

УДК 629.553

ОСОБЕННОСТИ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Аннотация

Рассмотрены методика комплексной оценки эффективности функционирования различных транспортных систем и их подвижного состава и методика построения комплексных показателей в виде функций «полином», «позином» и «норма». На основе анализа технического уровня судов с помощью этих функций показано, что суда смешанного плавания XX века – это суда «река-море» плавания, а суда смешанного плавания XXI века – это суда «море-река» плавания.

Ключевые слова: методики комплексной оценки, функции «полином», «позином» и «норма», суда «река-море» и «море-река» плавания, технических уровень судов смешанного плавания, эффективность и ограничения их использования.

На рубеже 80-х и 90-х годов прошлого столетия в рамках программы фундаментальных исследований по проблемам транспорта АН СССР на 1989-2000 годы были разработаны методики, с помощью которых выполнен анализ эффективности функционирования различных видов транспорта и намечены перспективы развития их подвижного состава [1].

В частности для оценки влияния различных факторов на результативность речного транспорта и выявления приоритетных направлений его совершенствования был предложен комплексный показатель – коэффициент использования транспортного потенциала $K_{итп}$ в следующем виде

$$K_{итп} = \rho \delta \alpha \beta (1 - \lambda), \quad (1)$$

где $\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i l_i$ – коэффициент использования грузоподъемности судов; $\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i l_i$ – коэффициент использования их скорости; $\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i$ – коэффициент использования календарного времени; $\beta = \sum_{i=1}^n \beta_i l_i$ – коэффициент использования эксплуатационного времени; $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i l_i$ – коэффициент балластных (порожных) пробегов; $\rho_i, \delta_i, \alpha_i, \beta_i$ и λ_i – соответствующие коэффициенты для i -го судна; l_i – весовой коэффициент i -го судна; n – количество судов в системе речного транспорта.

В результате на основе фактических данных было установлено, что наибольшие потери транспортной работы внутреннего водного транспорта связаны с недоиспользованием эксплуатационного времени (ходовое время судов составляло лишь 45%), грузоподъёмности судов (степень использования грузоподъёмности составлял 60%) и их порожними пробегами (доля пробегов в балласте достигала 35%), которые в значительной мере зависят от структуры речного флота и технического совершенства используемых судов.

Для оценки технического уровня судов и эффективности их энергетических установок был использован также комплексный подход, учитывающий наряду с известными частными показателями (энерговооруженностью, коэффициентом утилизации, КПД судового комплекса и путевым расходом топлива) показатель энергоёмкости транспортной работы судов (далее энергоёмкость транспортировки) e в следующем виде [2]

$$e = 3600P/Dv, \text{ кДж/т*км}, \quad (2)$$

где P – мощность главного энергетического комплекса судна, кВт; D и v – его дедвейт (или грузоподъёмность, что не имеет большого значения, поскольку влияние на конечный результат в пределах погрешности инженерных расчетов) в тоннах и скорость движения в км/ч.

Параметр e характеризует количество энергии, затрачиваемое на совершение единицы транспортной работы, и поэтому чем меньше его значение, тем выше эффективность судна и совершеннее его пропульсивных комплекс.

В дальнейшем эти методики адаптировались применительно к различным техническим решениям при проектировании судов и их энергетических установок. В частности с их использованием построена энергетическая диаграмма транспорта (своеобразная «таблица Менделеева» транспортных средств) [2], обоснована недостаточная эффективность судна типа «Валдай» (проект 01010), что побудило необходимость его модернизации и поиска более совершенных проектов судов [3], разработаны программы и компьютерные интеллектуальные технологии проектирования судовых энергетических установок [4,5]. Использование комплексных показателей облегчает автоматизацию обоснования технических решений и их оптимизацию на основе разработки определенного числа альтернатив.

Ниже представлены результаты применения комплексного подхода для оценки технического уровня судов смешанного плавания (таблица 1), построенных в XX веке с использованием методик проектированию судов советского времени (№№ судов 1, 3, 5, 7, 9,11) и европейских стран (№ судна 13), а также судов нового поколения, построенных в XXI веке по проектам ОАО «Вымпел» (№№ судов 15 и 17) и ЗАО «Морское Инженерное Бюро» (МИБ) (№№ судов 19, 21, 23 и 25).

