

З Б І Р Н И К

наукових праць

## „Теоретичні основи будівництва”

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

та

Варшавського технічного університету

Збірник підготовлено в рамках двостороннього наукового

співробітництва України та Польщі

Друкується за рішенням Вченої Ради

Придніпровської державної академії будівництва та архітектури

(протокол № 8 від 26 березня 2013 р.)

### Редакційна колегія збірника

Головний редактор:

д.т.н., проф. Щесняк В.

Члени редакційної  
колегії:

д.т.н., проф. Большаков В.І.

д.т.н., проф. Кваша Е.М.

д.т.н., проф. Маневич А.І.

д.т.н., Квасьневский Л.

д.арх., проф. Бухнер А.

д.арх., проф. Лаврик Г.І.

д.т.н., проф. Чарнетський Л.

д.т.н., проф. Левинський Т.

д.арх., проф. Дьомін Н.Н.

д.т.н., проф. Мартинек В.

д.т.н., проф. Гіжейовський М.

д.т.н., проф. Нагурський Р.

д.т.н. Гліницька А.

д.т.н., проф. Радомський В.

д.т.н., проф. Емеліта Г.

д.т.н., проф. Савицький М.В.

д.т.н., Еміоло С.

д.т.н., проф. Щербак С.А.

д.т.н., проф. Кнауфф М.

д.арх., проф. Тімохін В.А.

д.т.н., проф. Красовський В.Л.

д.т.н. Збицяк А.

д.т.н., проф. Кулябко В.В.

д.т.н., проф. Зобель Х.

Видавництво: Офіційне видавництво Варшавської Політехніки

вул. Польна, 50, 00-644 Варшава

Тираж 160 екземплярів

Наукова редакція: Щесняк В., Атаман М.

Польсько-українсько-литовський збірник праць №21

"Теоретичні основи будівництва", Варшава, травень 2013

ISBN 978-83-7814-091-7

ВАРШАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА

ДВНЗ «ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА  
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА  
ТА АРХІТЕКТУРИ»

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО БЕТОНА

Андрей МИШУТИН, Михаил ЗАВОЛОКА

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина

### 1. Введение

Для крупногабаритных плавучих сооружений, докование которых не представляется возможным, железобетон является по существу единственным материалом, из которого возможно создание конструкций, удовлетворяющих требованиям длительной безремонтной эксплуатации без снижения их эксплуатационной надежности.

Развитие железобетонного судостроения обусловлено следующими преимуществами композитных плавучих сооружений по сравнению с цельнометаллическими: на постройку железобетонного корпуса требуется в 1,5-3 раза меньше металла, чем для аналогичного стального за счет использования бетона и более рационального размещения стали в конструкциях; 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; железобетонные плавучие сооружения при нормальной эксплуатации могут служить до 70-80 лет, что в среднем в два раза больше, чем стальные, стоимость строительства композитных сооружений на 15-20% ниже, чем аналогичных цельнометаллических при меньших капитальных вложениях на организацию производства [1].

Специфика работы материала в конструкциях плавучих сооружений обусловлена односторонним действием на них эксплуатационных нагрузок. Конструкции плавсооружений испытывают гидростатическое давление и динамические воздействия жидкости и льда, замораживание и оттаивание, увлажнение и высушивание, химические воздействия, обрастание водорослями и живыми организмами, частую смену температур. Основным условием долговечности бетона в водной среде является его высокая плотность, затрудняющая проницаемость. При одновременном действии знакопеременных температур не менее важным показателем качества можно считать морозостойкость бетона, которая эффективно повышается за счет создания системы замкнутых пор. Поэтому из всех качественных характеристик, влияющих на долговечность судостроительного бетона, следует выделить морозостойкость и непроницаемость. С проницаемостью также во многом связана способность бетона противостоять всем видам коррозии.

## 2. Методика исследований

Проводились исследования свойств судостроительных бетонов различных составов со следующим варьированием основных компонентов: количества сульфатостойкого портландцемента, суперпластификатора С-3, кольматирующей добавки Пенетрон Admix, мелкодисперсного наполнителя (молотого песка  $S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) и соотношения щебень/песок. Также исследовались судостроительные фибробетоны, в которых изменялось количество полипропиленовой фибры, и декоративные судостроительные бетоны, в которых изменялись вид и количество железистых пигментов.

