

УДК 623.828:532.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.457>

Исследование взаимосвязей между техническими и экономическими характеристиками речных грузовых судов при эксплуатационно-экономическом обосновании

А.Ю. Платов

DOI: 0000-0002-4589-0348,

Ю.И. Платов

DOI: 0000-0003-1758-1684

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Одной из проблем эксплуатационно-экономического обоснования является определение экономической эффективности нового судна. Сложность проблемы возрастает для судов смешанного и внутреннего плавания из-за высокой вариативности условий плавания, существенно влияющих на показатели эффективности. Цель статьи заключается в изучении взаимного влияния технических характеристик грузового судна смешанного плавания и экономических показателей его работы при учёте условий плавания на конкретных участках водных путей. Рассмотрены различные технические характеристики и показано, что наиболее комплексным является показатель удельного расхода топлива на тонно-километр. Проведена оценка влияния погрешности прогнозных технических параметров на экономические показатели. Показано, что оптимальность экономических показателей зависит от характеристик водного пути так, что судно, оптимальное на одном водном пути может быть неоптимальным на другом. Также установлено, что оптимальные технические параметры не всегда согласуются с оптимальными экономическими.

Ключевые слова: предельная цена судна, срок окупаемости судна, эксплуатационные расходы, экономическая эффективность судна, расход топлива, удельный расход энергии, удельная транспортная работа, обоснование новых судов, грузовые суда внутреннего и смешанного плавания.

Study of the relationships between the technical and economic characteristics of river cargo ships during operational and economic feasibility studies

Alexander J. Platov

DOI: 0000-0002-4589-0348,

Juri I. Platov

DOI: 0000-0003-1758-1684

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the problems of operational and economic feasibility is determining the economic efficiency of a new vessel. The complexity of the problem increases for mixed and inland navigation vessels due to the high variability of navigation conditions, which significantly affect efficiency indicators. The purpose of the article is to study the mutual influence of the technical characteristics of a mixed navigation cargo ship and the economic indicators of its operation, taking into account the navigation conditions on specific sections of waterways. Various technical characteristics are considered and it is shown that the most comprehensive indicator is the specific fuel consumption per ton-kilometer. The influence of

the error of forecast technical parameters on economic indicators was assessed. It is shown that the optimality of economic indicators depends on the characteristics of the waterway so that a vessel that is optimal on one waterway may not be optimal on another. It has also been established that optimal technical parameters do not always agree with optimal economic ones.

Keywords: maximum price of the vessel, payback period of the vessel, operating costs, economic efficiency of the vessel, fuel consumption, specific energy consumption, specific transport work, justification of new vessels, inland and mixed cargo vessels.

Введение

Определение экономической эффективности новых судов при эксплуатационном обосновании – это одна из центральных проблем, которая не имеет общепризнанного решения. Оценка эффективности проектируемых судов производится с помощью различных экономических показателей, среди которых эксплуатационные расходы на единицу грузоподъёмности или на тонно-километры, себестоимость перевозок, стоимость строительства судна, рентабельность судна, срок окупаемости и т.д.

Известная проблема такой оценки состоит в отсутствии или недостатке экономических данных, что заставляет использовать прогнозные значения цен, объёмов перевозок, стоимости постройки судна и т.д. При оценке эффективности судов внутреннего плавания возникает ещё одна сложность: влияние условий плавания: мелководья, течения, стеснённости водного пути, ограничений скорости на каналах. Как показано в [1] использование простых способов для учёта условий плавания приводит к значительным погрешностям (более 30%) по величине расхода топлива в ходу, что, учитывая высокую долю таких расходов в суммарных эксплуатационных затратах, приводит к недостоверной оценке экономики нового судна.

Способом повышения достоверности оценки экономической эффективности является использование более сложных моделей для описания поведения системы «корпус-двигатели-движители» (КДД). Как показано в [2], это позволяет существенно повысить точность оценки затрат на топливо для проектируемых судов.

Другой ранее предложенный способ повышения достоверности основан на сравнении предельной цены альтернативных проектов судов [3]. Исключение из расчёта строительной стоимости судна, которую проблематично оценивать в силу закрытости данных в российском судостроении, позволяет сравнивать между собой суда близких проектов, для которых можно ожидать незначительного расхождения в строительной стоимости. Тем не менее, для вычисления предельной цены требуются прогнозные значения объёмов перевозок, значения фрахтовых ставок, цены на топливо, а также других расходов в течение нормативного срока службы судна.

Кроме того, достоверность экономических расчётов снижается из-за изменчивости и неустойчивости денежной единицы, что может привести к ошибочной оценке производственных процессов и поэтому необходимо использование дополнительной системы измерителей, в некоторой степени компенсирующей недостатки чисто денежной оценки [4].

Актуальность дополнительной системы оценивания, кроме указанных теоретических соображений подтверждается тем фактом, что новые суда с повышенной полнотой обладают на практике невысокой рентабельностью, несмотря на существующие обоснования их повышенной эффективности по сравнению с судами традиционных обводов [5].

В настоящей работе исследуется возможность повышения достоверности экономического обоснования грузовых судов за счёт применения как экономических, так и технических показателей.

