

УДК 691.32

**СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЦЕМЕНТНЫХ И БЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ****И. Д. РОДЕВИЧ, А. Ю. БАРАНОВ****(Представлено: Е. С. БОРОВКОВА)**

*В данной работе рассмотрены этапы гидратации бетона с помощью виртуальной лаборатории VCCTL для тестов бетона и цемента. Представлены различные этапы структурирования бетона, геометрические формы заполнителя, пор, указаны диапазоны варьирования их характерными размерами и ориентацией в пространстве цементной матрицы.*

*Введение.* Как известно, все свойства композиций, в том числе цементных, напрямую связаны со структурой, при этом создание материала с требуемым уровнем величин определенных характеристик диктует свои, зачастую противоречивые (по отношению к другим свойствам) требования к параметрам структуры. В связи с этим возникает сложная задача получения цементных систем с заданными свойствами, показатели которых удовлетворяли бы определенному комплексу условий эксплуатации [1]. В настоящее время существует большая база данных о цементных композиционных материалах, обладающих своими свойствами и собственными условиями эксплуатации. Значительная часть данных была получена с помощью длительных экспериментов. Современная наука даёт нам предпосылки к созданию цементных композиций с использованием компьютерного моделирования. Очень важна оценка начальных этапов формирования контактов в бетоне, так как это позволит предугадывать протекание процесса твердения и анализировать некоторые физические свойства бетона. В этом нам могут помочь современные компьютерные программы. Также с помощью программ можно моделировать микроструктуры различных цементных паст, что значительно экономит время, материалы, человеческий ресурс и деньги за счёт сокращения количества физических испытаний выполняемых с бетоном в лабораториях. Для этого моделирования мы использовали программу VCCTL.

The Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory (VCCTL) — программа, предоставляющая виртуальную испытательную лабораторию, которую могут использовать инженеры и технологи для виртуального тестирования цементной пасты и бетонных изделий. Ядром виртуальной испытательной лаборатории является компьютерная модель для моделирования гидратации и развития микроструктуры материалов на основе цемента.

Предполагаемая польза от данной программы в быстром создании удобной виртуальной среды для оценки и оптимизации цементных материалов. С помощью данной программы мы сможем [2]:

- 1) создавать виртуальные материалы используя тщательно подобранные цементные порошки, дополнительные вяжущие материалы, наполнители и заполнители;
- 2) моделировать отверждение материалов с возможностью отслеживания широкого диапазона условий;
- 3) рассчитывать термические, механические и транспортные свойства в зависимости от обработки.

*Моделирование.* В цементном тесте частицы цемента можно уподобить зернам заполнителя в крупнопористом бетоне. Роль обволакивающего слоя цементного теста вокруг зерен в данном случае играют оболочки новообразований - продуктов гидролиза и гидратации цементных минералов [3]. Однако аналогия в формировании структуры цементного камня и крупнопористого бетона не безгранична. Она имеет место сразу после затвердевания цементного камня, а в последующем при дальнейшей гидратации цемента может быть нарушена, поскольку с ростом объема новообразований может измениться структура пор, наглядно в этом можно убедиться, используя структурно-имитационного моделирования. Согласно [4], в качестве файла данных цемента, был выбран цемент с кодировкой 133, с дополнением мелкого заполнителя, что соответствует характеристикам цемента Белорусского цементного завода.

На рисунке 1 представлены этапы структурирования бетона через 24, 72 и 144 часа твердения. Мы можем отследить изменения микроструктуры бетона в процессе гидратации с течением времени, что в дальнейшем позволит отследить образование микротрещин и деформаций (производственных дефектов). Гидратация микроструктур может быть смоделирована в соответствии с различными условиями твердения, а полученный в результате материал может быть проанализирован на ряд свойств, включая линейные модули упругости, прочность на сжатие, относительные коэффициенты диффузии.

