

мость коэффициента стойкости материала от коэффициента сорбции. Проследили влияние характера высыхания образцов на их усадку. Проведя опыты с двадцатью девятью образцами, проследили закономерность влияния водонасыщения на прочность образцов. Чем больше водонасыщение, тем меньше прочность. Также видно, что после проведения испытаний масса образцов уменьшается, что может существенно повлиять на качество готового изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский, С.В. Производство железобетонных ферм / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1968. – 188 с.
2. De Donder, Th. L’Affinite / Th. de Donder, P. van Rysselbeghe. – Paris, 1938.
3. Цимерманис, Л.Б. Термодинамическое развитие открытой системы, в которой химическая реакция сопряжена с процессами структурообразования / Л.Б. Цимерманис, Д.И. Штакельберг, А.Р. Генкин // Изв. АН ЛатвССР. Серия физико-техническая. – 1974. – № 6. – С. 55–63.
4. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
5. Горчаков, Г.И. Специальные строительные материалы для теплоэнергетического строительства / Г.И. Горчаков. – М.: Стройиздат, 1972. – 304 с.
6. Вяжущие вещества, бетоны и изделия из них / Г.И. Горчаков [и др.]. – М.: Высш. школа, 1976. – 145 с.
7. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И. Горчаков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – 145 с.
8. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
9. Шейкин, А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1974. – 191 с.
10. Powers, T.C. Studies of the Physical Properties of Hardend Portland Cement Paste / T.C. Powers, T.L. Brownyard // ACJ Journal. – 1947. – Vol. 43. – March.
11. Дибров, Г.Д. Изменения объема (усадка) цементного камня / Г.Д. Дибров, М.С. Остриков, Т.П. Петренко // ДАН СССР. – 1963. – С. 648.
12. Цимерманис, Л.Б. Термодинамические и переносные свойства капиллярно-пористых тел / Л.Б. Цимерманис. – Челябинск: Ю.-У. кн. изд-во, 1970.
13. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1972. – 351 с.
14. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В.И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
15. Бабушкин, В.И. Термодинамика в процессах гидротации и коррозии цемента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Бабушкин. – Харьков: ХПИ, 1972.
16. Шабанов, Д.Н. Оценка параметров влажопроводности строительных материалов для теплотехнических расчётов / Д.Н. Шабанов, А.В. Афонин, В.И. Никитин // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2003. – № 2. – С. 98–100.
17. Мчедлов-Петросян, О.П. Термодинамика и термохимия цемента / О.П. Мчедлов-Петросян, В.И. Бабушкин // VI Междунар. конгр. по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. II, кн. I. – С. 6–16.
18. Брунауэр, С. Адсорбция газов и паров / С. Брунауэр. – М.: ИЛ, 1948. – Т. I. – 784 с.

УДК 693.54

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – ЧЕРЕЗ 3D-ПРИНТЕР

Н.А. АВЕРЧЕНКО, В.А. ХВАТЫНЕЦ
(Представлено: канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ)

Рассматривается возможность применения 3D-принтера в дорожном строительстве. Технология основана на современных достижениях в области «трехмерной печати». Показан переход от 3D-модели к готовому изделию, а также отличие трёхмерного изображения от плоского.

Современные автомобильные дороги представляют собой сложные пространственные системы, распределение усилий в которых происходит по сложным законам. Выразить эти закономерности в виде аналитических зависимостей и довести последние до численных результатов, необходимых для инженерной практики, не всегда оказывается возможным. Как показывает опыт отечественных и зарубежных исследований, характер и величины распределения напряжений и усилий, действующих в

сложных сооружениях, могут быть определены путем изучения работы модели под нагрузкой, созданной на 3D-принтере [1].

Трёхмерная графика или 3D-раздел компьютерной графики, совокупность приемов и инструментов (как программных, так и аппаратных), призванных обеспечить пространственно-временную непрерывность получаемых изображений, больше всего применяется для создания изображений в архитектурной визуализации, кинематографе, телевидении, компьютерных играх, печатной продукции, а также в науке и промышленности.

Трёхмерное изображение отличается от плоского построением геометрической проекции трёхмерной модели сцены на экране компьютера с помощью специализированных программ. При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира, так и быть полностью абстрактной.

Сцена (виртуальное пространство моделирования) включает в себя несколько категорий объектов, таких как: *геометрия* – построенная с помощью различных техник модель, например здание; *материалы* – информация о визуальных свойствах модели, например цвет стен и отражающая/преломляющая способность окон; *источники света* – настройки направления, мощности, спектра освещения; *виртуальные камеры* – выбор точки и угла построения проекции; *силы и воздействия* – настройки динамических искажений объектов, применяется в основном в анимации; *дополнительные эффекты* – объекты, имитирующие атмосферные явления: свет в тумане, облака, пламя и пр.

