АРХИТЕКТУРНЫЙ ДЕКОР МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫЙ 3D-ПРИНТЕР

© М. Н. Кокоев

КБГУ им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Россия

Рассматривается технология изготовления строительным 3D-принтером стен малоэтажных зданий с архитектурным декором. Каждую стену здания изготавливают в горизонтальном положении на площадке, покрытой антиадгезионным материалом. Вначале строят на площадке с помощью 3D-принтера несъемную опалубку из бетона по периметру стены. На площадке размещают оконные и дверные коробки, закладные элементы для монтажа электропроводки и других устройств. Укладывают нижний и верхний слои бетона с арматурными сетками, а промежуточный слой из пенобетона или иного материала с малой теплопроводностью. На поверхности уложенного бетона выполняют с помощью 3D-принтера рельефный архитектурный декор с использованием обычного или цветного бетона. При сборке малоэтажного здания готовые стены ставят в вертикальное положение и угловые стыки армируют. Для этого связывают сваркой вертикальные арматурные стержни с концами сеток. Далее закрывают стык стен угловой опалубкой и полость в угловом стыке заполняют бетоном.

Ключевые слова: строительный 3D-принтер, малоэтажный дом, стена, арматура, архитектурный декор.

В Архитектурно-планировочное управление города Москвы в 1956 году был назначен руководителем опытный строитель и проектировщик В. П. Лагутенко. Именно в этой должности Лагутенко довёл до логического завершения своё главное детище – проект дешёвого массового дома с отдельными квартирами для каждой семьи. Таковым стал типовой многоквартирный дом серии К-7. Первый опытный дом данной серии был построен в Москве на улице Гримау. Серия была признана удачной, и «хрущевки» в различных модификациях стали строиться повсеместно.

С этого момента архитектура в СССР на долгие годы почти прекращает свое существование. Начинается заводское изготовление безликих панельных пятиэтажек, первоначально рассчитанных на 40 лет эксплуатации. Именно тогда стали появляться в городах от Брянска до Владивостока целые микрорайоны с одинаковыми панельными домами, с одинаковыми типовыми школами, детскими садами и поликлиниками. Как заметил историк и архитектурный критик Г. И. Ревзин [1], районы хрущевских пятиэтажек стали реваншем мирового архитектурного авангарда за сталинский разгром

конструктивизма в конце 20-х годов – в начале 30-х прошлого века.

Но были в новой строительной политике и замечательные положительные стороны. Люди массово переселялись из бараков и коммуналок в отдельные квартиры, хоть и малогабаритные, с маленькими кухнями и совмещенными санузлами. За 25 лет в стране было построено 10% всего жилищного фонда – так быстро и много, как в период хрущевской индустриализации в СССР, не строили никогда. Острейший жилищный кризис в стране стал медленно спадать, но до его удовлетворительного решения было еще далеко. Надо отметить, что даже в середине 1980-х годов число коммунальных квартир в центральных районах, например, Ленинграда составляло 40% от их общего числа.

За год до этого случилось незаурядное событие в архитектуре и строительной отрасли страны, открывшее путь к массовому строительству типового дома серии К-7. Дело в том, что в ноябре 1955 вышло известное Постановление ЦК КПСС и СМ «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве». В нем отмечалось, что в работах многих архитекторов и проектных организаций получила

широкое распространение внешне показная сторона архитектуры, изобилующая большими излишествами, что не соответствует линии Партии и Правительства в архитектурно-строительном деле. «Например, в Москве в жилых домах по улице Горького (архитектор Жуков), по Можайскому шоссе (архитектор Чечулин), по Ленинградскому шоссе (архитекторы Готлиб и Хилькевич) и в ряде других домов в угоду показному украшательству, применены многочисленные колонны, портики, сложные карнизы и другие дорогостоящие детали, придающие домам архаический вид. В то же время не было уделено должного внимания удобной планировке квартир в этих домах и благоустройству территорий....Крупные излишества были допущены при проектировании и строительстве высотных зданий, как их называли позже «семь сестер». Так, например, на строительство гостиницы «Ленинградская» на 354 номера на Каланчевской площади в Москве (архитекторы Поляков и Борецкий) затрачено столько же средств, сколько понадобилось бы на строительство экономично запроектированной гостиницы на 1000 номеров....Особенно большие излишества были допущены архитектором Рыбицким в построенном доме по улице Чкалова, для отделки которого применены дорогостоящие материалы, сложные архитектурные украшения и декоративные аркады; при планировке квартир недопустимо завышены площади передних, коридоров и других вспомогательных помещений. Советской архитектуре должна быть свойственна простота, строгость форм и экономичность решений».

