

Геодезическое обеспечение мониторинга Капчагайской гидроэлектростанции

Т. Б. Нурпеисова^{1✉}, Р. В. Шульц², Б. Мынгжасаров¹, О. Абил³

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

²Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM),
г. Дахран, Саудовская Аравия

³АО «Алматинские электрические станции» (АО «АлЭС»),
г. Алматы, Республика Казахстан

✉ t.nurpeisova@satbayev.university

Резюме. Приведены результаты мониторинга деформационных процессов гидротехнических сооружений Капчагайской гидроэлектростанции (ГЭС), находящейся в Алматинской области Республики Казахстан. Исследование направлено на обеспечение безопасной эксплуатации стратегических инженерных сооружений за счет проведения геодезического мониторинга с использованием современных технологий (спутниковые технологии, электронные и лазерные приборы), а также с использованием разработанных авторами средств измерений. Приведены рекомендации по совершенствованию методов геодезического мониторинга деформационных процессов Капчагайской ГЭС. Предложена усовершенствованная методика проведения геодезических работ и использования в них современных средств измерений. В результате проведенных научно-исследовательских работ созданы и внедрены в производство схема новой опорной геодезической сети Капчагайской ГЭС и опорный геодезический пункт принудительного центрирования, позволяющие повысить производительность и точность наблюдений. Новизна разработанной сети и конструкции пункта подтверждены патентами и свидетельствами РК.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, деформационные процессы, геодезический мониторинг, геодезические приборы, спутниковые системы, тригонометрическое нивелирование, высокоточные тахеометры, оценка точности

Благодарность, финансирование. Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP26198837).

Для цитирования: Нурпеисова Т.Б., Шульц Р.В., Мынгжасаров Б., Абил О. Геодезическое обеспечение мониторинга Капчагайской гидроэлектростанции. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 54-59. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-54-59>.

Geodetic support for monitoring the Kapchagay hydroelectric power plant

T. B. Nurpeisova^{1✉}, R. V. Shults², B. Myngzhasarov¹, O. Abil³

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM),
Dhahran, Saudi Arabia

³Almaty Electric Power Stations Joint Stock Company (AIES JSC)
Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ t.nurpeisova@satbayev.university

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive investigation of the spatial and temporal deformation behavior of hydraulic structures at the Kapchagay Hydroelectric Power Plant located in a seismically active region of southeastern Kazakhstan. The research focuses on improving operational reliability through the implementation of an advanced geodetic monitoring framework integrating GNSS observations, robotic total stations, laser measurement technologies, and an original benchmark stabilization

concept. A redesigned local geodetic reference network was developed to ensure long-term stability of control points and to reduce systematic and centering errors. A newly engineered deep-foundation forced-centering benchmark was introduced into operational practice, significantly enhancing coordinate determination accuracy and measurement reproducibility.

The innovative character of the proposed network configuration and benchmark system is confirmed by patents issued in the Republic of Kazakhstan

Keywords: hydraulic structures, deformation processes, geodetic monitoring, geodetic instruments, satellite systems, trigonometric leveling, high-precision tacheometers, accuracy assessment

Acknowledgments, Financing. This study was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (GF IRN No. AP26198837).

For citation: Nurpeisova T.B., Shults R.V., Myngzhasarov B., Abil O. Geodetic support for monitoring the Kapchagay hydroelectric power plant. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 54-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-54-59>.

Введение

Капчагайская гидроэлектростанция (ГЭС) является важным объектом энергетической инфраструктуры Казахстана. Надежность ее функционирования напрямую зависит от состояния гидротехнических сооружений, что делает регулярный мониторинг ключевым элементом обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации. Гидроэнергетика представляет собой значимый сектор стратегии Казахстана по диверсификации всего энергетического направления страны.

Строительство Капчагайской ГЭС было необходимо для обеспечения развивающегося города Алматы и ее городов-спутников недорогой электроэнергией. В настоящее время она стала важным фактором в развитии города Конаева, способствуя формированию коммунальной, образовательной, медицинской и культурной инфраструктур. Интенсивное развитие города Конаева, выражающееся в изменении его планировки появлением новых крупных объектов и сооружений, а также безопасной эксплуатации таких стратегических и ответственных инженерных сооружений, как Капчагайская ГЭС, достигается проведением геодезического мониторинга. В этом отношении изучение геодинимического состояния урбанизированных территорий традиционными методами трудоемко, поэтому для таких участков исключительно необходим геодезический мониторинг с высокоточными приборами. 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.

