



## Быстровозводимые малоэтажные здания из композитных материалов

*Г.Б. Вержбовский*

*Ростовский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Предложены пять индустриальных инновационных строительных систем для возведения малоэтажных зданий из бинарных композитных материалов с полимерной или минеральной матрицами и порошковыми наполнителями. Приведены рекомендации по сокращению сроков возведения строений, учитывающие особенности композитных изделий и современные технологии монтажа объектов с использованием, как традиционных подходов, так и за счет роботизации процесса строительства.

**Ключевые слова:** композит, матрица, наполнитель, малоэтажное здание, строительная система, универсальный набор, «сухое» строительство, промышленный робот, манипулятор, полносборное здание.

На сегодняшний день малоэтажное и индивидуальное строительство в России является одним из наиболее быстроразвивающихся направлений [1]. Главным трендом при этом является переход от индивидуального способа возведения зданий к поточному, позволяющему возводить частные жилые дома быстро, недорого и с гарантированным качеством [2].

Анализ различных зарубежных и отечественных публикаций, посвященных среднесрочным перспективам мирового рынка жилищного строительства, показывает, что большая часть экспертов считает важнейшей тенденцией ближайших десятилетий массовый переход от «архаичных» методов возведения домов непосредственно на стройплощадках (on-site manufacturing) к сборно-модульному (off-site manufacturing) домостроению [3].

Инновационные подходы к малоэтажному строительству предполагают использование новых эффективных материалов, например, таких, как композиты. Их применение позволяет создавать изделия практически любых форм, что в свою очередь дает возможность активно внедрять технологии «сухого» строительства. В Германии существует специальный термин «trocken bau», указывающий на то, что процесс возведения объектов ведется без приме-

ния воды, однако за рубежом им называют в основном отделочные работы и организацию внутреннего пространства. Для России «сухое» строительство – относительно новое направление, которое развивается и дополняется, поэтому это определение является собирательным. В нашей стране в него, как правило, включают деревянное домостроение, здания, возводимые из легких стальных тонкостенных конструкций и сборно-панельные дома на основе древесины.

Разработаны пять различных инновационных строительных систем «сухого» индустриального малоэтажного домостроения, на которые получены патенты РФ [4]. Все предлагаемые изделия и детали систем предлагается производить из бинарных композитных материалов (КМ) с полимерной или минеральной матрицами и различными порошковыми наполнителями.

Две первые системы могут применяться в бревенчатых или брусчатых домах и предполагают замену традиционных элементов стен бревнами и брусками из древесно-полимерных композитов (рис. 1).

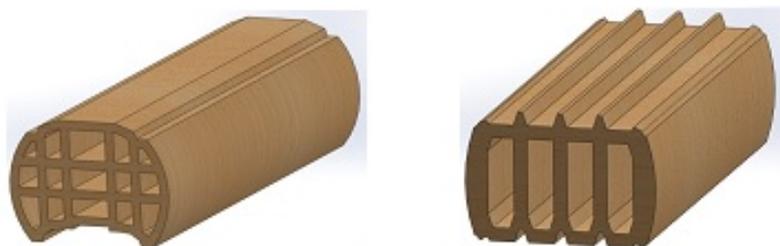


Рис. 1. – Бревно и брус из композитных материалов

Сложный профиль изделий обеспечивает меньшую ветропродуваемость за счет плотности их лабиринтного прилегания друг к другу. Внутренние полости могут быть заполнены эффективным утеплителем. При необходимости бревно или брус могут выполняться с армированием для повышения их жесткости. Введение в расплав композита цветовых добавок дает возможность разнообразного окрашивания изделий. Производство предлагаемых элементов методом экструзии практически полностью исключает появление отходов.

---

Композиты могут применяться и в легкокаркасном домостроении. При этом возможна замена как элементов стен – досок или стальных тонкостенных профилей, – так и балок перекрытий (рис. 2).

