

doi: 10.51639/2713-0576_2025_5_1_25

Научная статья

УДК 621.878.25

ГРНТИ 55.01.85

ВАК 2.5.11

Повышение эффективности дорожно-строительной техники установкой ГЛОНАСС устройств

Максимилиан Эдуардович Черевань¹,
Наталья Игоревна Федосеенко Н.И.^{2*}, Александр Васильевич Картыгин А.В.³

Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Новороссийск, Россия
^{2*}*fedoseenko_natal@mail.ru*, ³*aleksandr-kartygin@yandex.ru*

Аннотация

Одним из важнейших направлений дальнейшего развития дорожно-строительного машиностроения является создание мобильных, многофункциональных машин большой единичной мощности, выполняющих за один рабочий проход возможно большее количество технологических операций с наименьшими затратами.

Известны специализированные устройства, которые используют систему глобального позиционирования (ГЛОНАСС) для определения положения рабочего органа в процессе выполнения рабочих операций и повышения эффективности работы. Они также могут использоваться для контроля расхода топлива и обеспечения безопасности на строительных объектах.

Кроме того, применение ГЛОНАСС в строительстве открывает новые возможности для автоматизации и роботизации процессов. Автоматизированные системы, использующие ГЛОНАСС, позволяют повысить производительность труда, снизить операционные расходы и улучшить контроль качества выполняемых работ.

Проведение научного поиска позволяет узнать как минусы, так и плюсы различных ГЛОНАСС устройств, и выбрать наиболее подходящее для универсального использования.

Данные устройства играют важную роль в повышении эффективности и точности технологических процессов в строительной отрасли.

Ключевые слова: инновационные технологии, строительная отрасль, повышение эффективности

Введение

В настоящее время быстрое развитие производства машин для дорожно-строительных и строительных работ, совершенствование технологических процессов в строительной отрасли, характеризуется растущими требованиями к скорости, качеству и безопасности работ, а внедрение инновационных технологий становится критически важным. Технологии глобального позиционирования (ГЛОНАСС), в частности, открывают новые возможности для оптимизации строительных процессов. Применение специализированных ГЛОНАСС - устройств позволяет не только точно определять местоположение техники и персонала, контролировать расход топлива и повышать безопасность на строительных площадках, но и автоматизировать многие операции, значительно повышая

производительность и снижая операционные расходы. Согласно данным на сайте «РосТендер» о тендерах в сфере дорожного строительства, стремительный рост использования подобных технологий подтверждает их актуальность и экономическую целесообразность. В работе проводится анализ различных типов ГЛОНАСС устройств, определяются их сильные и слабые стороны, чтобы найти наиболее эффективные решения для применения в строительной отрасли, уделяя особое внимание их значимости для повышения точности и эффективности работ.

Анализ и сравнение ГЛОНАСС - систем позиционирования для строительной отрасли

В современной практике применения ГЛОНАСС устройств на подъемно-транспортных, дорожных, строительных машинах и оборудовании отмечается применение нескольких видов устройств: автономные навигаторы, встраиваемые навигационные модули, трекеры и 3D системы нивелирования.

Навигационные устройства (Рис.1) [1]. Автономные навигаторы - портативные устройства для определения местоположения и навигации, использующие сигналы ГЛОНАСС. Могут быть оснащены картами, голосовым сопровождением и другими функциями.

Встраиваемые навигационные модули (Рис.2) [2]. Устройства, интегрируемые в транспортные средства, сельскохозяйственную и другую технику, обеспечивающие навигационные возможности.

Устройства слежения - трекеры (Рис.3) [3]. Устройства для отслеживания местоположения и перемещения контролируемых объектов в режиме реального времени, основанные на технологии ГЛОНАСС. Осуществляют мониторинг местоположения транспортных средств, грузов и персонала.

