

Код МРНТИ 36.01.81

*Б. Мынгжасаров¹, Ш. К. Айтказинова¹, Д. М. Киргизбаева¹, Н. А. Милетенко²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет (КазННТУ) им. К. И. Сатпаева
(г. Алматы, Казахстан),

²Институт проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН) им. академика Н. В. Мельникова
(г. Москва, Россия)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты мониторинга деформационных процессов гидротехнических сооружений Капчагайской гидроэлектростанции (ГЭС), расположенной в Алматинской области Республики Казахстан. Исследование направлено на обеспечение безопасной эксплуатации сооружений посредством геодезического мониторинга с применением современных технологий, включая спутниковые системы и высокоточные электронные тахеометры. Рассмотрено применение высокоточного тригонометрического нивелирования для определения вертикальных деформаций. Установлено, что при соблюдении соответствующей методики измерений современные автоматизированные электронные тахеометры обеспечивают требуемую точность геодезического мониторинга. По результатам наблюдений на деформационном створе Капчагайской ГЭС выявлено, что коэффициент вертикальной рефракции изменяется во времени и имеет тенденцию к увеличению в дневной период. Полученные результаты могут быть использованы для повышения безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений и снижения рисков, связанных с сейсмической активностью региона.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, деформационный мониторинг, электронный тахеометр, вертикальные деформации, вертикальная рефракция, точность измерений.

Гидротехникалық құрылыстардың деформациялық мониторингінде жоғары дәлдікті электрондық тахеометрді қолдану тәжірибесі

Аннотация. Мақалада Қазақстан Республикасының Алматы облысында орналасқан Қапчагай су электр станциясының (СЭС) гидротехникалық құрылыстарындағы деформациялық процестерді мониторингтеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу заманауи геодезиялық технологияларды, соның ішінде спутниктік жүйелер мен жоғары дәлдікті электрондық тахеометрлерді қолдану арқылы құрылыстардың қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз етуге бағытталған. Тік деформацияларды анықтау кезінде жоғары дәлдікті тригонометриялық нивелирлеуді қолдану қарастырылған. Тиісті өлшеу әдістемесі сақталған жағдайда заманауи автоматтандырылған электрондық тахеометрлер геодезиялық мониторингтің қажетті дәлдігін қамтамасыз ететіні анықталған. Қапчагай СЭС-нің деформациялық створында жүргізілген бақылаулар нәтижесінде тік рефракция коэффициентінің уақыт бойынша өзгеретіні және күндізгі кезеңде ұлғаю үрдісі байқалатыны анықталды. Алынған нәтижелер гидротехникалық құрылыстардың пайдалану қауіпсіздігін арттыруға және өнімнің сейсмикалық белсенділігімен байланысты тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: гидротехникалық құрылыстар, деформациялық мониторинг, электрондық тахеометр, тригонометриялық нивелирлеу, тік деформациялар, тік рефракция, геодезиялық бақылаулар, өлшеу дәлдігі.

Experience in using a high-precision electronic total station for deformation monitoring of hydraulic structures

Abstract. The article presents the results of monitoring deformation processes in the hydraulic structures of the Kapchagay Hydroelectric Power Plant (HPP), located in the Almaty Region of the Republic of Kazakhstan. The study is aimed at ensuring the safe operation of hydraulic structures through geodetic monitoring using modern technologies, including satellite systems and high-precision electronic total stations. The application of high-precision trigonometric leveling for determining vertical deformations is considered. It is established that, when appropriate measurement procedures are followed, modern automated electronic total stations provide the accuracy required for geodetic monitoring. Observations conducted along the deformation alignment of the Kapchagay HPP showed that the vertical refraction coefficient varies over time and tends to increase during the daytime. The results can be used to improve the operational safety of hydraulic structures and reduce risks associated with seismic activity in the region.

Key words: hydraulic structures, deformation monitoring, electronic total station, vertical deformations, vertical refraction, measurement accuracy.

Введение

Гидроэнергетика представляет собой значимый сектор стратегии Казахстана по диверсификации всего энергетического направления страны. В этом контексте особенно интересна Капчагайская ГЭС имени Ш. Чокина – единственная гидроэлектростанция на реке Или. Строительство основных сооружений гидроузла было начато в 1966 году, река Или была перекрыта 29 сентября 1969 года, первый гидроагрегат станции был пущен 22 декабря 1970 года, последний – 22 декабря 1971 года. В 1980 году строительство ГЭС было окончательно завершено.

