3. трехслойное основание, состоящее из 35м слоя скальной породы, глинистого прослоя мощностью 10м и 5м слоя песчаного грунта.

Гармоническое горизонтальное движение нижележащего слоя грунта будет приводить к вертикально проходящей поперечной волне в выше лежащем слое грунта как показано на рисунке 3. Результирующее горизонтальное смещение может быть описано выражением Г. Кольского:

$$u(z, t) = Ae^{i(\omega t + kz)} + Be^{i(\omega t - kz)},$$

где ω – круговая частота колебаний, k – волновое число ($=\omega/V_s$), V_s – скорость прохождения упругой поперечной волны в грунте; A и B – амплитуда волны, проходящей по направлению вверх (+ z) и вниз (- z) соответственно, i – мнимая единица ($=\sqrt{-1}$) используемая в законе Эйлера:

$$e^{i\alpha} = \cos \alpha + i \sin \alpha$$

Если $A=B$, тогда результирующее горизонтальное смещение может быть записано в виде следующего выражения:

$$u(z, t) = 2A \frac{e^{ikz} + e^{-ikz}}{2} e^{i\omega t} = 2A \cos kz e^{i\omega t}$$

Данное выражение может быть использовано для упрощенной записи функции переноса описывающей коэффициент амплитуд смещений в любых двух точках горизонтально залегающего грунтового слоя:

$$F(\omega) = \frac{u_{max}(0, t)}{u_{max}(H, t)} = \frac{2Ae^{i\omega t}}{2A \cos kHe^{i\omega t}} = \frac{1}{\cos kH} = \frac{1}{\cos(\omega H/v_s)}$$

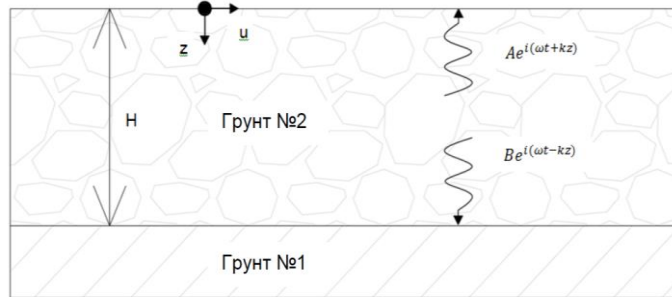


Рис.3. Схема вертикального прохождения поперечной волны в слоистой среде.

Г. Кольский в своей работе «Волны напряжения в твердых телах» дает определение комплексному волновому числу:

$$k^* = \omega \sqrt{\rho/G^*},$$

где ρ – плотность грунта, G^* – комплексный динамический модуль упругости сдвига грунта, определяемый как:

$$G^* = G(1 + 2iD),$$

где G – динамический модуль упругости сдвига грунта, D – коэффициент демпфирования грунта.

Из известной зависимости, связывающей скорость прохождения упругой поперечной волны с плотностью и модулем упругости сдвига, выводится комплексная скорость прохождения упругой волны:

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} = \sqrt{\frac{G(1 + i2D)}{\rho}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}(1 + iD) = v_s(1 + iD)$$

Тогда комплексное волновое число может быть выражено как:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*} = \frac{\omega}{v_s(1 + iD)} = \frac{\omega}{v_s}(1 - iD) = k(1 - iD)$$

Следовательно, функция переноса, учитывающая частоту прикладываемой нагрузки, геометрические и динамические характеристики слоев грунта упрощено выражается как:

$$F(\omega) = \frac{1}{\cos k(1 - iD)H} = \frac{1}{\cos[\omega H/v_s(1 + iD)]}$$

Основанию колонны передавался импульс напряжения, вызывающий скорости горизонтальных смещений (СГС) основания $V=1\text{м/сек}$. Схема приложения импульса напряжения показана на рисунке 4. Значения СГС наблюдались в трех контрольных точках модели: 1 – в основании, 2 – в середине и 3 – на вершине.

Результаты 1-го эксперимента. На рисунке 5 показаны графики изменения СГС при прохождении S-волны во времени. S-волна прошла от основания до

вершины за 0,0275 сек. Амплитуда СГС в точках 1 и 2 одинакова, в точке 3 увеличилась в два раза, и составила, 2 м/сек.

Две последующие линии характеризуют СГС в точках 2 и 1, вызванные отраженной S-волной от вершины колонны. S-волна возвращается в основание колонны, где заданные вязкие граничные условия поглощают ее, имитируя бесконечную среду. Гранитная колонна не совершает колебательных движений, на это указывают графики СГС не имеющих существенных отрицательных значений.

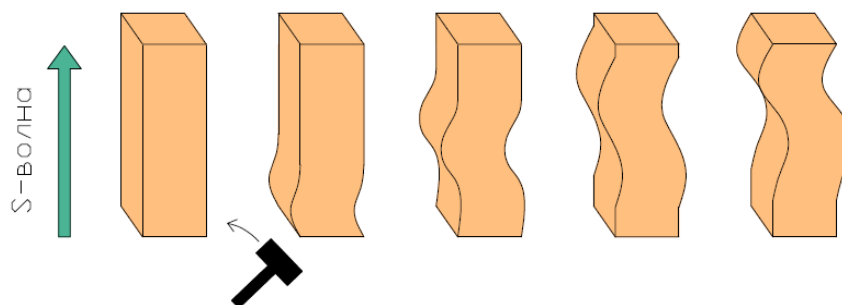


Рис. 4. Схема приложения импульса напряжения.

