

– в автоматическом режиме формировать заявку в тыл бригады на выделение количества транспорта в соответствии с объемом боеприпасов (по грузоподъемности и габаритам), подлежащих подаче обеспечиваемым воинским частям (подразделениям);

– повысить оперативность и достоверность при проведении тактико-технических расчетов в ходе планирования ракетно-технического и артиллерийско-технического обеспечения;

– снизить время на организацию ракетно-технического и артиллерийско-технического обеспечения на 23 %.

Дальнейшим направлением развития разработанной расчетной программы будет являться создание расчетного комплекса, позволяющего объединить расчеты начальника службы ракетно-артиллерийского вооружения соединения (воинской части) с целью получения всех необходимых результатов по обеспечению ракетами и боеприпасами воинских частей и подразделений, а также формирования разделов пояснительной записки к плану технического обеспечения бригады по вопросам ракетно-технического и артиллерийско-технического обеспечения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Чеховских, А. В.** Обеспечение войск боеприпасами в операциях с применением типовых комплектов / А. В. Чеховских // Военная мысль. – 1994. – № 6. – С. 51–53.

2 Руководство по обеспечению боевых действий (техническое обеспечение), утвержденное приказом Заместителя Министра обороны по вооружению – начальником вооружения Вооруженных Сил Республики Беларусь от 20 января 2021 г.

3 **Осипов, Г. А.** Совершенствование системы технического обеспечения отдельной механизированной бригады в обороне : дис. ... канд. воен. наук : 20.01.03 / Г. А. Осипов. – Минск, 2001.

4 Техническое обеспечение подразделений в бою : учеб. пособие / М. И. Гаман [и др.]. – Минск : Изд. БНТУ, 2011 – С. 26–27.

Получено 09.06.2023

---

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.

Вып. 28. Гомель, 2023

---

УДК 69.002.5

*А. А. БИРИЛЛО, А. А. ГЕЛАХОВА (ПС-22)*

Научный руководитель – канд. техн. наук *Н. И. СЕМЧЕНКО*

#### НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ РОБОТИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрены принципы развития роботизации в строительстве. Описаны технологии работы наиболее актуальных роботизированных устройств, их техническая характеристика, способы эксплуатации.

Строительство – это область человеческой деятельности, где для робототехники имеется огромный потенциал. Строительный робот способен облегчить труд рабочих, ускорить процесс, обеспечить возведение уникальных сооружений в экстремальных условиях. В настоящее время существует целое направление с такой специализацией, базирующееся на инновационных технологиях и подходах.

Строительные работы всегда связаны с трудоемкими операциями, требующими тяжелого физического труда. Применение роботов-строителей позволяет значительно сократить сроки строительства, облегчить труд на основных и вспомогательных процессах, устранить человеческий фактор, нередко приводящий к тяжелым последствиям, повысить качество и точность строительных работ. В ряде регионов климатические условия затрудняют строительство, а для роботов они не страшны.

Ведущие компании, связанные с робототехникой, уже сейчас выпускают разнообразные строительные аппараты, с успехом используемые при строительстве больших объектов. Такие устройства показали свою высокую эффективность на всех стадиях – от проектирования до финишной отделки.

Существует несколько типов строительных роботов: промышленные, самоходные, декартовые, роботы-дроны, роботы-гуманоиды и др.

*Промышленные роботы.* Используются для выполнения широкого спектра операций, обычно это роботы шарнирно-сочлененного типа. Внешне и своими движениями они очень похожи на человеческую руку, используются в самых разных работах от простой автоматизированной сборки до сложных сварных работ.

Комплексный подход в автоматизации строительных работ продемонстрировали разработчики роботов Universal Robots. Их можно рассмотреть на примере самого легкого представителя этой серии – модели UR3e. Это компактный коллаборативный робот, подходящий для совместной работы с разнообразным оборудованием. Он имеет манипулятор в форме руки, в котором обеспечивается круговое вращение (360 градусов) во всех сочленениях (суставах) и неограниченное вращение в торцевом соединении. Такая подвижность дает возможность выполнения различных работ с подъемом и перемещением предметов весом до 3 кг. Робот имеет универсальные способности. Его можно использовать для сборки конструкций (в том числе для завинчивания и сварки), склеивания, дозировки многокомпонентных смесей и растворов, полировки и зачистки, погрузочно-разгрузочных работ [1].

Возведение кирпичной кладки – это достаточно трудоемкая и однообразная работа. Однако при ее выполнении необходимо тщательно контролировать горизонтальность рядов и вертикальность кладки. Строительные роботы, работающие по соответствующей программе, легко справляются с такой задачей, значительно ускоряя процесс. Одним из первых аппаратов стал американский робот Construction Robotics SAM. Он способен качественно укладывать более 3000 кирпичей за смену, что в несколько раз превышает возможности человека [1].