Показатели экономической эффективности нового судна

В [3] был предложен следующий показатель для сравнения эффективности проектов судов. Это предельная цена судна MP , которая определяется по следующему выражению:

$$MP = \sum_{t=1}^T [(I_t - C_t - P_t - A_t)(1 - r) + A_t] \alpha_t - RC \alpha_T, \tag{1}$$

где t – текущий год прогнозного периода; T – срок жизненного цикла судна; I_t – доходы от перевозок грузов в каждом t -м году эксплуатации судна, тыс. руб.; C_t – расходы в каждом t -м году эксплуатации судна, тыс. руб.; P_t – налог на имущество в t -м году, тыс. руб.; r – ставка налога на прибыль, в долях ед.; A_t – амортизационные отчисления на реновацию в каждом t -м году, тыс. руб.; RC – ликвидационная стоимость в последнем году, тыс. руб.; α_t – коэффициент дисконтирования в каждом t -м году эксплуатации судна, α_T – коэффициент дисконтирования в последнем году эксплуатации судна.

Смысл оценки (1) состоит в первую очередь в исключении из набора экономических параметров стоимости постройки судна. Эту стоимость может с достаточной точностью определить только судостроитель. Кроме того, из открытых источников можно видеть, что стоимость постройки судов смешанного плавания в разных странах может отличаться в два раза [6], что лишает смысла использования этого показателя как оценки эффективности именно технического проекта судна.

Для дальнейшего применения показателя (1) представляется целесообразным его упрощение. Для этого нужно, во-первых, учесть льготы при строительстве судов. Во-вторых, не будем учитывать ликвидационную стоимость. В-третьих, можно предположить постоянство экономических условий. Тогда после несложных преобразований получим из (1) следующее выражение:

$$MP = (I_1 - C_1) \sum_{t=1}^T \alpha_t, \tag{2}$$

где I_1 и C_1 – ежегодные доходы и расходы по судну.

При непрерывной работе судна в течение всей навигации продолжительностью $t_{нав}$ выражение (2) получит вид:

$$MP = Q_3 n_p \mu_{mp} \sum_{t=1}^T \alpha_t, \tag{3}$$

где Q_3 – эксплуатационная загрузка судна, т; $n_p = \frac{t_{нав}}{t_p}$ – количество круговых рейсов за навигацию; t_p – время кругового рейса, сут.; μ_{mp} – удельная прибыль за рейс, тыс. руб./т, которая вычисляется следующим образом:

$$\mu_{mp} = f - \frac{1}{Q_3} (c_1 B + c_2 t_p + c_3), \tag{4}$$

где f – фрахтовая ставка, тыс. руб./т; c_1 – цена топлива, тыс. руб. т; c_2 – удельные условно-постоянные расходы, тыс. руб./сут; c_3 – расходы на портовые сборы и прохождение внутренних водных путей, а также прочие прямые расходы, тыс. руб.; B – расход топлива ГД, а также автономными котлами и вспомогательными двигателями.

Из (4) может быть получена относительная величина, которую будем называть удельной предельной ценой mp , равной предельной цене, приходящейся на одну тонну груза:

$$mp = MP/Q_э = \mu_{mp} n_p \sum_{t=1}^T \alpha_t. \quad (5)$$

Величины (3)-(5) будут одинаковы либо при постоянном по годам объёме перевозок G_r и потребности во флоте Φ :

$$\Phi = \frac{G_r}{n_p Q_э}, \quad (6)$$

либо при перевозках одним судном максимального количества груза каждую навигацию.

При проектировании близких по параметрам судов величины (3)-(5) могут служить дополнительной характеристикой по оценке эффективности. Однако, неизвестные изменения в стоимостных показателях, а изменчивость условий плавания по водным путям и периодам навигации будут приводить к большим вариациям этих показателей. В результате более эффективное судно на заданном направлении перевозок может оказаться менее эффективным на другом направлении по сравнению с альтернативным проектом.

Возможно ли сопоставить эти стоимостные показатели с некоторыми иными, характеризующими только техническое совершенство нового судна? Рассмотрим это вопрос.

Показатели технического совершенства судна

Вопрос оценки технического качества судна затрагивался в большом количестве публикаций [7-17]. Можно показать, что наиболее полным в смысле охвата гидродинамических характеристик судна критерием является показатель удельной транспортной работы [17], ткм/кВт-ч:

$$K_Q = \frac{Qv}{N_e}, \quad (7)$$

где Q – грузоподъемность судна, т; v – скорость судна, м/с; N_e – эффективная мощность СЭУ, кВт.

Действительно, данный критерий выражается через ряд других критериев, предлагаемых разными авторами для оценки технического качества судна, следующим образом:

$$K_Q = \eta_r K_D = \frac{\eta_r \eta_n}{r_D} = \frac{1}{g} \eta_R \eta \eta_r \eta_n, \quad (8)$$

где

η_n – к.п.д. передачи;

$\eta_r = \frac{Q}{D}$ – коэффициент использования водоизмещения;

$K_D = \frac{Dv}{N_e}$ – пропульсивное качество судна, ткм/кВт-ч;

$\eta = \frac{Rv}{N_p}$ – пропульсивный коэффициент;

$r_D = \frac{R}{D}$ – удельное сопротивление, кН/т;

$\eta_R = \frac{gD}{R}$ – коэффициент гидродинамического качества;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

D – массовое водоизмещение, т;

N_p – суммарная мощность на валу гребных винта, кВт;

R – сопротивление воды движению судна, кН.

