

## Учет региональных особенностей применения судов для ускоренной грузообработки

*Д. И. Бородавин, Б. А. Царев*<sup>1</sup>

В статье показана актуальность применения судов для ускоренной грузообработкой на линиях Дальнего Востока. Дана методическая схема оптимизационного обоснования таких судов. Показана зависимость эффективности от дальности рейса.

**Regional features of ships for accelerated cargo handling.** *Denis I. Borodavin, Boris A. Tsarev, Saint-Petersburg.*

The article shows the relevance of the application ships for accelerated cargo handling on the lines of the Far East. It is given methodical scheme of the optimization study of such courts. Shows the efficiency of the distance flight.

### Введение

При разработке проектных методик особую важность имеют вопросы учета региональных особенностей эксплуатации судов, формирующих внешнюю среду в отношении ограничений габаритов судов на фарватерах и ветроволнового режима, а также при выборе конкретных нормативов в экономической части анализа [1]. Практически это приведет к ограничению осадки  $T$  и длины  $L$ :

$$T \leq [T], \quad (1)$$

$$L \leq [L]. \quad (1a)$$

В формулах (1) и (1a) под величинами в квадратных скобках подразумеваются допустимые значения.

Моря Дальнего Востока характеризуются тяжелыми погодными условиями, особенно при ветрах восточного направления. В этом случае для разгона волн имеется наибольшая дистанция, поэтому волны достигают максимальных длин и высот. Наряду с этим необходимо отметить недостаточное число хорошо оборудованных портов. В связи с этим для повышения пропускной способности портов важное значение имеет ускорение грузообработки, то есть применение паромов, контейнеровозов и накатных судов [2, 3]. Все три типа требуют особого внимания в отношении обеспечения управляемости, остойчивости и плавности качки, и других свойств, проверяемых в качестве ограничений при оптимизации грузовых судов [4]. Ускорение грузообра-

---

<sup>1</sup> *Бородавин Денис Иванович* – аспирант; *Царев Борис Абрамович* – профессор кафедры проектирования судов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, доктор технических наук.

ботки необходимо для повышения рейсообразота, так как на Дальнем Востоке время навигации ограничено погодными условиями и ледовой обстановкой [5].

### Эксплуатационные показатели

Время грузообработки  $t_{ГО}$  и ходовое время  $t_X$  можно выразить формулами:

$$t_{ГО} = 2P_{ГР} / q_{ГР}, \quad (2)$$

$$t_X = K_M \times r / v. \quad (2a)$$

В этих формулах:  $P_{ГР}$  – грузоподъемность;  $q_{ГР}$  – норма грузообработки;  $K_M$  – коэффициент учета снижения скорости при эксплуатации;  $r$  – дальность рейса;  $v$  – скорость расчетная в узлах.

Полное время рейса  $t_P$  с добавлением вспомогательного времени  $t_{всп}$  можно выразить в виде:

$$t_P = (t_X + 2t_{ГО} + t_{всп}) / 24. \quad (3)$$

Отсюда определится число рейсов:

$$n_P = (365 - t_{ЛЕДОВ}) / t_P, \quad (3a)$$

здесь  $t_{ЛЕДОВ}$  означает длительность перерыва в навигации из-за ледовой обстановки.

При  $t_{ЛЕДОВ} = 0$  вместо него надо брать среднегодовое время ремонтов  $t_{РЕМ}$ .

При наличии  $t_{ЛЕДОВ}$  считается, что  $t_{РЕМ}$  укладывается в пределах времени простоев из-за ледовой обстановки.

Число рейсов входит в формулу годовых эксплуатационных расходов Э [1, 4]:

$$\mathcal{E} = a_1 \mathcal{C} + a_2 P_T n_P + a_3 n_{ЭК}. \quad (4)$$

Здесь:  $\mathcal{C}$  – цена судна в млн. дол.;  $P_m$  – масса топлива на один рейс;  $n_{ЭК}$  – численность экипажа;  $a_1$  – нормативное значение доли отчислений на амортизацию, ремонт и снабжение;  $a_2$  – цена одной тонны топлива в млн дол.;  $a_3$  – среднегодовая зарплата одного члена экипажа с учетом накладных и навигационных расходов (млн дол.).