Таблица 1

Основные показатели сухогрузных судов смешанного плавания

№ су-дна	Наименование судна (№ проекта)	Класс Реги-стра	Габариты (длина x ширина), м	Мощность ГД, кВт марка дизеля	Удельный расход топлива кг/кВт*ч	Скорость в грузу, км/ч	Водоизмещение, т		Дедвейт, т		Грузоподъемность, т		Осадка в грузу, м	
							в реке	в море	в реке	в море	в реке	в море	в реке	в море
1	Волго-Балт (пр. 2-95/AP)	М-СП	114,0x13,23	1030 6L275HPN	0,22	20,0	4420	4420	3100	3100	2900	2900	3,87	3,87
3	Волга (пр.19610)	ЛЗ ПСПА2	134,0x16,4	1943 8NVDS48A-3U	0,224	20,5	8140	8140	5500	5500	5100	5100	4,3	4,3
5	Амур (пр.92040)	ЛЗ ПСП	116,0x13,43	1030 6L275HPN	0,22	19,0	5013	5013	3145	3145	2900	2900	4,0	4,0
7	Сибирский (пр.225)	Л2 ПСП	129,5x15,8	1325 6ЧРН36/45	0,231	16,7	6140	6140	4110	4110	3800	3800	3,6	3,6
9	Сормовский (пр.488 AM/4)	(ЛЗ П) ПСП А2)	119,2x13,4	1280 6NVDS48A-2U	0,224	19,2	4860	4860	3111	3111	3100	3100	3,85	3,85
11	Балтийский (пр.613)	ЛЗ ПСП	95,0x13,22	1280 6NVDS48A-2U	0,224	21,0	3838	3838	2554	2554	2300	2300	3,95	3,95
13	Балтийский (16290) с 1 ГД	Ice class 1B Анг. Lloyd	89,5x13,4	1740 12V22HP-D	0,193	21,1	3787	3787	2798	2798	2520	2520	3,6	3,6
15	Валдай (пр.01010)	(Ice2 R1 AUT1)	128,2x16,74	2200 6L20	0,189	20,4	5774	7293	3670	5010	3580	4800	3,6	4,2
17	Русич (пр.00101)	(Ice2 R1 AUT1)	128,2x16,74	2280 6L20	0,189	20,4	6218	7555	3800	5140	3720	4925	3,6	4,2
19	Россиянин (005RSD03) ВРК	(Ice2 R2 AUT3)	108,33x16,7	2040 6M20	0,187	22,2	5320	7479	3300	5450	3125	5200	3,6	4,79
21	Надежда (006RSD02) ВРК	(ЛУ2 ПСП А1)	139,63x16,7	2300 6L20	0,188	21,3	7189	9526	4680	7078	4502	6900	3,6	4,6
23	Хазар (пр.RSD19)	(ЛУ2 I A1)	139,95x16,7	2400 6L20	0,187	22,0	7249	9660	4596	7004	4380	6825	3,6	4,6
25	Нева-Лидер (пр. RSD49)	(Ice2 R2 AUT1-C)	139,95x16,7	2400 6L20	0,187	22,2	7281	9907	4507	7143	4400	7000	3,6	4,7

На рис. 1-4 представлены характерные представители указанных групп судов.

Суда смешанного плавания советского периода (рис. 1) – это, как правило, однопалубные двухвинтовые теплоходы с двойным дном и двойными бортами, надстройкой и машинным отделением, расположенными в кормовой части.



Рис.1. Двухвинтовое судно смешанного плавания «советского» проекта 225

Назначение их - перевозка массовых генеральных и навалочных грузов, а также контейнеров Международного стандарта. Районы плавания, как правило, ограничивались классом Речного Регистра М-СП или классом Морского

Регистра II-СП, что соответствует волнению не более 5-6 баллов, высоте волны до 3,5 метров и удалении от мест убежищ в открытых морях до 50 миль. Ледовые условия эксплуатации этих судов обычно ограничивались категориями Л2 и Л3, которые допускали самостоятельное их плавание только в мелкобитом разряженном льду неарктических морей.

