

Код МРНТИ 52.13.04

***Н.Ф. Низаметдинов¹, Н.Р. Кадыров^{1,2}, Р.Ф. Низаметдинов¹, Д.К. Элиманов¹**¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «Геобизнес» (г. Караганда, Казахстан)

ДИСТАНЦИОННЫЙ НАДЗОР ЗА СОСТОЯНИЕМ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ ДАМБ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Аннотация. В статье рассматривается внедрение дистанционной системы мониторинга насыпных оградительных дамб обогатительных фабрик – Николаевской и Орловской, контроль состояния дамб осуществляется по заложенным рабочим реперам с оптическими отражателями и с опорных пилонов с установленными роботизированными тахеометрами, датчиками давления и температуры, помещенные в специальные контейнеры для сохранности оборудования, а также модема для передачи измеряемой информации. Использована система программного обеспечения GEOMOS для обработки данных измерений. Приведены результаты систематического контроля состояния дамб в виде смещений по реперам профильных линий, заложенных в теле дамбы. Данные наблюдений показывают устойчивое положение дамб.

Ключевые слова: дамба насыпная, рабочие репера, твердая точка в виде пилона, роботизированный тахеометр, оптическая призма, контейнер, программа по обработке данных GEOMOS.

Байыту фабрикаларының қоршау бөгеттерінің тұрақтылығын қашықтықтан қадағалау

Аңдатпа. Мақалада Николаевская және Орел өңдеу зауыттарының бөгет бөгеттерінде қашықтан бақылау жүйесін енгізу талқыланады, бөгеттердің жағдайын бақылау оптикалық шағылыстырғыштары бар орнатылған жұмыс эталондары және орнатылған роботтық қосынды станциялары бар тірек тіректері арқылы жүзеге асырылады, қысым және температура сенсорлары, сондай-ақ жабдықтың қауіпсіздігі үшін арнайы контейнерлерге орналастырылған өлшенген ақпаратты беруге арналған модем. Өлшеу деректерін өңдеу үшін GEOMOS бағдарламалық жүйесі пайдаланылды. Профильдік сызықтардың эталондары бойынша жылжу түріндегі бөгеттердің жай-күйін жүйелі бақылаудың нәтижелері берілген. Бақылау деректері бөгеттердің тұрақты орнын көрсетеді.

Түйінді сөздер: үйінді бөгеті, жұмыс репері, пилон түріндегі қатты нүкте, роботты тахеометр, оптикалық призма, контейнер, GEOMOS деректер бағдарламасы.

Remote monitoring of the stability of the protective dams of processing plants

Abstract. The article discusses the implementation of a distanced monitoring system at the embankment dams of the processing plants: Nikolaevskaya and Oryol, monitoring the condition of the dams is carried out by installed working benchmarks with optical reflectors and support pylons with installed robotic total stations, pressure and temperature sensors, as well as a modem for transmitting measured information placed in special containers for the safety of equipment. The GEOMOS software system was used to process the measurement data. The results of systematic monitoring of the condition of dams in the form of displacements along the benchmarks of profile lines are presented. Observational data show the stable position of the dams.

Key words: bulk dam, working reference points, solid point in the form of a pylon, robotic total station, optical prism, container, GEOMOS data processing program.

Введение

В настоящее время многие горнодобывающие предприятия после сооружения оградительных дамб на обогатительных фабриках приступают к инструментальному осмотру за их состоянием, конечно же, этому предшествуют инженерные расчеты по оценке устойчивости откосов дамб с целью выявления наиболее ослабленных участков исходя из геологического строения и гидрогеологических условий состояний их оснований. В начальный период наблюдение за положением дамб осуществляется, как правило, визуальным осмотром, а в последствии ведутся инструментальные наблюдения с применением электронного тахеометра и оптических отражателей. Поэтому целью данной работы является разработка автоматизированной системы инструментальных геодезических наблюдений на основе создания опорного и рабочего обоснования для получения информации о состоянии тела дамб хвостохранилищ в виде постоянных пилонов для установки электронных тахеометров, помещенные для сохранности в специальные контейнеры с программным обеспечением GEOMOS, датчиками температуры, давления, передачи информации и рабочих реперов с оптическими призмами. Регулярные дистанционные инструментальные наблюдения позволяют не только получить сведения о процессе деформирования откосов дамб, но и произвести контроль правильности ранее принятых проектных решений. Они в комплексе с инженерно-геологическими исследованиями в процессе эксплуатации хвостохранилища дают возможность установить характер деформаций откосов дамб и спрогнозировать развитие их во времени и пространстве,

