

DOI 10.15589/jnn20160404
УДК 629.5.012
К48

FEATURES OF ECONOMIC INDICATORS CALCULATION FOR HIGH SPEED PILOT BOAT ON STAGE OF CONCEPTUAL DESIGN

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛОЦМАНСКИХ КАТЕРОВ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Yana A. Kleva
klevayana12@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0379-7276

Я. А. Клева,
ст. преп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. During the last decades a vast amount of research has been focused on the issues of design, operations, and development of more optimized structures of high-speed craft. The right choice of the criterion function is crucial. Fundamentally, efficiency can be increased with the reduction of production costs, operational costs, and environmental impact, while maintaining or improving craft performance, reliability, and safety. The estimation of economic performances of pilot boats in conceptual design phase should account for many features, such as, different building materials, development of the hull design, choice of the propeller, conditions of operations, and others. The majority of estimation techniques are developed specifically for large ships and, therefore, do not take into account the essential features of design and function of small high-speed craft, namely, pilot boats. In this paper we present formulas for estimation of building cost of the conventional pilot boat (a monohull). The author recommends the set of formulas for estimation, which form the mathematical model. These equations can be used in the optimization task.

Keywords: pilot boats; economic performance; building cost; operating cost; conceptual design stage.

Аннотация. Представлены зависимости для расчета основных экономических показателей с учетом специфики проектирования и эксплуатации высокоскоростных лоцманских катеров. Полученные формулы могут быть использованы при решении задачи выбора оптимальных характеристик лоцманского катера.

Ключевые слова: лоцманские катера; экономические показатели; строительная стоимость; эксплуатационные расходы; стадия концептуального проектирования.

Анотація. Залежності для розрахунку основних економічних показників розглянуті з врахуванням специфіки експлуатації швидкісних лоцманських катерів. Формули, що пропонуються, можуть використовуватися для вирішення задач вибору оптимальних характеристик лоцманського катера.

Ключові слова: лоцманські катери; економічні показники; будівельна вартість; експлуатаційні витрати; стадія концептуального проектування.

REFERENCES

- [1] Boyko A. P. *Rozrobka metodiki optimalnogo proektyvannya syden z maloyu ploshadu vaterlinii* [The development of techniques of optimal design of SWATH]. Dr.Dissertation PhD: 05.08.03 — Construction and Building of Ships. Mykolaiv, 2010. 239 p.
- [2] Bondarenko A. V., Bui D. T. *Metodika rascheta effektivnosti skorostnykh avtopassazherskykh katamaranov pri konseptualnom proektirovanii* [The method of efficiency calculation for high speed RO-Pax catamarans in the conceptual design]. *Sydovodinnya, zb. nauk. prats ONMA* [Collection of scientific papers of ONMA]. Odessa, VudavInform Publ., 2014, issue 24, pp. 32–40.
- [3] Voiloshnikov M. V. *Morskie resursy i tehnika: effektivnost, stoumost, optimalnost* [The marine resources and engineering: efficiency, cost, optimality]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2002. 586p.
- [4] Kleva Y. A., Bondarenko A. V. *Osoblivosti vyuboru optimalnyukh charakteristik losmanskykh kateriv* [The features of the choice of optimal characteristics of pilot boats]. *Nauk. visnyk CHDMA* [Bulletin of CHDMA], 2012, issue 2 (7), pp. 62–68.