Строительство Капчагайской ГЭС было необходимо для обеспечения развивающегося города Алматы и его городов-спутников недорогой электроэнергией. А в настоящее время она стала важным фактором в развитии города Конаева, способствуя формированию коммунальной, образовательной, медицинской и культурной инфраструктуры. Интенсивное развитие города Конаева, выражающееся в изменении его планировки, появлением новых крупных объектов и сооружений, а также безопасной эксплуа-

тации таких стратегических и ответственных инженерных сооружений, как Капчагайская ГЭС, достигается проведением геодезического мониторинга.

В этом отношении изучение геодинамического состояния урбанизированных территорий традиционными методами трудоемко и поэтому для таких участков исключительно необходим геодезический мониторинг с высокоточными приборами и они представляют значительный практический интерес.

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений является одной из важнейших задач современного инженерно-геодезического мониторинга. В процессе длительной эксплуатации гидротехнические объекты подвергаются воздействию комплекса природных и техногенных факторов, способных вызывать пространственные смещения и деформации отдельных конструктивных элементов. Своевременное выявление таких изменений позволяет оценить техническое состояние сооружения, определить тенденции развития деформационных процессов и принять необходимые меры по предупреждению аварийных ситуаций [1, 2].

Особое значение при мониторинге гидротехнических сооружений имеет контроль вертикальных перемещений. Традиционно для определения осадок применяется высокоточное геометрическое нивелирование, обеспечивающее необходимую точность измерений. Вместе с тем выполнение геометрического нивелирования на крупных гидротехнических объектах нередко связано со значительными трудовыми и временными затратами, а особенности расположения деформационных марок и условия эксплуатации сооружений могут существенно затруднять проведение измерений.

Развитие современных геодезических технологий и совершенствование электронных тахеометров высокой точности расширяют возможности применения тригонометрического нивелирования при деформационных наблюдениях. Автоматизация процесса измерения углов и расстояний, высокая точность современных приборов и возможность оперативной обработки результатов позволяют рассматривать высокоточное тригонометрическое нивелирование как перспективный метод определения вертикальных перемещений инженерных сооружений. Однако точность тригонометрического нивелирования в значительной степени зависит от влияния внешних условий. Одним из наиболее существенных факторов является вертикальная рефракция, обусловленная неоднородностью приземного слоя атмосферы и изменением температурного градиента воздуха. Влияние рефракции особенно заметно при высокоточных измерениях и может приводить к систематическим искажениям результатов определения превышений. В связи с этим исследование характера изменения коэффициента вертикальной рефракции и оценка его влияния на результаты измерений представляют значительный практический интерес [3, 4].

Целью настоящего исследования является оценка возможности применения высокоточного электронного тахеометра для определения вертикальных деформаций гидротехнических сооружений методом тригонометрического нивелирования и исследование влияния вертикальной рефракции на точность геодезических измерений.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на гидротехнических сооружениях Капчагайской гидроэлектростанции. Общий вид исследуемого гидротехнического сооружения представлен на рис. 1.

В качестве объекта экспериментальных исследований выбран деформационный створ, расположенный на трансформаторной площадке гидроузла. Существующая система геодезического контроля включает опорные и деформационные пункты, предназначенные для наблюдений за вертикальными перемещениями сооружения.

Для оценки возможности применения высокоточного тригонометрического нивелирования были выполнены сравнительные геодезические измерения. В качестве эталонного метода использовалось высокоточное геометрическое нивелирование. Измерения проводились цифровым нивелиром DiNi 0.3, обеспечивающим высокую точность определения превышений. Тригонометрическое



Рис. 1. Место расположения створной линии на трансформаторной площадке Капчагайской ГЭС.

Сурет 1. Қапшағай СЭС трансформаторлық алаңындағы створлық сызықтың орналасқан жері.

Figure 1. Location of the alignment line on the transformer site of the Kapchagay HPP.

нивелирование выполнялось высокоточным электронным тахеометром Leica TCR 1201+. Технические характеристики прибора позволяют проводить угловые и линейные измерения с высокой точностью, что является необходимым условием при определении малых вертикальных перемещений инженерных сооружений [5].

Результаты и обсуждение

Измерения выполнялись на пунктах деформационного створа по специально разработанной программе наблюдений. Схема расположения пунктов створа на трансформаторной площадке представлена на рис. 2.

