

На правах рукописи

Аль Фатин Хасан Джамил Ибрахим



**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ
ПЛОТИН С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
И ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА**

Специальность 25.00.32 - Геодезия

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель -
доктор технических наук, доцент

Мустафин Мурат Газизович

Официальные оппоненты:

Столбов Юрий Викторович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», кафедра геодезии и дистанционного зондирования, профессор;

Афонин Дмитрий Андреевич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Инженерная геодезия», доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 26 мая 2022 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.08 Горного университета по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 25 марта 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КУЗИН
Антон Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В соответствии с градостроительным кодексом Российской Федерации, большинство плотин представляют собой особо опасные и технически сложные объекты. Такое классифицирование вызвано тяжелейшими последствиями аварий, в особенности на водоподпорных гидротехнических сооружениях. Количество аварий, произошедших в мире, постоянно увеличивается. В этой связи, чрезвычайно актуальной является задача совершенствования методик оценки и прогноза деформаций плотин.

В нормативно-методических документах по мониторингу состояния плотин указывается необходимость таких измерений как давление на плотину и оценка деформаций плотины. Вместе с тем, регламента совместного учета этих факторов не приводится. При этом геодезические наблюдения не увязываются с уровнем воды водохранилища. В геодезических методиках наблюдений акцент делается на точности наблюдений, но не менее важен учет уровня воды водохранилища, который характеризует опасность возникновения критических деформаций и учет деформированного состояния плотины, распределение которого определяет расположение деформационных марок.

Таким образом, тема диссертации, направленная на решение задач об организации геодезических наблюдений за деформациями плотин с учетом уровня воды в водохранилище и прогнозной оценки деформированного состояния плотины является актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Предпосылками к выполнению диссертационных исследований послужили разработки целого ряда специалистов. Был накоплен большой практический опыт и подготовлена теоретическая база для определения деформации с использованием геодезических наблюдений и методов. Многочисленные исследования известных российских и зарубежных ученых, а также инженеров, посвящены разработке методов контроля и прогнозирования деформаций геодезическими способами. Следует отметить таких ученых, как Al-Ansari N., Adamo N.,

Sissakian V., Knutsson S., Laue J., Скрипников В.А., Бугакова Т.Ю., Басаргин А.А., Каленицкий А.И., Ваурак Т., Мустафин М.Г., Грищенко Е.Н., Юнес Ж.А., Хиллер Б., Ямбаев Х.К, Мазуров Б.Т., Erol S., Erol B., Ayan T.A, Ali A., Mohamed E.S., Belal A., Levin E., Salih S.A., Al-Tarif A.S.M., Soyacan A., Soyacan M., Кобелева Н.Н., Хорошилов В.С. В работах данных авторов отмечается важность расчета точности оценки деформации плотины, а также точности самих наблюдений. Однако, вопросы влияния уровня воды водохранилища на величину деформации плотины и оптимизация распределения деформационных марок (интервал), соразмерно распределению деформациям, а также модифицирования существующих способов оценки стабильности (устойчивости) исходных пунктов деформационной сети, изучены недостаточно. В связи с этим, диссертация, посвященная решению задач разработки и организации геодезического мониторинга гидротехнических водоподпорных сооружений (плотин), представляется актуальной. Настоящая работа приурочена к конкретному примеру – плотина «Дукан», расположенная в Ираке. Выводы и практические рекомендации будут полезны и для России.

Цель исследований. Повышение точности оценки деформированного состояния плотин за счет разработки методики геодезических наблюдений, учитывающей уровень воды водохранилища и расчетное распределение деформаций в плотине.

Идея работы состоит в выявлении на основе анализа, фактических данных и расчетов деформирования плотины, а также численной зависимости между ними и уровнем воды водохранилища, по которой возможна разработка порядка геодезических наблюдений, а по результатам предварительного моделирования деформации плотины с применением метода конечных элементов, характера их распределения в плотине, для оптимального размещения деформационных марок.

Задачи исследования:

1. Провести анализ состояния изученности вопроса о геодезическом мониторинге состояния плотин для обоснования методики исследования.

2. Изучить влияние уровня воды водохранилища на деформацию плотины для определения лучшего порядка проведения геодезических наблюдений.

3. Выполнить моделирование деформированного состояния плотины и определить характер распределения деформаций для проектирования расположения деформационных марок.

4. Разработать методику геодезических наблюдений и конкретизировать ее для условий плотины «Дукан» в Ираке.

Методология и методы исследования:

- Анализ и обобщение результатов теоретических и практических исследований при обосновании актуальности темы работы и решаемых задач;

- Полевые исследования, включая экспериментальные геодезические измерения;

- Методы математической статистики и теории вероятностей, включая метод наименьших квадратов при обработке измеряемых необработанных данных;

- Математическое моделирование геодезических сетей мониторинга и напряженно-деформированного состояния плотин.