- [5] Kleva Y. A., Bondarenko A. V. *Raschet nagruzki mass lotsmanskikh katerov na etape kontseptualnogo proektirovaniya* [The estimation of weight of pilot boats in concept design]. *Problemy techniki: Scientific journal*, 2012. issue 2, pp. 55–64.
- [6] Kraev V. I., Stupin O. K., Limonov E. L. *Ekonomicheskie obosnovania pri proektirovanii morskikh gruzobykh sudov* [Economic justification of sea cargo ships design]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1973. 292 p.
- [7] Nguen G. H. *Opredelenie ekonomicheskikh pokazatelei byustrochodnyukh passazhirskiyuh sydov na nachalnyukh etapah proektirovaniya* [Definition of economic performance of high-speed passenger vessels in the initial stages of design] *Sudnovodinnaya, zb. nauk. prats ONMA* [Collection of scientific papers of ONMA]. Odessa, Vudav-Inform Publ., 2013, issue 22, pp. 164–173.
- [8] Nakaz «Pro zatverdzenya Pravil plavannya I lozmanskogo provedenya syden u pivnichno-zachidnoi chastyuni Chornogo moray? Byzko-Dniprovsko-limanskomy ta Chersonskomy morskomy kanalah» vid 01.08.2007 № 655: Mode of access: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1150-07>.
- [9] Grubisic I. Reliability of Weight Prediction in Small Craft Concept Design Proc. of 6th HIPER Congress. Naples, 2008, pp. 215–226.
- [10] Goutam K. S., Golam M., Emdadol K. S. Optimization of the preliminary design parameters and cost evaluation of container vessel for the inland waterways of Bangladesh Proc. of MARTEC, The International Conference on Marine Technology Dhaka, Bangladesh, 2010, pp. 195–204.
- [11] Karayannis T., Molland A. F., Williams Y. Data for High-Speed Vessels Fifth International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'99), Seattle, Washington, USA, August 31-September 2, 1999, pp. 605–615.
- [12] Moraes H. B., Vasconcellos J. M., Almeida P. M. Multiple criteria optimization applied to high speed catamaran preliminary design *Ocean Engineering*, 2007, issue 34, pp. 133–147.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние годы в практике мирового проектирования морского транспорта наметилась тенденция к возрастанию требований к экономическому обоснованию вновь созданных проектов судов. Адекватная оценка экономической эффективности проекта на ранних стадиях проектирования невозможна без решения оптимизационной задачи. Оптимизационный подход к проблемам проектирования судов предполагает необходимость выбора критерия эффективности (целевой функции). При определении главных элементов скоростных лоцманских катеров (ЛК) в качестве целевой функции (CF — objective function) используется критерий «стоимость-эффективность» в виде:

$$CF = \frac{M[P]}{p_0} \rightarrow \max,$$

где $M[P]$ — математическое ожидание прибыли; p_0 — вероятность невыполнения лоцманским судном основных функциональных задач [4].

Математическое ожидание прибыли $M[P]$:

$$M[P] = [I - C - K],$$

где I — совокупный доход; C — эксплуатационные расходы; K — величина капиталовложений (стоимость судна плюс проценты по кредиту).

Таким образом, для определения математического ожидания прибыли $M[P]$ необходимо наряду с совокупным доходом рассчитать значения эксплуатационных расходов и капиталовложений. Так как методы технико-экономического анализа, применяющиеся

для традиционных судов не приемлемы для ЛК, возникла необходимость в определении экономических показателей с учетом специфики функционирования ЛК. Получение адекватных зависимостей для оценки экономических характеристик на этапе концептуального проектирования позволит создать качественную математическую модель для данного типа судов, используемую в дальнейшем для решения оптимизационной задачи.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В результате анализа публикаций по теме исследования можно сделать вывод, что достаточно глубоко вопрос определения основных экономических показателей освещен для традиционных транспортных судов [3, 6, 10]. В работах [2, 12] описываются зависимости, применимые для катамаранов. В [1] представлена подробная методика расчета экономических показателей судов с малой площадью ватерлинии. Особенности определения совокупного дохода, эксплуатационных расходов и величины капиталовложений для быстроходных пассажирских судов посвящена статья [7]. Проведенный анализ последних публикаций показал отсутствие аналогичных исследований для ЛК с традиционной формой корпуса (monohull). Поэтому, проблема оценки экономических характеристик для ЛК, с учетом специфики их проектирования и эксплуатации, представляется актуальной и требующей детального рассмотрения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — проанализировать используемые методики оценки экономических показателей при проектировании судов и разработать рекомендации

по выбору расчетных зависимостей, учитывающих специфику лоцманских катеров для дальнейшего использования в математической модели.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Значение капиталовложений определяется на основе расчета экономических показателей проекта ЛК с использованием способа определения строительной стоимости по группам конструктивной разбивки, который основан на известном методе Кагауаннис [11] и рассматривает такие укрупненные статьи как, корпус, оборудование и энергетическая установка.

На этапе концептуального проектирования ЛК целесообразно использовать стандартную разбивку водоизмещения порожнем, а именно: корпус (HullStructureCost), рубка (DeckHouseCost), стоимость оборудования (EquipmentCost) и энергетическая установка (MainEngineCost). Таким образом, строительная стоимость ЛК определяется по формуле:

$$C_{build} = k(C_{est} + C_{edh} + C_{equip} + C_{ma}),$$

где C_{est} и C_{edh} — стоимость корпуса и рубки соответственно, USD; C_{equip} — стоимость оборудования, USD; C_{ma} — стоимость энергетической установки, USD.

