

Для тонкостенных железобетонных изделий предлагается в период высокого уровня солнечной радиации концентрировать энергию в нижней части опалубочных форм, а в качестве накопителя применять парафин, бетон, воду. Толщина слоя сменных теплонакопительных оснований принималась: бетона – 5 см, парафина – 1,6 см, воды – 2,5 см, причем тяжелый бетон представляет монолитный слой, контактирующий с нижней поверхностью фрагмента опалубки, а для парафина и воды используются металлические емкости [4].

Анализ технико-экономических показателей использования различных видов теплоаккумулирующих материалов демонстрирует неоднозначность ситуаций по их выбору. Возрастание прочности твердеющего бетона на 15–17 % при использовании в качестве накопителя воды и парафина сопровождается высокими начальными затратами на производство и установку специальных герметичных емкостей. Парафин имеет невысокую стоимость, достаточно дефицитен, поскольку широко используется в разных отраслях промышленности. Вода, взаимодействуя со стальными емкостями, приводит к их коррозии, которая снижает эксплуатационную надежность оснований. Представляется предпочтительным использование тяжелого бетона, который, обладая пониженным значением объемного теплосодержания, легко доступен и технологичен.

В условиях снижения поступления лучистой энергии находят применение *стационарные теплоаккумулирующие комбинированные гелиокамеры*, которые могут эксплуатироваться в осенне-весенний и зимний периоды года. Такие камеры состоят из бетонных стен и днища, которые являются аккумуляторами тепла, и съемной двухслойной [5] или трехслойной [6] прозрачной крыши, монтируемой на стены.

Инфракрасные излучатели, с помощью которых преимущественно и проводится термообработка бетона, играют роль дублирующего источника энергии, размещаются под опалубочной формой. Суточная зрелость бетона, который твердеет в теплонакопительной камере, оказывается на 16–17 % выше, чем у бетона, отвердевающего под двухслойным светопрозрачным покрытием; на 20 % выше, чем под пленкообразующим составом, и на 56 % выше, чем при твердении без ухода [6].

Обеспечение одинаковых значений распалубочной и отпускной прочности, показателей по экономии энергии, связанных с круглогодичным гелиопрогревом, в основном определяется географическим месторасположением гелиополигона, классом бетона и размерами изготавливаемых изделий.

Список литературы

- 1 Гелиосистемы для повышения эффективности использования солнечной энергии в технологии бетона / А. Ж. Айменов [и др.] // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2021. – Т. 17, № 2 (24). – С. 57–63.
- 2 Заседателев, И. Б. Гелиотермообработка сборного железобетона / И. Б. Заседателев, Е. Н. Малинский, Е. С. Темкин. – М. : Стройиздат, 1990. – 310 с.
- 3 Подгорнов, Н. И. Методы термообработки сборного и монолитного железобетона с использованием солнечной энергии : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Н. И. Подгорнов. – М. : 2005. – 487 с.
- 4 Подгорнов, Н. И. Теплоаккумулирующие и комбинированные энергетические системы и установки для термообработки бетона с использованием солнечной энергии / Н. И. Подгорнов, Д. Д. Коротеев / Строительство и реконструкция. – 2009. – № 4 (24). – С. 70–76.
- 5 Борбоев, А. М. Тепловая обработка изделий из тяжелого бетона в теплоаккумулирующих гелиокамерах : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / А. М. Борбоев. – М., 1993. – 195 с.
- 6 Орозбеков, М. О. Комбинированная гелиотермообработка сборного железобетона в условиях жаркого климата : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / М. О. Орозбеков. – Ош, 1994. – 270 с.

УДК 624.05

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. М. ПРАСОЛ, Т. О. ЛЕОНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing – от слова «аддитивность» – прибавление) – это послойное наращивание и синтез объекта с помощью 3D-печати.

Родоначальниками современных аддитивных технологий можно считать две технологии, появившиеся ещё в 1890 г. Первая технология – изготовление трёхмерных карт поверхности местности. Из тонких восковых пластин вырезались фрагменты, соответствующие воображаемому горизонтальному сечению объекта, эти пластины укладывались одна на другую в определенном порядке

и склеивались. После этого поверх полученных фигур накладывали бумагу и формировали макет отдельного элемента ландшафта.

Вторая технология – фотоскульптура. Вокруг объекта или субъекта располагались фотокамеры и производилось одномоментное фотографирование на все камеры. Каждое изображение проецировалось на полупрозрачный экран, и оператор пантографом обрисовывал контур. Пантограф был связан с режущим инструментом, который удалял глину в соответствии с профилем текущего контура. Позже стали использовать фоточувствительный желатин.

Технология трёхмерной печати появилась в конце 80-х годов XX в. В 1986 г. был предложен способ послойного синтеза посредством ультрафиолетового излучения, сфокусированного на тонкий слой фотополимерной смолы. В этом же году был собран первый 3D-принтер.

Общедоступными аддитивные технологии стали после того, как в 1995 году студенты Массачусетского технологического университета внедрили технологию послойного синтеза материала в корпус обычного настольного принтера.

Современная 3D-печать может производиться различными методами. К наиболее распространенным можно отнести следующие три технологии.

1 SLA-технология (от Stereolithography Apparatus), или стереолитография, – метод поэтапного послойного отверждения жидкого фотополимера лазером.

2 SLS-технология (от Selective Laser Sintering) – метод послойного лазерного спекания мелких частиц полимерного порошка в прочную структуру на основе 3D-модели.

3 FDM-технология (от Fused Deposition Modeling) подразумевает создание объектов при помощи послойного нанесения расплавленного материала.

Сейчас аддитивные технологии достаточно распространены в таких сферах, как медицина, машиностроение, ювелирное дело. Также аддитивные технологии нашли применение и в строительстве. Наиболее часто 3D-печать в строительстве служит для создания ограждающих конструкций. Кроме того, их можно использовать для заливки фундамента и даже печати строений целиком.