Методы исследования

Обеспечение безопасной эксплуатации таких стратегических инженерных сооружений достигается проведением комплексного мониторинга с использованием GPS-технологий, электронного тахеометра, наземного сканирования, а также автоматизированных методов и средств наблюдений с соблюдением ряда условий.

Литературный обзор

При ведении геодезического мониторинга инженерных сооружений, в том числе гидротехнических, применяются разнообразные методы и средства измерений. Для наблюдения горизонтальных смещений успешно применяются GPS-технологии, электронные, лазерные и георадарные приборы, датчики и др. [1–4]. Строительство ГЭС, как и строительство любых других сооружений, требует создания опорной геодезической сети. Геодезическая сеть при строительстве гидротехнических сооружений должна быть создана в единой системе координат и иметь повышенную точность позиционирования пунктов. Опорные пункты геодезической сети должны быть расположены с учетом конфигурации наблюдаемого объекта. Важным моментом в проведении данных работ было использование при мониторинге современных приборов и различных средств контроля [5, 6].

Согласно правилам, утвержденным приказом Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, от 31 марта 2015 года № 19-4/286, гидротехнические сооружения, которые эксплуатируются более 25 лет, подлежат обязательному ежегодному многофакторному обследованию. Эти мероприятия направлены на выявление потенциальных рисков и поддержание безопасной эксплуатации объектов.

В Республике Казахстан также наблюдается активное развитие методов мониторинга деформаций ГТС. Согласно современным нормативным документам, таким как СН РК 8.02–05–2020 «Гидротехнические сооружения. Основные требования», эксплуатация гидротехнических сооружений предусматривает регулярный инструментальный контроль пространственных изменений элементов конструкций и своевременное проведение диагностических мероприятий. Данные нормы устанавливают обязательность многофакторных обследований, включая оценку деформаций, состояния несущих конструкций, а также влияние климатических и гидрологических факторов [7–9].

Результаты и обсуждения

Для выполнения мониторинга гидротехнического сооружения на его территории в 2024 году была создана геодезическая основа из 6 пунктов. Вся работа была выполнена GPS-системой, для сравнения результатов использован электронный тахеометр TCR1200 фирмы Leica Geosystem. От пунктов государственной геодезической сети Капчагай и Илийск были произведены измерения горизонтальных углов и базисных расстояний с предельными значениями невязок в треугольниках не более 5". Координаты геодезической основы определены в местной, а высотные – Балтийской системе.

На рисунке 1 приведена схема измерений на пунктах Государственной геодезической сети (ГГС) Капчагай и Илийск при определении координат опорных пунктов ОП-1, ОП-2, ОП-3 и ОП-4, расположенных в местах, обеспечивающих наиболее благоприятные условия для спутниковых измерений.

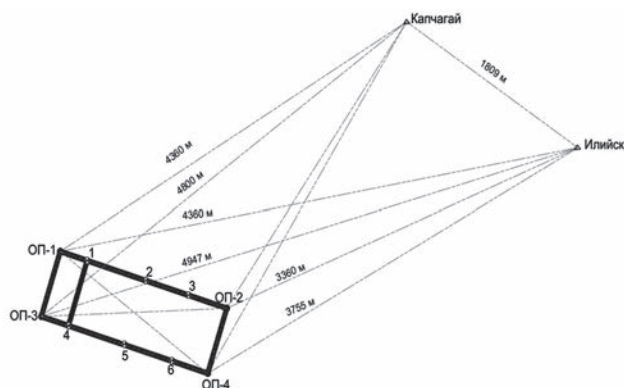


Рис. 1. Схема определения координат опорных пунктов гидроэлектростанции /

Fig. 1. Scheme for determining the coordinates of hydroelectric power station control points

Современный подход к геодезическому мониторингу гидротехнических сооружений основан на комплексном использовании GNSS-наблюдений, роботизированной тахеометрии, лазерного сканирования, сенсорных систем и современных алгоритмов обработки данных. Все это соответствует требованиям действующих нормативных документов Республики Казахстан, регламентирующих обязательный контроль состояния ГТС, и подтверждает актуальность совершенствования методов мониторинга Капчагайской ГЭС. При мониторинге деформационных процессов Капчагайской ГЭС в качестве постоянных опорных была предложена новая конструкция геодезических пунктов принудительного центрирования (ГППЦ), отвечающая стандартам нормативной литературы [14]. ГППЦ представляет собой железобетонную сваю длиной 12 метров (рис. 2), устанавливаемую в выбранном месте на промплощадке [10, 11].