Для определения цены можно использовать формулу Балкашина:

$$\mathcal{C} = a_4 P_K + a_5 P_{УС} + a_6 P_{ЭУ} + a_7 P_{ЭОШ}. \quad (4a)$$

В формуле (4a) обозначено:  $P_K$ ,  $P_{УС}$ ,  $P_{ЭУ}$  и  $P_{ЭОШ}$  – массы по разделам на грузки – Корпус; Устройства и системы; Энергетическая установка; Электрооборудование и штурманские приборы;  $a_4$ ,  $a_5$ ,  $a_6$  и  $a_7$  – ценовые коэффициенты (в млн. дол./т), принятые по современным данным. Все массы, входящие в формулы (2), (4) и (4a), определяются пересчетом с прототипа на основе способа процентирования [1]. В общем случае:

$$P_i = q_i \times D, \quad (5)$$

где  $i$  – индекс раздела нагрузки,  $q_i$  – доля массы по данному разделу в полной массе судна  $D$ . При этом саму величину  $D$  можно найти по соотношению:

$$D = (D / P_{ГР})_0 \times P_{ГР} \quad (5a)$$

Величина, стоящая в скобках, имеет индекс «0», то есть определяется по прототипу. Она численно очень близка к значению коэффициента Нормана [1]. Рассмотренные величины войдут в схему расчета состава Нагрузки проектируемого судна и определения критериев его оптимизации.

### Элементы проектной модели

При оптимизационном обосновании судов с ускоренной грузообработкой ряд проектных вопросов решается сходно с тем, как это делается в методике проектирования обычных грузовых судов. В то же время количественные характеристики будут отличаться, и их следует пересчитывать с близкого прототипа [6, 7]. На рис. 1 показан сравнительно большой контейнеровоз, типичный для зарубежных линий, но заметно превосходящий по размерам суда, необходимые для России. Все компоновочные решения структурно могут быть применены и при проектировании контейнеровозов для Дальнего Востока.

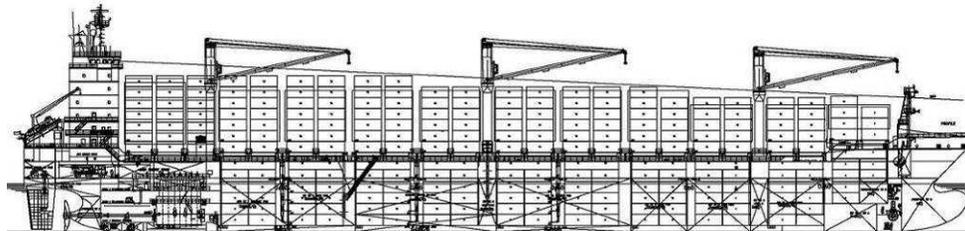
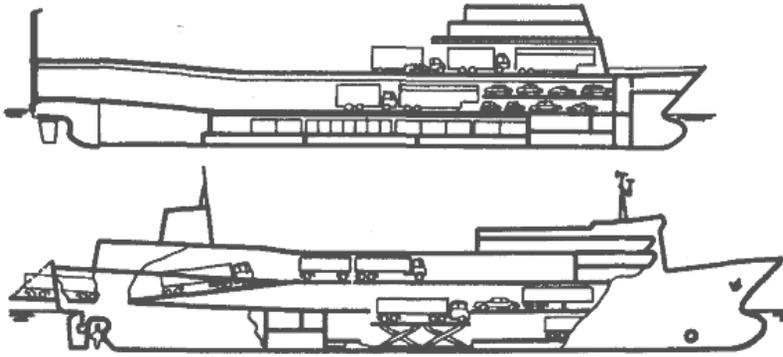