*Самоходные строительные роботы* – это модернизации стандартного тяжелого оборудования путем его объединения с системами управления на основе искусственного интеллекта, например, бульдозеры, экскаваторы, компактные гусеничные погрузчики, а также системы, оборудованные специализированными комплексами для 3D-печати либо сварки металлоконструкций.

Роботы для переноски и установки листовых материалов предназначены для подъема и установки больших стеклянных панелей, сэндвич-панелей, металлических листов и других строительных элементов – особенно тех, которые обладают немалой ценностью и габаритами. Применяют такие устройства там, где неудобно использовать традиционные – подъемные краны или подъемники. Лидер этого сегмента рынка – компания GGRgroup, Великобритания. Среди выпускаемой продукции, например, робот Geko PV+ и «тяжеловес» Oscar 1000, способный поднимать грузы весом в 1 тонну. Самоходный вакуумный подъемник-робот Geko PV представляет собой коленчато-локтевой подъемник с мощными приспособлениями для вакуумного захвата материалов. Способен удерживать плоские, тяжелые габаритные материалы как в вертикальном, так и в горизонтальном положении с возможностью поворота до 180 градусов. Предназначен для использования в помещениях (не подходит для использования под дождем). Удерживает до 175 кг, поднимает в высоту до 3 м. Батареи без подзарядки хватает на 8 часов работы [2].

Роботы для сноса сооружений. Эти мобильные роботы используют разнообразные инструменты, такие как дробилки, сеялки или ковши, чтобы разрушать строительные материалы. Большинство роботов для сноса напоминают небольшие экскаваторы, только без кабины. Автоматизация сноса – это безопасность и эффективность, которые обеспечивают существенную экономию средств для строительных компаний. Роботы для сноса также не нуждаются в перерывах и могут работать днем и ночью, чтобы завершить работу по сносу быстрее, чем когда-либо прежде. Хотя роботы-сносчики имеют высокую начальную стоимость, что и следует ожидать от совершенно новой технологии, они рентабельны в долгосрочной перспективе, обеспечивают окупаемость инвестиций во времени и экономию труда. Brokk 330D – один из телеуправляемых роботов-разрушителей в обширном семействе Brokk одноименного производителя из Швеции. Не требует подключения к сети промышленного тока за счет использования дизельного двигателя. Компактный, размер робота меньше, чем у экскаватора, способного работать с навесным оборудованием той же мощности [1].

*Декартовы роботы* используются для быстрой 3D-печати, например, специальным составом из бетона или композитных материалов. Рабочие органы таких роботов двигаются в трехмерной системе декартовых координат. 3D-печать в строительстве можно использовать в частном, коммерческом, промышленном и государственном секторах. Потенциальные преимущества этих технологий включают более быстрое строительство, более

низкие трудозатраты, повышенную сложность и точность, большую интеграцию функций и меньшее количество производимых в процессе строительства отходов. Ярким примером является совместная работа американской компании ICON и благотворительной организации New Story, которые презентовали быструю 3D-печать жилых домов. Разработчики заявили, что строительному принтеру требуется от 12 до 24 часов, чтобы распечатать простой одноэтажный дом площадью 60 квадратных метров. Максимальная площадь здания, которое может сделать принтер, не превышает 80 квадратных метров. Представители ICON отметили, что эта технология отличается низкой стоимостью. Один дом на этом этапе разработки обойдется в 10 тысяч долларов, однако в будущем стартаперы обещают снижение до 4 тысяч долларов. После печати стен строители устанавливают окна, деревянную крышу, базовую сантехнику и электропроводку, которую можно провести прямо внутри стен. Вся установка, включая отделку, занимает меньше дня. В будущем ICON планирует разработать роботы, которые будут устанавливать окна и крышу после окончания печати, и дроны, которые могли бы заняться покраской помещения. Также в компании представили принтер Vulcan, с помощью которого они будут печатать дома. Несмотря на большой вес, его можно переносить с места на место. Vulcan печатает обычную смесь бетона, которая укладывается в 100 нитей толщиной в дюйм и сохраняет форму по мере затвердевания. Стены продолжают твердеть в течение нескольких дней после печати, но начать жить в доме можно уже сразу после производства [1].

Белорусская компания «ГТФ-Групп» произвела мощный и простой в управлении M3 DUO. Данная модель разработана специально для профессионального использования и была протестирована в 2014 г. По требованию пользователя разработчики могут установить платформу разного размера, увеличивая область построения, а также оснастить большим количеством экструдеров, увеличить температуру и т. д. В случае внезапного отключения питания устройство начинает работать от аккумулятора, переводит головку в режим ожидания, а при последующем включении начинает работу с того же места. Стабильность и надежность работы обеспечивает система самостоятельного дотягивания, которая обеспечивает защиту от запутывания материала, просушивает при необходимости и только затем переходит к печати. Также эксплуатация безопасна для окружающей среды и пользователя за счет встроенных HEPA-фильтров. Печать осуществляется с помощью двух головок, которые меняются в зависимости от поставленной задачи, поэтому значительно увеличивается производительность [3].

