

tendency of LDH to aggregate. Consequently, the LDH particles do not “stick” to each other but are instead homogeneously dispersed [2].

The addition of a 10% PVA solution to the synthesis of Cu–Al LDH enhances the structural stability and mechanical and thermal durability of the nanocomposite, ensures uniform dispersion of the LDH, and significantly improves the barrier and functional properties of the material. Cu–Al LDH naturally shows antimicrobial activity, ion-exchange capability, and catalytic behavior. When it is combined with a PVA matrix, it can be used to create materials such as antibacterial films, sensors, and catalytic membranes.

REFERENCES

1. A.I. Boulahbal, L. Santamaría, A. Azizi, M. Boutahala, S.A. Korili, A. Gil, Synthesis of Cu-Al layered double hydroxides from aluminum saline slags, *Minerals Engineering*, Volume 204, December 2023, 108413.
2. A. T. Hibino & W. Jones., “Intercalation of poly(vinyl alcohol) in layered double hydroxides”, *Journal of Materials Chemistry*, 2001.

УДК 621.865.8:69.057

Ивановская И.С., Ивановский В.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Робототехника играет ключевую роль в развитии современных строительных технологий. Ее цель – улучшение строительных процессов – делает роботов взаимодополняющими и важными элементами современного строительства. Их использование может привести к значительным преимуществам для предприятий, стремящихся к инновациям и эффективности.

Целью работы является определение основных преимуществ использования строительных роботов. Основной задачей работы является определение степени изменения строительных процессов при росте уровня их роботизации и выявления факторов способствующих внедрению новых технологий. Степень актуальности применения робототехники в производственных и строительных процессах можно подтвердить вовлечением в систематизацию данного вопроса крупных международных организаций. Такие организации, как Американский национальный институт стандартов (ANSI) и его подгруппа A3 (Ассоциация по развитию автоматизации) вместе с Международной организацией по стандартизации (ISO) разработали и опубликовали стандарты безопасности

ANSI/RIA R15.06 и технические спецификации ISO/TS 15066, которые предоставили рекомендации по безопасной работе роботов в контролируемых условиях.

Роботизация процессов – это тренд, который охватил практически все сферы деятельности, от сферы услуг до промышленного производства и транспорта. Однако строительные процессы до последнего времени оставались трудоемкими по причине сложности адаптации роботов к условиям на строительной площадке. Для снижения трудоемкости и внедрения автоматизации строительные процессы переводили в промышленные цеха, в которых было возможно создать условия для функционирования роботов и систем автоматизации. Это привело к росту удельного веса модульного строительства и префабрикации в общей массе строительных процессов.

Однако из всего многообразия строительных процессов обеспечить префабрикацию оказалось возможным лишь для незначительной части. Основная масса строительных процессов должны были осуществляться в условиях функционирования строительной площадки.

По данным международных исследовательских организаций (FutureBridge, The businessresearch company, Grand View Research) мировой строительный рынок подвержен воздействию следующих факторов:

- 91% компаний сталкиваются с нехваткой рабочей силы, а руководители все больше отдают предпочтение решать эту проблему с помощью автоматизации;

- за пять лет количество смертельных случаев на строительных площадках мира выросло на 145% (в основном из-за найма на субподряд низкоквалифицированных организаций, использующих дешевую рабочую силу), что толкает к внедрению робототехники, ориентированной на безопасность;

- практика применения строительных роботов показывает рост эффективности проведения работ на 15%, на 38% рост скорости проведения работ и на 30% уменьшение отходов.

- рынок строительной робототехники стоимостью 1,3 млрд долларов США растет среднегодовыми темпами в 15%, в гонке участвуют Северная Америка, Европа и Азия.

- новые модели роботов и автоматизированных механизмов выходят за рамки операций по сносу и перемещению грузов, и выполняют такие сложные строительные процессы, как возведение конструкций, отделочные, фасадные и кровельные работы;

- рост уровня урбанизации населения в ближайшие годы потребует возведения до 14 тысяч новых зданий в день, что невозможно при сохранении высокого уровня ручного труда в строительстве;

– робототехника в строительстве обеспечивает точность, эффективность и безопасность в масштабе.

– венчурные и частные инвестиционные компании наращивают объемы инвестиций в цифровую трансформацию экономики, что в конечном итоге приведет к необходимости трансформации строительных процессов.

Самыми значительными препятствиями на пути автоматизации строительных процессов являются медленная интеграция роботизированных систем в традиционную систему организации строительных работ, высокие первоначальные затраты и необходимость общеотраслевого внедрения цифровых инструментов, таких как BIM (Building Information Modeling).