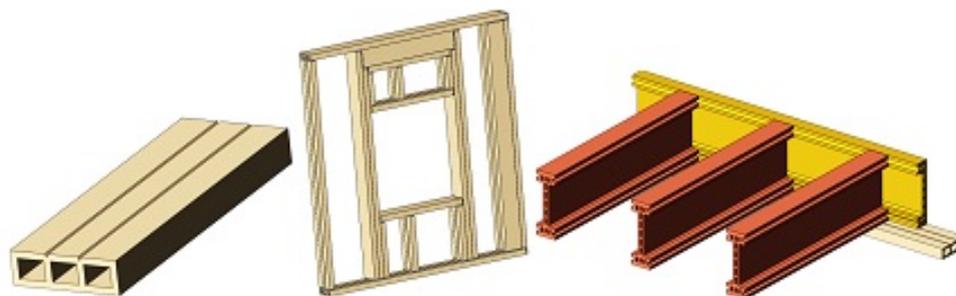


Рис. 2. – Доска, стеновая панель и конструкция перекрытия

Отметим, что простая замена деловой древесины полимерным композитом в конкретных конструкциях и даже в какой-либо отдельной части здания или сооружения в целом все еще не дает возможности в полной мере использовать преимущества искусственных материалов, однако убедительно доказывает их применимость в строительстве. Более важной задачей является разработка комплексных наборов универсальных элементов и конструкций, полностью выполненных из КМ, и обеспечивающих возведение объекта «под ключ», начиная от фундаментов и заканчивая инженерными системами. Отдельные относящиеся к несущему остову здания элементы разработанного подобного набора, включающего в себя более тысячи различных изделий и деталей, представлены на рис. 3.

Сборка здания осуществляется «сухим» способом при помощи специально разработанных для этой цели фиксаторов. Многочисленные полости в изделиях могут заполняться эффективным утеплителем типа эковаты, тем самым повышая теплотехнические характеристики строений. «Сухой» способ строительства и использование стандартных деталей и традиционных крепежных элементов дают возможность неоднократно перестраивать здание или сооружение, соотнося его с потребностями владельцев. Актуальными

становятся так называемые «растущие» дома, а также здания со свободной внутренней планировкой [5].

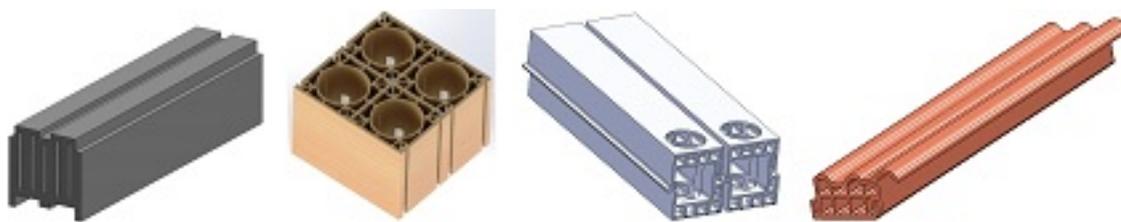


Рис. 3. – Отдельные элементы универсального набора (слева-направо: фундаментный блок, рядовой стеновой блок, балка перекрытия, кровельная плита)

Одним из достаточно существенных недостатков экструзионного производства композитных изделий является невозможность организации ломаных резов профиля при его выходе из фильеры. Необходимость создания стеновых блоков сложной формы обуславливается тем, что при «сухом» строительстве плоские стыки между отдельными элементами на всю ширину стены могут стать мостиками холода или путями проникновения влаги внутрь здания. В связи с этим предложена система объемных строительных элементов для возведения «сухим» способом стен, перекрытий, внешней и внутренней отделки «Росси». Ее основным элементом является мелкий рядовой стеновой блок, показанный на рис. 4. В состав «Росси» входят также перемычки над проемами, плиты перекрытий и система отделки.

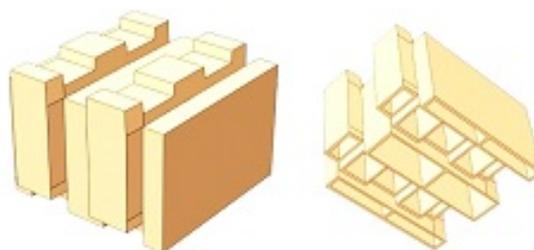


Рис. 4. – Рядовой стеновой блок системы «Росси»

Предлагаемые строительные системы обеспечивают скоростное возведение комфортных для проживания малоэтажных домов, обеспечивая бесконечную вариативность и архитектурную выразительность, а используемые

---

для их производства композитные материалы являются экологически чистыми и допускают возможность неоднократной переработки.