По этому Постановлению архитекторов Полякова, Борецкого и Рыбицкого лишили звания лауреатов Сталинской премии за ранее спроектированные и построенные здания. За создание проекта и руководство строительством в 1950-1955 гг. красивейшего санатория «Украина» (с 2015 г. называется санаторий «Родина»), расположенного на южном берегу Крыма в 20 км от Ялты, архитектора Б.В. Ефимовича, создавшего этот шедевр советского неоклассицизма, лишили всех званий. Он был исключен из всех справочников по архитектуре СССР и отправлен на пенсию.

Постановление 1955 г. завершило эпоху советского монументального классицизма или, как этот стиль часто называют, сталинского

ампира [2]. Было решено направить все ресурсы на развитие индустриальных методов строительства. Почти полностью было прекращено индивидуальное проектирование жилых зданий. Но еще в течение трех лет архитекторы старой школы пытались рисовать панельные здания, в которых содержится легкий намек на облагороженность в виде классических карнизов или крайне сдержанных наличников. Такие здания переходного периода изредка встречаются в некоторых городах. Но логика партийной борьбы с украшательством продолжала действовать неумолимо.

С начала 1980-х гг. типовая застройка начала отступать, некоторые архитекторы, наконец, могли работать по принципам творческой независимости. Российские архитекторы хотели строить как Ле Корбюзье, этот пионер архитектурного модернизма и функционализма [3], Гропиус, Людвиг Мис Ван дер Роз, застраивать Москву так же как застраивали Западный Берлин и пригороды Парижа [4]. Например, один из шедевров Людвиг Мис, выражающий главную концепцию его творчества, гениальный по простоте и необычный для 1951 года – «Стеклянный дом» Эдит Фарнсуорт в штате Иллинойс.

В частности, говоря о начале панельного домостроения в Москве, надо вспомнить Ле Корбюзье. В 1914 году Корбюзье узнал о новинке тех лет – о железобетоне, который незадолго до этого всё шире начал применяться в строительстве в Европе. В этот период Корбюзье создал и запатентовал весьма существенный для его творческой биографии проект «Дом-Ино» (англ. Dom-Ino House). В этом проекте впервые предугадал (совместно с инженером М. Дюбуа) большие возможности строительства из крупноразмерных сборных элементов, сделанных из железобетона – лестничных маршей, плит перекрытий, колонн и др. Через много лет этот новаторский прием послужил основой индустриального домостроения во многих странах мира, в том числе и в СССР.

Наступил 21 век, появились новые строительные материалы и технологии, в том числе с широким применением компьютеров с программным обеспечением не только для создания архитектурных проектов, но и для применения непосредственно на строительных пло-

щадках. В этом плане заметным новшеством было создание так называемых строительных 3D-принтеров, с которыми интенсивно начали работать экспериментаторы, пытаясь современную технологию использовать для реализации новых архитектурных и строительных идей.

Строительный 3D-принтер большого размера работает не с пластмассами и не с металлическими порошками, что довольно обычно в 21 веке, а с бетоном или другими вяжущими. В строительном 3D-принтере формующая головка может перемещаться по трем осям с амплитудой от 5 до 20 и более метров [5]. Но есть также строительные принтеры, у которых формующая головка перемещается в соответствии с полярными координатами. Полые стены и перегородки дома формируют лентой из быстротвердеющего бетона, содержащего упрочняющие волокна и различные добавки.

Преимущества бетона с волокнами известны, но для строительного принтера добавка волокон, кроме прочего, повышает пластичность и связность бетона. Это улучшает равномерность подачи смеси через формующую головку, позволяет увеличить толщину и ширину укладываемого слоя. Предпочтительны волокна из базальта или из щелочестойкого стекла. У базальтовых волокон высока стойкость к воздействию щелочной среды бетона. Базальтовые волокна имеют прочность на разрыв до 1700 МПа. Это выше прочности арматурной стали VII класса. Малое время схватывания быстротвердеющих смесей позволяет печатать участки стены сравнительно большой высоты без промежуточных длительных пауз.