В свою очередь ключевыми преимуществами, которые ускоряют процесс автоматизации строительных процессов являются: точность и эффективность работы: строительных роботов, сокращение количества человеческих ошибок, рост безопасности для человека, сокращение отходов и выбросов, рост экологичности строительных проектов, обеспечение получения более быстрых и стабильных результатов от инвестиций в строительство.

Высокая капиталоемкость автоматизации и роботизации строительных процессов является одной из трудностей, с которой сталкиваются строительные организации. В 2025 г. цена одного строительного робота для отделочных работ колеблется в пределах между 90-120 тыс. долл. США, что достаточно дорого для массового внедрения строительных роботов. Рынок ожидает роста серийности производства роботов и снижения их цены до 40-50 тыс. долл. США, что позволит их активному внедрению в строительные процессы. Существует также определенная зависимость от промышленности строительных материалов, приведения к определенному уровню точности поставляемых материалов, которую необходимо соблюдать для автоматизации работ и корректной работы строительных роботов. Дополнительная трудность заключается в необходимости стандартизации программного и аппаратного обеспечения, используемого архитекторами, инженерами, производителями строительных материалов и строительных предприятий, вовлеченных в процесс строительства. Предпосылкой для автоматизированных строительных технологий является другими словами точное определение всех стандартов программного и аппаратного обеспечения, а также соответствующих интерфейсов.

Также есть риск падения эффективности строительства за счет того, что многие строительные организации попадают в ловушку инноваций и квалификации. Вместо инвестиций в новые строительные технологии,

которые сейчас связаны с автоматизацией и роботизацией строительных процессов, а также изменением структуры работников, за счет обучения их взаимодействию с автоматизированными системами, крупные строительные организации заключают договора субподряда с организациями с низкими издержками и низкой заработной платой. Это размывает финансовые ресурсы, не позволяет развивать и накапливать опыт работы с автоматизированной системой строительства. В конечном итоге, отказ от инновационных преобразований в технологии строительства не позволит строительным организациям успешно конкурировать на международном строительном рынке, а с ростом отставания в качестве и цене работ, такие организации не смогут работать и на внутреннем рынке, даже при высоком уровне протекционизма местных властей.

На рисунке 1 покажем какое влияние оказывает роботизация на изменение показателей структуры, численности и производительности труда звена облицовщиков.



Рисунок 1 – Влияние роботизации строительных процессов на численность и производительность

Рост производительности обеспечивается изменением структуры работ, выполняемых рабочими, с увеличением доли специализированных и обслуживающих технику операций.

В заключении можно сделать вывод, что процесс автоматизации строительных работ – это комплексная задача, которая только в малой степени зависит от роста инвестиций в роботизацию процесса строительства. В первую очередь развитие автоматизации зависит от уровня организации производства работ, от готовности к переходу на цифровые технологии всех участников процесса и самое главное, подготовки персонала, обладающего нужной квалификацией, поиска решений по компенсации сокращения доходов тем работникам, которые теряют свое место работы. Также фактической преградой является необходимость одновременного перехода на новые стандарты всех участников строительного процесса. Это потребует активной работы по координации взаимодействия, поиска инвестиций на проведение перехода. На данный момент, роботизация отдельных строительных процессов позволит нарабатывать строительным организациям необходимый опыт взаимодействия работников с роботами, нащупать сильные и слабые стороны в их применении. Так как за последние десять лет объем производства строительной роботизированной техники увеличился в десятки раз, невозможно оставаться в стороне от данного процесса. Отставание в степени автоматизации строительных работ будет вызывать большие проблемы, самые крупными из которых будут замедление структурной перестройки производственной системы страны и структуры трудовых ресурсов, что приведет к отставанию в системе образования, проблемами с миграцией трудовых ресурсов, высокой стоимости инвестиций из-за роста доли строительно-монтажных работ, ухудшения качества жизни населения.

Из-за высокой сложности процесса строительства и застоя в технологических преобразованиях необходима долгосрочная подготовка для адаптации отрасли к передовым методам строительства. Архитекторы, инженеры и все другие участники строительного процесса должны быть интегрированы в этот процесс адаптации. Краткосрочное и долгосрочное развитие автоматизации будет происходить поэтапно и будет ориентировано на разработку новых стандартов и требований. Использование роботов будет тем эффективнее, чем более правильно они будут интегрированы в цепочки строительных производственных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы затрат труда на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы № 19 «Устройство полов», утвержденном постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 22.06.2009 №201.