

УДК 681.5:693

Новомлинець О.О.

Чернігівський національний технологічний університет

Прибитько І.О.

Чернігівський національний технологічний університет

Ющенко С.М.

Чернігівський національний технологічний університет

Величко О.О.

Чернігівський національний технологічний університет

ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ

Одним із ключових факторів у підвищенні продуктивності будівельних процесів є механізація та автоматизація будівельних робіт. Це дає змогу мінімізувати вплив людського фактора, покращити умови праці на будівельному майданчику та збільшити загальну ефективність виробничого процесу. Зокрема, зведення кам'яних будівель та споруд потребує великої кількості різноманітних та невпорядкованих дій, пов'язаних із підйомом, подачею, переміщенням та укладанням збірних елементів конструкції. Тому кладка (зокрема цегляна) як складний технологічний процес вимагає впровадження автоматизованого виробництва. З цієї точки зору перспективними є будівельні роботи та маніпулятори, які на світовому ринку будівельної техніки набувають все більшого поширення.

Ключові слова: механізація, автоматизація, робот, маніпулятор, кладка, цегла.

Постановка проблеми. Механізація – один із провідних факторів у вирішенні завдань підвищення продуктивності праці та загальної ефективності будівельного виробництва. Росту рівня механізації сприяє насичення ринку будівельної техніки високопродуктивними машинами з широким набором технологічних операцій.

Незважаючи на появу нових будівельних матеріалів, широко використовуваною натеper залишається цегла. Однак цегляна кладка до недавніх пір не підлягала автоматизації і продовжує залишатися трудомісткою ручною працею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У низці країн нині проводяться дослідження процесу автоматизації цегляної кладки. Перспективною сферою застосування сучасних технологій є будівельні роботи [1–5]. Поступово зростає різноманітність таких робіт, розвивається тривимірний друк будівель і споруд, з'явилися перші мобільні маніпулятори для зносу конструкцій та укладання цегли [3–5]. Сучасні апарати застосовуються не тільки в стінах заводів і фабрик: їх використовують, зокрема, для сільського господарства, у громадських закладах і комплексах, на складах і в розподільчих центрах [1–3; 5].

Незважаючи на те, що вже сьогодні існують машини, призначені, наприклад, для швидкого

укладання цегли, питання їх широкого впровадження залишається відкритим. Основні труднощі під час зведення будівель і споруд цегляною кладкою викликані великою різноманітністю і невпорядкованістю необхідних для цього дій, які знижують продуктивність праці та суттєво залежать від рівня кваліфікації будівельників-мулярів.

Постановка завдання. Мета статті – на основі аналізу світового виробничого досвіду провести огляд сучасних автоматизованих та механізованих систем, що використовуються у процесі кам'яної кладки, визначити необхідні вимоги до них та перспективні напрями їх застосування загалом у будівництві.

Викладення основного матеріалу. У сучасному будівництві з метою забезпечення високої продуктивності використовують різноманітні комплекси засобів механізації. Серед них на особливу увагу заслуговують можливості промислового робота “Hadrian” від австралійської компанії Fastbrick Robotics (FBR) (рис. 1 а). Це перший у світі спеціалізований робот-муляр, який здатний викласти стіни замського будинку за два дні. Керуючий комп'ютер розраховує дії руки-маніпулятора, виходячи з наявної САД-моделі будинку або іншого об'єкта [6].



Рис. 1. Зовнішній вигляд промислових роботів компанії FBR: робот «Hadrian» (а) [6] та робот «Hadrian X» (б) [7]

У подальшому на основі робота “Hadrian” компанією FBR було удосконалено цю розробку. Модернізований пристрій одержав ім'я “Hadrian X” (рис. 1 б). Робот працює за принципом 3D-принтера, використовуючи не спеціальну суміш для друку, а цеглу. “Hadrian X” накладає цеглу згідно із заданою програмою і здатний укласти тисячі стандартних цеглин за годину, поміщаючи їх на спеціальний, запатентований компанією FBR, клей, який розподіляється по кожній цеглині за допомогою особливого пристрою. Відмінністю від попередньої моделі є те, що робот встановили на базі вантажного автомобіля, оснастивши його 30-метровою стрілою-маніпулятором і зробивши високомобільним. Крім цього, машина вміє ретельно підганяти матеріал кладки один до одного за допомогою його шліфування і різання. Тобто робот робить все те саме, що і людина, проте він здатний замінити собою декілька десятків працівників [7].

Після установки “Hadrian X” здатний працювати 24 години на добу, а швидкість його роботи достатня для того, щоб зводити по одному будинку кожні два дні, тобто близько 150 будинків на рік. Точність укладання робота перебуває в межах десятих часток міліметра [4]. Наприкінці 2017 року стало відомо, що робот “Hadrian X” збираються використовувати для забудови в Саудівській Аравії: до 2022 року за його допомогою планується побудувати мінімум п'ятдесят тисяч нових будинків [8].

