

УДК 681.5:693

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ**Целищев О.В., Мунасыпов Р.А.***ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,
e-mail: noir-phoenix@mail.ru*

Проведен анализ рынка жилищного строительства Российской Федерации, выявлены основные проблемы, связанные с выполнением строительных работ, и обоснована необходимость автоматизации процесса выполнения кирпичной кладки. Для повышения качества кирпичной кладки, снижения стоимости возводимых сооружений, а так же увеличения скорости строительства промышленных и жилых зданий предлагается выполнение бесшовной кирпичной кладки на клеевой основе. Приведено краткое описание мобильного робототехнического комплекса (РТК) и описаны типы выполняемых им работ. Проведен сравнительный анализ теплопроводности кирпичных стен в зависимости от их толщины для кирпичной кладки на основе цементного раствора и бесшовной кирпичной кладки на клеевой основе при роботизации процесса. В ходе данного сравнения выявлены преимущества бесшовной кладки и обосновано применение кладки на клеевой основе исходя из ее характерных свойств: повышенная прочность на разрыв, высокая скорость схватывания и высыхания, низкая теплопроводность и простота в применении. Указаны основные рекомендации по организации рабочего пространства РТК, обеспечения соответствующего освещения рабочей зоны, подготовки поверхности его передвижения. Так же приведены необходимые условия начала выполнения работ и краткое описание процесса выполнения РТК кирпичной кладки. По предварительным подсчетам, РТК способен выполнять кирпичные работы в объемах, в несколько раз превышающих среднестатистические объемы кладки для бригады строителей.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, автоматизация, ремонтно-строительные работы, кирпичная кладка

BRICKLAYING PROCESS AUTOMATION**Tselishev O.V., Munasypov R.A.***Ufa state aviation technical university, Ufa, e-mail: noir-phoenix@mail.ru*

The housing market of the Russian Federation analysis realized, the main problems associated with construction work performance revealed and brickwork process automating necessity substantiated. To improve the quality of masonry, reduce constructed facilities cost, as well as to increase industrial and residential buildings construction speed offers a seamless execution of brickwork on the adhesive base. Mobile robotic complex (RTC) brief description adduced and carried out activity types described. The brick wall thermal conductivity depending on the thickness for cement based brickwork and seamless brickwork based on glue under the process robotization comparative analysis realized. During this comparison the seamless brickwork advantages revealed and glue based brickwork using justified depending on its characteristic properties: high rupture strength, high bondability and drying speed, low thermal conductivity and usage simplicity. Here are presented the main recommendations of RTC working space organization, working area proper illumination ensuring, movement surface preparation. The work execution start necessary conditions and RTC brickwork execution process brief description also given. According to preliminary calculations the RTC is able to perform brick works which for several times exceeds the average masonry volume for crews.

Keywords: robotic complex, automation, repair-civil works, brickwork

В настоящий момент автоматизации каких-либо строительных технологий практически нет. Применение разрабатываемого робототехнического комплекса (РТК) позволит не только приблизиться к заданным срокам сдачи объектов строительства, но и сократить сроки строительства за счет автоматизации ремонтно-строительных работ. Возрастет качество ремонтно-строительных работ, что с эстетической точки зрения более предпочтительно для многих заказчиков при строительстве индивидуальных домов. Отклонение от строительных норм и правил в основном происходит по причине низкой квалификации рабочих. РТК выполняет работу по жестко заданной программе в полном соответствии с проектной документацией объекта строительства

и постоянно осуществляет контроль качества выполняемых работ.

Возможность быстрого и качественного строительства, безусловно, обеспечит строительной организации большее количество заказчиков и лидирующие позиции на рынке, а увеличение парка роботов приведет к увеличению количества одновременно строящихся объектов и, как следствие, обеспечит высокие темпы развития компании.

Актуальность. Строительство является одной из обширнейших и наиболее дорогостоящих сфер деятельности. В 2010 г. в РФ по виду деятельности «Строительство» выполнен объем работ на 4206,1 млрд. рублей, в 2011 г. – 5061,8 млрд. рублей, в 2012 г. – 5711,8 млрд. рублей. Как показывает практика, фактические сроки сдачи объекта

строительства почти никогда не совпадают с изначально запланированными, особенно остро эта проблема проявляется в России. Объем незавершенного жилищного строительства (без индивидуального) в России в 2012 г. увеличился на 2,8% по сравнению с 2011 г. и составил 29,5 миллионов квадратных метров общей площади, в 2010 г. – меньше на 9,6%, в 2009 г. объем превысил количество введенного жилья на 8,4% [7]. Присутствуют также проблемы, связанные с неудовлетворительным качеством выполняемых строителями работ и существенным перерасходом стройматериалов.