3D системы нивелирования с ГЛОНАСС-электронные системы, использующие сигналы со спутников для автоматического управления положением рабочего органа машин, что позволяет выполнять работы с высокой точностью и большей эффективностью (Рис.4).

	
Рисунок 1 - Автономные навигаторы	Рисунок 2 - Встраиваемые навигационные модули

	
Рисунок 3 – Трекеры	Рисунок 4 - 3D системы нивелирования

Оптимальный выбор навигационных систем ГЛОНАСС для строительной техники зависит от специфики выполняемых работ.

Встраиваемые модули обеспечивают эффективную интеграцию и базовые навигационные функции, подходящие для большинства задач, но требуют дополнительной настройки.

Для высокоточных операций, таких как фрезерование дорожного полотна или укладка нового асфальтового покрытия, необходимость точного позиционирования рабочего органа делает 3D-системы нивелирования с ГЛОНАСС наиболее выгодными, несмотря на их более высокую стоимость и сложность внедрения.

Автономные навигаторы и трекеры из-за своей ограниченной функциональности и отсутствия интеграции менее пригодны для профессионального использования в строительстве.

Практическое применение 3D систем нивелирования на примере автогрейдера

Применение 3D-систем нивелирования с ГЛОНАСС на автогрейдерах коренным образом меняет процесс профилирования и планировки земляного полотна, при использовании их в процессе строительства земляных сооружений.

Интеграция системы позволяет оператору получать в режиме реального времени точную информацию о текущем положении отвала относительно заданной проектной поверхности. Это обеспечивает высокую точность позиционирования рабочего органа, уменьшая необходимость в многократных проходах и последующей ручной доработке планируемой площадки.

Автоматическое управление отвалом в соответствии с 3D-моделью гарантирует создание идеально ровной поверхности с заданными уклонами и профилями, что критически важно для долговечности и безопасности дорожного покрытия.

Точное управление рабочим органом позволяет сократить время выполнения работ, повысить производительность, одновременно снижая расход топлива.

Возможность работы с комплексными проектами, включающими сложные кривые и уклоны, делает 3D-системы незаменимыми при строительстве современных автомагистралей и других дорожных объектов. В итоге, применение 3D-нивелирования на автогрейдерах повышает качество работ, снижает затраты и увеличивает безопасность строительного процесса.

Рынок 3D-систем нивелирования

Рынок 3D-систем нивелирования представлен преимущественно зарубежными производителями, такими как Trimble с флагманской моделью GCS900 (Рис.5) [4], Topcon с моделью 3D-MC MAX (Рис.6) [5] и FJDynamics с инновационной системой H36 (Рис.7) [6]. Для пользователей, которым необходима максимальная точность, надёжность и функциональность, эти системы являются оптимальным выбором. Более доступные решения, обеспечивающие достойный уровень точности и надёжности, также представлены на рынке, например, модель TG 63, от китайской фирмы CHCNAV (Рис.8)[7].

Следует отметить существенный дефицит на рынке отечественных разработок, способных конкурировать на равных с зарубежными производителями. В рамках единого таможенного пространства (Таможенного союза) – Казахстан, Россия, Белоруссия, Армения и Киргизия, только белорусская компания «Белгидросила групп» производит систему «Сауро», которая пытается составить им конкуренцию и демонстрирует стремление к развитию собственных технологий в этой области.

Дальнейшее развитие отечественного производства 3D-систем нивелирования крайне важно для обеспечения технологического суверенитета и повышения конкурентоспособности строительного сектора.

