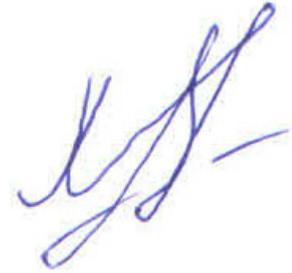


На правах рукописи

Ханнанов Рустем Рашитович



Разработка методики геодезического мониторинга
ограждающих дамб (на примере золоотвала ТОО «Главная распределительная
энергостанция Топар»)

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Шоломицкий Андрей Аркадьевич.

Официальные оппоненты:

Мустафин Мурат Газизович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», заведующий кафедрой инженерной геодезии;

Гура Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», исполняющий обязанности заведующего кафедрой кадастра и геоинженерии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (г. Санкт-Петербург).

Защита диссертации состоится 21 мая 2024 г. в 12-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/khannanov-rustem-rashitovich/>

Автореферат разослан 29 марта 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 12.03.2024. Формат 60 × 84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 19.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Гидротехнические сооружения являются важными инженерными сооружениями, поэтому аварии (прорывы плотин или ограждающих дамб хвостохранилищ) приводят к катастрофическим последствиям с нанесением ущерба предприятиям, сельскому хозяйству, дорожному, жилищно-коммунальному хозяйству и населению. Одним из таких примеров является крупнейшая авария, связанная с прорывом ограждающей дамбы хвостохранилища на железнорудной шахте в бразильском городе Брумадинью. Из-за повреждения дамбы хвостохранилища поток грязи объемом 12 миллионов кубометров обрушился на долину, сметая все на своем пути. Помимо смертей и разрушений, трагедия значительно ухудшила экологическую обстановку в регионе. Трагедию в Брумадинью называют самой страшной экологической катастрофой за всю историю Бразилии и самой масштабной в мире из связанных с обрушением дамб хвостохранилищ. Эта авария является примером, который показывает, что чрезвычайные ситуации такого характера и такого масштаба могут оказать глобальное катастрофическое влияние.

Также не стоит забывать о том, что и на территории постсоветского пространства происходили прорывы подобного характера, последствия которых были ужасающими: уничтоженные жилые и административные здания, размытые дороги, повреждённые линии связи и электропередачи, затопленные техника и транспорт. Но самое страшное и непоправимое – погибли люди. Примером этому являются прорыв дамбы на реке Сейба (Россия) 19 октября 2019 г., прорыв дамбы пруда-отстойника хвостохранилища в поселке Кокпекты (Казахстан) 31 марта 2014 г., прорыв дамбы Сардобинского водохранилища (Узбекистан) 1 мая 2017 г.

В связи с этим гидротехнические сооружения как объекты стратегической важности подвергаются периодическому (не реже одного раза в пять лет) комплексному мониторингу, в том числе геодезическому.

Проведение геодезических наблюдений в системе мониторинга безопасности ограждающих гидротехнических сооружений позволяет своевременно выявить возникшие деформации, оценить устойчивость дамб и разработать мероприятия для предотвращения аварийных ситуаций.

Сохранение эксплуатационной прочности ограждающих дамб и плотин при увеличении приемной способности существующих гидротехнических сооружений является актуальной проблемой для обеспечения безопасности прилегающих территорий.

Степень разработанности темы диссертационной работы определяется исследованием научных публикаций и трудов в области прикладной геодезии применительно к задачам геодезического мониторинга и наблюдения за смещениями и деформациями гидротехнических сооружений насыпного типа. В процессе работы над диссертацией использовались труды известных ученых в области прикладной геодезии: Бесимбаевой О. Г., Брыня М. Я., Гура Д. А., Карпика А. П., Комиссарова А. В., Мелкого В. А., Могильного С. Г., Мустафина М. Г., Пимшина Ю. И., Уставича Г. А., Устинова А. В., Хмыровой Е. Н., Хорошилова В. С., Чугаева Р. Р., Шоломицкого А. А., Шульца Р. В., Ямбаева Х. К., Centolanza G., Di Martire D., Iglesias R., Monells D., Sica S. и многих других.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка методики геодезического мониторинга состояния ограждающих гидротехнических сооружений с применением технологии наземного лазерного сканирования на примере золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар».

Основные задачи исследований:

– выполнить анализ существующих методов геодезического мониторинга гидротехнических сооружений и соответствующей научно-технической и нормативной документации;

– выполнить экспериментальное апробирование применения технологии лазерного сканирования дамбы золоотвала с подбором параметров фильтрации для

эффективного удаления растительности из точек лазерных отражений (ТЛО) и исследовать точность определения параметров этого инженерного сооружения;

– методом конечных элементов выполнить 3D-моделирование тела дамбы для определения коэффициента запаса устойчивости и определить меру влияния процессов фильтрации на напряженно-деформированное состояние данного инженерного сооружения;

– разработать структуру базы данных для хранения комплексной информации о результатах 3D-моделирования тела дамбы и параметрах ее деформированного состояния;

– выполнить апробацию разработанной методики на примере геодезического мониторинга насыпных дамб золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар».

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются насыпные дамбы и плотины шлакоотстойников.

Предмет исследования – методика геодезического мониторинга технического состояния насыпных гидротехнических сооружений с применением технологии наземного лазерного сканирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем.

1 Предложен алгоритм обработки результатов лазерного сканирования с определением параметров фильтрации методом молдинга для классификации растительности и ее удаления из точек лазерных отражений для выявления расположения деформированных участков и вычисления величин деформаций.

2 Предложено технологическое решение по выделению потенциально опасных участков в результате томографического исследования тела дамбы и конечно-элементного моделирования этих областей для определения критерия устойчивости.

3 Предложена структура базы данных для хранения комплексной информации о всех видах обследования и мониторинга дамбы, для комплексного использования при определении условий безопасного функционирования этого сооружения.

Теоретическая значимость. Предложено при обработке результатов лазерного сканирования использовать фильтрацию методом молдинга для удаления растительности из точек лазерных отражений для анализа поверхности тела дамбы с выделением областей деформаций и конечно-элементное моделирование для вычисления критерия устойчивости этого инженерного сооружения.