Строительный рынок РФ сейчас направлен на освоение крупных территорий, где только жилищное строительство имеет объем более одного миллиона квадратных метров. На данный момент в целом по стране отмечается очень низкий уровень обеспеченности людей жильем и Россия в два раза отстает от среднемировых показателей. Перед строительным сектором стоит задача – в ближайшие 7-10 лет увеличить нынешние 17 м² на человека до 26 м². А это значит, что ежегодно необходимо вводить в строй жилье, объемом 140-150 млн. квадратных метров. Повышение качества строительства при этом имеет не меньшее значение. На сегодняшний день уже существуют необходимые условия

для развития интеллектуальных технологий, систем автоматизации и диспетчеризации в секторе жилых зданий. Сегодня потребности отечественных покупателей квартир и загородных домов ориентированы уже на более высокое качество [2].

Технологическим процессам в строительстве присуща низкая производительность, тяжелый, монотонный труд, повышенная опасность выполняемых работ и загрязненность рабочей зоны. Необходимость увеличения объемов строительства, повышения качества и снижения себестоимости поднимает вопрос автоматизации ряда строительных процессов.

Описание РТК

РТК для ремонтно-строительных работ (рис.1) с интеллектуальной системой управления [2, 4] представляет собой сочетание промышленного манипулятора и транспортной платформы с адаптивной пневмоподвеской для устранения привязки промышленного робота к стационарному рабочему месту, то есть придания роботу мобильности, и независимости положения основания робота от качества дорожного покрытия. Управляемые амортизаторы платформы позволяют существенно увеличить рабочую зону робота по высоте [5].

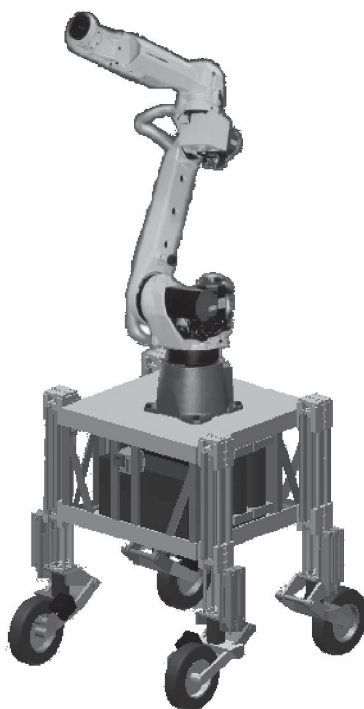


Рис. 1. РТК для ремонтно-строительных работ

Разрабатываемый робототехнический комплекс направлен на решение задачи автоматизации ремонтно-строительных работ, а именно:

- быстрое и высококачественное выполнение лицевой и черновой кладки кирпича;
- сварочные работы;
- оштукатуривание, покраска стен и др.

РТК также может использоваться для механизации транспортных работ внутри цехов предприятий и складских помещений, обслуживания обрабатывающих центров с ЧПУ, для подвоза грузов непосредственно к рабочим местам на производстве, работ на АЭС.

Тип кирпичной кладки

По желанию заказчика РТК может выполнять как обычную кирпичную кладку на основе цементного раствора, так и бесшовную кладку на клеевой основе. При кладке на основе цементного раствора погрешности формы кирпичей легко компенсируются за счет изменения толщины раствора. При бесшовной кладке к размеру кирпичей предъявляются более строгие требования, что в итоге сказывается на их стоимости.

Сопротивление бетона разрыву имеет значительно меньшую величину, чем сопротивление сжатию из-за нарушения сплошности бетона, которая способствует развитию концентрации напряжений особенно при действии растягивающей нагрузки. Одной из главных причин рассеяния результатов механических испытаний бетона является неоднородность его строения, которая гораздо больше сказывается при экспериментальном определении величины сопротивления бетона разрыву, чем при определении прочности бетона на сжатие. Профессор венского политехнического института Р. Залигер для отношения между временным сопротивлением бетона разрыву и временным сопротивлением сжатию указывает границы от 0,167 до 0,042. Даже для хорошего бетона сопротивление чистому растяжению редко превышает 15 кг/см². Для увеличения прочностных характеристик кирпичной кладки предлагается выполнять кирпичную кладку бесшовной и на клеевой основе.