Научная новизна исследований:

1. Разработан алгоритм и численно установлена связь между уровнем воды водохранилища и величиной деформаций в плотине, позволившей уточнить порядок проведения геодезических наблюдений соразмерно основному фактору опасности.

2. Разработана конечная элементная модель плотины и по результатам моделирования получено распределение деформаций, что позволило уточнить расположение деформационных марок в соответствии с расчетными концентрациями смещений.

3. Разработана методика геодезических наблюдений, включающая способ оценки стабильности пространственного положения исходных пунктов, а также двухступенчатую схему определения координат деформационных марок, размещенных с нерегулярным интервалом, для условий плотины «Дукан» в Ираке.

Положения, выносимые на защиту:

1. Периодичность геодезических наблюдений за деформациями плотины следует связывать с уровнем воды водохранилища, который характеризует степень опасности напряженного состояния и выделять при этом три режима наблюдений по уровням верхнего бьефа: опасный (выше среднего), предупредительный (интервал средних уровней) и неопасный (от нижней отметки интервала среднего уровня).

2. Деформационные марки на поверхности плотины необходимо располагать соответственно прогнозным концентрациям деформаций, которые определяются на основе предварительного расчета смещений по разработанной программе, использующей алгоритм метода конечных элементов.

3. Точность прогнозирования деформационного процесса плотин повышается при использовании разработанной методики проведения геодезических наблюдений за смещениями, включающей заложение деформационных марок в местах их априорных концентраций и периодичности замеров с частотой, соразмерной уровню воды в водохранилище, а также с применением модифицированного способа оценки стабильности исходных пунктов.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований состоит в разработанной методике геодезического мониторинга плотин, учитывающей уровень воды водохранилища и распределение деформаций в плотине. Практический интерес представляет алгоритм определения стабильности исходных пунктов. Разработанную методику целесообразно использовать в проектных организациях и предприятиях геодезического профиля в России и Ираке, а также учебном процессе при проведении лекционных и практических занятий.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается использованием большого объема фактических измерений по разработанной технологии наблюдений, обоснованностью теоретических расчетов, согласованностью результатов с альтернативными исследованиями, применением сертифицированного обо-

рудования, приборов и программного обеспечения, а также контрольными замерами независимых экспертов.

Личный вклад автора:

1. Автор диссертации участвовал в постановке задач исследований, определил на основе изучения результатов геодезических наблюдений зависимость деформации плотины «Дукан» в Ираке от уровня воды водохранилища.

2. Провел проектирование деформационной сети, разработал компьютерную программу «Плотина» и выполнил моделирование деформированного состояния плотины.

3. Разработал схему размещения деформационных марок в зависимости от ожидаемых величин смещений, выполнил модификацию способа оценки стабильности исходных пунктов деформационной сети.

Апробация диссертационной работы проведена на следующих научно-практических мероприятиях:

1. Международная научно-техническая конференция «Geodetic deformation monitoring in the dam-reservoir system» (г. Кисловодск, 2019 г.).

2. Международный форум «Геострой-2020: Методика геодезического контроля водоподпорных плотин с учетом объема воды водохранилища» (г. Новосибирск, 2020 г.).

3. Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы инженерной геодезии» (г. Санкт-Петербург, ПГУПС, 2019 г.).

4. XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, Горный университет, 2021 г.).

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 6 опубликованных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и

системы цитирования Scopus и Web of Science. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы, включающего 145 наименований. Диссертация изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунков, 14 таблиц и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены основные показатели диссертации.

В первой главе приведено состояние изученности вопроса о мониторинге деформаций водоподпорных гидротехнических сооружений, описаны стандарты и нормативные документы, действующие в Ираке и в России, а также современные методы измерений при деформационном мониторинге. Обоснована тема диссертации и задачи исследований, направленных на совершенствование мониторинга состояния плотин.

Во второй главе. проанализированы фактические данные о деформациях плотины Дукан в Ираке, в наблюдении за которыми принимал участие и автор диссертационной работы. Проведены также расчеты деформаций с использованием специально разработанного программного комплекса (ПК) «Плотина». В результате численно определена зависимость между уровнем воды водохранилища и величиной деформации плотины.

Третья глава На основе ПК «Плотина» выполнено моделирование деформированного состояния плотины, что позволило определить характер распределения деформаций и рационально запроектировать расположение деформационных марок для плотины Духан в Ираке. Разработана методика геодезических наблюдений, включающая оценку точности деформационной сети и стабильности исходных пунктов.

