

УДК 629.5.01
К 14

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРМОЦЕМЕНТНОГО СУДОСТРОЕНИЯ

А. Я. Казарезов, д-р техн. наук, проф.;
Н. В. Фатеев, канд. техн. наук, проф.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Рассмотрены проблемы развития армоцементного судостроения. Приведены сравнительные весовые характеристики барж с корпусами из армоцемента, стали и железобетона, а также рекомендации по улучшению характеристик армоцемента как материала для строительства судов. Указаны перспективные направления армоцементного судостроения — строительство барж, рыболовных судов и восстановительный ремонт флота малых судов.

Ключевые слова: судостроение, армоцементное судно, железобетонное судно, баржа, рыболовное судно.

Анотація. Розглянуто проблеми розвитку армоцементного суднобудування. Наведено порівняльні вагові характеристики барж з корпусами з армоцементу, сталі та залізобетону, а також рекомендації щодо покращення характеристик армоцементу як матеріалу для будівництва суден. Зазначено перспективні напрямки армоцементного суднобудування — будівництво барж, рибальських суден та відновлювальний ремонт флоту малих суден.

Ключові слова: суднобудування, армоцементне судно, залізобетонне судно, баржа, рибальське судно.

Abstract. The problems of armocement shipbuilding development are considered. Comparative weight characteristics of barges with armocement, steel and reinforced concrete hulls are represented. Recommendations on improvement of characteristics of armocement as the material for shipbuilding are given. Perspective directions of armocement shipbuilding are considered which are building of barges, fishing vessels, and restoring repair of small vessels fleet.

Keywords: shipbuilding, armocement vessel, reinforced concrete, barge, fishing vessel.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В течение длительного периода в мировом судостроении доминирующим является постройка корпусов судов из стали. Судостроительные заводы Украины ориентированы на промышленное стальное судостроение. Освоена и развивается технология постройки композитных плавучих доков

с использованием железобетона [3, 6]. Накоплен определенный опыт проектирования и постройки малотоннажных судов из армоцемента [2, 4, 9]. Проведенный анализ показал, что существует реальная потребность в использовании армоцемента для постройки корпусов судов несамоходных барж, широкой номенклатуры судов портофлота, включая стоечные суда, а также плавучие

склады на железобетонных понтонах и др. Для практического использования армоцемента в качестве судостроительного материала необходимо решить ряд задач, связанных с конструкцией корпусов судов, исследованием прочностных характеристик армоцемента, разработкой технологии постройки.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблемы развития армоцементного и железобетонного судостроения условно можно разделить на технические и организационные.

Нерешенной частью проблемы армоцементного судостроения является стойкое убеждение многих кораблестроителей в двух основных недостатках железобетонных судов, которые автоматически распространяются и на армоцементные суда.

Первый из недостатков железобетонных судов — большая масса корпуса по сравнению с массой стального и второй — склонность железобетона к местным хрупким разрушениям при контактных динамических нагрузках — сдерживали строительство многих типов судов с корпусами из железобетона. Для стоечных судов острота этих недостатков существенно ниже, чем для транспортных. Поэтому будем рассматривать транспортные суда, так как стоечные с корпусами из железобетона имеют очевидные эксплуатационные преимущества перед стоечными судами, корпуса которых изготовлены из стали.

Действительно, корпуса железобетонных судов более тяжелые, чем стальные, следовательно, для обеспечения одинаковой грузоподъемности железобетонные суда должны иметь большие главные размерения, что приведет к увеличению буксировочного сопро-

тивления судна и снижению экономических показателей эксплуатации.

Так, например, по данным [3], грузоподъемность железобетонных барж на 20...30% ниже, тем стальных равных размеров, а грузоподъемность железобетонных доков приблизительно на 30% меньше грузоподъемности стальных доков равных размерений. Себестоимость перевозок на железобетонных баржах выше на 10...25%, чем на стальных [3].

