

УДК 528.48

DOI 10.17513/use.38443

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ЗАКЛАДКЕ КОЛЛЕКЦИИ ВИНОГРАДНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ХОЗЯЙСТВА «КУБАНЬ»

Солодунов А.А. ORCID ID 0000-0001-6609-9398,**Гурский И.Н. ORCID ID 0009-0008-6956-1881,****Пшидаток С.К. ORCID ID 0000-0001-8514-8677**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Россия, Краснодар, e-mail: 2602555@mail.ru*

Целью исследования является проведение комплексной оценки точности геодезических измерений, реализованных посредством комбинированного метода, с последующим детальным экономическим анализом и стоимостью инженерно-геодезических изысканий. Разработка инновационной системы цифрового виноградарства является значимым вкладом в развитие современных технологий в агропромышленном комплексе и способствует повышению конкурентоспособности отечественного виноградарства. Создание цифровой карты коллекции винограда является важным этапом в рамках цифровизации аграрного сектора и оптимизации процессов сельскохозяйственного производства. В работе освещены не только количественное и качественное определение погрешностей измерений, но и их статистический анализ для выявления систематических и случайных ошибок. В рамках данной работы реализован гибридный подход, сочетающий инновационные методы геодезического мониторинга и картографирования. Ключевым элементом является использование GPS-оборудования для определения угловых точек кварталов, что обеспечивает высокую точность их географической привязки. Внутренние точки кварталов будут фиксироваться с применением тахеометра и полярного метода, что позволяет осуществить детальное картирование и высокоточное позиционирование в рамках геодезических изысканий. Это позволит осуществлять мониторинг состояния виноградников в режиме реального времени, выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях и принимать превентивные меры для их устранения.

Ключевые слова: цифровизация отрасли виноградарства, геодезические разбивочные работы, инженерно-геодезические изыскания, средняя квадратическая погрешность, тахеометр, GPS-технологии

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF GEODETIC WORK DURING THE LAYING OF A COLLECTION OF VINEYARDS ON THE TERRITORY OF THE «KUBAN» EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL FARM

Solodunov A.A. ORCID ID 0000-0001-6609-9398,**Gursky I.N. ORCID ID 0009-0008-6956-1881,****Pshidatok S.K. ORCID ID 0000-0001-8514-8677**

*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russia,
Krasnodar, e-mail: 2602555@mail.ru*

The purpose of the study is to conduct a comprehensive assessment of the accuracy of geodetic measurements carried out using a combined method, followed by a detailed economic analysis and the cost of engineering and geodetic surveys. The development of an innovative digital vineyard system is a significant contribution to the development of modern technologies in the agro-industrial complex and contributes to increasing the competitiveness of domestic viticulture. The creation of a digital map of the grape collection is an important step in the digitalization of the agricultural sector and optimization of agricultural production processes. The work covers not only the quantitative and qualitative determination of measurement errors, but also their statistical analysis to identify systematic and random errors. As part of this work, a hybrid approach combining innovative methods of geodetic monitoring and mapping will be implemented. The key element is the use of GPS equipment to determine the corner points of the quarters, which ensures high accuracy of their geographical location. The interior points of the blocks will be recorded using a total station and the polar method, which allows for detailed mapping and high-precision positioning within the framework of geodetic surveys. This will make it possible to monitor the condition of vineyards in real time, identify potential problems at an early stage and take preventive measures to eliminate them.

Keywords: digitalization of the viticulture industry, geodetic alignment works, engineering and geodetic surveys, average square error, tachometer, GPS technology

Введение

Геодезические измерения являются фундаментальной основой для современных геопрограммных исследований, обеспечивая высокую степень точности и надежности данных, необходимых для широкого спектра прикладных задач. В современном

мире существует широкий спектр передовых технологий, которые позволяют эффективно создавать топографические планы [1]. Наиболее популярными из них являются тахеометрическая съемка и съемка с использованием глобальных навигационных спутниковых систем.