	
<p>Стоимость ≈ 3 750 000 Р Страна производитель: США Рисунок 5 - Trimble GCS900</p>	<p>Стоимость ≈ 3 260 000 Р Страна производитель: Япония Рисунок 6 - Topcon 3D-MCMax</p>
	
<p>Страна производитель: Китай Стоимость ≈ 3 500 000 Р Рисунок 7 – FJDynamicsH36</p>	<p>Стоимость ≈ 2 600 000 Р. Страна производитель: Китай Рисунок 8 –CHCNAV TG63</p>

Для сравнения технических параметров приведённых выше устройств их некоторые характеристики были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика 3D систем нивелирования

Характеристика	Topcon 3D MC MAX	FJDynamics H36	Trimble GCS900	СНСNAV TG63
Количество приемников	1-2	1-2	1-2	1-2
Точность нивелирования	±3 мм	±3 мм	±3 мм	±3 мм
Дальность действия	до 100 м	до 100 м	до 150 м	до 100 м
Простота использования	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя
Программное обеспечение	Topcon MAGNET	Контроллер H36	Бизнес-центр Trimble	Значок СНС
Интеграция со строительным оборудованием	+	-	+	-
Автоматическое управление машиной	+	-	+	-
Мониторинг производительности	+	-	-	-
Сенсорный экран	-	-	+	-
Стандартная гарантия	2 года	1 год	1 год	1 год



Проведём сравнительный анализ двух систем 3D-нивелирования: Торсон 3D-МС Мах и Сауро*, для этого поместим сравниваемые технические параметры в таблицу 2 [8]. Это позволит оценить их функциональные возможности, преимущества и недостатки, а также определить область применения каждой системы.

Таблица 2 – Сравнение двух систем нивелирования Торсон и САУРО

Параметр	Сауро	Торсон
Технология и оборудование	Использует лазерные и ультразвуковые датчики для нивелирования. Модели Сауро (например, 61, 66, 68, 64) могут различаться по функциональным возможностям и типам датчиков.	Использует многопозиционные IMU-сенсоры и GNSS-приемники для высокоточной работы. Поддерживает 4G связь через модем SL-25, что позволяет осуществлять удаленный доступ и мониторинг.
Интерфейс	Информация о конкретных экранах или программном обеспечении ограничена, что может указывать на менее развитый интерфейс по сравнению с Торсон.	Оснащен экранами GX-55 и GX-75 с высокой разрешающей способностью и удобным пользовательским интерфейсом.
Функции	Основные функции нивелирования, но без детального описания возможностей автоматизации или поддержки форматов данных. Может включать функции для простых задач нивелирования, но не указаны расширенные функции	Поддержка автоматизации процессов, включая создание вертикальных и горизонтальных смещений. Возможность работы с различными форматами данных (DXF, DWG и др.). Интеграция с платформой Sitelink для передачи данных и удаленного мониторинга.
Применение	Предназначена для общих задач нивелирования, таких как выравнивание и подготовка площадок, но не имеет такой же гибкости и многофункциональности, как Торсон.	Идеально подходит для сложных земляных работ, дренажа, выемки прудов и других многофункциональных проектов.

*данные о системах Сауро и Торсон 3D-МСМах взяты с сайта производителя

Исходя, из данных приведенных в таблице 2 можно сделать вывод, что система «САУРО», по сравнению с Торсон3D-МСМах, демонстрирует более ограниченную функциональность, поэтому не имеет широкого применения.

Для повышения конкурентоспособности на российском и белорусском рынках необходима модернизация по нескольким направлениям:

- во-первых, следует улучшить пользовательский интерфейс, сделав его более понятным и удобным, как в системах Торсон с экранами высокой разрешающей способности;

- во-вторых, критически важно расширить функциональность системы, добавив поддержку автоматизации процессов, интеграцию с различными форматами данных (DXF, DWG и др.) и, возможно, создав облачную платформу для удаленного мониторинга и передачи данных, аналогичную Sitelink3D от Торсон.

Внедрение более современных сенсорных технологий, таких как высокоточные IMU-сенсоры и GNSS-приёмники, также значительно повысит точность и надёжность системы. Такая модернизация позволит «Сауро» конкурировать с ведущими зарубежными аналогами, расширить сферу применения и, как следствие, повысить спрос, как на российском, так и на белорусском рынках, способствуя развитию отечественного производства ГЛОНАС оборудования.