т.е. произвести оценку степени опасности получаемых деформаций и выполнить предрасчет продолжительности процесса деформирования до момента достижения критических величин смещений, что, в свою очередь, позволяет наметить мероприятия по устранению причин их развития [1, 2, 3]. К тому же, в Казахстане появилась специализированная фирма ТОО «Геобизнес», которая совместно со швейцарской фирмой ТОО «Leica Geosystems Kazakhstan» внедрили автоматизированную систему «GEOMOS» для наблюдений за состоянием устойчивости ограждающих дамб на обогатительных фабриках: Николаевской и Орловской, где ведутся постоянные наблюдения за деформациями тел дамб в режиме реального времени с минимумом измерений и достаточно высокой степенью точности.

Методика создания наблюдательных станций и порядок измерений

Для производства инструментальных наблюдений предусматривается создание на дамбе наблюдательных станций в виде профильных линий, которые заложены в массиве в виде металлических реперов. При этом профильные линии расположены перпендикулярно простианию верхней бровке дамб. Система наблюдательных станций включает в опорные репера и профильные линии, состоящие из мониторинговых реперов.

Для создания системы геомониторинга определяющим фактором и объединяющим все результаты наблюдений является то, что плановое и высотное положение мониторинговых реперов определяется в общей системе координат и высот.

Опорные и ориентирные пилоны должны располагаться в местах, обеспечивающих их неподвижность на все время существования наблюдательных станций, т.к. от них в каждой серии наблюдений будет определяться положение мониторинговых реперов профильных линий и их неподвижность.

Каждая профильная линия должна состоять из мониторинговых реперов. При закладке мониторинговых реперов на уступах расстояние между ними зависит от существующей ширины бермы безопасности.

Плановая привязка исходных реперов наблюдательной станции может осуществляться методами триангуляции, трилатерации или полигонометрии 4 класса. Высотная привязка обеспечивается реперами и пунктами нивелирной сети путем прокладывания нивелирных ходов III класса. Электронный тахеометр при производстве наблюдений позволяет объединить решение этих двух задач по определению пространственного положения исходных реперов.

Систематические инструментальные наблюдения на станциях заключаются в определении с помощью электронного тахеометра положения мониторинговых реперов в пространстве на данный момент времени.

Использование электронных тахеометров позволяет значительно сократить время на производство полевых работ и камеральную обработку результатов измерений. Однако при этом обеспечить высокую точность работ возможно только при соблюдении определенной методики работ.

Методика выполнения измерений с помощью электронного тахеометра производится в следующей последовательности:

- 1) *устанавливают тахеометр на опорном репере с известными координатами;*
- 2) *выполняют настройку дальномера, выбирая тип отражателя и режим измерения дальномера для повышения точности измерений;*
- 3) *вводят атмосферные поправки, учитывающие давление, температуру воздуха и относительную влажность (при высокоточных измерениях расстояний атмосферная поправка должна определяться с точностью до 1 ppm (1 мм на 1 км), температура воздуха – с точностью до 1°C, атмосферное давление – до 3 мбар, относительная влажность – до 20%;*
- 4) *выполняют ориентирование прибора;*
- 5) *выполняют съемку мониторинговых точек в автоматическом режиме.*

Внедрение системы наблюдения

Мониторинговая система на Николаевской дамбе (рис. 1) включает в себя: опорный пункт в виде пилона для установки роботизированного электронного тахеометра (точка-T2), компьютера с программным обеспечением, датчиками температуры и давления, обогревателем и модемом для передачи данных измерений, помещенный для сохранности в специальный металлический контейнер; ориентирный пункт в виде пилона (OR2) для установки оптического отражателя, четыре профильные линии, вдоль которых заложены от 5 до 7 рабочих реперов с оптическими отражателями (всего 25 реперов), ориентированные на опорный пункт T2 (рис. 2) [4, 5].

