

Код МРНТИ 36.01.81

А.Е. Ормамбекова<sup>1</sup>, Р. Шульц<sup>2</sup>, \*Д.М. Киргизбаева<sup>1</sup>, Т.Б. Нурпейсова<sup>1</sup><sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Университет нефти и полезных ископаемых имени короля Фахда (г. Дахран, Саудовская Аравия)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ИЗМЕРЕНИЙ ГНСС

**Аннотация.** В данном исследовании представлен инновационный метод мониторинга высотных сооружений, который основан на использовании неметрических камер и QR-кодированных мишеней с интеграцией глобальных навигационных спутниковых систем. Эта система характеризуется своей доступностью и возможностями, основанными на машинном зрении, что делает ее особенно подходящей для мониторинга различных инженерных объектов, включая высотные здания. Основой подхода является принцип относительных измерений, который применяется для определения смещений между парами изображений, полученных с неметрических камер, организованных во взаимосвязанные цепочки. Для обработки последовательностей изображений была реализована программа MatLab, использующая алгоритм фазовой корреляции. Проведенный анализ экспериментальных данных подтвердил, что предложенный метод способен обеспечить необходимую точность мониторинга.

**Ключевые слова:** мониторинг деформации, ГНСС, машинное зрение, точность мониторинга, QR-мишень, фазовая корреляция.

### ЖНСЖ өлшемдерін қоса алғандағы биік құрылыстарды бақылаудың автоматты жүйесінің тиімділігін бағалау

**Андатпа.** Бұл зерттеу метрикалық емес камераларды және ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді біріктіру арқылы QR-кодталған нысаналарды пайдалануға негізделген биік құрылымдарды бақылаудың инновациялық әдісін ұсынады. Бұл жүйе қол жетімділігімен және машиналық көру қабілетімен сипатталады, және де әртүрлі инженерлік нысандарды, соның ішінде көп қабатты ғимараттарды бақылауға өте қолайлы етеді. Тәсілдің негізі өзара байланысты тізбектерге ұйымдастырылған метрикалық емес камералардан алынған кескін жұптары арасындағы ығысуларды анықтау үшін қолданылатын салыстырмалы өлшеу принципі болып табылады. Кескін тізбегін өңдеу үшін фазалық корреляция алгоритмін қолдана отырып, MatLab платформасындағы бағдарлама арқылы жүзеге асырылды. Эксперименттік деректерді талдау ұсынылған әдіс қажетті бақылау дәлдігін қамтамасыз ете алатындығын растады.

**Түйінді сөздер:** деформация мониторингі, ЖНСЖ, машиналық көру, бақылау дәлдігі, QR нысаны, фазалық корреляция.

### Automatic observation system efficiency assessment for high-rise structures including GNSS measurements

**Abstract.** Study presents an innovative method for monitoring high-rise structures, based on the non-metric cameras use and QR coded targets with global navigation satellite systems integration. System is characterized by accessibility and machine vision-based capabilities, making it particularly suitable for monitoring various engineering structures, including high-rise buildings. The approach is based on the relative measurements principle, applied to determine the displacements between images acquired pairs from non-metric cameras organized in interconnected chains. A program on MatLab platform using phase correlation algorithm was implemented to process the image sequences. Analysis experimental data confirmed that proposed method can provide the necessary monitoring accuracy.

**Key words:** deformation monitoring, GNSS, machine vision, monitoring accuracy, QR target, phase correlation, phase correlation.

### Введение

Современное развитие материального производства, технологий строительства, их автоматизация, рост цен на землю в крупных городах привели к новому подходу к строительству и монтажу сложных геометрических конструкций, особенно высотных зданий. Этот факт усложняет задачу мониторинга здания в связи с необходимостью создания сети мониторинга датчиков, применением различных видов измерительной аппаратуры, а также высокой частотой наблюдений для получения и изучения кинематических и динамических свойств конструкции [1]. С другой стороны, наличие такой системы мониторинга позволит работать удаленно, без трудоемких полевых работ и дорогостоящего оборудования. Другими словами, среди различных видов мониторинга зданий важную роль играет наблюдение за геометрическими параметрами или мониторинг деформаций. Изменение геометрии здания приводит к снижению его функциональной определенности, возникновению и распространению трещин, что может привести к обрушению конструкции. Воздействие таких внешних нагрузок, как ветер, снег, лед, солнечная радиация, неустойчивый фундамент и т. д., приводит к колебаниям, кручению конструкций, их изгибу и крену [2]. Эти параметры могут менять свои значения ежедневно и сезонно и вызывать пространственные смещения на уровне десятков сантиметров. Рассмотрены геометрические

параметры деформации, которые необходимо определить при мониторинге деформаций высотного здания.

