

Проектирование и конструкция судов

Научная статья
УДК 629.5.01
<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/17-26>

А.В. Парняков, О.Э. Суков

ПАРНЯКОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ – аспирант, avparnyakov@mail.ru✉
СУКОВ ОЛЕГ ЭДУАРДОВИЧ – к.т.н., доцент, <http://orcid.org/0000-0002-8914-5059>
Политехнический институт
Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия

Разработка и верификация математической модели проектирования круизного судна ледового плавания

Аннотация. Представлены результаты разработки математической модели для определения экономических показателей круизного судна ледового плавания. В качестве оптимизированных характеристик в математической модели приняты удельные приведенные затраты, рентабельность капиталовложений, норма прибыли, срок окупаемости. В качестве параметров оптимизации использованы численность пассажиров и протяженность линий. В разработанной модели предусмотрена возможность изменения стоимости билета от уровня комфорта пребывания на судне пассажиров. В результате выполнения расчетов по предложенной математической модели определены оптимальные главные размерения и характеристики судна (составляющие водоизмещения, мощность, скорость и др.). Установлено, что разработанная математическая модель для оптимизации главных размерений круизного судна с точки зрения функций экономических критериев пригодна для дальнейшего исследования других оптимизационных параметров (полезная площадь кают и общественных помещений; количество палуб и ярусов надстройки).

Ключевые слова: главные размерения судна, экономические показатели, срок окупаемости, норма прибыли, рентабельность капиталовложений, удельные приведенные затраты, протяженность круизной линии, круизное судно ледового плавания

Для цитирования: Парняков А.В., Суков О.Э. Разработка и верификация математической модели проектирования круизного судна ледового плавания // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 17–26.

Введение

Во второй половине XX в. наблюдается переход ряда пассажирских судов линейного плавания, а также научно-исследовательских (экспедиционных) судов на круизные линии. Это привело не только к переоборудованию данных судов, но и постройке новых специализированных круизных судов, в том числе арктического плавания. Особые требования к арктическим судам накладывают ограничения на функциональные характеристики, в связи с чем возникла необходимость комплексного исследования круизных судов плавания в замерзающих морях, совершенствования их архитектурно-конструктивных типов, расширения круга предоставляемых пассажирам услуг.

За последнее десятилетие рынок пассажирских судов значительно расширился, так как количество и популярность туристических и экспедиционных круизов возросли. Судовладельцы и верфи должны сбалансировать строительство и эксплуатацию более крупных и сложных судов с безопасностью и экологическими характеристиками, а также учитывать комфорт и снижение энергопотребления. Кроме того, популярность экспедиционных судов для

полярных круизов привела к созданию специализированных и технически совершенных судов, способных работать в арктических водах.

Цель данного исследования – разработка и верификация математической модели расчета экономических показателей круизного судна ледового плавания. Основными задачами, решаемыми посредством такой модели, является установление зависимости круизных судов по удельным приведенным затратам, срокам окупаемости, капиталоемкости перевозок и рентабельности капиталовложений относительно пассажироместности и протяженности рейса.

Для разработки и верификации математической модели проектирования круизного судна ледового плавания используются суда-прототипы.

Описание судов-прототипов

В Дальневосточном бассейне накоплен определенный опыт эксплуатации судов [4] в круизных плаваниях, в том числе и арктических. С момента постройки в 1981 г. по ноябрь 2016 г. ледокол «Капитан Хлебников» (рис. 1) находился в составе флота Дальневосточного морского пароходства и участвовал во многих экскурсионных турах в Арктику и Антарктиду [3]. Главные размерения ледокола представлены в табл. 1. На судне все каюты наружные, с большими иллюминаторами, установлен один небольшой закрытый купальный бассейн с подогревом воды, четыре зодиака (резиновые надувные лодки), один вертолет, который может быть использован для осмотра природных достопримечательностей. Количество мест в столовой допускает одновременное обслуживание 112 пассажиров. Большое общественное помещение, которое имеется на судне, может быть использовано в качестве аудитории для лекций по экспедиционной тематике, магазин и библиотека книг и видеофильмов, лазарет, гимнастический зал и сауна (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид ледокола «Капитан Хлебников»