Рис. 1. Типичный современный контейнеровоз

Накатные суда значительно меньше по размерениям, чем контейнеровозы. Поэтому схемы проектирования наших и зарубежных накатных судов будут близки. В отличие от контейнеровозов, у накатных судов чаще встречается носовое положение надстройки (рис. 2). Накатные суда имеют значительно меньшее число поперечных переборок, поскольку необходимо создать непрерывный сквозной проезд от аппарели до места установки трейлеров и другой накатной техники [8, 9]. Нижняя непрерывная палуба должна быть выше ватерлинии, при этом для обеспечения непотопляемости в пределах грузового пространства могут быть предусмотрены дополнительные переборки.

Рассматриваемые группы судов с ускоренной грузообработкой развиваются неравномерно [9, 11]. При их оптимизации в критериальной части

проектных моделей у отечественных и зарубежных судов могут быть приняты различные показатели [12, 13].



**Рис. 2.** Схемы компоновки основных грузовых пространств накатных судов с носовой жилой надстройкой и кормовым машинным отделением: сверху – с двухуровневой аппарелью в корме; внизу – с обычной аппарелью, внутренними наклонными пандусами и лифтом в средней части [10]

Выше отмечалось, что у всех судов с ускоренной грузообработкой особого внимания требуют вопросы управляемости, остойчивости и плавности качки, а также вместимости и ходкости. Это связано с высоким надводным бортом обсуждаемых судов  $f = H - T$  (здесь  $H$  – высота корпуса) и с наличием высокого многоярусного палубного груза с боковой поверхностью  $S_{ПГ}$ . В результате растет площадь парусности – боковой надводной поверхности  $S_{П}$ :

$$S_{П} = K_S \times L \times (H - T) + S_{НР} + S_{ПГ}, \quad (6)$$

здесь  $K_S$  – коэффициент учета седловатости верхней палубы и свесов оконечностей,  $S_{НР}$  – боковая поверхность надстроек и рубок. Рост парусности приводит к дрейфу – боковому отклонению судна с курса, а также способствует росту кренящего момента  $M_{КР}$  от бокового ветра с давлением  $p_B$ :

$$M_{КР} = p_B \times S_{П} \times z_{П}, \quad (6a)$$

где  $z_{П}$  – возвышение центра парусности.

Для сохранения устойчивости на курсе следует минимизировать коэффициент ветробойности:

$$K_B = S_{П} / (L \times d). \quad (7)$$

Кроме этого, центр парусности должен смещаться в корму от центра тяжести судна. При высоком значении  $K_B$  и при нарушении центровки по боковым силам следует применять подруливающие устройства.

При проверке остойчивости следует ориентироваться не на абсолютное значение метацентрической высоты  $h_{мет}$ , а на ее относительную величину, соотношенную с осадкой  $d$  и пронормированную по близкому прототипу:

$$h_{мет} / T = (\alpha \times B / T)^2 / 11,4 \delta + 0,5 (\alpha / \delta)^{0,5} - (z_G / H)(H / T). \quad (8)$$

В формуле (8) обозначено:  $B$  – ширина судна,  $\alpha$  – коэффициент полноты ватерлинии,  $\delta$  – коэффициент общей полноты,  $z_G$  – возвышение центра тяжести, хорошо согласующееся с высотой корпуса. При отображении составных частей  $h_{мет}$  применены формулы Фан-дер-Флита и Ногида [12]. Для оценки целесообразного значения надводного борта можно применить аппроксимацию правил о грузовой марке, выполненную В. М. Пашиным [14]. При анализе непотопляемости отдельным вопросом является проверка аварийной остойчивости [15].