Экономия и эффективность 3D-систем нивелирования в строительной отрасли России

Внедрение 3D-систем нивелирования на строительной технике в России – это шаг к повышению эффективности и снижению затрат.

Несмотря на то, что первоначальные инвестиции могут казаться существенными, долгосрочная выгода от их использования несомненна.

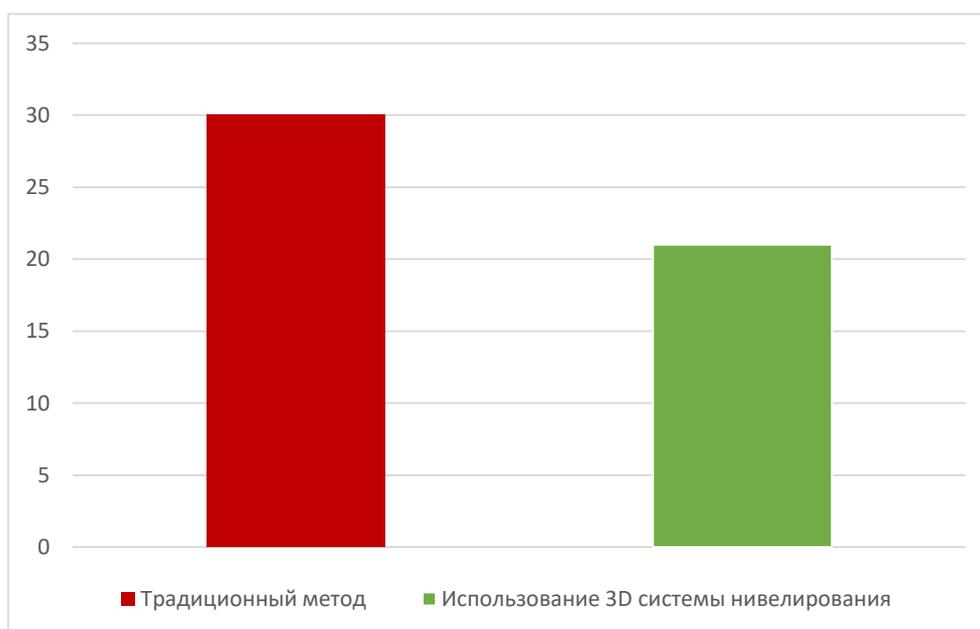


Рисунок 10 – Сравнение времени выполнения работ

Рассмотрим основные преимущества использования 3D систем нивелирования:

1. Увеличение производительности. 3D системы могут повысить производительность на 20-30% [9]. Например, если традиционная работа занимает 30 дней, с 3D технологиями это может быть сокращено до 21-24 дней (Рис.10).