Обратное значение показателя (1) - $K_E = 1/K_Q$ – будет равно удельному расходу энергии на единицу ткм.

Критерий (7) не учитывает технического качества главных двигателей (ГД), но лишь техническое качество системы «корпус-двигатели». Для оценки всей системы КДД может служить хорошо известный показатель удельного расхода топлива, г/ткм:

$$K_G = \frac{G}{Qv}, \tag{9}$$

где G – часовой расход топлива ГД при скорости v , г/ч. Нетрудно видеть, что с показателем удельного расхода энергии показатель (9) связан соотношением:

$$K_G = g_e K_E, \tag{10}$$

где $g_e = G/N_e$ – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

На рис. 1 представлены значения величин K_G и K_E , вычисленных по данным натурных испытаний сухогрузных и наливных самоходных судов [18, 19].

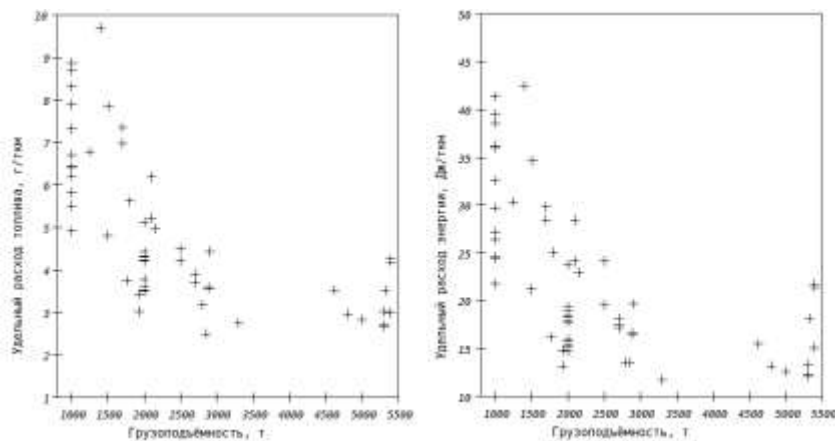


Рис. 1. Зависимость удельного расхода топлива (слева) и удельного расхода энергии (справа) от грузоподъёмности

Из рис. 1 можно видеть хорошо известный закон повышения удельной экономичности судна с ростом его грузоподъёмности. Разброс данных зависит практически полностью от качества системы «корпус-двигатель», а не от качества ГД. Это можно видеть из правого рисунка, в котором нет влияния эффективного к.п.д. ГД.

Прогнозирование мощности при заданных скорости и размерениях судна является известной проблемой обоснования судов. Для примера на рис. 2 приведены результаты прогнозирования удельного расхода энергии K_E (УРЭ) мощности при заданных скорости и водоизмещении.

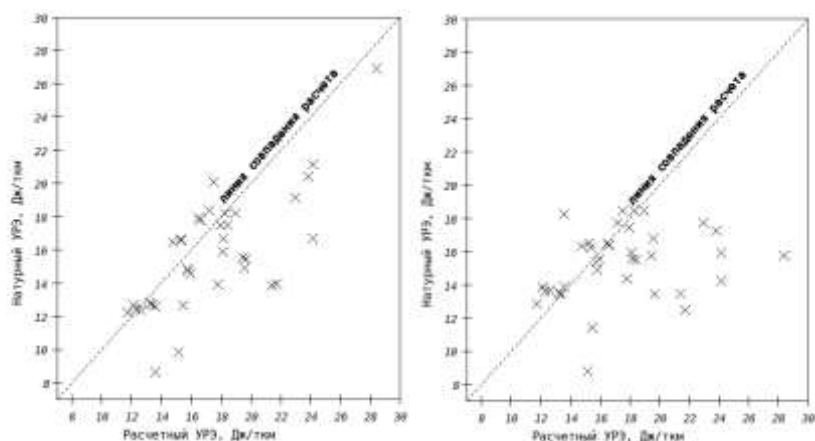


Рис. 2. Прогнозное значение K_E в сравнении с его точным значением.
 Слева: при точном значении Q , справа: при прогнозном

Данные на рис. 2 рассчитывались с помощью следующих регрессионных зависимостей, построенных по натурным испытаниям из судов [18, 19]:

$$Q = -134,64 + 0,756 DW, N_e = 1339 \left(\frac{v}{19,17}\right)^3 \left(\frac{DW}{8160}\right)^{2/3}; \quad (11)$$

где DW – водоизмещение судна, т.

Средняя погрешность для вычислений показателя K_E (по сути, это погрешность прогноза потребляемой мощности) на рис. 2 слева составляет 11,1%, а максимальная 36,3%. Аналогичные значения для рис 2. справа – 14,1% и 44,7% соответственно.

