

### Список литературы

1. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. — М.: ГОСНИТИ, 1985. — 108 с.
2. Кучель Р. Б. Методика выбора количества изделий для ресурсных испытаний и оценки достоверности их результатов / Р. Б. Кучель, Ю. Н. Благовещенский — М.: НАТИ, 1992. — 160 с.
3. Рыбакова Л. М. Структура и износ покрытий при финишной антифрикционной обработке гильз цилиндров ДВС / Л. М. Рыбакова // Трение и износ. — 1994. — № 25. — С. 909–921.
4. Григорьев М. А. Износ и долговечность автотракторных двигателей / М. А. Григорьев. — М.: Машиностроение, 1996. — 248 с.
5. Волков К. Н. Прогнозирование надежности механических систем / К. Н. Волков — Л.: Машиностроение, 1989. — 208 с.
6. ГОСТ 8.051-81. «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».
7. ГОСТ 12.2.2.02.98 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортных и комбайновых дизелей».
8. Головатенко А. Г. Повышение экологичности и экономичности автотракторных двигателей / А. Г. Головатенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2004 — № 9. — С. 16–18.
9. Колчин А. В. Экологическая безопасность эксплуатации МТП / А. В. Колчин. — М.: ГОСНИТИ, 1991. — 65 с.

**УДК 629.5.022**

**М. А. Москаленко,**

д-р техн. наук, профессор,  
Морская академия Морского государственного  
университета им. адм. Г. И. Невельского;

**З. М. Субботин,**

аспирант,  
Морская академия Морского государственного  
университета им. адм. Г. И. Невельского;

**А. В. Захарина,**

доцент,  
Сахалинское высшее мореходное училище  
им. Т. Б. Гуженко — филиал Морского государственного  
университета им. адм. Г. И. Невельского

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ МАЛОЙ ТОННАЖНОЙ ГРУППЫ

### ASSESSMENT OF THE EFFECTIVE FEASIBILITY MODERNIZATION OF HULL MARINE VESSELS OF SMALL TONNAGE

*В статье представлены результаты оценки возможности и целесообразности модернизации корпуса морских судов малой тоннажной группы (МТГ). Изложены предпосылки их размерной модернизации. Отмечается, что такие суда сегодня являются наиболее востребованными и широко используются в трамповом судоходстве. Выявлено существование проблемы, связанной с необходимостью повышения эксплуатационной эффективности работы возрастных судов. Повышение их конкурентноспособности представляется возможным обеспечить через осуществление одномерной модернизации их корпуса.*

*Изложены результаты разработки моделей для размерной модернизации. Ходовые характеристики модернизированных судов определялись экспериментально на масштабных моделях с разными значениями отношений длины к ширине испытываемых судов. На основании анализа результатов опытных проверок был установлен оптимальный размер цилиндрической вставки. Результаты морфологического анализа судов «до» и «после» модернизации свидетельствуют о том, что комплексные показатели эффективности судов после модернизации увеличиваются за счет качественного фактора.*

*The article products the results assessment of possibility and feasibility of hull marine vessels of small tonnage. Preconditions of their dimensions modernization are stated. It is noted that such ships are greatly required and widely used in tramp shipping. The existence of the problem, connected with the need to increase operation effectiveness of the old ships, has been revealed. It seems possible to raise their competitiveness through carrying out single-measured modernization of the hull of those ships.*

*The results of the development of the models of measured modernization are sit out the models of measured modernization are sit out. Running characteristics of the modernized ships were determined experimentally on the scale models with various meanings of tested ships length and width ratio. The optimal dimension of a cylindrical insert was established on the basis of test results analysis. The result of morphological analysis of the ships before and after modernization testifies to the fact that complex indices of ships effectiveness after modernization are increasing on account of the qualitative factor.*

*Ключевые слова: морские суда, тоннаж, размерная модернизация, испытания моделей судов.  
Key words: marine vessels, tonnage, dimensional modernization, testing of ships models.*

