

## ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ СУДНА ПЕРЕМЕННОЙ ОСАДКИ

А. П. Бойко, ст. преподаватель, канд. техн. наук;  
А. В. Бондаренко, доц., канд. техн. наук

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Приведено обоснование концепции пассажирского судна с малой площадью ватерлинии переменной осадки. Даны результаты сравнения эффективности судна с малой площадью ватерлинии постоянной и переменной осадки.

**Ключевые слова:** судно переменной осадки, судно с малой площадью ватерлинии, балласт, показатель эффективности.

**Анотація.** Обґрунтовано концепцію пасажирського судна з малою площею ватерлінії змінної осадки. Наведено результати порівняння ефективності судна з малою площею ватерлінії постійної і змінної осадки.

**Ключові слова:** судно змінної осадки, судно з малою площею ватерлінії, балласт, показник ефективності.

**Abstract.** The conception of the passenger variable draft ship with small waterline space is justified. The comparison results of the efficiency of small waterline space ships with constant and variable draft are given.

**Keywords:** Variable Draft Ship, SWATH, Ballast, Index of Efficiency.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ) находят применение в качестве патрульных, лоцманских, научно-исследовательских, пассажирских, прогулочных и других типов. В то же время большинство специалистов отмечают, что наряду с такими преимуществами, как высокая мореходность, большая площадь палубы, одним из недостатков СМПВ является их большая осадка. Применение эллиптической или скругленной формы поперечного сечения подводных корпусов позволяет лишь незначительно уменьшить ее.

Эксплуатационные неудобства большой осадки СМПВ могут быть устранены с использованием нескольких возможных вариантов. Первый вариант — применение концепции полу-СМПВ, сочетающей качества

традиционных катамаранов и СМПВ. Суда типа полу-СМПВ реализуют свои преимущества при длине более 70 м [1]. Второй вариант — это различные проекты судов с трансформируемыми (складывающимися или втягивающимися) стойками, реализованные, как правило, на уровне патентов [2]. В то же время наличие подъемных или поворотных механизмов повысит массу судна, уменьшит грузоподъемность и надежность СМПВ.

В связи с изложенным наиболее реальным подходом является вариант СМПВ с переменной осадкой, когда судно проектируется на осадку, равную диаметру подводного корпуса (ПК), которая используется в море на тихой воде, при заходе и нахождении в порту [3, 4]. При выходе на большие глубины, а также на волнении судно принимает балласт, объем которого должен

быть достаточным для обеспечения осадки в 1,5...2,0 раза больше диаметра корпуса.

Проведенный анализ существующих публикаций [3–6] показал, что вопрос оценки экономической эффективности данного подхода в научной литературе освещен недостаточно и требует дальнейшего исследования.

### ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью настоящей статьи является обоснование эффективности применения концепции СМПВ переменной осадки.

При этом под термином *концепция* авторы понимают основную идею, ведущий замысел такого судна, что соответствует принятой в проектировании судов терминологии. Например, этап проектирования, когда закладываются основные идеи и характеристики будущего проекта, в мировом судостроении называется *концептуальным* (concept design).

### ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время спроектировано, построено и находится в процессе постройки несколько судов переменной осадки

(табл. 1). В частности, к концу 2010 года запланирована передача заказчику судна проекта «S-Cat» для обслуживания морских ветроустановок (рис. 1).

В данной статье в качестве объекта исследования принято скоростное пассажирское судно с малой площадью ватерлинии с одной стойкой на каждом подводном корпусе (рис. 2). Судно спроектировано для транзитной осадки 2,32 м, при которой подводные корпуса полностью погружены в воду и балластные цистерны пустые. При выполнении пассажирских перевозок судно может принять балласт до осадки 3,48 м, которая обеспечивает необходимую мореходность и комфортность. Судно может эксплуатироваться с промежуточными осадками в зависимости от состояния моря.