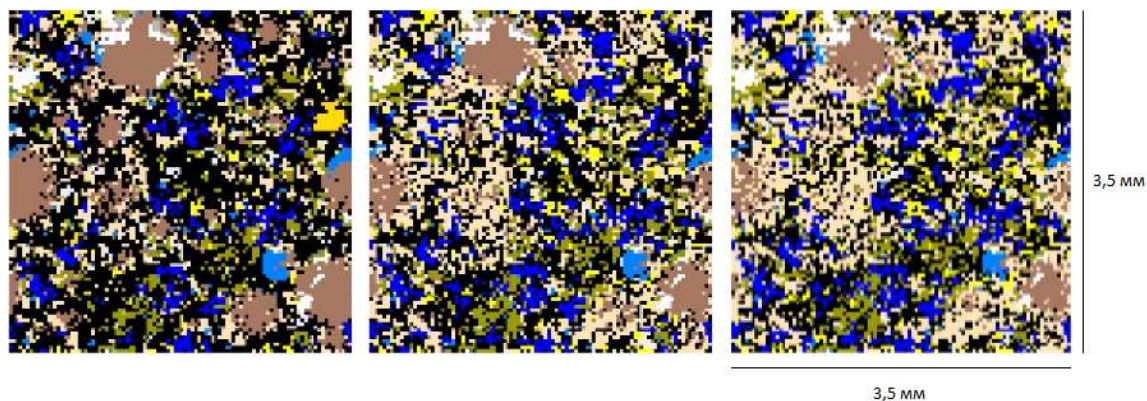


Рисунок 1. – Пример гидратации бетона в течение 24, 72 и 144 часов эксперимента в программе VCSTL



Рисунок 2. – Условные обозначения структурных элементов в программе VCSTL

В качестве основного вывода можно заключить, что задача структурно-имитационного моделирования элементов цементного композита является комплексной и требует тщательного изучения на каждом из этапов моделирования матрицы, заполнителя и пор. А именно: на этапе создания их геометрии и ориентации элементов в пространстве и назначения эффективных свойств, на этапе закрепления созданной модели и ее нагружения. Знание того, какой вклад вносит отдельная фаза при различных вариациях технологических факторов в макросвойства материала, дает новое понимание результатов экспериментальных исследований

*Заключение.* Данная программа существенно упрощает проведение экспериментов и предсказание возможных процессов и образований в цементном тесте и бетоне без проведения дополнительных опытов в лабораториях. Компьютерное моделирование даёт нам более широкую картину процессов, которые происходят в бетонных конструкциях и позволяет нам сократить затраты на проведение опытов в лабораториях. Дальнейшие испытания планируется провести в соответствии с наиболее перспективными областями моделирования бетонных конструкций с помощью таких программных комплексов как Ansys, SolidWorks и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов А.М. Исследование свойств цементных систем методом структурно-имитационного моделирования/ Харитонов А.М. // Строительные материалы. Наука. – 2008. – № 9. – С. 81–83.

2. <https://www.nist.gov/services-resources/software/vcctl-software> [Электронный ресурс]
3. Юхневский П.И. Компьютерное моделирование процессов структурообразования и свойств цементных композиций / П.И. Юхневский, М.С. Говорушко, О.Е. Пирожкин // Инновационная подготовка инженерных кадров на основе европейских стандартов (Еврокодов): материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 30 мая 2017 г.) / [редколлегия: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа]. - Минск: БНТУ, 2017. - С. 202-210.
4. Юнг В.Н. Основы технологии вяжущих веществ // М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам. 1951. — 548 с.
5. Кондращенко В.И., Кудрявцева В.Д., Кендюк А.В., Семак А.В., Кондращенко Е.В.. Имитационная модель макроструктуры бетона / В.И. Кондращенко, В.Д. Кудрявцева, А.В. Кендюк, А.В. Семак, Е.В. Кондращенко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2010. – № 52. – С. 21–35.
6. Скворцов Ю.В., Глушков С.В., Хромов А.И. Моделирование композитных элементов конструкций и анализ их разрушения в САЕ-системах MSC.Patran-Nastran и ANSYS: электрон. учеб. пособие / Ю.В. Скворцов, С.В. Глушков, А.И. Хромов; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Самара, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).