Наблюдения только с помощью ГНСС не способны точно отразить процесс деформации. Поэтому ГНСС в первую очередь следует рассматривать как дополнительный источник данных для определения вертикального смещения конструкции. Однако для понимания причин этих смещений и получения более полной картины деформационного процесса необходимо проводить дополнительные измерения вдоль конструкции. Простым способом преодоления ограничений ГНСС является интеграция этой технологии с другими геодезическими или негеодезическими методами и оборудованием [3, 4].

В геодезии разработано множество методов для измерения деформаций конструкций в заданных направлениях. Наибольшее распространение получили наземные геодезические измерения, спутниковые технологии и фотограмметрия. К основным методам относятся спиртовое и гидростатическое нивелирование, а также тахеометры для определения пространственных перемещений. Другие методы включают наземное лазерное сканирование и радиолокационную интерферометрию. Хотя эти технологии хорошо изучены, они трудоемки, требуют квалифицированного персонала и плохо автоматизируются [5].

Для повышения эффективности мониторинга деформаций, ГНСС был успешно интегрирован с наземными

геодезическими методами и датчиками. Несмотря на высокую частоту наблюдений, применение ГНСС ограничено количеством точек и необходимостью открытого неба для спутников. Для решения этих проблем ГНСС объединяется с другими датчиками, такими как акселерометры и инклинометры. Кроме того, ГНСС используется в фотограмметрии, где изображения служат основным источником данных для анализа смещений высотных зданий [6].

На основе проведенного анализа предложено установить недорогие цифровые камеры, работающие в автоматизированном режиме, организованные во взаимосвязанную систему. ГНСС будет использоваться как дополнительный источник данных для внешней привязки и управления. Система будет проста в установке и эксплуатации, обеспечивая высокую надежность благодаря резервированию измерений и не требуя профессионального обслуживания, а также возможна интеграция в BIM [7].

Целью исследования является представление концепции системы наблюдения на основе машинного зрения с использованием ГНСС. Система включает фотограмметрию для калибровки изображений, компьютерное зрение для их обработки, геодезию для присвоения координат и корректировочный расчет для анализа результатов. Этот подход позволяет получить комплексную информацию о деформации конструкции, снижая ошибки и повышая точность определения перемещений. Для более эффективного мониторинга рекомендуется размещать системные цепи вдоль главных осей конструкции [8].

### Материалы и методы исследования

Предложенный метод позволяет определять изменение геометрических параметров конструкции под воздействием внешних факторов или нагрузок и в дальнейшем прогнозировать перемещения в заданную эпоху наблюдений. Подход основан на принципе относительных измерений, реализованном для нахождения смещений между парами изображений с неметрических камер, организованных в систему взаимосвязанных цепочек. Предложено определять смещения между изображениями для разных эпох с помощью алгоритма фазовой корреляции, обеспечивающего быстродействие решения и достоверные результаты. Был подготовлен экспериментальный стенд и проведена серия измерений для моделирования работы одной цепи систем наблюдения на основе машинного зрения. Реализована программа обработки последовательности изображений в среде программирования MatLab с использованием алгоритма фазовой корреляции. Проведен анализ результатов эксперимента. Результаты анализа позволили сделать вывод о том, что предложенный подход может быть успешно реализован при соблюдении требований к точности мониторинга. Проведено моделирование работы системы наблюдения на основе машинного зрения с оценкой точности. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность предложенной системы [8].

### Результаты исследования и обсуждение

Экспериментальная методика исследований сводилась к следующим этапам:

1) Моделирование деформаций объекта в лабораторных условиях.

2) Проведение экспериментальной апробации цикла методики:

- сбор геопространственной информации о высотных объектах машинного зрения с помощью ГНСС;

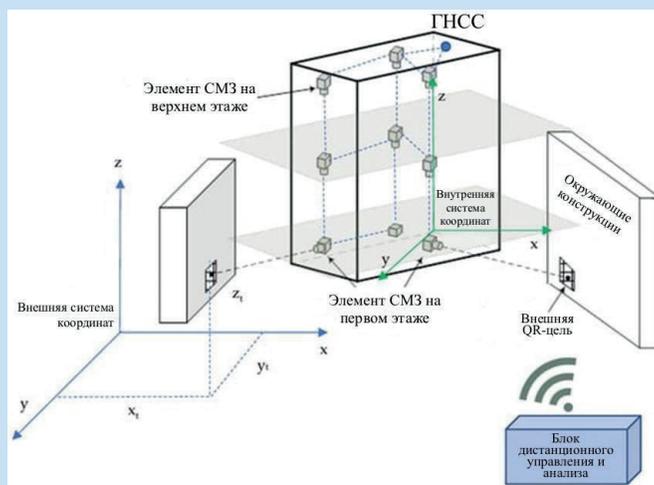
- представление данных ГНСС в виде цифровой модели (на 1 цикле наблюдений);

- кластеризация данных машинного зрения с помощью ГНСС для ведения мониторинга деформационных процессов;

- создание ортоизображений для визуальной оценки конструктивных изменений и выявления локальных зон деформирования.