С учетом требований ГКИНП (ГНТА)-19-024-09, климатических условий района работ, согласно СП РК 2.04-01-2017 «Строительная климатология», результатов расчета глубины сезонного промерзания грунтов и особенностей применения GNSS-приемников разработан конструктивный вариант геодезического пункта для узлового репера, обеспечивающий устойчивость измерительной базы при выполнении мониторинговых наблюдений. Конструктивная схема пункта приведена на рисунке 2.

Для обеспечения стабильности исходной геодезической основы в условиях сезонного промерзания грунтов и техногенных воздействий разработана и внедрена конструкция геодезического репера повышенной устойчивости. Конструкция ориентирована на многократное выполнение статических GNSS-наблюдений и геометрического нивелирования при обеспечении принудительного центрирования и воспроизводимости геометрии установки измерительного оборудования, что является критически важным условием для корректной регистрации деформаций малой амплитуды.

Репер предусматривает заглубление до 3,2 м от дневной поверхности, что обеспечивает размещение якорной части

ниже зоны сезонного промерзания грунтов, и имеет надземную часть высотой 1,0 м.

В верхней части конструкции установлен узел принудительного центрирования с резьбовой маркой 5/8", обеспечивающий высокоточное позиционирование GNSS-приемников и других геодезических приборов. Для выполнения высотного контроля на репере предусмотрена нивелирная марка, расположенная на фиксированной высоте 0,3 м от дневной поверхности.

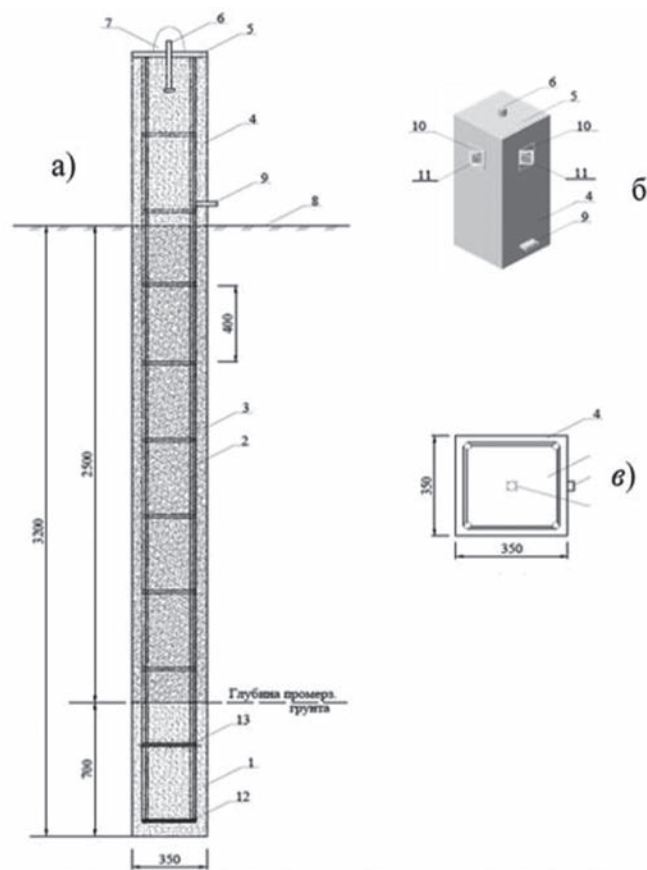


Рис. 2. Конструктивный вариант геодезического пункта для узлового

репера на ТГДП: а – вид геодезического пункта в продольном разрезе;

б – верхняя часть, выступающая над поверхностью земли, вид с боку;

в – верхняя часть опоры, выступающая над поверхностью земли, вид сверху. 1 – опора; 2 – металлическая конструкция из арматуры;

4 – арматура; 3 – металлическая армировка; 4 – бетонный пилон;

