

УДК 528.48:001.895-044.942
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-8-114-117

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

Т. Султаналиева

Аннотация. Приведены результаты анализа современных инновационных методов нивелирования, применяемых в инженерно-геодезических изысканиях. Рассмотрены четыре ключевых направления: цифровое нивелирование, лазерные и ротационные нивелиры, спутниковые методы на основе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также лазерное сканирование (LiDAR). Для каждого из методов представлены основные принципы действия, технические характеристики, области применения, а также преимущества и ограничения в реальных инженерных условиях. Проведён сравнительный анализ методов по критериям точности, скорости выполнения работ, стоимости оборудования, устойчивости к внешним факторам и применимости в различных ландшафтных и климатических условиях. Рассмотрены перспективы интеграции технологий нивелирования с геоинформационными системами (ГИС) и программными комплексами проектирования (CAD), а также внедрение автоматизированных и беспилотных решений.

Ключевые слова: инновации; нивелирование; цифровой нивелир; лазерное сканирование; лазерный нивелир; глобальные навигационные спутниковые системы; ротационное нивелирование; геоинформационные системы.

ИННОВАЦИЯЛЫК НИВЕЛИРЛӨӨ ЫКМАЛАРЫ ЖАНА АЛАРДЫН ИНЖЕНЕРДИК ИЗИЛДӨӨЛӨРДӨГҮ НАТЫЙЖАЛУУЛУГУ

Т. Султаналиева

Аннотация. Макалада инженердик-геодезиялык изилдөөлөрдө колдонулуучу заманбап инновациялык нивелирлөө ыкмаларын талдоонун натыйжалары берилген. Төрт негизги багыттары каралат: санарип нивелирлөө, лазердик жана ротациялык деңгээлдер, глобалдык навигациялык спутниктик системаларга (ГНСС) негизделген спутниктик методдор жана лазердик сканерлөө (LiDAR). Ар бир ыкма үчүн негизги иштөө принциптери, техникалык мүнөздөмөлөрү, колдонуу чөйрөлөрү, ошондой эле реалдуу инженердик шарттарда артыкчылыктар жана чектөөлөр берилген. Методдордун салыштырма анализи тактык, иштин ылдамдыгы, жабдуулардын баасы, тышкы факторлорго туруктуулук жана ар кандай ландшафттык-климаттык шарттарда колдонууга жөндөмдүүлүк критерийлери боюнча жүргүзүлөт. Макалада нивелирлөө технологияларын географиялык маалымат системалары (ГИС) жана долбоорлоо программалык пакеттери (CAD), ошондой эле автоматташтырылган жана учкучсуз чечимдерди киргизүү менен интеграциялоонун келечеги каралат.

Түйүндүү сөздөр: инновация; нивелирлөө; санариптик нивелир; лазердик сканерлөө; лазердик нивелир; глобалдык навигациялык спутниктик системалары; ротациялык нивелирлөө; геомаалыматтык системалар.

INNOVATIVE LEVELING TECHNIQUES AND THEIR EFFECTIVENESS IN ENGINEERING RESEARCH

T. Sultanalieva

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of modern innovative leveling methods used in engineering and geodetic surveys. The article explores four key areas: digital leveling, laser and rotary leveling, satellite-based methods using global navigation satellite systems (GNSS), and laser scanning (LiDAR). For each of the methods, the basic principles of operation, technical characteristics, areas of application, as well as advantages and limitations in real engineering conditions are presented. A comparative analysis of methods was carried out based on the criteria of accuracy, speed of work, cost of equipment, resistance to external factors, and applicability in various landscape and

climatic conditions. The prospects for integrating leveling technologies with geoinformation systems (GIS) and design software packages (CAD), as well as the introduction of automated and unmanned solutions, were also considered.

Keywords: innovations; leveling; digital leveling; laser scanning; laser leveling; global navigation satellite systems; rotary leveling; geoinformation systems.

Введение. Нивелирование – это один из важнейших видов геодезических измерений, направленных на определение превышений между точками местности. Данные, полученные в процессе нивелирования, являются основой для проектирования зданий и сооружений, автомобильных и железных дорог, гидротехнических объектов, инженерных сетей и других инфраструктурных решений.