В связи с этим ряд исследователей рекомендуют строить из железобетона транспортные суда, при эксплуатации которых скорость движения играет второстепенную роль: велики простои судна под грузовыми операциями по сравнению с временем перехода судна и малые дистанции перевозок. К таким судам относятся паромы, шаланды, баржи для перевозки навалом грузов с большим удельным погрузочным объемом [3].

Удельный погрузочный объем грузов [8], перевозимых баржами, составляет: каменный уголь — 1,4...1,0 м³/т; пшеница — 1,4...1,2 м³/т; ячмень и кукуруза — 1,68...1,28 м³/т; овес — 2,4...1,96 м³/т, что подтверждает целесообразность перевозки указанных грузов с использованием армоцементных судов.

ЦЕЛЮЮ СТАТЬИ является изложение сущности проблем, препятствующих применению армоцемента в современных условиях, обоснование путей их решения, а также определение классов судов, при строительстве корпусов которых максимально используются достоинства и нивелируются недостатки армоцемента как судостроительного материала.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для сравнения веса корпусов судов, изготовленных их армоцемента, железобетона и стали, будем использовать

относительный показатель — вес корпуса судна, приходящийся на одну тонну грузоподъемности.

Согласно [7] дедвейт судов для перевозки генеральных грузов составляет 60...75% от водоизмещения; для навалочных и нефтеналивных судов 60...80%. На статью весовой нагрузки по разделу корпус приходится от водоизмещения 30...35% для сухогрузных судов, 20...25% для танкеров. Вес статьи корпус от веса судна порожнем составляет 86...88% для сухогрузных судов, 87...91% для танкеров.

В табл. 1 приведены результаты расчета веса корпуса, приходящегося на единицу грузоподъемности. Показатель рассчитан по двум схемам — через водоизмещение судна в грузу и порожнем.

Данные расчета измерителя веса корпуса через водоизмещение порожнем, по крайней мере, их верхнее значение, вызывают определенное сомнение. Таким образом, на одну тонну валовой грузоподъемности судна приходится 0,22...0,44 т веса стального корпуса для сухогрузных судов, 0,16...0,35 т для танкеров.

Следует обратить внимание на явление масштабного эффекта. В табл. 2, согласно [6], показано изменение статьи нагрузки металлический корпус в процентах от водоизмещения для навалочных судов.

Зависимость измерителя веса металлического корпуса от водоизмещения для навалочных судов, приведенная в табл. 2, с коэффициентом детерминации 0,99 выражается формулой $P_k = 19,85 - 3,33 \ln D$, где D — водоизмещение судна. Таким образом, допустимо сравнивать измерители веса корпуса судов при одинаковом водоизмещении или приводить к одному водоизмещению с помощью формулы, аналогичной приведенной.

В табл. 3 представлены характеристики морских и рейдовых барж [5]. В колонке 7 приведен скорректированный измеритель веса корпуса судна, приведенный к грузоподъемности 1000 т.

Из данных табл. 3 следует:

1) измеритель веса корпуса железобетонной баржи примерно в два раза выше, чем измеритель веса корпуса стальной баржи;

2) измеритель веса корпуса баржи из напряженного керамзитобетона соизмерим с измерителем веса корпуса стальной баржи;

3) измеритель веса корпуса армоцементной баржи несколько превосходит измеритель веса корпуса стальной баржи;

4) измерители веса корпуса армоцементных барж уступают лучшим показателям для стальных корпусов транспортных сухогрузных и наливных

Таблица 1. Вес стального корпуса судна на тонну грузоподъемности, т

Тип судна	Метод пересчета измерителя через водоизмещение				Среднее значение
	в грузу		порожнем		
	интервал	среднее	интервал	среднее	
Сухогруз	0,18...0,26	0,22	0,28...0,59	0,44	0,33
Танкер, навалочник	0,12...0,20	0,16	0,09...0,61	0,35	0,26

Таблица 2. Зависимость измерителя веса металлического корпуса от водоизмещения для навалочных судов, %

Водоизмещение D , тыс. т	10	15	25	35	45	60
Измеритель, %	20	17,5	16	15	14,5	14,2

судов, характеристики которых приведены в табл. 1.