Коэффициент k в данном выражении учитывает накладные расходы, т.е. расходы на организацию процесса постройки судна, его обслуживание и управление. Накладные расходы содержат следующие статьи:

– административно-хозяйственные расходы судостроительной организации;

– расходы, связанные с обслуживанием работников (дополнительная заработная плата производительных рабочих, в том числе оплата простоев из-за погодных условий, оплата отпусков, отчисления по социальному страхованию, расходы по содержанию пожарной и сторожевой охраны и т.д.).

Все составляющие C_{build} рассчитываются по приближенным зависимостям. Расчет масс разделов нагрузки $W_{100} - W_{700}$ подробно описан в [5, 9]. Схема разбивки массы порожнем на составляющие, согласно [5] представлена на рис 1.

Для определения стоимости корпуса и палубной рубки используются следующие выражения:

$$C_{est} = (W_{100} \cdot M_1 \cdot 1,1) + (W_{100} \cdot L_{work} \cdot M_{hc});$$

$$C_{edh} = (W_{150} \cdot M_2 \cdot 1,1) + (W_{150} \cdot L_{work} \cdot M_{hc}),$$

где W_{100} и W_{150} — масса корпуса и рубки соответственно, т; M_1 и M_2 — цена 1 т материала корпуса и рубки соответственно, USD/т; 1,1 — коэффициент, учитывающий отходы материалов (10%) при строительстве ЛК; L_{work} — трудоемкость изготовления конструкции, чел. – час/т. Принимается для простых работ, например, для палубной рубки — 600 чел. – час/т; для сложных работ (корпус катера) — 900 чел. – час/т; M_{hc} — стоимость 1 часа рабочей силы USD/чел. — час.

Стоимость оборудования C_{equip} рассчитывается по формуле:

$$C_{equip} = C_{equip-1t} \cdot W_{equip},$$

где $C_{equip-1t}$ — стоимость 1 т оборудования, USD/т; W_{equip} — масса оборудования, т.



Рис. 1. Схема разбивки массы порожнем на составляющие

Масса оборудования W_{equip} включает в себя электрическую систему, электронное оборудование, вспомогательные системы, оснастку, специальные системы.

Таким образом,

$$W_{equip} = W_{300} + W_{400} + W_{500} + W_{600} + W_{700}.$$

Тогда, выражение для расчета стоимости оборудования перепишем в следующем виде:

$$C_{equip} = C_{equip-lt} (W_{300} + W_{400} + W_{500} + W_{600} + W_{700}).$$

Общая стоимость энергетической установки включает в себя стоимость главного двигателя, редуктора и движителя. Кроме этого необходимо учитывать дополнительно 40% на другое оборудование, связанное с главным двигателем и трудоемкость (чел. – час) монтажа всего основного оборудования двигателя [1].

Поэтому, формула для определения стоимости энергетической установки C_{ma} имеет следующий вид:

$$C_{ma} = (C_{md} + C_{rv} + C_p) \cdot 1,40,$$

где C_{md} — стоимость главного двигателя, USD; C_{rv} — стоимость редуктора, USD; C_p — стоимость движителя (винт, водомет, IPS), USD.

В основном на ЛК устанавливают дизельные главные двигатели, поэтому, рассматриваем стоимость именно дизельного двигателя

$$C_{md} = 0,262 \cdot EHP \cdot 10^3, \text{ USD},$$

где EHP — мощность главного двигателя.

Стоимость редуктора определяется следующей зависимостью:

$$C_{rv} = (57 + 0,0214 \cdot EHP - 3 \cdot 10^{-7} \cdot EHP^2) \cdot 10^3, \text{ USD}.$$

Если в качестве движителя выбран водомет, то его стоимость рассчитывается по формуле:

$$C_{wj} = (0,468 \cdot EHP^{0,82}) \cdot 10^3.$$

Эксплуатационные расходы определяются в соответствии с классической формулой [3, 4]:

$$C = C_{fix} + C_{var},$$

где C_{fix} — постоянные расходы, USD; C_{var} — переменные расходы, USD.