**В** СВЯЗИ с необходимостью становления и развития в России малого бизнеса в судоходстве [7], сейчас особую значимость приобретают исследования в области решения проблемы повышения конкурентно способности отечественного флота в сегменте универсальных сухогрузных судов дедвейтом 2–5 тыс. т. Суда такой грузоподъемности относятся к судам малой тоннажной группы (МТГ). Они являются наиболее востребованными и широко используются в трамповом судоходстве, где фрахтовые ставки сравнительно невелики. Это не способствует обновлению флота МТГ за счет инвестиций собственных средств в строительство новых судов. Поэтому в сложившейся ситуации судовладельцы малых судоходных компаний вынуждены искать пути продления срока службы судов и увеличения их провозной способности за счет их размерной модернизации, представляющей особый вид модернизации судов, когда по существу создается новое судно за меньшие деньги. Оно отличается от первоначального по размерам, мореходным качествам и технико-эксплуатационным показателям. За последние три десятилетия в нашей стране и за рубежом (больше всего в Китае) все в больших масштабах выполняются работы по модернизации с изменением их главных размерений [6], [7], [10]. Разрабатываются новые технологии, расширяется диапазон типов и размеров судов. Однако, несмотря на широкое распространение в мире идеологии модернизации для обновления флота, вопросы размерной модернизации судов нашли практическое решение раньше, чем оно было получено в результате теоретических исследований. В значительной степени теоретическая база размерной модернизации отстает от практики эксплуатации судов и сегодня, особенно в части техно-экономического анализа, оценки целесообразности и эффективности выполнения этих работ [1]–[4].

С учетом изложенного выше, нами выполнены комплексные исследования существующей проблемы в части модернизации судов МТГ, касающейся обоснований эффективности. В результате было установлено, что среди многочисленных случаев модернизации судов можно выделить наиболее распространенные технологические направления:

- увеличение размерений судна путем замены части его корпуса более крупной;
- увеличение главных размерений судна с помощью вставок и наделок с использованием всего старого корпуса;
- создание многокорпусных судов из однокорпусных.

Сопоставительный анализ показал, что наиболее предпочтительным можно считать второе направление, включающее в качестве основного варианта одномерное увеличение размеров кор-

пуса за счет **удлинения**. Величина удлинения судна зависит от многих факторов и прежде всего от конкретной цели модернизации, состояния корпуса, технологической возможности верфи [8], [9].

Чаще всего основная цель удлинения судна — это увеличение его грузоподъемности и грузозместимости, в таких случаях длина цилиндрической вставки (блока) обычно равна длине 1–2 трюмов [4]–[6]. Иногда суда удлиняются с целью улучшения пропульсивных качеств. В этом случае размер их удлинения определяется на основе расчетов и экспериментов в опытовых водоемах.

Нами были проведены экспериментальные исследования ходкости масштабных моделей типового судна МТГ из линейки серийных судов типа т/х «Советский Воин» (рис. 1).

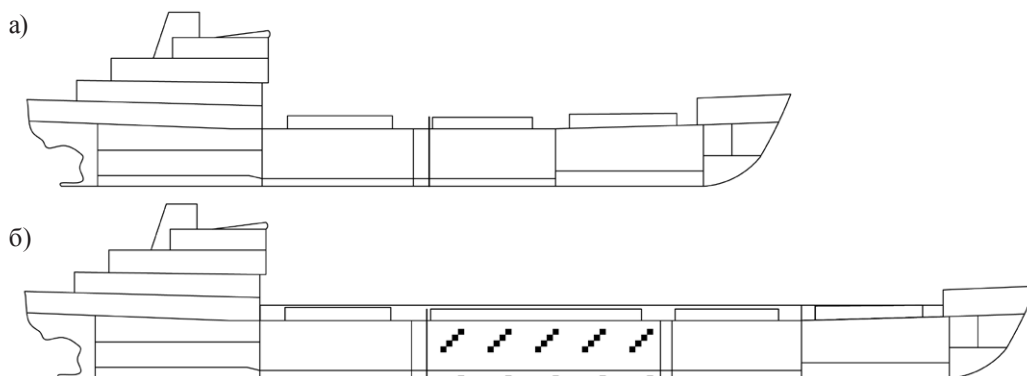


Рис. 1. Типовое судно МТГ:  
 а — до модернизации; б — после модернизации

Выбор типового судна для выполнения модернизации не был случайным. В рассматриваемом нами случае технико-экономическая целесообразность проведения размерной модернизации подтверждалась существующими у этого судна резервами мощности силовой установки, наличием соответствующей грузовой базы и положительным опытом модернизации судов таких тоннажных групп. С целью выяснения характера и степени влияния удлинения судна на некоторые эксплуатационно-технические показатели (см. табл. 1) исследовались модели судов с цилиндрическими вставками длиной: 5,0 м; 15,0 м; 23,5 м и 30,0 м (рис. 2, 3). На основании анализа результатов экспериментов (рис. 4) и выполненных расчетов, приведенных в табл. 1, была дана оценка качественных и количественных показателей судов до и после модернизации.

