

## МАШИНОСТРОЕНИЕ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ТРАНСПОРТ

doi: 10.51639/2713-0576\_2026\_6\_3\_79

Научная статья

УДК 69.002.5

ГРНТИ 67.17.23

ВАК 2.1.7, 2.1.8

### Автоматизация работы строительных машин

Андрей Александрович Пантелеев<sup>1</sup>, Наталья Игоревна Федосеенко<sup>2</sup>,  
Александр Васильевич Картыгин<sup>3\*</sup>

*Филиал ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова» в г. Новороссийске,  
Новороссийск, Россия*

<sup>2</sup> [fedoseenko\\_natal@mail.ru](mailto:fedoseenko_natal@mail.ru) <sup>3\*</sup> [aleksandr-kartygin@yandex.ru](mailto:aleksandr-kartygin@yandex.ru)

### Аннотация

Строительная отрасль находится на пороге технологической революции. Автоматизация работы строительных машин перестаёт быть футуристической концепцией и превращается в реальность, которая уже меняет подходы к проектированию, возведению и эксплуатации объектов. Рост рынка умной строительной техники, оцениваемый в 2025 году темпами CAGR ((англ. Compound annual growth rate) — совокупный среднегодовой темп роста) 12,8 % на глобальном уровне свидетельствует о системном характере трансформации. При этом наиболее динамично рынок автоматизированной техники развивается в Китае (CAGR 17,3 %) и Индии (CAGR 16,0 %), где масштабные инфраструктурные программы стимулируют внедрение цифровых технологий.

В России с 2026 года «ДОМ.РФ Технологии» планирует масштабное внедрение автономных строительных систем, включая беспилотные экскаваторы, бульдозеры, катки, роботы - каменщики, дроны - инспекторы и т. д.

*Ключевые слова:* строительная отрасль, строительная техника, автоматизация, автоматизация работы строительной техники.

Одним из условий технического прогресса в настоящее время является постоянное совершенствование рабочего процесса, ускорение выполнения производственных задач. Для этого должны быть решены вопросы комплексной автоматизации машин и производственных процессов, что приведет к снижению расхода производственных и трудовых ресурсов. Развитие современных технологий имеет тенденцию широкого использования автоматизированных производственных систем [1 - 4].

История развития строительной техники представляет собой постепенный переход от простой механизации физического труда к интеллектуальным системам, способным принимать самостоятельные решения. Если первые экскаваторы и бульдозеры лишь усиливали мускульную силу оператора, то современные машины оснащаются сложнейшими сенсорными комплексами, системами позиционирования и

вычислительными модулями, позволяющими выполнять задачи с минимальным участием человека.

Пионером в области автономной строительной техники стала горнодобывающая отрасль. Компания Komatsu внедрила системы автономного транспорта (AHS — Autonomous Haulage Systems), которые продемонстрировали принципиальную возможность работы тяжёлой техники без операторов в кабинах. Этот опыт стал фундаментом для распространения автоматизации на общестроительные работы.

По данным аналитиков, в 2025 году полуавтономные системы занимают доминирующую долю рынка. Объем автономной строительной техники составлял около 15,58 млрд долларов США и, как ожидается, будет расти со среднегодовым темпом роста более 9 % в период с 2026 по 2035 год. Это объясняется сбалансированным подходом к вопросу: автоматизация повышает эффективность и безопасность, но оператор сохраняет контроль в сложных или нестандартных ситуациях.

Наиболее активно автоматизация внедряется в дорожном строительстве. Этот сегмент обеспечивает большой процент использования автономного оборудования. Автогрейдеры, асфальтоукладчики и материалобработывающие машины выполняют работы на магистралях с минимальным человеческим контролем, что обусловлено относительно предсказуемой средой и чёткими геометрическими параметрами дорожных проектов.

Дорожное строительство лидирует по внедрению автоматизации благодаря относительно простым и повторяющимся операциям:

- автогрейдеры и бульдозеры с системами автоматического профилирования выполняют работы по подготовке основания с минимальным участием оператора;
- на асфальтоукладчиках и катках автоматизированные системы обеспечивают равномерность укладки и оптимальное число проходов уплотнения;
- фрезы и рециклеры работают в составе автоматизированных комплексов;
- роботы для разметки автономно наносят разметку на бетонные покрытия по цифровым чертежам, исключая ручные измерения;
- роботы для демонтажа, дистанционно управляемые или автономные машины, разрушают конструкции, обеспечивая безопасность персонала;
- роботы-каменщики выполняют кладку стен по заданным алгоритмам с постоянной скоростью и точностью;
- роботы-помощники (типа Boston Dynamics Spot) доставляют инструменты в труднодоступные или опасные зоны.