### **Внешняя задача оптимизации**

На примере линий Дальнего Востока можно показать характерные особенности учета региональной специфики при решении внешней задачи оптимизации судов упомянутых типов [5]. Во внешней задаче по заданным грузопотокам следует выбрать один из типов судов с ускоренной грузообработкой (или их сочетание), а затем определить число судов с определенным значением скорости и грузоподъемности. Во внешней же задаче необходимо обосновать рациональный архитектурно-компоновочный тип (положение надстройки и машинного отделения), число оборотов дизеля, ледовый класс (рис. 3).



**Рис. 3.** Накатное судно с кормовой аппарелью, с промежуточным положением надстройки и машинного отделения (МО), с носовым бортовым лацпортом и мощными подъемными кранами

Во внутренней задаче для судна выбранного типа необходимо оптимизировать главные элементы и частные проектные характеристики. Все рассматриваемые суда перевозят, преимущественно, унифицированные грузы. Это влияет на выбор проектных характеристик, приводя к их дискретности [16]. Так как во внешней задаче при конкретном сочетании внешних условий может быть выбран любой из ранее упомянутых типов судов, то для внутренней задачи необходимо разработать, как минимум, три частных алгоритмических схемы: по контейнеровозам, по накатным судам и по паромам [17–19].

При решении внешней задачи региональные особенности можно охарактеризовать следующими параметрами:

А) ГРУЗОПОТОК: суммированное за год число контейнеров, трейлеров и других грузовых единиц с переводом в некий эквивалентный показатель с характерной массой или размерами. При самостоятельном рассмотрении контейнеровозов таким эквивалентом является 20-футовый контейнер при средней загрузке 11–14 тонн (в разных регионах).

Для паромов базовой единицей чаще всего служит легковой автомобиль среднего класса, а более крупные грузовые единицы (в том числе автобусы) по массе приравниваются к некоторому числу базовых автомобилей. Однако габариты части грузовых помещений приходится выбирать по условиям размещения именно наиболее крупных единиц, а размещение «базовых» автомобилей можно предусматривать многоярусным с помощью трансформируемых дополнительных палуб. На паромах в расчет необходимо принимать пассажиров двух категорий: 1) тех, кто является пассажирами перевозимых автомобилей и автобусов (в особых случаях – и железнодорожных вагонов); 2) дополнительных («самостоятельных») пассажиров, что характерно, как правило, лишь для паромных переправ и относительно коротких линий.

Разработка компоновки накатных судов по габаритным параметрам должна ориентироваться и на автомобили, и на контейнеры. Дополнительно к этому надо учитывать трейлеры (фургоны-контейнеры на колесах), а также пакетированные грузы и контейнеры на ролл-трейлерах. В последней версии контейнеры могут устанавливаться в два яруса, по габаритам это приближается к автофургонам и автобусам.

Б) НОРМЫ ГРУЗООБРАБОТКИ в портах на планируемых линиях определяются характеристиками контейнерных терминалов, грузоподъемного оборудования, причальных линий, дорожной пропускной способностью. Для паромов самостоятельный интерес представляет время посадки и высадки пассажиров «самостоятельной» категории. Соответствующий пассажиропоток является частью общего грузопотока.

В) МЕСТНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ: ограничения длины и осадки судов, связанные с размерами причалов и глубинами подходов фарватеров; ограничения периодов эксплуатации по ледовым условиям; колебания грузопотоков и пассажиропотоков по сезонам.

Г) ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ: характерные грузовые тарифы на перевозку и цены на билеты, затраты на грузовые работы, бункеровочные цены на топливо (с учетом местных дополнительных издержек), зарплаты моряков, особенности организации судоремонта, уровень расходов на аренду ледоколов и буксиров, фрахтовые ставки, экономические показатели судов, уже работающих на рассматриваемых линиях и задающих тем самым уровень конкурентоспособности.