В 2018 году Кубанский государственный аграрный университет успешно прошел конкурсный отбор и получил грантовую поддержку в рамках федеральной программы «Приоритет 2030». Это событие стало ключевым фактором, обеспечившим значительные академические и инфраструктурные возможности для реализации научных инициатив профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов университета. Программа «Приоритет 2030» направлена на интеграцию высшего образования и науки, что способствует формированию инновационной экосистемы и повышению конкурентоспособности российской науки и образования на глобальном уровне [2]. Ученые Кубанского государственного аграрного университета приступили к разработке инновационной системы цифрового виноградника, представляющей собой передовой технологический комплекс для управления агроэкологическими процессами в виноградарстве. Начальным этапом проекта является создание цифровой карты коллекции винограда. Данная карта будет служить основой для разработки специализированного программного обеспечения, предназначенного для автоматизации и оптимизации сельскохозяйственных операций [3].

Целью настоящего исследования является оценка точности геодезических измерений, выполненных с использованием комбинированного метода, а также проведение детального экономического анализа стоимости инженерно-геодезических изысканий.

Материалы и методы исследования

Объект исследования находится в Учебно-опытном хозяйстве «Кубань», созданном в 1961 году как структурное подразделение Кубанского сельскохозяйственного института. В рамках программы лидерства «Приоритет 2030» направления «Генетика и селекция в виноградарстве» планируется создание электронных виноградников. Важным этапом для достижения этой цели является обеспечение условий, при которых ряды и клетки будут располагаться на участке по строго заданным координатам. Для этого необходимо отметить колышками на участке, где в 2024 году будет пополняться «Ампелографическая коллекция», 500 точек по координатам. Внедрение цифровых технологий в виноградарство открывает перспективы для повышения качества винограда и винодельческой продукции благодаря оптимизации сроков проведения агротехнических мероприятий.

Результаты исследования и их обсуждение

В состав учхоза входит опытная станция, деятельность которой направлена на совершенствование систем земледелия, разработку адаптивных агротехнологий, проведение многофакторного стационарного полевого опыта по влиянию уровней плодородия, доз удобрений, способов обработки почвы и защиты растений. Схема расположения участка работ представлена на рисунке 1.

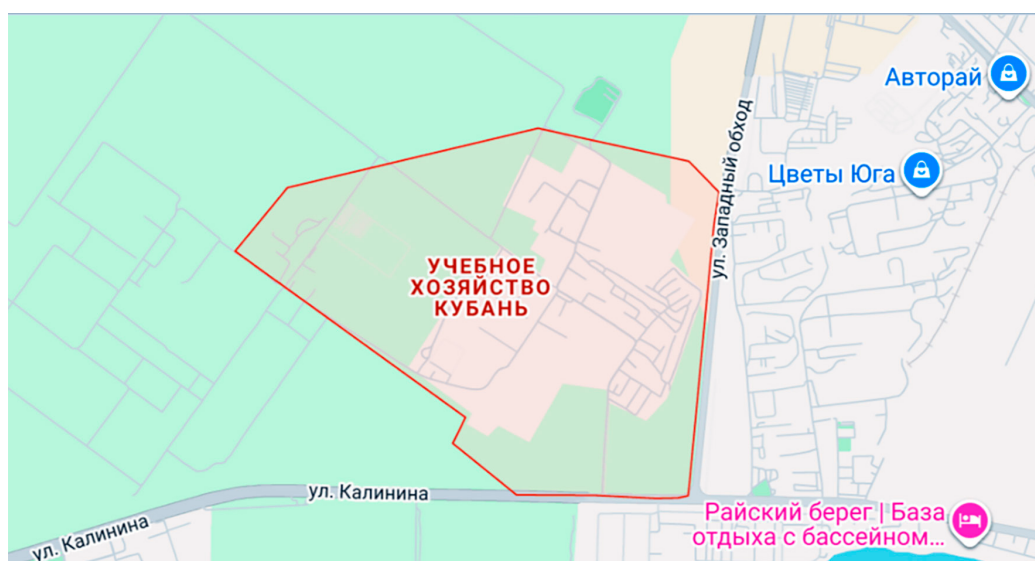


Рис. 1. Схема расположения объекта работ

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 1

Техническое задание

№	Показатель	Ед. измерения	Значение
1	Общая площадь	га	5,13
2	Количество кварталов	шт.	4
3	Размеры кварталов	м	120,00×105,00 100,00×105,00 100,00×105,00 105,00×105,00
4	Ширина дорог между кварталами	м	6,00
5	Ширина внешней дороги	м	7,00
6	Размер клетки	м	4,00×3,00
7	Общее количество выносимых точек (каких?)	шт.	4356
8	Средняя квадратическая погрешность расположения точки (почему?)	м	±0,10