Косвенным подтверждением вывода о том, что корпус судна из армоцемента примерно в два раза легче аналогичного корпуса из железобетона, служат испытания плит на удар, выполненные в [4], результаты которых приведены в табл. 4.

Плотность тяжелого бетона — 2,4...2,45 т/м³, легкого бетона — 1,8 т/м³ [6]. Удельный вес армоцемента с коэффициентом удельной поверхности 2,5 и более составляет 2,2...2,5 т/м³. Удельные веса армоцемента и железобетона практически совпадают. Значение удельного

веса легкого бетона объясняет соответствующую величину измерителя веса корпуса из напряженного керамзитобетона, приведенную в табл. 3. Толщина армоцементной плиты в два раза меньше толщины железобетонной при равных прочности, энергии откола бетона и удельных весах. Подобное соотношение и объясняет соотношение измерителей веса корпуса, приведенное в табл. 3 для барж. Таким образом, баржа с корпусом из армоцемента может иметь грузоподъемность, равную или большую, чем баржа со стальным корпусом.

Постройка парусно-моторных морских яхт доказала, что весогабаритные

Таблица 3. Измерители веса корпуса морских и рейдовых барж

№ п/п	Тип судна	Материал корпуса	Грузоподъемность, т	Вес стали на 1 т грузоподъемности	Вес корпуса на 1 т грузоподъемности	Скорректированный измеритель веса корпуса
1	Морская баржа	Железобетон	300	0,11	0,58	0,69
2	Морская баржа	Железобетон	500	0,09	0,65	0,65
3	Наливная баржа	Железобетон	1000	0,10	0,60	0,60
4	Морская баржа	Железобетон	1300	0,11	0,60	0,58
5	Наливная баржа	Железобетон	1400	0,10	0,49	0,58
6	Баржа-площадка	Напряженный керамзитобетон	600	0,05	0,40	0,40
7	Морская баржа	Сталь	300	0,32	0,32	—
8	Морская баржа	Сталь	1000	0,32	0,30	0,30
9	Баржа-площадка	Армоцемент	600	0,06	0,40	—
10	Морская баржа	Армоцемент	1000	0,05	0,27	0,27

Таблица 4. Сравнительная характеристика армоцементных и железобетонных плит при испытании на удар

Индекс образца	Вид материала	Прочность бетона, кг/см ²	Толщина плиты, см	Расход стали на 1 м ³ , кг	Энергия откола бетона, кг·см
АЦ-8	Армоцемент	400	2,5	7,86	109
ЖБ-5	Железобетон	405	5	9,76	100

характеристики корпусов армоцементных судов могут быть близки к характеристикам корпусов из стали. Специалисты, имеющие практический опыт строительства судов из армоцемента, утверждают, что армоцементные корпуса длиной более 10 м легче, чем стальные. Строительство глиссирующего судна реданного типа с корпусом из армоцемента показало перспективы армоцемента как материала корпуса [1, 2, 9]. Распространять это утверждение на все типы судов было бы несколько опрометчиво, тем более что традиционное сравнение армоцементного корпуса с корпусом судна из стали не всегда корректно.

Для некоторых классов судов традиционными материалами для изготовления корпуса являются легкие сплавы на основе алюминия, пластик, реже — дерево. Например, для одного конкретного судна, в соответствии с данными [6], вес стального корпуса составляет 19,24% от водоизмещения, корпуса такого же судна из алюминий-магниевого сплава — 11%. Следовательно, корпус из легкого сплава в 1,75 раза легче аналогичного стального. Делать обобщения на основе одного примера сложно, однако очевидно, что корпуса из легкого сплава примерно в той же степени превосходят стальные и армоцементные, в какой стальные превосходят железобетонные.