Строительные 3D-принтеры печатают конструкции путем экструзии (выдавливания) специальной смеси по заданной трехмерной компьютерной модели. Заранее подготовленная смесь загружается в устройство и подается к головке принтера.

По данным The Business Research Company, ожидается, что объем мирового рынка строительства зданий с использованием 3D-печати вырастет с 31,55 млн долларов в 2021 году до 2 004,73 млн долларов в 2026 году со скоростью 194,20 %. В последующем прогнозируется рост объема мирового рынка строительства зданий с использованием аддитивных технологий на 83,10 % с 2026 года и достигнет 41 258,61 млн долларов в 2031 году.

Прогнозируемый рост обуславливается технологическим прогрессом, ростом инвестиций в строительство с использованием аддитивных технологий, сокращением производственных расходов, развитием технологий 3D-печати и экспоненциальным ростом урбанизации.

По географическому признаку рынок строительства зданий с применением аддитивных технологий сегментирован:

– на Азиатско-Тихоокеанский регион (Китай, Индия, Япония, Австралия, Индонезия, Южная Корея);

– Северную Америку (США);

– Южную Америку (Бразилия);

– Западную Европу (Франция, Германия, Великобритания);

– Восточную Европу (Россия);

– Ближний Восток;

– Африку.

На долю Азиатско-Тихоокеанского региона приходилось 31,33 % мирового рынка строительства зданий с использованием 3D-печати в 2022 году, благодаря этому он являлся крупнейшим регионом на рынке. За ним следовали Северная Америка, Западная Европа и другие регионы. В дальнейшем прогнозируется, что самыми быстрорастущими регионами будут также Азиатско-Тихоокеанский регион и Северная Америка, где среднегодовой темп роста составит 198,70 и 196,80 % соответственно в период с 2021 по 2026 год.

Рассматриваемая технология возведения зданий имеет следующие преимущества по сравнению с традиционными методами.

Применение 3D-печати позволяет создавать объекты сложных, разнообразных форм, ускорять сроки строительства.

Производство является безотходным, так как сам метод заключается в изготовлении изделия «добавлением» материала, а не «вычитанием» лишнего материала из заготовки, как при традиционных методах производства строительных конструкций. Это позволяет экономить на исходных материалах. Чем сложнее форма, тем существеннее будет экономия.

Использование 3D-принтеров позволяет уменьшить количество рабочих на стройплощадке. Так, для обслуживания строительного принтера требуются операторы, диспетчер-логист и рабочие, которые подают рабочую смесь; специалисты, монтирующие арматуру, закладные и окна с дверьми. Большинство тяжелого труда, который выполняют рабочие при традиционных методах строительства, при аддитивном строительстве выполняется 3D-принтером, что позволяет сделать труд рабочих на объектах интеллектуальным и снизить влияние человеческого фактора. Также это приводит к сокращению расходов на оплату труда за счёт автоматизации.

Экономия на исходных материалах и оплате труда позволяет снизить расходы на возведение «коробки» здания на 30–40 %, что в общем объеме составляет 7–10 %.

Также следует отметить, что применение аддитивных технологий подразумевает обязательное использование BIM-технологий (Building Information Modeling), которые позволяют создавать информационные модели объектов и рассматривать эти модели с учётом их полного жизненного цикла.

В то же время существует ряд недостатков, препятствующих распространению 3D-печати. К ним можно отнести достаточно высокую стоимость 3D-принтеров, отсутствие нормативно-технической базы, сложные составы бетонных смесей, невозможность выполнения работ при температуре ниже 5 °С. Также все ещё не решены вопросы по армированию и утеплению конструкции в рамках единого процесса и нет достаточного опыта эксплуатации подобных зданий и сооружений.

В современном строительном мире много внимания уделяется зелёному строительству, использованию информационного моделирования, автоматизации строительных процессов. Всё это включает в себя строительство с использованием аддитивных технологий. 3D-печать в строительстве является новым и весьма перспективным направлением, которое в ближайшем будущем сможет стать полноценным конкурентом традиционным методам строительства, а возможно, и обойти их при возведении малоэтажных зданий и зданий сложных форм.

Список литературы

- 1 Пустовгар, А. П. Технология и организация аддитивного строительства / А. П. Пустовгар, А. О. Адамцевич, А. А. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 9. – С. 12–20.
- 2 Демиденко, А. К. Перспективы применения 3D-печати в строительном комплексе Российской Федерации / А. К. Демиденко, А. В. Кулибаба, М. Ф. Иванов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 12. – С. 71–96.
- 3 Аддитивные технологии в строительстве: нишевые решения или предел рынка? / Консалтинговая группа «Текарт». 2021. – 19 с.
- 4 Антонова, В. С. Аддитивные технологии : учеб. пособие / В. С. Антонова, И. И. Осовская. – СПб. ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.
- 5 3d-Printing Building Construction Market [Электронный режим]. – Режим доступа : <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/>. – Дата доступа : 12.09.2023.

УДК 624.15:728.1

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МЕТОДА УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

В. М. ПРАСОЛ, Д. М. ГОЛОВКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В Республике Беларусь, как и в других странах, наблюдается концентрация населения в крупных городах.

За период с 1991 по 2021 год уровень урбанизации в Республике Беларусь увеличился с 66,3 до 77,5 %. Ожидается, что уровень урбанизации будет увеличиваться и в 2030 году превысит 80 %.

В связи с этим градостроительная политика идет в направлении к наиболее рациональному использованию городского пространства и уплотнению существующей застройки. Поэтому в современном мире развитие мегаполисов и крупных городов Беларуси происходит как за счет использо-