Таблица 1

**Главные размерения и характеристики судов до и после модернизации**

Обозначения характеристик	Судно до модернизации	Длина цилиндрической вставки, м			
		5,0	15,0	23,5	30,0
$L_1$ , м	75,0	80,0	90,0	98,5	105,0
$B$ , м	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
$L/D$	12,4	13,3	12,8	14,0	14,0
$d$ , м	5,43	5,5	5,5	5,5	5,5
$D$ , м	6,03	6,03	7,03	7,03	7,5
$B/d$	2,31	2,28	2,28	2,28	2,28
$\Delta$	3780/3525	3920	4291	4905	5960
$\Delta_0$	1295	1325	1365	1405	1435
$DW$	2485/2230	2595	2926	3500	4515
$M$ , т	2130	2495	3405	3622	4315

Таблица 1  
 (Окончание)

Ne, кВт	890	970	900	1060	1010
$n$	0,255	0,247	0,210	0,216	0,169
$v_s$ , уз.	10(13,1)	10	10	10	10
Fr	0,249	0,239	0,228	0,218	0,211
$\delta$	0,671	0,695	0,677	0,706	0,805
$\eta_{DW}$	0,633	0,662	0,682	0,714	0,758
$\eta_p$	0,604	0,636	0,657	0,677	0,724
$W$ , м <sup>3</sup>	2870/2980	3256/3382	3775/3923	4284/4458	4681/4866
$\mu$	1,40	1,32	1,39	1,34	1,13
NT, рег. т.	754	882	998	1200	1560
$K_N$	0,389	0,341	0,389	0,280	0,314
$\eta_K$	0,955	0,961	0,964	0,949	0,955

