

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СУДОСТРОЕНИЯ

Мишутин А.В., д.т.н., проф., Богуцкий В.Л. инж.

*Одесская государственная академия строительства и
архитектуры*

Железобетонные суда имеют ряд преимуществ перед цельнометаллическими, что обуславливает перспективу их применения для большой группы плавучих сооружений стояночного флота [1]. Железобетонные плавучие сооружения при нормальной эксплуатации могут служить до 80-100 лет без выхода из эксплуатации, что в среднем в два раза больше, чем стальные. На постройку железобетонного корпуса требуется в 1.5-3 раза меньше металла, чем для аналогичного стального. Для железобетонных корпусов требуется менее дорогая сталь по сравнению с листовым и профильным прокатом для металлического корпуса. Расходы на содержание корпуса уменьшаются в 6-10 раз.

Создание эффективных судостроительных бетонов является одной из основных задач развития современного железобетонного судостроения. В частности, актуальна задача получения долговечных судостроительных керамзитобетонов за счет рационального подбора составов и модификаторов, создания требуемых технологических условий получения материалов с комплексом необходимых свойств, обеспечивающих эксплуатационную надежность конструкций. Использование керамзитобетона позволяет на 15-20% снизить вес судовых железобетонных конструкций по сравнению с аналогичными конструкциями из тяжелого судостроительного бетона [2].

Первым известным примером применения керамзитобетона в судостроении является постройка в США в 1919 году танкера «Сельма» с толщиной корпуса около 100 мм при толщине защитного слоя 16 мм [3]. После аварии судно было частично затоплено на мелководье в 1922 году и по сей день его корпус удовлетворительно сохранилось несмотря на пребывание в тропических водах [4]. В бывшем СССР также было накоплено

достаточно много положительных примеров применения высокопрочного керамзитобетона при постройке железобетонных судов [2].

В современных экономических условиях для конструкций целого ряда сооружений, таких как плавучие дома, отели и рестораны, а также для башен плавучих железобетонных доков керамзитобетон является весьма перспективным материалом. Применение керамзитобетона позволит улучшить комфортность пребывания людей на железобетонном судне, а также повысить долговечность конструкций судна и эксплуатируемого на нем оборудования.

Для исследования свойств судостроительных керамзитобетонов с добавками-модификаторами и дисперсным армированием был проведен эксперимент по 5-ти факторному 27-ми точечному плану [5]. Варьировались следующие факторы состава:

X_1 – количество сульфатостойкого портландцемента, от 400 до 600 кг/м³;

X_2 – концентрация гидрофобизатора ГКЖ-94м при обработке керамзитового гравия, от 0 до 1.6%;

X_3 – количество кольматирующей добавки Пенетрон А, от 0 до 2% от массы цемента;

X_4 – количество добавки суперпластификатора С-3, от 0.5 до 0.9% от массы цемента;

X_5 – количество полипропиленовой фибры Вauson, то 0 до 1.2 кг/м³.

Гидрофобизация гравия проводилась методом кратковременного окунания в эмульсию добавки ГКЖ-94м соответствующей концентрации [6,7].

Все исследованные керамзитобетонные смеси имели равную подвижность ОК=2±0.5 см, что достигалось подбором количества воды затворения. Анализ влияния состава на В/Ц смеси показал, что увеличение количества цемента и добавки С-3 снижает В/Ц, а добавка Пенетрон А практически не оказывает влияния на В/Ц отношение в смесях равной подвижности. Применение дисперсного армирования незначительно повышает В/Ц ввиду образования каркаса волокон фибры. Гидрофобизация керамзитового гравия снижает В/Ц керамзитобетонной смеси за счет снижения величины водопоглощения пористого заполнителя.

Исследовались прочность при сжатии, а также прочность на растяжение при изгибе модифицированных судостроительных

керамзитобетонов. Ввиду особенностей условий эксплуатации конструкций железобетонных судов прочность определялась в водонасыщенном состоянии (индекс w). Экспериментально-статистическая (ЭС) модель, описывающая влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии керамзитобетонов имеет вид:

$$\begin{aligned}
 R_{b,w}(\text{МПа}) = & 38.05 + 5.03x_1 \pm 0x_1^2 - 0.79x_1x_2 + 0.29x_1x_3 \pm 0x_1x_4 - \\
 & 0.23x_1x_5 \\
 & - 3.13x_2 - 3.01x_2^2 + 0.31x_2x_3 - 0.36x_2x_4 \pm 0x_2x_5 \\
 & + 0.22x_3 \pm 0x_3^2 - 0.16x_3x_4 - \\
 & 0.43x_3x_5 \\
 & + 0.78x_4 - 2.51x_4^2 + \\
 & 0.40x_4x_5 \\
 & - 0.17x_5 - 0.36x_5^5
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Анализ ЭС-модели (1) показывает, что введение добавки Пенетрон и дисперсное армирование полипропиленовой фиброй несущественно изменяет прочность при сжатии исследованных судостроительных керамзитобетонов. Влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94м при гидрофобной обработке гравия отображено на диаграмме в виде куба, показанной на рис. 1.