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Таблица 2

Каталог координат пунктов ГГС (в МСК-23)

№	Пункт	X, м	Y, м
1	ПТ Лорис	483688,35	1389744,48
2	ПТ Козет	472916,01	1378441,03
3	ПТ Железный	481924,68	1385932,90
4	ПТ Котляров	482946,41	1360375,22

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

В 2024 году кафедра геодезии приняла участие в инженерно-геодезических изысканиях на объекте: «Разбивка клеток виноградников в учхозе «Кубань»», которые были выполнены на основании «Технического задания на выполнение инженерно-геодезических изысканий».

В соответствии с техническим заданием, изложенным в таблице 1, необходимо осуществить комплекс мероприятий, направленных на достижение поставленных целей. Данный подход предполагает выполнение следующих ключевых этапов работы:

- сбор и анализ архивных материалов и исходных данных;
- обследование исходных пунктов геодезической сети на территории, подлежащей топографо-геодезическим изысканиям;
- поиск пунктов будет осуществляться визуально по картматериалам. Результатом работ будет перечень геодезических пунктов, пригодных для производства топографо-геодезических изысканий. Система координат МСК-23 (местная система координат-23, применяемая на территории Краснодарского края):

– создание калибровочного проекта с использованием пунктов Государственной геодезической сети (ГГС);

– геодезические разбивочные работы – перенесение на местность проектируемых рядов виноградников.

Топографо-геодезические работы выполнены в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016, актуализированная редакция, СП 11-104-97, и произведен сбор и анализ архивных материалов и исходных данных.

На территории, подлежащей топографо-геодезическим изысканиям, в январе 2024 года произведено обследование исходных пунктов Государственной геодезической сети, результатом работ стал перечень геодезических пунктов в системе координат МСК-23 [4] (табл. 2), пригодных для производства топографо-геодезических изысканий на территории объекта (рис. 2).

Исходя из технического задания, представленного кафедрой виноградарства КубГАУ, было принято решение рассмотреть несколько вариантов выполнения работ, с учетом расположения исходных пунктов.



Рис. 2. Схема расположения исходных пунктов
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования



Рис. 3. Схема калибровки GPS-оборудования
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Все используемые на объекте геодезические приборы прошли метрологическую поверку. Для обеспечения надлежащего качества конечных результатов, а также соблюдения установленных методов и технологии работ в процессе их выполнения регулярно осуществлялся контроль и приемка выполненных инженерно-геодезических работ с их качественной оценкой [5].

В качестве первого варианта выполнения работ будет применяться гибридный

метод. В данном контексте, посредством применения GPS-оборудования, будут определены угловые точки кварталов, что позволит с высокой точностью установить их географическое положение [6]. В свою очередь, внутренние точки кварталов будут определены с использованием тахеометра, применяя полярный метод, который обеспечивает детальное картирование и точное позиционирование в рамках геодезических изысканий.

Таблица 3

Отчет по результатам уравнивания определяемых пунктов

Имя точки	СКО в плане	СКО по высоте	Контроль
ПТ Котляров	0,018	0,027	Нет
ПТ Железный	0,005	0,007	Нет
ПТ Лорис	0,012	0,008	Нет

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Для выполнения работ на объекте был использован тахеометр модели Торсон GM-55. Тахеометр Торсон GM-55 снабжен мощным дальномером, который позволяет измерить расстояние в безотражательном режиме до 500 метров. Благодаря специальной технологии тахеометр может проводить измерения всего за 0,9 с. Все модели электронных тахеометров Торсон серии GM-55 имеют максимальный для оптико-электронных приборов уровень защиты от влаги и пыли – IP66 и возможность работы в условиях низких температур до -20.

Альтернативным вариантом будут геодезические разбивочные работы. Перенесение на местность проектируемых рядов виноградников было выполнено комплектом спутникового геодезического оборудования SOUTH в составе ровера «SOUTH S 82T» № S8294C117128707, свидетельство о поверке С-АЦМ/21-06-2023/255930769 от 21.06.2023 г., и базовой станции «SOUTH S 82T» № S8294C117128718, свидетельство о поверке С-АЦМ/21-06-2023/255930738 от 21.06.2023 г. Материалы полевых геодезических измерений обработаны с использованием компьютерного программного обеспечения: SouthGNSS-Pro.

