

## АНАЛИЗ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ

Мишутин А.В., *д.т.н., проф.*, Богущкий В.Л. *инж.*,  
Ткаченко Г.Г., *к.т.н., доц.*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Железобетонное судостроение является достаточно развитой и перспективной отраслью народного хозяйства Украины, поскольку применение судостроительного бетона позволяет значительно увеличить долговечность и эксплуатационные качества большого числа крупногабаритных и стояночных плавучих сооружений [1,2]. К подобным сооружениям относятся, прежде всего, плавучие доки, причалы, гостиницы, рестораны и дома. На постройку железобетонного корпуса требуется в 1.5-3 раза меньше металла и используется более дешевая сталь по сравнению с прокатом для металлического корпуса, а расходы на содержание корпуса уменьшаются в 6-10 раз.

С учетом сегодняшнего уровня развития железобетонного судостроения актуальной можно считать задачу создания эффективных судостроительных бетонов, в частности, долговечных судостроительных керамзитобетонов [3,4]. Использование керамзитобетона позволяет на 15-20% снизить вес судовых железобетонных конструкций по сравнению с аналогичными конструкциями из тяжелого судостроительного бетона. За счет снижения веса возможно повысить грузоподъемность судна, в том числе плавучего дока, а также значительно улучшить комфортность пребывания людей и условия работы технологического оборудования во внутренних помещениях.

Исследование свойств модифицированных судостроительных керамзитобетонов проводилось с использованием методов планирования эксперимента [5]. Проводился 5-ти факторный эксперимент по 27-ми точечному оптимальному плану. Варьировались следующие факторы состава:

$X_1$  – количество сульфатостойкого портландцемента,  $500 \pm 100$  кг/м<sup>3</sup>;

$X_2$  – концентрация кремнийорганического гидрофобизатора ГКЖ-94м (жидкость 136-157М) при обработке керамзитового гравия,  $0.8 \pm 0.8\%$  (гидрофобизация проводилась методом окунания в эмульсию добавки ГКЖ-94м соответствующей концентрации) [6-8];

$X_3$  – количество кольматирующей добавки Пенетрон А (Пенетрон Адмикс),  $1 \pm 1\%$ ;

$X_4$  – количество суперпластификатора С-3,  $0.7 \pm 0.2\%$ ;

$X_5$  – количество полипропиленовой фибры Waucon,  $0.6 \pm 0.6 \text{ кг/м}^3$ .

Применяется керамзитовый гравий крупностью от 2.5 до 10 мм с насыпной плотностью  $570 \text{ кг/м}^3$ . Все исследованные смеси имели равную подвижность  $OK=2 \pm 0.5 \text{ см}$ , что достигалось подбором количества воды затворения.

Исследование физико-механических характеристик судостроительных керамзитобетонов показали [9], что количество добавки Пенетрон А и полипропиленовой фибры несущественно влияет на прочность при сжатии как в водонасыщенном состоянии, так и при равновесной влажности. Увеличение количества портландцемента пропорционально повышает прочность, при этом наибольшую прочность показывают составы, в которые введено 0.7-0.8% суперпластификатора С-3. Гидрофобизация гравия при концентрации добавки ГКЖ-94м до 0.7-0.8% повышает прочность при сжатии керамзитобетонов, при этом более ощутимо в водонасыщенном состоянии. Для составов с количеством цемента до  $500 \text{ кг/м}^3$  за счет обработки заполнителя прочность повышается на 3..4 МПа. Для составов с количеством цемента более  $500 \text{ кг/м}^3$  эффективнее применение эмульсии ГКЖ-94м с концентрацией около 0.5%. Увеличение концентрации добавки более чем на 0.8% вызывает снижение прочности керамзитобетона.

Также было установлено, что модифицированные судостроительные керамзитобетоны и фиброкерамзитобетоны при количестве портландцемента  $500-600 \text{ кг/м}^3$ , введении 2% добавки Пенетрон А и 0.7-0.8% добавки С-3, а также при использовании обработки пористого гравия гидрофобизатором имеют водонепроницаемость не ниже W8, что соответствует требованиям Морского регистра. То есть данные материалы могут использоваться для производства конструкций плавучих железобетонных сооружений.

Анализ средней плотности исследованных модифицированных судостроительных керамзитобетонов и фиброкерамзитобетонов в водонасыщенном состоянии показал, что она составляет от 1745 до  $1855 \text{ кг/м}^3$ , что соответствует требованиям ОСТ 5.9880-85 «Бетон судостроительный легкий. Технология приготовления и применения» (т.е. в водонасыщенном состоянии плотность материала ниже  $2000 \text{ кг/м}^3$ ) и «Правил постройки корпусов судов и плавучих сооружений с применением железобетона».

Как отмечалось ранее, основными целями применения легкого судостроительного керамзитобетона в качестве материала, альтернатив-

ного традиционному тяжелому судостроительному бетону, было повышение грузоподъемности плавсооружения, а также улучшение комфортности пребывания людей и работы технологического оборудования в помещениях плавучего сооружения. Соответственно одним из важных показателей качества материала, обеспечивающих комфортность и температурный баланс внутри помещения, является его теплопроводность. Уровень теплопроводности материала определялся в условиях равновесной влажности, поскольку методика измерения данного показателя не позволяет производить замеры на водонасыщенных образцах. Однако такие условия соответствуют тем, в которых эксплуатируются надводные конструкции плавучих сооружений и, соответственно, полученные данные могут рассматриваться при анализе комплекса свойств исследованного керамзитобетона.

Экспериментально-статистическая (ЭС) модель, отображающая влияние варьируемых факторов состава исследованных судостроительных керамзитобетонов на их теплопроводность имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \lambda(\text{Вт/м}^{\circ}\text{К}) = & 0.592 + 0.014x_1 \pm 0 x_1^2 \pm 0x_1x_2 \pm 0 x_1x_3 + 0.009x_1x_4 \pm 0x_1x_5 \\ & - 0.048x_2 + 0.058x_2^2 - 0.011x_2x_3 + 0.008x_2x_4 + 0.008x_2x_5 \\ & - 0.007x_3 \pm 0 x_3^2 \qquad \qquad \qquad \pm 0 x_3x_4 \pm 0 x_3x_5 \\ & + 0.007x_4 \pm 0 x_4^2 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \pm 0 x_4x_5 \\ & - 0.012x_5 - 0.013x_5^5 \end{aligned} \quad (1)$$

Анализ ЭС-модели (1) позволяет сказать, что количество кольматрующей добавки Пенетрон А несущественно влияет на теплопроводность материала, что является ожидаемым технологическим эффектом с учетом предназначения данного модификатора. При введение фибры теплопроводность незначительно снижается, что можно объяснить небольшим повышением В/Ц смеси и, соответственно, уменьшением плотности материала. Однако данное влияние не является значительным и его величина не позволяет говорить о достоверных изменениях данного показателя качества. Увеличение количества портландцемента и добавки С-3 приводит к повышению теплопроводности судостроительных керамзитобетонов, что объясняется увеличением плотности материала. Наиболее существенное влияние на величину теплопроводности оказывает гидрофобная обработка гравия, причем основной эффект достигается уже при использовании эмульсии добавки ГКЖ-94м с концентрацией 0.8%.

На рис.1 показана построенная по ЭС-модели (1) диаграмма в виде куба, отображающая влияние количества портландцемента, добавки

суперпластификатора С-3 и концентрации гидрофобизатора ГКЖ-94м на величину теплопроводности исследованных керамзитобетонов. При построении диаграмм уровни факторов  $x_3$  и  $x_5$  фиксировались на среднем уровне.

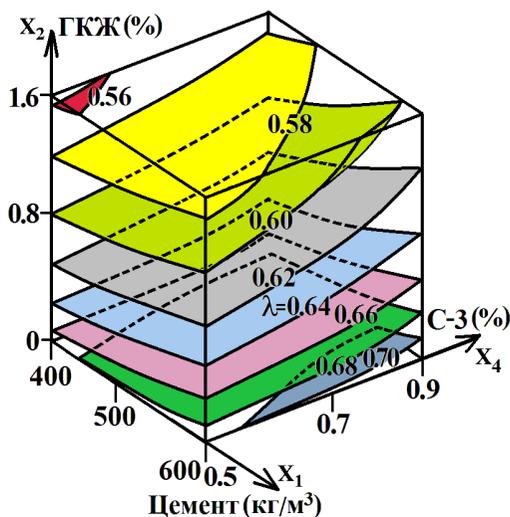


Рис.1. Влияние количества портландцемента, добавки С-3 и концентрации гидрофобизатора ГКЖ-94м на теплопроводность судостроительного керамзитобетона

Анализ показанной на рис.1 диаграммы позволяет сказать, что увеличение количества цемента пропорционально повышает теплопроводность композита, однако несущественно, в пределах 0.02-0.03 Вт/м\*К. Приблизительно аналогичное изменение теплопроводности керамзитобетона происходит в результате увеличения количества суперпластификатора С-3 с 0.5% до 0.9%.

