

**ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕТОНІВ
НА ЛЕГКИХ ЗАПОВНЮВАЧАХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ
ТОНКОСТІННИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ
І ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

А.В.Мішутін, д.т.н., проф., С.О.Кровяков, к.т.н., доц.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

В гідротехнічному і транспортному будівництві найбільш поширені конструкції з бетону і залізобетону. Важливо відмітити, що раніш застосовувалися переважно масивні конструкції, а в сучасному будівництві зростає частка тонкостінних елементів. Так, стінки каналів і водопрпускових споруд виготовляються товщиною 8-12 см. Тонкостінними є всі конструкції плавучих залізобетонних споруд і більшість конструкції водоочисних споруд. Відомо, що залізобетон вперше був застосований французом Жаном Луї Ламбо саме для тонкостінного човна.

Бетони тонкостінних гідротехнічних, плавучих і транспортних споруд експлуатуються у важких умовах: піддаються зволоженню і висушування, зміні температури від -30 до $+50$ °С, тиску води і льоду, дії солей, водоростей і живих організмів. Таким чином, вони зазнають дію всіх трьох видів корозії по В.М. Москвіну [1], а також морозні, динамічні та біологічні впливи. Найбільш поширеним матеріалом для подібних конструкцій є важкий бетон на гранітному щебені та кварцовому піску. Проте для цілого ряду споруд, у тому числі тонкостінних, ефективнішим можна вважати застосування бетонів на легких заповнювачах. В Україні в якості таких заповнювачів частіше всього застосовується керамзит і окремі пористі місцеві породи.

Залізобетон використовується у суднобудуванні переважно для стовпкових плавучих споруд: доків, причалів, готелів та будинків різного призначення, нафтогазових платформ [2,3]. Для залізобетонних плавучих споруд використання керамзитобетону дозволяє знизити вагу судна і за рахунок цього підвищити його вантажопідйомність. Також застосування легких бетонів дозволяє значно поліпшити комфортність перебування людей у приміщеннях залізобетонного судна і умови роботи технологічного обладнання.

Багаторічний досвід застосування суднобудівного керамзитобетону довів його високу ефективність. Першим керамзитобетонним судном вважається побудований у 1919 році танкер «Сельма» з товщиною ко-

рпусу від 4 до 5 дюймів (10.2-12.3 см) при товщині захисного шару приблизно 16 мм [4,5]. У техніко-економічному обґрунтуванні при будівництві даного судна було вказано, що воно буде практичним, якщо бетон матиме міцність при стиску 5000 фунтів на квадратний дюйм (351 кг/см^2) і об'ємну вагу не більше 110 фунтів на кубічний фут (1762 кг/м^3). В результаті у віці 28 діб середня міцність бетону на пористому керамічному заповнювачі становила 5591 фунт на квадратний дюйм (393 кг/см^2), що перевершило очікування [6]. Після аварії у 1922 році танкер був частково затоплений, проте його корпус задовільно зберігся. Обстеження показали, що за 90 років міцність бетону в окремих конструкціях зросла вдвічі.

Найбільш масовими залізобетонні судна стають у період другої світової війни (рис.1), за час якої було побудовано 104 подібних судна [7]. Технологія їх будівництва була докладно описана в журналі «Popular science» за 1943 рік [8]. Суттєвою перевагою судів з керамзитобетонів тоді також вважалась швидкість будівництва: за шість з половиною тижнів зводився корпус судна з тоннажем до 3500 тонн.

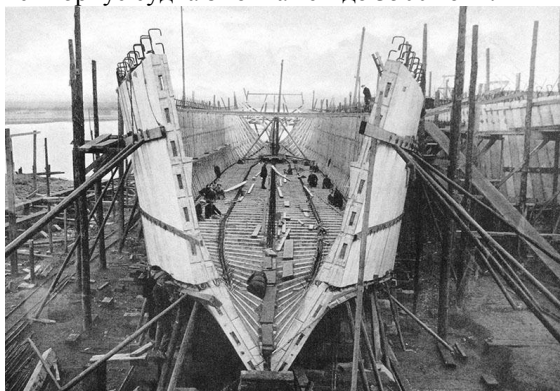


Рис.1. Процес будівництва залізобетонного судна у період 2-ї світової війни

У 1999 році спеціалістами з США були проведені обстеження корпусів чотирьох керамзитобетонних суден у віці від 55 до 80 років. Вони показали високу довговічність матеріалу в агресивному морському середовищі, а більшість виявлених дефектів конструкцій була пов'язана з порушенням захисного шару [9]. Крім довговічності спеціалісти вказують на гарну ремонтпридатність конструкцій з керамзитобетону і збереженість сухих вантажів [7]. Останній факт обумовлений набагато меншим ступенем конденсації вологи на корпусі судна з легкого бетону в порівнянні з металевим.

В Україні теж є позитивний досвід будівництва керамзитобетонних плавучих споруд. У 60-ті і 70-ті роки минулого століття на заводі залізобетонного суднобудування «Паллада» були побудовані кілька керамзитобетонних плавучих доків [10]. Обстеження даних плавучих споруд показали довговічність конструкцій з керамзитобетону при експлуатації в різних, зокрема суворих умовах (рис.2) [11]. Більшість цих доків експлуатується і сьогодні [12].