Постоянные эксплуатационные расходы в общем виде можно представить следующим выражением:

$$C_{fix} = C_d + C_{is} + C_{sp} + C_{rc} + C_{agc} + C_{crew} + C_{plt} + C_{tax}, \text{ USD},$$

где C_d — амортизационные расходы (Depreciation-Costs), USD; C_{is} — расходы на страхование (InsuranceCosts), USD; C_{sp} — расходы на снабже-

ние (SupplyCosts), USD; C_{rc} — расходы на ремонт (RepairingCosts), USD; C_{agc} — административно-управленческие расходы (Administration and General Charges), USD; C_{crew} — расходы на содержание экипажа (CrewCosts), USD; C_{plt} — расходы на содержание лоцманов (PilotCosts), USD; C_{tax} — налоговые отчисления (Taxes), USD.

Расходы на ремонт и снабжение C_{rc} , амортизационные расходы C_d страхование C_{is} , административно-управленческие расходы C_{agc} определяются в процентах от строительной стоимости судна C_{build} .

$$C_i = q_i \cdot C_{build}, \text{ USD},$$

где i — категория расходов (амортизационные, снабжение и ремонт, страхование, административно-управленческие расходы); q_i — норма отчислений для соответствующей категории расходов.

Расходы на содержание экипажа C_{crew} и лоцманов C_{plt} учитывают заработную плату и вознаграждения, отчисления в пенсионный фонд, расходы по социальному страхованию, транспортные расходы [1].

$$C_{crew} = N_{crew} \cdot S_{crew} \cdot T_{op}, \text{ USD},$$

$$C_{plt} = N_{plt} \cdot S_{plt} \cdot \left(1 + \frac{q_{rp}}{100}\right) \cdot T_{op}, \text{ USD},$$

где N_{crew} и N_{plt} — количество членов экипажа и лоцманов; S_{crew} и S_{plt} — заработная плата одного члена экипажа и лоцмана, USD/мес.; q_{rp} — надбавки к заработной плате лоцманов; T_{op} — период эксплуатации ЛК, мес.

Надбавки q_{rp} учитываются в соответствии с принятыми в организации, занимающейся лоцманским обслуживанием нормативными документами. Так, в августе 2008 года в филиале «Дельта-лоцман» впервые было разработано и внедрено Положение про порядок и условия установления персональных надбавок для лоцманов. Основными критериями, положенными в основу расчета персональных надбавок для лоцманов являются: количество лоцманских проводок и их сложность, а также стаж работы лоцмана на предприятии.

Таким образом, расходы на содержание экипажа и лоцманов составляют:

$$C_{crew+plt} = C_{crew} + C_{plt}, \text{ USD}.$$

К переменным эксплуатационным расходам относятся затраты на топливо C_{fo} и смазочное масло C_{oil} .

$$C_{var} = C_{fo} + C_{oil}, \text{ USD}.$$

Расходы C_{fo} , C_{oil} определяются в зависимости от количества потребления топлива и смазочного масла ЛК, а также, от установленных на рынке цен и количества заявок в день на проводку судов.

$$C_{crew} = N_{crew} \cdot S_{crew} \cdot T_{op}, \text{ USD};$$

$$C_{plt} = N_{plt} \cdot S_{plt} \cdot \left(1 + \frac{q_{rp}}{100}\right) \cdot T_{op}, \text{ USD},$$

где q_{fo} , q_{oil} — количество топлива и смазочного масла необходимого для проводки одного судна, соответственно, т.

Как правило, количество смазочного масла q_{oil} принимается в соответствии с соотношением $C_{oil} = 0,05 \cdot q_{fo}$, то есть, равным 5% от количества необходимого топлива.

c_{fo} , c_{oil} — цена 1 т топлива и смазочного масла соответственно, USD/т;

n_{pl} — количество заявок на проводку в день.

Количество заявок на проводку в день n_{pl} определяется путем «статистического моделирования» в модели функционирования.

Количество топлива q_{fo} , необходимого для проводки одного судна определяется следующим выражением

$$q_{fo} = S_{fc} \cdot EHP \cdot t_{pl}, \text{ т},$$

где S_{fc} — удельный расход топлива, г / (кВт · ч); EHP — мощность главного двигателя, кВт; t_{pl} — ходовое время (время доставки лоцмана на судно), ч.

Время доставки лоцмана на судно t_{pl} находится из отношения пройденного пути к скорости ЛК

$$t_{pl} = \frac{Z_{pl}}{v_{pl}},$$

где Z_{pl} — расстояние, которое проходит ЛК до пункта высадки лоцмана, мили; v_{pl} — скорость проводки ЛК, узлы.