Наборы изделий, производимые на одном предприятии, отличаются постоянством размеров и высоким качеством, что превращает процесс строительства в строгий набор простых операций по последовательному подъему, переносу и установке в определенное место и в определенном порядке деталей строения. В промышленности подобные действия уже давно выполняют роботы-манипуляторы. При их применении на производстве существует ряд положительных моментов [6]:

- в процессе выполнения монотонных, однообразных операций не проявляется «человеческий фактор»;
- они могут выполнять работу в среде опасной для жизни и здоровья человека;
- они могут работать круглосуточно, без выходных и отпусков;
- точность позиционирования детали в сборке значительно выше, чем у человека;
- процент брака сведен к минимуму.

Роботы в строительстве давно не являются фантастикой. Еще в 1984 году в СССР был выпущен ГОСТ 26055-84 «Манипуляторы для строительномонтажных работ. Общие технические требования». Однако в России они пока применяются крайне редко. Во-первых, роботизация строительства сдерживается тем, что каждый проект уникален и требует применения различных высокотехнологичных решений. Во-вторых, использование роботов, например, при создании бетонных каркасов связано с необходимостью применения дорогостоящих строительных смесей с высокой скоростью твердения, беспалубочных и безарматурных строительных технологий, иначе эффективность использования сложной техники будет утеряна. В-третьих, стоимость роботов пока все еще высока.

---

Специалисты уверены, что в будущем роботы будут активно использоваться в малоэтажном строительстве [7]. Применение их позволяет сократить временные и денежные затраты в несколько раз, а также обеспечивает высокую точность сборки строений. Несколько лет назад попытка создания строительного робота, предназначенного для механизации каменной кладки, была предпринята учеными лаборатории робототехники и микроэлектроники РАН.

За рубежом процесс роботизации происходит очень интенсивно. Так, Фабио Грамасио и Мэттиас Кохлер - профессора Института архитектурных технологий ETH Zurich в Германии, были среди первых, кто начал использовать роботов в области архитектуры и дизайна [8]. С 2006 года они исследовали различные технологии производства и применения широкого ряда различных материалов для создания строений, построенных роботами. Особенностью этих конструкций является то, что они собраны из отдельных элементов, устанавливаемых в проектное положение с высокой степенью точности по специальному алгоритму.

Ученые Японии, Великобритании и США параллельно разрабатывают строительные 3D принтеры, которые «печатают» здания из монолитного железобетона. Есть информация об аналогичных исследованиях в Испании – проект «Stone Spray» [9]. Все это доказывает, что использование роботов в строительстве является перспективным направлением развития отрасли.

Точность и постоянство размеров промышленно производимых композитных изделий и их известное местоположение в строительной конструкции дают возможность автоматизировать процесс возведения здания, однако для решения поставленной задачи необходимо сначала определиться с требуемыми параметрами используемого робота-манипулятора. Анализ таких основных характеристик промышленных роботов (ПР), как грузоподъемность, число степеней свободы, рабочая зона, мобильность, точность позициониро-

---

вания и скорость движения [10], позволил сделать вывод о том, что для строительства малоэтажных зданий и сооружений из композитных материалов потребуются тяжелый нестационарный робот с шестью степенями свободы манипулятора, точностью позиционирования 0,2-0,3мм, средними скоростями движения и регулируемой рабочей зоной с максимальными размерами 25x20x15м (ДxШxВ). Для облегчения монтажа протяженных элементов, таких как балки перекрытий, удобно применять технику с двумя захватами, поэтому еще одно условие – это наличие двух независимых рабочих органов. Наконец, различные операции, осуществляемые на строительной площадке, требуют использования сменного навесного оборудования.

Серьезным доказательством целесообразности применения ПР может стать определение затрат времени на установку, например, стеновых блоков, представленных на рисунке 3. Предположим, что нам необходимо на высоте 6 метров, используя специально разработанный для этого захват, одновременно установить три блока на стену, расположенную в 15 метрах от места их складирования. Будем считать также, что высота штабеля блоков в рассматриваемый период составляет 1 метр, а робот, который в момент начала операции находится над местом установки на высоте 6,5м, может выполнять движения и вращения только последовательно. Расчет необходимого времени удобнее выполнять в табличной форме (таблица № 1).

При определении времени, необходимого для выполнения операций в таблице, на каждое изменение способа движения манипулятора дополнительно добавлялась одна секунда. Учитывая возможные непредвиденные обстоятельства, время, необходимое для установки блоков, увеличено до двух минут. При параллельной работе двух захватов на закрепление на стене одного элемента потребуется около двадцати секунд.