Характеристики СМПВ: скорость хода — 30 уз; дальность плавания — 300 миль; экипаж — 5 чел.; количество пассажиров — 300 чел.; материал корпуса и надстройки — алюминиевый сплав; водоизмещение порожнем — 138 т; водоизмещение полное — 214 т/182 т в зависимости от осадки; мощность главных двигателей: эксплуатационная — 4616 кВт, на испытаниях —

**Таблица 1.** Характеристики судов с переменной осадкой

Наименование	«Global Pioneer»	«SunCruz VI»	SWATH Coastal R/V	«Susitna»	«S-Cat»
Назначение	СОГР	Казино	НИС	Паром	ОВ
Год постройки	1996	1997	–	2010	2010
Длина наибольшая, м	60,96	48,77	32,0	59,4	27,0
Ширина наибольшая, м	26,51	19,81	15,5	17,1	9,6
Высота борта, м	14,02	7,01	7,0	–	–
Осадка без балласта, м	3,51	2,74	2,9	3,5	–
Осадка с балластом, м	6,55	4,57	4,1	3,66	–
Водоизмещение при проектной осадке, т	2200	–	350	940	–
Водоизмещение при максимальной осадке, м	2800	–	418	–	60
Мощность главных двигателей, кВт	2790	2×720	2×1620	4×2010	2×749
Скорость хода максимальная, уз	13	10	13	20	26
Дальность плавания, миль	7000	20	1000	200	–
Пассажировместимость, чел.	–	600	10	100+20 авт.	24+10 т
Экипаж, чел.	57	150	6	–	–

*Примечание:* НИС — научно-исследовательское судно; ОВ — обслуживание ветроустановок; СОГР — судно обеспечения глубоководных работ; авт. — автомобили.

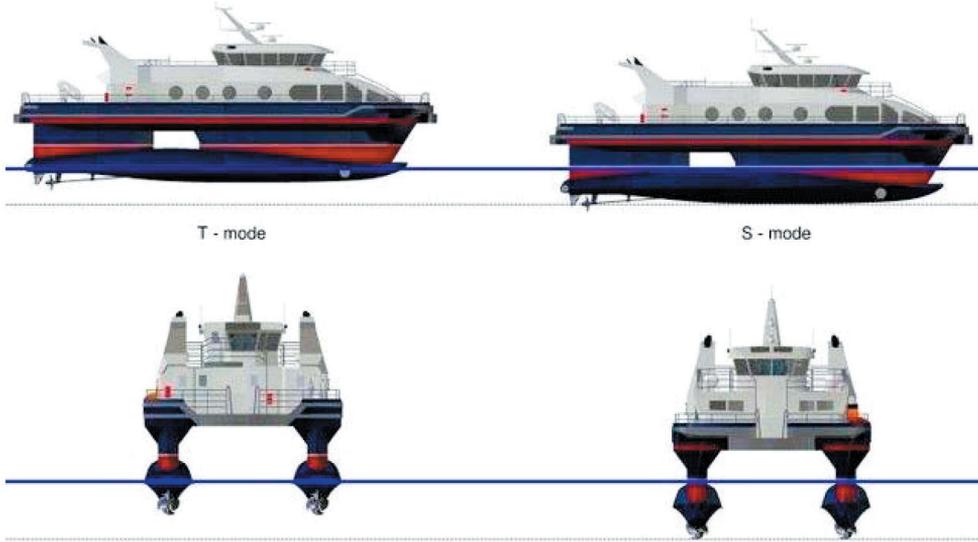


Рис. 1. Проект судна переменной осадки «S-Cat»

5450 кВт; длина наибольшая — 27,68 м; длина ПК — 26,61 м; диаметр ПК — 2,32 м; длина носового заострения ПК — 4,30 м; длина кормового заострения ПК — 9,53 м; длина цилиндрической вставки ПК — 12,78 м; расстояние между ДП корпусов — 12,88 м; вертикальный клиренс — 1,97 м; высота борта до главной палубы — 6,77 м; длина платформы — 27,68 м; ширина платформы — 15,21 м; ширина стойки — 0,67 м; высота стойки — 3,13 м; длина стойки — 26,60 м.

Указанные главные размерения судна получены в результате решения оптимизационной задачи.