## 3. Результаты исследований

На основе данных, накопленных при исследовании тонкостенных плавучих сооружений [2], был проведен анализ механизмов формирования локальных и интегральных температурно-влажностных деформаций в бетоне конструкций данных сооружений. В гидротехнических сооружениях ввиду неравномерного распределения влаги по высоте конструкций деформации переходят от набухания, в подводной их части, к усадке, в зонах пониженного влагосодержания [3]. Изменение уровня воды вызывает изменение распределения влаги по высоте и по сечению конструкции, что приводит к изменению величины и направления действия влажностных деформаций. В материале возникают «волны» интегральных влажностных деформаций, которые протекают как вдоль, так и по сечениям изделия. Аналогичное распределение деформаций связано с изменением температуры материала в конструкции. Интегральные деформации формируются путем взаимодействий локальных деформаций, которые зависят от капиллярно-пористой структуры материала.

К мероприятиям по целенаправленному изменению капиллярно-пористой структуры бетона следует отнести применение специальных добавок-модификаторов. Более равномерно распределять локальные деформации по объему материала, изменяя условия формирования интегральных деформаций, можно при помощи объемного дисперсного армирования. В процессе эксплуатации сооружения структура его материала подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при установке начальных требований к бетону и при проектировании его состава.

Для повышения долговечности бетона тонкостенных плавучих сооружений был разработан комплексный модификатор [3], включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный наполнитель – молотый кварцевый песок. Модификатор позволяет не только уменьшить общий объем открытых пор, но и повысить однородность пор по размерам. На комплексные добавки [Пенетрон А + суперпластификатор С-3] и [Пенетрон А + С-3 + наполнитель] получены декларационные патенты [4,5].

Применение разработанных комплексных модификаторов позволяет в 1.5-2 раза увеличивать водонепроницаемость судостроительного бетона и на 150-200 циклов его морозостойкость. Модификаторы снижают общую пористость материала на 10..12%, а капиллярную почти в 2 раза. При их применении морозостойкость мелкозернистого бетона и фибробетона достигает уровня F500-F600, водонепроницаемость – W16. Общая тенденция изменения водонепроницаемости и морозостойкости судостроительного бетона за счет применения модификаторов и дисперсного армирования показана на рис.1.

Также исследовались декоративные судостроительные бетоны. Применялись железистые порошковые пигменты производства компании Procter Johnson: красный оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в форме гематита; желтый моногидрат окиси железа (III)

FeO(OH) в форме гетита; синий пигмент на основе оксидов железа, содержащий оксид железа, моногидрат окиси железа и карбоната кальция.