Программные пакеты, позволяющие создавать трёхмерную графику, то есть моделировать объекты виртуальной реальности и создавать на основе этих моделей изображения, разнообразны [3]. Последние годы устойчивыми лидерами в этой области являются коммерческие продукты:

AutoCAD – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. Первая версия системы была выпущена в 1982 году. AutoCAD и специализированные приложения на его основе нашли широкое применение в машиностроении, строительстве, архитектуре и других отраслях промышленности. Программа выпускается на 18 языках. Уровень локализации варьируется от полной адаптации до перевода только справочной документации.

CINEMA 4D – универсальная комплексная программа для создания и редактирования трёхмерных эффектов и объектов. Позволяет моделировать объекты по методу Гуро. Поддержка анимации и высококачественного рендеринга.

SolidWorks (Солидворкс) – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

3DS Max – полнофункциональная профессиональная программная система для работы с трёхмерной графикой, разработанная компанией Autodesk. Работает в операционных системах Microsoft Windows и Windows NT (как в 32-битных, так и в 64-битных). В 2009 году выпущена двенадцатая версия этого продукта под названием «3ds Max 2010» [2].

3D-принтер – устройство, использующее метод создания физического объекта на основе виртуальной 3D-модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. Такой способ печати позволяет использовать 3D-принтер в дорожном строительстве [4]. Также возможно создание запатентованной стеклопластиковой арматуры (рис. 1), для применения её в дорожном покрытии. После создания арматурного каркаса (рис. 2), его укладка должна производиться без участия человека, при помощи манипулятора, установленного вместе в 3D-принтером.



Рис. 1. Арматура, созданная в 3DS Max

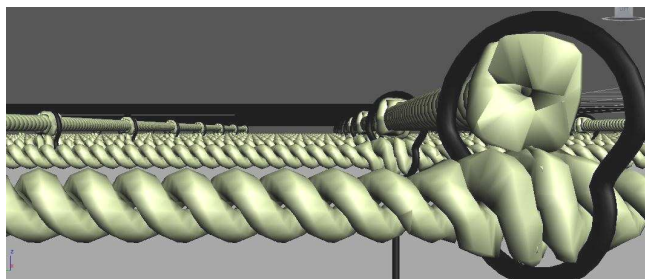


Рис. 2. Арматурный каркас

Технология основана на современных достижениях в области так называемой «трехмерной печати». В настоящее время эта технология интенсивно внедряется и в другие отрасли производства, в том числе в строительство. Однако эта технология основана на непосредственной укладке быстротвердеющего бетона в монолитную конструкцию дома или дорожного покрытия специальным принтером, размеры которого превышают размеры возводимого сооружения [5]. При помощи 3D-принтера возможна укладка бетонной смеси по технологии выращивания, что позволяет создавать покрытие послойно (рис. 3), соблюдая все нормы и требования. Это обеспечит быстрые темпы строительства, большой запас надежности, минимизацию ручного труда.



Рис. 3. Дорожное основание в разрезе

В заключение можно сделать вывод, что трехмерную печать ждет серьезный скачок уже в ближайшее время. Упростятся 3D-редакторы, удешевится 3D-печать, сами принтеры станут компактнее, улучшатся свойства используемых материалов. Кроме того, сегодня 3D-принтеры востребованы при производстве деталей для малосерийного производства, мелких объектов для домашнего использования, сувениров. Следовательно, в скором будущем появятся малогабаритные 3D-принтеры для строительства дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет строительных конструкций на основе моделирования. – М., 1965. – 3 с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http //www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org).
3. Ли, Дж. Трёхмерная графика и анимация / Дж. Ли, Б. Уэр. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2002. – 640 с.
4. Херн, Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн, М.П. Бейкер. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1168 с.
5. Иванов, В.П. Трёхмерная компьютерная графика / В.П. Иванов, А.С. Батраков; под ред. Г.М. Полищука. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.

УДК 666.972.135

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Т.Г. ЕРМОЛАЕВА, К.А. КОСТЮРИНА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Ю.И. КИРЕЕВА)

Исследуется влияния химических добавок: пластифицирующей С-3 и противоморозной поташа на поверхностные свойства цементных зерен и реологические свойства цементных суспензий. Установлено, что добавка С-3 вызывает дефлокулирующий и пластифицирующий эффект и формирование плотной структуры цементного теста; поташ способствует образованию крупных агрегатов, повышает жесткость смеси и обеспечивает формирование объемной, рыхлой структуры водоцементной системы.

Всё возрастающие объемы монолитного круглогодичного строительства и все увеличивающееся внимание к дорожному бетонированию, позволяющему получить более долговечное и экологически безопасное покрытие по сравнению с битумным, требуют применения специальных технологий производства бетонных работ. Особенность зимнего бетонирования связана, прежде всего, с переходом воды в лёд и прекращением реакции гидратации цемента – основного процесса, обеспечивающего получение искусственного камня заданной прочности. Существует достаточно много обогреваемых и безоогреваемых