Предварительно перед выполнением работ была выполнена калибровка GPS-оборудования. Работы выполняются двумя приемниками. В качестве базовой станции был выбран пункт триангуляции Козет, при помощи второго прибора были определены координаты других трех исходных пунктов триангуляции: Котляров, Железный, Лорис [7]. Схема калибровки представлена на рисунке 3.

Результаты калибровки приведены в таблице 3.

Первоначальным этапом оценки точности спутниковых определений являлось прогнозирование спутникового созвездия. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность работ характеризуется фактором понижения точности PDOP,

представляющим собой отношение средней квадратической погрешности определения местоположения к средней погрешности измерения расстояния до наблюдаемых спутников.

Данные измерения точек с полевого контроллера переносятся в компьютер в виде текстового файла в формате mif/mid, который экспортируется в FreeReason-Light. FreeReason-Light является современным программным продуктом, который позволяет обрабатывать топографические планы и карты, работать с различными графическими картматериалами, а встроенный редактор документов позволяет формировать графические материалы для межевых планов, в том числе схему земельного участка на КПТ. Редактор документов, встроенный в программный продукт FreeReason-Light, используется как при редактировании готовых шаблонов документов, так при создании собственных образцов документов [8].

При создании калибровочного проекта базовая станция располагалась непосредственно на ПТ Козет, ровер устанавливался на пункте триангуляции с использованием трипода. При этом необходимо учитывать ряд важных параметров: электропитание; сбои в приеме спутниковых сигналов; количество наблюдаемых спутников (не менее 4 спутников); значение PDOP (не более 4 единиц); маска отсечения (15°). При ухудшении этих показателей увеличивалось время наблюдений. Данные полевых измерений из спутниковых приемников записывались в персональный компьютер.

Уравнивание результатов измерений выполнено на IBM PC с использованием модуля Carlson SurvCE программного комплекса SOUTH GNSS PRO.

Уравнивание производилось параметрическим способом по критерию минимизации суммы квадратов поправок в измерения. При этом производилась полная оценка точности измерений в сети и положения каждого пункта.

В дальнейшем работы будут проводиться относительно ПТ Козет, средняя квадратическая погрешность точек, выносимых при помощи GPS, будет определяться по формуле:

$$M_{GPS} = 8 \text{ мм} + 1 \text{ ppm}, \quad (1)$$

где показатель ppm зависит от расстояния до базовой станции и составляет +1 мм/1 км.

Расстояние от базовой станции ПТ Козет до объекта работ составляет 17 км, таким образом, необходимо учесть 17 мм в формуле 1, получается, что самая большая погрешность при выносе проектных точек составит:

$$M_{GPS} = 8 + 17 = 25 \text{ мм},$$

что полностью соответствует техническому заданию.

При использовании GPS и тахеометра погрешность размещения точки будет считаться по другой формуле:

$$M_{\text{точ}}^2 = M_{GPS}^2 + M_{\text{пол}}^2, \quad (2)$$

где $M_{\text{точки}}$ – средняя квадратическая погрешность выносимой точки;

M_{GPS} – средняя квадратическая погрешность точек углов кварталов;

$M_{\text{пол}}$ – средняя квадратическая погрешность выноса точки способом полярных координат.

Как уже было рассчитано ранее, M_{GPS} составляет 30 мм, необходимо более детально рассмотреть $M_{\text{пол}}$, которое считается по формуле:

$$m_{\text{пол}}^2 = m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot S_{\text{пол}}^2, \quad (3)$$

где m_s – средняя квадратическая погрешность измерения линии полярной засечки;

m_β – средняя квадратическая погрешность измерения угла в полярной засечке;

$S_{\text{пол}}$ – максимальная длина линии в полярной засечке.

Согласно инструкциям полярную засечку следует выполнять с контролем, схема выполнения работ представлена на рисунке 4.

