

Несмотря на очевидные преимущества, массовое внедрение ИИ в управление строительными проектами сталкивается с рядом серьезных трудностей [7, 8], которые были систематизированы в исходной статье.

**Фрагментированность данных.** Данные в строительстве часто хранятся в изолированных системах (BIM, CAD, ERP, Excel), что затрудняет их консолидацию для обучения моделей ИИ.

**Высокие первоначальные инвестиции.** Затраты на лицензирование ПО, приобретение вычислительных мощностей, привлечение специалистов по data science и интеграцию с существующей ИТ-инфраструктурой могут быть непосильны для средних и малых компаний.

**Дефицит квалификации.** Отрасли не хватает специалистов, обладающих одновременно глубокими знаниями в области строительства и компетенциями в области ИИ и анализа данных.

**Нормативная неопределенность.** Отсутствуют четкие правовые рамки, регламентирующие ответственность за решения, принятые на основе рекомендаций ИИ, а также стандарты валидации и сертификации таких систем.

**Сопротивление изменениям.** Консервативность отрасли и нежелание персонала переходить от привычных методов работы к новым, алгоритмизированным процессам.

Искусственный интеллект обладает значительным потенциалом для трансформации управления строительными проектами, переводя его от реактивного к проактивному и предиктивному. Внедрение ИИ-решений позволяет оптимизировать использование ресурсов, повысить точность планирования, усилить контроль качества и безопасности, а также минимизировать риски.

Однако для успешной реализации этого потенциала необходим комплексный подход, включающий не только выбор технологий, но и инвестиции в инфраструктуру данных, развитие кадрового потенциала, адаптацию процессов управления и формирование благоприятной нормативно-правовой среды. Преодоление указанных барьеров позволит строительной отрасли выйти на новый уровень эффективности и устойчивости.

#### Список литературы

- 1 Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges / Sofiat O. Abioye, Lukumon O. Oyedele, Lukman Akanbi [et al.] // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 44. – P. 1–13.
- 2 AI in Construction: A Strategic Guide for Industry Leaders [2025–2030] // StartUS insights. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/ai-in-construction-a-strategic-guide/> (date of access: 20.07.2025).
- 3 Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Structured Literature Review // Publications. – 2023. – Vol. 5, № 3.
- 4 **Fulvio Re Cecconi.** Building Tomorrow: Unleashing the Potential of Artificial Intelligence in Construction / Fulvio Re Cecconi, Ania Khodabakhshian, Luca Rampini. – 2025. – 122 p.
- 5 **Chen, C.** NB-CNN: Deep Learning-Based Crack Detection Using Convolutional Neural Network and Naïve Bayes Data Fusion / C. Chen, M. R. Jahanshahi // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2018. – Vol. 65 (5). – P. 4392–4400.
- 6 **Atha, D. J.** Evaluation of deep learning approaches based on convolutional neural networks for corrosion detection / D. J. Atha, M. R. Jahanshahi // Structural Health Monitoring. – 2018. – Vol. 17 (5). – P. 1110–1128.
- 7 The Impact of AI on Present State of Construction // BIM Corner. – URL: <https://bimcorner.com/the-impact-of-ai-on-present-state-of-construction/> (date of access: 20.07.2025).
- 8 Artificial Intelligence Methods for the Construction and Management of Buildings / S. Ivanova, A. Kuznetsov, R. Zverev, A. Rada // Sensors. – 2023. – № 23 (21). – P. 1–35.

УДК 528.48

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Н. С. СЫРОВА, И. П. ДРАЛОВА, С. С. КОЖЕДУБ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Без точных современных геодезических данных невозможно гарантировать надежность и безопасность любого современного здания и сооружения. Они обеспечивают надежность на всех этапах строительства, что напрямую влияет на устойчивость и долговечность. Роль геодезии – это непрерывный контроль за пространственным положением всех элементов конструкции, соблюдением геометрических параметров, отсутствием недопустимых деформаций. До начала строитель-

ства закладывают основу будущей безопасности, создается опорная геодезическая сеть. На участке закрепляют пункты с точно известными координатами и высотами, что является гарантией правильности выполнения разбивочных работ. Использование электронных приборов (тахеометры, теодолиты, цифровые нивелиры, GNSS-приемники, лазерные сканеры, беспилотные летательные аппараты) позволяет выполнять измерения с высокой точностью и надежностью [1]. Оборудование – это лишь инструмент, его эффективность определяют четкие нормативы и методики. Реперы, вынесенные за пределы зоны работ, являются главными и неизменными точками на весь срок строительства, без них невозможно возвести безопасный и долговечный объект. Пренебрежение геодезическим контролем приводит к катастрофическим последствиям, деформациям, трещинам, обрушениям. Высокоточные приборы минимизируют погрешности и повышают точность измерений.

Современные технологии производят комплексную систему измерений и контроля, что предупреждает риски на этапе проектирования, минимизирует ошибки в процессе строительства, мониторит и диагностирует состояние объекта при эксплуатации. Созданная геодезическая разбивочная основа (ГРО) является системой отсчета на площадке. Все измерения выполняются в режиме реального времени (РТК). Квалификация персонала – один из самых важных факторов надежности. Геодезист должен понимать теорию и практику, математическую обработку измерений, соблюдать методику производства работ. Любые измерения неизбежно содержат погрешности (грубые, систематические, случайные). Методы уравнивания используют еще на стадии проектирования сетей [2].

Значительное увеличение объемов измерительной информации, получаемой в настоящее время при выполнении геодезических, фотограмметрических, астрономических работ, обработке результатов научных экспериментов, ставит задачу разработки и внедрения новых методов математической обработки измерений.