Особый интерес для применения в строительных 3D-принтерах имеют улучшенные высокопрочные смеси с модифицирующими и минеральными добавками. Применение таких составов для печати элементов зданий обеспечивает необходимую несущую способность, трещиностойкость и морозостойкость. Испытания контрольных образцов из высокопрочных бетонных смесей показали, что прочность при сжатии в возрасте 28 суток достигает 10 МПа (около 100 кгс/см²), а прочность на растяжение при изгибе 3,5 МПа. Для малоэтажного здания этого достаточно. Морозостойкость обеспечивается на уровне 35...40 циклов, гигроскопичность не более 10% [6].

Итак, каждый новый тонкий слой бетона кладут формующей (экструзионной) головкой на предыдущую ленту бетона. Выходящий из формующей головки бетон заданного состава и консистенции имеет сечение несколько квадратных сантиметров [7]. Бывают принтеры с более массивной лентой бетона. Укладывают ленту в 10-20 слоев и дают время для схватывания бетона, затем процесс продолжают.

Бетон, используемый в данной технологии, должен обладать быстрым набором прочности, чтобы уложенные слои могли нести нагрузку от последующих слоев бетона. Ширина укладываемой ленты из бетона невелика, поэтому стену кладут полую с диагональными перемычками [8]. Полости в стене заполняют обычным бетоном, пенобетоном или иным материалом с малой теплопроводностью. Неоспоримое преимущество строительного 3D-принтера – полное отсутствие специально изготовленной опалубки даже при возведении стен, имеющих на плане форму почти произвольной кривой. Преимуществами использования 3D-принтеров в малоэтажном строительстве можно считать их точность, скорость и возможность достижения полной автоматизации. Снижение доли ручного труда в строительстве, который пока неизбежен, приведет к снижению стоимости строительства. Делаются попытки использования строительным 3D-принтером не только бетона, но и других композиционных материалов, в частности известны эксперименты с бетоном [9], в котором в том или ином виде применяют добавки древесного материала.

Некоторые недостатки существующей технологии возведения зданий и их деталей с помощью строительного 3D-принтера:

а) изготовление вертикальных стен здания требует применения 3D-принтера не меньшего размера, чем высота стены. Это увеличивает габариты и массу принтера и снижает его производительность и точность из-за ухудшения динамических характеристик;

б) формование стены 3D-принтером наложением бетона в виде ленты на нижележащие слои бетона требует применения быстротвердеющих составов, что сужает число возможных к применению бетонов;

в) при строительстве вертикальных стен с помощью 3D-принтера возникают большие трудности с армированием, так как установ-

ка арматуры, особенно вертикальной, сильно ограничивает свободу перемещения экструзионной головки принтера;

г) короткие диагональные перемычки из бетона между стенками, выполняемые принтером, представляют собой существенные «мостики холода»;

д) поверхность строения требует отделочных работ из-за линейчатого и неровного рельефа, который получается при строительстве стен послойной укладкой ленты бетона. Действительно, большинство построенных строительным принтером домов имеют довольно грубый линейчатый рельеф стен. Выравнивание стен штукатуркой или иным образом увеличивает трудоемкость отделочных работ;

е) способ практически непригоден для выполнения архитектурного декора, если не считать декором сами стены, изогнутые в плане по замыслу архитектора, так как строительный принтер не может укладывать бетон на вертикальные поверхности стен. Поэтому существующие методы сильно ограничены в выполнении архитектурного декора, придающего строениям индивидуальность и привлекательность. Растущий спрос на такие здания, особенно на коттеджи, есть. Поэтому решение проблемы машинного изготовления архитектурного декора и элементов здания сложной формы по командам компьютера весьма актуально.

Ниже рассматривается модернизированная технология изготовления элементов малоэтажных зданий с помощью строительного 3D-принтера. Технология позволит армировать стены, закладывать в отсеки стены теплоизоляцию в два слоя и, кроме того, наружную сторону стен декорировать с помощью 3D-принтера в едином процессе. Для этого каждую стену здания изготавливают в горизонтальном положении на площадке, покрытой антиадгезионным материалом, например, толстой полиэтиленовой пленкой. Эта поверхность формирует внутреннюю сторону будущей стены. Далее на площадке строят с помощью 3D-принтера низкую несъемную опалубку из бетона по периметру будущей стены. Конечную высоту опалубки, равной толщине будущей стены, из-за необходимости укладки двух арматурных сеток выполняют в три приема.