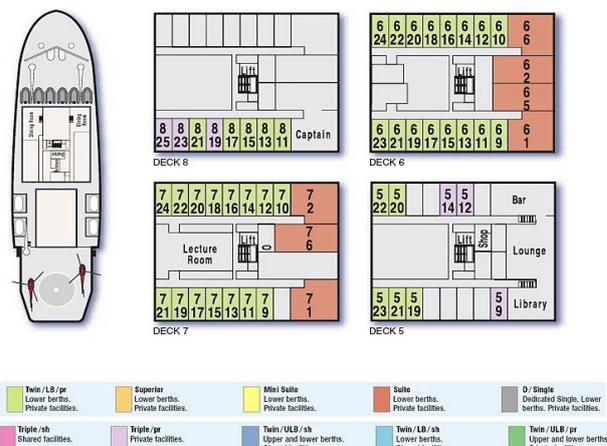


Рис. 2. Планы палуб ледокола «Капитан Хлебников»

Другим прототипом для разработки математической модели проектирования круизного судна ледового плавания стала мега-яхта «L`Austral», которая была построена в Италии в 2011 г. (рис. 3, табл. 1). Яхта имеет ледовый класс 1С и поэтому может совершать круизы в замерзающих морях с толщиной льда до 0,40 м. На борту размещены два ресторана (ресторан высокой кухни и гриль-ресторан), театр, зона отдыха, две большие гостиные, три комнаты отдыха, магазин, салон красоты (рис. 4) [5]. Однотипные суда – «Le Vogueal» и «Le Soleal».

В качестве третьего прототипа был принят теплоход «Профессор Хромов», построенный в 1983 г. в Финляндии по заказу Академии наук СССР (рис. 5). Судно «Профессор Хромов» – полностью ледовое экспедиционное судно, предназначенное для полярных и океанографических исследований, а также идеально подходящее для экспедиционных путешествий.

Чтобы обеспечить комфорт пассажирам, в мае 2019 г. теплоход был отремонтирован: появилась возможность размещения в двухместных каютах, в половине из которых предусмотрены отдельные удобства; во всех каютах иллюминаторы и места для хранения вещей; обновлены бар, библиотека и зал для лекций (рис. 6) [6].



Рис. 3. Внешний вид мега-яхты «L'Austral»

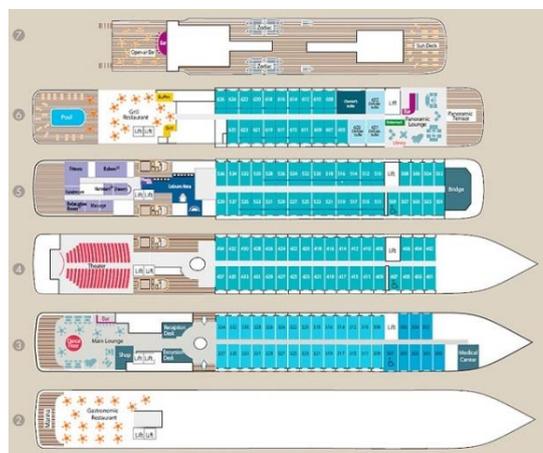


Рис. 4. Планы палуб мега-яхты «L'Austral»



Рис. 5. Внешний вид т/х «Профессор Хромов»

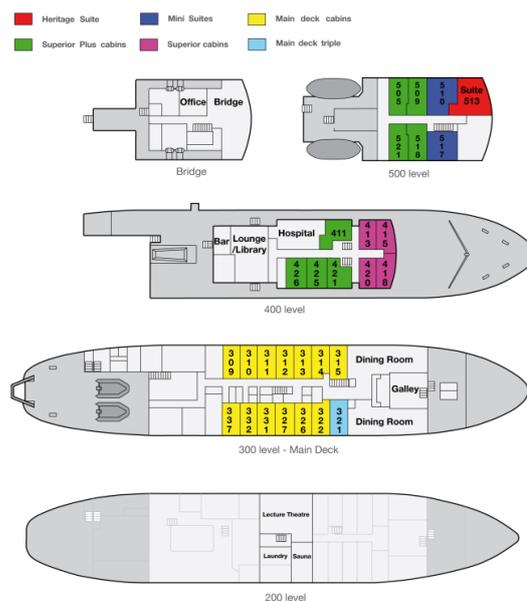


Рис. 6. Планы палуб т/х «Профессор Хромов»