Рис.2. Експлуатація плавучого доку у зимовий період

Тобто у керамзитобетону вигідно поєднуються велика міцність при малій об'ємній масі, що обумовлює високу конструктивну ефективність і довговічність при низькій теплопровідності. У сучасному цивільному будівництві керамзитобетон майже не витримує конкуренції з газосилікатами та іншими ніздрюватими бетонами, проте в галузі залізобетонного суднобудування цей вид бетону залишається безальтернативним.

Розвиток технологій дозволяє значно збільшити довговічність і механічні властивості легких суднобудівних бетонів завдяки застосуванню нових модифікаторів і дисперсного армування [13]. Тому актуальними є дослідження властивостей модифікованих суднобудівних керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів, а також технологій їх застосування в сучасному суднобудуванні.

Нашим авторським колективом були проведені дослідження властивостей суднобудівних керамзитобетонів, в яких поєднано вивчення можливості застосуванням сучасних модифікаторів – суперпластифікатору С-3 і кольматуючої добавки Пенетон А (Адмикс), а також диспе-

рсного армування, з технологічним прийомом гідрофобізації легкого заповнювача [14]. За оптимальним планом був проведений 5-ти факторний експеримент. Аналіз комплексу експериментально-статистичних моделей, що описують важливі властивості матеріалу, дав можливість обрати склади суднобудівних керамзитобетонів з високим рівнем міцності (35..45 МПа), водонепроникності (W6..W10) і морозостійкості (до F600). Розроблені модифіковані керамзитобетони відповідають вимогам Морського реєстру і можуть бути використані для будівництва стоянкових суден, що експлуатуються в різних кліматичних умовах. Ці матеріали відрізняються підвищеною довговічністю в типових для плавучих споруд умовах експлуатації. Результати досліджень впроваджено на практиці – розроблено і затверджено «Регламент з технології приготування модифікованих суднобудівних керамзитобетонів для виготовлення тонкостінних плавучих споруд та плавучих доків».

Найбільш перспективним об'єктом для застосування суднобудівного керамзитобетону можна вважати плавучі житлові та громадські споруди (дома, готелі, ресторани тощо), а також вежі і внутрішні перегородки плавучих доків. Плавучій готель «Баккара», побудований на залізобетонному понтоні, показано на рис.3.а.

Більшість доків сьогодні будуються по композитній схемі, тобто на залізобетонному понтоні монтуються металеві вежі (рис.3.б). Вежі піддаються напірному впливу води не постійно, а при зануренні дока для встановлення або зняття судна на стапель-палубу. При цьому саме у вежах знаходяться приміщення для персоналу доку і значна частка технологічного обладнання. Тому матеріал конструкцій веж має бути водонепроникним і одночасно з тим – забезпечувати комфортні умови. Суднобудівний керамзитобетон повністю відповідає вказаним вимогам і може ефективно застосовуватися замість сталі в композитних доках.

Як зазначалося вище, для окремих транспортних споруд також ефективним можна вважати застосування легких бетонів. Матеріали на основі керамічних заповнювачах з успіхом використовуються у дорожньому будівництві для покриттів і несучих конструкцій [15]. Частка карбонатних порід (вапняки, мармури, доломіт), що переробляються на щебінь, становить близько 60% [16]. Є позитивний досвід застосування бетонів на місцевих заповнювачах, наприклад на карбонатному (вапняковому) щебені та піску. Подібні бетони мають достатню конструкційну міцність при високій довговічності та порівняно низькій вартості [17,18]. Бетони на карбонатних заповнювачах досить широко застосовувалися 50-70ті роки минулого століття, але в сучасному транспортному і гідротехнічному будівництві використовуються рідко. При цьому з розвитком будівельних технологій відкривається перспектива

отримання енергоефективних і довговічних бетонів на місцевих легких заповнювачах, що забезпечують необхідну конструктивну міцність [19].

(а)



(б)



Рис.3. Плавучі залізобетонні споруди.

а – готель «Баккара», б – композитний плавучий док

Були проведені дослідження можливості застосування місцевого (Одеська область) вапнякового щебеню для бетонів тонкостінних транспортних споруд і дорожніх покриттів [20]. Економічна доцільність даних досліджень пояснюється відносною дешевизною і близькістю доставки такого і аналогічного заповнювача. Встановлено, що заміна гранітного щебеню (насипна щільність 1360 кг/м^3) на пористий вапняковий щебінь (насипна щільність 1180 кг/м^3) дещо підвищує міцність бетону на розтяг при згині, а для матеріалу дорожнього покриття цей показник є одним з основних. Факт, що міцність бетону на карбонатному заповнювачі особливо велика при роботі на згин і розтягування описано в науковій літературі, зокрема у роботі [21].