В качестве главных двигателей судов советского периода, как правило, использовались среднеоборотные судовые дизели, которые работали напрямую или через понижающую передачу на винты фиксированного шага открытые или в направляющих насадках. Судовая электростанция комплектовалась из двух или трех основных дизель-генераторов, аварийного дизель-генератора, а также нередко и дополнительного валогенератора (иногда и двух валогенераторов). Строительство судов осуществлялось на отечественных судостроительных заводах и на верфях европейских стран. Соответственно и комплектация судов производилась с использованием, как отечественного судового оборудования, так и оборудования, изготавливаемого в европейских странах (в основном в ГДР, Чехословакии и Финляндии).

Суда смешанного плавания, проектирование которых осуществлялось в соответствии с требованиями Английского Ллойда (проекты 16290 (рис. 2) и 16291) - это универсальные сухогрузные теплоходы повышенной мореходности класса LR*100A1 Ice class 1B*LVC, UVS [6]. Этот класс обеспечивает по формулировке Английского Ллойда «неограниченный» район эксплуатации, приблизительно соответствующий первому классу судов таких типов по классификации Российского Морского Регистра Судоходства.



Рис.2. Одновинтовое судно смешанного плавания «европейского» проекта 16290

Отличительной особенностью этих судов является то, что их главный энергетический комплекс состоит из одной пропульсивной установки на базе дизель-редукторного агрегата повышенной экономичности европейской фирмы (соответственно финской «Вяртсиля дизель» проект 16290 и немец-

кой «SKL» проект 16291). Другие особенности судов этих проектов – это наличие кроме двух основных и аварийного дизель-генераторов, стояночного дизель-генератора, а также носового подруливающего устройства (знак  на рис. 2). Грузоподъемность и другие параметры этих судов на уровне сухогрузов советского периода того же наименования (№ 11 в таблице 1) при заметно большей дальности плавания (до 5300 миль). Строительство их осуществлялось на Волгоградском судостроительном заводе с преобладанием европейской комплектации энергетической установки судов.

Суда смешанного плавания, проектирование и строительство которых осуществлялось в XXI веке – это универсальные двухвинтовые сухогрузные суда нового поколения [7-10]. Их отличает повышенные мореходность, грузоподъемность (до 5000 т проекты ОАО «Вымпел» (рис. 3) и до 7000 т (рис.4) проекты ЗАО «МИБ»), контейнероёмкость и уровень автоматизации (класс автоматизации до AUT1-C). Объём автоматизации, соответствующий AUT1-C, позволяет обслуживать судовую энергетическую установку без постоянной вахты в машинном отделении и в центральном посту управления с применением компьютеров. Районы плавания судов проектов ОАО «Вымпел» относятся к самому высокому (первому) классу Российского Морского Регистра R1, что ограничивает плавание в морских районах высотой волны 3-% -ной обеспеченности в 8,5 м, удалением от мест убежища 200 миль при расстоянии между местами убежища 400 миль, а проектов ЗАО «МИБ» - классом R2 (волна до 7,0 м, удаление от мест убежища до 100 миль при расстоянии между местами убежища 200 миль) и классом П-СП, эквивалентным R2-RSN новой классификации (волна до 6,0 м, удаление в открытых морях от мест убежища до 50 миль при расстоянии между местами убежищ 100 миль).



Рис. 3. Двухвинтовое судно смешанного плавания проекта ОАО «Вымпел» 01010



Рис. 4. Двухвинтовое судно смешанного плавания проекта ЗАО «Морское Инженерное Бюро» RSD49

Ледовые условия эксплуатации судов нового поколения ограничены неарктической категорией Ice2, которая допускают самостоятельное плавание в мелкобитом разряженном льду толщиной до 0,55 метра со скоростью 5 узлов. Для обеспечения повышенной мореходности корпуса этих судов выполняются более прочными, а соответственно и более тяжелыми, чем корпуса судов советского периода.

Другими особенностями этих судов являются наличие носового бульба (знак  на рис. 3 и 4), двойной осадки (в реке 3,6 м, а в море до 4,79 м), повышенного коэффициента общей полноты корпусов, а также использование на ряде судов (№ 19 и 21 в таблице 1) в качестве движителей полноповоротных винторулевых колонок (ВРК) с механическим приводом винтов фиксированного шага, что позволило увеличить грузовую зону судов за счет сокращения размера машинного отделения. Следует отметить, что ВРК, а также главные и вспомогательные двигатели на судах смешанного плавания нового поколения - исключительно иностранных фирм. Главные размерения этих судов отвечают габаритам Волго-Донского судоходного канала.