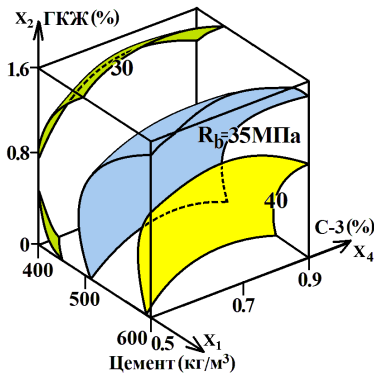


Рис. 1. Влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94м на прочность при сжатии судостроительного керамзитобетона в водонасыщенном состоянии

Анализ показанной на рис.1 диаграммы позволяет сказать, что увеличение количества портландцемента пропорционально повышает прочность. Наибольший уровень $R_{b,w}$ показывают составы, в которые введено приблизительно 0.7-0.8% суперпластификатора С-3. Гидрофобизация гравия повышает прочность композита в водонасыщенном состоянии. Для составов с количеством цемента 400..450 кг/м³ за счет обработки заполнителя эмульсией при концентрации добавки ГКЖ-94м 0.6-0.8% уровень $R_{b,w}$ повышается приблизительно на 10%, т.е. на 3..4 МПа. Для составов с количеством цемента более 500 кг/м³ эффективнее применение эмульсии ГКЖ-94м с концентрацией около 0.5%. Увеличение концентрации добавки более чем на 0.8% вызывает увеличение гидрофобного слоя керамзитового гравия, в связи с чем ухудшается сцепление заполнителя с растворной матрицей и происходит некоторое снижение прочности керамзитобетона.

На рис.2 показана построенная по соответствующей ЭС-модели диаграмма типа «квадрат на квадрате», отображающая влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3, полипропиленовой фибры и концентрации ГКЖ-94м при обработке гравия на величину прочности на растяжение при изгибе керамзитобетона в водонасыщенном состоянии. Количество добавки Пенетрон А несущественно влияет на прочность на растяжение, поэтому при построении диаграммы данный фактор зафиксирован на среднем уровне.

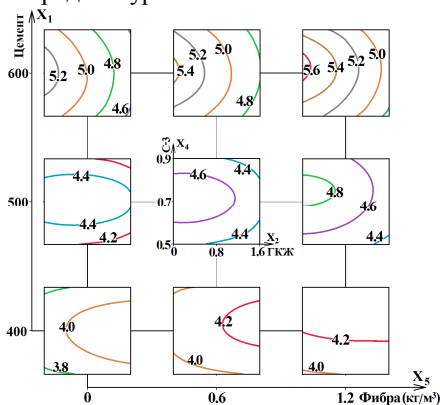


Рис.2. Влияние количества портландцемента, фибры, С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94 на прочность на растяжение

при изгибе судостроительного керамзитобетона
в водонасыщенном состоянии

Из диаграммы видно, что увеличение количества портландцемента повышает прочность на растяжение при изгибе керамзитобетона в водонасыщенном состоянии ($R_{bt,w}$). Наибольшая прочность имеют составы с количеством добавки С-3 около 0.7-0.8%. За счет дисперсного армирования прочность на растяжение повышается на 0.3-0.4 МПа, что объясняется работой волокон фибры при растягивающих напряжениях.

При обработке гравия гидрофобизатором ГКЖ-94м концентрации до 0.8% прочность на растяжение при изгибе керамзитобетонов с количеством цемента 400..500 кг/м³ несущественно повышается, суммарно не более, чем на 5..6%. Для наиболее прочных составов с количеством вяжущего около 600 кг/м³ использование гидрофобизатора теряет свою эффективность с точки зрения прочностных свойств при изгибе. То есть технологический прием гидрофобизации керамзитового гравия с одной стороны позволяет снизить В/Ц смеси, за счет чего упрочняется растворная матрица композита, с другой – снижает сцепление заполнителя с растворной матрицей.

