DOI: 10.17117/na.2015.08.852

Поступила (Received): 18.08.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.08.852.pdf>

Макаров Ю.А., Терешкин И.П., Лукашина С.В. Возможность использования природных цеолитов в качестве минеральной добавки для бетона

Makarov Yu.A., Tereshkin I.P., Lukashina S.V.
The possibility of using natural zeolite as a mineral
supplement for concrete

В статье рассмотрена возможность применения природных цеолитов в качестве мелкодисперсного наполнителя для цементных бетонов с целью увеличения их прочности. Это один из путей развития современной индустрии строительных материалов, который позволяет экономить цемент и дает возможность улучшить механические качества бетонов

Ключевые слова: бетон, минеральные добавки, наполнитель, природный цеолит, цементный композит, структурообразование

The article discusses the possibility of using natural zeolites as fine filler for cement concrete to increase their strength. This is one of the ways of modern building materials industry, which saves cement and gives the opportunity to improve mechanical properties of concrete

Key words: concrete, mineral supplements, filler, natural zeolite, cement composite, structure formation

Макаров Юрий Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Makarov Yuriy Alekseevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Mordovia state university named N.P. Ogareva
Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Терешкин Иван Петрович

Кандидат технических наук, доцент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Tereshkin Ivan Petrovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Mordovia state university named N.P. Ogareva
Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Лукашина Светлана Владимировна

Студент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Lukashina Svetlana Vladimirovna

Student
Mordovia state university named N.P. Ogareva
Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Современное строительство с каждым годом предъявляет все возрастающие требования к эксплуатационно-техническим свойствам материалов и конструкций на основе минеральных цементных вяжущих – повышение проч-

ностных показателей, снижение энергоемкости и материалоемкости технологии производства при одновременном повышении качества, обеспечение требуемой эксплуатационной надежности и долговечности.

Одним из перспективных направлений производства высокопрочных и долговечных бетонных композитов является применение мелкодисперсных наполнителей, а также предельное снижение водоцементного отношения сырьевых смесей. Хотя факторы, определяющие водопотребность портландцемента хорошо известны, на практике весьма затруднительно комплексно изменить их с целью существенного снижения этого показателя.

Как показывает практика, за счет введения минеральных добавок с оптимальной дисперсностью и регулирования водоцементного отношения можно снизить расход цемента до 30-40% с одновременным повышением прочности на 8-15%.

В качестве минеральной добавки для бетона наиболее эффективны кремнекислородные и алюмокислородные соединения, обладающие способностью к самостоятельному гидратационному твердению.

Наиболее распространенная группа таких соединений – природные цеолиты – новый, нетрадиционный, чрезвычайно перспективный тип неметаллических полезных ископаемых. В России, начиная с 1968 года, было открыто более 70 месторождений с общими ресурсами около 6 млрд т [1].

Цеолиты – это алюмосиликаты со скелетной структурой, содержащей пустоты, занятые ионами щелочных и щелочноземельных металлов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и молекулами воды, имеющими значительную свободу движения, что приводит к ионному обмену и обратимой дегидратации [4]. При дегидратации происходит активация катионов, появляется свободное межкристаллическое пространство и начинают протекать ионообменные реакции.

Среди промышленных цеолитов наибольшее значение имеет клиноптилолит, кристаллическая решетка которого состоит из кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдров. Идеализированный состав элементарной ячейки клиноптилолита:

Вследствие особенностей строения цеолитов, т.е. пористости микроструктуры, уникальной адсорбционной, ионообменной и каталитической способности, этот вид наполнителя способен участвовать в физико-химических процессах организации структуры цементного камня.

Авторами статьи изучалось влияние степени наполнения цеолитом и водоцементного отношения на прочность цементных бетонов.