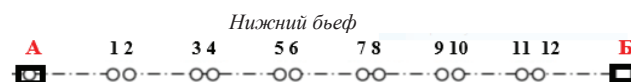


Рис. 2. Схема расположения пунктов створа на трансформаторной площадке.

Сурет 2. Трансформаторлық алаңдағы створ пункттерінің орналасу сұлбасы.

Figure 2. Layout of the alignment points on the transformer site.

Положение электронного тахеометра и визирных целей выбиралось с учетом обеспечения устойчивой линии визирования и минимизации влияния локальных препятствий на результаты измерений. При проведении экспериментальных работ особое внимание уделялось точности измерения вертикальных углов [6].

Наблюдения выполнялись многократными приемами при двух положениях вертикального круга тахеометра. Такой порядок измерений позволил снизить влияние инструментальных погрешностей и повысить надежность определения средних значений вертикальных углов.

Превышения между наблюдаемыми пунктами определялись методом тригонометрического нивелирования с учетом измеренного наклонного расстояния, вертикального угла, высоты прибора и высоты отражателя. Расчет превышений выполнялся по формуле (1):

$$k = 1 - \frac{2R}{S^2}(h - S \operatorname{tg} \alpha), \quad (1)$$

где R – радиус Земли (6371 км);

h – превышение между концами базиса из геометрического нивелирования, мм;

S – длина базиса, м;

α – измеренный угол наклона, в градусах.

Для оценки точности полученных результатов значения превышений, определенные методом тригонометрического нивелирования, сопоставлялись с результатами высокоточного геометрического нивелирования. Результаты геометрического нивелирования приведены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты геометрического нивелирования

Кесте 1
Геометриялық нивелирлеу нәтижелері

Table 1
Results of geometric leveling

Направление хода	Время, часы и мин	Число штативов	Превышение, мм	Среднее, мм
Прямо	7:30	7	+2057,0	2056,75
Обратно	18:20	8	- 2056,5	

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на точность высокоточного тригонометрического нивелирования, является вертикальная рефракция. Для исследования ее влияния проводились многократные наблюдения в течение дневного периода.

Коэффициент вертикальной рефракции определялся на основании результатов тахеометрических измерений и известных превышений между наблюдаемыми пунктами по формуле (2):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{S} - \frac{S}{2R}, \quad (2)$$

В процессе экспериментальных наблюдений фиксировалось время выполнения измерений, что позволило установить характер изменения коэффициента вертикальной рефракции в течение исследуемого периода. Полученные данные использовались для оценки устойчивости результатов тригонометрического нивелирования и определения условий выполнения высокоточных геодезических измерений [7].

Таким образом, примененная методика исследований основана на сравнительном анализе результатов высокоточного геометрического и тригонометрического нивелирования и позволяет оценить точностные возможности электронного тахеометра при мониторинге вертикальных деформаций гидротехнических сооружений.

Результаты выполненных экспериментальных исследований показали, что применение высокоточного электронного тахеометра позволяет определять превышения между пунктами деформационного створа с точностью, необходимой для решения задач геодезического монито-

ринга гидротехнических сооружений. Сравнение результатов тригонометрического нивелирования с данными высокоточного геометрического нивелирования показало хорошую согласованность полученных значений. Незначительные расхождения между результатами измерений обусловлены совокупным влиянием погрешностей измерения вертикальных углов, определения расстояний, установки прибора и отражателя, а также воздействием внешних атмосферных факторов [8].

Анализ многократных измерений вертикальных углов показал, что использование высокоточного электронного тахеометра Leica TCR 1201+ обеспечивает устойчивые результаты наблюдений. Выполнение измерений при двух положениях вертикального круга и определение среднего значения вертикального угла позволяют существенно уменьшить влияние инструментальных погрешностей. Вместе с тем экспериментальные исследования подтвердили, что одним из наиболее существенных факторов, ограничивающих точность тригонометрического нивелирования, является вертикальная рефракция. Изменение температурного состояния приземного слоя атмосферы приводит к искривлению визирного луча и, как следствие, к изменению измеряемого вертикального угла.

В ходе наблюдений установлено, что коэффициент вертикальной рефракции не является постоянной величиной и существенно изменяется в течение периода измерений. Полученные значения коэффициента находились в диапазоне от -0,14 до +0,81. Характер изменения коэффициента вертикальной рефракции в течение периода наблюдений представлен на рис. 3.