Таким образом, первая техническая проблема армоцементного судостроения на современном этапе развития может быть сформулирована следующим образом: необходимо снизить удельный вес армоцемента, который в настоящее время находится на уровне удельного веса железобетона. Первый из путей решения этой проблемы подсказывает применение легкого бетона — использование заполнителей при изготовлении армоцемента. Заполнители, снижая

удельный вес армоцемента, должны повышать прочность композиционного материала. Второй путь снижения удельного веса армоцемента состоит в использовании более легкой арматуры, которая имеет более высокие механические характеристики, чем стальная.

Вторым недостатком железобетонных судов, как указывалось ранее, является склонность железобетона к местным хрупким разрушениям при контактных динамических нагрузках, что сдерживает строительство многих типов судов. Совет опытных судостроителей — «в случае значительных местных ударов полезно в защитный слой бетона вводить стальную сетку» [1] — практически состоит в рекомендации использования армоцементных конструкций. В соответствии с данными табл. 4 склонность армоцементных плит к отколу бетона ниже, чем у железобетонных плит. В табл. 5 приведены по данным [3–5] сравнительные характеристики армоцемента и железобетона как материалов для изготовления корпуса судна.

В соответствии с данными табл. 5 армоцемент имеет предел прочности при растяжении более чем в два раза больше железобетона, что и объясняет лучшую сопротивляемость армоцемента трещинообразованию. Отсутствие водотечности корпусов армоцементных судов после зимовки в ледовых условиях демонстрирует способность этих конструкций противостоять локальным нагрузкам без хрупкого разрушения [1, 9].

Значительные различия свойств армоцемента при растяжении и сжатии создают вторую техническую проблему армоцементного судостроения, которая может быть сформулирована следующим образом: необходимо повысить предел прочности материала при растяжении. На современном этапе развития решение этой проблемы связано

Таблица 5. Сравнительные характеристики прочности железобетона и армоцемента

№ п/п	Наименование характеристики	Армоцемент	Железобетон	Алюминиево-магниевый сплав
1	Удельный вес, т/м ³	2,2...2,5	1,80...2,45	2,67
2	Модуль упругости при растяжении, МПа	5000	–	71000
3	Модуль упругости при сжатии, МПа	20000	19200...22100	71000
4	Начальный модуль упругости, МПа	–	19200...22100	71000
5	Предел прочности при растяжении, МПа	6,5	2,65...3,09	150
6	Предел прочности при сжатии, МПа	32	22,1...29,4	320
7	Предел текучести арматуры, МПа	235...392	235...392	–
8	Модуль упругости арматуры, МПа	196000...206000	196000...206000	–

с применением наполнителей, которые способны, не увеличивая удельного веса армоцемента, повысить прочность материала при растяжении.

Организационные проблемы развития армоцементного и железобетонного судостроения имеют разносторонний характер. После Первой мировой войны строительство железобетонных судов за границей прекратилось, что объясняется, в первую очередь, избытком тоннажа транспортного флота, хотя целесообразность постройки железобетонных судов была признана на первом Международном конгрессе по бетону и железобетону в 1930 году в городе Льеже [3].

Второй причиной, способствовавшей прекращению строительства железобетонных судов, явилось то, что страховые компании и классификационные общества под давлением сталелитейных и судостроительных фирм ввели с железобетонных судов повышенные страховые сборы и требовали частой постановки судов в док.

В 1922 году Научно-технический комитет НКПС организовал комиссию по железобетонному судостроению, которая сформулировала ряд первооче-

редных вопросов [3]. Некоторые организационные вопросы, применительно к армоцементному судостроению, остались нерешенными и в настоящее время: выработка норм и правил для проектирования; установление общих требований к техническому оборудованию заводов и верфей; разработка рациональных конструкций корпусов армоцементных судов.