Затем на площадке размещают горизонтально оконные и дверные коробки, а также закладные элементы для монтажа электропроводки и других устройств инфраструктуры. Заполняют площадку слоем бетона, соответствующей части толщины стены. Внутри этого слоя бетона размещают горизонтально арматурную сетку с выведенными концами арматуры за пределы опалубки. Армирование можно делать не только стальной сеткой, но использовать текстильные сетки из неметаллических материалов. Например, из стеклянных, базальтовых и углеродных волокон. Поверх кладут слой пенобетона, легкого керамзитобетона или иного материала с малой теплопроводностью, далее укладывают третий слой бетона с арматурной сеткой. На поверхности уложенного бетона выполняют с помощью 3D-принтера рельефный архитектурный декор с использованием обычного или цветного бетона. 3D-принтер может выложить на горизонтальной поверхности стены пилястры, в том числе с каннелюрами, имитацию руста, карнизы, портики и др. То есть всего того, что невозможно было выполнить хоть в малой степени в однообразных панельных домах Лагутенко и других типовых серий, возводимых на всей территории большой страны по Постановлению 1955 года.

Возможен вариант, когда между нижним и верхним слоями бетона с помощью 3D-принтера выполняют по меньшей мере два слоя перегородок из бетона для размещения в полученных отсеках теплоизоляции в виде плиток или герметичных пакетов, заполненных теплоизоляцией. Для уменьшения общей толщины стены в отсеки могут быть заложены пакеты эффективной вакуумно-порошковой теплоизоляции [10], которую в некоторых странах, особенно в ФРГ, последние 10 лет производят серийно. Для увеличения длины «мостиков холода» во втором слое перегородки между отсеками с закладной теплоизоляцией смещают относительно нижнего слоя теплоизоляции, например, на половину размера отсека, при этом между двумя слоями теплоизоляции, укладываемой в отсеки, размещают промежуточный слой бетона.

При монтаже малоэтажного здания готовые стены ставят в вертикальное положение,

угловые стыки армируют, для чего связывают сваркой или иным образом вертикальные арматурные стержни с сетками, выступающими из торцов стен, закрывают стык стен угловой опалубкой и далее полость в угловом стыке заполняют бетоном. Производство можно осуществлять непосредственно на месте строительства здания, если территория позволяет, или в условиях производственного участка.

С 1923 г. ведет свою историю в архитектуре так называемый геодезический купол, когда на крыше главного здания фирмы Carl Zeiss в Йене был построен первый в мире проекционный планетарий «Zeiss I». С тех пор появились

десятки конструктивных решений геокуполов, а вместе с тем появились варианты закрытия многоугольных проемов в каркасе геокуполов. Обычно проемы в геокуполов применяют шести и пятиугольные. Проемы могут быть глухими или со встроенными окнами [11]. С помощью строительного 3D-принтера в горизонтальном положении удобно делать не только стены для зданий, но и мембраны для геокуполов различных размеров и модификаций. Мембраны могут быть из армобетона с закладной вакуумно-порошковой теплоизоляцией или в виде плиток из пеностекла или из других эффективных теплоизоляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейдор Т., Казусь И. Стили московской архитектуры. М.: Искусство. XXI век. 2014. 616 с.
2. Ревзин Г. И. Как построили архитекторов // *Коммерсантъ Власть*. №44. 2005. С. 64.
3. *Le Corbusier*. The Modulor: A Harmonious Measure to the Human Scale, Universally Applicable to Architecture and Mechanics (1954). Basel & Boston: Birkhäuser, 2004. 133 p.
4. *Andrew Ayers*. The Architecture of Paris: An Architectural Guide. Stuttgart/London: Edition Axel Menges. 2004. 514 с.
5. *Dominguez I., Romero L., Espinosa M., Dominguez M.* 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. 2013. Vol. 12. Pp. 41-55.
6. *Perrot A., Rangeard D., Pierre A.* Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*. 2016. Vol. 49. Pp. 1213-1220.
7. Некоторые аспекты печати на строительных 3D-принтерах серии S. 2016. <http://3dtoday.ru/blogs/zhvtlt/some-aspects-of-printing-on-building-3d-printers-s-series/> (Date of treatment: April 22, 2021).
8. *Labonnote N., Ronnquist A., Manum B., Ruther P.* Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities // *Automation in Construction*. 2016. Vol. 72. Pp. 347-366.
9. *Henke K., Talke D., Winter S.* Additive manufacturing of building elements by extrusion of wood concrete. WCTE 2016. World Conference on Timber Engineering. 2016. Code 124667.
10. *Кокоев М. Н., Федоров В. Т.* Теплоизоляционное изделие с предельно низкой материалоемкостью // *Строительные материалы*. 1998. №9. С. 10-12.
11. *Федоров В. Т., Кокоев М. Н.* Геодезический купол из электростатического армированного бетона // *Строительство и реконструкция*. 2015, N 2 (58). С. 161-167.