Нью-йоркська компанія Construction Robotics створила напівавтоматичний робот, який здатний

класти до 1200 цеглин у день. Система SAM (Semi-Automated Mason – «напівавтоматичний муляр») (рис. 2) не замінює повністю працю людини, а працює сумісно з нею [9]. Робот відповідає за механічні дії: підйом цегли, нанесення розчину, установку на конкретне місце. Будівельник виконує більш тонку роботу: кладку в складних місцях на кутах, розширення швів. Такий робот здатний не тільки повторювати одноманітні дії, але й підлашуватися під умови на майданчику, зіставляючи закладені в програму креслення з реальними даними. Крім того, система може розрізняти відмінні за кольором цеглини, що дає змогу формувати певний малюнок фасаду [10].



Рис. 2. Напівавтоматичний робот SAM компанії Construction Robotics [10]

У програмному забезпеченні системи управління роботом SAM використані інноваційні розробки, зокрема програма «картографування» цегляної кладки, в яку можна в цифровому вигляді завантажити схему розташування стіни і цегли

в ній і прив'язати до координат GPS. Програму можна коригувати залежно від зміни реальних умов на будівельному об'єкті. Коли коригується вся конструкція, відповідно, уточнюється і положення кожної цеглини в кладці. Таким чином, будівельний проект точно відповідає всім реальним розмірам і обмеженням, існуючим на практиці [9].

Ще одним прикладом будівельних роботів є робот In-Situ Fabricator (IF, «Будує тут і зараз») [5; 11], створений групою архітекторів і робототехніків з Федерального технологічного інституту в Цюріху (ETH Zurich) (рис. 3). Робот має порівняно невелику масу, є мобільним і, найголовніше, володіє «інтелектом». Він оснащений двома комп'ютерами, один з яких відповідає за рухи механічної «руки»-маніпулятора, а інший – за орієнтування. Маніпулятор обладнаний лазерним далекомір. У разі переміщення маніпулятора далекомір сканує простір навколо робота і будує тривимірну схему навколишнього простору. Ще однією перевагою IF є здатність самостійно пересуватися по будівельному майданчику без допомоги людини. Робот оснащений датчиками і камерами, які дають йому змогу не натикатися на перешкоди і людей під час руху [5].



Рис. 3. Робот In-Situ Fabricator інституту ETH Zurich (м. Цюріх) [11]

Головною його перевагою, як вважають розробники, є здатність адаптуватися і вирішувати завдання у раптових нестандартних змінах обстановки на будівельному об'єкті. На їхню думку, це одна з перших машин, яка здатна будувати нестандартні споруди, тобто проект яких може змінюватися й адаптуватися до навколишніх умов безпосередньо в процесі будівництва [9]. Апарат функціонує в напівавтономному режимі, точність

виконуваних операцій становить близько 5 мм. Машина підключається до Інтернету, завдяки чому архітектор може внести зміни в проект у режимі реального часу. IF оснащений декількома камерами, навігаційним процесором та гнучким робо-маніпулятором. Система враховує непередбачувані обставини – нерівності землі й усадку матеріалів [11].

Дослідники з Університету в м. Баффало (США), у свою чергу, сконструювали роботаносія OSCR-3 (рис. 4), який допомагає піднімати і переносити цеглу та будівельні блоки по сходах і поверхах [4].

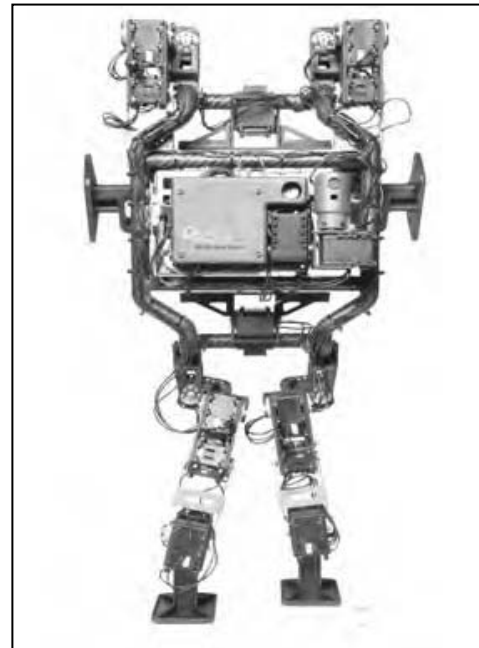


Рис. 4. Робот-носій OSCR-3 [4]