Следует отметить, что при оценке технического совершенства группы судов большей общностью обладают комплексные показатели на основе формулы (1), но в виду отсутствия исходной информации, следуя методологии [11], комплексные показатели K в данном случае построены на базе трех частных показателей судов, а именно: энергоёмкости транспортировки e согласно (2), путевого расхода топлива $b = V/v$, кг/км, где V – часовой расход топлива судовой энергетической установки в кг/ч и коэффициента утилизации $\eta = G/Q$, где G и Q – грузоподъёмность и водоизмещение судов в тоннах. При этом технический уровень судов считается тем выше, чем больше K и η и меньше e и b .

Как известно, комплексные показатели могут быть построены в виде 5 функций: аддитивной функции «полином», мультипликативной функции «позином», дробной функции, функции «норма» и функции «евклидово пространство». Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. В частности функции «полином», «позином» и «норма» более просты и удобны в применении по сравнению с дробной функцией и, особенно с функцией «евклидово пространство». В связи с этим в данном случае используются функции «полином», «позином» и «норма» в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{функция «полином»} & K_1 = a_1\eta_n + a_2e_n + a_3b_n; \\ \text{функция «позином»} & K_2 = (\eta_n)^{a_1} * (e_n)^{a_2} * (b_n)^{a_3}; \\ \text{функция «норма»} & K_3 = [(a_1\eta_n)^2 + (a_2e_n)^2 + (a_3b_n)^2]^{0,5}, \end{aligned}$$

где $\eta_n = \eta/\eta_{\max}$, $e_n = e_{\min}/e$ и $b_n = b_{\min}/b$ – нормируемые частные показатели соответственно η , e и b ; η_{\max} – максимальное значение η среди судов (таблица 1); e_{\min} и b_{\min} – минимальные значения соответственно e и b среди судов (таблица 1); a_1 , a_2 и a_3 – коэффициенты весомости (значимости) соответственно η , e и b , которые определяются в данном случае экспертным методом.

При этом для снижения субъективизма используется метод попарного ранжирования частных показателей по их значимости с последующим нормированием, имея в виду, что $\sum a_i = 1$, а значение коэффициентов весомости ограничено числом $2/m$, где m в данном случае равно 3. Для определения коэффициентов весомости производится построение матрицы попарного ранжирования частных показателей и расчет a_i по следующей формуле:

$$a_i = \sum \varepsilon_{ij} / \sum \sum \varepsilon_{ij},$$

где ε_{ij} – экспертная оценка значимости i -го частного показателя по сравнению с j -ым; $\sum \varepsilon_{ij}$ – сумма экспертных оценок значимости i -го частного показателя; $\sum \sum \varepsilon_{ij}$ – сумма экспертных оценок значимости всех частных показателей.

В данном случае согласно экспертным оценкам принята одинаковая значимость частных показателей в комплексной оценке технического уровня судов, результаты которой представлены в таблице 2.

Ниже выполнен графический (рис. 5 и 6) и вербальный анализ данных таблицы 2.

Из сопоставления диаграмм, построенных с помощью функций «полином», «позином» и «норма» (рис. 5), следует, что, несмотря на количественные отличия комплексных показателей, качественные их изменения между судами идентичны. В связи с этим дальнейший анализ выполнен на основе K_1 , поскольку диаграмма, построенная с помощью функции «полином» (рис. 6), более контрастна по сравнению с функцией «позином» и более информативна по сравнению с функцией «норма», так как показатель K_1

в данном случае позволяет оценить степень близости технического уровня конкретного судна к некоторому идеальному уровню, который для рассматриваемых судов по частным показателям составляет (таблица 2):

при работе в реке $\eta = 0,67$, $e = 59,8$ кДж/т*км и $b = 11,3$ кг/км;

при работе в море $\eta = 0,72$, $e = 54,5$ кДж/т*км и $b = 11,3$ кг/км.

Таблица 2

Показатели технического совершенства судов

№ судна	Коэффициент		Энергоёмкость		Энергоёмкость		Путевой расход		Путевой расход		Комплексный		Комплексный		Комплексный	
	утили-	утили-	в реке	в море	в реке	в море	топлива	топлива	топлива	топлива	поли-	поли-	норма	норма	пози-	пози-
	зации	зации														
	в реке	в море	кДж/т*км	кДж/т*км			кг/км	кг/км			в реке	в море	в реке	в море	в реке	в море
1	0,66	0,66	59,8	59,8	1,00	1,00	11,3	11,3	1,00	1,00	0,994	0,938	0,57	0,54	1,00	0,94
3	0,63	0,63	62,0	62,0	1,04	1,04	21,2	21,2	1,87	1,87	0,812	0,758	0,48	0,45	0,79	0,74
5	0,58	0,58	62,1	62,1	1,04	1,04	11,9	11,9	1,05	1,05	0,927	0,875	0,54	0,51	0,93	0,87
7	0,62	0,62	69,5	69,5	1,16	1,16	18,3	18,3	1,62	1,62	0,802	0,751	0,47	0,44	0,79	0,75
9	0,64	0,64	77,1	77,1	1,29	1,29	14,9	14,9	1,32	1,32	0,830	0,781	0,48	0,45	0,83	0,78
11	0,60	0,60	85,9	85,9	1,44	1,44	13,7	13,7	1,21	1,21	0,808	0,763	0,47	0,44	0,80	0,76
13	0,67	0,67	106,1	106,1	1,77	1,77	15,9	15,9	1,40	1,40	0,758	0,714	0,45	0,42	0,74	0,70
15	0,62	0,66	90,5	77,49	1,51	1,30	17,4	20,4	1,54	1,80	0,747	0,722	0,44	0,43	0,74	0,71
17	0,60	0,65	93,0	78,28	1,55	1,31	18,6	21,1	1,64	1,86	0,717	0,710	0,42	0,42	0,71	0,70
19	0,59	0,70	79,9	60,7	1,34	1,01	13,7	17,2	1,21	1,52	0,819	0,838	0,47	0,49	0,82	0,83
21	0,63	0,72	68,9	54,9	1,15	0,92	16,8	20,3	1,49	1,79	0,827	0,849	0,48	0,50	0,82	0,82
23	0,60	0,71	70,6	56,1	1,18	0,94	16,8	20,4	1,49	1,80	0,809	0,833	0,47	0,49	0,80	0,81
25	0,60	0,71	70,3	54,5	1,18	0,91	16,5	20,2	1,45	1,78	0,815	0,844	0,47	0,50	0,81	0,82