Затем было исследовано влияние осадки на буксировочное сопротивление и мощность главного двигателя. Как видно из рис. 3, судно с осадкой 1,5 диаметра подводного корпуса имеет преимущество при малых скоростях хода (до 16 уз). В то же время следует учитывать, что, несмотря на малую площадь ватерлинии, для достижения указанной осадки следует принять порядка 32 т балласта. Оправданность такого подхода может быть подтверждена только увеличением уровня комфорта пассажиров, мореходных и эксплуатационных качеств и, следовательно, эффективности судна.

Эффективность судна оценивалась по нескольким экономическим критериям, учи-

тывающим продолжительность и стоимость проезда, комфортность.

Кроме того, для сравнения судов дополнительно были рассчитаны такие показатели, как среднерейсовая скорость судов с учетом ограничений по комфортности и мощности главных двигателей; коэффициент потери скорости, количество опозданий судна; вероятность выполнения задачи, коммерческая эффективность  $TE = \frac{N_{pas} V_S}{IC}$ ;

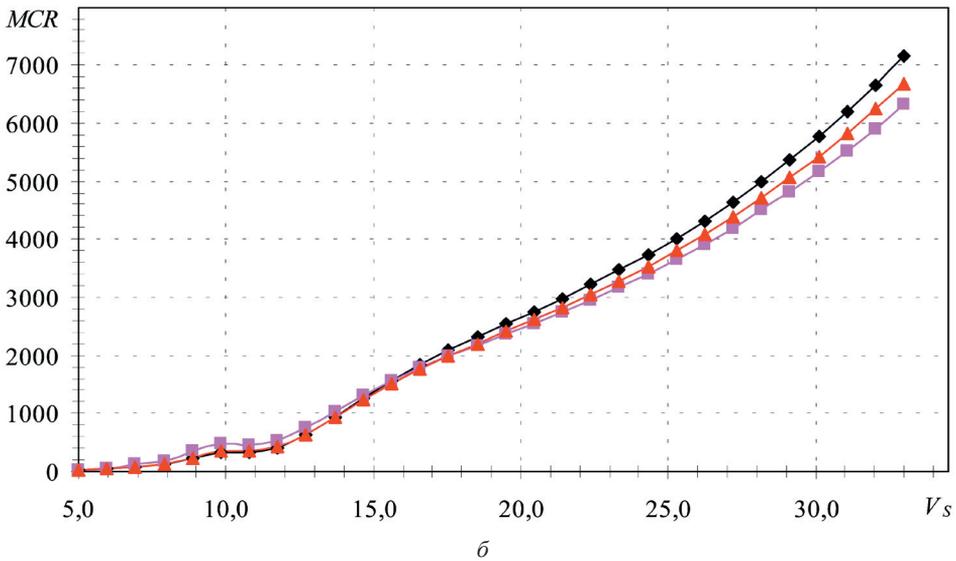
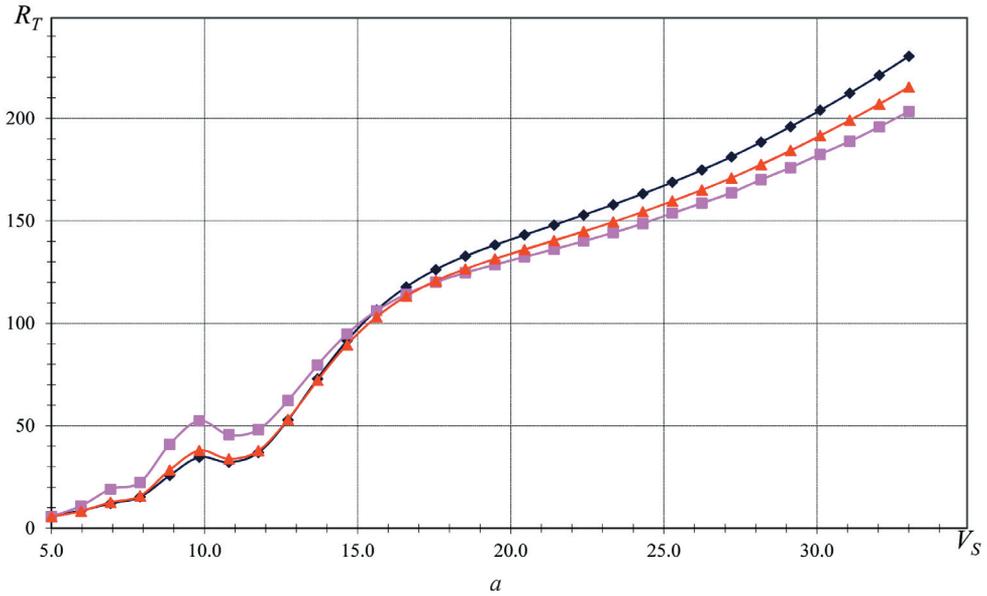
транспортная эффективность  $CE = \frac{N_{pas} V_S}{MCR}$ ,