Практическая значимость. Разработанная методика обеспечивает возможность осуществлять геодезический мониторинг гидротехнических сооружений с определением критерия устойчивости и условий их безопасного функционирования.

Методология и методы исследования. Методологической базой исследования являются: теория математической обработки геодезических измерений, методы дискретной математики, методы статистического и сравнительного анализа, методы фильтрации пространственных данных, метод конечных элементов, геомеханические методы расчета устойчивости.

Положения, выносимые на защиту:

1 Предложенная технология лазерного сканирования и обработки с подбором параметров фильтрации методом молдинга для исключения растительности из точек лазерных отражений позволяет на поверхности дамбы выявить расположение деформированных участков с определением величин деформаций.

2 Разработанная методика геодезического мониторинга насыпных гидротехнических сооружений на базе технологии лазерного сканирования, включающая томографические исследования тела дамбы и конечно-элементное моделирование, позволяет определять напряженно-деформированное состояние данного гидротехнического сооружения.

3 Предложенная структура базы данных для хранения комплексной информации о всех видах обследования дамбы позволяет сделать заключение об устойчивости инженерного сооружения и условиях его безопасного функционирования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика диссертации соответствует следующим областям исследований: 10 – Дистанционный геодезический мониторинг состояния окружающей среды, в первую очередь, опасных процессов и явлений, способствующих возникновению стихийных бедствий и кризисных ситуаций, в том числе путем создания сетей непрерывных и повторных наземных, морских и спутниковых наблюдений; 12 – Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений, в том числе с применением робототехники. Геодезический мониторинг устойчивости зданий и сооружений. Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтегазодобывающих комплексов паспорта научной специальности 1.6.22. Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация полученных результатов. Апробация результатов исследований проходила на международных конференциях: Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2019, 2022 и 2023 гг., СГУГиТ, г. Новосибирск); Международном маркшейдерском форуме «Геопро странственная цифровая инженерия в геодезии, маркшейдерии и геомеханике» (2023 г., КарТУ им. А. Сагинова, г. Караганда), Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамика и напряженное состояние недр земли» (2023 г., ИГД СО РАН, г. Новосибирск).

Результаты исследования внедрены в производственный процесс ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар», ТОО «Оркен», АО «Качары руда».

Публикации по теме диссертации. Основные положения и результаты исследований отражены в 14 научных работах, 3 из которых опубликованы в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 121 страницу машинописного текста. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка литературы, включающего 99 наименований, содержит 4 таблицы, 51 рисунок, 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе диссертационной работы выполнен анализ существующих методов геодезического мониторинга насыпных сооружений, их достоинств и недостатков. Представленные данные о статистике аварийных событий, связанных с насыпными гидротехническими сооружениями в мире, свидетельствуют, что совершенствование методики геодезического мониторинга за состоянием дамб и плотин и обеспечение их безопасной эксплуатации является актуальной научно-технической задачей.

В общем комплексе мониторинговых мероприятий гидротехнических сооружений важная роль отводится геодезическим методам наблюдений.

В настоящее время на практике используются различные методы определения деформаций гидротехнических сооружений. Эти методики и технологии можно разделить на две группы: методы точечного геодезического мониторинга и методы площадного геодезического мониторинга. К методам точечного геодезического мониторинга относятся методы, основанные на использовании электронных тахеометров, нивелиров и спутниковых приемников. К методам площадного геодезического мониторинга относятся сканирующие системы, аэрофотосъемочные и мониторинговые системы, основанные на интерферометрии.

Общая идея рассмотренных технологических решений заключается в определении и контроле геометрических параметров сооружения. При этом каждый из указанных методов имеет свою специфику и область применения для конкретных условий наблюдений и требований точности.

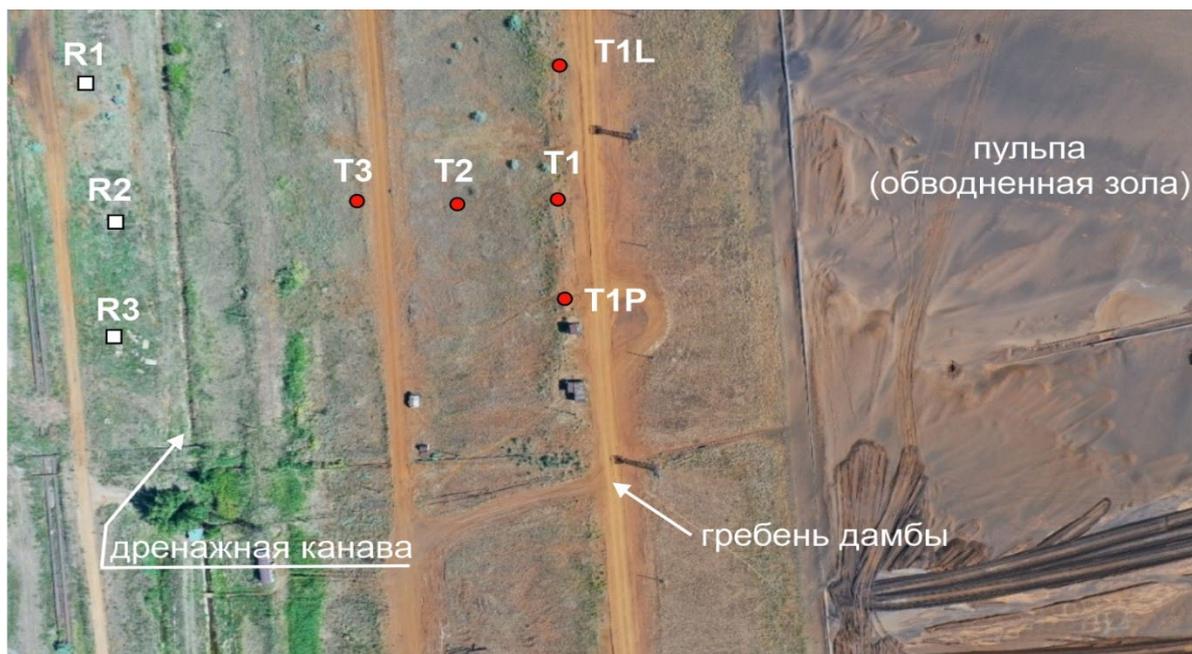
Во втором разделе представлены используемые методики геодезического мониторинга за состоянием насыпной дамбы № 1 золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» методом наземного лазерного сканирования. Исследован точечный метод мониторинга. Согласно проекту геодезического мониторинга ограждающих дамб золоотвала, наблюдательная станция состоит из опорных пунктов и рабочих реперов, число которых зависит от технических характеристик дамбы, состояния устойчивости основания дамбы, наличия воды у основания дамбы. Схема наблюдательной станции приведена на рисунке 1.