Значения погрешностей типичны для прогнозных расчётов, а вовсе не являются следствием применения простых регрессий типа (11). Как показано в [2], все существующие инженерные методы прогноза мощности имеют приблизительно одинаковые средние погрешности. В качестве примера можно заметить, что при прогнозе мощности судна RSD44, выполненным Морским инженерным бюро в апреле 2009 г., была допущена ошибка в 15% в большую сторону.

Это означает, что практическое применение показателей (7) или (9) имеет смысл лишь при сравнении альтернативных проектов. Однако для применения стоимостных показателей эффективности необходимо использовать прогноз мощности, который позволит вычислить расход топлива на ГД. Рассмотрим, как повлияет погрешность прогноза мощности на погрешность прогноза эксплуатационных затрат.

Пусть относительная погрешность прогноза мощности равна δ . Будем считать, что погрешность вычисления расхода топлива такая же. Это допущение будет верно, если эффективный к.п.д. двигателя считать постоянным, а прогнозную скорость близкой к точной.

Будем также считать, что расходы на топливо для ГД составляет примерно половину эксплуатационных затрат. Тогда несложно оценить, что относительная погрешность вычисления общих эксплуатационных затрат при точном прогнозировании остальных статей будет составлять $\delta/2$. Относительный рост цен на топливо эту погрешность будет только увеличивать.

Рассмотрим, как повлияет эта ошибка на вычисления срока окупаемости. Номинальный срок окупаемости вычисляется при льготировании новых судов по выражению

$$T_{ок} = \frac{K}{I-C}, \quad (12)$$

где K – стоимость постройки судна, I – доходы за навигацию, C – эксплуатационные расходы на навигацию.

Примем, что все величины, кроме расходов определяются точно, а расходы определяются с погрешностью: $C' = (1 + \frac{\delta}{2})C$. Тогда абсолютная ошибка определения номинального срока окупаемости будет равна

$$\frac{K}{I-C'} - \frac{K}{I-C} = \frac{\delta}{2} \frac{K}{I-(1+\frac{\delta}{2})C} \frac{1}{r} \approx T_{ок} \frac{\delta}{2r}, \tag{13}$$

где $r = \frac{I-C}{C}$ – рентабельность судна.

Принимая рентабельность равной 30%, а среднюю погрешность $\delta = 0,1$ получим, что относительная погрешность прогнозирования срока окупаемости будет в среднем 17%. При максимальной погрешности прогноза мощности (примем 0,4) будем иметь погрешность срока окупаемости – 67%.

Полученные оценки погрешности могут стать значительно больше, так как все остальные показатели, принимаемые в (13) точными, могут иметь также большие отклонения от точных значений.

Если рентабельность будет большой, то ошибка прогноза срока окупаемости станет меньше. Поэтому логично, что востребованность более точных методов прогнозирования растёт в более жёстких экономических условиях.

Метод исследования

Рассмотрим вопрос о тесноте связи между показателем K_G и экономическими показателями эффективности MP , tr и μ_{mp} . Для вычисления всех этих показателей будем использовать ряд следующих методов.

Как уже говорилось, достоверная оценка экономики судна внутреннего плавания требует учёта условий плавания, а также более сложного моделирования движения судна для адекватного расчёта расхода топлива главными двигателями судна (ГД). Для этого будут применяться модели, описанные в [20].

Достоверность этих моделей подтверждена многолетней практикой. Данные модели использовались для разработки программных комплексов нормирования и рейсового планирования для пароходств «Волготанкер», «Волжского речного пароходства», «БЭСТ». Программный комплекс, внедрённый в пароходство «Волготанкер», эксплуатировался с 1998 г. по 2005 г., а комплекс, созданный для ОАО «Волжское пароходство», эксплуатировался с 2001 г. по 2020 г.

Для исследования использовались данные натурных испытаний грузовых судов внутреннего и смешанного плавания из [18, 19], а также данные натурных испытаний, выполненных в 90-х и 2000-х годах сотрудниками «Волготанкер», «Волжского речного пароходства» Есиным А.И. и Смирновым С.Г. для применения в упомянутых программных комплексах. Примеры некоторых данных по сухогрузным грузовым судам приведены в табл. 1

Таблица 1

Некоторые характеристики сухогрузных судов

Проект	$Q_э$, т	v , км/ч	G , кг/ч	K_G , г/ткм
507Б	5300	20,2	285,1	2,33
507А	5300	20,0	319,9	2,55
RSD-44	5319	22,0	412,2	3,44
RST54	5395	20,4	461,3	4,10
507Б	5300	20,0	285,1	2,35
1565М	4800	19,2	288,7	2,79

Проект	$Q_э$, т	v , км/ч	G , кг/ч	K_G , г/ткм
05074М	4800	19,4	316,0	2,64
16510	4760	20,9	370,1	3,42

Значения скорости v и часового расхода топлива G получены по натурным испытаниям из [18,19], а также по испытаниям некоторых новых судов. Величина K_G получена расчётом, при котором выполнена корректировка расхода топлива на скорости v , а также номинального расхода топлива ГД так, чтобы на номинальном режиме удельный расход топлива был бы равен $g_e = 192$ г/кВт·ч. Это сделано для того, чтобы исключить из дальнейших расчётов влияние качества ГД и оценивать техническое совершенство только системы «корпус-двигатели». Такая корректировка необходима, так как среди судов в [18, 19] есть очень старые проекты 50-х годов, экономичность двигателей которых существенно хуже современных судовых дизелей.