3) Сбор и анализ результатов.

В рамках предложенной идеи датчики системы наблюдения машинного зрения разместили вдоль взаимно перпендикулярных осей и плоскостей контролируемой конструкции, как показано на рис. 1. Такая конфигурация позволит на этапе анализа данных различать эффекты кручения, прогиба и крена, что является важной задачей при мониторинге высотных зданий [4]. Конструктивная концепция системы включает в себя определение как относительных, так и абсолютных перемещений. Для контроля абсолютных перемещений необходимо установить внешнюю систему координат, которая фиксируется с помощью целей, размещенных на стабильных окружающих объектах, а также с использованием ГНСС-наблюдений на вершине здания. Координаты этих целей определяются с помощью измерений тахеометра или, в некоторых случаях, с помощью ГНСС.



**Рис. 1. Общая концепция системы наблюдения на основе машинного зрения и его установки.**  
**Сурет 1. Машиналық көру және оны орнату негізінде бақылау жүйесінің жалпы тұжырымдамасы.**  
**Figure 1. General concept of machine vision based surveillance system and its installation.**

Каждый датчик системы включает в себя QR-цель, карту памяти, блок обработки изображений, блок передачи данных и длиннофокусную линзу. Эти компоненты могут быть расположены по-разному в зависимости от место-

положения датчика. Кроме стандартных модулей, камера должна иметь модуль для быстрой передачи данных, позволяющий передавать изображения со всех датчиков. В качестве мишени предлагается использовать QR-код со встроенными светодиодами, что повысит его видимость и позволит включить в код необходимую информацию, такую как идентификатор цели и координаты.

Датчики могут быть организованы в цепочку двумя способами: «датчик к датчику» или «датчик – цель – датчик». В соответствии с предложенными схемами размещения, каждая пара датчик-мишень считается отдельной цепочкой, независимо от того, где расположена цель (на камере или отдельно). В первом варианте наблюдения ведутся от датчика к датчику, каждый из которых оснащен QR-мишенью. Эта схема подходит для небольших сооружений; в противном случае рекомендуется более сложная схема наблюдения, при которой датчики связаны с помощью двусторонних QR-мишеней. В любом случае, на первой эпохе наблюдений датчики и цели должны быть выровнены по горизонтали и вертикали. Система машинного зрения может быть встроена в коммуникационные линии здания или установлена снаружи и соответствующим образом защищена от пыли и влаги.

Так как в предлагаемом методе мониторинга используются цифровые камеры, необходимо изучить технические характеристики оптической системы для оценки влияния расстояния между датчиками или между датчиком и QR-мишенью. QR-мишень должна быть четко видна, поэтому разрешение изображения имеет большое значение.

Размер видимой области изображения и разрешение камеры зависят от различных параметров, таких как расстояние до объекта и характеристики объектива. Если смотреть через камеру, она фиксирует только определенную часть сцены, называемую видимой областью. Угол, под которым камера видит эту область, можно рассчитать с помощью формулы. Однако для прямоугольных изображений использовать угол обзора не всегда правильно, так как пиксели могут искажаться. Разрешение камеры, то есть как четко она может видеть детали, зависит от размеров матрицы (пикселей) и расстояния до объекта. В реальности на качество изображения влияют не только параметры матрицы, но и объектив камеры, который может снижать четкость. Чтобы качественно увидеть объект, его размер должен составлять как минимум три пикселя. Так же производился расчет ошибок в разрешении при различных расстояниях до объекта. Таким образом, важно учитывать все эти аспекты, чтобы правильно оценить качество изображения, получаемого с помощью камеры.

Для определения смещения цели в изображении используется метод, при котором каждое новое изображение, полученное с камеры, принимается за эталонное. В качестве входного изображения используется шаблон отслеживаемой цели.

Первоначально на первом изображении определяется центр цели, обозначая его координатами. Затем, когда камера делает новые снимки, определяем центр цели на каждом из этих изображений. Сравнивая положение центра на эталонном изображении и на новых изображениях, можно определить, насколько сместилась цель в ко-

ординатной системе изображения. Это позволяет понять, в каком направлении и на сколько изменилась позиция цели [5].

Для получения точных данных о смещении необходимо учитывать, что камера сама может двигаться. Поэтому, чтобы исключить влияние перемещения камеры, смещение цели должно быть преобразовано относительно центра каждого изображения в наборе. Это означает, что в расчет берется положение центра каждого снимка и используется как основа для вычислений.

Кроме того, важно знать разрешение изображения, т. е. сколько пикселей находится в каждом миллиметре изображения. Используя это разрешение, можно преобразовать смещения в пикселях в реальные смещения в миллиметрах. Таким образом, вся процедура включает в себя сравнение изображений, вычисление смещений и перевод этих значений в реальные размеры, что позволяет получить точную информацию о перемещении цели в пространстве.