В зависимости от типа судна, условий его строительства и эксплуатации главные размеры судов ледового плавания могут принимать различные значения [2], что находит отражение в выборе рациональных размеров и их соотношений [1]. Сводные данные по судам-прототипам представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики судов-прототипов ледового плавания

| Характеристика судна | «Капитан Хлебников»* | «L'Austral»** | «Профессор Хромов»* |
|----------------------|----------------------|---------------|---------------------|
| Флаг | Россия | Франция | Россия |
| Год постройки | 1981 | 2011 | 1984 |
| Страна постройки | Финляндия | Италия | Финляндия |

| Характеристика судна | | | «Капитан Хлебников»* | «L'Austral»** | «Профессор Хромов»* |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Класс судна | | | КМ [⊙] LL3 [2] AUT2 passen- ger ship | I [⊙] Hull [⊙] Mac h passenger ship Ice class IC | КМ [⊙] UL [1] AUT2 passen- ger ship |
| Главные размерения, м | Наибольшая длина | L_{max} | 129,10 | 142,10 | 71,06 |
| | Ширина судна | B | 26,74 | 18,00 | 12,82 |
| | Высота борта | H | 12,30 | 20,40 | 6,45 |
| | Осадка | T | 8,50 | 4,80 | 4,50 |
| Пассажировместимость, чел. | | | 112 | 264 | 58 |
| Водоизмещение, т | | | 14917 | 16853,0 | 2140 |
| Дедвейт, т | | | 4418 | 1400 | 620 |
| Валовая вместимость, рег. т | | | 12288 | 10944 | 1759 |
| Количество и мощность силовой установки, л.с. | | | 6x4100 | 2x2300 | 2x1560 |
| Скорость хода, уз. | | | 18,0 | 16,0 | 14,0 |
| Количество палуб | | | 6 | 6 | 2 |
| * - данные приняты, как в Регистровой книге Российского морского судоходства (https://lk.rs-class.org/regbook/regbookVessel) | | | | | |
| ** - данные приняты, как в Регистровой книге Bureau Veritas (https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv-fleet/#/bv-fleet/) | | | | | |

Анализ методов расчета

По результатам исследования разработана математическая модель, которая позволяет определить экономические показатели круизного судна ледового плавания. В качестве оптимизированных характеристик были приняты:

- удельные приведенные затраты;
- рентабельность капиталовложений;
- норма прибыли;
- срок окупаемости.

В качестве параметров оптимизации используются численность пассажиров и протяженность линий. В модели предусмотрена возможность изменения стоимости билета и комфортабельности пребывания на судне пассажиров.

На примере мегаяхты «L'Austral» показаны проектные данные судна-прототипа (табл. 2). Для выполнения экономических расчетов приведены дополнительные исходные данные (табл. 3).

Таблица 2

Проектные данные судна-прототипа

| Параметр | Обознач. | Значение |
|------------------------------------|------------|----------|
| Масса корпуса, т | P_k | 7493,0 |
| Масса устройств, т | P_{yc} | 1187,0 |
| Масса систем, т | P_{cc} | 860,0 |
| Масса ГД и механизмов, т | $P_{ми}$ | 860,0 |
| Масса электрооборудования, т | $P_{эл}$ | 681,0 |
| Масса навигационного вооружения, т | $P_{во}$ | 39,0 |
| Масса снабжения, т | $P_{си}$ | 49,0 |
| Запас водоизмещения, т | $P_{зв}$ | 250,0 |
| Масса постоянных жидких грузов, т | $P_{пжгр}$ | 434,0 |
| Водоизмещение судна порожнем, т | D_o | 11853,0 |
| Масса пассажиров, т | $P_{пс}$ | 35,0 |
| Дедвейт судна, т | DW | 5000,0 |
| Мощность главного двигателя, кВт | $N_{ГД}$ | 3385,6 |

Дополнительные данные для расчета экономических показателей судна

| Параметры | Обознач. | Значение |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| Коэффициент использования скорости | K_v | 0,95 |
| Коэффициент использования пассажироместности в прямом переходе | K_{nac1} | 1,0 |
| Коэффициент использования пассажироместности в обратном переходе | K_{nac2} | 1,0 |
| Продолжительность годового навигационного периода, сут. | $T_{нас}$ | 340 |
| Время оформления, прихода и отхода, сут. | $T_{всн}$ | 3,0 |
| Норма грузообработки в порту отправления, т/сут. | M_{zp1} | 30,0 |
| Норма грузообработки в порту прибытия, т/сут. | M_{zp2} | 30,0 |
| Коэффициент перехода от стоимости серийно освоенного судна к среднесерийной строительной стоимости | ρ | 1,45 |
| Годовая перевозка пассажиров, чел./год | N | 10000 |
| Текущий курс доллара, руб./\$ | $K_{\$}$ | 75,00 |
| Цена 1 тонны газа топлива, \$/т | $C_{дт}$ | 600,0 |
| Билет (затраты на перевозку 1 пассажира) на 1 милю, \$/миль | $f_{см}$ | 2,00 |
| Нормативный коэффициент капитальных затрат | E | 0,12 |
| Потребление электроэнергии на 1 чел./сут., кВт | ω | 0,50 |