Клей, используемый при бесшовной кладке, является инновационным решением для склеивания кирпичей, блоков, заменяет традиционный цементный раствор. По за-

явлению завода-изготовителя 0,7 кг такого клея заменяет 25 кг цемента, то есть приблизительно 120 кг цементного раствора. Он изготовлен на основе модифицированных полиуретанов и разработан специально для склеивания кирпичей, блоков из бетона и гипса, природного камня и аналогичных строительных материалов. Он обладает высокой устойчивостью к погодным условиям, воде, морской воде, кислотам и растворителям [3].

Бесшовная кирпичная кладка на клеевой основе (рис. 2) имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной кладкой на основе цементного раствора:

- 1) отсутствие необходимости смешивания и, соответственно, соблюдения пропорций раствора цемента, песка и воды;
- 2) отсутствие необходимости просеивания песка от камней;
- 3) не требует специального оборудования или инструментов для приготовления раствора;
- 4) упрощение выполнения кирпичной кладки;
- 5) увеличение скорости выполнения кирпичной кладки;
- 6) полное высыхание в течение 24 часов (у бетона 28 суток);
- 7) предел прочности на разрыв 100 кг/см² (у бетона 15 кг/см²).
- 8) снижение общей теплопроводности кирпичной кладки.

Для различных климатических условий различна также и минимальная толщина кирпичных стен, это связано с их теплопроводностью. Теплопроводность кирпича составляет от 0,34 до 0,43 Вт/м²С. Но в каждом кубическом метре кирпичной кладки содержится в среднем 0,2 м³ цементного раствора, связывающего кирпичи между собой. Теплопроводность цементного раствора составляет 1,4 Вт/м²С, что значительно больше, чем у кирпича, а соответственно, это источник тепловых потерь. При бесшовной кирпичной кладке общая теплопроводность стен снижается даже ниже уровня теплопроводности кирпича за счет отсутствия швов и наличия технологической воздушной прослойки между рядами, которая является превосходным теплоизолятором, ее теплопроводность составляет всего лишь 0,027 Вт/м²С. В итоге при толщине стены 64 см тепловые потери снижаются на 54 %, то есть снижается общая теплопроводность.

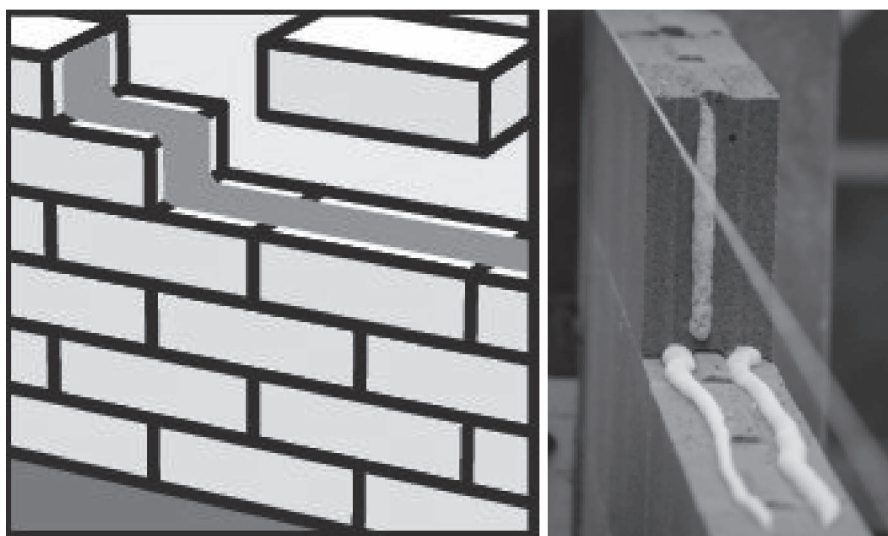


Рис. 2. Бесшовная кирпичная кладка на клеевой основе

Основным документом, регулирующим строительные нормы, до 21.10.2003 г. являлся СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника». В данном документе приведены таблицы и приложения, в которых указаны конкретные цифры и коэффициенты теплопроводности для различных материалов, а также требования по сопротивлению теплопередаче стен, дверных проемов и окон, перекрытий подвалов и чердаков. При строительстве жилых домов расчетное сопротивление теплопередаче стены определяется по следующей формуле:

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждения, 8,7 Вт/м²С; α_2 – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждения, 23 Вт/м²С; d – толщина материала в метрах; λ – коэффициент теплопроводности материала [6].