Щільність досліджених бетонів на вапняковому щебені коливалася у межах $2270\text{-}2300 \text{ кг/м}^3$, аналогічних складів на гранітному щебені:

2380-2400 кг/м³. Міцність при стиску матеріалів на пористому заповнювачі на 5-13% нижча за міцність бетонів аналогічних складів на гранітному заповнювачі, що частково можна пояснити різницею у В/Ц сумішей, яке змінювалося для збереження рівної рухомості. Також бетони на вапняковому щебені мають високу (F400 і вище) морозостійкість [22].

В цілому можна зробити **висновок**, що бетони на вапняковому щебені мають перспективу ефективного використання в нижніх шарах двошарових цементобетонних дорожніх покриттів, зокрема з асфальтобетонним шаром зносу. Також подібні матеріали можуть бути використані в одношарових покриттях на ділянках, що піддаються значним навантаженням, проте не мають інтенсивного руху, що викликає зношення покриття. Крім того з бетонів на пористих заповнювачах можна виготовляти конструкції водопропускних споруд, мостів, кріплення укосів, тощо. Проте залишається актуальним питання вивчення впливу гранулометрії пористих заповнювачів, як крупних, так і дрібних, на властивості бетону. Також викликає науковий інтерес дослідження можливості підвищення ефективності застосування легких заповнювачів з модифікованою по верхнюю для зниження водопоглинання та підвищення теплотехнічних характеристик матеріалу.

Summary

Light concrete is often used in hydraulic and transport construction. There are promising expanded clay concrete for reinforced concrete shipbuilding. It was obtained durable expanded clay concrete for the floating docks, houses and hotels. The building has efficient transport concrete with porous aggregates. Concrete with limestone have a high frost resistance and tensile strength.

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / [В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев] – М.: Стройиздат, 1980 – 535 с.
2. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.
3. Носков Б.Д. Сооружения континентального шельфа. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа / Б.Д. Носков, Ю.П. Правдивец – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 280 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. An experiment in Ship Building: [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://www.concreteships.org>.
6. The S.S. Selma - Crystal Beach and Bolivar Peninsula [Електрон. ресурс]. - Режим доступу – <http://www.crystalbeach.com/selma.htm>.
7. Chandra S. Lightweight aggregate concrete / Satish Chandra, Leif Berntsson. – Elsevier Science: 2008. – 450 p.
8. How

poured ship are build – Popular science, 1943, vol. 142, №6, – P. 124-127. 9. Evaluation of lightweight concrete performance in 55 to 80 year old ships / [R.D. Sturm, N. Mc Askill, R.G. Burg, D.R. Morgan] – AC ISP 189-7 on High-performance concrete: Research to Practice, 1999. – P. 101-120. 10. Офіційний сайт Херсонського державного заводу «Паллада»: [Електрон. Ресурс] - Режим доступу: <http://www.pallada-doc.com/>. 11. 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. 12. Слуцкий Н.Г. Строительство железобетонных плавучих сооружений в Украине / Н.Г. Слуцкий, В.Ф. Маломан, А.С. Рашковский // Рыбное хозяйство Украины. Спец. выпуск «Морские технологии: проблемы и решения - 2004». – Керчь, 2004. – № 7. – С. 23–26. 13. Мишутин А.В. Новые виды судостроительных бетонов / А.В. Мишутин, В.Л. Богущкий, С.Н. Петричко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 25. – Рівне: НУВГП, 2013. – С.119-126. 14. Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони для тонкостінних плавучих споруд / А.В. Мішутін А.В., В.Л. Богущкий В.Л., С.О. Кровяков – Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті, 2014, №2 – С. 104-110. 15. Горин В.М. Высокопрочный керамзит и керам-дор для несущих конструкций и дорожного строительства / В.М. Горин, С.А. Токарев, М.К. Кабанова – Строительные материалы, 2010, №1 – С. 9-11. 16. Зозуля П.В. Карбонатные породы как заполнители и наполнители, в цементах, цементных растворах и бетонах / Зозуля П.В. - Гипроцемент-наука. [Электрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://www.giprocement.ru/about/articles.html/p=25>. 17. Шелихов Н.С. Комплексное использование карбонатного сырья для производства строительных материалов / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов // Строительные материалы. 2006, № 9. – С. 42-44. 18. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов - М.: Стройиздат, 1973. – 584 с. 19. Черепов В.Д. Бетон на основе низкопрочных карбонатных пород / В.Д. Черепов, Н.П. Коршунова – Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования», 2013, №2 [Электрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://www.science-education.ru/108-8676>. 20. Мішутін А.В. Застосування вапнякового щебеню для бетонів жорстких дорожніх покриттів / А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, А.О. Полторапавлов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. №58 – Одеса; Зовнішрекламсервіс, 2015. – С.250-255. 21. Пинус Э.Р. Структурообразующая роль карбонатных заполнителей в цементном бетоне / Э.Р. Пинус. – Научно-техническое сообщение ВНИИЧеруд, №8. Ставрополь-на-Волге, 1962. – С. 101-108. 22. Хохрин Н.К. Парадигмы долговечности легкого бетона/ Н.К. Хохрин. – Самара : СамИИТ, 2000. – 181 с.