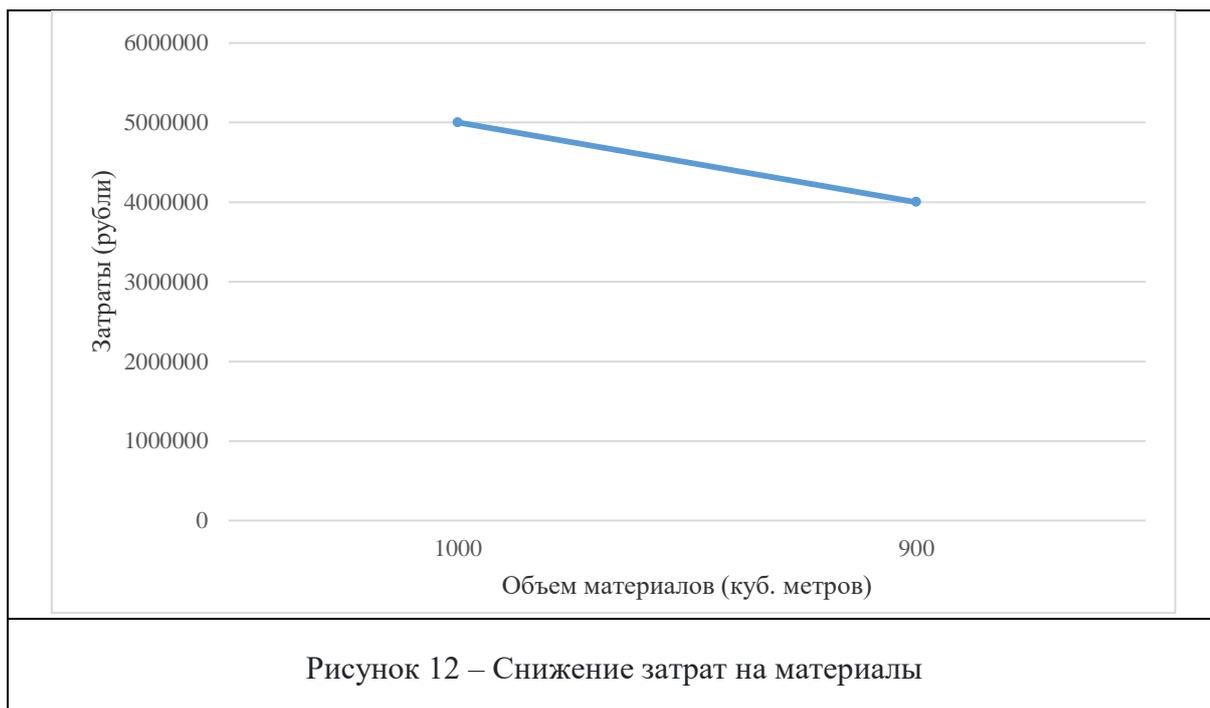
2. Экономия на затратах. Если стоимость рабочего дня экскаватора составляет примерно 15000 рублей, то экономия на времени может составить 45000 – 90000 рублей за проект (Рис. 11).

3. Точность и минимизация перерасхода материалов. 3D-моделирование позволяет более точно планировать и выполнять работы, что снижает перерасход материалов на 10-15% [9]. Это сокращает затраты на закупки и уменьшает экологический след. Например, если на проект выделено 1000 кубометров материала, экономия может составить 100-150 кубометров, что в денежном эквиваленте может быть 300000 – 450000 рублей (в зависимости от стоимости материала) (Рис. 12).

4. Снижение затрат на исправление ошибок. 3D-системы помогают избежать ошибок при проектировании и выполнении работ, минимизирует затраты на исправление [10]. Это позволяет снизить риск задержек и переделок, что напрямую влияет на конечную стоимость проекта. Например, если затраты на исправление ошибок составляют 1% от общего бюджета проекта в 5000000 рублей, то экономия может составить 50000 рублей.

5. Повышение безопасности. 3D-системы повышают безопасность на стройплощадке, это связано с более точным планированием работ и оптимизацией движения техники, что сокращает риск аварий и травм. Возможность предотвратить возникновение случаев травматизма при производстве земляных работ- одна из приоритетных задач строительных организаций.

6. Улучшение качества работ. 3D-моделирование позволяет контролировать каждый этап работ, что гарантирует высокое качество конечного результата. Это сокращает количество рекламаций и затраты на дополнительные работы.



Пример расчета экономической выгоды

Предположим, проект, где стоимость земляных работ 5 000 000 рублей, который при традиционных методах займет 30 дней, может быть выполнен с помощью 3D систем за 27 рабочих дня, при условии работы в одну рабочую смену. Это сокращение на 10% (3 дня), что эквивалентно экономии на аренде одной единицы дорожно-строительной техники (Автогрейдер ДЗ 98) в 45 000 рублей (считая среднюю стоимость рабочего дня 15 000 рублей) [11].