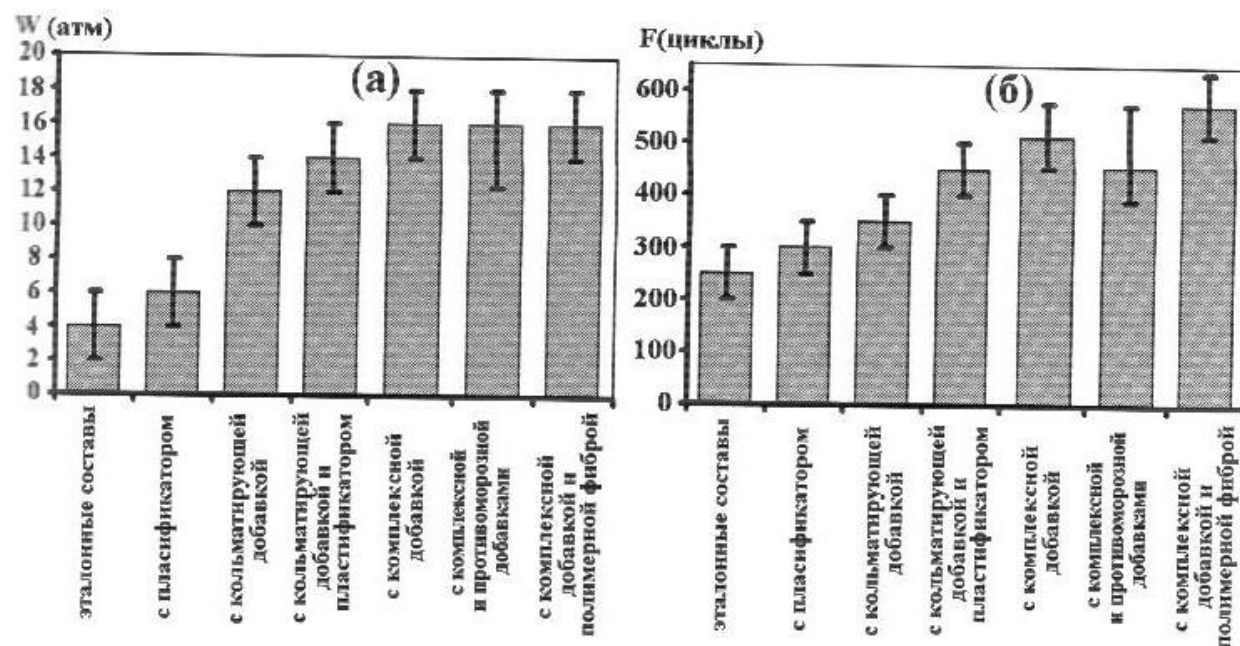


Рис. 1. Тенденция изменения водонепроницаемости (а) и морозостойкости (б) судостроительного бетона за счет применения модификаторов и дисперсного армирования.

Разработан декоративный судостроительный бетон для тонкостенных конструкций плавучих железобетонных сооружений. Он имеет прочность класса не ниже С32/40, водонепроницаемость не менее W12, морозостойкость не ниже F400 и жесткость не ниже  $0.5 \text{ МПа} \times \text{м}^{0.5}$ . Прочность на растяжение при изгибе декоративных судостроительных бетонов находится в пределах 7..9 МПа. Получен декоративный патент Украины на модифицированную бетонную смесь для получения декоративного судостроительного бетона [6]. Разработан и утвержден «Регламент по технологии приготовления модифицированных декоративных судостроительных бетонов для изготовления тонкостенных плавучих сооружений и композитных доков».

Идет разработка специального вида керамзитобетона в качестве материала для железобетонного судостроения. Согласно отраслевому стандарту возможно использование бетона судостроительного легкого, для приготовления которого используется в качестве крупного заполнителя - керамзитовый гравий. Плотность такого бетона находится в пределах  $1600\text{-}2000 \text{ кг/м}^3$ . Наиболее перспективным представляется применение керамзитобетона в плавучих доках для зоны переменного уровня воды – это борта дока от уровня ватерлинии до палубы безопасности. В данной зоне бетон подвергается увлажнению при погружении дока и высушиванию или морозиванию при всплытии дока. Также выгоден керамзитобетон в зоне надводного тона (борта башен дока от палубы безопасности до топ-палубы), в которой бетон подвергается действию только атмосферных влияний. На современном этапе судостроительные заводы производят в основном композитные доки, и данные зоны выполняются из стали. Замена стальных конструкций на керамзитобетонные позволит повысить комфортность работы команды дока за счет лучшего микроклимата в помещениях, увеличить долговечность и снизить стоимость дока в целом. Помимо этого, перспективно применение керамзитобетонных конструкций для постройки плавучих отелей, домов, ресторанов и прочих стояночных сооружений, рассчитанных

на длительное пребывание людей. Также представляет интерес возможность получения дисперсно-армированного керамзитобетона для железобетонного судостроения.

Примеры плавучих железобетонных сооружений, произведенных в последние годы в Украине, показаны на рис.2. Фото композитного плавучего дока показано на рис.2.а, готового понтона плавучего отеля с надстройкой – на рис.2.б, фото эксплуатируемой плавучей гостиницы "Баккара", базирующей на р.Днепр, показано на рис.2.в.

#### 4. Заключение

Положительный предшествующий опыт строительства и эксплуатации железобетонных судов и плавучих сооружений, определяют следующие тенденции и перспективы применения железобетона в судостроении:

- для постройки плавучих доков большей грузоподъемности, плавучих отелей, жилых и общественных зданий, причалов с обычной и предварительно напряженной арматурой, предназначенных для эксплуатации в морях и прочих водоемах с различными климатическими условиями;

- для создания и постройки из железобетона нетрадиционных плавучих и подводных железобетонных сооружений больших размеров с обычной и предварительно напряженной арматурой, предназначенных для освоения пищевых и минеральных ресурсов Мирового океана.