На первом этапе расчетов согласно предлагаемой модели необходимо определить характеристики и элементы рейса по формулам:

$$\begin{aligned}
 \text{ходовое время} & t_x = 2L/(24K_v * v); \\
 \text{время погрузки} & t_n = P_{zp}(K_{zp1} + K_{zp2})/M_{zp1}; \\
 \text{время разгрузки} & t_p = P_{zp}(K_{zp1} + K_{zp2})/M_{zp2}; \\
 \text{время стоянки} & t_c = t_n + t_p + t_{всн}; \\
 \text{время рейса} & t_p = t_x + t_c; \\
 \text{число рейсов} & \tau = t_w/t_p; \\
 \text{нормированное время} & t_c/t_x; \\
 \text{число судов на линии} & n_c = Q/(K_{zp1} + K_{zp2})P_{zp}\tau; \\
 \text{ходовое время за год} & T_{xг} = t_x * \tau, \\
 \text{стояночное время за год} & T_{сг} = t_c * \tau.
 \end{aligned}$$

Проверка правильности выполненных расчетов производится по формуле

$$Q = P_{zp} * (K_{zp1} + K_{zp2}) * n_c * \tau.$$

На втором этапе выполняются расчеты оптимальных главных размерений и характеристик и элементов судна (составляющие водоизмещения, мощность, скорость и др.) с использованием рекомендации [1, 2].

Далее согласно методическим указаниям по экономическому обоснованию проектирования судов (паромов) [5] выполняются расчеты капитальных затрат.

Стоимость проектирования:

$$K_{np} = (0,04D + 600)i.$$

Стоимость оснастки:

$$K_{oc} = 0,17 * Di,$$

где D – весовое водоизмещение,
 i – индекс роста потребительских цен.

Стоимость серийно освоенного судна:

$$K_c = K_{mk} + K_{ок} + K_{эу} + K_{мо} + K_p,$$

где стоимость корпуса:

$$K_{mk} = P_{mk}/1000(0,8003 - 0,023P_{mk}/1000 + 0,0003(P_{mk}/1000)^2)i;$$

стоимость оборудования корпуса:

$$K_{ок}=(0,723+4,679P_{yc}/1000+0,066(P_{yc}/1000)^2)i;$$

стоимость ЭУ:

$$K_{эу}=N_{эу}/10^6(104,5 - 1,03 N_{эу}/1000)i;$$

стоимость механического оборудования с трубопроводами:

$$K_{мо}=P_{мо}/1000(2,35+0,05*1000/P_{мо})i;$$

стоимость работ:

$$K_p=(1,037 - 0,907*1000/D_n)i;$$

среднесерийная строительная стоимость судна:

$$K=\rho K_c + (K_{np}+K_{oc})/n_c ,$$

n_c – число судов на линии.

В таблице 3 также представлены результаты расчетов удельных приведенных затрат по формуле

$$f_{yd}=(K*E+C_{суд})/(Q_cL),$$

где K – капитальные затраты,

$C_{суд}$ – судовые затраты,

Q_c – годовая масса пассажиров (с провизией, снабжением, водой),

L – длительность рейса,

E – коэффициент дисконтирования.

Расчет по срокам окупаемости производился по формуле

$$T_{ок}=K/Pr,$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости,

Pr – прибыль.

Капиталоемкость перевозок рассчитывалась по формуле

$$K_{ем}=K/(Q_cL).$$

Норма прибыли выполнялась по формуле

$$f_n=Pr/C_{суд},$$

Рентабельность капиталовложений была рассчитана по формуле

$$f_{рент}=Pr/K.$$

В таблице 4 представлены результаты тестовых расчетов экономических показателей проектируемого пассажирского судна ледового плавания с использованием разработанной математической модели.

Критерии оценки экономической эффективности

В результате выполнения расчетов по предложенной математической модели определяются оптимальные главные размерения и характеристики судна (составляющие водоизмещения, мощность, скорость и т. д.).

На рисунках 7–9 представлены графики зависимостей экономических показателей целевых функций от количества пассажиров и протяженности линий.