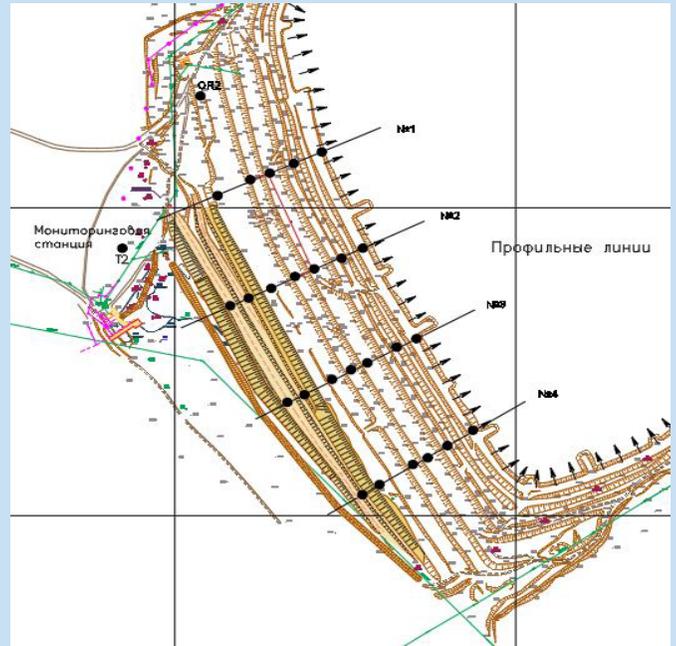


Рис. 1. Схема мониторинговой системы дамбы хвостохранилища Николаевской обогатительной фабрики.

Сурет 1. Николаев байыту фабрикасының қалдық қоймасы бөгетінің мониторингтік жүйесінің сызбасы.
Figure 1. Diagram of the monitoring system of the tailings dam of the Nikolaev processing plant.



Рис. 2. Ориентирный пилон с отражателем (а) и рабочий репер с отражателем (б).

Сурет 2. Рефлекторы бар бағдаршам (а) және рефлекторы бар жұмыс репері (б).

Figure 2. A reference pylon with a reflector (a) and a working reference point with a reflector (b).

Мониторинговая система дамбы хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики (рис. 3) состоит из двух опорных пунктов (точка 1 на западной стороне и точка 2 на восточной стороне хвостохранилища) в виде пилонов с установленными роботизированными тахеометрами, двух компьютеров и датчиками аналогично, установленные на Николаевской дамбе, наблюдения ведутся по 10 профильным линиям с наличие 40 металлических реперов с оптическими отражателями с каждой стороны (восточной – 40 шт. и западной – 40 шт.) и по одному ориентирному

пилону с оптическим отражателем с восточной и западной стороны.

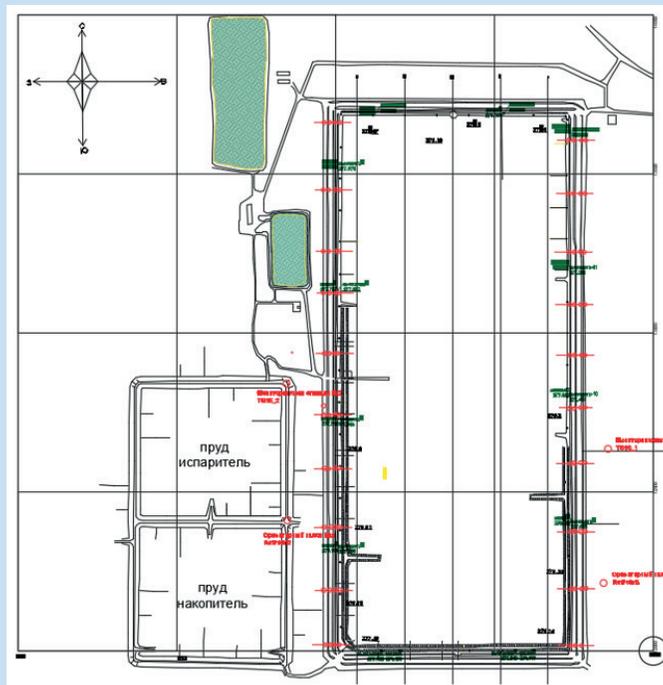


Рис. 3. Схема мониторинговой системы хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики.
Сурет 3. Қалдық қоймасының мониторингтік жүйесінің сызбасы Орел байыту фабрикасы.
Figure 3. Diagram of the tailings storage monitoring system Oryol Processing Plant.

Основное оборудование автоматизированной системы наблюдений располагается в специально оборудованных контейнерах (рис. 4).



а

б

Рис. 4. Базовые станции автоматизированных систем наблюдений на дамбах обогатительных фабрик: Орловской (а) и Николаевской (б).
Сурет 4. Автоматтандырылған бақылау жүйелерінің базалық станциялары байыту фабрикаларының бөгеттерінде: Орлов (а) және Николаев (б).
Figure 4. Base stations of automated observation systems at the dams of processing plants: Orlovskaya (a) and Nikolaevskaya (b).