Кроме того, из табл. 1 можно видеть, что в данных по судам имеются суда одинаковых проектов, за которыми, однако, стоят разные конкретные суда, испытанные в разное время при различных условиях.

Общие эксплуатационные расходы на рейс C_p считаются по выражению

$$C_p = c_1 B + c_2 t_p + c_3. \quad (14)$$

Цена топлива c_1 принята 50 тыс. руб. за тонну, а портовые сборы c_3 приняты для всех судов одинаковыми в размере 77 тыс. руб., что соответствует данным по 2021 г.

Часовой расход топлива автономным котлом вычисляется по выражению:

$$G_{AK} = 1,1 \cdot 1,15 \frac{q}{H_u \eta_{AK}}, \quad (15)$$

где H_u – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг (принимается 42700); $\eta_{AK} = 0,96$ – к.п.д. котла; q – потребность в тепле, кДж/ч; множитель 1,1 – коэффициент учитывающий потери тепла в системе и неучтенные расходы тепла; множитель 1,15 учитывает расход тепла на подогрев масла, топлива и механизмов [21].

Потребность в тепле складывается из потребности на отопление $q_{от}$, а также на хозяйственные нужды $q_{хб}$.

Потребность в отоплении считается по формуле из [21]:

$$q_{от} = (83800 + 42Q), \quad (16)$$

где $k = 0,6 + 0,4 \exp(-0,55(t_{воз} + 5))$, $t_{воз}$ – средняя температура воздуха, °С (принята 15°С).

Потребность на хозяйственные нужды вычисляется по выражению [21]:

$$c_{хб} = m_{гв} n c_{вод} (t_{гв} - t_{зв}) / 24, \quad (17)$$

где $m_{гв} = 70$ – норма расхода горячей воды, л/чел. в сут.; $n=10$ – численность экипажа, чел.; $c_{вод} = 4,19$ – теплоёмкость воды, кДж/(кг К); $t_{гв}=70$ – температура горячей воды, °С; $t_{зв} = 20$ – температура забортной воды, °С.

Средняя зарплата принимается равной 150 тыс. руб. в месяц, поэтому:

$$c_{зп} = 150n/30. \quad (18)$$

Расходы на КОФ вычисляются по выражению из [22]:

$$c_{КОФ} = n c_{св} q_{св} + n c_{м} q_{м} + c_{нв} q_{нв}. \quad (19)$$

где $q_{св} = 0,15$ – норма накопления сточных вод, м³/чел. в сут.; $q_m = 0,0023$ – норма накопления сухого мусора и пищевых отходов, м³/чел. в сут.; $q_{нв} = 0,71$ – норма накопления нефтесодержащих вод, м³/сут. Значения величин взяты из [22].

Расходы на утилизацию сточных вод, мусора и нефтесодержащих вод приняты по данным Ярославского порта [23] в 2022 г. и равны соответственно: $c_{св} = 725$ руб./м³, $c_m = 802$ руб./м³, $c_{нв} = 1400$ руб./м³.

Расходы на питание определяются по выражению:

$$c_{пит} = 1500n. \tag{20}$$

Время рейса t_p вычисляется по выражению, ч:

$$t_p = (t_x + t_{шл} + t_{гр}), \tag{21}$$

где t_x – ходовое время, ч; $t_{шл}$ – время шлюзования, включая ожидание шлюзования, ч; $t_{гр}$ – время погрузки и выгрузки, включая ожидание грузовых работ, ч.

Ходовое время рассчитывается с помощью моделей движения [20]. Время шлюзования рассчитывается по методике [24]. Время погрузки и выгрузки рассчитывается по судочасовым нормам. В настоящей работе были приняты нормы для погрузки-выгрузки руды, которые равны 221 т/ч для погрузки и 181 т/ч для выгрузки [25].

Для расчёта других данных принята фрахтовая ставка в размере 2,66 тыс. руб./т., что соответствует среднему значению по отчётности Волжского пароходства за 2021г.

Результаты расчётов

С помощью описанных выше методов были рассчитаны показатели эффективности для одиннадцати условных направлений перевозок. Время навигации для всех направлений принято равным 180 сут. Работа судна выполнялась круговыми рейсами: грузёным в прямом и в балласте в обратном направлении. В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчёта на участке Череповец-С.-Петербург.