Результаты 2-го эксперимента. На рисунке 6 показаны графики изменения СГС при прохождении S-волны во времени. Время прохождения S-волны от основания до вершины увеличилось до 0,042 сек. Амплитуда СГС в точках 1 и 2 идентичны 1-му эксперименту и равны 1 м/сек. S-волна отражается от глинистого слоя и делится на две. Первая движется обратно к основанию, вторая к вершине.

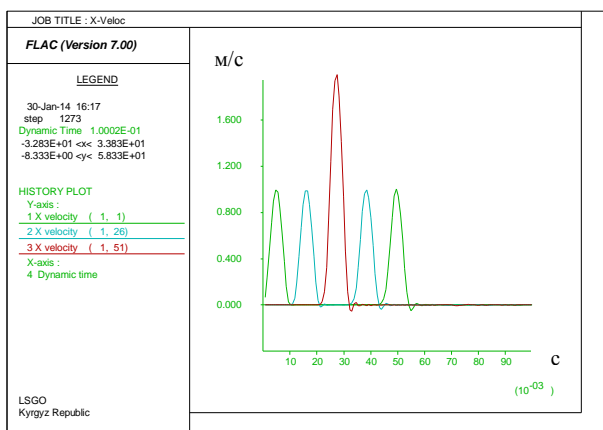


Рис. 5. Графики изменения СГС, 1-й эксперимент.

Последующие две кривые это СГС отраженной волны, затухающей в основании. На вершине колонны СГС возрастает до 3,17 м/сек. S-волна достигнув вершины возвращается обратно к основанию колонны и, дойдя до основания глинистого слоя опять делится на две. Вершина колонны свободно колеблется постепенно затухая. Возникают колебания различной частоты, от приложенной нагрузки одной частоты. Продолжительность колебания вершины колонны составляет, 0,5 сек.

Результаты 3-го эксперимента. На рисунке 7 показаны графики изменения СГС при прохождении S-волны во времени на 0,3 секунды расчета. Пиковое значение СГС на вершине меньше чем во 2-м эксперименте, 2,67 м/сек, но амплитуда СГС последующих колебаний значительно выше. Был выявлен эффект «ловушки» - отражение S-волн от границ раздела материалов и от вершины. О существовании данного эффекта говорит небольшая амплитуда СГС возвращающихся к основанию модели волн, в то время как амплитуда СГС на вершине высокая. Общая продолжительность колебаний значительно увеличилась и составляет более 10 секунд.

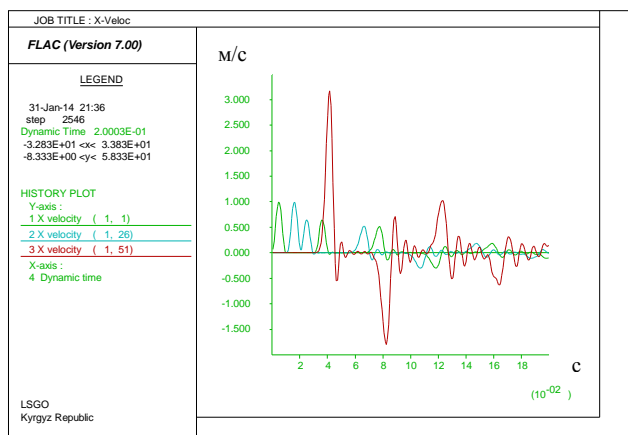


Рис. 6. Графики изменения СГС, 2-й эксперимент.

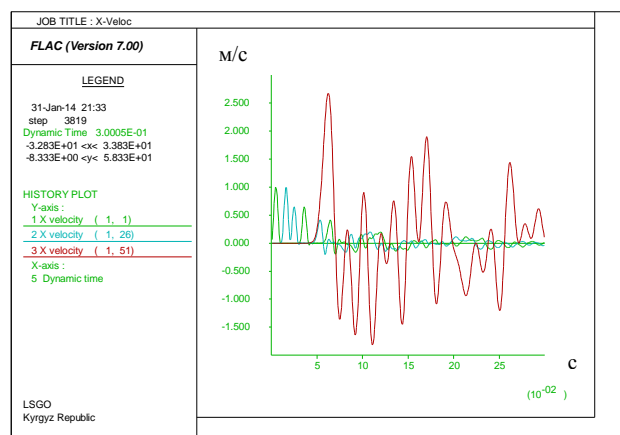


Рис. 7. Графики изменения СГС, 3-й эксперимент.

Наличие в слоистом основании грунтов выше коренных пород с более низкими значениями скоростей распространения упругих волн приводит к изменению динамической нагрузки на поверхности при сейсмических воздействиях.

Выполнен многофакторный анализ трехслойной грунтовой колонны для оценки влияния мощности грунтовых слоев и скорости прохождения упругих поперечных волн в них, на смещения, скорости смещения и пикового ускорения поверхности. Для этого была использована математическая теория планирования эксперимента, реализованная в программе STATISTICA. В результате произведенных численных экспериментов наибольшее влияние на выбранные параметры оказывают скорость распространения упругих поперечных волн в суглинистом прослое и его мощность. На рисунке 8 показана карта Парето для отклика максимальных смещений вершины колонны. На рисунке 9 график зависимости смещения вершины колонны от скорости распространения упругих поперечных волн (C_{sclay}) в суглинистом прослое. Как видно из графика данная зависимость нелинейная. С увеличением значения скорости распространения упругих волн смещения вершины уменьшаются.

В качестве примера выполнена подготовка акселерограммы афтершока Суусамырского землетрясения к расчетам для площадки строительства расположенной в 8 балльной зоне интенсивности. Методика подготовки

включает в себя: конвертацию единиц измерения, масштабирование акселерограммы по пиковому значению, отфильтровка акселерограммы от частот выше 10 Гц, корректировки расчетной сейсмограммы относительно нулевой линии и проведение сверочных расчетов для получения необходимого ускорения на поверхности модели основания.