Данные системы автоматизированных наблюдений являются надежной основой оценки состояния дамб по заложен-

ным рабочим реперам с оптическими отражателями, позволяющие выявить активные зоны возможных деформаций и определить наиболее опасные смещения насыпного грунта. Инструментальные наблюдения за деформациями ограждающих дамб хвостохранилищ являются неотъемлемым условием безопасной эксплуатации объекта, но организация таких наблюдений на практике сталкивается с большими сложностями. Все эти сложности может решить система наблюдений, обеспечивающая полную оценку состояния устойчивости откосов хвостохранилища, при ведении съемки геодезическими приборами с высокой точностью измерений в автоматическом режиме с базовых станций и получения величин смещений в режиме реального времени.

Коммуникации системы позволяют управлять приборами в полностью автоматическом дистанционном режиме на большом удалении от места сбора и обработки данных. Работающая в автоматическом режиме система позволяет выполнять циклы измерений с высокой скоростью и исключить ошибки, связанные с человеческим фактором. Промежутки между циклами измерений могут составлять от нескольких минут или часов до месяцев и лет. От человека лишь требуется провести качественный анализ наблюдений для выбора необходимых средств наблюдений, их расположения и соединения в единую сеть. Имея постоянно обновляемые параметры наблюдаемого объекта можно с высокой степенью достоверности производить прогнозы состояния наблюдаемого объекта и предотвращать возможные аварии. Основой системы является программное обеспечение, состоящее из двух основных сегментов: модуля сбора данных при собственно автоматизированных наблюдениях и модуля анализа полученных данных [6, 7, 8].

Модуль сбора данных отвечает за сбор данных в режиме реального времени, контроль измерений и измерительного цикла, проверку допустимых значений, мониторинг сообщений. Важным этапом подготовки является описание периодичности наблюдений. На этом этапе важно определиться, с какой частотой необходимо производить измерения по сбору исходных данных. Информация об измеренных величинах записывается в специальную базу данных. Поскольку при сборе данных используются автоматизированные сенсоры, участие человека при сборе данных практически полностью исключено.

Модуль анализа полученных данных отвечает за анализ измеренных данных, составление отчетов, редактирование и пост-обработку. Данные и результаты могут быть представлены в цифровом и графическом виде, экспортированы в различные стандартные форматы. Анализу подвергается все собранные данные и отдельные его фрагменты за заданный интервал времени. Опирируя с большим объемом данных, собранным за длительный период времени, можно отслеживать как кратковременные процессы деформаций, так и длительные процессы. Такой анализ может много рассказать о том, что может ожидать наблюдаемая дамба сейчас, так и в течение определенного периода; во время сбора данных система может предупредить пользователя о недопустимых смещениях контрольных точек или изменениях иных наблюдаемых величин. При этом оператор системы может быть уведомлен как по электронной почте, так и с помощью SMS-сообще-

ния. Таким образом, не будет нужды постоянно находиться около компьютера и контролировать состояние объекта. Получив уведомление, оператор сможет оперативно разобрататься в происходящем процессе [9, 10].

Аппаратной составляющей функционирования системы мониторинга является использование различных устройств сбора данных, таких как:

а) электронный тахеометр, который отвечает следующим требованиям: моторизация, автоматический поиск призм на расстоянии до 1000 м, при этом общая ошибка составляет $M_{\text{общ}} = 7,7 \text{ мм}$, которая учитывается в анализе полученных результатов; безотражательный режим (измеряются углы с точностью $0,5''$ и расстояние с точностью 1 мм на один км);

б) спутниковые (GPS) измерения с условиями: программа постобработки данных интегрируется в программу с автоматизированной системой (контроль качества измерений, преобразование из WGS84 в локальную систему);

в) метеорологические сенсоры (датчики: температуры/давления, влажности и калибровщик дождя).

На наблюдаемых и контрольных точках устанавливаются призмы, которые должны находиться в поле зрения тахеометра и обеспечивать необходимую точность. Призмы на расстоянии более чем 500 м от инструмента необходимо выравнивать.

Кроме программного обеспечения для эффективного использования автоматизированной системы необходимо выполнять ряд технических условий:

- выбор месторасположения и установка контейнера для установки моторизованного электронного тахеометра;
- конструкция столба для инструмента;
- правильное расположение наблюдаемых рабочих реперов и ориентирного репера.

Измеренные данные передаются в Диспетчерский Центр контроля безопасности и транслируются сотрудникам, занимающимся мониторингом деформаций дамб.

Обработка данных измерений происходит в программном обеспечении GeoMoS Analyser. Данные и результаты измерений могут быть представлены в графическом виде по продольным, поперечным и высотным смещениям, вектора смещения в плане и по высоте, пример графика представлен на рисунке 5.