Из отмеченных параметров грузооборот по позиции «А» наиболее сильно скажется на выборе вариантов скорости и грузоподъемности. При из-

вестном грузообороте необходимо определить ту его часть, которая может быть освоена исследуемым флотом контейнеровозов, накатных судов и паромов. Внутри этой части целью оптимизации будет установление рационального типоразмерного ряда с вариантами грузоподъемности (а следовательно – и численности судов). Число вариантов по скорости можно минимизировать, исходя из того, что рост скоростей из-за обстановки с топливом маловероятен и следует ориентироваться на сложившуюся ситуацию с конкурентоспособными скоростями.

Нормы, упомянутые в позиции «Б», повлияют на число рейсов и косвенно скажутся при обосновании скорости. При их определении надо изучить перспективы развития сети терминалов в конкретном регионе. Например, применительно к Дальневосточному бассейну ориентиром может быть порт Находка, а для восточной Балтики – порт Усть-Луга. Ограничения по «В» могут привести к отказу от больших грузоподъемностей; при этом при сильных сезонных колебаниях грузопотока это выгодно, так как позволит планировать вывод части судов из эксплуатации на рассматриваемых линиях и перевод их на другие варианты использования.

От экономических нормативов «Г» будет зависеть практическая величина Доходов, Расходов и Прибыли, то есть конкретный уровень критериальных показателей. При определении расходов за основу могут быть приняты формулы (4) и (5а) в соответствии со сравниваемыми типоразмерами по грузоподъемности. Освоенный конкретным судном грузопоток  $Q$  и доход от него  $D$  выразятся в виде:

$$Q = 2 P_{ГР} \times n_p , \quad (9)$$

$$D = Q \times a_{ГР} . \quad (9a)$$

Здесь  $a_{ГР}$  – тарифная ставка на перевозку тонны (или грузовой единицы, если грузопоток выражается числом грузовых единиц) груза.

Тогда годовую прибыль  $ПР$  и срок окупаемости  $t_{OK}$  можно определить по формулам:

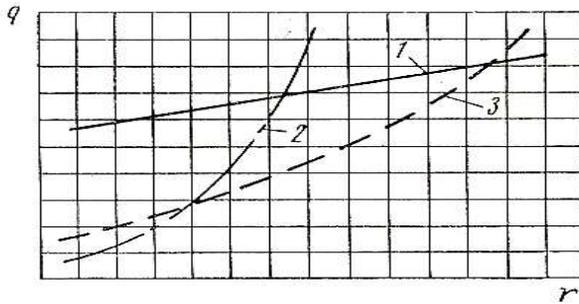
$$ПР = D - Э , \quad (10)$$

$$t_{OK} = Ц / ПР . \quad (10a)$$

Иногда в качестве критерия используется себестоимость перевозки одной тонны груза  $СС$ :

$$СС = Э / Q . \quad (11)$$

Применительно к минимизации этого критерия А. В. Бронников определил дальности, при которых оптимально применение отдельных типов судов [4]. По его мнению, накатные суда выгоднее до дальности 1500 миль, контейнеровозы в интервале 1500–3500 миль, а далее выгодны обычные универсальные суда (рис. 4). Обозначение  $q$  означает себестоимость перевозки тонны груза по формуле (11).



**Рис. 4.** Изменение себестоимости перевозки груза по интервалу дальности рейса:  
1 – обычное сухогрузное судно; 2 – накатное судно; 3 – контейнеровоз [4]

Источником повышения эффективности рассмотренных судов является увеличение числа совершенных рейсов в соответствии с формулами (2а), (3а) и (9). Чем меньше дальность, тем сильнее проявляется выигрыш в экономии на продолжительности грузовых операций. Для накатных судов эффективность меньше, чем для контейнеровозов в связи с негативным влиянием партионности грузов: трейлеры и колесная техника накапливаются в порту медленнее по сравнению с более универсальным грузом в контейнерах.

