

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ

Богуцкий В.Л., *инж.*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Использование железобетона в судостроении целесообразно для постройки судов, увеличение собственного веса которых не приводит к ухудшению их эксплуатационных качеств. Для крупногабаритных плавучих сооружений стояночного флота железобетон является практически единственным материалом, удовлетворяющим требования длительной безремонтной эксплуатации в суровых условиях эксплуатации [1]. Подобными крупногабаритными сооружениями являются плавучие доки, отели, дома, причалы и пр.

Керамзит как заполнитель для бетона обладает высокими техническими характеристиками. В нем выгодно сочетаются большая прочность при низкой средней плотности, что обуславливает высокую конструктивную эффективность и долговечность при низкой теплопроводности. Керамзит, являясь пожаробезопасным, экологичным и долговечным материалом, обеспечивает высокую комфортность возводимых помещений и безопасность людей [2]. Эксплуатационная надежность керамзитобетона обусловлена сохранением исходных прочностных и теплозащитных свойств, высокой морозостойкостью и низкой эксплуатационной влажностью.

Использование керамзитобетона позволяет на 15-20% снизить вес судовых железобетонных конструкций по сравнению с аналогичными конструкциями из тяжелого судостроительного бетона [3]. Согласно ОСТ 5.9880-85 «Бетон судостроительный легкий. Технология приготовления и применения» для железобетонного судостроения может выпускаться керамзитобетон марок 300, 350 и 400. В последние годы использование керамзитобетона в железобетонном судостроении практически свелось к минимуму. Однако для целого ряда конструкций, таких как башни плавучих железобетонных доков, плавучие дома, отели и рестораны данный материал является весьма перспективным. Помимо того, отсутствует информации об эффективности применения в судостроительных керамзитобетонах современных модификаторов [4] и дисперсного армирования фиброй.

В связи с этим была поставлена научная задача по исследованию свойств судостроительных керамзитобетонов с добавками-модификаторами и дисперсным армированием. Эксперимент проводилось по 5-ти факторному 27-ми точечному плану [5], при этом варьировались следующие факторы состава:

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

X_2 – концентрация добавки ГКЖ-94 при обработке 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 Ваузон, то 0 до 1.2 кг/м³.

Гидрофобизация гравия [5] (обработка гидрофобизатором ГКЖ-94м) проводилась методом окунания в эмульсию добавки соответствующей концентрации (0.8 или 1.6%).

Все исследованные керамзитобетонные смеси имели равную подвижность ОК=2±0.5 см, что достигалось подбором количества воды затворения. То есть водопотребность зависела от состава. По результатам определения В/Ц в 27-ми экспериментальных точках была построена экспериментально-статистическая (ЭС) модель [6] влияния факторов состава на данный показатель:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0.337 - 0.061x_1 + 0.024x_1^2 + 0.020x_1x_2 - 0.006x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \pm 0x_1x_5 \\ & - 0.037x_2 + 0.019x_2^2 \pm 0x_2x_3 + 0.004x_2x_4 \pm 0x_2x_5 \\ & + 0.004x_3 \pm 0x_3^2 \pm 0.004x_3x_4 - 0.009x_3x_5 \\ & - 0.013x_4 + 0.013x_4^2 \pm 0x_4x_5 \\ & + 0.013x_5 \pm 0x_5^5 \end{aligned} \quad (1)$$

Однофакторные зависимости, построенные по данной моделям таким образом, что их линии проходят через точки минимума и максимумам, то есть отображают влияние варьируемых факторов состава в экстремумах, показаны на рис.1.

Анализ данной диаграммы позволяет сделать вывод, что увеличение количества цемента и добавки С-3 снижает уровень В/Ц отношения в смесях равной подвижности. Добавка Пенетрон А практически не оказывает влияния на водопотребность смеси, а применение дисперсного армирования несколько повышает В/Ц ввиду наличия в смеси волокон фибры. Гидрофобизация гравия снижает В/Ц керамзитобетонной смеси за счет снижения водопоглощения легкого заполнителя, од-

нако более ощутимо в зоне максимумов, т.е. для составов с малым количеством портландцемента и суперпластификатора.