Основные недостатки 3D систем нивелирования и рекомендации по их устранению

Несмотря на очевидные преимущества, 3D-системы нивелирования имеют ряд ограничений. Высокая стоимость оборудования является одним из основных факторов, сдерживающих их широкое внедрение, особенно для небольших компаний. Функционирование систем во многом зависит от наличия стабильного спутникового сигнала; в условиях плохой видимости спутников или сильных помех точность измерений может снижаться, а в некоторых случаях работа системы может быть полностью приостановлена. Дальность действия датчиков также ограничена, что может потребовать дополнительного оборудования или корректировки планирования работ. Наконец, системы уязвимы для различных видов электромагнитных помех, которые могут исказить данные и привести к ошибкам в измерениях. Эти факторы необходимо учитывать при выборе и внедрении 3D-систем нивелирования. Однако существуют способы минимизировать эти затраты.

Рекомендуется тщательно сравнивать цены от разных производителей, выбирая оптимальное соотношение цены и функциональности. Альтернативой приобретению в собственность может стать аренда или лизинг оборудования, что позволит снизить первоначальные инвестиции и распределить затраты во времени.

Зависимость от спутникового сигнала ограничивает применение 3D-нивелирования в условиях плохой видимости спутников или сильных помех. Для решения этой проблемы целесообразно использовать системы, оснащённые инерциальными измерительными блоками (IMU), которые позволяют продолжать работу даже при отсутствии спутникового сигнала (Рис.13) [12]. В качестве дополнительной меры можно использовать усилители спутникового сигнала для улучшения приёма в сложных условиях (Рис.14) [13].

Ограничения по дальности действия датчиков могут снизить эффективность работы на больших площадях. Чтобы преодолеть этот недостаток, стоит рассмотреть системы с увеличенной дальностью действия или использовать дополнительные ретрансляторы сигнала для расширения зоны покрытия (Рис.15).

И самая большая проблема - уязвимость к электромагнитным помехам, которая может приводить к ошибкам в измерениях. Выбор систем со встроенной защитой от помех является важным аспектом минимизации этого риска (Рис.16) [14]. Кроме того, правильное размещение оборудования на строительной площадке, вдали от источников потенциальных помех, также поможет обеспечить стабильную и точную работу.

Комплексный подход к решению этих вопросов позволит максимально эффективно использовать потенциал 3D-систем нивелирования.

	
<p>Рисунок 13 – Инерциальный модуль</p>	<p>Рисунок 14 – Устройство для усиления спутникового сигнала</p>
	
<p>Рисунок 15 – Ретранслятор геолокации</p>	<p>Рисунок 16 - Anti-jamming антенна (для подавления помех ГЛОНАСС устройств)</p>

Заключение

Внедрение 3D-систем нивелирования с использованием ГЛОНАСС-технологий в российском строительном секторе представляет собой стратегически важный шаг к повышению эффективности и конкурентоспособности отрасли. Несмотря на существующие ограничения, такие как высокая стоимость оборудования и зависимость от спутникового сигнала, преимущества в виде значительного сокращения сроков строительства, минимизации расхода материалов, повышения безопасности труда и улучшения качества работ перевешивают недостатки.

Успешное развитие таких проектов, как система «Сауро», в рамках сотрудничества на просторах Таможенного союза, является важным фактором обеспечения технологического суверенитета и снижения зависимости от зарубежных производителей.

Дальнейшие исследования и инновации в области 3D-нивелирования позволят преодолеть существующие ограничения и ещё больше расширить применение этой технологии в различных областях строительства, способствуя росту эффективности и прибыльности строительных компаний в России.