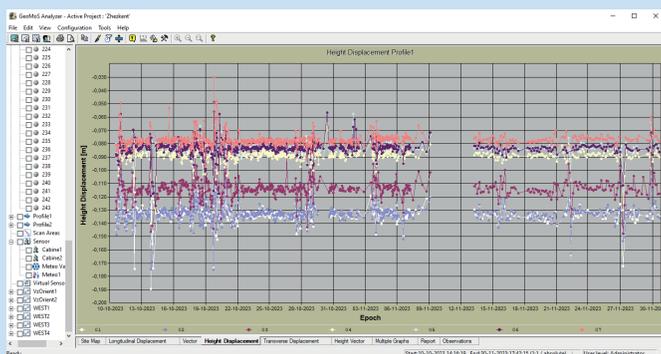


Рис. 5. График смещения реперов по высоте.

Сурет 5. Биіктік бойынша реперлердің орын ауыстыру графігі.

Figure 5. Graph of the displacement of the reference points in height.

Анализ полученного графика смещения реперов показывает, что на графике смещений не наблюдается, величины смещений тел дамб находятся в пределах точности измерения тахеометра в зависимости от расстояния до репера, тренда смещения нет.

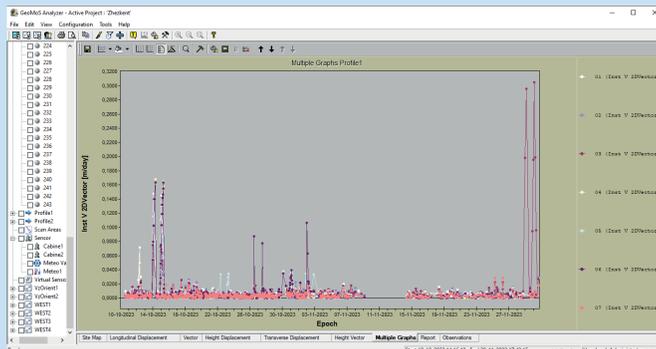


Рис. 6. График скорости смещения рабочих реперов.

Сурет 6. Реперлердің скоростіысу жылдамдығының графігі.

Figure 6. Graph of the displacement rate of the reference points.

По полученному графику видно, что скорость смещения реперов находится в пределах суточной нормы (5-10 мм/сутки). На дальних реперах на профильных линиях скорость смещения в некоторые периоды времени доходит до 20 мм/сутки, что не является критичными величинами, так как это связано с аномальными погодными условиями (буран, солнечная рефракция, низкие температуры) [11, 12].

Выводы

1. Создана система дистанционного контроля над состоянием насыпных оградительных дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик, состоящая из опорного репера в виде железобетонного пилона для установки роботизированного тахеометра, помещенные в специальный контейнер, и рабочие металлические репера с оптическими призмами. Количество рабочих реперов с призмами предложено в количестве 80 штук для Орловской дамбы и 25 штук для основной дамбы Николаевской фабрики и определяется горно-технической ситуацией на хвостохранилище. Установлен компьютер с программным обеспечением GEOMOS и модем для оперативной фиксации и передачи величин смещений в диспетчерскую службу предприятия.

2. Разработана методика создания наблюдательных станций на насыпных оградительных дамбах хвостохранилищ обогатительных фабрик в виде профильных линий и методика выполнения измерений роботизированным тахеометром.

3. Проведен анализ данных измерений мониторинговой системы, который показывает, что на графиках смещений реперов не наблюдается, величины смещений находятся в пределах точности измерения тахеометра в зависимости от расстояния до репера, тренда смещения нет.

4. При осуществлении оперативного внедрения мониторинговой системы на оградительных дамбах обогати-

тельных фабрик необходимо выполнение следующих видов работ:

- поставка оборудования и программного обеспечения компании Leica Geosystems AG;
- первая поверка электронных тахеометров;
- монтаж автоматизированной системы мониторинга;
- установка программного обеспечения, настройка конфигурации;
- испытания и точная регулировка;

- обучение инженерно-технического персонала клиента;

- введение в эксплуатацию;
- техническая поддержка в период эксплуатации мониторинговой системы.