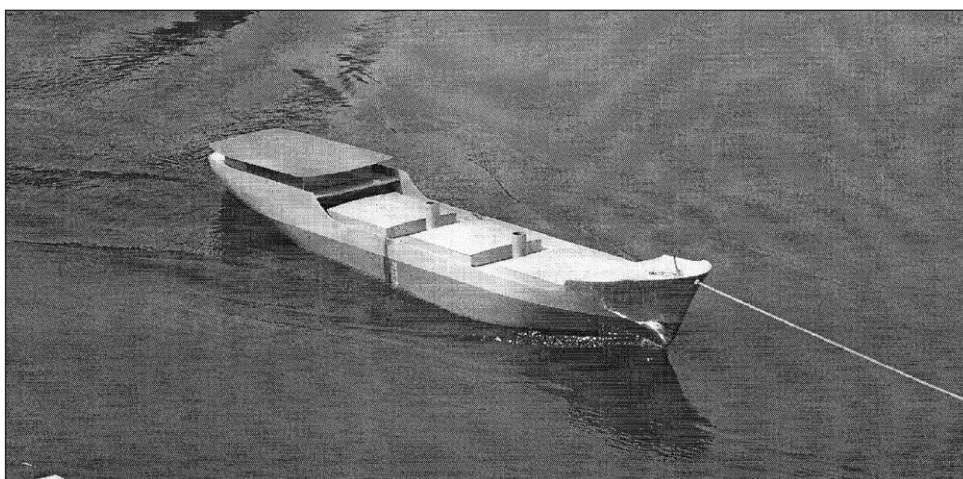


Рис. 2. Ходовые испытания модели типового судна МТГ без цилиндрической вставки

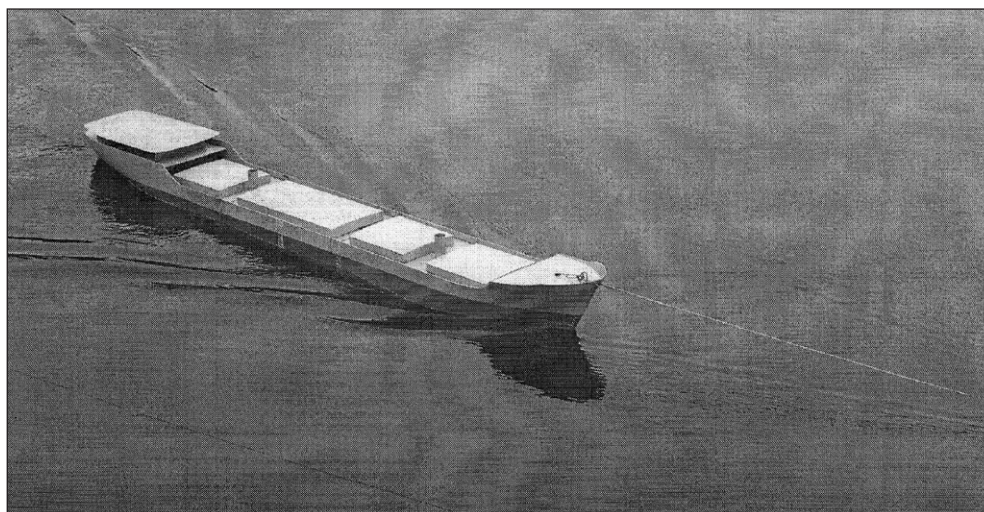


Рис. 3. Ходовые испытания модели типового судна МТГ с цилиндрической вставкой максимальной длины  $l = 30,0$  м



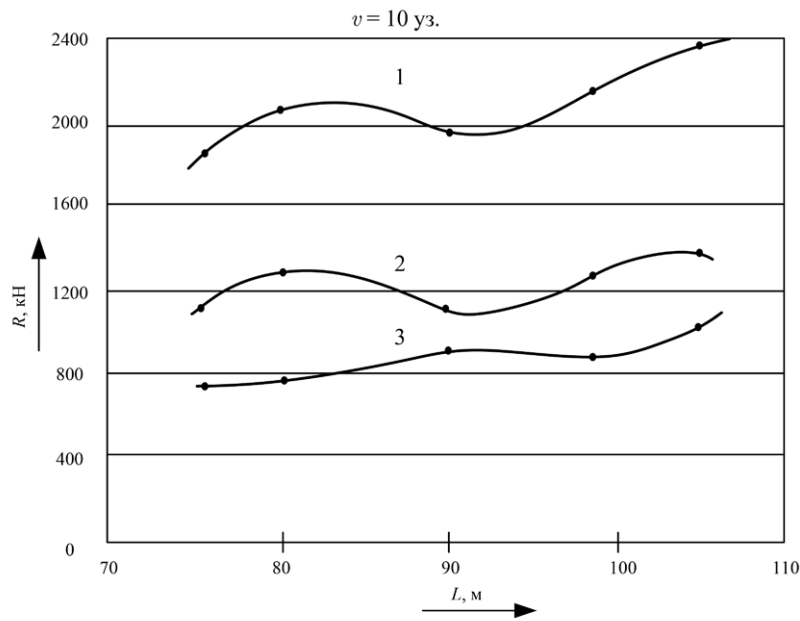


Рис. 4. Характер изменения буксировочного сопротивления в зависимости от длины судна и скорости:  
1 — полное сопротивление  $R$ ; 2 — остаточное сопротивление  $R_0$ ;  
3 — сопротивление трения  $R_f$

Для сопоставления качеств сравниваемых судов выделили наиболее важные их характеристики и установили критерии для их оценки. С целью представления свойств модели в формализованном виде записали их свойства  $P_j$  в виде членов  $P_{ji}$  матрицы  $|C_{ji}|$ . Причем критериальная  $i$ -оценка каждой характеристики проводилась по трехбальной системе  $i = \{1,2,3\}$ .

1. Оценка удельной грузоподъемности судна:

$$P_{11} - 1,25 > \mu > 1,05; P_{12} - 1,65 > \mu > 1,25; P_{13} - \mu > 1,65.$$

2. Оценка коэффициента общей полноты судна:

$$P_{21} - 0,65 > \delta > 0,60; P_{22} - 0,75 > \delta > 0,65; P_{23} - \delta > 0,70.$$

3. Оценка коэффициента утилизации водоизмещения по дедвейту:

$$P_{31} - 0,65 > \eta_{DW} > 0,55; P_{32} - 0,70 > \eta_{DW} > 0,65; P_{33} - \eta_{DW} > 0,70.$$

4. Оценка коэффициента утилизации водоизмещения по чистой грузоподъемности:

$$P_{41} - 0,60 > \eta_p > 0,50; P_{42} - 0,65 > \eta_p > 0,60; P_{43} - \eta_p > 0,65.$$