Таблица 2

Показатели работы судов на участке Череповец-С.-Петербург

Проект	B , т	c_2 , тыс. руб./сут	t_p , ч	n_p	MP , млн. руб.	mp , тыс. руб./т	μ_{mp} , тыс. руб./т
507Б	21,8	283,2	241,5	17	1487,97	280,75	1,89
507А	24,3	283,6	242,1	17	1468,94	277,16	1,87
RSD-44	33,8	314,4	236,2	18	1456,18	273,77	1,74
RST54	40,2	300,2	244,7	17	1362,74	252,59	1,70
507Б	22,1	281,3	242,2	17	1487,46	280,65	1,89
1565M	22,9	272,1	232,3	18	1392,44	290,09	1,85
05074M	23,0	280,2	231,4	18	1382,33	287,99	1,84
16510	28,1	300,5	225,5	19	1379,39	289,79	1,75

Список остальных направлений можно видеть из табл. 3. Там же приведены вычисленные коэффициенты корреляции зависимости экономических показателей (3)-(5) от удельного расхода топлива для судов с грузоподъёмностью больше 4000 т.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей для судов с $Q \geq 4000$ т

Водный путь	Коэффициенты корреляции с K_G		
	MP	mp	μ_{mp}
Вознесенье-Свирица	-0,98	-0,33	-0,95
Самара-Кавказ	-0,81	-0,92	-0,97

Череповец-С.-Петербург	-0,65	-0,62	-0,98
Самара-С.-Петербург	-0,92	-0,98	-0,98
Петрозаводск-С.-Петербург	-0,61	-0,52	-0,97
Череповец-Устье р. Вытегра	-0,63	-0,55	-0,96
Самара-Ростов	-0,89	-0,91	-0,98
С.-Петербург-Архангельск	-0,71	-0,88	-0,97
С.-Петербург-Гамбург	-0,75	-0,92	-0,99
Волгоград-Ростов	-0,86	-0,80	-0,97
Кавказ-Стамбул	-0,71	-0,88	-0,97

Можно видеть, что связь удельного расхода топлива и удельной рейсовой прибыли $\mu_{тр}$ связаны очень сильно. Связь с MP тоже очень тесная, но она ослабляется на тех направлениях перевозок, на которых имеются участки с ограничениями по скорости (каналы), а также на сугубо глубоководных участках.

При относительном росте цены на топливо связь ожидаемо становится теснее.

Эти результаты позволяют предполагать, что показатель удельного расхода может служить средством оценки экономической эффективности, независимой от конкретных экономических условий. Иначе говоря, судно более эффективное по показателю K_G будет в большинстве случаев более эффективным и экономически для любой реалистичной экономической ситуации.

В связи с этим интересно сравнение результатов экономической оценки судов с разной полнотой, выполненных в [5]. В этой работе показано, что наиболее экономически эффективным является судно с полнотой водоизмещения $\delta = 0,87$. Авторы провели свои собственные расчёты с использованием вышеописанных методов. Их результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Показатели работы судов типа «Волго-Дон макс» на участке Петрозаводск-С.-Петербург

Полнота водоизм.	$Q_{э}$, т	v , км/ч	G , кг/ч	K_G , г/ткм	MP , млн.руб.	mp , тыс. руб./т	$\mu_{тр}$, тыс. руб./т	$c_{уд}$, руб./ткм
$\delta = 0,82$	3495	19,5	229	3,36	3882,14	1110,77	2,09	0,98
$\delta = 0,85$	3763	19,5	239	3,25	3899,67	1036,32	2,12	0,92
$\delta = 0,87$	4087	19,5	246	3,09	4312,75	1055,24	2,16	0,86
$\delta = 0,90$	4362	19,5	266	3,13	4581,85	1050,40	2,19	0,81
$\delta = 0,93$	3495	19,5	305	3,37	4747,26	1023,12	2,21	0,77

Для сопоставления с работой [5] приведены также результаты расчёта удельных эксплуатационных затрат, равных отношению затрат за рейс C_p , определяемых по (1), к расстоянию и грузоподъёмности. Авторы работы [5] использовали в качестве показателя для оценивания судов именно эти удельные затраты, и у них получился минимум для судна с полнотой водоизмещения $\delta = 0,87$.

В наших расчётах такого минимума нет, вероятно, из-за неизвестных различий в методике расчёта затрат. Однако показатель K_G имеет минимум для судна с той же полнотой. По нашему мнению данное совпадение сможет свидетельствовать о том, что исключение ошибок, связанных с вычислением «экономики», повышает достоверность оценки судна.

Представляет также интерес оценка «устойчивости» экономических показателей, под которой будем понимать частоту ситуаций, когда один проект грузового судна эффективнее на одном направлении перевозок, но менее эффективен на другом. Для этого по каждой паре направлений проводилось сравнение между парами проектов судов и подсчитывалось число расхождений в оценке экономических показателей судна.

При сравнении судов грузоподъемностью более 4000 т из 5400 пар в 1070 парах оценки экономических показателей по (3) не совпадают, что составляет 19,8%. Иначе говоря, экономическая оценка для какого-то выбранного направления недостаточна, в то время как показатель K_C независим от условий плавания.

Выводы

В результате проведенного исследования можно сделать несколько выводов.

Во-первых, при обосновании грузовых судов применение экономических критериев не является гарантией правильности выбора их параметров, как из-за неустойчивости денежной единицы, так и из-за вариабельности условий плавания на различных направлениях.

Во-вторых, использование только технических показателей также может привести к ошибкам из-за возможной высокой погрешности оценки проектных скорости и мощности.

В-третьих, экономические и физические критерии могут давать противоречивые оценки эффективности судов.