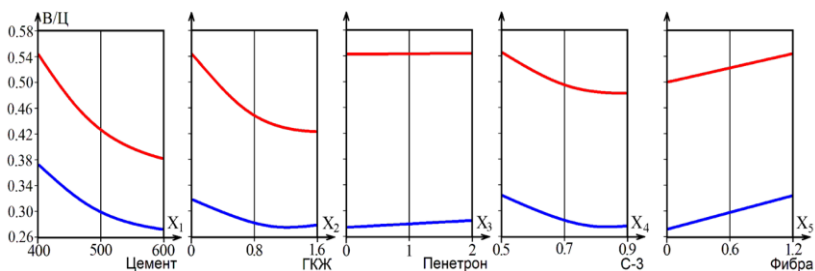


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на В/Ц керамзитобетонной смеси в точках максимума и минимума

Для исследуемых модифицированных судостроительных керамзитобетонов определялись прочность при сжатии, а также на растяжение при изгибе после 28-ми суток твердения в нормально-влажностных условиях. Ниже приведена ЭС-модель, описывающая влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии:

$$\begin{aligned}
 R_b(\text{МПа}) = & 35.02 + 5.12x_1 - 0.81x_1^2 - 0.91x_1x_2 + 0.27x_1x_3 + 0.14x_1x_4 \pm 0x_1x_5 \\
 & - 4.09x_2 - 2.97x_2^2 + 0.30x_2x_3 - 0.23x_2x_4 + 0.16x_2x_5 \\
 & \pm 0x_3 \quad \pm 0x_3^2 \quad \pm 0x_3x_4 - 0.26x_3x_5 \\
 & + 0.96x_4 - 2.37x_4^2 + 0.26x_4x_5 \\
 & \pm 0x_5 \quad \pm 0x_5^5 \quad (2)
 \end{aligned}$$

Анализ пролеченных данных и модели (2) позволяет сделать вывод, что количество добавки Пенетрон А и полипропиленовой фибры не существенно влияет на прочность при сжатии судостроительного керамзитобетона. Поэтому на рис.2 показана диаграмма в виде куба, отображающая влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94 при обработке гравия на величину прочности при сжатии.

Анализ показанной на рис.2 диаграммы показывает, что увеличение количества портландцемента естественно ведет к повышению уровня R_b . Наибольшую прочность показывают составы, в которые введено приблизительно 0.8% суперпластификатора С-3. Обработка гравия гидрофобизатором ГКЖ-94м при концентрации раствора до 0.4-0.6% немного повышает прочность, увеличение концентрации добавки вызывает уже снижение прочности керамзитобетона, что можно объяснить ухудшением сцепления заполнителя с растворной матрицей. Для

составов с количеством цемента 450..500 кг/м³ влияние обработки гравия гидрофобизатором проявляется существеннее.

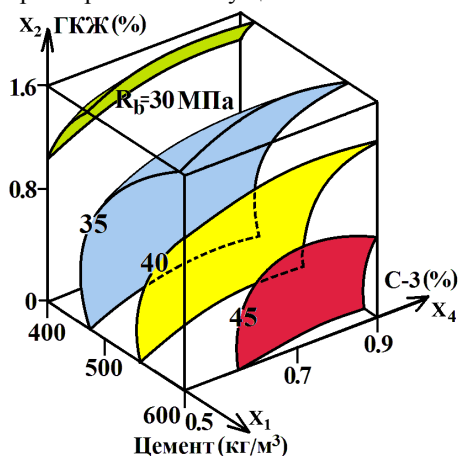


Рис.2. Влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94 на прочность при сжатии судостроительного керамзитобетона

По ЭС-модели, аналогичной (1) и (2) построена диаграмма в виде «квадрате на квадрате», показанная на рис.3 и отображающая влияние количества портландцемента, суперпластификатора С-3, полипропиленовой фибры и концентрации добавки ГКЖ-94 при обработке гравия на величину прочности на растяжение при изгибе. Количество добавки Пенетрон А несущественно влияет на прочность на растяжение судостроительного керамзитобетона, поэтому не отображено на рис.3.