В данном исследовании акцент делается на проверку теоретических основ работы системы машинного зрения, используя экспериментальные измерения. Система наблюдения состоит из камеры, которая должна быть предварительно откалибрована для точного захвата изображений. Процесс калибровки включает в себя определение таких параметров, как фокусное расстояние и искажения объектива, что критично для обеспечения качества получаемых изображений.

Для эксперимента был построен испытательный стенд, разработанный для этого исследования, который предоставляет возможность точно управлять перемещением QR-мишени, что важно для симуляции реальных условий. Изображения фиксируются автоматически, что минимизирует человеческий фактор и повышает стабильность результатов. Кроме того, исследование проводилось при различных расстояниях до камеры, что позволяет оценить влияние расстояния на качество измерений.

Обработка полученных изображений осуществлялась с помощью алгоритма фазовой корреляции, который позволяет анализировать изменения в изображениях и определять смещения. Полученные результаты фиксируют, что в процессе измерений наблюдаются ошибки, которые коррелируют с размерами смещения. Это подчеркивает важность тщательной калибровки и точности настроек камеры, а также автоматизации процесса захвата изображений.

В исследовании внимание сосредоточено на оценке точности системы машинного зрения для различных типов зданий, полученные результаты служат основой для теоретического понимания работы системы в реальных условиях.

Моделирование проводилось для двух зданий с различной высотой, что позволяет увидеть, как высота влияет на точность измерений. Для первого здания с небольшой высотой (90 м) не использовались измерения ГНСС, так как это не требовалось. Для оценки случайных ошибок измерений применили метод Монте-Карло и провели моделирование, чтобы увидеть, как система будет работать на практике.

Выражения по формуле (1) позволяют вычислить точность для многоцепочной автоматической системы

наблюдения и сравнить эти значения с допустимыми значениями.

Точность по осям  $x$  и  $y$  равна  $m$ . Результирующая точность будет зависеть от количества цепей  $k$ , используемых для измерений. Исходя из этой предпосылки, конечная точность  $M$  может быть определена как:

$$m_x = m\sqrt{k}; m_y = m\sqrt{k}; M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (1)$$

где  $M$  – конечная точность;

$m$  – результирующая точность;

$m_x, m_y$  – точность по осям  $x$  и  $y$ ;

$k$  – количество цепей в системе.

Результаты исследования показывают, что многоцепочная автоматическая система наблюдения, вероятно, способна обеспечить требуемую точность для мониторинга зданий высотой свыше 500 метров. Основной акцент должен быть сделан на повышение эффективности автоматической системы наблюдения для высотных зданий. Включение измерений ГНСС изменяет окончательное распределение среднеквадратичных ошибок. Тем не менее, наши результаты не могут быть обобщены за пределами рассмотренного [4] подмножества, поскольку предложенный выше подход к расчету не учитывает эффект взаимосвязанных измерений, как показано на рис. 2.

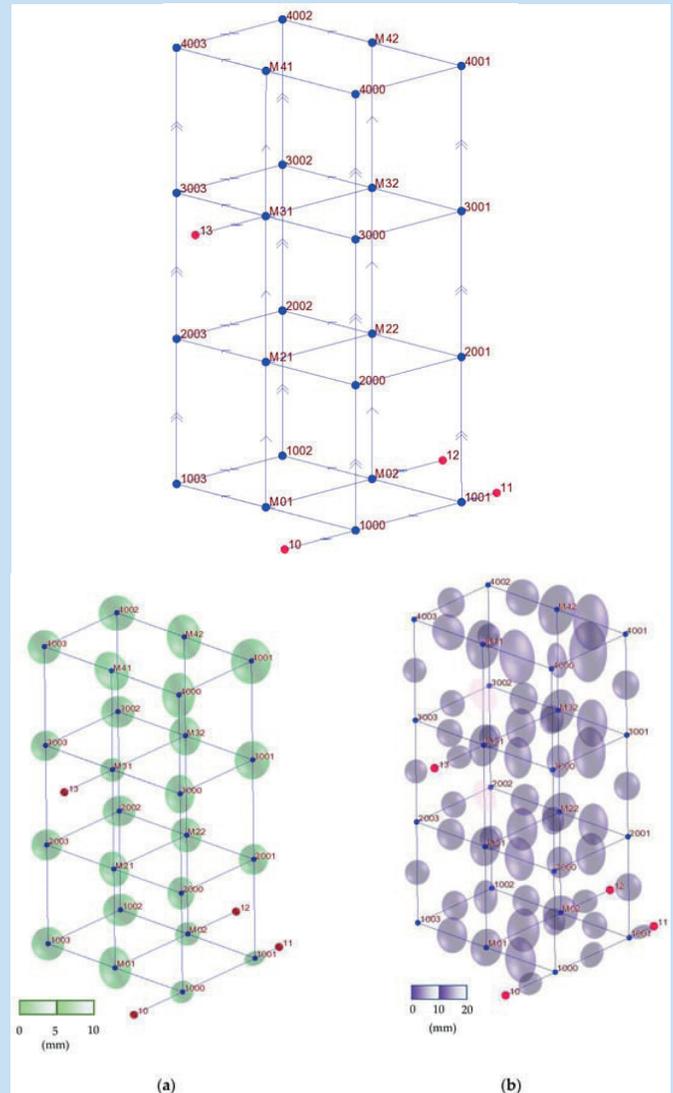
На рис. 1 синими точками обозначены места установки датчика. Стрелками обозначены направления измерения. Точки 10, 11, 12 и 13 являются целями на окружающих объектах, определяющими внешнюю систему координат. Эти точки приняты как безошибочные, но точность их определения также была оценена. Моделирование выполнено методом Монте-Карло для нормального (гауссовского) распределения. Погрешности измерений считались случайными с нулевым средним значением, поэтому систематических или грубых ошибок не было. Результаты моделирования представлены на рис. 1а и 1б. В таблице 1 представлена зависимость точности между длиной цепи и высотой здания.