Поэтому для обеспечения достоверности и обоснованности выбора параметров судов (грузоподъемность, скорость, мощность, полнота и т.д.) необходимо:

а) проводить серию расчетов с использованием количественных относительных физических и стоимостных критериев и их производных при разных экономических условиях, а также условий плавания судов;

б) выбирать наиболее «согласованные» физические и экономические параметры;

в) по выбранным параметрам производить проверку, обеспечивающую максимизацию прибыли или предельной стоимости при изменении экономических условий.

Список литературы

1. Васильева О.Ю., Платов А.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». —2018. — С. 1-4.
2. Васильева О.Ю. Обоснование эксплуатационно-технических характеристик грузовых судов внутреннего плавания на основе критерия энергоэффективности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.19 / Васильева Оксана Юрьевна. – Нижний Новгород, 2022. - 27 с.
3. Васильева О.Ю., Никулина М.В., Платов Ю.И. Выбор эффективных судов по критерию предельной стоимости при эксплуатационном обосновании // Научные проблемы водного транспорта. — 2021. — №68(3). — С.172 – 181.
4. Сильченко Т.Ю. Точность экономических расчетов при обосновании управленческих решений в производственных системах промышленных предприятий // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2009. Т.7, № 3. С. 86-89.
5. Карташев А.Б., Сверчков А.В., Щемелинин Л.Г. Экономические аспекты повышения полноты обводов сухогрузных судов смешанного река-море плавания / А.Б. Карташев, А.В. Сверчков, Л.Г. Щемелинин // Транспорт Российской Федерации. – 2018. - №2 (75). С. 38-45.
6. «В Китае для российской компании построят 20 судов проекта Optimax». MediaПалуба, 02.11.2023 – URL: <https://paluba.media/news/60440>. (дата обращения 15.11.2023).
7. Звонков В.В. Судовые тяговые расчёты. — Москва: Речной транспорт, 1956. — 324 с.
8. Судовые тяговые расчёты / Под ред. В.Г. Павленко. — Москва: Транспорт, 1978. — 216 с.
9. Gabrielli G., von Karman T. What price speed? Specific power required for propulsion of vehicles // Mechanical Engineering, ASME. — 1950. — Vol. 72. № 10. — P. 775 – 781.

10. Yong J. Smith R., Hatano L. WHAT PRICE SPEED – REVISITED // *Ingenia*. — 2005. — ISSUE 22. — P.46-51.
11. Ляховицкий А. Г. Гидродинамическая эффективность скоростных судов: проекты и их реализация // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2014. — № 2 (24). — Т2. — С. 13 – 19. — ISSN: 2073-7173.
12. Сахновский Б.М. Разработка методологии обоснования проектных характеристик судов смешанного и внутреннего плавания с учетом доминирующих факторов эксплуатации / Сахновский Борис Михайлович. — Санкт-Петербург, 2006. — 319 с.
13. Конаков Г.А. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота / Г.А. Конаков, Б.В. Васильев; Под ред. Г.А. Конакова. — Москва: Транспорт, 1980. — 311 с.
14. Медведев Ю.М. Оценка эффективности работы двигателей пассажирских судов // *Наука и техника на речном транспорте*. — 1996. — С. 18 – 21.
15. Смирнов Н.Г. Обоснование оптимальных параметров основных элементов СЭУ грузовых судов. — Нижний Новгород, 1996. — 150 с.
16. Проектирование судов внутреннего плавания / Н.К. Дормидонтов, В.Н. Анфимов, П.А. Малый [и др.]. — Ленинград: Судостроение, 1974. — 335 с.
17. Вицинский В. В., Страхов А.П. Основы проектирования судов внутреннего плавания. — Ленинград: Судостроение, 1970. — 453 с.
18. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. — Москва: Транспорт, 1980. — 424 с.
19. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. — Москва: Транспорт, 1986. — 205 с.
20. Платов А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях. — Нижний Новгород, 2010. — 314 с.
21. Иконников С.А., Урланг Ф.Д. Силовые установки речных судов. — Москва: Транспорт, 1971. — 248 с.
22. Злобин Д.С. Совершенствование методов обоснования эксплуатационно-технических параметров судов «река-море» плавания. — Нижний Новгород, 2013. — 151 с.
23. Ярославский речной порт. — Ярославль, 2017. — URL: <https://yarport.com/uslugi/kompleksnoe-obslyuzhivanie-flota.php> (дата обращения: 15.11.2023).
24. Пьяных С.М. Методика нормирования затрат времени судами при прохождении шлюзов // *Труды ГИИВТ. - Горький*, 1972. - Вып. 117. Ч.1 - С. 100–116.
25. Справочник эксплуатационника речного транспорта / Под ред. С.М. Пьяных. — Москва: Транспорт, 1995. — 360 с.