Рассмотренные методы минимизации недостатков и оптимизации использования 3D-систем нивелирования помогут строительным организациям сделать взвешенный выбор и эффективно использовать потенциал этой перспективной технологии.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что на момент подачи статьи в редакцию, у них нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Rosgeoshop <https://www.rosgeoshop.ru/products/navitel-n500> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
2. Stackoverflow <https://stackoverflow.com/questions/62249389/ublox-7-based-gps-module-incomplete-data-incorrectly-formatted-data-most-of-th> [Электронный ресурс] (Дата обращения)
3. Starline https://store.starline.ru/catalog/gsm_sistemy/starline_m18_pro_v2/ [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
4. Expert. SurveyEquipment <https://www.xpertsurveyequipment.com/cat-trimble-gcs900-ms992-gps-iglonaass-machine-control-kit.html> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
5. ТоппТоро <https://topptopo.dk/produkter/maskinstyring> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
6. Геотехнологии <https://gtdv.ru/product/fjd-h36-3d-sistema-upravleniya-motor-grejderom/> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
7. SVVelor <https://www.chcnav.sv-velor.com/product-page/tg63> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
8. Promportal <https://nizhniy-novgorod.promportal.su/goods/965693/avtomatika-sauro-61-sauro-66-sauro-68-sauro-64.htm> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
9. Геоостронич <https://grader3d.ru/> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
10. Протасов С. Современные технологии в конструкции автогрейдеров [Электронный ресурс] // Основные средства. Машина для всего на свете. Часть 1-3: Электрон. науч. ж. – 2020. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/25943-sovremennye-tehnologii-v-konstruktsii-avtogreyderov-mashina-dlya-vsego-na-svete-ch-3> (Дата обращения 04.12.2024)
11. <https://belgorod.spcteh.ru/arenda/avtogrejderj/grejdera-dz-98-13657/>
12. Галфинд <https://halfwind.org/cat/inercialnye-moduli/inercialnyj-modul-gkv-10/> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
13. Открытые сетевые технологии <https://www.o-net.ru/catalog/products/tproduct/461428506-170030080271-raspredelyonnie-antennie-sistemi-das> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
14. GNSS <https://gnssplus.ru/catalog/anti-jamming-antenna-4bd-b1-gps-l1-ce-l2.html> [Электронный ресурс] (Дата обращения 04.12.2024)
15. Картыгин, А. В. Размышления о понятии (термине) «модернизация» / А. В. Картыгин, А. Б. Свидов // Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях : Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, Белгород, 19 ноября 2021 года / Под редакцией С.А. Михайличенко, Ю.Ю. Буряка. Том Часть 3. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 98-102. – EDN ТВBSNV.
16. Черевань, М. Э. Модернизация строительной техники установкой ГЛОНАСС устройств / М. Э. Черевань [и др.] // Сборник трудов международной молодёжной школы "Инженерия-XXI": Сборник тезисов молодёжной школы при IV международной научно-практической

конференции "Инженерно-техническое образование и наука" (ИТОН-2024), Новороссийск, 22–26 апреля 2024 года. – Новороссийск: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 48-49. – EDN NLZCHP.

Increasing the efficiency of road construction equipment by installing GLONASS devices

¹*Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Novorossiysk, Russia,*
Maximilian Eduardovich Cherevan, Natalia Igorevna Fedoseenko^{1*},
Alexandr Vasilievich Kartygin¹

Abstract

One of the most important areas of further development of road construction engineering is the creation of mobile, multifunctional machines of high unit capacity, performing in one working pass the greatest possible number of technological operations with the least costs.

There are specialized devices that use the global positioning system (GLONASS) to determine the position of the working element during work operations and to increase work efficiency. They can also be used to control fuel consumption and ensure safety at construction sites.

In addition, the use of GLONASS in construction opens up new opportunities for automation and robotization of processes. Automated systems using GLONASS can increase labor productivity, reduce operating costs, and improve quality control of work performed.

Conducting scientific research allows us to learn both the disadvantages and advantages of various GLONASS devices and choose the most suitable one for universal use.

These devices play an important role in increasing the efficiency and accuracy of technological processes in the construction industry.

Key words: innovative technologies, construction industry, efficiency improvement