ARCHITECTURAL DECOR OF LOW-RISE BUILDINGS AND THE BUILDING 3D-PRINTER

© M. N. Kokoev

Kabardino-Balkar State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russia

The article discusses the manufacturing technology for building the walls of low-rise buildings with architectural décor using 3D construction printer. Each wall of the building is made in a lying position on a site covered with anti-adhesive material. Initially, a permanent concrete formwork is built on site along the perimeter of the wall with a 3D printer. Then window and door frames, electrical, and plumbing embedded elements are positioned. Lay the lower and upper layers of concrete include a reinforcing mesh, and the intermediate layer is made of foam concrete or other material with lower thermal conductivity. The surface of the wall module can be covered with a décor printed using ordinary or colored concrete. When assembling a low-rise building, the finished walls are placed in a vertical position and the corner joints are reinforced. For this, vertical reinforcing bars are connected by welding to the ends of the meshes. Next, the wall joint is closed with corner formwork and the cavity in the corner joint is filled with concrete.

Keywords: 3D construction printer, low-rise building, wall, reinforcement steel, architectural décor.

REFERENCES

1. Gejedor, T. and Kazus, I. (2014) *Stili moskovskoj arhitektury* [Styles of Moscow architecture]. Art. XXI century. Moscow. 616 p.
2. Revzin, G. I. (2005) 'Kak postroili arhitektorov'. ["How the Architects Were Built."]. *Kommersant' Vlast'*. N 44. P. 64.
3. (1954) Le Corbusier. *The Modulor: A Harmonious Measure to the Human Scale, Universally Applicable to Architecture and Mechanics*. Basel & Boston: Birkhäuser, 133 p.
4. Andrew, Ayers. (2004) *The Architecture of Paris: An Architectural Guide*. Stuttgart/London: Edition Axel Menges. 514 c.
5. Dominguez, I., Romero, L., Espinosa, M. and Dominguez M. (2013) 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. Vol. 12. Pp. 41-55.
6. Perrot, A., Rangeard, D. and Pierre, A. (2016) Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures. Matériaux et Constructions*. Vol. 49. Pp. 1213-1220.
7. (2016) *Nekotorye aspekty pechati na stroitel'nyh 3D-printerah serii S*. [Some aspects of printing on construction 3D printers of the S.], available at: <<http://3dtoday.ru/blogs/zhvltl/some-aspects-of-printing-on-building-3d-printers-s-series/>> (accessed: April 22, 2021).
8. Labonnote, N., Ronnquist, A., Manum, B. and Ruther, P. (2016) Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*. Vol. 72. Pp. 347-366.
9. Henke, K., Talke, D. and Winter, S. (2016) Additive manufacturing of building elements by extrusion of wood concrete. WCTE 2016. *World Conference on Timber Engineering*. Code 124667.
10. Kokoev, M. N. and Fedorov, V. T. (1998) 'Teploizolyacionnoe izdelie s predel'no nizkoj materialoemkost'yu'. *Stroitel'nye materialy*. [Thermal insulation product with extremely low material consumption. Building materials.]. No. 9, Pp. pp. 10-12.
11. Fedorov, V. T. and Kokoev, M. N. (2015) 'Geodezicheskij kupol iz elektrostatičeskogo armirovannogo betona'. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. [Geodesic Dome of Electrostatic Reinforced Concrete. Building and reconstruction.]. N 2 (58). Pp. 161-167.