где  $N_{pas}$  — провозоспособность судна, чел.;  $IC$  — капиталовложения, млн у. е.

Для пассажирских судов вероятность выполнения задачи связана с вероятностью выполнения рейса, поддержания заданной средней скорости, экономическими рисками и надежностью:



Рис. 2. Модель корпуса СМПВ переменной осадки



**Рис. 3.** Результаты расчета буксировочного сопротивления (а) и мощности (б) для различной осадки: ■ — 1,0D; ▲ — 1,3D; ◆ — 1,5D; D — диаметр ПК;  $V_s$  — скорость, уз;  $R_T$  — буксировочное сопротивление, кН; MCR — мощность, кВт

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

где  $P_1$  — вероятность выполнения рейса (зависит от погодных условий в момент начала рейса);  $P_2$  — вероятность поддержания заданной средней скорости во время перехода (может быть оценена как отношение средней достижимой скорости за эксплуатационный период к проектной скорости);  $P_3$  — экономические риски (вероятность получения не-

отрицательной прибыли);  $P_4$  — надежность, т. е. вероятность безаварийной работы судовых конструкций и оборудования (повышается при снижении слеминга, заливаемости и качки на волнении).

Значения вероятности выполнения задачи, а также параметров закона распределения показателей эффективности определяются с помощью модели функционирования

путем имитационного моделирования элементов рейса судна [7].

В основу методики оценки экономической эффективности СМПВ переменной осадки положены работы [7, 8].

Для оценки уровня комфортности пассажиров на борту судна использован показатель MSI (Motion Sickness Incidence) — число случаев проявления морской болезни у пассажиров, отнесенное к их общему числу на борту судна, %, за фиксированные промежутки времени в зависимости от частотного спектра морского волнения (регламентируемый стандартом ISO 2631/3 для пассажирских судов). Приемлемым значением MSI считается 10 % за время воздействия до двух часов [9].

Значение показателя MSI, %, определялось по формуле

$$MSI = 100\Phi(Z_a)\Phi(Z_t),$$

где  $\Phi(Z)$  — интегральная функция стандартизованного нормального распределения;

$$Z_a = \frac{\log_{10} a_z - \mu_a(f)}{0,47};$$

$$Z_t = \frac{\log_{10} t - 1,46 + 0,57Z_a}{0,5027};$$

$$\mu_a = 0,87 + 4,36 \log_{10} f + 2,73(\log_{10} f)^2;$$

$t$  — время воздействия вертикальных перемещений, мин;  $f$  — частота вертикальных перемещений, Гц;  $a_z$  — вертикальные ускорения, доли от ускорения свободного падения.

Результаты сравнительного анализа эффективности применения концепции судна с переменной осадкой приведены в табл. 2. Как видно, максимальную эффективность по различным показателям имеет судно с переменной осадкой. Так, например, коэффициент, учитывающий потери скорости на волнении, составляет 0,989 по сравнению с 0,972 и 0,936.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что наиболее эффективным для выбранного маршрута пассажирских перевозок по полученной прибыли будет судно переменной осадки. Кроме того, вариант СМПВ с переменной осадкой имеет преимущество по таким дополнительным критериям, как продолжительность поездки,

