

УДК 69.002.5

ПЕРЕХОД ОТ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ
К АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЕТОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

В. В. МАЛКОВА, Ф. Ф. ХАБИБУЛЛИН

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

Светопротядющий (транслюцентный) бетон представляет собой инновационный композиционный материал, обеспечивающий контролируемую светопропускаемость за счет интегрированных оптических волокон [4]. Для повышения производительности производства данного материала традиционным методом был разработан робот-манипулятор с двумя четырехзвенными механизмами для автоматизированной укладки волокон в перфорированную форму с последующей заливкой цементного раствора (рис. 1). Традиционный метод позволяет достигать высокой точности рисунка и светопроводимости до 20 %...30 %, однако ограничен необходимостью индивидуальной опалубки, фиксированными геометриями и зависимостью от диаметра волокон.

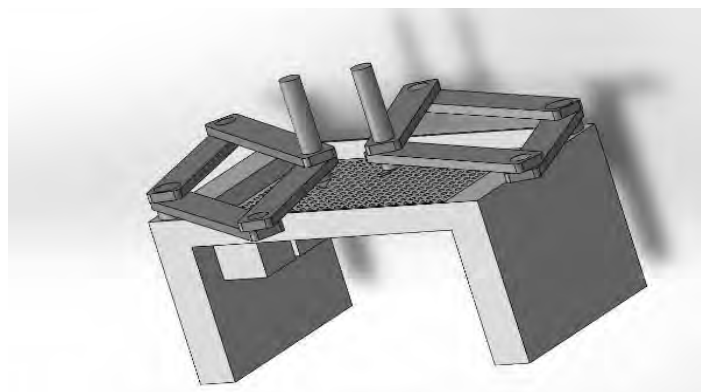


Рис. 1. Робот-манипулятор с двумя четырехзвенниками

В работе рассматривается адаптация технологии под аддитивное производство (3D-печать бетоном) на основе экструзии раствора с интеркаляцией оптических волокон между слоями [2]. Метод подтвержден экспериментальными исследованиями 2023–2025 гг., демонстрирующими возможность послойной печати транслюцентного бетона с использованием РММА-волокон, одновременно выполняющих функции светопередачи и армирования.

Производство светопротядющего бетона традиционно основано на литье в формы с предварительной укладкой оптических элементов [1]. Предлагаемое устройство – робот-манипулятор с двумя четырехзвенниками – автоматизирует процесс: первый механизм обеспечивает укладку и резку волокон в отверстия форминной плиты, второй – дозированную подачу и распределение жидкотекучего раствора. Технический результат достигается регулировкой светопротя-

димости путем программируемого размещения волокон, устраняя зависимость от ширины волокна и позволяя варьировать толщину и контуры светопроводящих зон.

Традиционный метод включает подготовку перфорированной формы, роботизированную вставку отрезков волокон, заливку раствора и постобработку (шлифовка торцов для открытия световых каналов). Светопроводимость регулируется плотностью и ориентацией волокон.

Ключевые преимущества: высокая однородность матрицы, минимальные воздушные включения, хорошая адгезия волокон к цементной матрице.

Недостатки: необходимость индивидуальной опалубки для каждого рисунка, ограничение плоскими плитками, трудоемкость подготовки формы, повышенный расход материала на отходы опалубки, зависимость светопроводимости от диаметра волокон и их ориентации.

Аддитивные технологии: послойная экструзия с интеграцией волокон. Аддитивное производство translucentного бетона реализуется методом mortar-extrusion 3D printing с размещением PMMA-волокон между слоями [3].

Процесс:

- экструзия тиксотропного раствора (цемент, мелкий песок, суперпластификаторы, загустители, например, гидроксипропилметилцеллюлоза, силика фум) слоем 5...15 мм;

- укладка отрезков оптических волокон (PMMA, диаметр 0,5...2 мм) по заданной траектории (вручную, второй манипуляторной рукой или ко-экструзией);

- нанесение следующего слоя с прижимом волокон;

- регулировка светопроводимости: плотностью размещения (волокон на квадратный сантиметр), ориентацией (параллельно/перпендикулярно поверхности), длиной отрезков и количеством слоев с волокнами.

Аддитивный подход устраняет ключевые ограничения традиционного метода, обеспечивая кастомизацию, снижение отходов и возможность интеграции устойчивых добавок (SCM, переработанные материалы).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самандасюк, Г. В. Аддитивные технологии в строительстве / Г. В. Самандасюк, И. А. Слесарев. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-2/viewer>.

2. Адамцевич, А. О. Исследования механической прочности и долговечности конструкций, изготовленных методом 3D-печати бетоном / А. О. Адамцевич. – URL: https://nii-smiit.ru/research/3dcp_forest_2025.pdf.

3. Qifeng, Pengfei, Anguo Mechanical strengths and optical properties of translucent concrete manufactured by mortar-extrusion 3D printing with polymethyl methacrylate (PMMA) fibers. – URL: https://www.researchgate.net/publication/375006469_Mechanical_strengths_and_optical_properties_of_translucent_concrete_manufactured_by_mortar-extrusion_3D_printing_with_polymethyl_methacrylate_PMMA_fibers.

4. Кодзоев, М. Х. Светопроводящий бетон / М. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 6. – С. 123–130. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svetoprovodyaschiy-beton>.