В четвёртой главе приведена разработанная методика и общая схема проведения геодезического мониторинга плотин. Приве-

дена практическая адаптация разработанной методики на объектах России (Чиркейская ГЭС) и Ирака (плотина Дукан).

В заключении представлены основные результаты исследований.

Результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Периодичность геодезических наблюдений за деформациями плотины следует увязывать с уровнем воды водохранилища, который характеризует степень опасности напряженного состояния, и выделять при этом три режима наблюдений по уровням верхнего бьефа: опасный, уровень выше среднего, предупредительный (интервал средних уровней) и неопасный (от нижней отметки интервала среднего уровня).

Фактические данные о наблюдениях за деформациями плотин показывают, что прослеживается связь между уровнем воды в водохранилище и деформациями плотины. Вместе с тем геодезические наблюдения, как правило, не увязывают с уровнем воды. При этом использование интервала наблюдений, рекомендованного в нормативном документе (ГОСТ Р 22.1.11-2002) 2 раза в год, может привести к упущению начала негативного процесса деформирования.

В качестве примера выбран важный для Ирака объект: плотина Дукан (рисунок 1). Ее высота 116 м, отметка верхней части 516 м (система высот от уровня Персидского залива). Максимальные поднятия водохранилища составляют 511 м (на этом уровне установлено сливное устройство в водохранилище).

Геодезическая деформационная сеть представлена 8 исходными пунктами (А, В, LR1, L1, LR2, L2, LR3, L3) и 12 деформационными марками, расположенными на верхней площадке плотины и распределены на равных расстояниях около 20 м. Наблюдения деформационных марок (1-12) выполнялись с исходных точек (в основном с А, В, рис 1) тахеометром Topcon GPT 7501 (паспортная точность измерения (СКП) расстояния 2+2 ppm, углов 0,5 сек.)

В результате многолетних наблюдений построен график смещений деформационных марок (рисунок 2). На графике показаны уровни воды водохранилища по годам и значения измеренных де-

формаций (смещения средней части плотины). Как следует из графика, средний уровень воды составил 492,3 м. По графику видно, что деформаций по оси Y, ориентированные примерно перпендикулярно плотине, согласуются с уровнем воды в водохранилище (выше уровень - больше деформация).

Как видно по фактическим данным прослеживается влияние уровня воды водохранилища на деформации плотины. Представленные данные получены на конкретном, но одном объекте. Различные факторы могли влиять на деформационный процесс и возможно исказить полученный результат. Для подтверждения выявленной зависимости и численного его обобщения выполнено моделирование деформированного состояния плотины. Автором разработан программный комплекс «Плотина» (получено авторское свидетельство) реализующий метод конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) плотины (рисунок 3).

Для подготовки данных и моделировании напряженно-деформированного состояния в ПК «Плотина» с использованием ГИС-технологии построена 3D модель системы «водохранилище-плотина» (Дукан, рисунок 4). Основой модели послужила карта масштаба 1: 20 000 с высотой сечения рельефа 5 м. Обоснование использования указанного масштаба выполнено путем моделирования объемов водохранилища по картам масштабов 1 : 1000 – 100 000 с использованием ГИС (GIS10.4/ArcMap/3D Analyst tool). Моделирование показало, что при использовании карт масштаба 1: 20 000 отклонение от эталонного объема (1: 1000) не превышает 10%, что приемлемо для моделирования НДС плотины.

Использование цифровой модели позволяет с одной стороны оперативно определять объемы воды по текущему уровню водохранилища, и с другой – использовать модель для расчета ее деформированного состояния. Моделированием решается важная задача: определение характера распределения деформаций, который позволит эффективно проектировать деформационные марки в теле плотины.

На основе 3D модели плотины построена упрощенная ее модель в ПК «ПЛОТИНА» (рисунок 5). Приняты следующие данные

плотины и массива горных пород: модуль упругости плотины $E_{пл} = 40$ ГПа, $E_m = 10$ ГПа, объемный вес $2,5$ т/м³. Угол внутреннего трения принят для всех элементов равным $0,3$. Пространство за плотинной моделировалось как пустота (элементы были удалены). Размеры модели $800, 480, 200$ м (длина, ширина, высота). На границах модели, кроме верхней, где допущены свободные перемещения, приняты условия их неподвижности. Конечно-элементная модель состояла из 400 тыс. тетраэдров. Моделировался разный уровень воды: $80, 90$ и 100 м (отметка $490, 500$ и 510 м).