На рис. 3 приведена графическая сводка результатов из таблицы 1. Горизонтальная ось описывает высоту здания, а вертикальная ось показывает распространение точности.

Таким образом, необходимо смоделировать измерения автоматической системы наблюдения, чтобы учесть избыточность измерений. Поэтому вторым шагом является анализ результатов моделирования в разделе.

Точность на каждом блоке усреднялась, и среднее значение точности принималось как окончательное для анализа. Эти значения сравнивали с допустимыми значениями (6). Кроме того, результаты моделирования позволяют оценить два режима измерения: относительный и абсолютный [9].

Как видно на рис. 4, результаты моделирования дают более реалистичную картину точности автоматической системы наблюдения [10]. Конечная точность повысилась благодаря учету избыточности измерений. Таким образом, автоматическая система наблюдения обеспечивает надежное определение параметров мониторинга, начиная с высоты 90 м для абсолютных измерений. Очевидно, что



**Рис. 2. Тест геометрии здания, размещения датчика и мишени, а также направления измерений. Эллипсы ошибок определения координат: (а) – эллипсы точности определения координат точки; (б) – эллипсы относительной точности координат точек.**

**Сурет 2. Ғимараттың геометриясы, сенсор мен мақсатты орналастыру және өлшеу бағытын тексеру. Координаттарды анықтаудағы қате эллипстері: (а) – нүкте координаттарын анықтаудағы дәлдік эллипстері; (б) – нүкте координаттарының салыстырмалы дәлдік эллипстері.**

**Figure 2. Test of building geometry, sensor and target placement, and measurement direction. Ellipses of coordinate determination errors: (a) – ellipses of point coordinate accuracy; (b) – ellipses of relative accuracy of point coordinates.**

установка автоматической системы наблюдения для невысокого здания бесполезна, а обычные геодезические методы обеспечивают необходимую точность и хорошо изучены. Гораздо сложнее обстоят дела с более высокими зданиями [8].

Для оценки эффективности автоматической системы наблюдения для высотных конструкций с включением из-

Таблица 1

Зависимость точности между длиной цепи и высотой здания

Кесте 1

Тізбектің ұзындығы мен ғимараттың биіктігі арасындағы дәлдіктің байланысы

Table 1

Dependence of accuracy between chain length and building height

Расстояние от датчика до цели (м)	Высота здания (м)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
	Точность смещения $M$ (мм)								
17	13.5	19.2	23.5	27.1	30.3	33.2	35.8	38.3	40.6
25	9.8	13.8	16.9	19.5	21.8	23.9	25.8	27.6	29.3
33	7.3	10.3	12.6	14.5	16.2	17.8	19.2	20.5	21.8
Допустимое значение	3.3	6.7	10.0	13.4	16.7	20.0	23.4	26.7	30.0

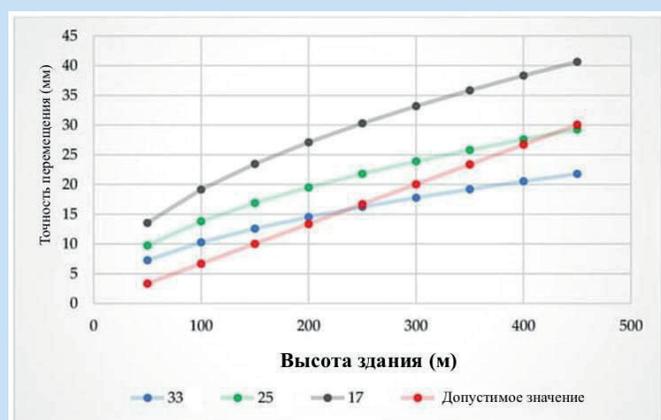


Рис. 3. Распространение точности автоматической системы наблюдения.