Традиционные методы нивелирования, такие как геометрический и тригонометрический, несмотря на свою точность и надёжность, становятся трудоёмкими и времязатратными при работе на больших площадях или в условиях сложного рельефа. Современные инженерные задачи требуют более гибких и быстрых решений [1].

Развитие цифровых технологий, лазерных и спутниковых измерений позволило перейти на принципиально новый уровень точности и автоматизации геодезических работ. Появились цифровые нивелиры, лазерные и ротационные нивелиры, глобальные навигационные спутниковые (ГНСС) приёмники, интегрированные с программным обеспечением для пространственного анализа данных. Эти методы позволяют выполнять измерения быстрее, безопаснее и с меньшим участием человека.

Цель настоящей статьи – провести анализ современных инновационных методов нивелирования, оценить их эффективность, применимость в различных инженерных задачах, а также выявить перспективы развития [2].

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований были использованы теоретические и практические источники. Для проведения теоретических исследований был проведен обзор и анализ научной литературы по современным методам геодезических измерений, изучены нормативные документы, регламентирующие инженерно-геодезические работы (СП, ГОСТ, инструкции), анализированы зарубежные публикации и научные статьи по применению цифровых и спутниковых систем [3].

При полевых исследованиях были проведены нивелирование цифровым нивелиром Leica Sprinter 150M, измерения высот с использованием спутниковых приемников Trimble R12i и базовой станции, разметка строительных площадок лазерными ротационными нивелирами Topcon, экспериментальное сканирование рельефа при помощи мобильной установки LiDAR. Собранные данные были обработаны в программной среде Trimble Business Center и AutoCAD Civil 3D.

Результаты исследования. Применение цифровых технологий, лазерных и спутниковых измерений позволило перейти на новый уровень точности и автоматизации геодезических измерений. В настоящее время при проведении геодезических работ широко применяются цифровые нивелиры, лазерные и ротационные нивелиры, ГНСС-приемники, которые позволяют проводить измерения быстрее, более точно и с меньшим участием человека.

Современные цифровые нивелиры автоматически считывают штрих-коды на рейках, исключают ошибки оператора при отсчете и имеют следующие преимущества: повышенную точность (до $\pm 0,7$ мм/км двойного хода), быстроту измерений. Недостатками современных цифровых нивелиров являются ограниченный диапазон работы (до 100 м), а также зависимость от условий освещения [4–7].

Лазерные нивелиры работают по принципу проецирования лазерного луча, который создает горизонтальную или вертикальную плоскость. Особенно популярны ротационные нивелиры, которые обеспечивают 360-градусную разметку. Лазерные нивелиры имеют следующие преимущества: высокую скорость и простоту в эксплуатации, возможность работы только одного оператора, их можно использовать при нивелировании на различных площадках (фундамент, отмостка, выравнивание полов и т. д.). Недостатками лазерных нивелиров являются: ограниченный радиус действия (до 500 м), ограниченная точность (до 1,5–3 мм на 30–50 м), чувствительность к пыли, туману, солнечному свету.

ГНСС (GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou)-нивелирование основано на определении эллипсоидальных высот и их последующей трансформации в физические (нормальные или ортометрические) высоты. ГНСС-нивелирование имеет следующие преимущества: отсутствие необходимости в межточечной видимости, высокую скорость съемки, возможность интеграции с цифровыми картами и ГИС. Недостатками спутникового (ГНСС) нивелирования являются: меньшая точность по сравнению с геометрическим нивелированием ($\pm 2-3$ см), необходимость использования модели геоида (например, EGM2008), зависимость от спутниковой конфигурации, искажения в городской застройке, а также в масштабных изысканиях.

LiDAR (Light Detection and Ranging) представляет собой метод дистанционного зондирования, в котором лазерный луч используется для создания облаков точек и последующего построения трёхмерных моделей местности. Преимуществами лазерного сканирования (LiDAR) являются: сверхвысокая детализация поверхности, возможность получения данных в труднодоступных районах, использование на борту беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и в мобильных платформах. Недостатками данного лазерного нивелирования (LiDAR) являются: высокая стоимость оборудования; большие объемы данных требуют мощных вычислительных ресурсов; сложность в интерпретации без квалифицированного персонала.