Рис. 8. Карта Парето для отклика смещений вершины колонны.

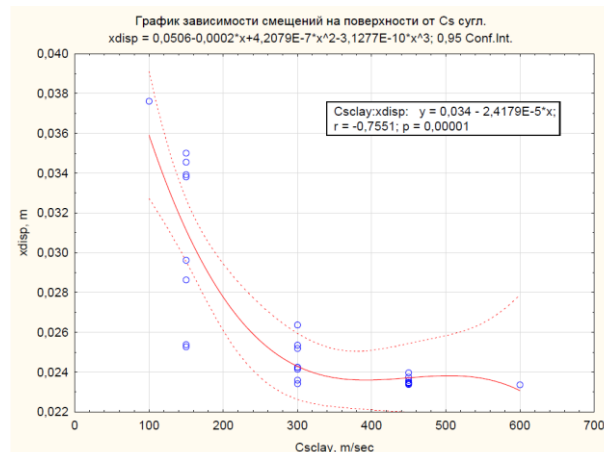


Рис. 9. Зависимость смещений вершины колонны от скорости распространения упругих поперечных волн в суглинистом прослое.

Разработана методика учета влияния локальных грунтовых условий, позволяющая производить расчеты сейсмической устойчивости при отсутствии акселерограмм полученных с площадки строительства, заключающаяся в следующем:

1. анализируется возможное пиковое ускорение площадки строительства согласно интенсивности района на карте ОСР, и дополнительных исследований;
2. анализируется геологический разрез с выявлением наиболее важных грунтов;
3. согласно предложенной методике учета типа динамической неустойчивости грунтов подбираются расчетные акселерограммы с необходимыми характеристиками;
4. выполняется подготовка выбранных записей — масштабирование, отфильтровка и т.д.;
5. моделируется основание, на первом этапе состоящее из скального материала и производится динамический расчет;
6. определяются горизонтальные ускорения, скорости и смещения на поверхности скального основания, а также строятся спектры откликов;
7. в модель основания внедряются реальные грунтовые условия и расчет повторяется;
8. анализируются все полученные величины и спектры для оценки влияния и последующего расчета сейсмической устойчивости сооружения при наихудших условиях.

В четвертой главе выполнены исследования влияния локальных грунтовых условий основания хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор согласно разработанной методике, предложена методика разделения акселерограмм на частотные диапазоны, оценивается сейсмическая устойчивость грунтовой дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор.

Дамба хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор возведена на слоистом грунтовом основании состоящего из вечномерзлых грунтов, суглинистого прослая и поверхностных грунтов. Площадка строительства дамбы относится к 8 балльной зоне интенсивности согласно карте ОСР Кыргызской Республики. В отчетах по технико-экономическому обоснованию проекта рудника Кумтор приводится анализ ДСР. Данный анализ основан на методологии оценки таких факторов, как положение активных разломов и их параметры (длина, глубина заложения, направление движения, скорость движения), положение зон возможного очага землетрясения, удаление площадки строительства от центра разлома или зоны возможного очага и др. В результате возможное пиковое ускорение составило 0,33g. Наибольший интерес для изучения сейсмического эффекта представляет суглинистый прослой. В работе анализируются три характеристики колебаний на поверхности: пиковое горизонтальное ускорение, резонансные частоты основания и продолжительность колебаний.

После комплексного анализа акселерограмм землетрясений было выявлено, что наибольшая энергетическая составляющая спектра горизонтальных ускорений находится в диапазоне от 1 до 12 Гц. Предложена методика разделения данного диапазона на три: низкочастотный – до 3 Гц, среднечастотный – от 3 до 6 Гц, высокочастотный – свыше 6 Гц.

Для выполнения исследований влияния локальных грунтовых условий основания хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор были подобраны три акселерограммы соответствующие трем частотным диапазонам:

- афтершок землетрясения «Northridge» - США, Калифорния, 17 января 1994 года, магнитуда 6,7, пиковая скорость 0,16 м/сек, пиковое ускорение 0,57g, продолжительность 39,88 сек, доминантная частота горизонтальных ускорений 1,2 Гц;
- «Trinidad» - Тринидад и Табаго, 9 июля 1997 года, магнитуда 7, пиковая скорость 0,077 м/сек, пиковое ускорение 0,19g, продолжительность 21,4 сек, доминантная частота горизонтальных ускорений от 2,7 до 3,4 Гц.
- «Landers» - США, Калифорния, 28 июня 1992 года, магнитуда 7,3, пиковая скорость 0,072 м/сек, пиковое ускорение 0,78g, продолжительность 48,09 сек, доминантная частота горизонтальных ускорений 11,4 Гц.

Численная модель основания показана на рисунке 10. Геотехнические свойства, используемые в анализа представлены в таблице 1. Динамические модули упругости сдвига и объемных деформаций определены из формул:

$$Cp = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}}$$

$$C_s = \sqrt{G/\rho}$$

где c_p – скорость прохождения продольной волны, K – динамический модуль упругости объемных деформаций, G – динамический модуль упругости сдвига, ρ – плотность, c_s – скорость прохождения поперечной волны.

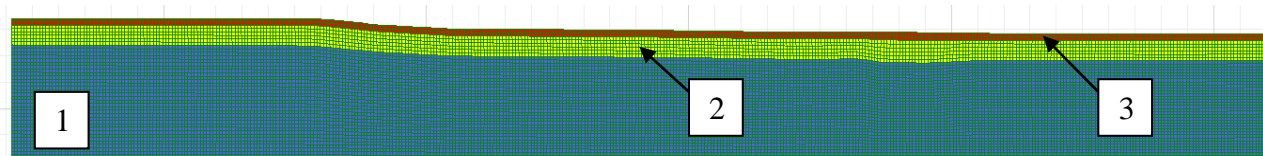


Рис. 10. Численная модель основания дамбы с указанием расчетных грунтовых элементов: 1 – скальное основание; 2 – суглинистый прослой; 3 – поверхностные грунты.