Приближенные расчеты показывают, что таким способом стены двухэтажного здания площадью 210 квадратных метров из комплексного набора

---



универсальных элементов и конструкций можно возвести за один день. Названный срок может быть еще меньше, если в конструкции основания робота предусмотреть площадку для установки штабеля с монтируемыми элементами.

Таблица № 1

Расчет времени, необходимого роботу для установки трех блоков

№ п/п	Содержание операции	Продолжительность операции, сек
1	Перемещение манипулятора к месту складирования	15
2	Позиционирование захвата над блоками	5
3	Спуск с высоты 6,5 метров и захват блоков	10
4	Подъем захвата на 1 метр, его поворот и размещение над межрядовыми фиксаторами	8
5	Спуск и захват фиксаторов	3
6	Подъем захвата на 1 метр, его поворот и размещение над межэлементными фиксаторами	8
7	Спуск и захват фиксаторов	3
8	Подъем манипулятора на высоту 6,5 метров	8
9	Поворот захвата в положение, необходимое для установки блоков	3
10	Перемещение манипулятора к месту установки	15
11	Позиционирование захвата	5
12	Спуск на 0,5 метра и установка блоков	3
13	Подъем манипулятора на один метр и его поворот на 90 <sup>0</sup> для вставки межрядовых фиксаторов	3
14	Спуск на 1 метр и установка фиксаторов	3
15	Подъем манипулятора на один метр и его поворот на 90 <sup>0</sup> для вставки межэлементных фиксаторов	3
16	Спуск на 1 метр и установка фиксаторов	3
17	Подъем захвата на 0,5 метра и его поворот на 180 <sup>0</sup> для последующих операций	3
	Итого	101

Перейдем к рассмотрению прикладных вопросов, связанных с использованием подобной техники на строительной площадке. В первую очередь – это возможная конструкция робота. Его предлагается выполнять по типу ричтрака – разновидности высокоподъемного штабелера с противовесом и

выдвигающейся мачтой. ПР на его базе должен передвигаться вдоль строящегося здания по подготовленному основанию, а вместо вил, предназначенных для переноски грузов, иметь сменные манипуляторы. Два подобных механизма устанавливаются с обеих сторон объекта на подготовленное основание и управляются с одного компьютера по специализированной программе.

Автоматизировать весь процесс строительства здания теоретически возможно, однако на современном уровне развития техники это вряд ли целесообразно. Так, например, робот вполне может справиться с пробуриванием скважин или рытьем траншей под фундаменты, но обратную засыпку удобнее выполнять рабочим. Отдельные действия по устройству инженерных сетей в здании проще осуществлять человеку. Можно указать и некоторые другие операции, где использование роботов экономически невыгодно. Таким образом, речь идет о совместной работе автоматов и человека, как это организовано на ряде промышленных производств.

Предлагаемые строительные системы «сухого» строительства могут с успехом применяться и при традиционном возведении зданий с использованием ручного или механизированного труда. Даже в таком случае возможно значительное сокращение сроков. Доказательством сказанного может служить таблица № 2, в которой произведено сравнение трех подходов к возведению индивидуального жилого дома. Данные второго столбца таблицы приняты по размещенной в сети Интернет информации, а последующие столбцы содержат результаты расчетов времени, произведенные автором.

Из таблицы видно, что в случае применения ручного труда «сухое» строительство обеспечивает трехкратный выигрыш во времени, а использование промышленных роботов сокращает срок строительства еще больше. Безусловно, предполагаемые показатели требуют экспериментального подтверждения, однако ускорение строительства даже только за счет исключения мокрых процессов, очевидно.