В результате многовариантного моделирования получено распределение горизонтальных смещений (в направлении лево-право) в плотине (рис. 5, б – случай отметки 500 м). Видно, что смещения увеличиваются от заделки плотины в массив к центру арки. Максимальные смещения составили $0,87$ мм. При моделировании отметок 490 и 510 м смещения составили $0,79$ и $0,95$ мм соответственно. Эти результаты подтверждают зависимость смещений от уровня воды в водохранилище.

Результаты проведенных исследований позволили разработать порядок наблюдений за деформациями. Выделены три уровня воды в водохранилище: неопасный, предупредительный и опасный (таблица 1).

Таблица 1 – Порядок выполнения мониторинговых геодезических наблюдений

Уровень воды	Степень опасности	частота наблюдений
>500 м	опасный	В зависимости от деформаций, не менее 1 раза в квартал
(484 - 500) м	предупредительный	2 раза в год (нормативный)
< 484 м	неопасный	1 раз в год

При этом частота наблюдений в предупредительный период должна соответствовать нормативным рекомендациям (2 раза в год), а в опасный период необходимо проведение наблюдений с интервалом не менее 1 раза в квартал и в зависимости от полученных результатов и согласования с геотехническими службами интервал наблюде-

ний может быть учтен. Ранжирование уровней выполнено с использованием фактических данных, по которым определили среднеквадратические отклонения 8,5 м от среднего уровня (492,3 м) которые с коэффициентом надежности 2 определили средний (предупредительный) уровень интервал (484 -500) м.

2. Деформационные марки на поверхности плотины необходимо располагать соответственно прогнозируемым концентрациям деформаций, которые определяются на основе предварительного расчета смещений по разработанной программе, использующей алгоритм метода конечных элементов.

На основе представленной выше конечно-элементной модели в ПК «ПЛОТИНА» помимо моделирования уровней воды, было определено распределение деформаций в плотине. Схематично смещения, вызванные нормально действующими на плотину силами, распределяются как показано на рисунок 6. Наименьшие значения наблюдаются у заделки (прибрежных зонах), а максимальные в средней части плотины.

Кроме того, смоделированы варианты модели с разной прочностью материала плотины. Это сделано для подтверждения и визуализации зон, где концентрируются деформации и возможны разрушения. Подбиралась прочность материала плотины, при которой от возникающих напряжений материал не выдерживает этих усилий и разрушается. Картина возможных зон разрушений показана на рис. 5, а. Красным цветом обозначены зоны разрушений от сжимающих усилий. Они приурочены к заделке.

Синим цветом обозначены зоны возможных разрушений от растяжения материала. Эти исследования, как и оценка распределения деформаций в теле плотины показали, что деформации в плотине концентрируются в срединных областях плотины. Модельные расчеты распределения смещения плотины сопоставлены с фактическими данными о смещениях. На рис. 6, в представлен график смещения по всем маркам за период с 2005 по 2010 гг. Можно увидеть, что в средней части плотины наблюдается максимум смещений.

Таким образом, модельные выкладки и фактические наблюдения позволяют распределить деформационные марки на плотине Дукан в зависимости от ожидаемых величин смещений.

На рисунок 7 выделены зоны, в которых интервал между деформационными марками отличается. Так, в красной зоне следует принять интервал, меньший, чем в оранжевой и тем более зеленой зоне. При организации наблюдений за смещениями обычно принимают интервал, равный 20 м. В нашем случае в красной зоне интервал между марками рекомендуется принять равным 15 м, а у заделки плотины (зеленая зона) 25 м. В оранжевой зоне интервал традиционный, равный 20 м.

3. Точность прогнозирования деформационного процесса плотин повышается при использовании разработанной методики проведения геодезических наблюдений за смещениями, включающей, заложение деформационных марок в местах их априорных концентраций, периодичность замеров с частотой, соразмерной уровню воды в водохранилище, а также с применение модифицированного способа оценки стабильности исходных пунктов.

Укрупнено схема геодезического мониторинга с учетом первых научных положений может быть представлена в виде (рисунок 8). Зеленым цветом выделены разработанные автором блоки.

Построение деформационной сети связано с проектированием и предрасчетом точности положения пунктов. Эта процедура закреплена в нормативных документах.

В нашем случае выполнено моделирование по методу МНК. В диссертации выполнено моделирование точности определения координат деформационных марок по линейным измерениям от одной до четырех станций измерений на 5 целей (марок). На рисунок 9 приведена одна из схем. Моделировались также схемы для разных углов наблюдений и расстояний. При этом использовался фундаментальный принцип соотношения между координатами точек (пунктов сети) и длинами линий.