References

1. Vasil'eva O.YU., Platov A.YU. Ehkspluatatsionno-ehkonomicheskoe obosnovanie parametrov rechnykh sudov na osnove IT // *Velikie reki 2018: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. FGBOU VO «VGUVT»*. —2018. — S. 1-4.
2. Vasil'eva O.YU. Obosnovanie ehkspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik gruzovykh sudov vnutrennego plavaniya na osnove kriteriya ehnergoehffektivnosti: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19 / Vasil'eva Oksana Yur'evna. — Nizhnii Novgorod, 2022. - 27 s.
3. Vasil'eva O.YU., Nikulina M.V., Platov YU.I. Vybor ehffektivnykh sudov po kriteriyu predel'noi stoimosti pri ehkspluatatsionnom obosnovanii // *Nauchnye problemy vodnogo transporta*. — 2021. — №68(3). — S.172 – 181.
4. Sil'chenko T.YU. Tochnost' ehkonomicheskikh raschetov pri obosnovanii upravlencheskikh reshenii v proizvodstvennykh sistemakh promyshlennykh predpriyatii // *Ehkonomicheskii vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*. — 2009. Т.7, № 3. S. 86-89.
5. Kartashev A.B., Sverchkov A.V., Shchemelinin L.G. Ehkonomicheskie aspekty povysheniya polnoty obvodov sukhogruzykh sudov smeshannogo reka-more plavaniya / A.B. Kartashev, A.V. Sverchkov, L.G. Shchemelinin // *Transport Rossiiskoi Federatsii*. — 2018. - №2 (75). S. 38-45.
6. «V Kitae dlya rossiiskoi kompanii postroyat 20 sudov proekta Optimax». *MediaPaluba*, 02.11.2023 – URL: <https://paluba.media/news/60440>. (data obrashcheniya 15.11.2023).
7. Zvonkov V.V. Sudovye tyagovye raschety. — Moskva: Rechnoi transport, 1956. — 324 s.
8. Sudovye tyagovye raschety / Pod red. V.G. Pavlenko. — Moskva: Transport, 1978. — 216s.

9. Gabrielli G., von Karman T. What price speed? Specific power required for propulsion of vehicles // Mechanical Engineering, ASME. — 1950. — Vol. 72. № 10. — P. 775 – 781.
10. Yong J. Smith R., Hatano L. WHAT PRICE SPEED – REVISITED // Ingenia. — 2005. — ISSUE 22. — P.46-51.
11. Lyakhovitskii A. G. Gidrodinamicheskaya ehffektivnost' skorostnykh sudov: proekty i ikh realizatsiya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. — 2014. — № 2 (24). — Т2. — S. 13 – 19. — ISSN: 2073-7173.
12. Sakhnovskii B.M. Razrabotka metodologii obosnovaniya proektnykh kharakteristik sudov smeshannogo i vnutrennego plavaniya s uchetom dominiruyushchikh faktorov ehkspluatatsii / Sakhnovskii Boris Mikhailovich. — Sankt-Peterburg, 2006. — 319 s.
13. Konakov G.A. Sudovye ehnergeticheskie ustanovki i tekhnicheskaya ehkspluatatsiya flota / G.A. Konakov, B.V. Vasil'ev: Pod red. G.A. Konakova. — Moskva: Transport, 1980. — 311 s.
14. Medvedev YU.M. Otsenka ehffektivnosti raboty dvizhitelei passazhirkikh sudov // Nauka i tekhnika na rechnom transporte. — 1996. — S. 18 – 21.
15. Smirnov N.G. Obosnovanie optimal'nykh parametrov osnovnykh ehlementov SEHU gruzovykh sudov. — Nizhnii Novgorod, 1996. — 150 s.
16. Proektirovanie sudov vnutrennego plavaniya / N.K. Dormidontov, V.N. Anfimov, P.A. Malyi [i dr.]. — Leningrad: Sudostroenie, 1974. — 335 s.
17. Vitsinskii V. V., Strakhov A.P. Osnovy proektirovaniya sudov vnutrennego plavaniya. — Leningrad: Sudostroenie, 1970. — 453 s.
18. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplokhodov. – Moskva: Transport, 1980. – 424 s.
19. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplokhodov. – Moskva: Transport, 1986. – 205 s.
20. Platov A.YU. Metodologiya operativnogo planirovaniya raboty rechnogo gruzovogo flota v sovremennykh usloviyakh. – Nizhnii Novgorod, 2010. — 314 s.
21. Ikonnikov S.A., Urlang F.D. Silovye ustanovki rechnykh sudov. — Moskva: Transport, 1971. — 248 s.
22. Zlobin D.S. Sovershenstvovanie metodov obosnovaniya ehkspluatatsionno-tekhnicheskikh parametrov sudov «reka-morE» plavaniya. — Nizhnii Novgorod, 2013. — 151 s.
23. Yaroslavskii rechnoi port. — Yaroslavl', 2017. — URL: <https://yarport.com/uslugi/kompleksnoe-obslyuzhivanie-flota.php> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
24. P'yanykh S.M. Metodika normirovaniya zatrat vremeni sudami pri prokhozhenii shlyuzov // Trudy GIIVT. - Gor'kii, 1972. - Vyp. 117. CH.1 - S. 100–116.
25. Spravochnik ehkspluatatsionnika rechnogo transporta / Pod red. S.M. P'yanykh. — Moskva: Transport, 1995. — 360 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Александр Юрьевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platofff@mail.ru

Alexander J. Platov, Dr. Sci. Tech, professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950

Платов Юрий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platov_ji@mail.ru

Juri I. Platov, Dr. Sci. (Eng), professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: platov_ji@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 18.12.2023; published online 20.03.2024