После закладки опорных пунктов и рабочих реперов наблюдательной станции выполняются привязка реперов и сканирование в местной системе координат, которое состоит из нескольких этапов:

- 1) определение координат центров специальных марок, которые устанавливаются и фиксируются на реперах наблюдательной станции;
- 2) выполнение привязки марок к местной системе координат электронным тахеометром;
- 3) круговое сканирование местности и объектов дамбы;
- 4) идентификация мест расположения специальных марок;
- 5) сканирование специальных марок с максимальным разрешением, что позволяет наиболее точно определить их координаты в системе координат скана;
- 6) ориентирование скана в местной системе координат.

При выполнении последующих циклов мониторинга выполняются только пункты 3–6.

Исследование точности точечного метода мониторинга по сканированным маркам наблюдательной станции выполнялось сравнением измерений, выполненных электронным тахеометром Leica MS50. Средние квадратические отклонения между координатами марок, определенными электронным тахеометром и сканером, не превышают 3,4 мм, что меньше нормативного допуска, установленного для контрольных точек земляных сооружений. Таким образом, установлено, что с использованием лазерного сканирования возможно определять точечные деформации земляных сооружений с высокой точностью.



□ - опорный репер ● - рабочий репер

Рисунок 1 – Расположение опорных и рабочих реперов наблюдательной станции на гидротехническом сооружении

Геодезический мониторинг участка дамбы (см. рисунок 1) выполнялся с двух станций сканирования. Одна станция располагалась у основания дамбы, а вторая – на гребне дамбы.

Для выявления площадных деформаций объекта ТЛО необходимо очистить от кустарниковой и травянистой растительности (рисунок 2). На рисунке 3 приведены параметры классификации для метода молдинга.

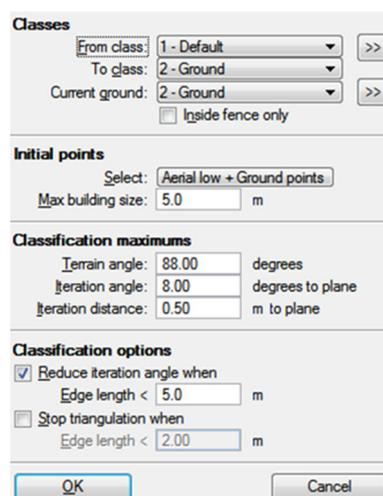
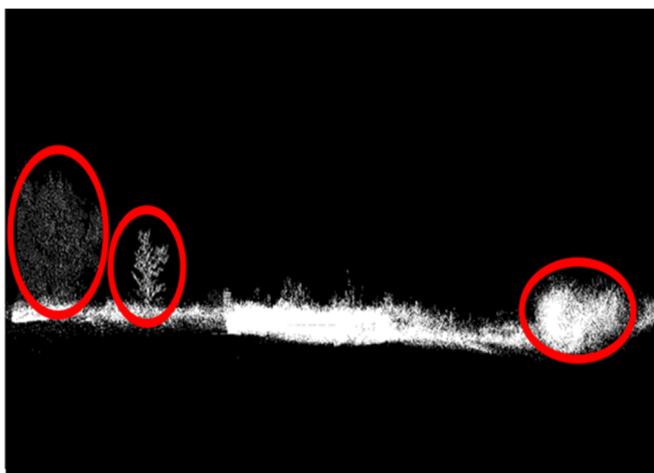


Рисунок 2 – ТЛО с растительностью Рисунок 3 – Классификация объектов

После классификации ТЛО методом молдинга с заданными параметрами (см. рисунок 3) поверхность дамбы отделяется от растительности (рисунок 4).



Рисунок 4 – Классификация ТЛО:
a) до классификации; *б)* очищенная поверхность дамбы

После классификации и выделения поверхности дамбы можно выполнить сравнение поверхностей, которые для этого преобразуются в DEM-модели. На рисунке 5 показаны отклонения отметок поверхности дамбы на первые две даты съемки.