Исследования выполнялись с помощью методов математического планирования эксперимента, в трехфакторном пространстве диаграммы «состав – свойство» [3]. Состав трехкомпонентной системы изображался с помощью равностороннего треугольника (Рис.1), вершины которого соответствуют 100%-му содержанию компонентов x_1 , x_2 , x_3 , а точки поля треугольника указывают на процент содержания каждого из них. В качестве варьируемых факторов были приняты:

Рис. 1. Треугольник состава трехкомпонентной системы: x_1 – степень наполнения цеолитом, % от массы цемента (Н/Ц), от 10% до 20% (вершина m_1 ; $x_1=1$; $x_2=0$); x_2 – степень наполнения песком (П/Ц), от 1/1 до 4/1 (вершина m_2 ; $x_2=1$; $x_3=0$); x_3 – водоцементное отношение (В/Ц), от 0,6 до 0,9 (вершина m_3 ; $x_3=1$; $x_1=0$)

Моделирование заключалось в определении коэффициентов регрессии полиномиального уравнения вида

$$Y = A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_{12}x_1x_2 + A_{13}x_1x_3 + A_{23}x_2x_3 + A_{1-2}x_1x_2(x_1 - x_2) + A_{1-3}x_1x_3(x_1 - x_3) + A_{2-3}x_2x_3(x_2 - x_3) + A_{123}x_1x_2x_3$$

где: x_1 , x_2 , x_3 – варьируемые факторы;

A_1 , A_2 , A_3 , A_{12} , A_{13} , A_{23} , A_{1-2} , A_{1-3} , A_{2-3} , A_{123} – статистически значимые коэффициенты регрессии.

В рамках эксперимента изготавливались образцы бетона, которые твердели в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 28 суток. Затем образцы испытывали на прочность согласно ГОСТ 10180-90 [2].

После обработки данных эксперимента были получены статистически значимые коэффициенты регрессии и записано полиномиальное уравнение прочности

$$Y = 3,177x_1 + 2,723x_2 + 2,616x_3 + 1,235x_1x_2 + 0,801x_2x_3 + 0,833x_2x_3(x_2 - x_3) - 1,530x_1x_2x_3.$$

Решение этого уравнения с помощью ЭВМ дает экстремальное значение $Y=27,80$ МПа в точке с координатами: $x_1=0,6875$; $x_2=0,3750$; $x_3=0,0310$, что соответствует натуральным значениям: наполнение цеолитом 16,9%; П/Ц=1/2,1; В/Ц=0,69. График влияния фактора x_1 на прочность бетона представлен на рис.2.

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением концентрации наполнителя прочность бетона на начальном этапе возрастает (рис.2), что связано с формированием достаточно плотного каркаса структуры и подтверждается уменьшением общей пористости материала. Максимальный рост прочности составил 28% при введении цеолита в количестве 17% от массы цемента. При дальнейшем увеличении концентрации наблюдается падение

прочности, что согласуется с полиструктурной теорией композиционных строительных материалов [5].

Рис. 2 Влияние степени наполнения цеолитом на прочность при сжатии

Увеличение прочности цементных композиций при оптимальных степенях наполнения можно объяснить ориентирующим воздействием зерен наполнителя на продукты гидратации цемента и образованием кластерных структур. Кроме того, содержащийся в цеолитах активный кремнезем и глинозем интенсивно связывают образующиеся в процессе твердения портландцемента гидроокись кальция в низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Это приводит к ускорению структурообразования в системе, уплотнению и упрочнению цементного камня.

Таким образом, введение в качестве мелкодисперсного наполнителя природных цеолитов, улучшает свойства бетонов и позволяет экономить цемент, что имеет первостепенное значение для дальнейшего развития современной строительной индустрии.

Список используемых источников:

1. Геология и полезные ископаемые России. СПб., 2000. Т. 1. Запад России и Урал. 552 с.
2. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности. М.: ЦИТП, 1990.
3. Макаров Ю.А., Терешкин И.П. Применение цеолитсодержащих пород для изготовления растворов на минеральных вяжущих // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2013. №11(78). С. 102-105.
4. Муминов С.З. Исследования в области термодинамики и термохимии адсорбции на глинистых минералах. Ташкент, 1987.
5. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве. Саратов, 1981. С. 5-9.