5. Проведен авторский надзор за работой мониторинговой системы и техническое сопровождение по производству инструментальных наблюдений согласно существующих методических указаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Низаметдинов Ф.К., Долгонос В.Н., Бесимбаева О.Г. Устойчивость насыпных дамб и гидротехнических сооружений: Караганда: КарГТУ, 2013, С. 208 (на русском языке)
2. Низаметдинов Ф.К. Инструментальный контроль устойчивости рудных отвалов на площадке кучного выщелачивания. / Ф.К. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов, Р.Ф. Низаметдинов, А.О. Оралбай. // Горный журнал. 2022. №2. С. 19-23 (на русском языке)
3. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. / Утв. Комитетом по гос. Контролю за ЧС и промышленной безопасностью РК за №39 от 22 сентября 2008 г. (на русском языке)
4. Низаметдинов Н.Ф. Система автоматизированного контроля состояния насыпных дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик. / Н.Ф. Низаметдинов, Ф.К. Низаметдинов, Д.К. Элиманов, М.Б. Игемберлина. // Горный журнал. 2023. №2. С. 63-68 (на русском языке)
5. Ханнанов Р.Р. Мониторинг за состоянием гидротехнических сооружений. / Р.Р. Ханнанов, Ж. Алданыш, А.В. Михнев. // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. №7-4. С. 76-83 (на казахском языке)
6. Лорена А.О. Улучшение управления рисками дамб хвостохранилища с помощью 3D-характеристики с помощью метода резистивной томографии: практический пример в Сан-Паулу, Бразилия. / А.О. Лорена, А.Б. Марко, П. Гильерме, С. Леонардо, Филипа да Гама. // Журнал прикладной геофизики. 2023. Т. 210 (на английском языке)
7. Тинг Лу. Влияние растворимых солей в электролитическом марганцевом остатке на его геотехнические характеристики. / Тинг Лу, Цзоань Вэй, Шилонг Ли, Я Ван, Венсон Ван. // Журнал экологического менеджмента. 2023. Т. 340 (на китайском языке)
8. Кулибали Яя. Численный анализ и геофизический мониторинг для оценки устойчивости дамбы хвостохранилища «Северо-Запад» на шахте Вествуд. / Кулибали Яя, Белем Тикоу, Ченг Личжэнь. // Международный журнал горной науки и технологий. 2017. Т. 27. С. 701-710 (на английском языке)
9. Григорьев Д.О. Анализ геодезических методов деформационного мониторинга гидротехнических сооружений. / Д.О. Григорьев, В.А. Ащеулов. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. №1. С. 114-118 (на русском языке)
10. Науменко Н.О. Разработка автоматизированной системы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений. / Н.О. Науменко, В.Б. Жезмер, А.В. Новиков, О.В. Сумарукова. // Потаповские чтения. 2019. С. 210-213 (на русском языке)
11. Панкадж Кумар. Исследования работоспособности дамб водозадерживающего типа хвостохранилищ, подвергнутых заполнению и инерционному нагружению в геотехнической центрифуге. / Панкадж Кумар, Б.В.С. Вишванадхам. // Инженерная геология. 2024. Т. 331 (на хинди)
12. Финагенов О.М. Особенности мониторинга грунтового состояния и опорной части морского нефтегазово-промыслового гидротехнического сооружения. // Известия всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2023. Т. 308. С. 3-14 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Низаметдинов Ф.Қ., Долгонос В.Н., Бесимбаева О.Г. Жағалау бөгеттері мен гидротехникалық құрылыстардың орнықтылығы: Қарағанды: ҚарМТУ, 2013, Б. 208 (орыс тілінде)
2. Низаметдинов Ф.Қ. Үйінді шаймалау учаскесіндегі кен үйінділерінің тұрақтылығын аспаптық бақылау. / Ф.Қ. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов, Р.Ф. Низаметдинов, А.О. Оралбай. // Тау-кен журналы. 2022. №2. Б. 19-23 (орыс тілінде)
3. Карьерлерде бүйірлік беттердің деформацияларын, кертпештер мен үйінділердің еңістерін байқау және олардың орнықтылығын қамтамасыз ету шараларын әзірлеу бойынша әдістемелік

нұсқаулар. / Бекітілген Мемлекеттік комитет Қазақстан Республикасының Төтенше жағдайларды және өнеркәсіптік қауіпсіздікті бақылау 2008 жылғы 22 қыркүйектегі №39 (орыс тілінде)