Новейшие теоретические достижения вычислительной и прикладной математики в сочетании с использованием современных технологий открыли широкие возможности построения оптимальных математических моделей реальных явлений по измерительным данным их характеристик. В настоящее время широкое применение в теоретических уравнивательных вычислениях получили математические методы, основанные на классическом принципе метода наименьших квадратов (МНК). Имеющийся опыт применения МНК прекрасно подтвердил возможность решать с его помощью большинство возникающих уравнивательных задач. В основе эффективного использования МНК лежат следующие основные предположения относительно характера ошибок измерений: они должны подчиняться нормальному закону, быть некоррелированными между собой и обладать нулевым математическим ожиданием. Только в этом случае МНК-оценки в классе всех линейно-несмещенных оценок обладают минимальной дисперсией (даже при конечном числе измерений), являются асимптотически нормальными и асимптотически состоятельными.

Наряду с МНК в последнее время выделяют так называемые устойчивые или робастные методы обработки, которые позволяют получать устойчивые результаты при анализе измерений, ошибки которых обладают распределениями близкими к некоторым геодезическим (чаще всего к нормальному закону).

Хорошие результаты при применении робастных методов были получены в случае обработки измерений с грубыми ошибками и промахами. Однако для широкого круга уравнивательных задач оценки, получаемые робастными методами, не являются оптимальными. Более предпочтительным представляется здесь применять такие методы обработки, которые сочетали бы робастные свойства, сохраняя оптимальные вероятностные свойства для широкого класса распределений ошибок. Таким методом является метод  $L_p$ -оценок (метод наименьших степеней, основанный на минимизации  $n$ -х степеней остаточных уклонений).

Вопросы уравнивания оценки точности нуль-свободных геодезических сетей не содержащих исходных пунктов является актуальной задачей геодезического производства в связи с широким использованием GPS измерительных систем. Не менее актуальной является проблема обработки больших потоков информации методом  $L_p$ -оценок. В настоящее время произошло резкое увеличение количества измерительной информации. Когда количество результатов измерений достигает тысяч, начинают все более отчетливо проявляться негауссовы особенности ошибок, присущие данному ряду или даже данному методу наблюдений. Методы обработки таких измерений, отличные от метода наименьших квадратов, более сложные и требуют большего объема вычислений. Однако, в связи с развитием САПР, сейчас эта задача вполне решаема. К преимуществам метода  $L_p$ -оценок

можно отнести и то, что он позволяет выполнить обработку измерений в соответствии с законом распределения ошибок. Еще более сложной задачей является объединение методов регуляризации с методами  $L_p$ -оценок. Проблема поиска грубых ошибок измерений всегда была актуальной, особенно при переходе к автоматизированным технологиям сбора и обработки геодезической информации. Грубые ошибки можно находить до уравнивания, применяя коррелятный способ, вычисляя свободные члены условных уравнений по поправкам в измерения, полученным после уравнивания геодезической сети параметрическим способом. Параметрический способ уравнивания справедливо признается наиболее удобным для программирования, так как освобождает от необходимости составления условных уравнений, более сложных и разнообразных, чем коррелятные.

Все точки геодезической сети после уравнивания вычисляются в единой системе координат, где взаимное положение является математически согласованным для строительства зданий и сооружений. После того как узнали результаты, происходит оптимальное размещение пунктов и выбирается необходимая методика измерений, что является гарантией правильности строительства здания или сооружения. В процессе всего жизненного цикла объекта геодезисты обеспечивают точность, контроль, мониторинг, влияющий на надежность и безопасность.

Внедрение новых технологий повышает качество измерений, способствует повышению конкурентоспособности предприятия. Комплекс внедрения цифровых подходов, методов и организационных мероприятий способен обеспечить более высокую продуктивность полевых и камеральных работ, снижать затраты на материалы, трудовые ресурсы и обеспечить рост качества. Производство изыскательских работ без цифровизации невозможно в современном мире.

Геодезические работы предусматривают разделение труда при росте длины и гибкости глобальных и отраслевых производственных цепочек, что ведет к снижению издержек и стоимости строительства. В контексте экологии высокотехнологическое оборудование значительно снижает воздействие на окружающую среду и потребление энергетических ресурсов.

Обработка облаков точек достигается за счет оптимизации производственных процессов внедряются современные ТИМ-технологии, в том числе робототехники (роботизированные тахеометры), ГНСС-приемники, инструменты лазерного сканирования, цифровые нивелиры, электронные теодолиты и др. Сбор, хранение и обработка больших массивов данных производится с помощью использования облачных сервисов и облачных вычислений.

Эффективное решение инженерно-геодезических задач является залогом обеспечения надежности и безопасности зданий.

#### Список литературы

- 1 Инженерная геодезия и фотограмметрия / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.
- 2 Атрошко, Е. К. Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 98 с.

УДК 624.012.45:624.153.522

### АРМИРОВАНИЕ СБОРНЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ СТЕКЛОКОМПОЗИТНЫМИ СТЕРЖНЯМИ

*В. В. ТАЛЕЦКИЙ, А. Н. НЕВЕЙКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сборные железобетонные плиты по серии Б1.012.1-2.08 «Плиты железобетонные ленточных фундаментов» [1] предназначены для устройства ленточных фундаментов зданий и сооружений различного назначения в сухих и водонасыщенных грунтах с неагрессивной степенью воздействия на железобетонные конструкции. Плиты выполняются из тяжелого бетона класса С16/20 и С20/25 в зависимости от группы по несущей способности. Рабочая арматура плит из стальных стержней периодического профиля класса S500.

Предлагается заменить стальную рабочую арматуру на стеклокомпозитную арматуру АСК по ГОСТ 31938-2022 [2], обладающую большей прочностью и высокой коррозионной стойкостью. Если характеристическое сопротивление стальной арматуры 500 МПа, а расчетное 435 МПа, то у