В соответствии с Правилами плавания и лоцманского обслуживания судов в северо-западной части Черного моря, Бугско-Днепровско-Лиманском (БДЛК) и Херсонском морском каналах [8] скорость судов, следующих по БДЛК, кроме судов на подводных крыльях, не должна превышать:

- 1) 12 узлов — при осадке меньше чем 7,0 м;
- 2) 10 узлов — при осадке от 7,0 до 9,0 м;
- 3) 9 узлов — при осадке больше чем 9,0 м.

Доход от эксплуатации ЛК в отечественной практике определяется выражением:

$$I = 0,0008 \cdot V_{LBD} \cdot S_{pl} + 0,0092 \cdot V_{LBD},$$

где V_{LBD} — условный объем судна, требующего лоцманской проводки, м³; S_{pl} — расстояние внешнепортовой проводки, мили.

В соответствии с мировой практикой для определения дохода используется формула:

$$I = (P_d + R_{pd} \cdot GRT) \cdot n_{pl}, \text{ USD},$$

где P_d — фиксированная плата за проводку, USD; R_{pd} — ставка лоцманского сбора, USD/м³; GRT — валовая вместимость, м³, n_{pl} — количество лоцманских проводок.

ВЫВОДЫ. В результате анализа системы лоцманского обслуживания и особенностей проектирования высокоскоростных ЛК, предложены формулы для расчета экономических показателей. Представленные зависимости используются в математической модели судна для определения общего показателя эффективности в задачах исследовательского проектирования и оптимизации основных характеристик судов данного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Бойко, А. П.** Розробка методики оптимального проектування суден з малою площею ватерлінії [Текст] : дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.08.03 — Конструирование и постройка судов / А. П. Бойко. — Николаев, 2010. — 239 с.
- [2] **Бондаренко, А. В.** Методика расчета эффективности скоростных автопассажирских катамаранов при концептуальном проектировании [Текст] / А. В. Бондаренко, Д. Т. Буй // Судноводіння : Зб. наук. праць / ОНМА. — Вип. 24. — Одеса : ВидавІнформ, 2014. — С. 32–40.
- [3] **Войлошников, М. В.** Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность [Текст] / М. В. Войлошников. — Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2002. — 586 с.
- [4] **Клева, Я. А.** Особливості вибору оптимальних характеристик лоцманських катерів [Текст] / Я. А. Клева, О. В. Бондаренко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії 2012, № 2 (7). — С. 62–68.
- [5] **Клева, Я. А.** Расчет нагрузки масс лоцманских катеров на этапе концептуального проектирования [Текст] / Я. А. Клева, А. В. Бондаренко // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. — 2012. — № 2. — С. 55–64.
- [6] **Краев, В. И.** Экономические обоснования при проектировании морских грузовых судов [Текст] / В. И. Краев, О. К. Ступин, Э. Л. Лимонов. — Л. : Судостроение, 1973. — 292 с.
- [7] **Нгуен, Г. Х.** Определение экономических показателей быстроходных пассажирских судов на начальных этапах проектирования [Текст] / Г. Х. Нгуен // Судноводіння : Зб. наук. праць / ОНМА. — Вип. 22. — Одеса : ВидавІнформ, 2013. — С. 164–173.
- [8] Наказ «Про затвердження Правил плавання і лоцманського проведення суден у північно-західній частині Чорного моря, Бугсько-Дніпровсько-лиманському та Херсонському морському каналах» від 01.08.2007 № 655: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1150-07>.

- [9] **Grubisic, I.** Reliability of Weight Prediction in Small Craft Concept Design [Text] / I. Grubisic // Proc. of 6th HIPER Congress. Naples, 2008. — 18th–19th September. P. 215—226.
- [10] **Goutam, K. S.** Optimization of the preliminary design parameters and cost evaluation of container vessel for the inland waterways of Bangladesh [Text] / K. S.Goutam, M. Golam, H.Md. Emdadol // *Proc. of MARTEC, The International Conference on Marine Technology Dhaka, Bangladesh, 2010. 11–12 December. P. 195–204.*
- [11] **Karayannis, T.** Data for High-Speed Vessels [Text] / T. Karayannis, A. F. Molland, Y. Williams // Fifth International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'99), Seattle, Washington, USA, August 31-September 2, 1999. — Washington, 1999. — P. 605–615.
- [12] **Moraes, H. B.** Multiple criteria optimization applied to high speed catamaran preliminary design [Text] / H. B. Moraes, J. M. Vasconcellos, P. M. Almeida // *Ocean Engineering* — 2007. — Vol. 34. — P. 133–147.

© Я. А. Клева

Надійшла до редколегії 27.07.2016

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов