

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ СУДНОБУДІВНИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ

Мішутін А.В., *д.т.н., проф.*, Заволока М.В., *к.т.н., проф.*
Богуцький В.Л. *інж.*

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Застосування суднобудівного бетону дозволяє значно збільшити довговічність великогабаритних та стоянкових плавучих споруд (доків, причалів, плавучих готелів і домів). Подібні споруди можуть служити до 100 років, що в середньому в 2-3 рази більше, ніж термін експлуатації сталевих плавучих споруд. Використання бетону на пористому заповнювачі (керамзитобетону) дозволяє знизити вагу залізобетонного судна за рахунок чого підвищити його вантажопідйомність, а також значно поліпшити комфортність перебування людей та умови роботи технологічного обладнання [1].

Метою проведених досліджень є підвищення експлуатаційних властивостей і довговічності суднобудівних керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів за рахунок застосування добавок і гідрофобної обробки гравію. З використанням методик планування експерименту було проведено 5-ти факторний експеримент за 27-ми точковим оптимальним планом [2]. Варіювалися такі фактори складу:

X_1 – сульфатостійкий портландцемент, від 400 до 600 кг/м³;

X_2 - концентрація кремній-органічного гідрофобізатору ГКЖ-94м (рідина 136-157м) при обробці керамзитового гравію, від 0 до 1.6% (% к);

X_3 - кольматуюча добавка Пенетрон А (Адмікс), від 0 до 2% від маси цементу (% Ц);

X_4 - суперпластифікатор С-3, від 0.5 до 0.9% від маси цементу (% Ц);

X_5 - поліпропіленова фібра Ваусон (діаметр волокон 18.7 мкм, довжина – 12 мм), від 0 до 1.2 кг/м³.

Гідрофобізація гравію (крупністю до 10 мм і насипною щільністю 570 кг/м³) проводилася за рахунок занурення в емульсію ГКЖ відповідної концентрації [3].

Всі досліджені суміші мали рухливість ОК = 2±0.5 см, що досягалося підбором В/Ц. Встановлено, що збільшення кількості портландцементу і добавки С-3 знижує В/Ц відношення в сумішах рівної рухливості, а застосування фібри незначно підвищує цей показник через утворення каркасу волокон. Гідрофобізація пористого заповнювача знижує В/Ц за рахунок зменшення його водопоглинання.

Досліджувалася міцність при стиску модифікованих суднобудівних керамзитобетонів при рівноважній вологості та у водонасиченому

стані [4]. Аналіз показав, що введення Пенетрону і дисперсне армування поліпропіленової фіброю несуттєво змінює міцність керамзитобетону. Вплив кількості портландцементу, С-3 і концентрації ГКЖ-94м при гідрофобній обробці гравію відображено на діаграмі на рис.1.а.

Аналіз діаграми показує, що збільшення кількості цементу пропорційно підвищує міцність. Найбільший рівень f_{ck} показують склади, в які введено 0.7-0.8% добавки С-3. Гідрофобізація гравію підвищує міцність композиту. Для складів з кількістю цементу 400..450 $\text{кг}/\text{м}^3$ за рахунок обробки заповнювача емульсією при концентрації ГКЖ-94м 0.7-0.8% міцність підвищується приблизно на 10-12%. Для складів з кількістю цементу більше 500 $\text{кг}/\text{м}^3$ ефективніше застосування емульсії з концентрацією 0.5-0.7%. Збільшення концентрації добавки більш 0.8% позначається вже негативно у зв'язку з погіршенням зчеплення заповнювача з матрицею. На міцність при стиску суднобудівного керамзитобетону при рівноважній вологості (рис.1.б) фактори складу впливають аналогічно їх впливу на міцність у водонасиченому стані. При цьому всі досліджені керамзитобетони мають достатньою водостійкістю, коефіцієнт розм'якшення вище 0.85.

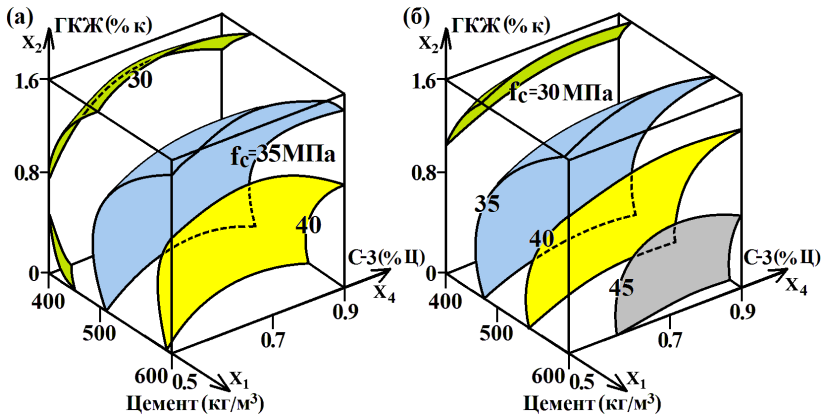


Рис. 1. Вплив кількості портландцементу, суперпластифікатора С-3 і концентрації добавки ГКЖ-94м на міцність при стиску суднобудівного керамзитобетону в водонасиченому стані (а) і при рівноважній вологості (б), ($x_3 = x_5 = 0$)

Залізобетоні плавучі споруди піддаються напірному впливу води, тому одним з основних показників якості суднобудівного бетону, що в значній мірі обумовлює його довговічність, є водонепроникність матеріалу [5]. Проведені дослідження показали, що при кількості цементу менше 500 $\text{кг}/\text{м}^3$ водонепроникність керамзитобетонів

знаходиться в межах від W2 до W6, відповідно такі матеріали не можна рекомендувати для використання у конструкціях плавучих споруд, що контактують з водою. Проте подібні бетони можна використовувати для конструкцій у внутрішніх приміщеннях споруд. При використанні 500 кг портландцементу на м³ бетону і при обробці пористого гравію гідрофобізатором ГКЖ-94м з концентрацією 0.7-0.8% водонепроникність досліджених матеріалів становить не нижче W6, а при кількості в'язучого 600 кг/м³ – не нижче W8. Максимальну водонепроникність мають бетони при кількості добавки С-3 близько 0.8%. Збільшення концентрації гідрофобізатору при обробці гравію підвищує водонепроникність, проте негативно позначається на міцності матеріалу. Ефективним є введення Пенетрон А, при використанні 2% цієї кольматуючої добавки водонепроникність підвищується приблизно на одну марку.

Для конструкцій тонкостінних плавучих споруд одним з основних показників якості бетону в кліматичних умовах України та інших країн з помірним кліматом є морозостійкість. Аналіз впливу факторів складу на рівень F показав, що завдяки введенню 2% Пенетрона А морозостійкість бетону підвищується на величину до 50 циклів. На рис.2 показана діаграма, що відображає вплив кількості цементу, фібри, добавки С-3 і концентрації гідрофобізатора при обробці гравію на величину морозостійкості досліджених керамзитобетонів. При побудові діаграми кількість Пенетрон А для всіх складів дорівнює 2%. В якості несучого квадрата прийняті фактори x_1 і x_2 (кількість портландцементу і концентрація гідрофобізатору). В поле несучого квадрату показані ізолінії, що відображають рівень максимальної морозостійкості, яка може бути досягнута у відповідних координатах (x_1, x_2) при варіюванні кількості фібри і добавки С-3. Як видно з діаграми, склади з кількістю цементу від 500 кг/м³ мають морозостійкість F500 і більш, що дозволяє використовувати подібні матеріали у залізобетонному суднобудуванні. Досягти рівня морозостійкості 500 циклів можна при меншій кількості в'язучого за рахунок гідрофобізації гравію та введення оптимальної кількості добавок і фібри, проте дані склади мають низьку водонепроникність. Найбільшу морозостійкість показують бетони з кількістю С-3 від 0.7 до 0.8%. При застосуванні фібри морозостійкість керамзитобетонів зростає на 50-100 циклів. При цьому дисперсне армування ефективніше для більш міцних складів, тобто з кількістю портландцементу 500..600 кг/м³, що пояснюється кращим защемленням волокон матрицею матеріалу. За рахунок гідрофобізації морозостійкість підвищується на 70-100 циклів, а вплив концентрації ГКЖ-94м в емульсії гідрофобізатора на рівень F є нелінійним. Найбільш інтенсивно змінюється морозостійкість при підвищенні концентрації добавки до 0.7-0.8%. Збільшення концентрації ГКЖ-94м

до 1-1.1% вже несуттєво (порівняно з матеріалами при обробці емульсією концентрацією 0.7-0.8%) підвищує морозостійкість. З урахуванням впливу прийому обробки гравію на міцність керамзитобетону концентрацію ГКЖ-94М в емульсії можна рекомендувати обмежити рівнем 0.6-0.7%. При цьому за рахунок такого модифікування морозостійкість легкого бетону підвищується на 70-80 циклів.

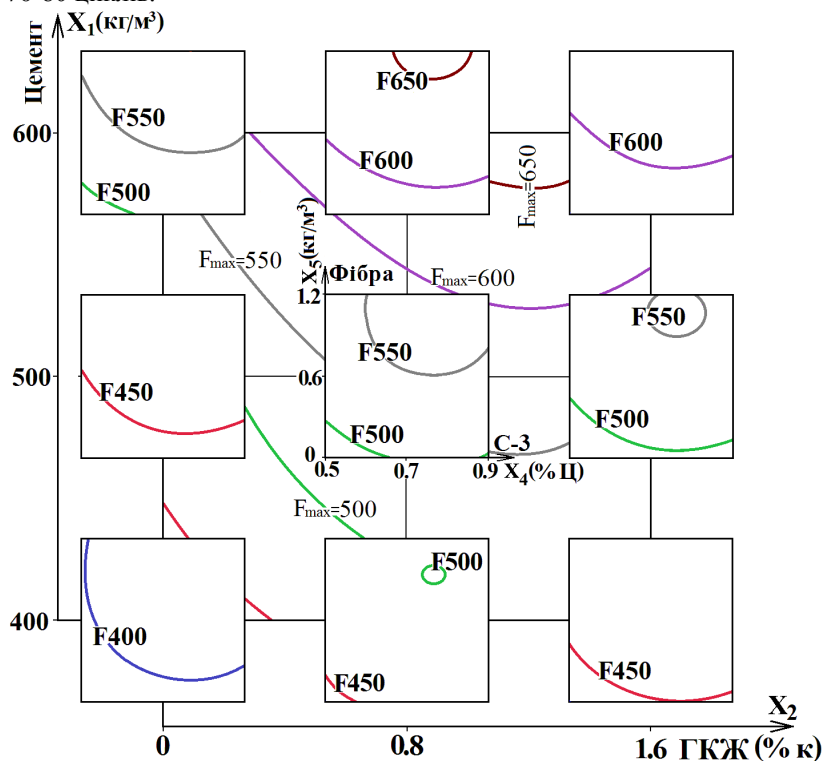


Рис.2. Вплив варійованих факторів складу на морозостійкість досліджених керамзитобетонів ($x_3 = 0$)

В цілому суднобудівні керамзитобетони при кількості портландцементу від 500 кг/м^3 при застосуванні 2% добавки Пенетрон, 0.7-0.8% добавки С-3, $1-1.2 \text{ кг/м}^3$ поліпропіленової фібри, а також при обробці пористого гравію гідрофобізатором з концентрацією 0.6-0.7% задовольняють вимогам Морського реєстру по водонепроникності та показують рівень морозостійкості не нижче F550. Це забезпечує високу довговічність матеріалу в суворих кліматичних умовах.

Структура дослідженого композиту була проаналізована методом мікроскопічного аналізу за допомогою металографічного оптичного

мікроскопу Sigeta в режимі кольорового зображення. Фотозйомку вели цифровим фотоапаратом при збільшенні $\times 200$. Деякі приклади мікрофото структури суднобудівного керамзитобетону наведена на рис.3. Аналіз показав, що пористий заповнювача має досить щільний контакт з розчинною матрицею по всій поверхні зерен (рис.3.а, 3.б). При цьому волокна фібри добре розподільні в матеріалі та защемлені (рис.3.б, 3.в), а пори в розчинній частині мають переважно невеликі розміри та розподілені рівномірно.

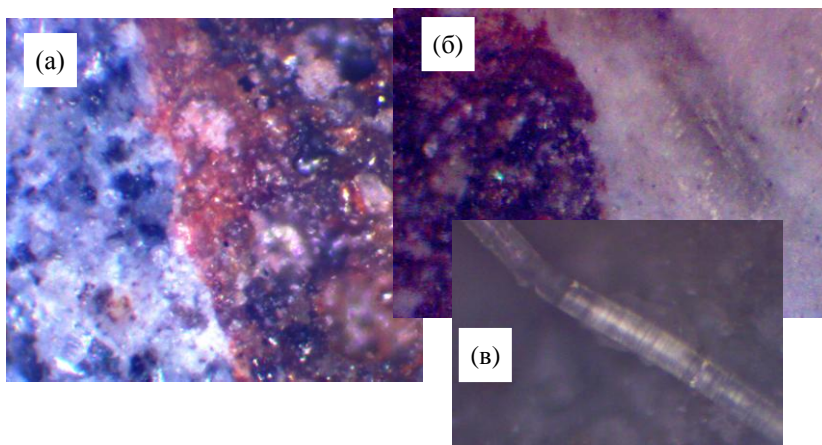


Рис.3. Приклади мікроскопічного аналізу структури суднобудівного керамзитобетону: а) контакт пористого заповнювача і розчинної матриці; б) зона контакту заповнювача, матриці та фібри; в) защемлення волокна фібри розчинною матрицею.

Висновки

Аналіз теплопровідності керамзитобетону показав, що кількість добавки Пенетрон А і фібри несуттєво впливає на цей показник. Збільшення кількості цементу незначно підвищує теплопровідність композиту (в межах 0.02-0.03 Вт/м*К). Приблизно аналогічна зміна теплопровідності відбувається в результаті збільшення кількості суперпластифікатору С-3 до 0.9%. Найбільше (до 0.11-0.13 Вт/м*К) знижується теплопровідність в результаті гідрофобної обробки гравію. Тобто застосування модифікованого гравію забезпечує більшу комфортність усередині приміщень судна і кращий температурний баланс.

Також в рамках даних досліджень було розроблено оптимальні технологічні прийоми виготовлення суднобудівних керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів, а також застосування цих матеріалів при

виготовленні тонкостінних плавучих гідротехнічних споруд. Розроблено та затверджено «Регламент з технології приготування модифікованих суднобудівних керамзитобетонів для виготовлення тонкостінних плавучих споруд та плавучих доків» для Херсонський державного заводу «Паллада» [6]. Цей завод є провідним підприємством залізобетонного суднобудування в Україні.

Summary

Investigated the properties and structure modified expanded clay lightweight concrete for concrete shipbuilding. It was obtained shipbuilding expanded clay lightweight concrete whose strength is 35.45 MPa, water-resistant is W6..W10 and frost-resistant to F600. Concrete has a high durable. Replacing the heavy shipbuilding concrete by light can increase the tonnage of a ship, improve the comfort of staying on floating structures and working conditions of technical equipment.

1. 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.

2. 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.

3. Кучеренко А.А. О механизме гидрофобизации бетона / А.А. Кучеренко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 35. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. С. 207-213.

4. Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони для тонкостінних плавучих споруд / А.В. Мішутін А.В., В.Л. Богущий В.Л., С.О. Кровяков – Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті, 2014, №2 – С. 104-110.

5. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.

6. Офіційний сайт Херсонського державного заводу «Паллада»: [Електрон. Ресурс] - Режим доступу: <http://pallada.ks.ua/>