На рис. 3 приведена зависимость сопротивления теплопередаче стены от ее толщины для кирпичной кладки на основе цементного раствора и роботизированной бесшовной кирпичной кладки.

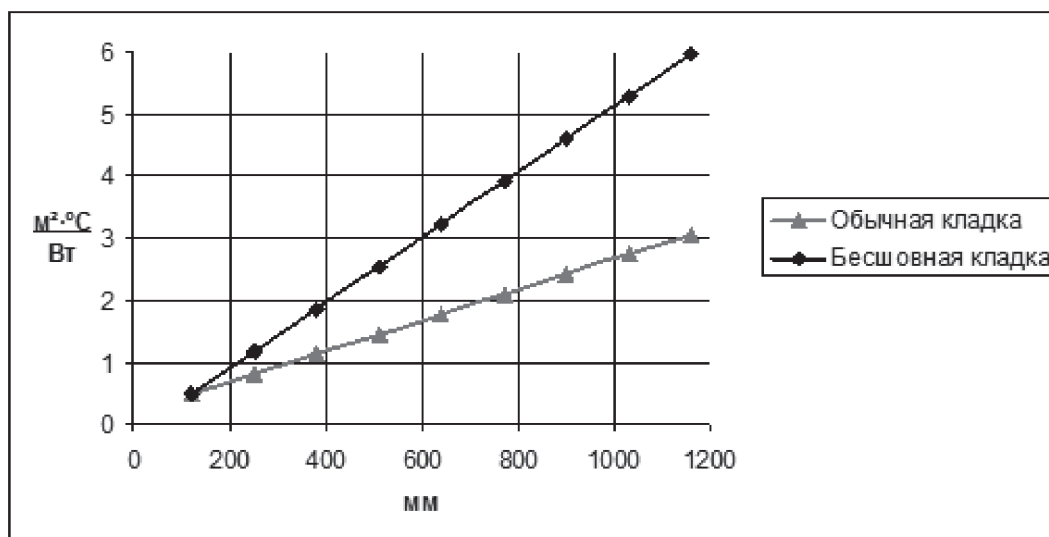


Рис. 3. Зависимость сопротивления теплопередаче от толщины стены

Подготовка рабочей зоны РТК

Автоматизация любого процесса практически всегда требует предварительной подготовки рабочего места, например, расположения всех необходимых рабочих объектов в определенных местах рабочего пространства, обеспечения соответствующего освещения рабочей зоны в случае использования систем технического зрения, подготовки поверхности передвижения мобильных робототехнических комплексов и т.д.

Таким образом, перед началом РТК ремонтно-строительных работ необходимо подготовить его рабочую зону. В первую очередь необходимо устранить погрешности закладки фундамента в местах запланированной кирпичной кладки. Как правило, эти погрешности сводятся лишь к перепаду высот в реперных точках. В данном случае необходимо принять наиболее высокую точку фундамента за «ноль» и выровнять относительно этой точки все остальные и соединительные линии между ними, на которых будет возводиться кирпичная кладка. Выравнивание горизонтали в местах кирпичной кладки осуществляется цементным раствором. Таким образом, основание для кирпичной кладки получится приблизительно горизонтальным, а более точное выравнивание кладки до горизонтального уровня осуществит РТК в процессе кладки.

Далее требуется разместить паллеты с рабочими объектами (кирпичами) в соответствующих местах рабочего пространства. Место размещения паллет и необходимое количество рабочих объектов в них рассчитывается исходя из объема рабочей зоны манипулятора РТК и требуемого количества рабочих объектов для конкретного места кладки с 25 % запасом на случай бракованных изделий.