Первые три графика характеризуют зависимость пассажировместимости и протяженности линии от удельных приведенных затрат, срока окупаемости и капиталоемкости перевозок по минимизируемым критериям.

На последнем графике показана зависимость пассажировместимости и протяженности линии от рентабельности капиталовложений по максимизируемым критериям.

Результаты расчетов экономических показателей проектируемого судна с использованием предлагаемой модели

| Наименование | Обозначения (формулы) | Количество пассажиров, чел. | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 200 | | | 220 | | | 250 | | |
| | | Протяженность линии, мили | | | | | | | | |
| | | 750 | 1000 | 1250 | 750 | 1000 | 1250 | 750 | 1000 | 1250 |
| Капитальные затраты | | | | | | | | | | |
| Стоимость проектирования, млн. \$ | $K_{пр}$ | 1,013 | 1,087 | 1,154 | 1,037 | 1,103 | 1,172 | 1,057 | 1,126 | 1,198 |
| Стоимость оснастки, млн. \$ | $K_{ос}$ | 1,549 | 1,866 | 2,152 | 1,652 | 1,932 | 2,227 | 1,738 | 2,030 | 2,338 |
| Стоимость корпуса, млн. \$ | $K_{мк}$ | 3,167 | 3,722 | 4,200 | 3,350 | 3,834 | 4,320 | 3,501 | 3,999 | 4,497 |
| Стоимость оборудования корпуса, млн. \$ | $K_{ок}$ | 4,644 | 6,565 | 8,553 | 5,235 | 7,004 | 9,109 | 5,753 | 7,680 | 9,965 |
| Стоимость ЭУ, млн. \$ | $K_{эу}$ | 0,629 | 0,710 | 0,785 | 0,656 | 0,727 | 0,804 | 0,678 | 0,752 | 0,833 |
| Стоимость механического оборудования с | $K_{мо}$ | 2,623 | 2,978 | 3,286 | 2,740 | 3,050 | 3,365 | 2,836 | 3,157 | 3,481 |
| Стоимость работ, млн. \$ | K_p | 1,651 | 1,681 | 1,663 | 1,666 | 1,680 | 1,652 | 1,675 | 1,676 | 1,630 |
| Строительная стоимость серийно осво- | K_c | 12,714 | 15,656 | 18,487 | 13,647 | 16,296 | 19,250 | 14,444 | 17,264 | 20,406 |
| Среднесерийная строительная стоимость | K | 20,998 | 25,655 | 30,113 | 22,477 | 26,664 | 31,312 | 23,738 | 28,189 | 33,124 |
| Судовые эксплуатационные затраты | | | | | | | | | | |
| Отчисления на амортизацию, млн. \$ | $C_{ам}=0,01*K*N_{ам}$ | 1,281 | 1,565 | 1,837 | 1,371 | 1,626 | 1,910 | 1,448 | 1,720 | 2,021 |
| Расходы на текущий ремонт, млн. \$ | $C_p=(-67+33,45*(N/1000))-$ | 0,751 | 0,894 | 1,006 | 0,786 | 0,913 | 1,023 | 0,813 | 0,939 | 1,047 |
| Расходы на снабжение, млн. \$ | $C_{сн}=0,01*K$ | 0,210 | 0,257 | 0,301 | 0,225 | 0,267 | 0,313 | 0,237 | 0,282 | 0,331 |
| Расходы на содержание экипажа, млн. \$ | $C_{эж}$ | 3,200 | 3,200 | 3,200 | 3,520 | 3,520 | 3,520 | 4,000 | 4,000 | 4,000 |
| Суточные навигационные расходы, \$/сут. | $C_{нав.р}(DW)$ | 9,717 | 9,810 | 9,894 | 9,747 | 9,829 | 9,916 | 9,772 | 9,858 | 9,950 |
| Навигационные расходы, млн. \$ | $C_{нав}=7,8*C_{нав.р}*365$ | 0,0277 | 0,0279 | 0,0282 | 0,0277 | 0,0280 | 0,0282 | 0,0278 | 0,0281 | 0,0283 |
| Налог на имущество, млн. \$ | $C_{им}=0,01*n_{им}*C_{ам}$ | 0,3458 | 0,4225 | 0,4960 | 0,3702 | 0,4392 | 0,5157 | 0,3910 | 0,4643 | 0,5456 |
| Портовые сборы за 1 судозаход, тыс. \$ | $C_{сб}=\Sigma PC_i$ | 4,475 | 5,389 | 6,216 | 4,772 | 5,580 | 6,431 | 5,020 | 5,865 | 6,752 |
| Портовые сборы за год, тыс. \$ | $C_{сб.г}=2\tau C_{сб}$ | 340,1 | 355,7 | 360,5 | 362,7 | 368,3 | 373,0 | 381,5 | 387,1 | 391,6 |
| Затраты на топливо на стоянке, тыс. \$ | $C_{т.ст}=kk_{см}k_{мвм}Q_{т.ст}C_{дт}T_{ст}$ | 330,37 | 286,90 | 252,13 | 330,37 | 286,90 | 252,13 | 330,37 | 286,90 | 252,13 |
| Затраты на топливо на ходу, тыс. \$ | $C_{т.х}=kk_{см}k_{мвм}q_m N_{ГД}C_{дт}T_x$ | 2400,0 | 3145,6 | 3800,2 | 2505,0 | 3219,5 | 3887,4 | 2591,1 | 3327,9 | 4015,6 |
| Затраты на топливо, тыс. \$ | $C_m=C_{т.ст}+C_{т.х}$ | 2730,4 | 3432,5 | 4052,3 | 2835,3 | 3506,4 | 4139,6 | 2921,4 | 3614,8 | 4267,8 |
| Прямые затраты, млн. \$ | $C_{пр}=C_{ам}+C_p+C_{сн}+C_{ж}+C_{кж}+C_{им}+C_{сб}+C_m$ | 8,886 | 10,154 | 11,281 | 9,178 | 10,347 | 11,503 | 9,420 | 10,634 | 11,832 |
| Косвенные затраты, млн. \$ | $C_{косв}=aC_{пр}$ | 0,489 | 0,558 | 0,620 | 0,505 | 0,569 | 0,633 | 0,518 | 0,585 | 0,651 |
| Судовые затраты, млн. \$ | $C_{суд}=C_{пр}+C_{косв}$ | 9,375 | 10,713 | 11,901 | 9,682 | 10,917 | 12,135 | 9,939 | 11,219 | 12,483 |