5 – металлическая рама; 6 – центр с резьбой; 7 – резиновый колпачок;

8 – земная поверхность; 9 – торцевая марка; 10 – металлические пластины для наклеивания отражательной марки; 11 – отражающие марки;

12 – бетонный раствор; 13 – якорь /

Fig. 2. Structural variant of geodetic point for nodal benchmark on TGDP:

a – view of geodetic point in longitudinal section; b – upper part protruding above

ground surface, side view; c – upper part of support protruding above ground

surface, top view. 1 – support; 2 – metal structure made of 4 reinforcement bars;

3 – metal reinforcement; 4 – concrete pylon; 5 – metal frame;

6 – threaded center; 7 – rubber cap; 8 – earth's surface; 9 – end mark;

10 – metal plates for gluing reflective mark; 11 – reflective marks;

12 – concrete solution; 13 – anchor

Разработанная конструкция защищена патентом Республики Казахстан [12] и применяется при мониторинговых наблюдениях на участке техногенного геодинамического полигона. Использование данного репера позволяет снизить трудоемкость и стоимость устройства геодезических пунктов при одновременном повышении устойчивости измерительной базы и снижении ошибок центрирования и определения

высоты инструмента по сравнению с типовыми пунктами спутниковой геодезической сети.

На основе проведенных геодезических измерений геодезическая служба Капчагайской ГЭС была обеспечена опорными пунктами, координаты которых определены с высокой точностью (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1
Определенные координаты опорных пунктов /
Defined coordinates of control points

Название пунктов	Координаты		
	X	Y	H
ОП-1	9 932.883	5 772.581	484,448
ОП-3	9 426.282	5 536.157	484,364
ОП-2	9 292.339	5 173.581	484,452
ОП-4	8 779.933	6 918.410	484,384

Для анализа точности измерений, выполненных спутниковыми приемниками GPS, были проведены измерения электронным тахеометром TS16. Сравнительный анализ выполненных измерений (табл. 2) показал, что точность спутниковых измерений практически совпадает с точностью измерений электронным тахеометром.

Таблица 2 / Table 2
Сравнительный анализ спутниковых и линейных измерений /
Comparative analysis of satellite and linear measurements

От пункта	До пункта	Статический метод Trimble R10	Тахеометр. ход. Leica TS16	dS, м	Относительная погрешность
ОП-1	Капчагай Kapchagay	4360.5802	4360.583	-0.0028	1/1453476
ОП-1	Илийск Ilyysk	4669.0468	4669.047	-0.0002	1/1169115
ОП-3	Илийск Ilyysk	4947.2836	4947.285	-0.0014	1/989558
ОП-2	Капчагай Kapchagay	3552.2887	3552.286	0.0027	1/1700946
ОП-2	Илийск Ilyysk	3360.8790	3360.881	-0.002	1/3200589
ОП-4	Капчагай Kapchagay	4095.8684	4095.865	0.0034	1/2264294
ОП-4	Илийск Ilyysk	3755.5918	3755.589	0.0028	1/1173488
Примечание – среднеквадратическая погрешность				-0.0025	

GPS-технологии обрабатывают сигналы, полученные со спутников в глобальной системе позиционирования. Резуль-

татом является определение базовых линий (приращений координат точек по результатам спутниковых определений) в геоцентрической системе координат [13, 14].

На основании обработки полученных результатов установлено, что средние квадратические ошибки, вычисленные по отклонениям от среднего значения длин линий, составили для различных пар приемников от 0,8 до 1,1 мм.

По программе мониторинга деформации Капчагайской ГЭС в 2025 и 2026 годах мониторинг проводился с периодичностью 1 месяц в течение года, далее по результатам измерений не обнаружилось критических деформаций, соответственно, периодичность уменьшили [15]. Вышеперечисленные способы и методы были опробованы при мониторинге Капчагайской ГЭС.

Выводы

1. Комплексный мониторинг является ключевым инструментом для обеспечения безопасности и эффективной эксплуатации инженерных сооружений. Он позволяет следить за деформациями и перемещениями сооружений в реальном времени, обнаруживать возможные угрозы и риски, связанные с их состоянием, и предпринимать своевременные меры по предотвращению аварийных ситуаций.