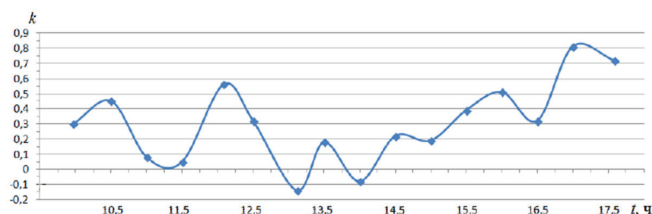


Рис. 3. Изменение коэффициента вертикальной рефракции в течение периода наблюдений.

Сурет 3. Бақылау кезеңіндегі тік рефракция коэффициентінің өзгеруі.

Figure 3. Variation of the vertical refraction coefficient during the observation period.

Анализ полученной зависимости показывает общую тенденцию к увеличению коэффициента вертикальной рефракции в дневное время. Это связано с изменением температурного градиента в приземном слое воздуха вследствие прогрева поверхности сооружения и прилегающей территории. При этом отдельные кратковременные колебания коэффициента могут быть обусловлены локальными изменениями метеорологических условий и неоднородностью воздушной среды вдоль линии визирования [9].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование постоянного значения коэффициента вертикальной рефракции при обработке высокоточных

тригонометрических измерений может приводить к дополнительным систематическим погрешностям. Поэтому при выполнении деформационного мониторинга гидротехнических сооружений необходимо учитывать фактическое изменение рефракционных условий в период наблюдений.

Для снижения влияния вертикальной рефракции целесообразно выполнять измерения в периоды относительно устойчивого состояния приземного слоя атмосферы. Кроме того, повышение надежности результатов может быть обеспечено многократными наблюдениями вертикальных углов, выполнением измерений при двух положениях вертикального круга и сокращением временного интервала между последовательными измерениями на пунктах деформационного створа. Сопоставление результатов высокоточного геометрического и тригонометрического нивелирования подтверждает возможность применения современных электронных тахеометров для определения вертикальных перемещений гидротехнических сооружений. При использовании соответствующей методики наблюдений и учете влияния вертикальной рефракции тригонометрическое нивелирование может рассматриваться как эффективный и оперативный метод геодезического деформационного мониторинга [10].

Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают перспективность использования высокоточных электронных тахеометров при мониторинге гидротехнических сооружений. Применение автома-

тизированных измерительных технологий позволяет повысить оперативность геодезических наблюдений и сократить трудоемкость полевых работ при сохранении требуемой точности определения вертикальных деформаций.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили возможность применения высокоточного электронного тахеометра для деформационного мониторинга гидротехнических сооружений.

1. Высокоточное тригонометрическое нивелирование обеспечивает определение вертикальных деформаций с точностью, достаточной для мониторинга гидротехнических сооружений.

2. Результаты тригонометрического нивелирования хорошо согласуются с данными высокоточного геометрического нивелирования, что подтверждает надежность метода.

3. На точность измерений существенное влияние оказывает вертикальная рефракция, коэффициент которой изменяется во времени и должен учитываться при обработке результатов.

4. Для повышения точности наблюдений рекомендуется выполнять многократные измерения, учитывать фактические рефракционные условия и проводить наблюдения при наиболее стабильном состоянии приземного слоя атмосферы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС / В. Г. Сальников [и др.] // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. – № 3. – С. 108–124 (на русском языке)
2. Правила технической эксплуатации гидротехнических сооружений водного хозяйства: приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 31.03.2015 г. № 19-4/286. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 30.06.2015 г. № 11478 (на русском языке)
3. СН РК 8.02-05-2020. Гидротехнические сооружения. Основные требования. – Нур-Султан: МИИР РК, 2020. – 68 с. (на русском языке)
4. Мониторинг деформационных процессов земной поверхности и объектов строительства на территории нефтяных месторождений / М. Nurpeisova [и др.] // Eurasian mining. – 2021. – №. 2. – С. 86–91 (на английском языке)
5. Постоянный пункт принудительного центрирования приборов: пат. РК № 10736 от 20.06.2025 / Мейрамбек Г., Нурпеисова М. Б., Рысбеков К. Б., Солтабаева С. Т., Ормамбеков Е. Ж., Кыргызбаева Д. М. (на русском языке)
6. Оценка состояния плотин при различных экологических условиях с применением методов мониторинга конструкций: обзор современного состояния / А. Sivasuriyan [и др.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Т. 29. – № 57. – С. 86180–86191 (на английском языке)
7. Исследование влияния метеорологических факторов на точность геодезических измерений / М. Б. Нурпеисова [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 6. – С. 18–24 (на русском языке)
8. Влияние метеорологических факторов на точность результатов мониторинга / М. Nurpeisova [и др.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – № 5. – С. 179–189 (на английском языке)
9. Свидетельство РК № 39036 о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты авторского права (произведения науки). Учет метеорологических факторов при мониторинге инженерных сооружений / Нурпеисова М. Б., Мынгжасаров Б., Кыргызбаева Д. М. – 14.10.2023 (на русском языке)

10. Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Геодезический мониторинг деформационных процессов Капчагайской гидроэлектростанции // *Материалы Международной научно-технической конференции «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании»*, Ташкент, 8–9 октября 2024 г. – С. 56–60 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гидроэлектр станцияларының гидротехникалық құрылыстарын мониторингтеуде заманауи автоматтандырылған геодезиялық аспаптарды қолдану / В. Г. Сальников [және т. б.] // *СГУГуТ хабаршысы*. – 2018. – Т. 23. – № 3. – Б. 108–124 (орыс тілінде)
2. Су шаруашылығы гидротехникалық құрылыстарын техникалық пайдалану қағидалары: Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрінің 2015 жылғы 31 наурыздағы № 19-4/286 бұйрығы. Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінде 2015 жылғы 30 маусымда № 11478 болып тіркелген (орыс тілінде)
3. ҚР ҚН 8.02-05-2020. Гидротехникалық құрылыстар. Негізгі талаптар. – Нұр-Сұлтан: ҚР ИИДМ, 2020. – 68 б. (орыс тілінде)
4. Мұнай кен орындары аумағындағы жер беті мен құрылыс нысандарының деформациялық процестерін мониторингтеу / М. Nurpeisova [және т. б.] // *Eurasian Mining*. – 2021. – № 2. – Б. 86–91 (ағылшын тілінде)
5. Патент ҚР № 10736, 20.06.2025 ж. Аспаптарды мәжбүрлі центрлеуге арналған тұрақты пункт / Мейрамбек Г., Нурпеисова М. Б., Рысбеков К. Б., Солтабаева С. Т., Орманбеков Е. Ж., Кыргызбаева Д. М. (орыс тілінде)
6. Құрылымдарды мониторингтеу әдістерін қолдана отырып, әртүрлі экологиялық жағдайларда бөгеттердің жай-күйін бағалау: қазіргі жағдайға шолу / А. Sivasuriyan [және т. б.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Т. 29. – № 57. – Б. 86180–86191 (ағылшын тілінде)
7. Метеорологиялық факторлардың геодезиялық өлшеулер дәлдігіне әсерін зерттеу / М. Б. Нурпеисова [және т. б.] // *Маркшейдерия және жер қойнауын пайдалану*. – 2023. – № 6. – Б. 18–24 (орыс тілінде)
8. Метеорологиялық факторлардың мониторинг нәтижелерінің дәлдігіне әсері / М. Nurpeissova [және т. б.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. – 2023. – № 5. – Б. 179–189 (ағылшын тілінде).
9. ҚР № 39036 куәлігі. Ғылым туындысы объектісіне құқықтар туралы мәліметтерді мемлекеттік тізілімге енгізу туралы. Инженерлік құрылыстарды мониторингтеу кезінде метеорологиялық факторларды есепке алу / Нурпеисова М. Б., Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д. М. – 14.10.2023 ж. (орыс тілінде)
10. Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Қапшағай гидроэлектр станциясының деформациялық процестерін геодезиялық мониторингтеу // «Жер қойнауын ұтымды және қауіпсіз пайдалануда цифрлық технологияларды қолдану перспективалары» халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының материалдары. – Ташкент, 8–9 қазан 2024 ж. – Б. 56–60 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Primenenie sovremennykh avtomatizirovannykh geodezicheskikh priborov dlya monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy GES [Application of Modern Automated Surveying Instruments for Monitoring Hydrotechnical Structures of Hydroelectric Power Plants]* V. G. Salnikov et al. *Vestnik SGUGiT [Bulletin of SSUGT]*. – 2018. – Vol. 23. – No. 3. – P. 108–124 (in Russian)
2. *Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii vodnogo khoziaistva. Prikaz Ministra sel'skogo khoziaistva Respubliki Kazakhstan ot 31.03.2015, No. 19-4/286. Zaregistrirovan v Ministerstve iustitsii Respubliki Kazakhstan 30.06.2015, No. 11478 [Rules for the Technical Operation of Hydrotechnical Structures of Water Management Facilities. Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 19-4/286 dated March 31, 2015. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on June 30, 2015, No. 11478]* (in Russian)
3. *SN RK 8.02-05-2020. Gidrotekhnicheskie sooruzheniia. Osnovnye trebovaniia [Hydrotechnical Structures. Basic Requirements]*. Nur-Sultan: MIIR RK, 2020. – 68 p. (in Russian)
4. *Monitoring of Deformation Processes of the Earth Surface and Construction Facilities in the Territory of Oil Fields* / M. Nurpeissova et al. // *Eurasian Mining*. – 2021. – No. 2. – P. 86–91 (in English)
5. *Patent RK No. 10736 dated 20.06.2025. Postoiannyi punkt prinuditel'nogo tsentrirovaniia priborov [Permanent Forced-Centering Point for Surveying Instruments]* / Meirambek, G., Nurpeisova, M.B., Rysbekov, K.B., Soltabaeva, S.T., Ormambekov, E.Zh., Kyrgyzbaeva, D.M. (in Russian)