Окремої уваги заслуговує розробка групи вчених у Гарвардській школі техніки та прикладних наук (SEAS) [13], які побудували програму TERMES («терміти») на принципах «стігмергії», або «мурашиного алгоритму» (рис. 5). Згідно з нею роботи будують сходи, піднімаючись по них, щоб продовжувати будівництво, знають, куди потрібно покласти чергову цеглу і як її закріпити. Кожен робот вкладає цеглу на перше ж доступне місце, щоб споруда росла, при цьому не створюючи перешкод для сусідів і ходу будівництва, причому вони можуть навіть відновити будівлю після раптових змін в обстановці та її стані (частину споруди навмисне руйнували). Технічні можливості системи TERMES поки що залишаються обмеженими, але, як стверджують розробники, вже зараз роботизована система може виконувати завдання з укладання загороджень із мішків з піс-

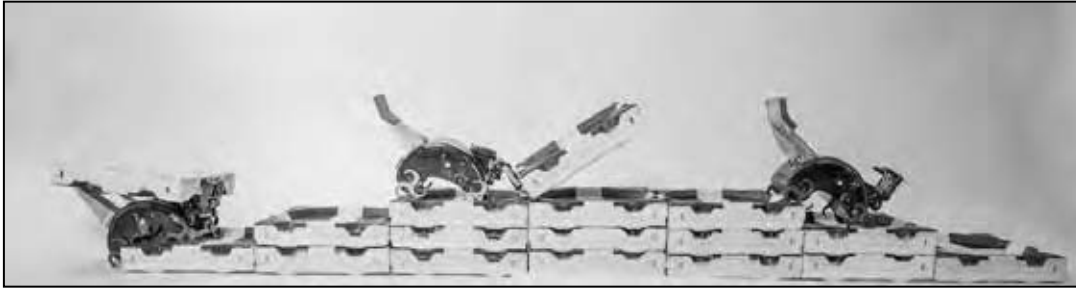


Рис. 5. Роботи, що працюють за програмою TERMES [4]

ком у разі повеней або виконувати нескладні будівельні роботи на Марсі.

На відміну від системи TERMES, робота інших сучасних роботизованих систем управляється центральним блоком управління (контролером) з метою забезпечення погоджених дій кожного робота. Зокрема, «Інститут динамічних систем і управління» (Institute for Dynamic Systems and Control) в Цюріху розробив концепцію «Літаючих роботів» (Flying Machine Arena), які можна використовувати для зведення будівель з цегли або блоків в автономному режимі – без втручання людини в процес будівництва [4; 13]. Система може управляти різними літальними апаратами, але з цією метою було застосовано квадрокоптери (рис. 6) завдяки їх маневреності, простоті механічного пристрою, надійності та міцності. Цегла утримується спеціальним захватом із трьох штифтів із сервоприводом. Дослідження показали, що чим менша швидкість, з якою цегла підлітає до кладки (відповідно, слабкіший удар під час укладання), тим більше впливає на точність траєкторії турбулентність у повітрі і сила тяжіння. Тому бажано укладати цеглу з досить високою швидкістю, без зайвої «обережності».



Рис. 6. «Літаючий робот» у процесі роботи [13]

Французькими дослідниками [3] Технологічного університету Лілля розроблено робот для автоматизованого укладання цегли, який складається з руки-маніпулятора, що переміщує будівельний матеріал на спеціальну конвеєрну систему, та голови робота, що подає цеглини з

конвеєра до потрібного місця. Встановлено, що запропонований спосіб має вищу продуктивність праці та нижчу вартість будівництва порівняно з традиційною цегляною кладкою.

Деякі розробники спеціалізуються на створенні програмного забезпечення для управління укладанням цегли. Зокрема, компанією ROB Technologies AG розробляється комплекс FlexBrick – пакет комп'ютерних програм для управління роботизованим укладанням цегли в нестандартному порядку для прикраси фасадів будівель, інтер'єрів тощо, який вже використовувався у будівництві низки будівель у Великобританії, Німеччині та Швейцарії [4].

Висновки. Таким чином, огляд сучасних роботизованих комплексів дає змогу зробити висновок, що використання будівельних роботів та маніпуляторів стає ефективним засобом механізації кам'яної кладки зокрема та будівельного виробництва загалом. За допомогою роботизованих пристроїв можливе створення складних конструкцій безпосередньо на будівельному майданчику, з високою точністю, за короткий термін і без недоліків, викликаних людським фактором.

Будь-який будівельний робот чи маніпулятор має відповідати таким вимогам: мати високу швидкодію та точність траєкторії руху; мати достатню потужність, щоб піднімати важкі матеріали; бути порівняно легким і компактним, щоб утримуватися на перекриттях, проходити крізь дверні прорізи або інші вузькі отвори.