В среде AutoCAD строилась схема деформационной сети (рисунок 9). Вектор измеренных расстояний моделировался с использо-

ванием паспортной точности (СКП) измерения расстояний. Точки А, В, С, D (рисунок 9) при моделировании располагались и на разных расстояниях от деформационных марок (100, 300 и 500 м) и ориентировали под углами 90° , 45° , и 0° градусов относительно средней линии расположения деформационных марок (1-5, рисунок 9.). Понятно, что когда измерения выполнены с одного пункта, то измерения будут соответствовать паспортной точности измерений. Моделирование точности определения координат деформационных марок по рассмотренным схемам выполнялось с учетом разной СКП приборов. Использовались тахеометры с точностью измерения расстояний от $1\text{ мм} + 1\text{ ppm}$ до $5\text{ мм} + 3\text{ ppm}$.

На рисунок 10 показаны результаты моделирования. На оси ординат приведены средние квадратические погрешности (СКП) определения координат деформационных марок. На рис. 10, а на оси абсцисс размещены расстояния от тахеометрических станций (А, В, С – рис. 9) до фронта деформационных марок (100 м, 300 м и 500 м). Представленные зависимости позволяют ориентироваться при выборе средств измерений и расположения съёмочных станций.

Для обеспечения точности наблюдений на плотине Дукан, в соответствии со стандартом Ирака выбран тахеометр 7501 с СКП измерений 0,5 сек. (угловая) и $2\text{ мм} + 2\text{ ppm}$ (линейная). Деформационную сеть оставить в прежнем виде.

После проектирования сети определяется периодичность геодезических наблюдений (таблица 2). Далее определяются места заложения деформационных марок. Для плотины Дукан разработаны рекомендации (рисунок 7).

Чрезвычайно важным вопросом является анализ устойчивости исходных пунктов. В работе выполнена модификация известного способа Костехеля, заключающаяся в его обобщении на горизонтальные смещения. На плотине Дукан при анализе оценки смещений было обнаружено, что съёмочные точки сети (А, В) не обладали стабильностью (установлено их смещение по осям X и Y. (таблице 2, рисунок 11). В этой связи для плотины Дукан предлагается выполнять линейно-угловые измерения с каждого из пунктов: А, В, LR1, L1, LR2, L2, LR3 L3, с наведением на все соседние указанные пунк-

ты. Определяются координаты всех пунктов. Далее вычисляются все измеренные расстояния. При повторных измерениях (следующий цикл) вычисляются разности вычисленных длин $[v]$ и среднеквадратические отклонения $[vv]$. Пункт, измерения с которого получились минимальными ($\min \sum[vv]$) считается самым стабильным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи: разработки методики геодезических наблюдений, учитывающей уровень воды водохранилища и расчетное распределение деформаций в плотине, обеспечивающей повышение точности оценки ее деформированного состояния.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. В результате проведенных исследований, опирающихся на натурных данных о смещениях плотин и на результаты моделирования точности измерений, а также характера их смещений разработана методика геодезических наблюдений, позволяющая повышение точности оценки фактического деформированного состояния плотин.

2. При геодезическом мониторинге плотин необходимо учитывать уровень воды в водохранилище. Предлагается по результатам расчетов и фактических данных выделять уровни воды, которые определяют степень опасности конкретной плотины. Так, для плотины Дукан (Ирак) выделены 3 уровни воды. Выделен средний интервал, при котором выполняется нормативный порядок измерений (один раз в квартал). Уровни воды выше среднего следует считать опасными и геодезический мониторинг надо проводить еженедельно или даже ежедневно в зависимости от деформирования плотины. Если уровень воды ниже среднего интервала ситуация может считаться неопасной и геодезические наблюдения проводятся один раз в год.

3. Разработана программа «ПЛОТИНА» и проведено моделирование деформаций в плотине, по результатам которого выделяется зона (ы) наибольшей деформации, что позволяет проектировать сеть деформационных марок в теле плотины. В зоне наибольших смеще-

ний (красная зона) интервал между деформационными марками учащается, в оранжевой зоне (средней) интервал традиционный и в зеленой зоне, где степень смещения меньше – интервал больше среднего. Методика дифференцированного интервала реализована для плотины Дукан. Приняты следующие интервалы между деформационными марками: 15, 20 и 25 м.

4. Разработана методика геодезического мониторинга плотин, предусматривающая заложение деформационных марок в местах их априорных концентраций, периодичность замеров с частотой, соразмерной уровню воды в водохранилище, а также с применением модифицированного способа оценки стабильности исходных пунктов.

5. В работе выполнена модификация известного способа Костехеля, заключающаяся в его обобщении на горизонтальные смещения и вовлечении в расчетную схему исходных пунктов и съемочных точек деформационной сети.

6. Разработанная методика геодезического мониторинга адаптирована для практического ее применения на плотине Дукан.