*Роботы-дроны* – однотипные роботехнические механизмы, способные как совместно (с использованием взаимных коммуникаций), так и поодиночке поставлять наиболее актуальные сведения о ходе работ на строительной площадке без привлечения человека либо выполнять какие-либо действия над строительным объектом. Уже сегодня архитектурные и строительные фирмы могут

применять квадрокоптеры для сбора геодезической информации о территории для контроля работ и создания маркетинговых материалов. Дроны, оснащенные камерами высокой четкости, инфракрасными сканерами и тепловыми датчиками, позволяют собирать важные данные, которые могут повлиять на проект еще на этапе проектирования. Квадрокоптеры могут не только собирать информацию, но красить, очищать поверхность на высоте и других труднодоступных местах, доставлять определенные грузы. Американская компания *Apellix* представила автоматизированную малярную систему *Worker Bee*, которая использует для распыления краски квадрокоптер. Необходимо просто разместить дрон рядом с объектом покраски и выбрать кнопку *START* на интерфейсе пользователя. Затем бортовой компьютер берет все на себя, выполняя все управление полетом и тестирование, прежде чем вернуться в безопасную зону в ожидании дальнейших инструкций [2].

*Роботы-гуманоиды* – это антропоморфные (похожие на человека) роботы для выполнения большого спектра различных работ, например, отделочных, покрасочных и т. п. Примером является робот-строитель из Японии *HRP-5P*. Прототип гуманоидного робота-строителя *HRP-5P* создан для помощи в выполнении тяжелых строительных работ. Сотрудники утверждают, что их разработка направлена не на замену строителей (людей), а как ответ на дефицит рабочей силы в стране. Для выполнения поставленных задач устройство использует множество камер и датчиков, которые контролируют действия, позволяют давать оценку длине и типу предметов, а также анализировать местность и избегать препятствий. Искусственный интеллект (ИИ) *HRP-5P* дает возможность планировать действия в зависимости от ситуаций и поставленных задач, однако пока не обладает широким потенциалом. Не может похвастаться *Herb* и скоростью работы. Но сотрудники *AIST* уверены, что текущие показатели далеки от максимальных и при необходимости, а также после небольших корректировок устройство сможет работать активнее. Японский робот-гуманоид лишен внешнего корпуса: механизмы и узлы обнажены. Такое решение было принято не в целях экономии средств, а чтобы металлические пластины внешней обшивки не препятствовали работе датчиков. В противном случае есть шанс споткнуться или задеть (тем же листом гипсокартона) рядом стоящие предметы [4].

Применение строительных роботов имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- точность монтажа, исключение ошибок при проектировании и строительстве – создается возможность пространственного моделирования;
- существенно снижаются сроки строительства – обеспечивается четкое выполнение согласованного графика независимо от погодных условий;
- оптимальный расход материалов – существенно сокращается количество отходов;
- обеспечение строительства в труднодоступных местах и в экстремальных условиях;

– создание сложных, необычных форм, которые невозможно возвести ручным способом.

Современные технологии требуют совершенствования автоматизации и экономии трудовых ресурсов. Поэтому успешные строительные компании повсеместно внедряют в свой бизнес различные модификации роботов, которые фактически оптимизируют любые процессы без участия человека. Это становится возможным по мере совершенствования строительной техники, обусловленного использованием новейших достижений в области электроники. Однако строительных машин, в управлении которых не принимал бы участия человек, пока нет. Тем не менее роботизация успешно вытесняет тяжелый физический труд из основных и вспомогательных процессов в строительстве, позволяет существенно сократить сроки и снизить стоимость.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Строительные роботы: технологии будущего уже сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vektor.us.ru/blog/stroitelnyj-robot.html>. – Дата доступа : 30.03.2023.

2 Робототехника в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://top3dshop.ru/blog/robototekhnika-v-stroitelstve.html>. – Дата доступа : 30.03.2023.

3 Обзор 3D принтера M3 DUO (фото, видео, выводы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mplast.by/novosti/2016-12-06-obzor-3d-printera-m3-duo-foto-video-vyvodyi/>. – Дата доступа : 25.04.2023.

4 Робот HRP-5P в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mentamore.com/robototekhnika/robot-hrp-5p-v-stroitelstve.html>. – Дата доступа : 30.03.2023.

Получено 28.04.2023

---

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.  
Вып. 28. Гомель, 2023

---

УДК 621.354.3

*И. В. БОГДАНОВИЧ* (ЭС-41)

Научный руководитель – магистр, ст. преп. *С. В. КИСЕЛЁВА*

### ТЕХНОЛОГИЯ УПЛОТНЕННОГО ВОЛНОВОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Дано понятие технологии уплотненного волнового мультиплексирования, рассмотрен принцип работы, а также выявлены преимущества использования данной технологии на железной дороге.