Еще одним неотъемлемым элементом автоматизации строительных процессов стали дроны. Их применение охватывает все этапы строительства:

- на этапе проектирования аэросъёмка позволяет создавать цифровые модели территории, ортофотопланы, изучать ландшафтные особенности и прогнозировать природные изменения;
- в процессе строительства они отслеживают занятость работников, контролируют объёмы выполненных работ, выявляют отклонения от проекта;
- на этапе приёмки проводят облёт площадки, выполняют фото- и видеосъёмку, лазерное сканирование для создания цифровых двойников готовых объектов;
- дроны с тепловизионными камерами выявляют дефекты конструкций, потери тепла, протечки и неисправности электросистем.

Современные строительные машины оснащаются комплектами датчиков, обеспечивающих всестороннее восприятие окружающего пространства. Ключевыми компонентами автоматизированных машин являются:

- лидары (LiDAR) – это лазерные сканирующие системы, создающие точные трёхмерные карты местности. Лидар способен формировать цифровые модели объектов со скоростью нескольких миллионов точек в секунду, что позволяет осуществлять не только навигацию, но и контроль соответствия выполненных работ проектной документации. В условиях строительной площадки, где пыль, осадки и изменение освещённости создают сложности для оптических систем, лидары демонстрируют высокую надёжность;

- камеры и системы компьютерного зрения обеспечивают распознавание объектов, анализ текстур поверхностей и определение границ рабочей зоны. Современные нейронные сети позволяют машинам различать типы грунтов, обнаруживать препятствия и идентифицировать персонал на площадке. Компания Deere представила на выставке CES 2025 второе поколение автономного комплекта, объединяющего продвинутое компьютерное зрение и нейронные сети для восприятия окружения и принятия решений в реальном времени;

- GPS и системы позиционирования обеспечивают геопривязку с сантиметровой точностью. Интеграция с инерциальными измерительными модулями позволяет поддерживать точность позиционирования даже при временной потере спутникового сигнала, например, в условиях плотной застройки или под навесами;

- ультразвуковые и радарные датчики дополняют картину вблизи машины, обеспечивая обнаружение препятствий на коротких дистанциях, что критически важно для безопасности;

- искусственный интеллект (ИИ) выступает «мозгом» автоматизированных строительных машин. Алгоритмы машинного обучения обрабатывают потоки данных с сенсоров, принимают решения о траектории движения, выборе режимов работы и взаимодействии с другими машинами.

Особую роль ИИ играет в прогнозном техническом обслуживании. Системы анализируют температуру и давление гидравлических жидкостей, а также рабочие параметры трансмиссии и силовой установки, выявляя отклонения и предсказывая отказы компонентов этих механизмов и систем за 2–4 недели до их наступления. Согласно исследованию в «Production Planning & Control» (Alrabghi & Tiwari, 2015), автоматизация ТОиР может увеличить производительность на 20–30 % [5].

В России, согласно исследованию Сколково и «ДОМ.РФ Технологии», уже 17% цифровых решений в строительстве используют искусственный интеллект, а в ближайшие три года этот показатель достигнет 50 % [6].

Технология Интернета вещей (IoT) занимает одну из ведущих позиций среди технологий умной строительной техники. Объем IoT-рынка к концу текущего года вырастет до \$599,39 млрд. В ближайшие несколько лет объем рынка Интернета вещей будет расти в геометрической прогрессии к 2030 году, по прогнозам, вырастет до \$1,5 трлн [7]. IoT обеспечивает удалённый мониторинг, диагностику неисправностей и управление активами через обмен данными между машинами и централизованными системами в реальном времени.

Телематические платформы собирают информацию о наработке, расходе топлива, поведении оператора, местоположении и техническом состоянии. Эти данные позволяют оптимизировать использование парка, снижать эксплуатационные расходы и повышать прозрачность операций. Объем мирового рынка телематики для тяжелого оборудования в 2025 году оценивался в 1,45 млрд долларов США, а к 2033 году, как ожидается, он достигнет 3,84 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста 12,90 % в течение прогнозируемого периода [8].