7. Перспективы дальнейших исследований видятся в использовании спутниковых определений координат деформационных марок и их уточнении путем специальных тахеометрических измерений.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Мустафин, М.Г. методика оценки деформаций водоподпорных плотин/ **Х. Д. Аль Фатин**, Х.М. Хатум, М.Г. Мустафин // Вестник СГУГиТ. – Новосибирск. – 2021. – Том 26 –№ 1–DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1- С.45-56.

2. Мустафин, М.Г. Некоторые особенности мониторинга деформационных процессов на горно-гидротехнических объектах / М.Г. Мустафин, Х.Д. Аль Фатин, Х.М. Хатум // Маркшейдерский вестник. – Москва. – 2020. – № 6 (139). – С.51-60.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. **Аль Фатин, Х.Д.** Геодезический мониторинг деформаций в системе плотина-водохранилище / Х.Д. Аль Фатин, М. Г. Мустафин, Х. С. Исмаэль // Серия конференций IOP: Материаловедение и техника, 2019, том 698, № 4, с. 44012.

4. Демидова, П. 3D-моделирование при решении кадастрово-геодезических задач / П. Демидова, О. Колесник, **Х. Аль-Фатин** // E3S Web of Conferences 164, 07014 (2020) TRASCЕE-2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016407014>.

5. **Аль Фатин, Х.Д.** Влияние атмосферных условий и геометрии сети на результаты геодезических наблюдений / Х.Д. Аль Фатин, Х.М. Хатум, Х.М. Шокер, О.А. Колесник // Известия ТулГУ. Науки о Земле // Тульский государственный университет – Москва. – 2021. – Вып.2 (469). – С.3-20.

Публикации в прочих изданиях:

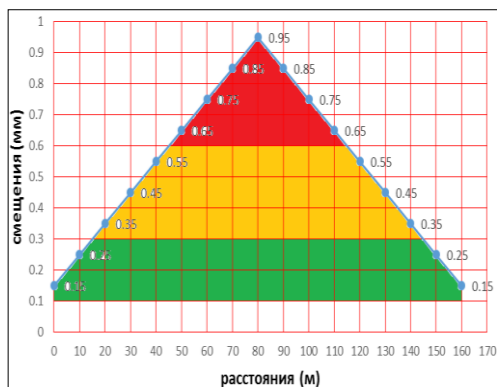
6. **Аль Фатин, Х.Д.** Геодезический мониторинг деформаций водоподпорных гидротехнических сооружений с учетом оценки уровня воды водохранилища / Х.Д. Аль Фатин, М.Г. Мустафин, Х.С. Исмаэль // Естественные и технические науки. – Москва. – 2019. – №4 (130). – С.122-125.

Свидетельство:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667291 Российская Федерация. Программа «ПЛОТИНА» для расчета напряженно-деформированного состояния плотины / **Аль Фатин Хасан Джамил**, Мустафин Мурат Газизович // – № 2020665930; заявл. 04.12.2020; зарегистр. 22.12.2020.



Рисунок 1 – Общий вид плотины Ду-
кан
а



б



Рисунок 6 – Графики распределения
смещения в плотине: модель (а), фак-
тические данные наблюдений по годам
(б)

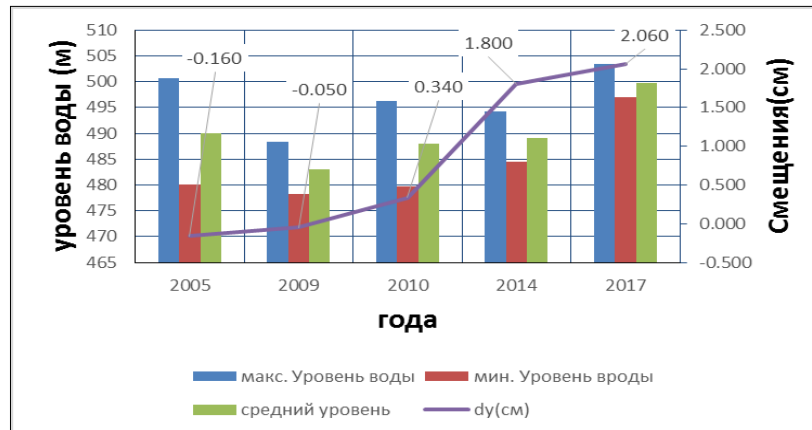


Рисунок 2 – Графики деформаций (смещений) и уровня воды по
годам плотины Дукан (Ирак)
а) б)