То есть, учитывая долговечность бетонов и железобетонных конструкций плавучих сооружений, их экономичность и коррозионную стойкость, в том числе, в морской воде, следует расширить масштабы строительства плавучих железобетонных сооружений, особенно предназначенных для освоения морского шельфа. Например, институтом Seasteading разработан проект Swimming City, направленный на создание пограничных земель в открытом океане, "куда могут приехать все те, кто желает поэкспериментировать с построением новых обществ, и проверить свои идеи". Проект демонстрирует вероятную возможность того, как в океанских поселениях могут жить люди.

Малазийские архитекторы придумали проект сооружения под названием  $HO_2+scraped$  (водоскреб), который как небоскреб, но только уходит под воду. По словам создателей проекта архитектурного бюро Sarly Adre Bin Sarkum, "водоскреб" представляет собой автономный плавучий город, который будет получать энергию при помощи волн, ветра и солнца, а также производить собственные продукты питания благодаря сельскохозяйственным угодьям, расположенным в его недрах, аквакультуре и гидропонным технологиям. В будущем возможно создание целых "мегаполисов", состоящих из подобных "водоскребов", тем более, что 71% поверхности Земли покрыто водой. При строительстве "водоскребов" предполагается широко использовать судостроительные бетоны. С учетом неблагоприятных прогнозов по изменению климата на планете разработаны проекты плавающих городов «Экополисов» для климатических беженцев (рис.3). При этом в основе таких сооружений также лежит судостроительный бетон.

Продолжается строительство плавучих сооружений для освоения шельфа. Морские стационарные платформы являются в настоящее время уникальными объектами проектирования и строительства как по своей конструкции, так и по природным условиям мест размещения. Буровые платформы позволяют добывать нефть и газ с шельфа при глубине до 300 м. Нефтяная платформа Тролль, построенная в 1996 году, является добывающей платформой природного газа в месторождении Тролль. Это самая высокая постройка, которая когда-либо перемещалась в другое положение относительно поверхности Земли, и является одной из высочайших и наиболее

сложных технических проектов (высота платформы 482 м). Стенки цилиндрических ног имеют толщину более 1 метра при высоте 303 м.