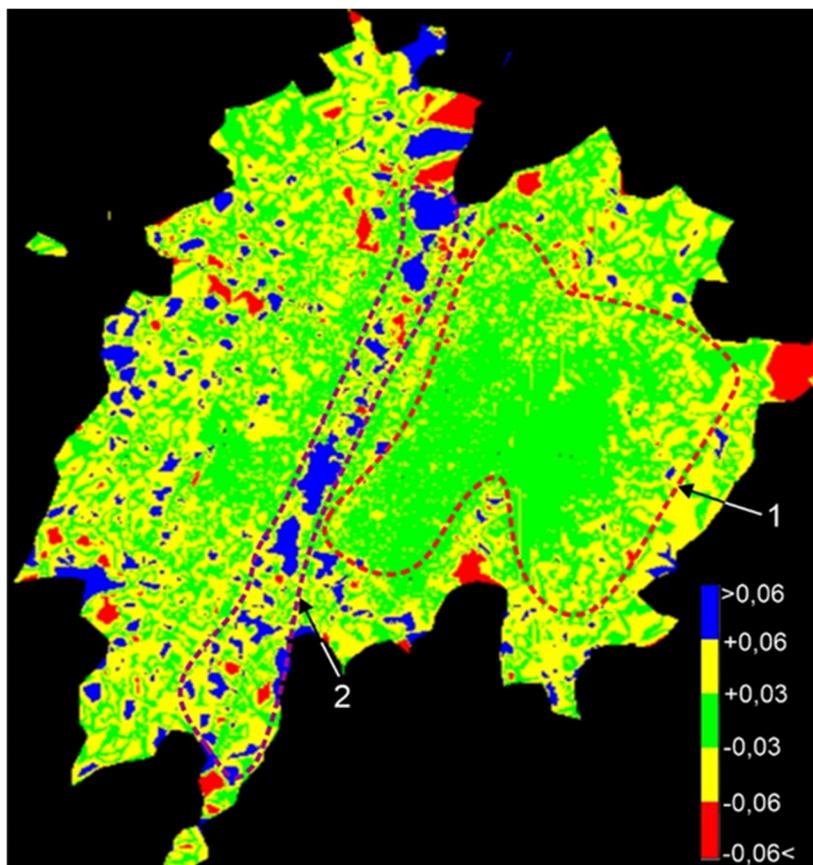


Рисунок 5 – Разница между поверхностями из 1–2-го циклов сканирования
 (расхождения приведены в метрах)

На рисунке 5 выделяется однородная область 1, на которой горнотехнические работы не проводились, и неоднородная область 2 с большими значениями отклонений, соответствующих дренажной канаве дамбы, где проводились горнотехнические работы по очистке и формированию откосов между двумя циклами сканирования.

Выявленные площадные деформации формально превышают допуски на точность определения координат для контрольных точек грунтовых сооружений IV категории ± 10 мм по высоте.

Однако прямое определение деформаций объектов методом лазерного сканирования рекомендуется применять для гладких поверхностей, таких как стены и перекрытия зданий и сооружений. Поверхность земляной дамбы представляет собой насыпную поверхность из щебня (рисунок 6, а). При каждом сканировании луч лазера попадает в разные точки поверхности (рисунок 6, б), поэтому прямое сравнение поверхностей всегда будет иметь отклонения, которые связаны с гранулометрическим составом материала тела дамбы. Следовательно, для анализа деформаций необходимо выбирать однородные участки (область 1, приведенная на рисунке 5) и анализировать среднее отклонение для этого участка. Для анализа предлагается использовать среднее арифметическое или среднее медианное деформаций однородной области, которое менее подвержено влиянию остаточных шумов (таблица 1).

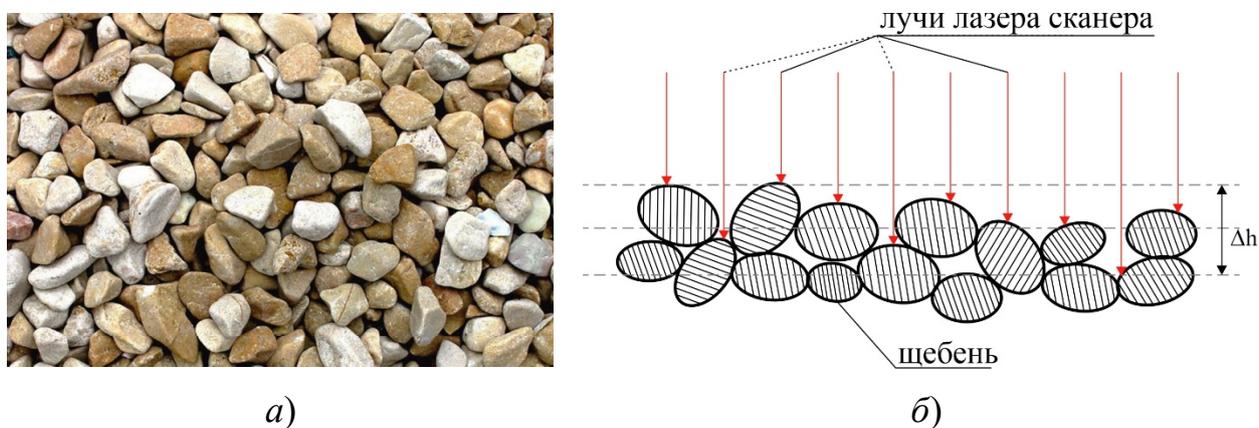


Рисунок 6 – Поверхность и сечение поверхности лазерным лучом:

а) поверхность дамбы; б) сечение поверхности дамбы

Таблица 1 – Отклонения поверхностей участка сканирования

Съемки	Область	Среднее арифметическое, мм	Среднее медианное, мм
1 – 2	Весь участок	28	10
	Область 1	–1	0
2 – 3	Весь участок	25	8
	Область 1	3	1
1 – 3	Весь участок	27	12
	Область 1	3	3

По результатам выполненных исследований в этом разделе можно сделать следующие выводы.

1 Разработана методика геодезического мониторинга состояния насыпных дамб с применением технологии наземного лазерного сканирования (НЛС), которая позволяет по данным НЛС применять и точечные методы, и поверхности, что значительно увеличивает объем получаемой информации и дает наиболее полное и наглядное представление о распределении смещений и деформаций по всей поверхности исследуемого объекта или его части. Особую актуальность данная методика приобретает, когда имеют место активные деформации, ограничивающие безопасный доступ к исследуемому участку.

2 При проведении сравнения групп ТЛО, полученных при разных циклах сканирования, программный комплекс TerraSolid показал наиболее эффективную, точную и качественную обработку ТЛО. Это связано с обработкой ТЛО по методу молдинга, преимуществом которого является то, что одновременно с построением поверхности рельефа, выполняется селекция лазерных точек, т. е. выделение тех из них, которые принадлежат этой поверхности, и удаление точек растительности.

3 Сравнение «щебеночных» поверхностей на две даты наблюдений необходимо проводить в два этапа. На первом этапе выполняется формальная классификация отклонений по пяти или семи диапазонам для выявления однородных по отклонениям областей, связывая их с гранулометрическим составом объекта.

Затем анализируются средние отклонения в каждой однородной области и делается вывод о наличии и величине деформаций.

4 Если разности поверхностей содержат участки с закономерно увеличивающимися областями, это однозначно свидетельствует о деформационных процессах в теле дамбы или является результатом проведения горнотехнических работ.