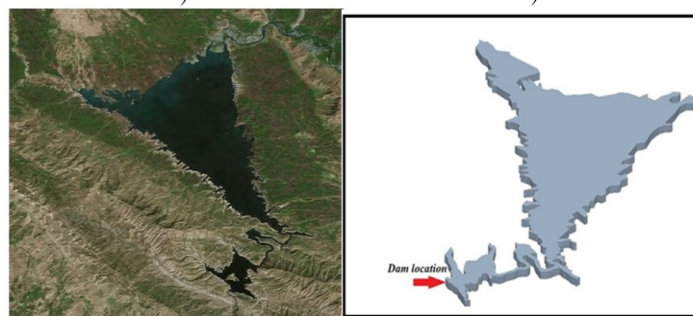


Рисунок 4 – Космоснимок водохранилища Ду-
кан (а) и
3D модель (б)

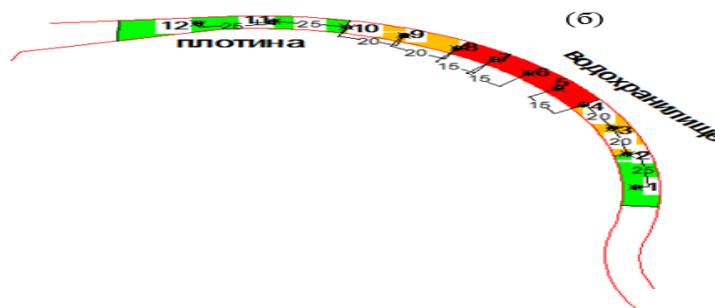
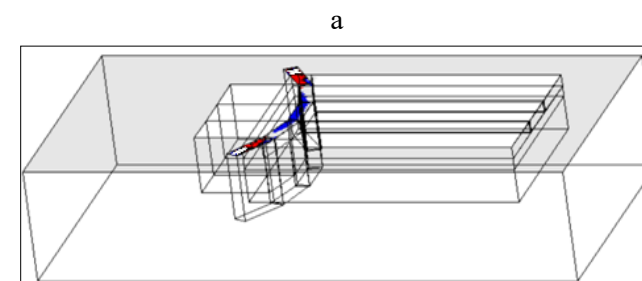


Рисунок 7 – Предлагаемая схема расположения деформаци-
онных марок (неравномерное) в теле плотины



Рисунок 3 – Титульный лист ПК «Плотина»



б

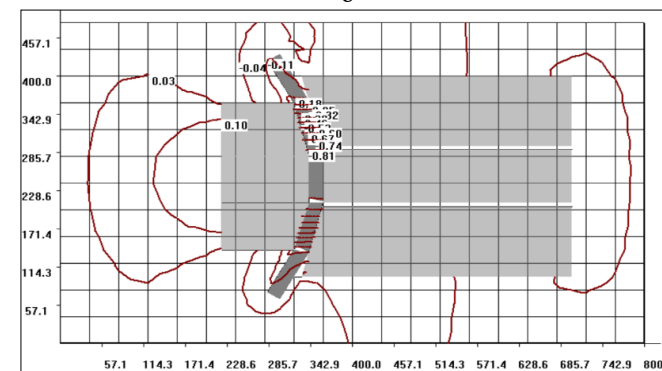


Рисунок 5 – Фрагмент ПК «Плотина»: модель с ви-
зуализацией потенциальных зон разрушений (синий
цвет – зона разрушений от растягивающих напря-
жений, красный от сжимающих, а), распределение
горизонтальных смещений в направлении лево-право
(б)



Рисунок 8 – Блок-схема геодезического мониторинга плотин

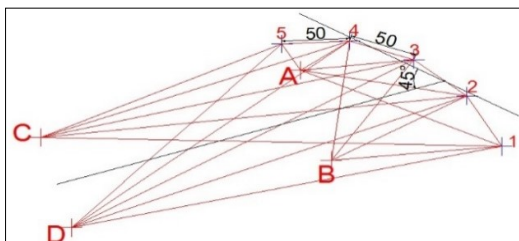
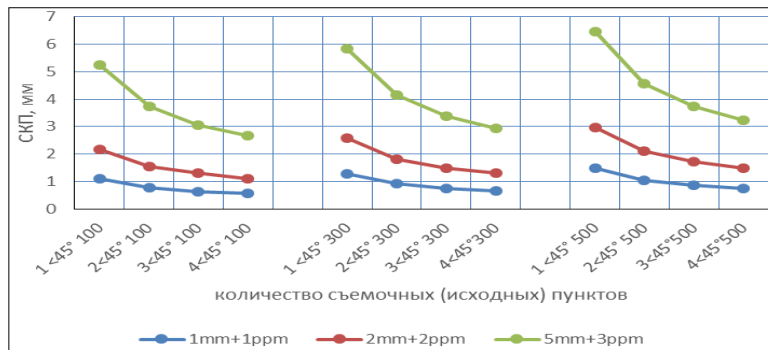
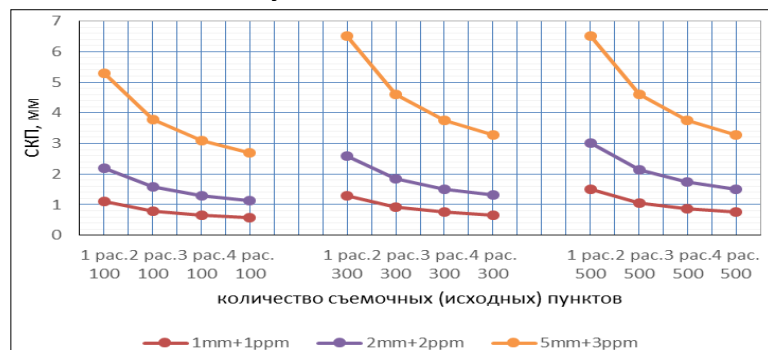