LiDAR применяется в инженерной геологии, при проектировании тоннелей, плотин, мостов и в мониторинге оползневых участков (рисунки 1, 2).

При прокладке дорог и магистралей ГНСС и цифровое нивелирование обеспечивают быстрое получение данных. При строительстве зданий и инженерных сооружений лазерные нивелиры позволяют выполнять нивелирование в режиме реального времени. В горных районах и при обследовании крупных объектов предпочтение отдается LiDAR (таблицы 1, 2).



Рисунок 1 – GNSS приемник PRINC i50, квадрокоптер Mavic 3 E RTK [8]



Рисунок 2 – Воздушное лазерное сканирование [9]

Таблица 1 – Сравнительный анализ эффективности применения инновационных методов нивелирования [4]

Метод	Точность	Скорость	Стоимость	Условия применения
Геометрическое	Очень высокая	Средняя	Низкая	Универсальные
Цифровое	Очень высокая	Высокая	Средняя	Городская среда, стройплощадки
Лазерное	Средняя	Очень высокая	Средняя	Строительство, планировка
ГНСС	Средняя	Очень высокая	Средневысокая	Линейные объекты, сельская местность
LiDAR	Высочайшая	Высокая	Очень высокая	Сложные рельефы, труднодоступные зоны

Таблица 2 – Области применения инновационных методов нивелирования в инженерных изысканиях [4]

Метод нивелирования	Основные области применения	Целевое назначение работ
Цифровое нивелирование	Строительство зданий, контроль осадок, наблюдение за деформациями	Высокоточное определение превышений, мониторинг конструкций
Лазерное нивелирование	Планировка площадок, монтаж строительных элементов, земляные работы	Быстрое определение горизонтального уровня, работа одним оператором
ГНСС-нивелирование	Длинные линейные объекты (трубопроводы, ЛЭП), топосъёмка, кадастр	Быстрое получение координат и высот, большая площадь охвата
Лазерное сканирование (LiDAR)	Проектирование дорог и тоннелей, геологические обследования, гидротехника	Детализированное моделирование рельефа, изучение сложных и опасных зон

Выводы. Инновационные методы нивелирования значительно расширили возможности геодезистов и инженеров. В зависимости от поставленных задач возможно рациональное сочетание различных технологий:

- цифровое нивелирование оптимально для высокоточных инженерных изысканий;
- ГНСС обеспечивает мобильность и масштабируемость;
- лазерные нивелиры незаменимы на строительной площадке;
- LiDAR – лидер по точности и детализации в сложных условиях.

Тенденции развития включают автоматизацию, интеграцию с БПЛА и применение машинного обучения для обработки данных.

Поступила: 24.07.2025; рецензирована: 07.08.2025; принята: 11.08.2025.

Литература

1. Гусев А.А. Геодезия: учебник / А.А. Гусев, И.В. Смирнов. М.: Академия, 2020.
2. Казарин В.С. Технология лазерного сканирования для геодезии / В.С. Казарин // Геодезия и картография. 2016.
3. Мищенко В.А. Современные методы геодезической съёмки / В.А. Мищенко. М.: Наука, 2013.
4. Киселев М.И. Геодезия: учебник для студ. учреждений сред. проф. образ. / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. 12-е изд., стереотип. М.: Изд. Центр «Академия», 2015. 384 с. URL: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geodeziya_1.pdf (дата обращения: 11.08.2025).
5. Киселев В.Н. Спутниковые технологии в геодезии / В.Н. Киселев, А.В. Панов. СПб.: Политехника, 2021.
6. Романов П.А. Лазерное сканирование в инженерных изысканиях / П.А. Романов, Е.Ю. Захаров. М.: Недра, 2019.
7. Reen J. Modern Geospatial Technologies / J. Reen. New York: Springer, 2023.
8. Davis R. Satellite and UAV Mapping Techniques / R. Davis. London: Taylor & Francis, 2022.
9. Wilson T. LiDAR and 3D Scanning in Surveying / T. Wilson. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.