Для конструкций плавучих сооружений, постоянно или периодически подвергаемых напорному воздействию воды, одним из основных показателей качества можно считать водонепроницаемость бетона. Влияние варьируемых факторов состава на водонепроницаемость исследованных модифицированных керамзитобетонов описывает приведенная ниже ЭС-модель:

$$\begin{aligned} W(\text{атм}) = & 7.1 + 2.2x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 + 0.2x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \pm 0x_1x_5 \\ & + 0.9x_2 \pm 0x_2^2 - 0.4x_2x_3 \pm 0x_2x_4 \pm 0x_2x_5 \\ & + 0.8x_3 \pm 0x_3^2 \pm 0x_3x_4 \pm 0x_3x_5 \\ & + 0.2x_4 - 0.7x_4^2 + 0.4x_4x_5 \\ & - 0.2x_5 - 0.7x_5^5 \end{aligned} \quad (2)$$

Водонепроницаемость исследованных керамзитобетонов изменялось в очень широких пределах, соответственно приведенная выше ЭС-модель показывает минимум $W_{\text{MIN}} \approx 1$ атм в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = -1$, $x_5 = 1$ и максимум $W_{\text{MAX}} \approx 10$ атм в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = 1$, $x_4 = 0.2$,

$x_5 = -0.5$. Однофакторные зависимости, построенные по модели (2) и проходящие через точки экстремумов показаны на рис.3.

Анализ показанной на рис.3 диаграммы позволяет сделать вывод, что увеличение количества портландцемента существенно повышает водонепроницаемость судостроительного керамзитобетона. Составы с максимальным количеством вяжущего (600 кг/м^3) показывали уровень W в среднем на две марки больше, чем с минимальным (400 кг/м^3). За счет введения 2% кольматирующей добавки Пенетрон А водонепроницаемость исследованных составов повышается примерно на одну марку, т.е. на две атмосферы, для составов с количеством цемента, близким к максимальному, и примерно на две марки для составов низким количеством цемента. Это можно объяснить более эффективным кольматирующим действием добавки в менее плотных бетонах.

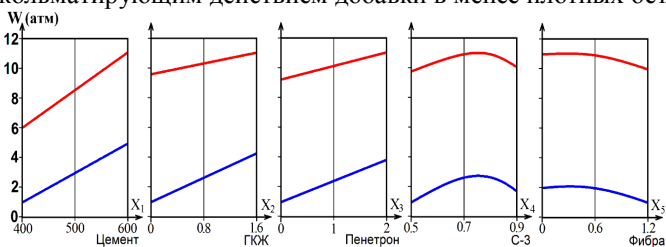


Рис.3. Влияние варьируемых факторов состава на водонепроницаемость исследованных керамзитобетонов в точках максимума и минимума

Гидрофобизация гравия также существенно повышает водонепроницаемость керамзитобетона, что объясняется появлением водоотталкивающих свойств поверхности пористого заполнителя. Изменение дозировки С-3 в пределах факторного пространства эксперимента несущественно влияет на величину W , при этом наибольшую водонепроницаемость имеют бетоны при введении 0.8% данной добавки. Дисперсное армирование несущественно влияет на уровень W .

Заключение

Таким образом, установлено что модифицированный судостроительный керамзитобетон при использовании $500..600 \text{ кг/м}^3$ цемента, введением 0.7-0.8 % добавки С-3, 2% добавки Пенетрон А и гидрофобизации гравия 0.7-0.8% эмульсией ГКЖ-

94М имеет высокую прочность в водонасыщенном состоянии ($R_{b,w} \geq 35$ МПа, $R_{bt w} \geq 4$ МПа) и водонепроницаемость не ниже W6. Полученный материал можно рекомендовать для конструкций плавучих отелей, ресторанов, а также башен плавучих железобетонных доков, т.е. периодически или постоянно испытывающих напорное действие воды и одновременно являющихся ограждающим для внутренних помещений. Применение керамзитобетона позволит значительно улучшить комфортность пребывания людей в помещениях железобетонного судна и повысить долговечность конструкций судна [8].

Summary

Found that the use of modifiers can improve the strength and water resistance shipbuilding expanded clay concrete. The resulting material is recommended for structural reinforced concrete floating structures. Expanded clay concrete will improve the comfort of people stay indoors reinforced concrete ships.

Литература

1. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.
2. Применение высокопрочного судостроительного керамзитобетона в железобетонном судостроении. Инструкция. – Л.: Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения, 1969. – 40 с.
3. Мишутин В.А. Долговечность существующих бетонов и корпусов плавучих судоремонтных доков, эксплуатируемых в морях с различными климатическими условиями / В.А. Мишутин – Л.: ЦНИИ «Румб», 1986. – 123 с.
4. An experiment in Ship Building: [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://www.concreteships.org>
5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
6. Выровой В.Н. Изучение стойкости керамзитобетона в условиях попеременного увлажнения и высушивания. / Выровой Валерий Николаевич – Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. - Одесса, 1973. – 127 с.

7. А. с. № 863556. СССР, Кл. С 04 В 31 / 40. Способ обработки легкого заполнителя / А. А. Кучеренко, В. Н. Выровой, И. В. Шкрабик. — №2737967/29-33; заявл. 19.03.79; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34.

8. Мишутин А.В. Новые виды судостроительных бетонов / А.В. Мишутин, В.Л. Богуцкий, С.Н. Петричко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 25. – Рівне: НУВГП, 2013. – С.119-126.