| Наименование | Обозначения (формулы) | Количество пассажиров, чел. | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 200 | | | 220 | | | 250 | | |
| | | Протяженность линии, мили | | | | | | | | |
| | | 750 | 1000 | 1250 | 750 | 1000 | 1250 | 750 | 1000 | 1250 |
| Экономические показатели использования судна | | | | | | | | | | |
| Объем перевозок 1 судна за год, т/год | $Q_c = (K_{сп1} + K_{сп2}) P_{сп} \tau$ | 15200 | 13200 | 11600 | 16720 | 14520 | 12760 | 19000 | 16500 | 14500 |
| Капиталоемкость перевозок, \$/т*миль | $K_{ем} = K / (Q_c L)$ | 1,8419 | 1,9435 | 2,0768 | 1,7924 | 1,8364 | 1,9631 | 1,6658 | 1,7084 | 1,8275 |
| Себестоимость перевозок 1 т, \$/т | $S = C_{суд} / Q_c$ | 616,75 | 811,58 | 1025,98 | 579,08 | 751,83 | 951,04 | 523,08 | 679,96 | 860,91 |
| Себестоимость перевозок, \$/т*миль | $S = C_{суд} / (Q_c L)$ | 0,8223 | 0,8116 | 0,8208 | 0,7721 | 0,7518 | 0,7608 | 0,6974 | 0,6800 | 0,6887 |
| Доход по одному судну, тыс.\$ | $D_c = Q_c f_{cm}$ | 11400 | 13200 | 14500 | 12540 | 14520 | 15950 | 14250 | 16500 | 18125 |
| Уровень доходности перевозок | $R = D_c / C_{суд} 100\%$ | 121,6 | 123,2 | 121,8 | 129,5 | 133,0 | 131,4 | 143,4 | 147,1 | 145,2 |
| Балансовая прибыль, тыс.\$ | $P_{бал} = D_c - C_{суд}$ | 2025,4 | 2487,2 | 2598,6 | 2857,7 | 3603,4 | 3814,7 | 4311,4 | 5280,6 | 5641,9 |
| Налоги, тыс.\$ | $Нал = 0,45 P_{бал}$ | 911,4 | 1119,2 | 1169,4 | 1286,0 | 1621,5 | 1716,6 | 1940,1 | 2376,3 | 2538,8 |
| Чистая прибыль, тыс.\$ | $Пр = P_{бал} - Нал$ | 1114,0 | 1367,9 | 1429,2 | 1571,7 | 1981,9 | 2098,1 | 2371,3 | 2904,4 | 3103,0 |
| Экономические критерии обоснования проектных характеристик судов | | | | | | | | | | |
| Удельные приведенные затраты, \$/т*миль | $f_{уд}$ | 1,043 | 1,045 | 1,070 | 0,987 | 0,972 | 0,996 | 0,897 | 0,885 | 0,908 |
| Рентабельность капиталовложений, % | $f_{рент}$ | 5,31 | 5,33 | 4,75 | 6,99 | 7,43 | 6,70 | 9,99 | 10,30 | 9,37 |
| Норма прибыли | f_n | 0,119 | 0,128 | 0,120 | 0,162 | 0,182 | 0,173 | 0,239 | 0,259 | 0,249 |
| Срок окупаемости, лет | $T_{ок}$ | 18,85 | 18,75 | 21,07 | 14,30 | 13,45 | 14,92 | 10,01 | 9,71 | 10,67 |