Цифровые двойники — виртуальные реплики физических объектов — расширяют своё применение от проектирования зданий (BIM) до управления жизненным циклом отдельных машин. Цифровой двойник экскаватора или бульдозера объединяет телематические данные, историю инспекций, записи о техническом обслуживании и условия эксплуатации для моделирования будущей производительности и оптимизации графиков обслуживания.

В контексте автоматизации цифровые двойники строительных площадок выступают «коллективным разумом», объединяющим детальные визуальные представления объекта с данными от машин в реальном времени. Интеграция цифровых двойников с ИИ, дронами, робототехникой и аналитикой позволяет принимать более обоснованные решения, повышать производительность и снижать риски возникновения аварийных ситуаций.

Вместе с тем масштабное внедрение автоматизации сталкивается с серьёзными барьерами - фрагментацией и низким качеством данных, отсутствием отраслевых стандартов, регуляторной неопределённостью и необходимостью организационных изменений. Преодоление этих препятствий требует системного подхода - одновременного развития технологий машин и цифровой зрелости строительных площадок.

Для систематизации подходов к автоматизации строительных машин специалисты предложили матрицу «5×5», которая оценивает технологическую зрелость с двух сторон: уровня автономности машины и уровня цифровизации строительной площадки.

По оси X (уровень автономности машины) выделяются пять ступеней:

- первая ступень - ассистирующие системы (основную работу выполняет оператор, система выполняет отдельные операции);
- вторая ступень - частичная автоматизация (машина управляет определёнными операциями, оператор выполняет оставшиеся и контролирует процесс);
- третья ступень - условная автоматизация (система управляет большинством операций, оператор вмешивается при необходимости);
- четвертая ступень - высокая автоматизация (машина работает автономно в большинстве условий, оператор осуществляет контроль за работой машины);
- пятая ступень - полная автономность (система самостоятельно принимает решения без участия человека).

По оси Y (уровень цифровизации площадки) также выделяются пять уровней от базовых трёхмерных проектных данных до полностью оптимизированного автоматизированного планирования строительства.

Ключевой вывод о данной модели состоит в том, что технологическое совершенство отдельной машины недостаточно для реализации её потенциала. Даже самый продвинутый автономный экскаватор не сможет эффективно работать на площадке с низким уровнем цифровой зрелости процессов. Поэтому автоматизация должна развиваться синхронно — и на уровне машин, и на уровне организации строительного производства.

Повышение автоматизации строительных машин приводит к положительным тенденциям:

- автономное оборудование способно работать практически круглосуточно с минимальными перерывами на техническое обслуживание или подзарядку, что приведет к повышению производительности;
- трудозатраты составляют до 30 % общей стоимости строительного проекта, поэтому даже скромное повышение эффективности от автоматизации существенно влияет

на прибыль. Кроме того, автономные машины оптимизируют расход топлива (или электроэнергии), снижают количество ошибок и долю переделок;

- точность автоматизированных систем позволяет выполнять работы в соответствии с проектными параметрами с первого раза, что сокращает общую продолжительность строительства. Международный опыт показывает, что дроны и роботы сокращают сбой графика производства на четверть и ускоряют строительство на 15–20 % [9];

- решение кадрового дефицита. В условиях нехватки квалифицированных операторов автоматизация позволяет выполнять объёмы работ, которые иначе оказались бы невозможными. Это особенно актуально для удалённых регионов и сложных климатических условий.

В тоже время автоматизация строительных машин приводит к отрицательным тенденциям:

- отсутствие чётких нормативных рамок для применения автономной техники на строительных площадках создаёт неопределённость. Вопросы ответственности при авариях с участием автономных машин, требования к квалификации персонала, обеспечивающего надзор, и стандарты безопасности требуют законодательного урегулирования;

- переход к автоматизации требует изменения организационных процессов и корпоративной культуры. Работники могут воспринимать внедрение роботов как угрозу занятости. Необходимы программы переобучения операторов в операторов-наблюдателей и технических специалистов по обслуживанию автономных систем.

## **Заключение**

Автоматизация работы строительных машин представляет собой необратимый технологический тренд, переопределяющий отрасль.

От ассистирующих систем, облегчающих труд оператора, к полностью автономным машинам, способным самостоятельно принимать решения - этот путь уже пройден в горнодобывающей промышленности и активно осваивается в общем строительстве.

Ключевыми драйверами внедрения выступают дефицит квалифицированной рабочей силы, необходимость повышения производительности и безопасности, а также требования экологической устойчивости.