Сурет 3. Автоматты бақылау жүйесінің дәлдігін тарату.

Figure 3. Accuracy propagation of the automatic surveillance system.

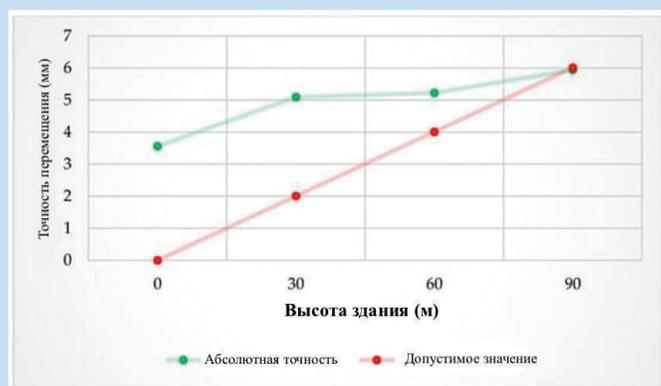


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования.

Сурет 4. Модельдеу нәтижелерін салыстыру.

Figure 4. Comparison of modeling results.

мерений ГНСС было выполнено моделирование для здания высотой 420 м. Численные результаты предварительной точности огромного числа точек отражены на графиках. Для этого среднеквадратичные ошибки определения

координат вдоль оси координат для случая абсолютных измерений, сопровождаемых ГНСС, для каждого этажа были усреднены и сравнены на рис. 5.

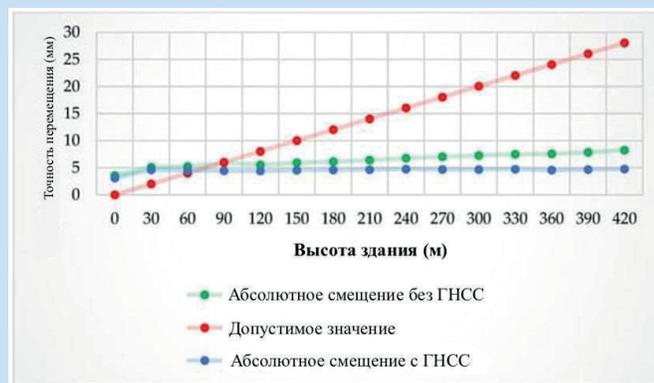


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования для случая, сопровождаемого ГНСС.

Сурет 5. ЖНСЖ сүйемелдеуімен модельдеу нәтижелерін салыстыру.

Figure 5. Comparison of modeling results for the case accompanied by GNSS.

Результаты моделирования автоматической системы наблюдения с помощью ГНСС отличаются от результатов моделирования только автоматической системой наблюдения. Можно сделать несколько выводов. Во-первых, благодаря ГНСС-наблюдениям, точность автоматической системы наблюдения сохраняется практически на одном уровне для всей конструкции. Этот эффект нарастает с увеличением высоты сооружения до тех пор, пока ГНСС не ограничит распространение ошибок в автоматической системе наблюдения. Во-вторых, как и ожидалось, автоматическая система наблюдения с ГНСС может обеспечить необходимую точность, начиная с 60 м. Мы получили взвешенное значение точности для высоких конструкций благодаря комбинированной корректировке. Таким образом, результаты моделирования доказали высокую эффективность разработанной системы наблюдения на основе машинного зрения с помощью ГНСС для мониторинга деформаций высотных зданий.

**Заклучение**

В этом исследовании был предложен новый подход к мониторингу высотных зданий с использованием доступной системы неметрических камер с помощью ГНСС. Проверка точности одиночной цепи автоматической системы наблюдения на испытательном стенде подтвердила возможность обеспечения необходимой точности контроля. Предложенный метод определения смещения пары изображений на основе алгоритма фазовой корреляции показал стабильные результаты в серии натуральных экспериментов. По результатам эксперимента были изучены и определены достаточные расстояния между датчиком и мишенью, обеспечивающие приемлемую точность. Моделирование автоматической системы наблюдения проводилось для двух случаев: без ГНСС для малоэтажных зданий; автоматической системы наблюдения с дополни-

тельными ГНСС наблюдениями. Моделирование показало необходимую точность для мониторинга деформаций в случае автоматической системы наблюдения с помощью ГНСС. Результаты, представленные в этой статье, были в основном ограничены имитационным исследованием. В дальнейших исследованиях требуется оценить возможности применения автоматической системы наблюдения в условиях измененной геометрии. Полное внедрение автоматической системы наблюдения может стать незаменимой частью решений умного здания для обнаружения недопустимых перемещений в автоматическом режиме.