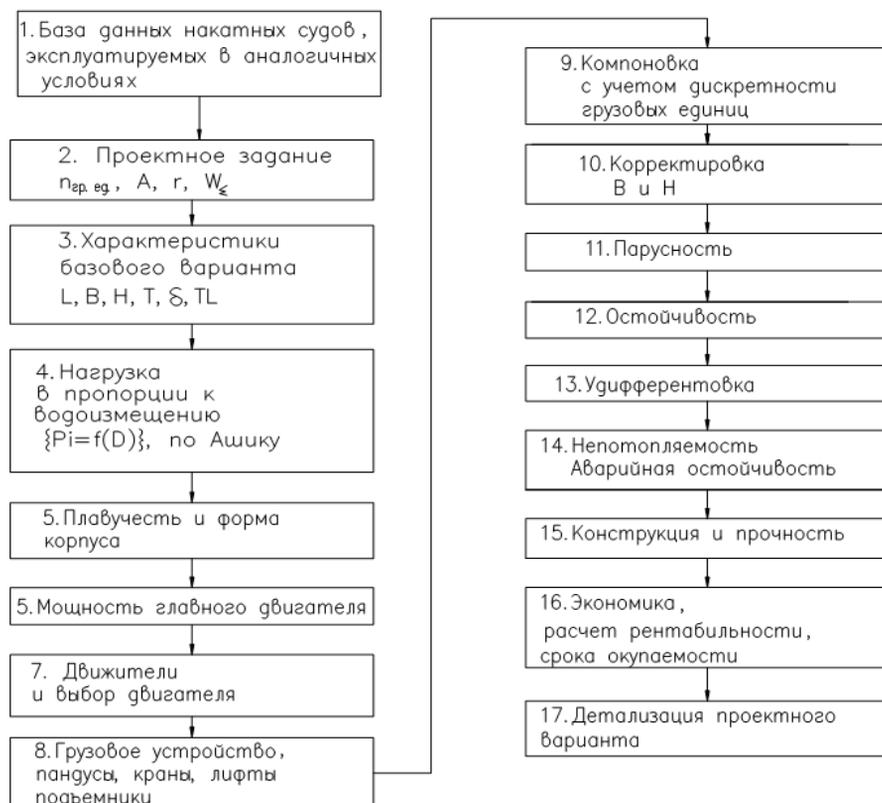
В результате оптимизационных расчетов, проводившихся по изложенным выше методическим схемам, можно считать, что для современных накатных судов и контейнеровозов обе границы несколько сдвигаются в сторону более значительных дальностей.

### Рекомендации по внутренней задаче оптимизации

На этапе решения внешней задачи необходимо экспрессное определение важнейших характеристик сравниваемых судов, то есть, в сущности, должна сокращенно решаться внутренняя задача. В детализированной внутренней задаче для судна выбранного типа необходимо оптимизировать главные элементы и частные характеристики подсистем судна по более точной проектной модели. Для внутренней задачи необходимо разработать несколько частных алгоритмических схем, из которых важнейшими будут разработки для накатного судна (рис. 5) и для ячеистого контейнеровоза [3].

На рис. 5 дается схема, характеризующая последовательность вопросов, решаемых при проектном обосновании накатного судна. Эта схема учитывает оптимизационный подход и направлена на отображение наиболее существенных особенностей накатных судов [10]. В позициях, показанных на схеме, использованы следующие обозначения:  $n_{сп. ед.}$  – число унифицированных грузовых единиц;  $A$  – автономность, сутки;  $r$  – дальность плавания, мили;  $W_{\Sigma}$  – суммарная вместимость,  $m^3$ ;  $TL$  – суммарная длина размещения трейлеров, м;  $L$  – длина между перпендикулярами, м;  $B$  – ширина, м;  $H$  – высота борта, м;  $T$  – осадка, м;  $\delta$  – коэффициент общей полноты;  $D$  – полная масса, т;  $P_i$  – масса конкретного раздела нагрузки, т. Как в любой математической модели,

многие позиции являются унифицированными, основанными на опыте проектирования обычных, накатных и контейнерных судов [8, 10, 14].