---

Таблица № 2

Примерные сроки строительства двухэтажного жилого дома из блоков

Этап строительства	Продолжительность этапа в зависимости от технологии возведения объекта		
	традиционная	«сухое» строительство	роботизированное строительство
<b>1. Основные строительные работы</b>			
Разметка участка и устройство фундаментов	1 неделя	3–5 дней	1–3 дня
Возведение несущих стен первого этажа	2 недели	3 дня	1 день
Устройство междуэтажного перекрытия	2 дня	1 день	3 часа
Возведение несущих стен второго этажа	2 недели	3 дня	1 день
Монтаж стропильной системы и устройство кровли	3 недели	4 дня	2 дня
<b>Итого по этапу</b>	<b>2 месяца</b>	<b>3 недели</b>	<b>1 неделя</b>
<b>2. Финишные строительные работы</b>			
Наружная отделка стен	1 неделя	5 дней	3 дня
Возведение внутренних перегородок	1 неделя	2 дня	1 день
<b>Итого по этапу</b>	<b>2 недели</b>	<b>1 неделя</b>	<b>4 дня</b>
<b>3. Чистовая отделка дома</b>			
Выравнивание полов, стен, потолков, устройство внутренних инженерных сетей, монтаж межэтажной лестницы, установка окон и т.п.	От 2 месяцев, в зависимости от объёма и сложности работ	2 недели	1,5 недели
<b>Итого по этапу</b>	<b>2 месяца</b>	<b>2 недели</b>	<b>1,5 недели</b>
<b>ВСЕГО</b>	<b>4,5 месяца</b>	<b>1,5 месяца</b>	<b>3 недели</b>

Основным результатом выполненного исследования является разработка инновационной концепции применения современных композитных материалов для возведения зданий и сооружений, основанной на использовании



комплексных универсальных наборов строительных элементов и применении эффективных технологий строительства. Концепция обеспечивает значительное сокращение сроков строительства малоэтажных зданий и их высокое качество.

### Литература

1. Ивакин Е.К., Вагин А.В. Анализ динамики жилищного строительства в ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/938/.
2. Ивакин Е.К., Белевцов С.П. Малоэтажное строительство: девелопмент и логистика // Инженерный вестник Дона, 2011, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/708/.
3. The Diffusion of Innovation in the Residential Building Industry, 2004. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, pp: 95.
4. Вержбовский Г.Б. Малоэтажные быстровозводимые здания и сооружения из композитных материалов. Ростов н/Д: ООО «Издательство Бара», 2015. 280 с.
5. Вержбовский Г.Б. Композитные легкокаркасные здания // Наукоедение. 2014. №9. С. 879-884.
6. Евтушенко С.И. и др. Автоматизация и роботизация строительства. М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2013. 452 с.
7. Немченко В.В. Строительные роботы - новый класс машин. // Мастерская. Современное строительство. 2013. №3 (102). С. 25-28.
8. Tzoom-новостной портал. Информационно-познавательный проект // URL: tzoom.com.ua / arxitektory-ispolzuya-robotov-sozdayut-udivitelnye-i-krasivye-stroeniya / (дата обращения 2.12.2013).
9. Stone Spray Project // URL: stonespray.com (accessed 17.11.2014).



10. Булгаков А.Г. и др. Автоматизация и роботизация строительных процессов и производств. М.: Российская инженерная академия, 2006. 241 с.

### References

1. Ivakin E.K., Vagin A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/938/.

2. Ivakin E.K., Belevtsov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/708/.

3. The Diffusion of Innovation in the Residential Building Industry, 2004. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, pp: 95.

4. Verzhbovskiy G.B. Maloetazhnye bystrovozvodimye zdaniya i sooruzheniya iz kompozitnykh materialov [Low-rise buildings and structures fabricated from composite materials]. Rostov n/D: ООО «Izdatel'stvo Bara», 2015. 280 p.

5. Verzhbovskiy G.B. Naukovedenie. 2014. №9. pp. 879-884

6. Evtushenko S.I. i dr. Avtomatizatsiya i robotizatsiya stroitelstva [Automation and robotization of construction]. M.: ITC RIOR: NITC INFRA-M, 2013. 452 p.

7. Nemchenko V.V. Masterskaya. Sovremennoe stroitel'stvo. 2013. №3 (102). pp. 25-28.

8. Tzoom-novostnoy portal. Informatsionno-poznavatel'nyy proekt [Tzoom-news portal. Information and Learning Project] URL: tzoom.com.ua/ arxitektory-ispolzuya-robotov-sozdayut-udivitelnye-i-krasivye-stroeniya/ (accessed 2/12/13).

9. Stone Spray Project URL: stonespray.com (accessed 17/11/14).

10. Bulgakov A.G. i dr. Avtomatizatsiya i robotizatsiya stroitel'nykh protsessov i proizvodstv [Automation and robotization of construction processes and production]. M.: Rossiyskaya inzhenernaya akademiya, 2006. 241 p.