Согласно формуле 3 видно, что величина угла не влияет на конечный результат и зависит от точности прибора [9]. Выполним расчет ожидаемой погрешности расположения точек, на разном удалении от углов кварталов, которые выносятся с применением GPS [1]. Точки будут выноситься в каждом квартале отдельно, и максимальное расстояние при этом составляет 165,50 метра. Зная эти данные и используя формулу (3), можно рассчитать максимальное значение СКП точки:

$$M_{\text{точ}} = \sqrt{25^2 + 2^2 + \frac{3^2}{206265^2} \cdot 165,50^2} = \pm 25 \text{ мм}$$

Как показывает расчет, конечное значение погрешности составляет также 12 мм.

Независимо от метода выполнения работ ожидаемая погрешность положения точки не будет превышать требуемого значения [10].

Технический контроль полевых и камеральных работ выполнялся под руководством руководителя путем просмотра полевой документации, сличения разбивочного чертежа с местностью, набора контрольных пикетов по элементам разбивки.

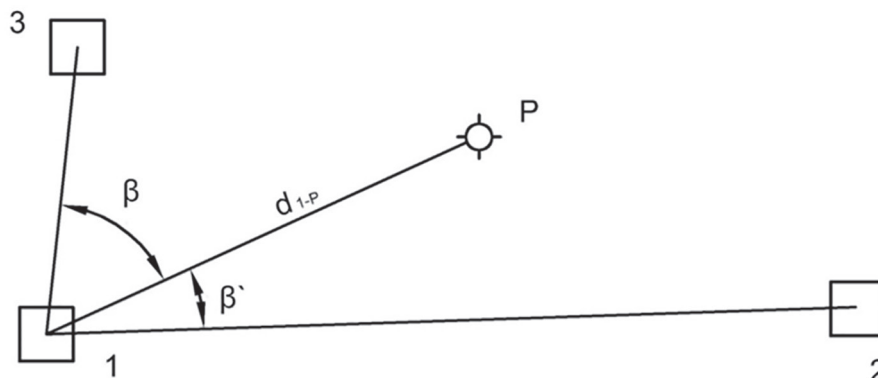


Рис. 4. Схема выполнения полярной засечки
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 4

Расчет стоимости работ

№	Виды работ	Расчет стоимости	Стоимость, руб.
1	Изготовление и установка ориентирного пункта	$260 \times 4356 \times 5,96$	6 750 057
2	Составление технического отчета	$25\,050 \times 5,96 + 101\,250$	250 548
	Итого		7 000 605
	НДС, 20%		1 400 121
	Всего		8 400 726

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

По результатам приемки, выполненные инженерно-геодезические работы удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации и техническому заданию заказчика [11].

Для выбора оптимального метода выполнения работ выполним оценку стоимости и затрат времени на полевые изыскания [12]. Для расчета стоимости работ использовался «Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства», цены приведены в данном справочнике за 01.01.2001. Соответственно, необходимо учесть коэффициент инфляции, установленный в «индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, индексы изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ для строительства», который обновляется каждый квартал [13]. Таким образом, индекс инфляции составляет 6,26.

В контексте проведения геодезических и инженерных изысканий на территории Краснодарского края, где объект расположен в пределах равнинной местности, необходимо учитывать климатические факторы, оказывающие влияние на стоимость выполнения работ. В соответствии с методологическими рекомендациями и нормативными документами климатические условия данной географической зоны классифицируются как относящиеся к первой категории сложности производственных измерений. Следующим шагом было определение видов работ [14]. Так как не требуется закреплять точки на долгосрочной основе, следовательно, применяется следующий пункт «ориентирный пункт – деревянный столб с нижним центром».

По окончании работ заказчику будут переданы все материалы, а также будет подготовлен технический отчет.

В современной геодезии большой акцент делается на современные цифровые технологии сбора и обработки данных, презента-

ционный максимум которых возможен только в цифровом виде [15]. Несмотря на это, аналоговая геодезическая карта и классический способ ее интерпретации по-прежнему являются обязательной частью проектной и другой документации.

Заключение

Оценка точности геодезических измерений, выполненных с использованием комбинированного метода, подтвердила соответствие установленным требованиям.

Следует подчеркнуть, что тахеометр по-прежнему остается востребованным геодезическим инструментом, полностью адаптированным к современным требованиям и условиям эксплуатации. В условиях, когда доступность сигнала глобальных навигационных спутниковых систем ограничена в ряде регионов, применение тахеометров приобретает особую актуальность. Этот инструмент продолжает играть ключевую роль в геодезических и строительных изысканиях, обеспечивая высокую точность измерений и надежность результатов.