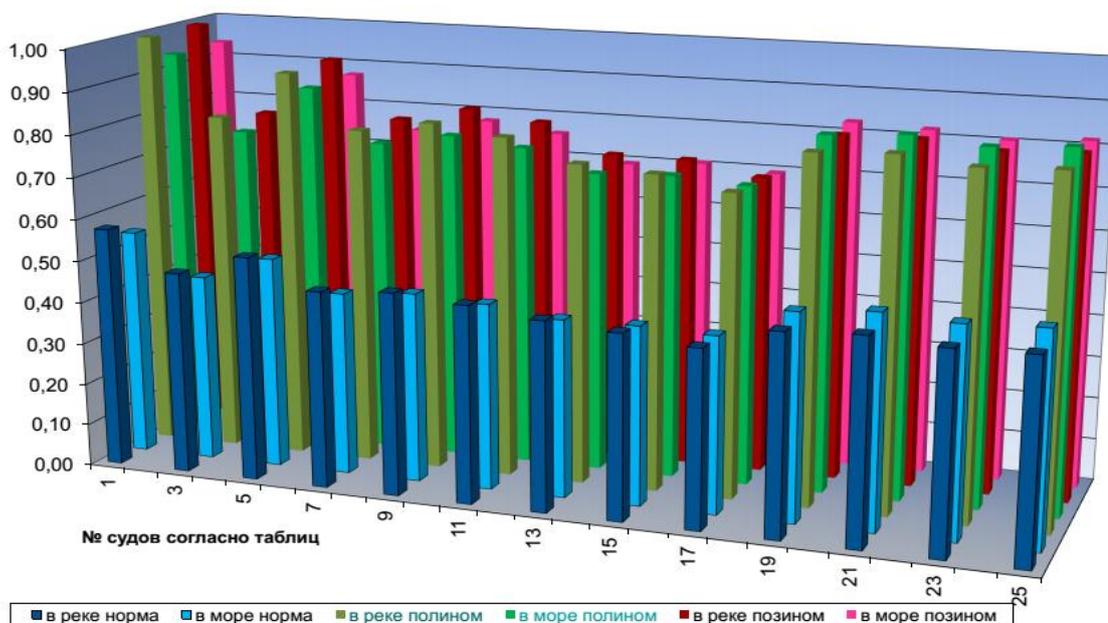


Рис.5. Относительные комплексные показатели судов

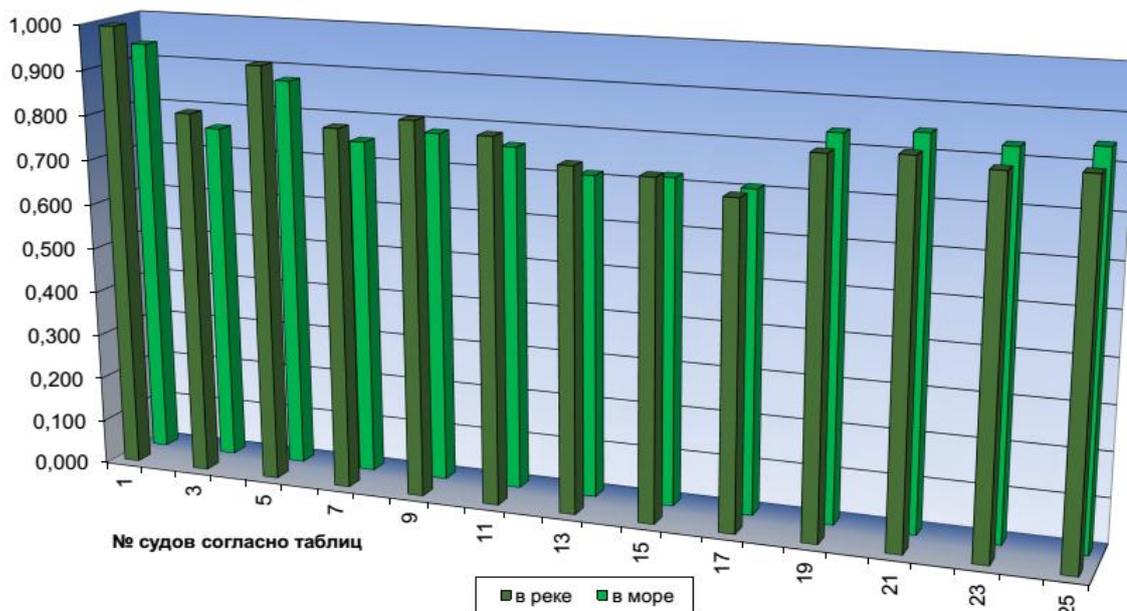


Рис.6. Сопоставление комплексных показателей судов в реке и море с помощью функции «полином»

В целом же по комплексному показателю K_1 степень приближения технического уровня рассматриваемых судов к этим идеалам достигает в реке 99,4%, а в море 93,8%, которые принадлежат популярному в XX веке сухогрузу типа «Волго-Балт» (№ 1 в таблицах).

Из диаграммы (рис. 6) следует, что:

- комплексные показатели лучших представителей «советских» судов (№ 1 сухогруз типа «Волго-Балт» класса Речного Регистра М-СП и № 5 сухогруз типа «Амур» класса Морского Регистра КМ ★ЛЗ ПСП) заметно выше аналогичного судов нового поколения (№ 21 сухогруз типа «Надежда» класса Морского Регистра КМ ★ЛУ2 ПСП А1 и № 25 сухогруз типа «Нева-Лидер» класса Регистра КМ ★Ice2 R2 AUT1-C) особенно при работе в реке;

- худшие показатели из всех рассматриваемых судов имеют суда нового поколения проектов ОАО «Вымпел» (№№ 15 и 17 в таблицах);

- комплексные показатели судов ЗАО «МИБ» достаточно высокие и незначительно отличаются друг от друга, что не характерно для судов XX века, где значения показателей более разнообразны.