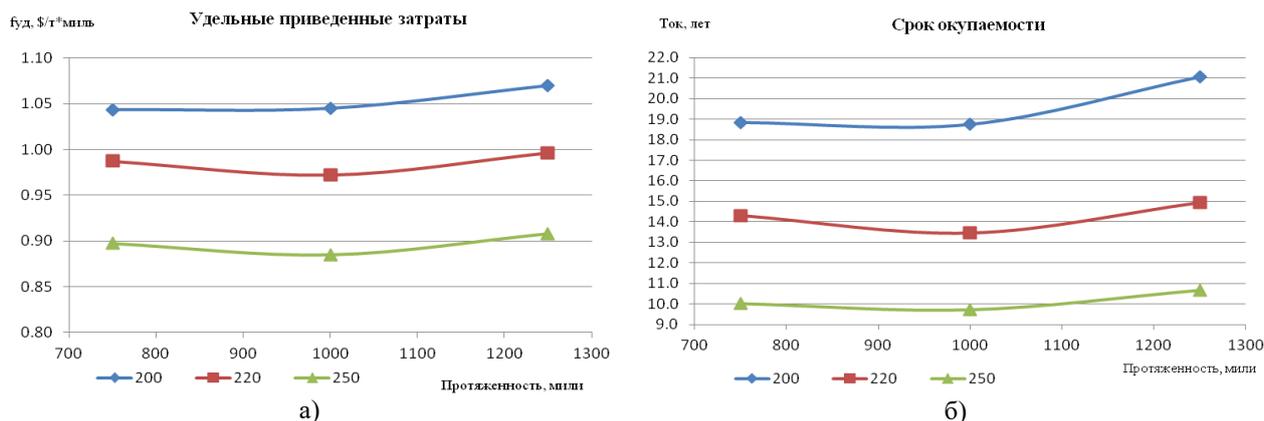


Рис. 7. График зависимости удельных приведенных затрат (а) и срока окупаемости (б) от пассажироместимости и протяженности линии

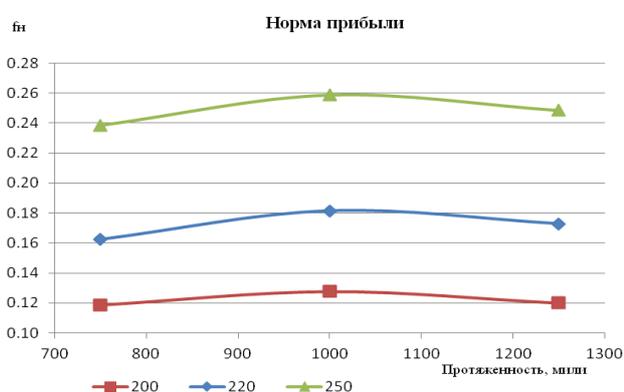


Рис. 8. График зависимости нормы прибыли перевозок от пассажироместимости и протяженности линии

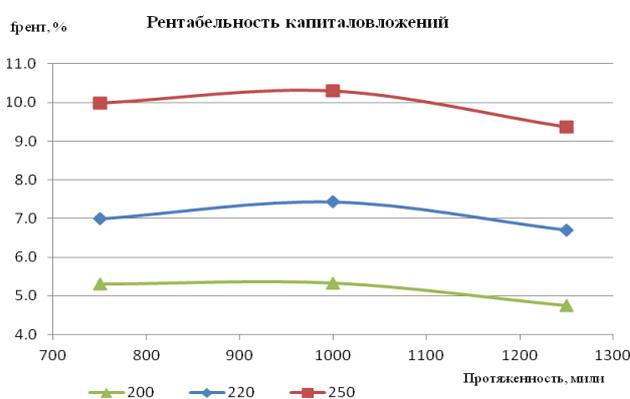


Рис. 9. График зависимости рентабельности капиталовложений от пассажироместимости и протяженности линии

Заключение

В результате данного исследования разработана математическая модель для определения экономических показателей круизного судна ледового плавания.