4. Низаметдинов Н.Ф. Қайта өңдеу зауыттарының қалдық қоймаларының сусымалы бөгеттерінің жағдайын автоматтандырылған бақылау жүйесі. / Н.Ф. Низаметдинов, Ф.Қ. Низаметдинов, Д.Қ. Элиманов, М.Б. Игемберлина. // Тау-кен журналы. 2023. №2. Б. 63-68 (орыс тілінде)
5. Ханнанов Р.Р. Гидротехникалық құрылыстардың жағдайын бақылау. / Р.Р. Ханнанов, Ж. Алданыш, А.В. Михнев. // Қазіргі әлемдегі өзекті ғылыми зерттеулер. 2020. №7-4. Б. 76-83 (қазақ тілінде)
6. Лорена А.О. Резистивтік томография әдісін қолдану арқылы 3D сипаттау арқылы қалдық қоймаларының тәуекелдерін басқаруды жақсарту: Сан-Паулу, Бразилиядағы жағдайды зерттеу. / А.О. Лорена, А.Б. Марко, П. Гильерме, С. Леонардо, Филипа да Гама. // Қолданбалы геофизика журналы. 2023. Т. 210 (ағылшын тілінде)
7. Тинг Лу. Электролиттік марганец қалдығының құрамындағы еритін тұздардың оның геотехникалық сипаттамаларына әсері. / Тинг Лу, Зуоан Вэй, Шилун Ли, Я Ван, Вэнсон Ван. // Экологиялық менеджмент журналы. 2023. Т. 340 (қытай тілінде)
8. Кулибали Яя. Вествуд кенішіндегі Солтүстік-Батыс қалдық бөгетінің тұрақтылығын бағалау үшін сандық талдау және геофизикалық мониторинг. / Кулибали Яя, Белем Тикоу, Ченг Личжэнь. // Тау-кен ғылымы мен технологиясы халықаралық журналы. 2017. Т. 27. Б. 701-710 (ағылшын тілінде)
9. Григорьев Д.О. Гидротехникалық құрылыстардың деформациясын бақылаудың геодезиялық әдістерін талдау. / Д.О. Григорьев, В.А. Ащеулов. // Интерэкспо Гео-Сібір. 2020. №1. Б. 114-118 (орыс тілінде)
10. Науменко Н.О. Гидротехникалық құрылыстардың қауіпсіздігін бақылаудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу. / Н.О. Науменко, В.Б. Жезмер, А.В. Новиков., Сумарукова О.В. // Потапов оқулары. 2019. Б. 210-213 (орыс тілінде)
11. Панкай Кумар. Геотехникалық центрифугада толтыруға және инерциялық жүктеуге ұшыраған қалдық қоймаларының суды ұстау бөгеттерінің жұмысын зерттеу. / Панкай Кумар, Б.В.С. Вишванадхэм. // Инженерлік геология. 2024. Т. 331 (хинди тілінде)
12. Финагенов О.М. Теңіздегі мұнай-газ кен орнының гидротехникалық құрылысының топырақ жағдайын және тірек бөлігін бақылау ерекшеліктері. // Бүкілресейлік гидротехника ғылыми-зерттеу институтының жаңалықтары болуы Б.Е. Веденеев. 2023. Т. 308. Б. 3-14 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Nizametdinov F.K., Dolgonosov V.N., Besimbaeva O.G. Ustoichivost' nasyynykh damb i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: Karaganda: KarGTU, 2013, S. 208 [Nizametdinov F.K., Dolgonosov V.N., Besimbaeva O.G. Stability of embankment dams and hydraulic structures: Karaganda: KSTU, 2013, P. 208] (in Russian)
2. Nizametdinov F.K. Instrumental'nyi kontrol' ustoichivosti rudnykh otvalov na ploshchadke kuchnogo vyshchelachivaniya. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // Gornyi zhurnal. 2022. №2. S. 19-23 [Nizametdinov F.K. Instrumental monitoring of the stability of ore dumps at a heap leaching site. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // Mining Journal. 2022. №2. P. 19-23] (in Russian)
3. Metodicheskie ukazaniya po nablyudeniyam za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar'erakh i razrabotke meropriyatii po obespecheniyu ikh ustoichivosti. / Utv. Komitetom po gos. Kontrolyu za ChS i promyshlennoi bezopasnost'yu RK za №39 ot 22 sentyabrya 2008 g. [Guidelines for observing deformations of the sides, slopes of ledges and dumps in quarries and developing measures to ensure their stability. / Approved Committee on State Control over emergency situations and industrial safety of the Republic of Kazakhstan №39 dated September 22, 2008] (in Russian)
4. Nizametdinov N.F. Sistema avtomatizirovannogo kontrolya sostoyaniya nasyynykh damb khvostokhranilishch obogatitel'nykh fabrik. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // Gornyi zhurnal. 2023. №2. S. 63-68 [Nizametdinov N.F. Automated monitoring system for the condition of bulk dams of tailings of processing plants. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // Mining Journal. 2023. №2. P. 63-68] (in Russian)
5. Khannanov R.R. Gidrotekhnikalық құрылыстардың жағдайын бақылау. / R.R. Khannanov, Zh. Aldanysh, A.V. Mikhnev. // Қазіргі әлемдегі өзекті ғылыми зерттеулер. 2020. №7-4. Б. 76-83 [Khannanov R.R. Monitoring the condition of hydraulic structures. / R.R. Khannanov, Zh. Aldanysh, A.V. Mikhnev. // Current scientific research in the modern world. 2020. №7-4. P. 76-83] (in Kazakh)
6. Lorena A.O. Improving tailings dam risk management by 3D characterization from resistivity tomography technique: Case study in Sao Paulo – Brazil. / A.O. Lorena, A.B. Marco, P. Guilherme, S Leonardo, Filipa da Gama. // Journal of Applied Geophysics. 2023. Vol. 210 (in English)

