ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ

УДК 551.463.288+629.542
EDN: LIRYLW

Д.О. Новиков, В.И. Таровик, В.Ю. Чижов
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ПОДВОДНЫЙ ШУМ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВ КАК СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИХ КАЧЕСТВА

Объект и цель научной работы. Объектом исследований являются крупнотоннажные транспортные суда, для коммерческой эффективности которых на международном морском рынке значимыми факторами являются такие показатели их качества, как экологичность (в т.ч. низкая подводная шумность), энергетическая эффективность и конкурентоспособность (стоимость в эксплуатации). Цель работы – исследование сочетания этих трех факторов.

Материалы и методы. В статье использованы материалы, опубликованные в иностранных источниках, а также результаты работ ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по созданию объектов гражданской морской техники.

Основные результаты. Выполненные исследования показывают, что создание перспективных судов, конкурентных на отечественном и международном морских рынках, требует повышенного внимания к их характеристикам: экологичности, энергоэффективности и конкурентоспособности. Эти критерии являются показателями качества судна и требуют определенного сочетания в процессе его проектирования. Применение широкого комплекса мероприятий по виброакустическому проектированию, направленных на снижение подводной шумности, может проявляться в повышении эксплуатационной стоимости, величина которой находится в пределах погрешностей оперативного управления судном. Виброакустическое проектирование судна в сочетании с обеспечением энергоэффективности позволяет существенно повысить его конкурентоспособность на морском рынке.

Заключение. Приведенные материалы позволяют сформировать комплексную концептуальную позицию по обеспечению высокого качества проектирования и строительства судов российского транспортного флота.

Ключевые слова: подводный шум судов, энергоэффективность судов, качество, конкурентоспособность, стоимость судна в эксплуатации.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP SIGNATURES

UDC 551.463.288+629.542
EDN: LIRYLW

D.O. Novikov, V.I. Tarovik, V.Yu. Chizhov
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

UNDERWATER NOISE AND POWER EFFICIENCY AS SYNERGETIC PARAMETERS OF SHIP QUALITY

Object and purpose of research. This paper discusses cost efficiency of large cargo ships at the international shipping market from the standpoint of important quality parameters, like eco-friendliness (including low underwater noise radiation), power efficiency, and competitive operation costs. The purpose of the work was to investigate the synergy between these three factors.

Materials and methods. The study relies on available international publications, as well as in-house findings of the Krylov State Research Centre in commercial shipbuilding and marine engineering.

Main results. The study has shown that development of advanced ships competitive at both Russian market and worldwide requires much attention to their eco-friendliness, power efficiency and operation costs. These criteria characterize overall quality

Для цитирования: Новиков Д.О., Таровик В.И., Чижов В.Ю. Подводный шум и энергоэффективность судов как синергетические показатели их качества. Труды Крыловского государственного научного центра. 2026; 2(416): 107–116.

For citations: Novikov D.O., Tarovik V.I., Chizhov V.Yu. Underwater noise and power efficiency as synergetic parameters of ship quality. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2026; 2(416): 107–116 (in Russian).

of the ship and have to be implemented in a certain combination in the process of ship design. Extensive vibroacoustic design measures towards underwater noise mitigation might increase operation costs which, in their turn, might be within the errors of day-to-day ship management. Vibroacoustic design of ship, in combination with power efficiency measures, makes ships considerably more competitive at global market.

Conclusion. The results of this study make it possible to develop an integrated conceptual standpoint towards ensuring high quality of ship design and construction in Russian cargo fleet.

Keywords: underwater noise, power efficiency, quality, competitiveness, operation costs.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Значимыми показателями качества судна являются экологичность, энергоэффективность и конкурентоспособность. Соответственно, эти три показателя требуют оценки их сочетания в одном судне. Подобные оценки делаются сегодня в международной морской практике, однако целесообразно сформировать и самостоятельную точку зрения по этому вопросу.

В отношении техногенного подводного шума можно отметить, что созданный в России научно-технический, проектный и производственный потенциал позволяет обеспечить адекватное виброакустическое проектирование объектов гражданской морской техники, направленное на снижение уровней подводного шума, с использованием необходимых проектных решений, средств вибродемпфирования, вибро- и звукопоглощения и т.п.

В последние годы Международная морская организация (IMO) и ведущие классификационные общества, прежде всего Американское бюро судоходства (ABS) и норвежское «Веритас» (DNV), активно развивают направление, связанное с контролем и повышением энергоэффективности судов. Более того, стали публиковаться работы, в которых исследуется синергия (сочетание факторов, взаимодействие которых создает новый положительный эффект) энергоэффективности и подводной шумности судна.

Еще одним фактором, определяющим осторожное, а скорее негативное, отношение в нашей стране к перспективам регламентации подводной шумности объектов гражданской морской техники, является отсутствие в Российской Федерации нормативных требований к уровню подводного шума. Кроме того, участники морской транспортной и промышленной деятельности обоснованно усматривают возможное увеличение стоимости как строительства, так и эксплуатации судна из-за затрат на внедрение виброакустических мероприятий. Такая точка зрения обязательно должна учитываться при определении достаточного объема применяемых средств виброакустической защиты, необходимых для обеспечения высокого уровня конкурентоспособности судна.