В третьем разделе приведена разработанная методика геодезического мониторинга, основанная на применении метода наземного лазерного сканирования, которая включает алгоритм расчета параметров фильтрации и устойчивости гидротехнического сооружения по трехмерной модели дамбы методом конечных элементов.

В рамках разработанной методики было предложено для визуального обследования состояния ограждающей дамбы № 1 использовать аэрофотосъемку беспилотными авиационными системами (БАС). В результате проведения аэрофотосъемки и обработки полученных цифровых снимков создаются плотные точечные и цифровые модели, карты высот и ортофотопланы.

Полученная 3D-модель дамбы позволяет провести расчет устойчивости гидротехнического сооружения и анализ процессов фильтрации в программном комплексе Midas GTS NX, который разработан специально для моделирования с применением метода конечных элементов (рисунок 7).

Устойчивость насыпных плотин предлагается оценивать с учетом фильтрации и просачивания вод. Моделирование течения жидкости сквозь пористую среду подчиняется закону Дарси:

$$u = K \cdot I, \quad (1)$$

где u – скорость фильтрации;

K – коэффициент фильтрации;

I – градиент напора.

В дифференциальном виде это можно представить в виде уравнения:

$$\frac{d}{dx} \left(k_x \frac{dH}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(k_y \frac{dH}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(k_z \frac{dH}{dz} \right) + Q = \frac{d\theta}{dt}, \quad (2)$$

где H – пьезометрический напор;

k – коэффициент проницаемости грунта;

Q – расход;

θ – влагосодержание;

t – время.

На решение уравнений (1) и (2) накладываются граничные условия, описывающие поровое давление или условия истечения для расчета фильтрации. Функции от времени используются для условий нестационарной фильтрации. В связи с тем, что золоотвал ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» почти заполнен, дальнейшие расчеты выполнялись для условий стационарной фильтрации при полном заполнении золоотвала.

В программном комплексе GTS NX использовались модели разной размерности, как плоские, так и трехмерные. Модели предполагают решение различных задач и использование разных методов. В разработанной методике использовалась нелинейная модель классического критерия разрушения Мора – Кулона. Модель требует ввода следующих параметров: модуль упругости E , коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения и сцепления.

Для моделирования фильтрации и определения напряженно-деформированного состояния дамбы исследовались два метода:

1) расчет методом понижения прочности (SRM), основанный на методе конечных элементов (МКЭ), дает наиболее вероятный и точный сценарий разрушения объекта, хотя и требует больших вычислительных ресурсов;

2) метод анализа напряжений (SAM) – численный метод, который позволяет анализировать предварительно заданные круглоцилиндрические поверхности скольжения и может учитывать нелинейные характеристики материалов. Этот метод дает более быстрые, но менее точные результаты.

Для моделирования процессов фильтрации совместно с оценкой напряженно-деформированного состояния ограждающей дамбы золоотвала использовалось решение задачи в двумерной постановке. Первым этапом решения является задание геометрии слоев объекта и выбор размера ячеек, свойств материалов дамбы и основания для построения конечно-элементной модели дамбы (рисунок 7).

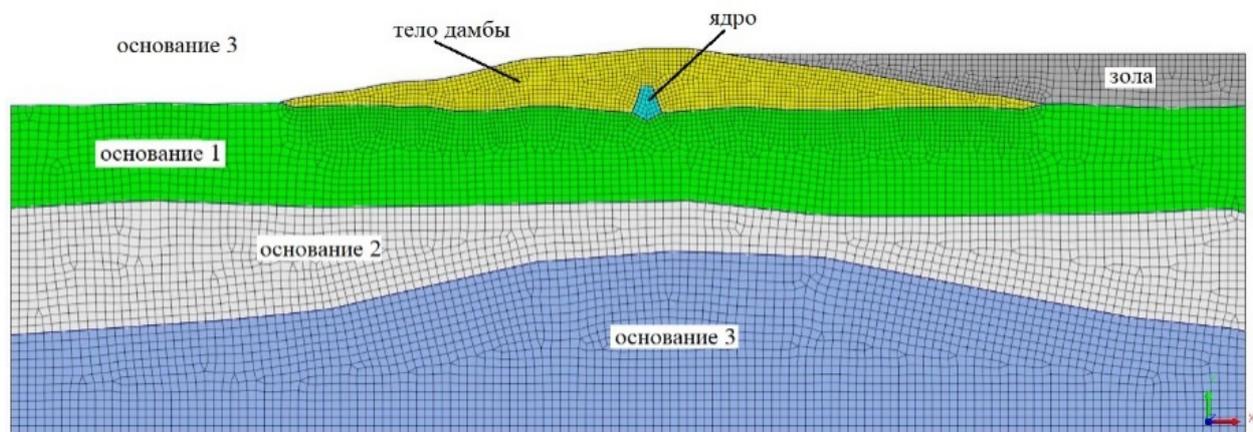


Рисунок 7 – Конечно-элементная модель дамбы

Вторым этапом выполняются расчеты методами SAM и SRM. Расчеты вертикальных и горизонтальных сдвиговых напряжений методом SRM показали, что они достаточно однородные и не приводят к появлению цилиндрических или эллиптических поверхностей скольжения, которые могут вызвать оползни в теле ограждающей дамбы.

В трехмерной постановке возможно решение следующих задач: поровое давление, расчет общих напряжений и фильтрационных потоков, приведенных на рисунке (рисунок 8).

Результаты, полученные методами SRM и SAM, оказались очень близкими по величине расчетных параметров, при этом ни один из этих методов не показал наличия сдвиговых напряжений и поверхностей скольжения. Хотя коэффициенты устойчивости, определенные методом SRM $K_{SRM} = 1,05$ и методом SAM $K_{SAM} = 1,54$, значительно различаются, и K_{SRM} равно предельному значению

для этой категории сооружений. Следует отметить, что снижение коэффициента устойчивости связано не с напряженно-деформированным состоянием объекта, а с фильтрационными процессами.