7. *Ting Lu. Effect of soluble salts in electrolytic manganese residue on its geotechnical characteristics. / Ting Lu, Zuoan Wei, Shilong Li, Ya Wang, Wenson Wang. // Journal of Environmental Management. 2023. Vol. 340 (in Chinese)*
8. *Coulibaly Yaya. Numerical analysis and geophysical monitoring for stability assessment of the Northwest tailings dam at Westwood Mine. / Coulibaly Yaya, Belem Tikou, Cheng Lizhen. // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. P. 701-710 (in English)*
9. *Grigor'ev D.O. Analiz geodezicheskikh metodov deformatsionnogo monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. / D.O. Grigor'ev, V.A. Ashcheulov. // Interexpo Geo-Sibir'. 2020. №1. S. 114-118 [Grigoriev D.O. Analysis of geodetic methods of deformation monitoring of hydraulic structures. / D.O. Grigoriev, V.A. Ashcheulov. // Interexpo Geo-Siberia. 2020. №1. P. 114-118] (in Russian)*
10. *Naumenko N.O. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. / N.O. Naumenko, V.B. Zhezmer, A.V. Novikov, O.V. Sumarukova. // Potapovskie chteniya. 2019. S. 210-213 [Naumenko N.O. Development of an automated system for monitoring the safety of hydraulic structures. / N.O. Naumenko, V.B. Zhezmer, A.V. Novikov, O.V. Sumarukova. // Potapov Readings. 2019. P. 210-213] (in Russian)*
11. *Pankaj Kumar. Studies on the performance of water retention type tailings dams subjected to filling and inertial loading in a geotechnical centrifuge. / Pankaj Kumar, B.V.S. Viswanadham. // Engineering geology. 2024. Vol. 331 (in Hindi)*
12. *Finagenov O.M. Osobennosti monitoringa gruntovogo sostoyaniya i opornoj chasti morskogo neftegazovopromyslovogo gidrotekhnicheskogo sooruzheniya. // Izvestiya vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva. 2023. T. 308. S. 3-14 [Finagenov O.M. Features of monitoring the soil condition and the supporting part of an offshore oil and gas field hydraulic structure. // News of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneeva. 2023. Vol. 308. P. 3-14] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Низаметдинов Н.Ф., к.т.н., доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), fnnail84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Элиманов Д.К., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), elimanov_daniyar@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6528-6693>

Қадыров Н.Р., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», технический специалист ТОО «Геобизнес» (г. Караганда, Казахстан), n.nazar2044@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5415-9401>

Низаметдинов Р.Ф., к.т.н., и.о. доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5857-3886>

Авторлар туралы мәліметтер:

Низаметдинов Н.Ф., техника ғылымдарының кандидаты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Элиманов Д.К., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті «Коммерциялық емес акционерлік қоғамының» «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Қадыров Н.Р., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті «Коммерциялық емес акционерлік қоғамының» «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты, «Геобизнес» ЖШС техникалық маманы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Низаметдинов Р.Ф., техника ғылымдарының кандидаты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті м. а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Nizametdinov N.F., Candidate of Technical Sciences, lecturer at the Department of Surveying and Geodesy of the Non-profit Joint-Stock Company Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Elimanov D.K., Master's student of the Department of Surveying and Geodesy of the Non-profit Joint-Stock Company Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Kadyrov N.R., Master's student of the Department of Surveying and Geodesy of the Non-profit Joint-Stock Company Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, technical specialist of Geobusiness LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Nizametdinov R.F., Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Surveying and Geodesy of the Non-profit Joint-Stock Company Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)