По результатам выполненных расчетов сформулированы основные выводы.

Удельные приведенные затраты относительно протяженности рейса у рассмотренных круизных судов снижаются.

1. Сокращается срок окупаемости для круизных судов с большей пассажироместимостью.
2. Норма прибыли перевозок повышается для круизных судов с большей пассажироместимостью.
3. Рентабельность капиталовложений максимальна для круизных судов с большей пассажироместимостью.

Выводы позволяют судить о том, что разработанная математическая модель для оптимизации главных размерений с точки зрения функций экономических критериев пригодна для дальнейшего исследования других оптимизационных параметров (полезная площадь кают и общественных помещений; количество палуб и ярусов надстройки).

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ашик В.В. Проектирование судов. Ленинград: Судостроение, 1985. 317 с.
2. Бронников А.В. Проектирование судов. Ленинград: Судостроение, 1991. 319 с.
3. «Капитан Хлебников». URL: https://www.discovercruise.ru/ship/kapitan_hlebnikov/?more=1 (дата обращения: 08.02.2022).
4. Кулеш В.А., Лентарёв А.А., Шарлай Г.Н., Мотрич В.Н., Монинец С.Ю. Эксплуатация судов в полярных водах. Москва: Моркнига, 2018. 277 с.
5. Лайнер L` Austral. URL: <https://www.discovercruise.ru/ship/?id=365> (дата обращения: 08.02.2022).
6. Теплоход «Профессор Хромов». URL: <https://www.korabli.eu/galleries/oboi/grazhdanskiesuda/professor-hromov/palubnyu-plan> (дата обращения: 08.02.2022).

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 2/51

Ship Design and Constructionwww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/17-26>

Parnyakov A., Surov O.

ALEKSEY V. PARNYAKOV, Postgraduate Student, avparnyakov@mail.ru✉OLEG E. SUROV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, surov-oe@rambler.ru*Far Eastern Federal University*

Vladivostok, Russia

Development and verification of a mathematical model to design an ice-going cruise ship

Abstract. The results of the development of a mathematical model for determining the economic performance of an ice-going cruise ship are presented. Specific reduced costs, return on investment, rate of return, payback period are taken as optimized characteristics in the mathematical model. The number of passengers and the length of lines were used as optimization parameters. The developed model makes it possible to change the ticket price depending on the level of comfort of passengers on board. As a result of calculations based on the proposed mathematical model, the optimal main ship dimensions and characteristics (components of displacement, power, speed, etc.) were determined. It has been established that the developed mathematical model for optimizing the main dimensions of a cruise ship in terms of the functions of economic criteria is suitable for further research of other optimization parameters (such as useful area in cabins and public spaces; the number of decks and superstructure tiers, etc.)

Keywords: main dimensions of the ship, economic indicators, payback period, rate of return, return on investment, specific reduced costs, length of the cruise line, ice-going cruise ship

For citation: Parnyakov A., Surov O. Development and verification of a mathematical model to design an ice-going cruise ship. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2022;(2):17-26. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Ashik V.V. Ship design. Leningrad, Shipbuilding, 1985. 317 p.
2. Bronnikov A.V. Ship design. Leningrad, Shipbuilding, 1991. 319 p.
3. Captain Khlebnikov. URL: https://www.discovercruise.ru/ship/kapitan_hlebnikov/?more=1. 08.02.2022.
4. Kulesh V.A., Lentaryov A.A., Sharlay G.N., Motrich V.N., Moninets S.Yu. Operation of ships in polar waters. Moscow, MORKNIGA, 2018. 277 p.
5. Liner L` Austral. URL: <https://www.discovercruise.ru/ship/?id=365> – 08.02.2022.
6. Motor ship "Professor Khromov" URL: <https://www.korabli.eu/galleries/oboi/grazhdanskiesuda/professor-hromov/palubnyy-plan> – 02.08.2022.