Таблица 1 – Свойства расчетных грунтовых элементов основания дамбы

	Поверхностные грунты	Суглинистый прослой	Скальное основание (расчетное)
Плотность, ρ [кг/м ³]	2000.0	2105.0	2141.0
Сцепление, C [Па]	0.0	15000.0	0.0
Угол внутреннего трения, ϕ [градус]	35.0	1.5	38.0
Динамический модуль упругости сдвига, G [Мпа]	80	84.2	535.25
Динамический модуль упругости объемных деформаций, K [Мпа]	213.3	224.53	1427.3

При моделировании основания учитывалось положение кривой депрессии на ее естественном уровне согласно данным пьезометров, установленных за низовым откосом дамбы.

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. При применении записи низкочастотной акселерограммы увеличение величины горизонтальных ускорений не выявлено. Спектры энергии ускорений показаны на рисунке 11, линия 1 – прикладываемой записи, линия 2 – отклика на поверхности. Первый пик спектра соответствует доминантной частоте записи 1,2 Гц, второй пик частному диапазону от 2,4 до 3,4 Гц. Увеличение продолжительности колебаний не выявлено.

2. При применении записи среднечастотной акселерограммы выявлено увеличение величины горизонтальных ускорений до 0,36g. Спектры энергии ускорений показаны на рисунке 12, линия 1 – прикладываемой записи, линия 2 – отклика на поверхности. Пик спектра приходится на частотный диапазон от 2,6 до 4,2 Гц. Увеличение продолжительности колебаний не выявлено.

3. При применении высокочастотной акселерограммы увеличение величины горизонтальных ускорений не выявлено. Спектры энергии ускорений показаны на рисунке 13, линия 1 – прикладываемой записи, линия 2 – отклика на поверхности. Первый пик спектра приходится на частотный диапазон от 2,8

до 4,6 Гц, второй от 11,6 до 13,4 Гц. Увеличение продолжительности колебаний не выявлено.

4. Для основания частотный диапазон 2,6 – 4,2 Гц является резонансным, т.к. вызывает резкое увеличение значений спектра энергии горизонтальных ускорений. Так же диапазон более высоких частот от 10 до 14 Гц значительно увеличивает переданную нагрузку. Возможно, данное усиление амплитуд колебаний вызвано эффектом «ловушки».

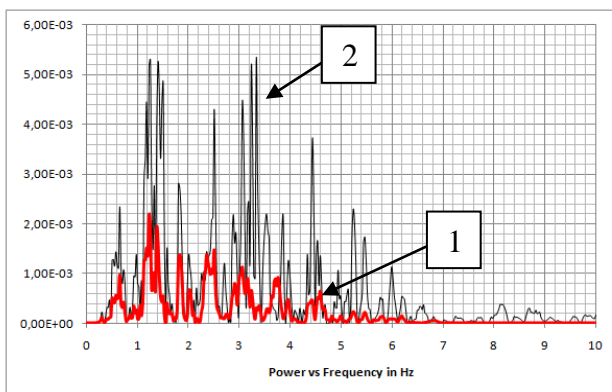


Рис. 11. Спектры энергии ускорений: 1– записи, 2 на поверхности.

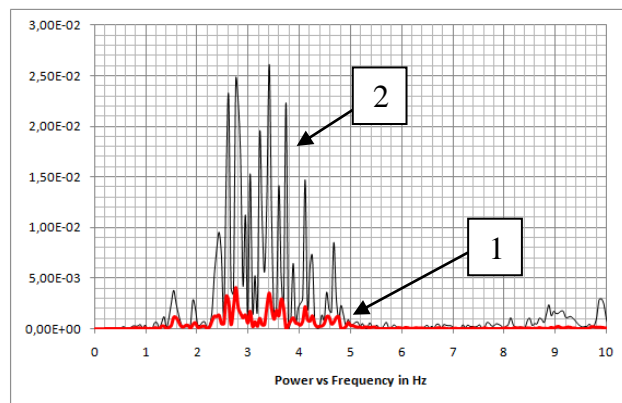


Рис. 12. Спектры энергии ускорений: 1– записи, 2 на поверхности.

Отличие частот спектров прикладываемой нагрузки и откликов на поверхности говорят о влиянии местных грунтовых условий, а именно об увеличении частоты колебаний.

Выполнена оценка сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор с применением трех типов записей. Оценка осуществлялась по двум критериям сейсмостойкости: 1 – осадка гребня дамбы не должна превышать уровень воды верхнего бьефа равного 1,5м; 2 – величины деформаций, полученные в результате нелинейного динамического анализа сравниваются с результатами лабораторных испытаний, для оценки уменьшения прочностных свойств или потери устойчивости грунта при полученном уровне деформаций.

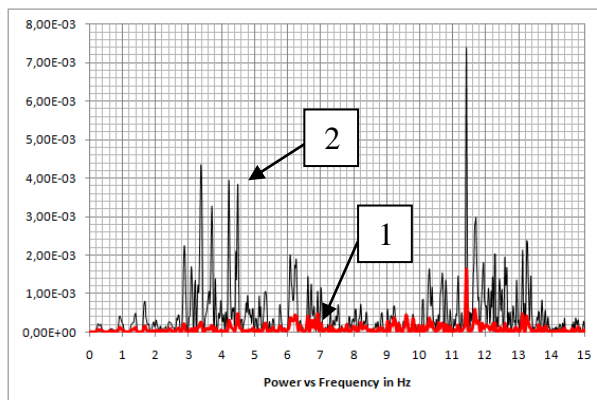


Рис. 13. Спектры энергии ускорений: 1– записи, 2 на поверхности.