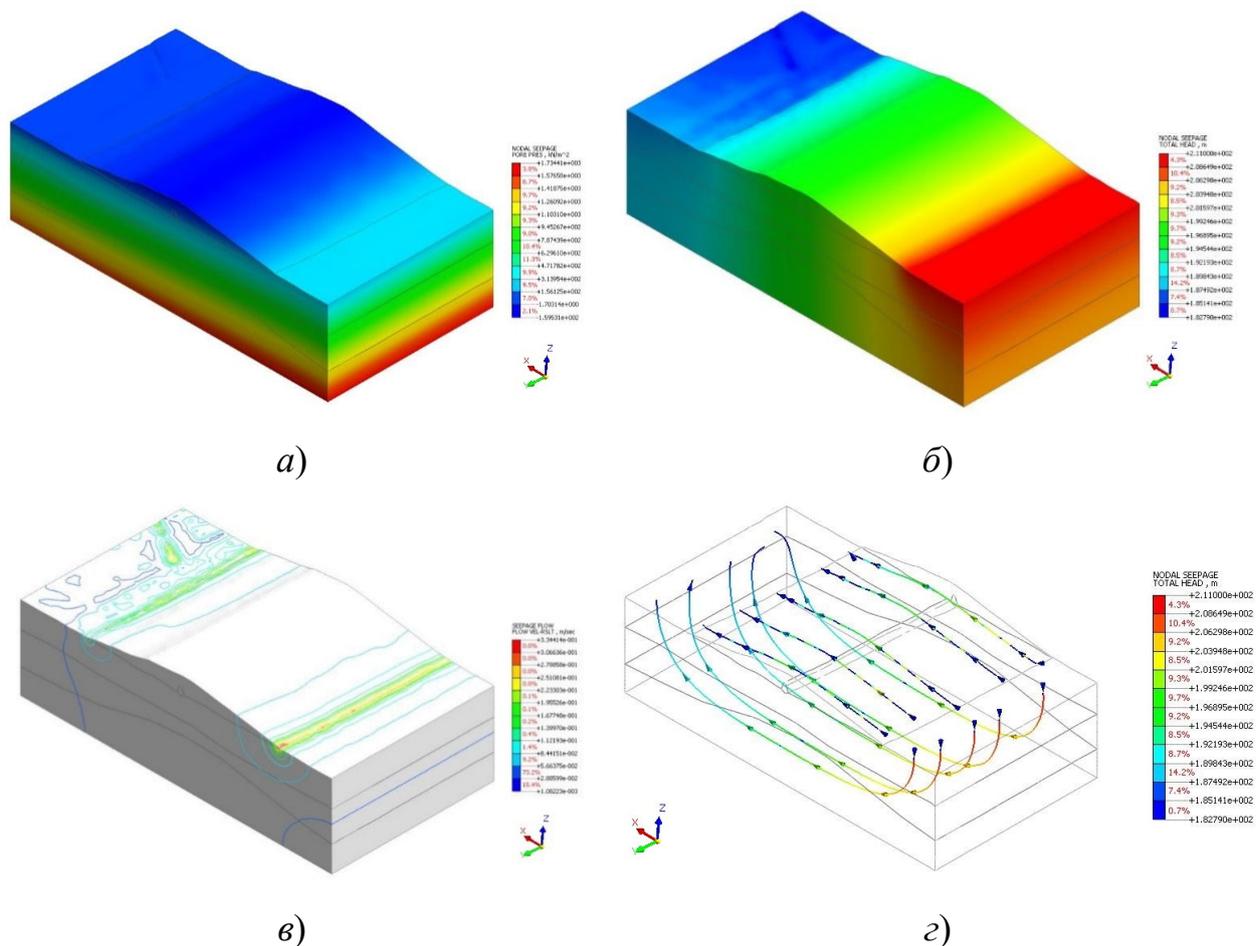


Рисунок 8 – Трехмерная модель дамбы и результаты расчетов:

- а) поровое давление; б) общие напряжения; в) скорость потока (в изолиниях);
г) фильтрационные потоки

Исследование устойчивости ограждающей дамбы золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» показало, что расчеты устойчивости, выполненные методом конечных элементов, могут значительно отличаться. Традиционно при расчете коэффициента устойчивости разными методами выбирается для использования наименьший. Но самым главным элементом расчетов в программе является объяснение результатов. Так, в программе

GTS NX при расчетах конечно-элементной модели методом понижения прочности показано, что при такой геометрии дамбы и свойств слагающих её материалов и пород основания не возникает сдвиговых напряжений и поверхности скольжения, а низкий коэффициент запаса устойчивости объясняется поровым давлением и фильтрационными процессами. Поэтому геотехнический мониторинг рекомендуется проводить в периоды максимального поступления жидкости в золоотвал и особое внимание обращать на водоприток в дренажную систему.

Результатом выполненных исследований всего комплекса мероприятий геодезического мониторинга, начиная от определения координат сканерных марок до расчетов фильтрации и устойчивости, явилась разработанная методика геодезического мониторинга (рисунок 9).

В представленной методике геодезический мониторинг состоит из нескольких этапов наблюдений и расчетов. Для автоматизации этих процессов была составлена программа Dam deformation, которая позволяет хранить информацию о дамбе и ее измерениях в базе данных.

Целями программного комплекса Dam deformation является организация базы данных для хранения комплексной информации о всех видах обследования и мониторинга дамбы и удобства выборки нужных данных для использования при составлении заключения об устойчивости сооружения. Второй важной задачей является подготовка информации для составления конечно-элементной модели и экспорта этой модели для расчетов.

На рисунке 10 приведена упрощенная схема базы данных программного комплекса Dam deformation. На схеме показаны только главные таблицы базы данных, без классификаторов. Реализация БД осуществляется с помощью реляционной СУБД SQLite.

Основным преимуществом разработанной базы данных является то, что она позволяет хранить комплексную информацию о гидротехническом объекте, ко-

торая является основой для выработки заключения о состоянии сооружения и возможности его безопасной эксплуатации.