2. Применение фундаментальных скальных реперов, грунтовых марок и пунктов принудительного центрирования обеспечивает высокий уровень точности измерений и минимизацию погрешностей. Сложившаяся геодезическая сеть предоставляет надежную основу для регулярного мониторинга, а применение геометрического нивелирования II класса точности позволяет оперативно выявлять даже минимальные отклонения в планово-высотных координатах.

3. Результаты мониторинга играют ключевую роль в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений. Они позволяют своевременно выявлять возможные риски, разрабатывать рекомендации по укреплению и модернизации конструкций, а также продлевать срок их безопасной эксплуатации.

4. В результате проведенных научно-исследовательских работ создан и внедрен в производство разработанный опорный геодезический пункт принудительного центрирования, позволяющий повысить производительность и точность наблюдений.

5. Практическая значимость работы заключается в использовании результатов исследования в диссертационных работах магистрантов, докторантов, в учебном процессе Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, также могут быть использованы для повышения уровня производственной безопасности на других строительных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Генике А.А., Черненко В.Н. Исследование деформационных процессов Загорской ГАЭС спутниковыми методами. *Геодезия и картография*. 2010; 5: 20-25.
Genike A.A., Chernenko V.N. Study of deformation processes of Zagorsk pumped storage power plant by satellite methods. *Geodesy and cartography*. 2010; 5: 20-25. (In Russ.).
- Никонов А.В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики. *Вестник СГГА*. 2013; 4 (24): 12-18.
Nikonov A.V. Features of application of modern geodetic instruments in monitoring the settlement and deformation of buildings and structures of energy facilities. *Bulletin of the SGGa*. 2013; 4 (24): 12-18. (In Russ.).
- Хиллер Б., Сухов И.В., Ли В.Т. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС. *Гидротехника*. 2015; 2: 12-15.