Расчеты проводились в соответствии с этапами строительства и эксплуатации хвостохранилища. До выполнения динамических расчетов, производился расчет статического состояния дамбы с учетом фильтрационных процессов. Фильтрационные расчеты выполнены для учета изменения порового давления в водонасыщенных грунтах. Численная модель расчетного сечения дамбы показана на рисунке 12. Геотехнические свойства, используемые в анализе, для грунтов тела дамбы и хвостов представлены в таблице 2.

Резонансное усиление нагрузки основание на частоте ускорений от 2,6 Гц до 4,2 Гц не привело к ухудшению сейсмической устойчивости дамбы. Наихудшие результаты по выбранные критериям сейсмостойкости были получены при применении низкочастотной записи.

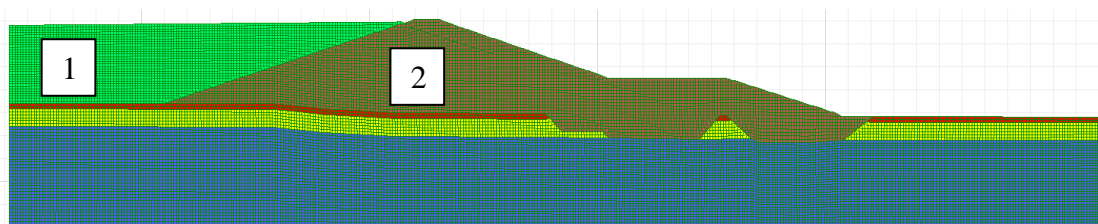


Рис. 12. Численная модель дамбы: 1 – хвосты; 2 – тело дамбы.

На рисунке 15 показано распределение горизонтальных смещений после 39,88 сек сейсмического воздействия низкочастотной записи. Со стороны верхового откоса их величина составляет 25 см, а со стороны низового 15 см.

На рисунке 16 показаны графики горизонтальных и вертикальных смещений гребня. Максимальная величина горизонтальных смещений 22 см, вертикальных 1,4 см. Согласно первому критерию сейсмостойкости данная осадка не приведет к развитию гидродинамической аварии за счет перелива.

Распределение максимальных пластических деформаций показано на рисунке 17. Максимальные пластические деформации, по результатам динамического расчета, сформировали поверхность сдвига в суглинистом прослое со значениями от 2,5% до 15%, упирающуюся в конструкцию из упорных клиньев.

Таблица 2 – Свойства расчетных грунтовых элементов тела дамбы и хвостов

	Галечник (Тело дамбы)	Хвосты
Плотность, ρ [кг/м ³]	2100.0	1887.0
Сцепление, C [Па]	0.0	0.0
Угол внутреннего трения, ϕ [градус]	38.0	24.0
Динамический модуль упругости сдвига, G [Мпа]	131.25	42.4575
Динамический модуль упругости объемных деформаций, K [Мпа]	350	113.22

Данное значение говорит о разрушении материала суглинистого прослоя. Сформировавшаяся поверхность сдвига не пересекает тело дамбы и не выходит на поверхность откоса.

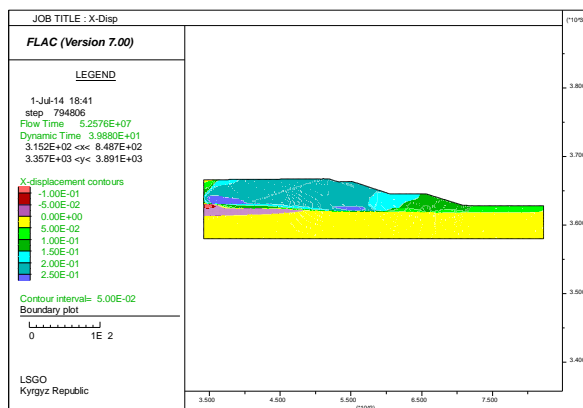


Рис. 13. Распределение горизонтальных смещений.

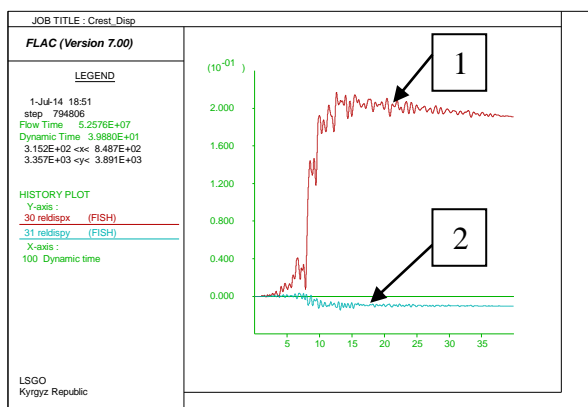


Рис. 14 График смещения гребня дамбы: 1 – горизонтальных; 2 – вертикальных.