6. *Health assessment of dams under various environmental conditions using structural health monitoring techniques: a state-of-the-art review* / A. Sivasuriyan et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29. – No. 57. – P. 86180–86191 (in English)
7. *Issledovanie vliyaniya meteorologicheskikh faktorov na tochnost' geodezicheskikh izmereniy* [Study of the Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Geodetic Measurements] M. B. Nurpeissova et al. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use]. – 2023. – No. 6. – P. 18–24 (in Russian)
8. *Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Monitoring Results* / M. Nurpeissova et al. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. – 2023. – No. 5. – P. 179–189 (in English)
9. *Svidetel'stvo Respubliki Kazakhstan No. 39036 o vnesenii svedenii v Gosudarstvennyi reestr prav na ob"ekty (proizvedeniia nauki). Uchet meteorologicheskikh faktorov pri monitoringe inzhenernykh sooruzhenii* [Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 39036 on the Entry of Information into the State Register of Rights to Objects (Scientific Works). Accounting for Meteorological Factors in the Monitoring of Engineering Structures] / Nurpeissova, M.B., Myngzhasarov, B., Kirgizbaeva, D.M. October 14, 2023 (in Russian)
10. Myngzhasarov, B., Kirgizbaeva, D., Ormanbekova, A., Nukarbekova, Zh. *Geodezicheskii monitoring deformatsionnykh protsessov Kapchagaiskoi gidroelektrostantsii* [Geodetic Monitoring of Deformation Processes at the Kapchagay Hydroelectric Power Plant] // In: *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Perspektivy primeneniia tsifrovyykh tekhnologii v ratsional'nom i bezopasnom nedropol'zovanii»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Prospects for the Application of Digital Technologies in Rational and Safe Subsoil Use»]. Tashkent, 8–9 October 2024. – P. 56–60 (in Russian)

Сведения об авторах:

Мыңжасаров Б., Ph.D докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University), (г. Алматы, Казахстан), bakha1000@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6912-23-03>

Айтказинова Ш. К., Ph.D, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан), sh.aitkazinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0964-3008>

Киргизбаева Д. М., Ph.D, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University), d.kirgizbaeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-5043-4275>

Милетенко Н. А., канд. техн. наук, ст. научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. А. Мельникова (г. Москва, Россия), nmilet@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9912-5529>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мыңжасаров Б., Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Айтказинова Ш. К., Ph.D, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдас. профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Киргизбаева Д. М., Ph.D, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдас. профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Милетенко Н. А., техника ғылымдарының кандидаты, академик Н. А. Мельников атындағы жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институтының аға ғылыми қызметкері (Мәскеу қ., Ресей)

Information about the authors:

Mingzhasarov B., Ph.D student, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Aitkazinova Sh. K., Ph.D Candidate of Technical Sciences, Professor at the K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Kirgizbayeva D. M., Ph.D Candidate of Technical Sciences, Professor at the K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Miletenko N. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Academician N. A. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (Moscow, Russia)