- Hiller B., Sukhov I.V., Li V.T. Automated deformation monitoring system (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station. *Hydrotechnics*. 2015; 2: 12-15. (In Russ.).
4. Левитин Р.Е., Аксенов С.Е., Ульянкин Н.С., Терешонок А.П. Геодезический мониторинг деформаций надземных трубопроводов при использовании беспилотных летательных аппаратов в труднодоступных арктических районах. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024; 5: 114-119. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.
Levitin R.E., Aksenov S.E., Ulyankin N.S., Tereshonok A.P. Geodetic monitoring of deformations of aboveground pipelines using unmanned aerial vehicles in hard-to-reach Arctic regions. *Mine surveying and subsurface use*. 2024; 5: 114-119. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.
5. Скрипников В.А., Скрипникова М.А. К вопросу проектирования схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических. *ГЕО-Сибирь-2010. Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 1: сб. материалов VI Международного научного конгресса «ГЕОСибирь-2010»*, 19-29 апр. 2010 г. Новосибирск, 2010: 60-62.
Skrpnikov V.A., Skripnikova M.A. On the issue of designing schemes of planned justification for determining horizontal displacements of hydraulic engineering structures. *GEO-Siberia-2010. Vol. 1: Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying. Part 1: collection of materials. VI Int. scientific congress "GEO-Siberia-2010"*, April 19-29, 2010. Novosibirsk, 2010: 60-62. (In Russ.).
6. Нурпеисова М.Б., Шульц Р., Мынжасаров Б. Совершенствование методики создания геодезической сети при строительстве гидротехнических сооружений. *Сб. материалов Международной научной школы академика К. Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»*. Москва, 2020: 256-259.
Nurpeisova M.B., Shchulz R., Myngzhasarov B. Improving the methodology for creating a geodetic network during the construction of hydraulic structures. *Collection of materials from the International Scientific School of Academician K. N. Trubetskoy, "Problems and Prospects of Integrated Development and Conservation of the Earth's Subsoil"*, Moscow, 2020: 256-259. (In Russ.).
7. Правила технической эксплуатации гидротехнических сооружений водного хозяйства: Приказ министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 19-4/286. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 30 июня 2015 года № 11478. *Казахстанская правда*. 2016; 37.
Rules for the Technical Operation of Hydrotechnical Structures of the Water Management Sector. Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 19-4/286 dated March 31, 2015. Registered in the Ministry of Justice of Kazakhstan on June 30, 2015, No. 11478. Kazakhstanskaya Pravda. 2016; 37. (In Russ.).
8. СН РК 8.02-05-2020. Гидротехнические сооружения. Основные требования. Нур-Султан, 2020: 68.
SN RK 8.02-05-2020. *Hydrotechnical Structures. General Requirements*. Nur-Sultan, 2020: 68. (In Russ.).
9. СН РК 2.03-30-2017. Строительные конструкции. Основные положения. Астана, 2017: 92.
SN RK 2.03-30-2017. *Building Structures. General Provisions*. Astana: Ministry of Construction of the Republic of Kazakhstan, 2017: 92. (In Russ.).
10. Nurpeisova M., Burkhanov B., Myngzhasarov B., Kulibaba S. Monitoring of deformation processes of the earth surface and construction facilities in the territory of oil fields. *Eurasian mining*. 2021; 2: 86-91. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.18>.
11. Шоломицкий А.А., Ханнанов Р.Р., Тутанова М.С. Методика геодезического мониторинга за насыпными гидротехническими сооружениями. *Вестник СГУГиТ*. 2023; 28 (5): 25-31. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-5-25-32>.
Sholomitsky A.A., Khannanov R.R., Tutanova M.S. Methodology for Geodetic Monitoring of Embankment-Type Hydrotechnical Structures. *Vestnik SSUGT*. 2023; 28 (5): 25-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-5-25-32>.
12. Патент РК № 10736 от 20.06.2025 «Постоянный пункт принудительного центрирования приборов» (авторы: Мейрамбек Г., Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б., Солтабаева С.Т. Ормамбеков Е.Ж., Киргизбаева Д.М.).
Patent of the Republic of Kazakhstan No. 10736 dated 20.06.2025. *Permanent Forced-Centering Benchmark Point* (Authors: Meirambek G., Nurpeisova M.B., Rysbekov K.B., Soltabayeva S., Ormambekov E.Zh., Kyrgyzbaeva D.M.). (In Russ.).
13. Nurpeisova M., Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D., Nukarbekova Zh. *Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Monitoring Results. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. 2023; 5: 179-189. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.341>.
14. Свидетельство РК №39036 о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты (произведение науки). Учет метеорологических факторов при мониторинге инженерных сооружений / Нурпеисова М.Б., Мынжасаров Б., Киргизбаева Д.М. от 14.10.2023 г.
Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 39036 (14.10.2023). *Accounting for Meteorological Factors in Monitoring Engineering Structures*. Authors: Nurpeisova M. B., Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D. M. (In Russ.).
15. Мынжасаров Б., Киргизбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Геодезический мониторинг деформационных процессов Капчагайской гидроэлектростанции. *Международная научно-техническая конференция «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании»*. Ташкент, 2024; 86-91.
Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D., Ormanbekova A., Nukarbekova Zh. Geodetic Monitoring of Deformation Processes at the Kapchagay Hydroelectric Power Station. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Prospects for the Use of Digital Technologies in Rational and Safe Subsoil Use"*. Tashkent, 2021; 86-91. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Толеужан Байболовна Нурпеисова –
канд. техн. наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>;
e-mail: t.nurpeisova@satbayev.university

ABOUT THE AUTHORS

Toleuzhan B. Nurpeisova –
Cand. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>;
e-mail: t.nurpeisova@satbayev.university

Роман Владимирович Шульц –

д-р техн. наук, профессор, научный сотрудник Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM), г. Дахран, Саудовская Аравия;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>;
 e-mail: shultsrv@gmail.com

Roman V. Shults -

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Faculty Member, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM), Dhahran, Saudi Arabia; e-mail: shultsrv@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>;
 e-mail: shultsrv@gmail.com

Бахытжан Мынгжасаров –

PhD докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), Республика Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0001-6912-2303>
 e-mail: bakha1000@gmail.com;

Bakhytzhany Myngzhasarov –

PhD student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-6912-2303>;
 e-mail: bakha1000@gmail.com

Олжас Абил –

магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), Республика Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
 e-mail: o.abil@mail.ru

Olzhas Abil –

Master's Student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
 e-mail: o.abil@mail.ru

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.07.2026
 Поступила после рецензирования: 12.08.2026
 Принята к публикации: 17.08.2026

Article info

Received: 19.07.2026
 Revised: 12.08.2026
 Accepted: 17.08.2026