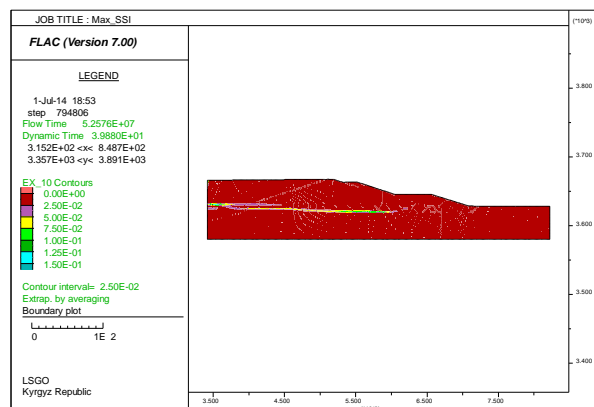


Рис. 15. Поверхность скольжения от максимальных пластических деформаций

ВЫВОДЫ

Наиболее существенные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. При изучении современного состояния теоретических основ и методологических подходов к оценке сейсмической устойчивости грунтовых дамб установлено, что:

- численное моделирование, как метод СМР, обладает рядом преимуществ: экономически менее затратное; необходимо меньше времени для проведения исследования; способно оценить напряженно-деформационное состояние грунтов основания с учетом многофакторности (нелинейного поведения грунтов при динамических нагрузках, изменение рельефа, учет положения грунтовых вод и т.д.);
- при изучении результатов исследования сейсмической устойчивости грунтовой дамбы на сеймоплатформе выявлено, что главным фактором,

влияющим на величину сейсмических деформаций, является характеристики сейсмической нагрузки, на которые оказывает влияние грунты основания, что говорит о важность их учета в расчетах сейсмической устойчивости;

- грунты классифицируются по типу их динамической неустойчивости: скальные породы характеризуются усталостным типом; несвязанные грунты проявляют дилатансию разного знака; связанные грунты обладают квазитиксотропной реакцией на динамическую нагрузку;
- для повышения качества расчетов сейсмической устойчивости грунтовых дамб на слоистом основании предложено учитывать геологическое строение и выявлять наиболее важный тип грунта, затем применять акселерограммы с заданными характеристиками для воздействия на определенный вид динамической неустойчивости.

2. Выполнены новые исследования процесса распространения сейсмической волны в слоистом основании с помощью численного моделирования 50 метровой грунтовой колонны с приложением импульса касательных напряжений в ее основании и изменении грунтовых условий. Данные исследования подтвердили особенности, связанные с отражением волн от границ раздела грунтов и от свободной поверхности. Был выявлен эффект «ловушки» - сейсмическая волна, отражаясь от границы раздела грунтов, продолжает оставаться внутри слоя грунта, и становится источником сейсмических колебаний, увеличивая их продолжительность и изменяя характеристики. Выполненные численные эксперименты подтверждают изменение динамической нагрузки на поверхности при условии наличия в основании выше коренных пород грунтов с более низкими значениями скоростей распространения упругих волн. Факторный анализ для трехслойной модели грунтового основания, состоящего из коренных пород, суглинистого прослая и песчаного грунта выявил, увеличение величин горизонтальных смещений, скоростей горизонтальных смещений и ускорений на поверхности основания со снижением значения скорости распространения упругой поперечной волны в суглинистом прослое. Увеличение мощности суглинистого прослая, так же приводит к увеличению этих динамических параметров на поверхности основания. Данный анализ показал возможности численного моделирования для установления наиболее важных факторов, влияющих на сейсмическую нагрузку, передаваемую грунтовой дамбе в каждом конкретном случае.

3. В результате комплексного анализа записей землетрясений предложена методика разделения записей горизонтальных ускорений на частотные диапазоны. Наибольшая составляющая спектра энергии горизонтальных ускорений землетрясений находится в частотном диапазоне от 1 до 12 Гц. Предложено разделить данный диапазон на три уровня частот: низкочастотные до 3 Гц; среднечастотные от 3 до 6 Гц; высокочастотные свыше 6 Гц. Разработана рекомендация по использованию трех типов акселерограмм по указанной градации для исследования реакции основания на разно частотную

нагрузку. Данные исследования позволяют выявить резонансную частоту слоистого основания и произвести расчет сейсмической устойчивости грунтовой дамбы при максимальных нагрузках.

4. Разработана методика оценки влияния местных грунтовых условий на изменение характеристик сейсмической волны заключающаяся в поэтапном подходе:

- масштабирование расчетных акселерограмм для получения на поверхности численной модели скального основания, величины пикового ускорения соответствующего интенсивности района площадки строительства согласно карте сейсмического районирования Кыргызской Республики;
- изменение численной модели основания на реальные грунтовые условия;
- анализ и сравнение полученных результатов расчетов оснований, состоящих только из скальной породы и из реальных грунтовых условий, для выявления и оценки изменений сейсмического эффекта на поверхности.

Данная методика позволяет производить расчеты сейсмической устойчивости грунтовых дамб при отсутствии записей землетрясений непосредственно с площадки строительства, без потери учета местных грунтовых условий.

5. Выполнено численное моделирование сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор согласно разработанной методике оценки влияния местных грунтовых условий на сейсмический эффект и разработанной рекомендации по выбору трех типов акселерограмм. Подтверждена важность учета слоистого основания в расчетах сейсмической устойчивости:

- выявлено, что суглинистый прослой увеличивает пиковое значение горизонтальных ускорений с $0,33g$ до $0,36g$ при приложении среднечастотной записи, данное значение приближается к 9 балльной интенсивности;
- обоснована разработанная методика, позволяющая выявить резонансный частотный диапазон $2,6 - 4,2$ Гц слоистого основания, который остается неизменным при приложении всех трех разно частотных записей.