Наиболее ощутимое снижение теплопроводности происходит в результате гидрофобной обработки гравия, причем величина данного снижения не пропорциональна концентрации добавки ГКЖ-94м в эмульсии. При использовании эмульсии с 0.8% добавки величина теплопроводности керамзитобетона снижается на 0.09-0.10 Вт/м\*К по сравнению с материалами на необработанном гравии. При использовании эмульсии с максимальной концентрацией гидрофобизатора (1.6%) снижение теплопроводности составляет 0.11-0.13 Вт/м\*К, т.е. не лишь многим больше. Т.е. с учетом влияния технологического приема гидрофобизации на весь комплекс физико-механических свойств компози-

та можно рекомендовать ограничить концентрацию добавки ГКЖ-94м на уровне 0.6-0.8%. Судостроительные керамзитобетоны при использовании данного вида обработки гравия в сочетании с применением кольматирующей добавки Пенетрон А, полипропиленовой фибры и суперплатификатора обеспечивают необходимый для конструкций плавучих сооружений уровень прочностных свойств и долговечности. При этом разработанные материалы отличаются пониженной плотностью и теплопроводностью.

Необходимо понимать, что с учетом незначительной толщины конструкций плавучих сооружений применение даже достаточно эффективных по теплопроводности материалов не позволяет говорить о теплозащите на значительном уровне. Однако комфортность пребывания в помещениях со стенами из легкого бетона на много выше по сравнению с аналогичными помещениями со стенами из тяжелого бетона. При этом также важно учитывать, что для плавучих сооружений возможно осуществление дополнительного утепления только с внутренней (сухой) стороны конструкции, соответственно теплоэффективность основного конструкционного материала имеет большое значение.

Таким образом, полученные модифицированные судостроительные керамзитобетоны и фиброкерамзитобетоны за счет своей пониженной теплопроводности по сравнению с тяжелыми бетонами а также пониженной влажности способны увеличить комфортность пребывания людей (в том числе экипажа) в помещениях плавучего сооружения, а также улучшить условия для работы технологического оборудования.

Использование технологического приема гидрофобизации легкого заполнителя в сочетании с применением современных модификаторов – суперплатификатора и кольматирующей добавки Пенетон А, а также с дисперсным армированием позволяет получить судостроительный керамзитобетон с высоким уровнем прочности (35..45 МПа), водонепроницаемости (W6..W10) и морозостойкости (F500..600). Это позволяет обеспечить повышение долговечности материала. Разработанные керамзитобетоны соответствуют требованиям Морского регистра и могут быть использованы для постройки стояночных судов, эксплуатируемых в различных климатических условиях.

## **SUMMARY**

**Effective expanded clay concrete designed for reinforced concrete ships. The material has high strength (35 .. 45 MPa), water resistant (W6.. W10) and frost resistance (F500. .600). Expanded clay concrete increases comfort people stay indoors floating structure. Material can**

**be used for the construction of parking ships for different climatic conditions.**

### *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. Справочник по железобетонному судостроению (Суда внутреннего плавания) / Н.М. Егоров, А.А. Мильто, В.И. Миронов и др. - Л.: Судостроение, 1969. – 356 с.
3. Применение высокопрочного судостроительного керамзитобетона в железобетонном судостроении. Инструкция. – Л.: Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения, 1969. – 40 с.
4. 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.
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. Кучеренко А.А. О механизме гидрофобизации бетона. / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 35. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. С. 207-213.
7. 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.
8. 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.
9. Богуцкий В.Л. Прочностные свойства модифицированных судостроительных керамзитобетонов / В.Л. Богуцкий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 51. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2013. – С. 35-40.