Рисунок 9 – Схема линейных измерений с четырьмя исходными (съёмочными) точками и пятью деформационными марками (углы измерений составляют, примерно 45°)

а: угол наблюдения 0°



б: угол наблюдения 45°



в: угол наблюдения 90°

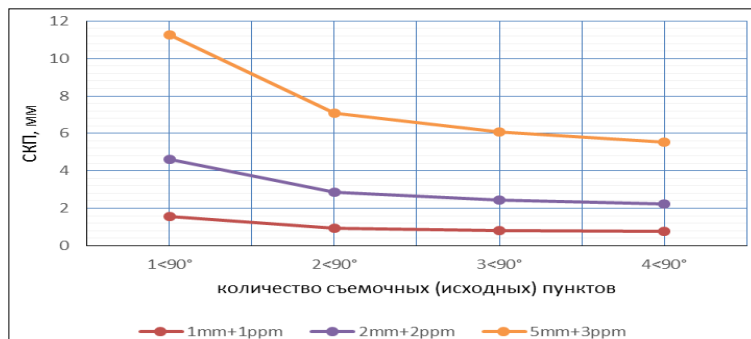


Рисунок 10 – Зависимости СКП положения деформационных марок в зависимости от количества и расположения съёмочных точек

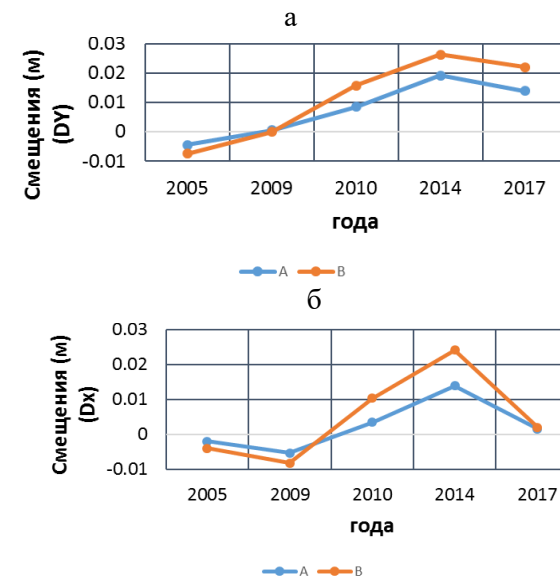


Рисунок 11 – Смещения точек А и В по оси Х (а), смещения точек А и В по оси Y (б)

Таблица 2 – Фактические данные наблюдения исходных точек (2005)

DOKAN DAM PROJECT JULY-2005							
NR.	Координаты (наблюдение 0)		Координаты (наблюдение 1)		разница		смещение
	X	Y	X	Y	DX	DY	DIS
L3	660624.6060	768260.1500	660624.6060	768260.1500	0.0000	0.0000	0.0000
LR3	660468.4365	768167.3620	660468.4365	768167.3620	0.0000	0.0000	0.0000
L2	660448.6181	768433.4242	660448.6193	768433.4264	-0.0012	-0.0022	0.0025
LR2	660225.2639	768396.4778	660225.2622	768396.4776	0.0017	0.0002	0.0017
L1	660377.7344	768552.0048	660377.7364	768552.0069	-0.0020	-0.0021	0.0029
LR1	660239.1348	768619.3631	660239.1348	768619.3677	0.0000	-0.0046	0.0046
R1	660124.6110	768786.9292	660124.6138	768786.9364	-0.0028	-0.0072	0.0077
A	660229.2005	768732.9625	660229.2024	768732.9670	-0.0019	-0.0045	0.0049
B	660401.3950	768587.0651	660401.3970	768587.0681	-0.0020	-0.0030	0.0036