Наихудшие результаты, с точки зрения сейсмической устойчивости дамба показала при низкочастотных колебаниях, не отреагировав на усиление от грунтов основания среднечастотных компонент. Это объясняется различием собственных частот тела дамбы, лежащих в низком диапазоне. Наибольшие горизонтальные смещения распределились в суглинистом прослое и теле дамбы со стороны верхового откоса. Их значение примерно одинаково и составляет 25 сантиметров, что вызвано деформированием суглинистого прослая и движением дамбы по нему. Значения сдвиговых деформаций суглинистого прослая составляют от 2,5% до 15%. Происходит разрушение материала суглинка и потеря несущей способности. Сформированная поверхность сдвига

упирается в конструкцию из упорных клиньев и не имеет выхода на свободную поверхность. Осадка гребня дамбы не превышает 1,5 метра и составляет 1,4 сантиметра. Согласно выбранным критериям сейсмостойкости, сейсмическая устойчивость дамбы обеспечивается.

6. На основании выполненной диссертационной работы рекомендовано:

- выявление наиболее влияющего на устойчивость сооружения типа грунта в геологическом разрезе основания, в связи с различным видом динамической неустойчивости и чувствительности грунтов к различным характеристикам динамической нагрузки;
- при выполнении инженерно-геологических исследований необходимо проведение лабораторных тестов по определению динамических свойств грунтов для выполнения расчетов по прямому динамическому методу;
- изучение слоистого основания на изменение динамических характеристик и выявление наихудшего сейсмического эффекта;
- оценка сейсмической устойчивости грунтовых дамб при разно частотных записях согласно разработанной рекомендации.
- использовать для оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб деформационные критерии сейсмостойкости.

Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости индивидуального подхода к каждому гидротехническому объекту.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Чукин Р.Б. Разжижение грунтов при сейсмическом воздействии. // Современные проблемы механики сплошных сред №18, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2013. – С. 222-237.
2. Чукин Р.Б. Сейсмическая устойчивость дамб хвостохранилищ возводимых по методу верхнего бьефа. / Чукин Б.А., Ким Э.А. // Современные проблемы механики сплошных сред №19, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2014. – С. 88-98.
3. Чукин Р.Б. Подготовка расчетных акселерограмм для моделирования сейсмических воздействий на грунтовые плотины в программе FLAC. // Современные проблемы механики сплошных сред №19, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2014. – С. 191-203.
4. Чукин Р.Б. Численное моделирование прохождения поперечной сейсмической волны через грунтовое слоистое основание. // Наука и новые технологии №1, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2014. – С. 6-9.
5. Чукин Р.Б. Обоснование наращивания дамбы хвостохранилища с учетом разжижения хвостов при сейсмическом воздействии. / Кожогулов К.Ч. // Современные проблемы механики сплошных сред №20, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2014. – С. 84-104.
6. Чукин Р.Б. Особенности динамической неустойчивости грунтов и скальных пород и их учет при выборе расчетной акселерограммы. //

- Современные проблемы механики сплошных сред №20, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2014. – С. 185-204.
7. Чукин Р.Б. Современные подходы к оценке сейсмической устойчивости грунтовых дамб хвостохранилищ. // Известия Вузов №1, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2015. – С. 40-44.
 8. Чукин Р.Б. Оценка статической и сейсмической устойчивости грунтовой дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор. / Кожогулов К.Ч. // Горный журнал Казахстана, г. Алматы, Научно-технический и производственный журнал. №4, 2015. – С. 14-18.
 9. Чукин Р.Б. Static and seismic stability analysis of Kumtor's tailings dam (Анализ статической и сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища Кумтор). // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова №1 (34), 2015. – С. 77-84.
 10. Чукин Р.Б. Исследование процесса прохождения поперечной сейсмической волны через грунтовое слоистое основание. // Международный научно-исследовательский журнал, г. Екатеринбург. №4 (46) Часть 6, 2016. – С. 115-124.
 11. Чукин Р.Б. Оценка влияния местных грунтовых условий на сейсмическую устойчивость дамбы хвостохранилища ЗИФ рудника Кумтор. // Гидротехническое строительство, г. Москва. №6, 2016. – С. 53-59.
 12. Чукин Р.Б. Применение численного моделирования для обоснования расчетной сейсмичности площадки строительства и оценки сейсмической устойчивости грунтовых дамб. / Джаманбаев М.Дж. // Известия КГТУ им. И. Раззакова №1 (45), 2018. – С. 319-324.
 13. Чукин Р.Б. Разжижение хвостов при сейсмическом воздействии. / Джаманбаев М.Дж. // Наука и новые технологии №5, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 2018. – С. 21-25.

01.02.04 – майышуучу катуу нерсенин механикасы, 25.00.20 – геомеханика, тоо тектерин жардыруу менен бузуу, кендик аэрогазодинамика жана тоо жылуулук физикасы адистиктери боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн Чукин Руслан Бектуровичтин «Сандык үлгүлөөнүн негизинде Кумтөр кениндеги туюккап дамбасынын сейсмикалык туруктуулугуна бир тектүү эмес негиздин тийгизген таасирин баалоо» темасындагы диссертациясынын

КЫСКАЧА КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: акселерограмма, жыштык, импульс, горизонталдык жылуулардын ылдамдыгы, термелүү, сандык үлгүлөө, динамикалык жүктөм, сейсмикалык эффект, катмардуу жер негизи, толкундардын чагылышуусу, жер туюккап дамбасы, жылуунун пластикалык майышуусу, туруктуулук.

Изилдөө объектиси болуп катмардуу жер негизи аркылуу сейсмикалык толкундардын өтүү процесси эсептелет.

Изилдөө предмети болуп сандык үлгүлөөнүн жардамы менен бир тектүү эмес катмардуу жер негизи аркылуу жогорку ылдамдануу, жыштык жана термелүүлөрдүн узактыгы сыяктуу сейсмикалык толкундардын өтүүсүндө сейсмикалык толкундардын негизги мүнөздөмөлөрүнүн өзгөрүүсүн изилдөө.

Диссертациянын максаты: сейсмикалык активдүү аймактардагы катмардуу негиздерге курулган туюккап дамбаларынын сейсмикалык туруктуулугуна жергиликтүү жер шарттарынын тийгизген таасирин аныктоо.

Изилдөө ыкмасы: диссертациялык иште философиялык, теориялык, атайын (сандык үлгүлөө, тажрыйба жүргүзүүнү пландоонун матрицасы, көп фактордуу анализ) ыкмалар колдонулду, диссертациялык иште изилдөө ыкмаларынын арасында өзгөчө маанилүү болуп тажрыйба жүргүзүү эсептелет.

Изилдөөнүн илимий жактан жаңычылдыгы: сандык үлгүлөөнүн негизинде сейсмикалык толкундун өтүүсүнөн улам негиз кыртышынын термелүү мүнөзүнүн өзгөрүүсүнө жергиликтүү жер шарттарынын тийгизген таасирин изилдөөдө жаңы ыкма, мамиле иштелип чыкты.

Колдонуу жааты: илимий жоболор, алынган жыйынтыктар жана иштелип чыккан методикалар практикалык жана теориялык мааниге ээ, жалпы теориялык жана практикалык инженерия деңгээлинде илимдин бул жаатындагы кийинки изилдөөлөрдү жүргүзүүгө пайдасын тийгизет, алынган жыйынтыктарды, бүтүмдөрдү жана сунуштарды нормативдик документацияда жана долбоордук ишмердүүлүктө колдонууга болот.

РЕЗЮМЕ

Диссертации Чукина Руслана Бектуровича на тему: «Оценка влияния неоднородного основания на сейсмическую устойчивость дамбы хвостохранилища рудника Кумтор на основе численного моделирования» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, 25.00.20 – геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Ключевые слова: акселерограмма, частота, импульс, скорость горизонтальных смещений, колебание, численное моделирование, динамическая нагрузка, сейсмический эффект, слоистое грунтовое основание, отражение волн, грунтовая дамба хвостохранилища, пластическая деформация сдвига, устойчивость.

Объектом исследования диссертации является процесс прохождения сейсмической волны через слоистое грунтовое основание.

Предметом исследования является изучение изменения основных характеристик сейсмической волны, таких как пиковое ускорение, частота и продолжительность колебаний при ее прохождении через неоднородное слоистое грунтовое основание с помощью численного моделирования.

Целью диссертации является установление влияния местных грунтовых условий на сейсмическую устойчивость дамб хвостохранилищ, возведенных на слоистом основании в сейсмоактивных зонах.

Методы исследования: в диссертационной работе использовались философские, общенаучные, теоретические, специальные (численное моделирование, матрица планирования эксперимента, многофакторный анализ), особое значение среди методов исследования в диссертационной работе имеет эксперимент.

Научная новизна исследования: разработан новый подход исследования влияния местных грунтовых условий на изменение характера колебаний поверхности основания от прохождения сейсмической волны на основе численного моделирования; выявлен «эффект ловушки» увеличивающий время сейсмического воздействия и изменяющий частоту колебаний; разработана методика проведения многофакторного анализа, для оценки особенностей геологического строения основания на сейсмический эффект; разработана методика проведения численного анализа сейсмической устойчивости грунтовых дамб хвостохранилищ, на основе учета инженерно-геологической информации и подбора разночастотных акселерограмм.

Область применения: научные положения, полученные результаты и разработанные методики имеют практическое и теоретическое значение, и могут служить для дальнейших исследований в данной области науки на общетеоретическом и практическом инженерном уровнях, сформулированные выводы и предложения могут быть использованы в нормативной документации и проектной деятельности.

SUMMARY

Dissertation of Chukin Ruslan Bekturovich on the topic: “Assessment of influence of a heterogeneous foundation on the seismic stability of the Kumtor mine tailings dam based on numerical modelling” for the degree of candidate of technical sciences in specialties 01.02.04 – mechanics of deformable solid material, 25.00.20 – geomechanics, destruction of rocks by explosion, mining aerogas dynamics and rocks thermophysics

Key words: accelerogram, frequency, impulse, horizontal displacement velocity, motion, numerical simulation, dynamic loading, seismic effect, layered soil foundation, wave reflection, embankment tailings dam, plastic shear strain, stability.

The object of the research is the process of seismic wave propagation through a layered soil foundation.

The subject of the research is the study of changes in the basic characteristics of a seismic wave, such as peak acceleration, frequency and duration of motion as it passes through a no uniform layered soil foundation using numerical simulations.

The goal of the research is to establish the influence of local soil conditions on the seismic stability of tailings dams built on a layered foundation in seismic active zones.

Research methods: in the research philosophical, general scientific, theoretical, special (numerical modelling, experiment planning matrix, multifactor analysis) were used, experiment has particular importance among the research methods in the dissertation.

Scientific novelty of the research: a new approach has been developed to study the influence of local soil conditions on the changing of character of ground surface motion due to the propagation of seismic wave based on numerical modelling; revealed a “trap effect” that increase the seismic impact duration and changes the motion frequency; a method for conducting multivariate analysis has been developed to assess the characteristics of the geological structure of the foundation on the seismic effect; a technique has been developed to conduct a numerical analysis of the seismic stability of embankment tailings dams, based on engineering geological data and the selection of accelerograms with different frequencies.

Scope: scientific statements, the obtained results and the developed methodologies have practical and theoretical significance, and can serve for further research in this field of science at the general theoretical and practical engineering levels, and the formulated conclusions and suggestions can be used in regulatory documentation and project and design activities.