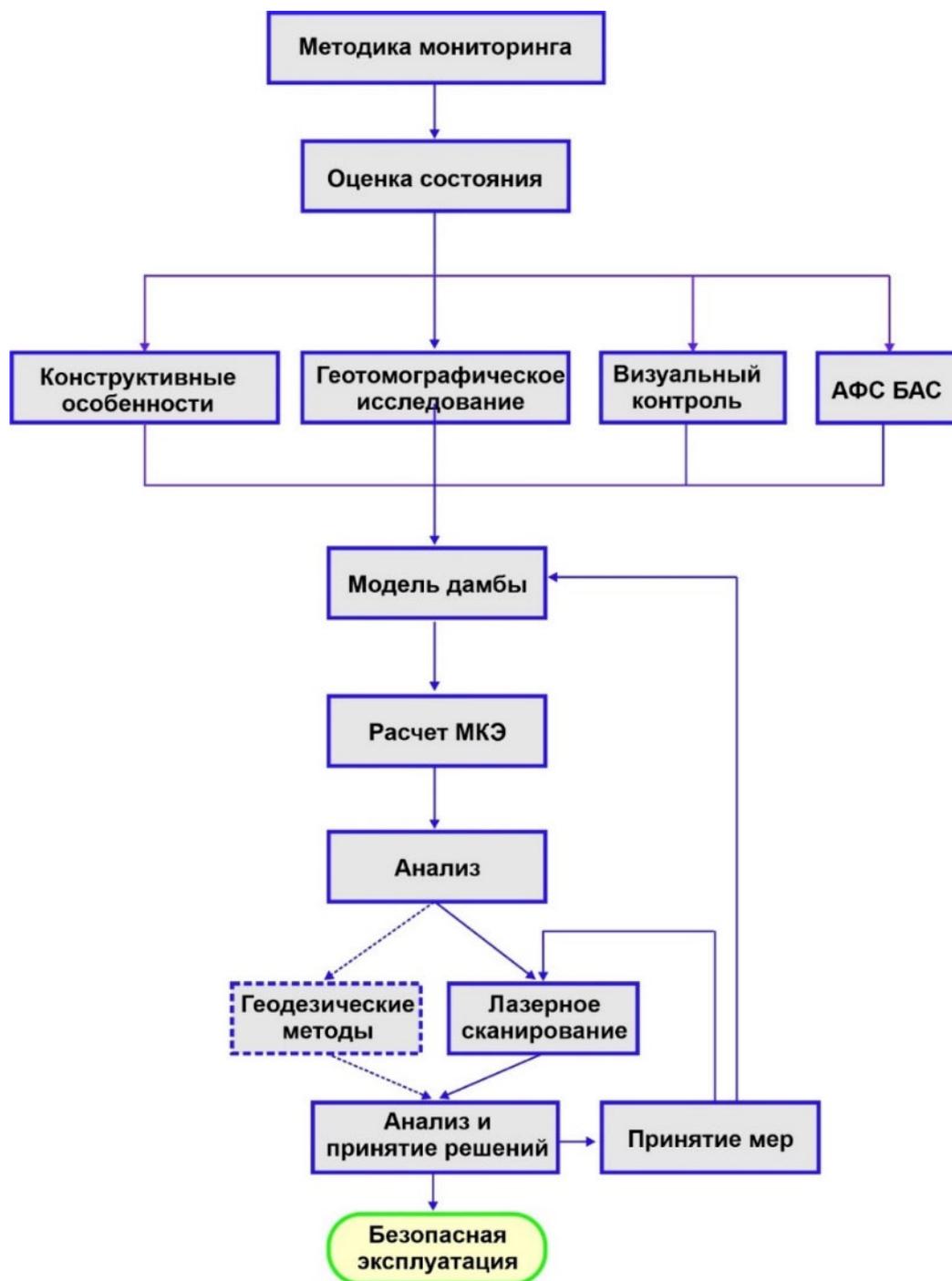


Рисунок 9 – Этапы разработанной методики геодезического мониторинга

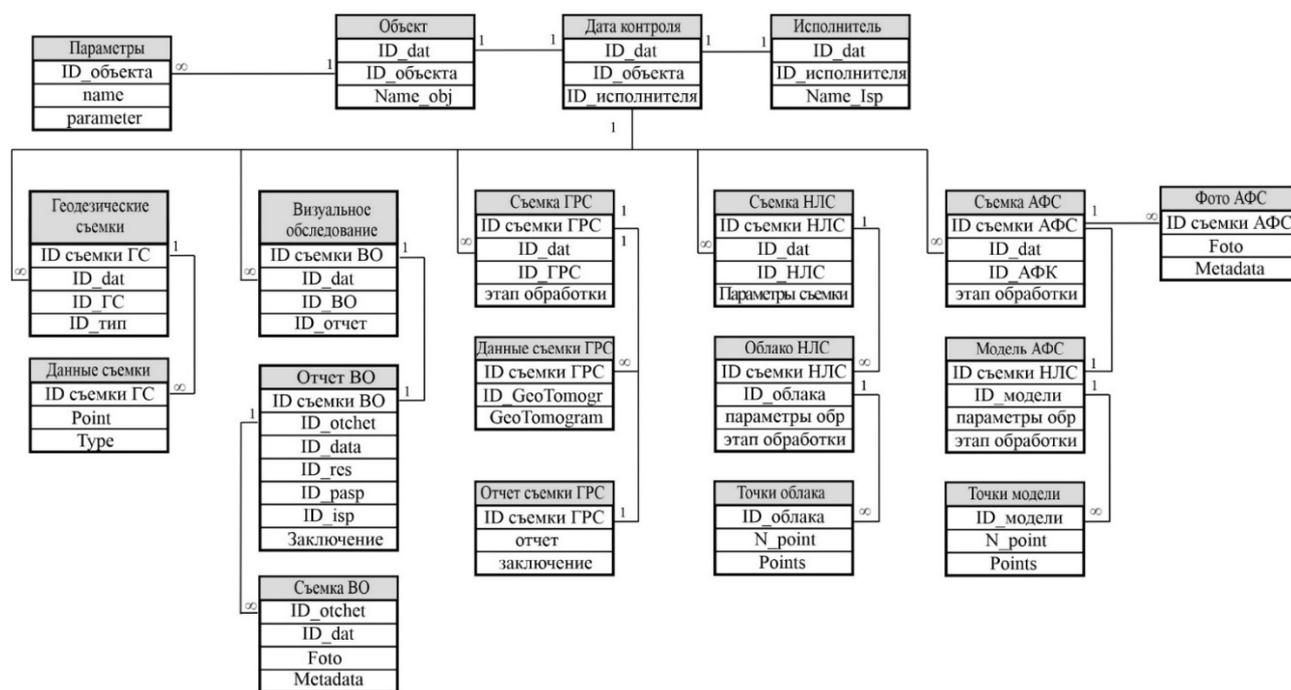


Рисунок 10 – Структура базы данных ПК Dam deformation

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований поставленная цель достигнута, а именно – разработана методика геодезического мониторинга состояния ограждающих гидротехнических сооружений с применением технологии наземного лазерного сканирования на примере золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар».

Основные научные и практические результаты диссертационного исследования заключаются в следующем:

- выполнен анализ существующих методов геодезического мониторинга ограждающих гидротехнических сооружений и нормативной документации, что позволило определить достоинства и недостатки существующих методов геодезического мониторинга состояния гидротехнических сооружений и сформулировать цель и задачи диссертационного исследования;

- выполнено экспериментальное апробирование применения технологии лазерного сканирования дамбы золоотвала с подбором параметров фильтрации для эффективного удаления растительности из ТЛО и анализом «щебенчатых»

поверхностей, в результате которого доказана высокая точность определения деформаций данного класса гидротехнических инженерных сооружений как точечным, так и площадным методами;

– исследование результатов трехмерного моделирования тела дамбы методом конечных элементов с вычислением коэффициента запаса устойчивости, зависящего от процесса фильтрации и в основном влияющего на деформационное состояние гидротехнического сооружения, позволило предложить определение периодичности выполнения геодезического мониторинга;

– разработана структура базы данных для хранения комплексной информации о геодезических измерениях, результатах 3D-моделирования тела дамбы и параметрах ее деформационного состояния, которая позволяет сделать заключение об устойчивости инженерного сооружения и условиях его безопасной эксплуатации;

– выполнена апробация разработанной методики на примере геодезического мониторинга насыпных дамб золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар», которая подтвердила возможность применения разработанной методики для контроля состояния устойчивости насыпных дамб с требуемой для этого нормативной точностью.

Результаты исследования рекомендуются к использованию при выполнении геодезического мониторинга для оценки технического состояния насыпных гидротехнических сооружений и продолжения их безопасной эксплуатации. Предлагается дополнить нормативную документацию расчетными методами определения допустимых деформаций.

Перспективы дальнейших исследований по данной тематике заключаются в выявлении общих закономерностей фильтрации пространственных данных наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки для повышения точности создания трехмерных моделей дамб и плотин для более точного расчета устойчивости сооружения и фильтрационных процессов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Технология автоматизированного проектирования железных дорог с использованием цифровых и математических моделей местности / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 5–16.