Список литературы

1. Савченко Ю.М., Турк Г. Современные возможности лазерного сканирования // Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. № 6. С. 632-642. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_6_311. EDN: CLRKWF.
2. Барсукова Г.Н., Шевкетова И.Е., Пузанова Д.С. Разработка элементов инвестиционного проекта на основе проекта организации и устройства территории сада интенсивного типа // International Agricultural Journal. 2025. Т. 68. № 3. DOI: 10.55186/25880209_2025_9_3_15. EDN: RKUZNW.
3. Artemova E.I., Barsukova G.N. Improving the System of Rational Land Use in Agriculture in the Southern Region of Russia // Innovations in Sustainable Agricultural Systems, Agriculture 4.0 and Precision Agriculture. Vol. 2, Stavropol, 10–11 апреля 2025 года. Vol. 1534. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2025. P. 298-307. DOI: 10.1007/978-3-031-98127-2_30. EDN: KGSEKK.
4. Пшидаток С.К., Солодунов А.А., Белоусов И.С. Мониторинг состояния и размещения пунктов государственной геодезической сети на территории Краснодарского края // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8. № 6. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_6_307. EDN: MCCLDL.

5. Подтелков В.В., Прокопенко А.В., Пшидаток С.К. Оценка видов воздействий складских комплексов на окружающую природную среду // Экономика и предпринимательство. 2018. № 11(100). С. 557-560. EDN: VNHWVE.
6. Пшидаток С.К., Турк Г.Г., Сарксян Л.Д., Лукьянова М.С. Инженерно-геодезические изыскания для целей подготовки проектной документации линейного объекта // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 2 (122). С. 206-218. DOI: 10.35679/1991-9476-2022-17-2-206-218. EDN: NXJSBY.
7. Солодунов А.А., Смоляков Д.С., Разгоняев С.В., Ерж А.С. Результаты сравнительного анализа орбитальных группировок глобальных навигационных спутниковых систем // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 183. С. 274-291. DOI: 10.21515/1990-4665-183-027. EDN: DAKAXZ.
8. Савченко Ю.М., Турк Г.Г., Гурский И.Н. Современные возможности использования фотограмметрии // Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. № 1. DOI: 10.55186/2413046X_2023_9_1_49. EDN: BFWWII.
9. Безуглова Е.В., Маций С.И., Подтелков В.В. Особенности эксплуатации линейных транспортных сооружений в аспекте противооползневой защиты // Геотехника. 2017. № 3. С. 60-66. EDN: ZEOKCT.
10. Подтелков В.В., Прокопенко А.В., Зеленков Д.С., Пшидаток М.А. Усиление основания дорожной одежды сельскохозяйственного предприятия для устройства проездов и площадок при наличии локальных песчаных линз // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 183. С. 223-233. DOI: 10.21515/1990-4665-183-022. EDN: HFUVWX.
11. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Серикова А.А. Применение лазерного сканирования для создания геоинформационных систем // Научные труды КубГТУ. 2016. № 15. С. 57-68. EDN: XRVJEP.
12. Гура Д.А., Дубенко Ю.В., Марковский И.Г. Мониторинг объектов транспортной инфраструктуры с применением сканирующих технологий // Технологии техносферной безопасности. 2020. № 2 (88). С. 74-86. DOI: 10.25257/TTS.2020.2.88.74-86. EDN: CIAPQD.
13. Туров Д.И., Гура Д.А., Шевченко Г.Г., Гура Т.А. Комплекс геодезических работ для составления пространственных обмерных чертежей подземных сооружений на примере ГЭС // Научные труды КубГТУ. 2017. № 4. С. 51-59. EDN: ZKAONX.
14. Перов А.Ю., Конограев Е.В., Разумов М.В. Использование ДЗЗ при мониторинге процессов абразионного разрушения Таманского полуострова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2025. Т. 20. № 8 (247). С. 540-548. DOI: 10.33920/sel-04-2508-08. EDN: SNYTSZ.
15. Бондарчук А.В., Перов А.Ю. Использование спутниковых данных для мониторинга негативных процессов на землях сельскохозяйственного назначения Краснодарского края // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2024. Т. 18. № 4. С. 45-55. DOI: 10.31161/1995-0675-2024-18-4-45-55. EDN: BVZHHV.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.