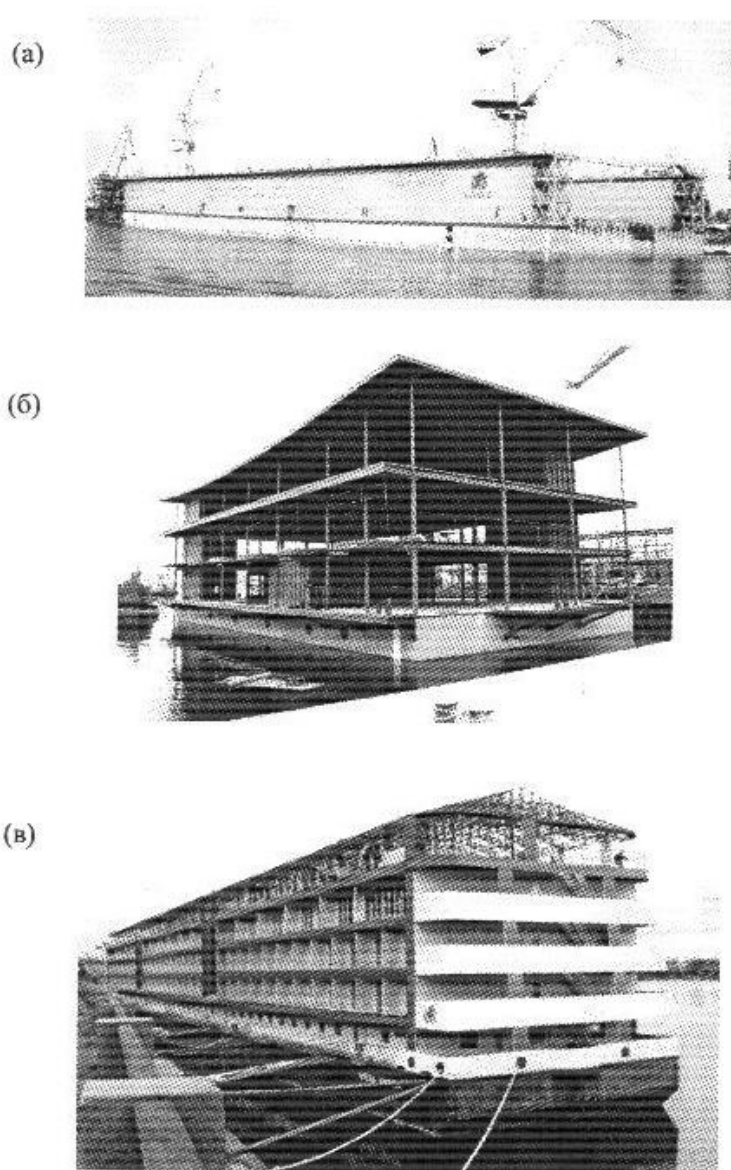


Рис. 2. Плавающие железобетонные сооружений, произведенные в Украине: а - плавучий композитный док, б - готовый понтон плавучего отеля с надстройкой, в - эксплуатируемая плавучая гостиница "Баккара" в г. Киев с железобетонным понтоном.

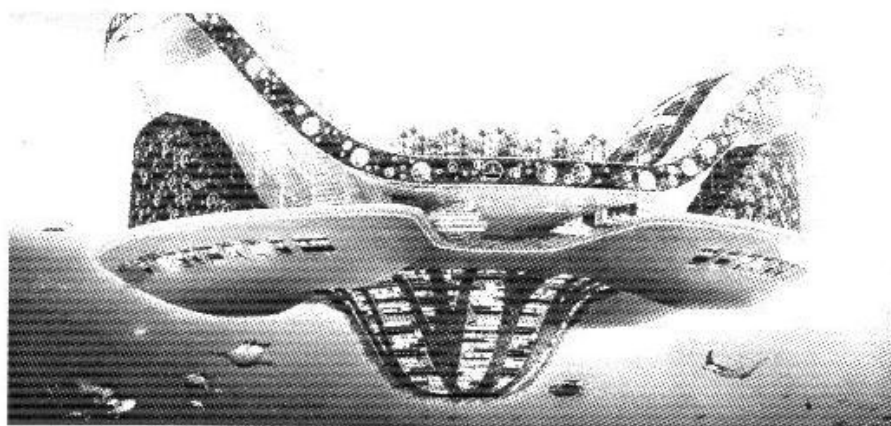


Рис. 3. Проект плавающего Экополиса для климатических беженцев.

Таким образом, повышение долговечности и физико-механических свойств судостроительного бетона дополнительно расширит области его применения. За счет применения дисперсного армирования, наполнителей и комплексных модификаторов возможно создание тонкостенных конструкций с уменьшенным количеством арматуры, обладающих при этом достаточными конструкционными свойствами. Создание декоративных судостроительных бетонов и судостроительных керамзитобетонов расширит сферу применения железобетонного судостроения. Отдельно необходимо выделить совершенствование и разработку новых технологических приемов при производстве судостроительного бетона и восстановлении бетонных конструкций тонкостенных плавучих сооружений, поскольку с каждым годом данная задача становится актуальней.

### 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] Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003 – 192 с.
- [3] Дорофеев В.С. Повышение долговечности бетона тонкостенных гидротехнических сооружений за счет применения комплексных модификаторов / В.С. Дорофеев, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 27 - Одеса: Місто майстрів, 2007, - С. 160-164.
- [4] Патент № 19814, Україна, Бетонна суміш з добавками Пенетрон А + С-3 / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Романов О.А. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2006 р.
- [5] Патент № 32920, Україна, Бетонна суміш з наповнювачем (меленим піском), полімерною фіброю і комплексною добавкою [Пенетрон А + С-3] / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Кровяков С.О., Гапоненко К.О. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2008 р.
- [6] Патент № 75117, Україна, Модифікована декоративна бетонна суміш / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Петричко С.М., заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2012 р.

### EXPERIENCE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SHIPBUILDING CONCRETE

#### Summary

Reinforced concrete shipbuilding at this stage is developed and relevant industry. Application shipbuilding concrete can significantly increase the life of the large floating structures and parking compared to steel structures. It docks, piers, floating hotels and more. Reinforced concrete floating structures operate in the seas, oceans and rivers. Create a project floating cities with reinforced concrete. Shipbuilding concretes have high strength, frost and water resistant, so used to build ships, operating in harsh conditions. There is a constant improvement of technology for preparation of concrete shipbuilding. To increase the competitiveness of the concrete courts to create new types of concrete shipbuilding. For example, decorative concrete for the possibility of making the external structures of colors. Also need to create keramsit for more designs, most of the time are in over the water.