Анализ диаграммы позволяет сказать, что увеличение количества портландцемента практически пропорционально повышает прочность на растяжение при изгибе (R_{bt}) керамзитобетона. Изменение количества добавки С-3 несущественно влияет на величину R_{bt} , хотя можно отметить, что по мере повышения количества цемента оптимальная дозировка С-3 снижается с 0.8 до 0.6%. За счет дисперсного армирования фиброй прочность на растяжение повышается приблизительно на 0.4 МПа практически независимо от уровня других факторов. При обработке гравия гидрофобизатором ГКЖ-94м прочность на растяжение при изгибе керамзитобетонов с минимальным количеством цемента (400 кг/м³) практически не изменяется, что можно объяснить двояким действием такого технологического приема – с одной стороны происходит снижение В/Ц смеси, за счет чего упрочняется растворная матрица композита, с другой – ухудшается сцепление заполнителя с рас-

творной матрицей. Для керамзитобетонов с максимальным количеством цемента (600 кг/м^3) гидрофобизация ощутимо снижает величину $R_{\text{бт}}$, что подтверждает двойкий механизм действия, т.к. в подобных составах В/Ц смеси за счет использования ГКЖ-94м изменялась в меньшей степени, а роль качества сцепления гравия с матрицей проявляется напротив более явно.

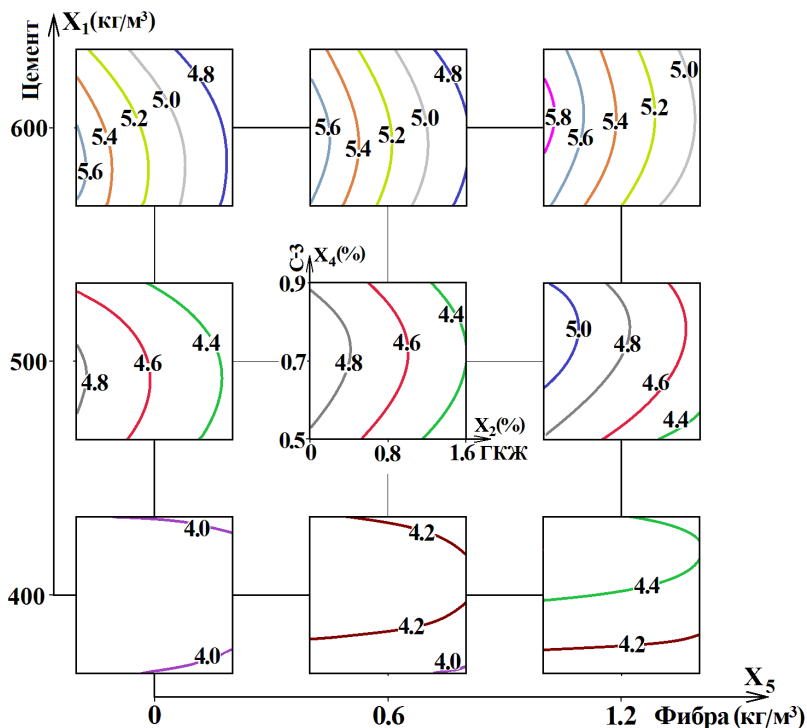


Рис.3. Влияние количества портландцемента, фибры, С-3 и концентрации добавки ГКЖ-94 на прочность на растяжение при изгибе судостроительного керамзитобетона

Следует отметить, что основная цель гидрофобизации пористого гравия – снижение гигроскопической влажности легкого бетона в конструкциях железобетонного судна, при этом преимущественно в надводной части. За счет снижения влажности уменьшается теплопроводность бетона, что позволяет улучшить условия работы оборудования и повысить комфортность пребывания людей в помещениях железобетонного плавучего сооружения, например доковой команды в по-

мещениях башен плавучего дока. На сегодня башни плавучих доков выполняются металлическими, а применение керамзитобетона позволит заменить их на легкие конструкции без снижения подъемной силы дока [7].

Вывод

Полученный материал можно рекомендовать для конструкций, находящихся преимущественно в надводной части, т.е. испытывающих напорное действие воды лишь периодически. Применение керамзитобетона позволит повысить комфортность пребывания людей на железобетонном судне и повысить долговечность конструкций судна.

Summary

Investigated the strength of the modified shipbuilding expanded clay concrete. The resulting materials meet the requirements of the Maritime Register and can be used for the construction of 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. Горин В.М. Керамзит: опыт и перспективы развития производства и применения / В.М. Горин, С.А. Токарева, М.К. Кабанова, – Строительные материалы, 2004, № 8. – С. 19-20.
3. Применение высокопрочного судостроительного керамзитобетона в железобетонном судостроении. Инструкция. – Л.: Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения, 1969. – 40 с.
4. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардунян. – М.: Парадиз, 2010. – 258 с.
5. Кучеренко А.А. Керамзитобетон на гидрофобизированном гравии / А.А. Кучеренко // Бетон и железобетон. – 1978.-№3. – С.23-29
6. 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.
7. 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.