Перспективними засобами автоматизації можуть стати «літаючі» роботи, завдяки яким можна буде переносити цеглу та інші будівельні матеріали практично без перешкод.

Досвід іноземних розробників дає змогу стверджувати, що актуальним завданням для спеціалістів вітчизняної будівельної галузі є широке впровадження роботизованих технологій кам'яної кладки, які в майбутньому здатні спричинити будівельну революцію.

Список літератури:

1. Трифонова Е.А., Вечкасова Е.Н. Использование кирпичной кладки в современном дизайне и строительстве. Перспективы использования декоративной кладки. UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. № 4 (49). 2018. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kirpichnoy-kladki-v-sovremennom-dizayne-i-stroitelstve-perspektivy-ispolzovaniya-dekorativnoy-kdadki>
2. Целищев О.В., Мунасыпов Р.А. Автоматизация процесса кирпичной кладки. Современные наукоемкие технологии. № 1. 2014. URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=33631>
3. Dakhli Z., Lafhaj Z. Robotic mechanical design for brick-laying automation. Cogent Engineering. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/318832729_Robotic_mechanical_design_for_brick-laying_automation/
4. Роботы-каменщики: автоматизация процесса кирпичной кладки. Основные средства. 2016. URL: <https://os1.ru/event/9411-roboty-kamenshchiki-avtomatizatsiya-protsesta-kirpichnoy-kladki>
5. Robotic fabricator could change the way buildings are constructed. MIT Technology Review. 2017. URL: <https://www.technologyreview.com/s/603429/robotic-fabricator-could-change-the-way-buildings-are-constructed/>
6. Ваннах М. Робот-каменщик с императорским именем. КОМПЬЮТЕРРА. Легендарный журнал о современных технологиях. 2015. URL: <https://www.computerra.ru/181044/robot-kamenshchik-s-imperatorskim-imenem/>
7. Механічний муляр, робот HADRIAN, тепер встановлено на вантажівку. Портал спецтехніки України "ENKI". 2017. URL: <https://enki.ua/news/mehanicheskij-kamenshchik-robot-hadrian-teper-ustanovlen-na-gruzovik-6123>
8. Робот-каменщик «Адриан» отправляется на работу в Саудовскую Аравию. ОЛИМПСТРОЙ: Инновации в строительстве. 2017. URL: <http://sc-os.ru/technologies/2621-robot-kamenschik-adrian-otpravlyaetsya-na-rabotu-v-saudovskuyu-araviyu.html>
9. Бойко А. Робот SAM укладывает кирпичи втрое быстрее человека. Робототехника и летающие беспилотники. Livejournal. 2015. URL: <https://prorobots.livejournal.com/60456.html>
10. Бойко А. SAM (Semi-Automated Mason). Robotrends. 2016. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/sam-semi-automated-mason>
11. In Situ Fabricator. DFAB HOUSE. Innovations. URL: http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator/
12. Petersen K., Nagpal R., Werfel J. TERMES: An Autonomous Robotic System for Three-Dimensional Collective Construction. Robotics: Science and Systems. 2011. URL: <http://www.roboticsproceedings.org/rss07/p35.pdf>
13. Flying machine arena. ETH Zurich. Institute for dynamic systems and control. URL: <https://flyingmachinearena.org/>

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Одним из ключевых факторов повышения производительности строительных процессов является механизация и автоматизация строительных работ. Это позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, улучшить условия труда на строительной площадке и увеличить общую эффективность строительного процесса. В частности, возведение каменных зданий и сооружений требует большого количества разнообразных и неупорядоченных действий, связанных с подъемом, подачей, перемещением и укладкой сборных элементов конструкции. Поэтому кладка, в том числе кирпичная, являясь сложным технологическим процессом, требует внедрения автоматизированного производства. С этой точки зрения перспективными являются строительные роботы и манипуляторы, которые на мировом рынке строительной техники приобретают широкое распространение.

Ключевые слова: механизация, автоматизация, робот, манипулятор, кладка, кирпич.

REVIEW OF CURRENT ROBOTIZED TECHNOLOGIES OF MASONRY

Mechanization and automation of construction works are one of key factors of constructional process productivity improvement. It enables to minimize human factor influence, improve labor conditions on the building site and increase effectiveness of constructional process. In particular, construction of buildings and structures requires a big amount of various and irregular operations connected with lifting, feed, movement and laying of factory-made elements. Therefore, masonry, including brick masonry as a complicated technological process requires application of automated production. From this point of view, building robots and manipulators are widespread on the world market.

Key words: mechanization, automation, robot, manipulator, masonry, brick.