5. Оценка относительной скорости судна:

$$P_{51} - 0,25 > Fr > 0,22; P_{52} - 0,22 > Fr > 0,19; P_{53} - 0,19 > Fr > 0,16.$$

6. Оценка удельной затраты мощности:

$$P_{61} - 0,26 > n > 0,23; P_{62} - 0,23 > n > 0,20; P_{63} - n > 0,20.$$

7. Оценка запаса мощности ССУ:

$$P_{71} - 0,40 > K_N > 0,35; P_{72} - 0,35 > K_N > 0,30; P_{73} - K_N > 0,30.$$

8. Оценка общей прочности судна:

$$P_{81} - 14 > L/D > 13; P_{82} - 13 > L/D > 12; P_{83} - L/D > 12.$$

9. Оценка коэффициента утилизации дедвейта по чистой грузоподъемности:

$$P_{91} - 0,943 > \eta_K > 0,940; P_{92} - 0,960 > \eta_K > 0,945; P_{93} - \eta_K > 0,960.$$

10. Оценка показателя остойчивости и качки:

$$P_{101} - 2,1 > B/d > 2,0; P_{102} - 2,3 > B/d > 2,1; P_{103} - 2,5 > B/d > 2,3.$$

На основании ненулевых значений элементов матрицы

$$|C_{ji}| = \begin{vmatrix} 0, & \dots, & P_{1r}, & \dots, & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0, & \dots, & 0, & P_{ki}, & 0 \\ - & - & - & - & - \\ P_{m1}, & \dots, & 0, & \dots, & 0 \end{vmatrix},$$

соответствующих эксплуатационным характеристикам судна, ниже определен показатель  $K_{mn}$  эффективности каждого сравниваемого судна. Этот показатель определяется по формуле

$$K_{mn} = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ji} \right) / m \cdot n.$$

Считается, что чем больше значение коэффициента  $K_{mn}$ , тем лучшие показатели имеет судно (см. табл. 2).

Таблица 2

**Определение показателя эффективности судов до и после модернизации**

№ п/п	Длина цилиндрической вставки, м	Ненулевые элементы матрицы $C_{ji}$ для каждого судна	Показатель $K_{mn}$ эффективности
1	0	$P_{12}, P_{22}, P_{31}, P_{42}, P_{52}, P_{61}, P_{71}, P_{82}, P_{92}, P_{103}$	0,600
2	5,0	$P_{12}, P_{22}, P_{32}, P_{41}, P_{52}, P_{61}, P_{71}, P_{82}, P_{93}, P_{102}$	0,633
3	15,0	$P_{12}, P_{22}, P_{32}, P_{43}, P_{52}, P_{62}, P_{71}, P_{82}, P_{93}, P_{102}$	0,700
4	23,5	$P_{12}, P_{23}, P_{33}, P_{43}, P_{52}, P_{62}, P_{73}, P_{81}, P_{92}, P_{102}$	0,767
5	30,0	$P_{11}, P_{23}, P_{33}, P_{43}, P_{52}, P_{63}, P_{72}, P_{81}, P_{92}, P_{102}$	0,733

На основании выполненных расчетов и результатов морфологического анализа можно сделать следующие выводы.

1. При увеличении длины судна за счет цилиндрической вставки водоизмещение, вместимость и дедвейт судна увеличиваются пропорционально изменению его длины. При этом темпы прироста вместимости и дедвейта опережают темпы прироста массы корпуса судна (см. табл. 3 и рис. 5).

Таблица 3

**Оценка показателей качества модернизации судна**

№ п/п	Наименование расчетных показателей	Значения $L/B$			
		6,4	7,2	7,9	8,4
1	Темпы прироста ресурсов, $T_{рес.}$	0,023	0,054	0,085	0,108
2	Темпы прироста результатов, $T_{рез.}$	0,044	0,177	0,403	0,777
3	Количественный показатель, $K_1$	0,523	0,305	0,211	0,139
4	Качественный показатель, $K_2$	0,477	0,695	0,789	0,861

2. С увеличением длины судна буксировочное сопротивление увеличивается неравномерно. При скорости хода  $v_s = 10$  уз наблюдаются локальные минимумы и максимумы (см. рис. 4).