Обозначим основные направления развития армоцементного судостроения в Украине в зависимости от потребностей заказчиков. Первым и достаточно объемным направлением строительства армоцементных судов является создание флота барж. Сегодня в Украине существует потребность в тоннаже для перевозки навалочных грузов. Создание флота армоцементных барж позволит быстро разрешить проблему перевозки навалочных грузов в условиях ограниченных финансов и неработающих судостроительных заводов. При постройке армоцементных барж целесообразно серийно использовать оснастку для отдельных типоразмеров [9].

Вторым направлением является индивидуальное строительство малых

и средних рыболовных судов. Располагая ограниченными финансовыми ресурсами, владельцы рыболовных судов не могут обновлять флот путем размещения заказов на судостроительных заводах. В период, свободный от лова рыбы, они, полагаясь на собственные силы, в короткие сроки способны строить на необорудованных площадках армоцементные суда.

Третье значительное направление строительства армоцементных судов в Украине — восстановление судов, стальные корпуса которых исчерпали полностью срок эксплуатации. Главные и вспомогательные механизмы, валы и гребные винты, судовые устройства, оборудование и отделка таких судов могут быть восстановлены или частично обновлены, что связано с меньшими финансовыми затратами по сравнению с затратами на приобретение новых изделий. Стальной набор корпуса судна, фундаменты под механизмы и устройства остаются в составе армоцементного корпуса

судна без изменений. Подобная операция была успешно осуществлена, согласно [2], при переоборудовании стальных корпусов двух промысловых судов в шхуны.

ВЫВОДЫ

Ситуация в Украине объективно способствует интенсивному развитию армоцементного судостроения. Пополнение флота с помощью строительства армоцементных судов позволит решить ряд экономических проблем на уровне судовладельцев и государства в целом.

Для практической реализации постройки армоцементных судов необходимо провести исследование с целью усовершенствования армоцемента как конструкционного материала в направлении уменьшения удельного веса армоцемента с одновременным увеличением прочности материала на разрыв. Эти исследования и разработки должны составить основу нормативно-правовой базы строительства и эксплуатации армоцементных судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Бирюкович, К.Л.** Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента [Текст] / К.Л. Бирюкович, Ю.Л. Бирюкович, Д.Л. Бирюкович. — Л. : Судостроение, 1965. — 163 с.
- [2] **Бирюкович, Д.Л.** Об использовании армоцемента для восстановления старых стальных корпусов [Текст] / Д.Л. Бирюкович // Катера и яхты. — № 166. — С. 35–38.
- [3] **Бондурянский, З.П.** Морские железобетонные суда (Проектирование корпуса) [Текст] / З.П. Бондурянский, М.А. Дьячков, Э.Е. Меламед. — Л. : Судостроение, 1966. — 200 с.
- [4] Корпуса судов из армоцемента (конструкция, прочность и технология постройки) [Текст] / В.Ф. Безукладов, К.К. Амелянович, В.Д. Вербицкий, Л.П. Богоявленский. — Л. : Судостроение, 1968. — 187 с.
- [5] Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания [Текст] : в 5 т. / Речной Регистр РСФСР. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1984. — Т. 2. — 253 с.
- [6] Проектирование, технология и организация постройки композиционных плавучих доков [Текст] : монография / А.С. Рашковский, Н.Г. Слуцкий, В.Н. Конов, А.В. Щедросев. — Николаев : НУК, 2008. — 614 с.

- [7] **Путов, Н. Е.** Проектирование конструкций корпуса морских судов. Ч. 1 : Нагрузки на корпус судна на тихой воде и на регулярном волнении [Текст] / Н. Е. Путов. — Л. : Судостроение, 1979. — 374 с.
- [8] Справочник капитана дальнего плавания [Текст] / Л. Р. Аксютин, В. М. Бондарь, Г. Г. Ермолаев [и др.] ; под ред. Г. Г. Ермолаева. — М. : Транспорт, 1988. — 248 с.
- [9] **Шептунов, О.** Поточная постройка армоцементных корпусов [Текст] / О. Шептунов // Катера и яхты. — № 153. — С.18–22.