В целом из сравнения комплексных показателей вытекает, что суда, спроектированные и построенные в XX веке, имеют более высокие значения комплексных показателей при работе в реке, а суда XXI века – при работе в море. Это свидетельствует о том, что суда XX века больше приспособлены к эксплуатации в речных условиях, а суда XXI века – в морских условиях. Другими словами суда смешанного плавания XX века – это суда «река-море» плавания, а суда XXI века – это суда «море-река» плавания.

В связи с последним говорить об эффективности судов нового поколения на внутренних водных путях европейской части страны не представляется возможным, особенно с учетом значительного их обмеления, в результате которого, например, на Волге от городецких шлюзов до города Балахна обеспечивается пропуск лишь судов с осадкой менее 2 м. В таких условиях сквозные перевозки по внутренним водным путям невозможны и не только судами «море-река» плавания, но и «река-море» плавания даже в рамках речной осадки (таблица 1).

С другой стороны, мало надежд и на то, что государство (водные пути - это ответственность государства) на длительный период обеспечит путевые условия, достигнутые, например, в советское время. Более того представляется, что проблема здесь глубже, поскольку функции реки Волги значительно шире и масштабнее, особенно с учетом экологической составляющей, чем только как артерии для водных перевозок и это, по-видимому, необходимо учитывать при разработке концепции модернизации внутренних водных путей и доведении путевых условий до некоторого оптимума.

В связи с этим представляется актуальной оптимизация структуры речного флота и в частности пополнение его не только судами повышенной грузоподъемности, но и среднетоннажными речными судами с главными размерениями, которые позволяли бы выполнять сквозные водные перевозки в транспортном коридоре «Север (Северо-Запад) – Юг» внутри страны, где путь значительно короче по сравнению с расстоянием вокруг Европы.

Список литературы

1. Баёв, А.С. Концепция развития речного транспорта на базе амфибийных судов с перспективными энергетическими установками/А.С.Баёв, В.А.Шишкин// Отчет по проблеме 4.3.9. «Разработка научно-инженерных основ перспективных энергетических установок для транспортного и вспомогательного флота» - Л.: Институт проблем транспорта Академии Наук СССР, 1991, № государственной регистрации 01.9.40003222. – 70 с.
2. Баёв, А.С. Энергообеспечение речных судов: учебное пособие /А.С.Баёв – СПб.: СПбГУВК, 1995. – 62 с.
3. Баёв, А.С. Программа судоремонта ОАО «Северо-Западное пароходство» на 2001-2003 годы /А.С.Баёв – СПб.: ОАО «СЗП», 2001. – 198 с.
4. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Судовые энергетические установки» / А.С.Баёв - СПб.: СПбГУВК, 1997. - 61 с.
5. Баёв, А.С. Судовые энергетические установки: методическое пособие по курсовому проектированию/А.С.Баёв – СПб.: СПбГМТУ, 2016. – 50 с.
6. Баёв, А.С. Северо-Западное пароходство: основа компании – флот. История и перспективы /А.С.Баёв // Морской вестник, 2002, № 4.
7. «Русич» из Нижнего Новгорода//Судостроение 1'2003, январь-февраль.

8. Егоров, Г.В. Многоцелевое сухогрузное судно смешанного «река-море» плавания дедвейтом 3300/5470 тонн с винторулевыми колонками /Г.В.Егоров, В.И.Тонюк // Судостроение 6'2005 – С. 9-14.
9. Егоров, Г.В. Многоцелевые сухогрузные суда смешанного «река-море» плавания класса «Волго-Дон макс» типа «Надежда» и «Танаис» /Г.В.Егоров, И.А.Ильницкий, В.И.Тонюк // Судостроение 5'2011 – С. 9-18.
10. Егоров, Г.В. Многоцелевые сухогрузные суда «Волго-Дон макс» дедвейтом 7150 тонн проекта RSD49 типа «Нева-Лидер» /Г.В.Егоров, В.И.Тонюк // Судостроение 2'2014 – С. 9-17.
11. Афрамеев, Э.А. Критерии технического совершенства судов/ Э.А.Афрамеев // Судостроение 6'2005 – С. 14-17.