3. Коэффициент утилизации водоизмещения по дедвейту с увеличением длины цилиндрической вставки растет.

4. Расход топлива зависит от чисел Фруда. С увеличением чисел Фруда расход топлива увеличивается. Экспериментально установлено, что закономерность снижения чисел Фруда почти линейная. До модернизации  $Fr = 0,249$ , а после удлинения судна до  $L = 105,0$  м –  $Fr = 0,211$ .

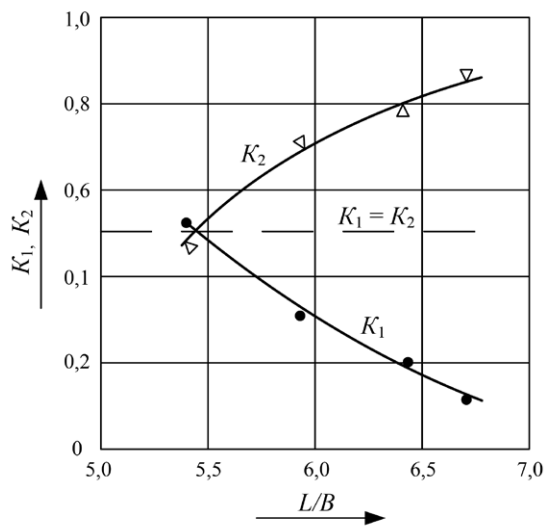


Рис. 5. Показатели качества модернизации

5. Результаты морфологического анализа судов до и после модернизации свидетельствуют о том, что комплексные показатели эффективности судов после модернизации увеличиваются (см. табл. 2).

6. Наибольшие значения  $K_{mn} = 0,767$  и  $0,739$  соответственно имеют суда с цилиндрическими вставками длиной 23,5 м и 30 м. Однако судно со вставкой длиной 23,5 м более предпочтительно, так как оно имеет на 15,7 % большее значение удельной грузоемкости.

7. В целом модернизация за счет установки цилиндрической вставки приводит к улучшению основных эксплуатационных характеристик судна. Однако ее следует проводить только в том случае, если вставка имеет длину более  $l > 5,0$  м. Только в этом случае будет выполняться условие  $K_2 > 0,5$ , и совершенствование судна будет происходить по интенсивному пути (см. рис. 5) за счет качественного фактора.

### Список литературы

1. Аристархов В. Возродить флот – забота общая / В. Аристархов // Морской флот. — 2001. — № 5. — С. 3–5.
2. Баранов В. С. Удлинение корпуса сухогрузного судна / В. С. Баранов // Технология судостроения. — 1965. — № 3. — С. 134–135.
3. Барабанов М. Н. Суда стандартных проектов — их настоящее и будущее / М. Н. Барабанов // Судостроение. — 1994. — № 2–3. — С. 11–15.
4. Бугаев В. Г. Анализ спроса и предложения на рынке морских транспортных судов / В. Г. Бугаев, М. В. Коваленко, М. В. Войлошенко // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материала шестой междунар. научно-технич. конф. — Владивосток ДВО ПАТ, 2005. — С. 22–23.
5. Гундобин А. А. Размерная модернизация и переоборудование судов / А. А. Гундобин, Г. Н. Финкель. — Л.: Судостроение, 1977. — 157 с.
6. Гундобин А. А. Определение основных элементов судна при увеличении его грузоподъемности за счет удлинения / А. А. Гундобин // Судостроение. — 1967. — № 9. — С. 8–10.
7. Луговец А. А. Организационно-экономические условия обеспечения либерализации отечественного судостроения и судоходства / А. А. Луговец, А. Д. Москаленко А. В. Степанец // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Пленарные доклады девятой международной науч.-практич. конф. (FEBRAT-11). 5–7 октября 2011 г. — Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2011. — С. 9–14.
8. Москаленко М. А. Оценка рисков на рынке морского страхования судов / М. А. Москаленко, З. М. Субботин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск. НАВТ, 2008. — С. 15–18.
9. Соколов В. П. Экономическое обоснование проектов судов в условиях рынка / В. П. Соколов // Судостроение. — 1993. — № 1. — С. 14–16.
10. Egorov G. V. Dimensional modernization of the timber carrier “Pavlin Vinogradov” / G. V. Egorov, I. A. Ilnitskiy type // Team 2010, Vladivostok. — 2010. — P. 267–272.