**Благодарность**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP23489372).*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Павлов В.И. Методы построения ортоизображений сложных архитектурных поверхностей по данным наземного лазерного сканирования // Известия ВУЗов, «Геодезия и аэрофотосъемка». 2011. № 6. С. 54–60 (на русском языке)
2. Shults R., Roshchyn O. Предварительное определение точности пространственного геодезического мониторинга для метода свободных станций // Геодезия и картография. 2016. Т. 42. № 2. С. 39–46 (на английском языке)
3. Таракановский В.К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий // Сб. науч. трудов. М.: 2011. Вып. 9. С. 243–262 (на русском языке)
4. Zschiesche K. Тахеометры на основе изображений для мониторинга состояния конструкций – обзор // Геоматика. 2022. Т. 2. № 1. С. 1–16 (на английском языке)
5. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Наблюдения за деформациями высотных зданий и сооружений // Горный журнал Казахстана. 2020. № 6. С. 27–32 (на русском языке)
6. Охотин А.Л., Ормамбекова А.Е., Турсбеков С.В. Геодезические наблюдения за креном инженерных сооружений // Международный форум маркшейдеров, Караганда: КарГТУ, 2019. Т. 1. С. 70–75 (на русском языке)
7. Передовые топографо-геодезические изыскания и методологии ГНСС в градостроительстве / Madimarova G. [и др.] // Журнал де Грюйтер. 2024. № 1. С. 1–14 (на английском языке)
8. Roman Shults, Azhar Ormatbekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov (22 февраля 2023 г.). Недорогая система наблюдения на основе ГНСС для мониторинга деформаций. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (на английском языке)
9. Shults R., Bilous M., Ormatbekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (24 сентября 2023 г.). Анализ смещений путепровода в результате просадки грунта при строительстве метро с помощью машинного обучения в области урбанистики. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (на английском языке)
10. Budillon A., Schirinzi G. (Апрель 2022 г.) Дистанционный мониторинг гражданской инфраструктуры на основе TomoSAR. [https://www.researchgate.net/publication/359785724\\_Remote\\_Monitoring\\_of\\_Civil\\_Infrastructure\\_Based\\_on\\_TomoSAR](https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR) (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Павлов В.И. Жердегі лазерлік сканерлеу деректері бойынша күрделі архитектуралық беттердің орто кескінін салу әдістері // ЖОО хабаршысы, «Геодезия және аэрофототүсіріс». 2011. № 6. Б. 54–60 (орыс тілінде)
2. Shults R., Roshchyn O. Еркін станция әдісі үшін кеңістіктік геодезиялық бақылаудың дәлдігін алдын ала анықтау // Геодезия және картография. 2016. Т. 42. № 2. Б. 39–46 (ағылшын тілінде)
3. Таракановский В.К. Биік ғимараттардың құрылымдары мен топырақтарының жай күйін бақылаудың заманауи құралдарына шолу // Ғыл. жұм. Жиынтығы. М.: 2011. Шығ. 9. Б. 243–262 (ағылшын тілінде)
4. Zschiesche K. Құрылымдардың күйін бақылау үшін кескіндерді қолданатын тахеометрлер – шолу // Геоматика. 2022. Т. 2. № 1. Б. 1–16 (орыс тілінде)
5. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Биік ғимараттар мен құрылыстардың деформацияларын бақылау // Қазақстанның кен журналы. 2020. № 6. Б. 27–32 (орыс тілінде)