**Таблица 2.** Результаты сравнительного анализа различных вариантов СМПВ

Наименование	Показатели эффективности судна при осадке, м		
	2,32	3,48	переменной
Провозоспособность судна, чел.	41399	41399	41399
Количество выполненных рейсов, ед.	161	161	161
Количество отмененных рейсов, ед.	27	27	27
Среднерейсовая скорость, уз	29,17	27,95	29,59
Эксплуатационные расходы, тыс. у. е.	2241,37	2277,83	2232,19
Коэффициент возмещения капитала	0,15	0,15	0,15
Чистая прибыль, тыс. у. е.	1303,09	1290,02	1314,34
Индекс доходности	5,55	5,52	5,58
Период окупаемости, лет	3,55	3,58	3,52
Количество опозданий, ед.	13	13	5
Доход, тыс. у. е.	5180,79	5180,79	5180,79
Коэффициент загрузки	0,856	0,856	0,856
Вероятность выполнения задачи	0,922	0,883	0,935
Энерговооруженность судна, кВт/т	29,924	29,924	29,924
Коэффициент, учитывающий потери скорости на волнении	0,972	0,936	0,989
Транспортная эффективность	221,59	212,37	224,78
Коммерческая эффективность	0,212	0,208	0,220
Стоимость проезда, у. е./чел. миль)	0,269	0,272	0,268
Средняя продолжительность поездки, ч	8,570	8,945	8,448
Подверженность морской болезни, %	2,272	2,246	2,501

вероятность выполнения задачи, количество опозданий, коэффициент потери скорости на волнении. Также следует отметить, что преимущество рассматриваемой концепции будет возрастать с усложнением гидрометеорологических условий.

Учитывая особенности применения СМПВ, в работе рассмотрели применение концепции судна с переменной осадкой, предназначенного для скоростных пассажирских перевозок. Полученные результаты

могут быть распространены на патрульные, лоцманские катера, суда доставки персонала на нефтяные добывающие платформы и суда обслуживания морских ветроустановок.

## ВЫВОД

Выполненный расчет численно показал экономическую эффективность применения концепции СМПВ с переменной осадкой по различным эксплуатационно-экономическим показателям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Бойко, А. П.* Работы в области создания судов нетрадиционных типов [Текст] / А. П. Бойко, А. В. Бондаренко // Судостроение. — 2008. — № 6 (140). — С. 42–47.
- [2] *Пленкин, Ю. А.* Судно с комбинированным корпусом [Текст] / Ю. А. Пленкин // Морской флот. — 1981. — № 1. — С. 48–49.
- [3] *Van Orden M. D.* Variable Draft Broadens SWATH Horizons [Text] / M. D. Van Orden, R. D. Gaul // Proceedings of U.S. Naval Institute. — 1994, April. — P. 109–111.
- [4] *Дубровский, В. А.* Выбор типа судна должен определяться его назначением [Текст] / В. А. Дубровский // Судостроение. — 2007. — № 6. — С. 22–26.
- [5] *Coburn, J. L.* Design of a Swath Coastal Research Vessel [Text] / J. L. Coburn, R. D. Gaul, W. L. Hurley // Oceans'99 MTS/IEEE: Riding the Crest into the 21-st Century, Washington, 13–16 Sept. 1999. — Washington, 1999. — P. 526–542.
- [6] Design Considerations of a New SWATH Diving Support vessel [Text] / S.D. Harris, C. Mowry, R.D. Gaul, T.C. Bauer // 27-th Annual Offshore Technology Conference. Houston, 1–4 May 1995. — Houston, 1995. — P. 635–647.
- [7] *Бойко, А. П.* Исследование процесса функционирования пассажирских судов с малой площадью ватерлинии [Текст] / А. П. Бойко, А. В. Бондаренко // Вестник СевГТУ : Сб. науч. трудов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — Вып. 88 : Механика, энергетика, экология. — С. 58–62.
- [8] *Бойко, А. П.* Особенности проектирования судна с малой площадью ватерлинии [Текст] / А. П. Бойко // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2009. — № 1 (424). — С. 22–26.
- [9] *O'Halon, J. P.* Motion Sickness Incidence as a Function of Frequency and Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion [Текст] / J. P. O'Halon, M. E. McCauley // Aerospace Medicine. — 1974. — № 45 (4) — P. 366–369.