Также необходимо очистить поверхность передвижения РТК от посторонних предметов для свободного проезда РТК к местам выполнения работ.

В случае индивидуального строительства высота потолков может отличаться от стандартной высоты в 2,7 и 3 метра. Роботизированный комплекс способен возводить кирпичные стены одного этажа высотой не более 3,8 метра в зависимости от установленных управляемых амортизаторов. Если же требуется возведение стен большей высоты, то необходимо обеспечить надежные пандусы для передвижения РТК и размещения паллет.

Выполнение кирпичной кладки

Перед началом выполнения кирпичной кладки роботизированный комплекс занимает одну из расчетных позиций. Начало кладки всегда осуществляется с одного из углов будущих стен. Первый угол всегда одинаковый, а все последующие углы выбираются из базы данных на основании последнего нижнего в текущей кладке кирпича и координат перехода кладки в угол – переходит ли она в угол целым кирпичом или половинкой. В базе данных также содержатся образцы завершения кладки для оконных и дверных проемов с учетом последнего нижнего в текущей кладке кирпича координат перехода кладки в оконный или дверной проем. Для каждого места проведения работ программно определяются точки над паллетами с кирпичами, в которых рабочий орган РТК останавливается для визуального определения координат кирпича с помощью системы технического зрения, после чего кирпич захватывается. В случае выполнения лицевой кладки, каждый кирпич устанавливается на специальную площадку для дефектоскопии лицевой части кирпича системой технического зрения. Рабочий орган при этом отводится в сторону от рабочего объекта.

Далее рабочий объект захватывается и перемещается к точке начала нанесения цементного раствора или клея (в случае бесшовной кладки). Раствор наносится на рабочий объект в местах склеивания в соответствии с местом монтажа каждого отдельного кирпича. Для равномерного нанесения раствора через подающую форсунку рабочий объект перемещается с постоянной скоростью на определенном расстоянии от форсунки дозатора. Дозатор активируется выходным сигналом контроллера РТК в момент достижения точки начала нанесения раствора на объект и деактивируется при достижении точки завершения нанесения раствора.

После нанесения раствора на объект, рабочий орган РТК перемещается к точке определения координат монтажа текущего объекта с помощью системы технического зрения. Объект ориентируется в пространстве в соответствии с его необходимой ориентацией в месте монтажа и устанавливается. Точка определения координат монтажа текущего объекта смещается с каждым установленным объектом в зависимости от его параметров и плана монтажа следующего объекта.

Процесс повторяется, пока не будет завершен объем запланированных работ в текущем рабочем месте. После чего РТК занимает следующую позицию выполнения работ.

Заключение

Внедрение в строительную отрасль разрабатываемого РТК позволит заменить рабочих на этапах лицевой и черновой кладки кирпича, сварки, оштукатуривания и покраски стен, существенно увеличить скорость и качество кирпичной кладки, минимизировать перерасход стройматериалов. Возможность круглосуточной работы и в широком диапазоне температур позволит выполнить проект в поставленные сроки. По предварительным подсчетам, РТК способен выполнять кирпичные работы объемом до 185 м³ в месяц при 5-дневной рабочей неделе против 32 м³ для бригады строителей. Предложенный метод кирпичной кладки позволяет снизить общую теплопроводность стен при толщине стены 64 см на 54 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления: теория и практика: учебное пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.
2. Интеллектуальные технологии в строительстве [Электронный ресурс]. – <http://www.stroyvitrina.ru/articles/intellektualnye-tehnologii-v-stroitelstve-645.html> (дата обращения: 16.08.13).
3. Клей для кирпичной кладки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.acril.ru/news/Catalogue/Glue/ILLBRUCK/142.html> (дата обращения 22.07.13).
4. Мунасыпов Р.А., Целищев О.В. Структура интеллектуальной системы управления строительным роботизированным комплексом // Управление большими системами. – 2013. – Т.3. – С. 314-317.
5. Мунасыпов Р.А., Целищев О.В. Электропневматический следящий привод в адаптивной системе подрессоривания мобильного роботизированного комплекса // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т.17, № 3 (56). – С. 194-200.
6. Необходимая толщина стен для дома [Электронный ресурс]. – <http://www.stroim-ufa.ru/statyi.html> (дата обращения: 3.09.13).
7. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/building/ (дата обращения: 10.08.13).