6. Охотин А.Л., Ормамбекова А.Е., Турсбеков С.В. Инженерлік құрылыстардың оралуы бойынша геодезиялық бақылаулар // Халықаралық маркшейдерлер форумы, Қарағанды: ҚарМТУ, 2019. Т. 1. Б. 70–75 (орыс тілінде)
7. Жетілдірілген топографиялық-геодезиялық түсірістер және қала құрылысындағы GNSS әдістемелері жетілдірді / Мадимарова Г. [және т. б.] // Де Грюйтер журналы. 2024. № 1. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
8. Roman Shults, Azhar Ormambekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov. (2023 жылғы 22 ақпан). Деформацияны бақылауға арналған арзан ЖНСЖ негізіндегі қадағалау жүйесі. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (ағылшын тілінде)
9. Shults R., Bilous M., Ormambekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (2023 жылғы 24 қыркүйек). Машиналық оқытуды қолдана отырып, метро құрылысы кезінде жердің шөгуге байланысты эстакадалардың жылжуын талдау. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (ағылшын тілінде)
10. Budillon A., Schirinzi G. (2022 жылдың сәуірі). TomoSAR негізіндегі азаматтық инфрақұрылымды қашықтан бақылау. [https://www.researchgate.net/publication/359785724\\_Remote\\_Monitoring\\_of\\_Civil\\_Infrastructure\\_Based\\_on\\_TomoSAR](https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR) (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Pavlov V.I. Metody postroeniya ortoizobrazhenii slozhnykh arkhitekturnykh poverkhnostei po dannym nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Methods for constructing orthoimages of complex architectural surfaces based on terrestrial laser scanning data], Izvestiya VUZov, «Geodeziya i aerofotos”emka» [News of Universities, «Geodesy and aerial photography»]. 2011. No. 6. 54–60 pp. (in Russian)
2. Shults R., Roshchyn O. Preliminary determination of spatial geodetic monitoring accuracy for free station method // Geod. List 2016. V. 70. 355–370 pp. (in English)
3. Tarakanovsky V.K. Obzor sovremennykh sredstv monitoringa sostoyaniya konstruksii i gruntov osnovanii vysoznykh zdanii [Review of modern means of monitoring the condition of structures and soils of the foundations of high-rise buildings], Sb. nauch. trudov [Collection of scientific papers]. Moscow: 2011. Issue 9. 243–262 pp. (in Russian)
4. Zschiesche K. Image Assisted Total Stations for Structural Health Monitoring – A Review // Geomatics. 2022. V. 2. Issue 1. 1–16 pp. (in English)
5. Nurpeissova M.B., Ormambekova A.E., Ormambekov E.Zh. Nablyudeniya za deformatsiyami vysoznykh zdanii i sooruzhenii [Observations of deformations of high-rise buildings and structures], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2020. No. 6. 27–32 pp. (in Russian)
6. Okhotin A.L., Ormambekova A.E., Tursbekov S.V. Geodezicheskie nablyudeniya za krenom inzhenernykh sooruzhenii [Geodetic observations of the roll of engineering structures], Mezhdunarodnyi forum marksheiderov, Karaganda: KarGTU [International Forum of Surveyors, Karaganda: KarGTU], 2019. V. 1. 70–75 pp. (in Russian)
7. Advanced topographic-geodetic surveys and GNSS methodologies in urban planning / Madimarova Gulmira [et al.] // Published by De Gruyter. 2024. No. 1. 1-14 pp. (in English)
8. Roman Shults, Azhar Ormambekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov. (February 22, 2023). GNSS-Assisted Low-Cost Vision-Based Observation System for Deformation Monitoring. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (in English)
9. Shults R., Bilous M., Ormambekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (September 24, 2023). Analysis of Overpass Displacements Due to Subway Construction Land Subsidence Using Machine Learning Urban Science. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (in English)
10. Budillon A., Schirinzi G. (April 2022). Remote Monitoring of Civil Infrastructure Based on TomoSAR. [https://www.researchgate.net/publication/359785724\\_Remote\\_Monitoring\\_of\\_Civil\\_Infrastructure\\_Based\\_on\\_TomoSAR](https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR) (in English)

## Сведения об авторах:

**Ормамбекова А.Е.**, доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [a.ormambekova@satbayev.university](mailto:a.ormambekova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2735-0257>

**Шульц Р.**, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией дистанционного зондирования, авиации и космических исследований, Университет нефти и полезных ископаемых имени короля Фахда (г. Дахран, Саудовская Аравия), [shults.rv@knuba.edu.ua](mailto:shults.rv@knuba.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

**Киргизбаева Д.М.**, доктор Ph.D, ассоц.профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [d.kirgizbaeva@satbayev.university](mailto:d.kirgizbaeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-8869-5497>

**Нурпеисова Т.Б.**, к.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [t.nurpeissova@satbayev.university](mailto:t.nurpeissova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

*Ортамбекова А.Е.*, техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

*Шульц Р.*, техника ғылымдарының докторы, профессор, Король Фахд мұнай және минералдар университетінің қашықтықтан зондтау, авиация және ғарыштық зерттеулер зертханасының меңгерушісі (Дхахран қ., Сауд Арабиясы)

*Қырғызбаева Д.М.*, Ph.D докторы, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

*Нурпеиссова Т.Б.*, техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

*Ortambekova A.E.*, Master of Technical Sciences, senior lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

*Schultz R.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Remote Sensing, Aviation and Space Exploration, King Fahd University of Petroleum and Minerals, (Dhahran, Saudi Arabia)

*Kirgizbaeva D.M.*, Ph.D, Associate Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

*Nurpeissova T.*, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Организатор:

окружной выставочный центр

\* ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ \*

Техническая поддержка:

**EXPROTECH**

MEMBER OF THE RUSSIAN UNION OF EXHIBITIONS AND FAIRS



ЧЛЕН РОССИЙСКОГО СОЮЗА ВЫСТАВОК И ЯРМАРОК



29.09 - 01.10

30<sup>th</sup> МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

30<sup>th</sup> INTERNATIONAL SPECIALIZED TECHNOLOGICAL EXHIBITION

**СУРГУТ.  
НЕФТЬ И ГАЗ  
2025**

**SURGUT.  
OIL & GAS  
2025**

+7 (3462) 94-34-54  
sales@yugcont.ru  
sngexpo.ru

г. Сургут,  
СОК «Энергетик»  
ул. Энергетиков, 47