Развитие технологической базы - сенсоры, искусственный интеллект, телематика и цифровые двойники — все это достигло этапа зрелости, позволяющей организовать коммерческое применение автономных решений.

## **Конфликт интересов**

Авторы статьи заявляют, что на момент передачи статьи в редакционную коллегию, у них нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

## **Список источников:**

1. Автоматизация процессов в строительной отрасли / М. А. Головачев и др.// Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях: Сборник материалов XV Международной научно-практической

конференции. В 2-х частях, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 116-121. – EDN ILGOMZ.

2. Нищук, И. Ф. Оптимизация рабочего процесса бульдозера путем внедрения интеллектуальной системы управления. / И. Ф. Нищук и др. // Сборник трудов VI международной научно-практической конференции «Инженерно - техническое образование и наука» (г. Новороссийск, 7–10 апреля 2026 г.) – Новороссийск: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 39.

3. Применение информационных технологий при модернизации конструкции дорожных катков / М. Н. Ягодкин и др. // Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Белгород, 20 января 2026 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 157-167. – EDN XVFXOS.

4. Черевань, М. Э. Повышение эффективности дорожно-строительной техники установкой ГЛОНАСС устройств / М. Э. Черевань и др. // Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2025. – Т. 5, № 1(17). – С. 25-36. – DOI 10.51639/2713-0576\_2025\_5\_1\_25. – EDN TJCQCW.

5. Новая эра поддержки оборудования: Автоматизация ТОиР и ее важность для современных предприятий / reshape.ru // <https://reshape.ru/articles/tpost/g5a1yfy0e1-novaya-era-podderzhki-oborudovaniya-avto?ysclid=mp325pxbm7547957538> (дата обращения: 07.05.2026). – Текст: электронный

6. ДОМ. РФ внедрит автономные строительные системы с 2026 года / cifrastroy.ru/news // <https://cifrastroy.ru/news/domrf-vnedrit-avtonomnye-stroitelnye-sistemy-s-2026-goda?ysclid=mp3097gzxr647794452> (дата обращения: 07.05.2026). – Текст: электронный

7. Обзор российского рынка Интернета вещей (IoT) / www.it-world.ru // <https://www.it-world.ru/it-news/o1e5vkkz8ao4s4o00s4g8wckok884o0.html?ysclid=mp30j6fuy3945867923> (дата обращения: 08.03.2026). – Текст: электронный

8. Анализ размера, доли и тенденций мирового рынка телематики для тяжелого оборудования – Обзор отрасли и прогноз до 2033 года / www.databridgemarketresearch.com// <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-heavy-equipment-telematics-market?ysclid=mp31dl4hwo338403173> (дата обращения: 09.03.2026). – Текст: электронный

9. Тренды в строительстве 2026: что изменится в отрасли?/ www.sarex.io// <https://www.sarex.io/media/articles/trendy-v-stroitelstve-2026-chto-izmenitsya-v-otrasli?ysclid=mp31plrjzd90632541> (дата обращения: 09.03.2026). – Текст: электронный

### **Automation of construction machines operation**

Andrey Aleksandrovich Panteleev<sup>1</sup>, Natalya Igorevna Fedoseenko<sup>2</sup>,

Alexander Vasilievich Kartigin<sup>3\*</sup>

*Branch of the FGBOU VO “Belgorod State Technological University*

*named after V.G. Shukhov” in Novorossiysk,*

*Novorossiysk, Russia*

<sup>2</sup> [fedoseenko\\_natal@mail.ru](mailto:fedoseenko_natal@mail.ru) <sup>3\*</sup> [aleksandr-kartygin@yandex.ru](mailto:aleksandr-kartygin@yandex.ru)

## **Abstract**

The construction industry is on the threshold of a technological revolution. Automation of construction equipment is no longer a futuristic concept but a reality that is already changing approaches to the design, construction, and operation of facilities. The growth of the smart construction equipment market, estimated at a compound annual growth rate (CAGR) of 12.8 % globally in 2025, demonstrates the systemic nature of this transformation. The most dynamically developing automated equipment markets are in China (CAGR 17.3 %) and India (CAGR 16.0 %), where large-scale infrastructure programs are stimulating the adoption of digital technologies. In Russia, starting in 2026, DOM.RF Technologies plans to implement large-scale autonomous construction systems, including unmanned excavators, bulldozers, rollers, mason robots, inspection drones, etc.

*Keywords:* construction industry, construction equipment, automation, automation of construction equipment.