**Рис. 5.** Схема разделов проектного обоснования накатного судна

## Заключение

Главной целью рассмотрения региональных особенностей, влияющих на выбор оптимальных характеристик судов с ускоренной грузообработкой, была отработка методических схем решения внешней и внутренней задач. Эта отработка проводилась частью на основе известных эксплуатационных и экономических данных, частью путем реконструкции возможных показателей, исходя из преобладающих характеристик самих используемых судов.

Применительно к условиям Дальнего Востока находят применение все виды судов с ускоренной грузообработкой. В дополнение к рис. 4 на самых коротких линиях рационально применение паромов. При использовании накатных судов и контейнеровозов обоснование их грузоподъемности и скорости должно отражать особенности экспортно-импортных грузопотоков между Россией, Китаем, Вьетнамом и Японией.

Если экономическая информация изменится, то некоторые частные выводы также изменятся. При этом, чаще всего, конкретные решения будут более оптимистичны, так как в данный момент исходная ситуация, в том числе, на Дальнем Востоке не слишком хороша. Но сама модель останется работоспособной именно потому, что в ней предусмотрен оперативный учет текущих изменений в организационной и экономической ситуации.

### Литература

1. Ашик В. В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1985.
2. Бородавин Д. И. Проектные особенности судов с ускоренной грузообработкой // Моринтех–Юниор–2009. – СПб.: НИЦ «Моринтех», 2009. – С. 171–173.
3. Бородавин Д. И., Царев Б. А. Оптимизационное сопоставление накатных и контейнерных судов // Тезисы трудов конференции «Единение науки и практики–2010». – СПб.: НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. – 2010. – С. 11.
4. Бронников А. В. Особенности проектирования морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1971.
5. Бугаев В. Г. Методология проектирования региональных морских транспортных комплексов (на примере Дальневосточного бассейна): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Владивосток: ДВПИ, 1992.
6. Гайкович А. И., Царев Б. А. Принципы построения логико-математической модели оптимизации элементов контейнерного судна // Л.: Труды ЛКИ. – Вып. 90. – 1974. – С. 33–38.
7. Гайкович А. И., Царев Б. А. Расстановка переборок и расчет вместимости контейнеровоза при проектировании с помощью ЭВМ // Архитектура и проектирование судов. – Вып. 1. – Владивосток: изд-во Дальгосуниверситета, 1977. – С. 51–61.
8. Гайкович А. И. Проектирование контейнерных судов. – Л.: ЛКИ, 1985.
9. Горюнов Г. И., Бородавин Д. И., Царев Б. А. Схема оптимизации морской техники // Тезисы трудов конференции «Единение науки и практики–2010». – СПб.: НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, 2010. – С. 17–18.
10. Захаров А. С. Особенности проектирования судов с горизонтальной грузообработкой. – Л.: ЛКИ, 1980.
11. Логачев С. И., Чугунов В. В., Горин Е. А. Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Морвест, 2009.
12. Ногид Л. М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз, 1955.
13. Пашин В. М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
14. Пашин В. М., Гайкович А. И. Определение основных элементов судна в начальной стадии проектирования. – Л.: ЛКИ, 1984.
15. Прокудин С. А. Учет требований аварийной остойчивости в начальной стадии проектирования судов с горизонтальной грузообработкой // Труды Николаевск. кораблестроит. института. – Вып. 116. – Николаевск: НКИ, 1976. – С. 34–38.
16. Царев Б. А. Модульные задачи в проектировании судов. – Л.: ЛКИ, 1986.
17. Цыбенко Б. А. Определение оптимального варианта судов паромных переправ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Николаевск: НКИ, 1973.
18. Цыбенко Б. А. Определение главных размерений морских паромов в первом приближении // Труды НКИ. – Вып. 38. – Николаевск: НКИ, 1970.
19. Цыбенко Б. А. К определению главных элементов железнодорожно-пассажирского парома // Труды НКИ. – Вып. 62. – Николаевск: НКИ, 1972.