2 Технологическая схема определения геометрических параметров подкрановых конструкций инженерных сооружений на подрабатываемых территориях / Г. А. Уставич, Е. А. Олейникова, И. А. Мезенцев, А. С. Горилько, Е. В. Ситникова, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 14–24

3 Шоломицкий, А. А. Методика геодезического мониторинга за насыпными гидротехническими сооружениями / А. А. Шоломицкий, Р. Р. Ханнанов, М. С. Тутанова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 25–32

4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680204 Российская Федерация. Dam deformations : № 2021669927 : дата поступления 08.12.2021 : дата регистрации 08.12.2021 / Шоломицкий А. А., Ханнанов Р. Р. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (RU). – Текст: непосредственный.

5 Шоломицкий, А. А. Мониторинг состояния плотины Шерубай-Нуринаского водохранилища / А. А. Шоломицкий, Е. Н. Хмырова, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 265–271.

6 Ханнанов, Р. Р. Анализ результатов геодезических измерений на гидротехнических сооружениях / Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Акту-

альные научные исследования в современном мире. – Переяслав : 2020. – В. 4 (60), ч. 3. – С. 96–100.

7 Ханнанов, Р. Р. Проведение геодезических измерений на объектах Топарской ГРЭС / Р. Р. Ханнанов, А. В. Михнев, Е. П. Кулакова. – Текст : непосредственный // Труды университета. – Караганда : КарГУ, 2020. – № 3 (80). – С. 75–79.

8 Ханнанов, Р. Р. Учет влияния угловой рефракции на измеренные значения геопространственных данных / Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – Москва : Спутник, 2021. – № 9 (160) – С. 85–92.

9 Ханнанов, Р. Р. Геодезический мониторинг состояния ограждающей дамбы № 1 золоотвала ТОО «ГРЭС Топар» по методике наземного лазерного сканирования / Р. Р. Ханнанов, А. В. Михнев. – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 13–18.

10 Ханнанов, Р. Р. Применение методики наземного лазерного сканирования при геодезическом мониторинге состояния ограждающей дамбы насыпного типа / Р. Р. Ханнанов, А. В. Михнев. – Текст: непосредственный // Труды Международного маркшейдерского форума «Геопространственная цифровая инженерия в геодезии, маркшейдерии и геомеханике». – Караганда : ТОО САНАТ-Полиграфия, 2022. – С. 137–141.

11 Шоломицкий, А. А. Анализ устойчивости дамбы золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» / А. А. Шоломицкий, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 98–103.

12 Ханнанов, Р. Р. Лазерное сканирование для определения деформаций насыпных дамб / Р. Р. Ханнанов. – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-

Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 1. – С. 149–153.

13 Ханнанов, Р. Р. Определения деформаций насыпных дамб по результатам наземного лазерного сканирования / Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – Москва : Спутник, 2023. – № 7 (182) – С. 92–95.

14 Шоломицкий, А. А. Анализ устойчивости дамбы золоотвала методом конечных элементов / А. А. Шоломицкий, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – Москва : Спутник, 2023. – № 8 (183) – С. 101–109.