Оценка показателей качества судов

Assessment of ship quality indicators

С технической точки зрения естественным путем соответствия тенденциям мирового судоходства является обеспечение многочисленных высоких качественных показателей российской морской техники.

Как упоминалось выше, наиболее значимыми среди них считаются:

- экологичность (в т.ч. низкая подводная шумность);
- энергоэффективность;
- конкурентоспособность (стоимость в эксплуатации).

Подводный шум является одним из качественных показателей *экологичности* судна, а показателями энергоэффективности являются критерии уровней выделения парниковых газов от работающего энергетического оборудования. Стоимостной критерий качества судна в эксплуатации является одним из существенных для судовладельцев и оперирующих компаний, занимающихся текущим управлением. Эти три фактора значимы сами по себе, однако для каждого конкретного объекта морской техники требуется определение их оптимального сочетания. Как показано в [1], процесс синергии подводной шумности, энергоэффективности и стоимости требует специального внимания при модернизации действующих судов, а также при проектировании и строительстве новых.

Подводный шум определяется многочисленными физическими источниками, основными из которых являются: судовая энергетика, движители, судовые системы и оборудование, а также натекающий на корпус судна поток. Количественной единицей измерения подводного шума является децибел (дБ), а в качестве основной частотной характе-

ристики используется спектральный состав или приведенный уровень шума. Основным техническим мероприятием по снижению подводной шумности объекта морской техники и повышения его качественных характеристик по данному критерию является виброакустическое проектирование.

Под акустическим проектированием судна понимаются работы, основными из которых являются: общее архитектурно-конструктивное решение судна; судовая энергетика; подбор материалов корпуса и судового набора; определение способов монтажа оборудования и судовых систем с использованием средств амортизации, вибро- и звукопоглощения; разработка конструкции движителей и режимов работы. Для разных типов и размерений судов объем и номенклатура виброакустических мероприятий могут иметь существенные различия. Соответственно, и финансовые затраты на их реализацию имеют различный вес в строительной и текущей (оперативной) стоимости судна.

Энергоэффективность, определение которой есть в [2, 3], является характеристикой, отражающей отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам этих ресурсов, произведенным для получения полезного эффекта. Соответственно, энергоэффективность судна измеряется изменением количества энергии, необходимой для перемещения единицы груза на единицу расстояния, которая выражается в процентах. Например, энергоэффективность повышается, когда судно потребляет меньше энергии для перевозки тонны груза на морскую милю, чем до внедрения соответствующих мероприятий, что приводит к экономии затрат и сокращению выбросов парниковых газов. На сессиях IMO [4, 5], а также в многочисленных публикациях, например [6–8], обсуждаются вопросы синергии энергоэффективности и подводного шума и отмечается необходимость поиска их оптимального соотношения в проекте каждого конкретного объекта морской техники.

Для стимулирования снижения выбросов парниковых газов судов в январе 2023 г. IMO ввела в действие требования к уровню коэффициента энергетической эффективности для действующих судов (EEXI – Energy Efficiency Existing Ship Index) [9]: к 2030 г. необходимо сократить в среднем по всему международному судоходству выбросы CO_2 не менее чем на 40 % по сравнению с 2008 г. Вводится также связанный с EEXI индикатор выбросов парниковых газов с судов (CII – Carbon Intensity Indicator), определяющий уровень их эмиссии в отношении к единице груза, перевезенной на единицу дистанции. Для новостроящихся судов введен конструктивный коэффициент энергоэффективности (EEDI – Energy Efficiency Design Index), позволяющий оценивать варианты различных проектных решений по повышению энергоэффективности судна.

Стоимость судна в эксплуатации является крайне значимой и ответственной, конкурентной характеристикой судна. В связи с тем, что морской флот не может оставаться в стороне от процессов регламентации подводного шума судоходства международными морскими организациями, целесообразно выполнение оценки степени финансовых обременений на судовладельцев от использования необходимого объема виброакустических средств и проектных решений при строительстве и эксплуатации судов.

Подводная шумность и энергоэффективность судна как показатели его качества

Underwater noise and power efficiency as ship quality indicators

Синергетическое взаимодействие подводного шума судна и его энергоэффективности влияет на качественные характеристики судна гораздо сильнее, чем простая сумма каждого из них по отдельности. Однако у этих двух показателей качества нет однозначной связанности. Так, при положительной синергии снижение скорости хода судна ведет к уменьшению расхода топлива, снижению выбросов парниковых газов и одновременно к снижению уровней подводного шума. В то же время гребные винты могут быть спроектированы с высокой энергоэффективностью, но оптимизированные для энергоэффективности гребные винты не всегда являются лучшим решением для снижения шума. Поэтому задача повышения качества судов по критериям энергоэффективности и подводной шумности требует поиска их оптимизации.

В международной морской практике продолжаются усилия по более тесной интеграции вопросов энергоэффективности и снижения подводной шумности на всех этапах жизни судна [10, 11]. В заключении подкомитета IMO от 24.10.2023 по конструкции судов [12] отмечено, что приоритет в международном морском транспорте будет отдаваться проектам судов, которые в совокупности повышают энергоэффективность, снижают выбросы парниковых газов и уменьшают подводный шум. Очевидно, такие выводы опираются на разработан-

ные методы оценки интенсивности морских транспортных потоков, когда количество судовых проходов на некоторых акваториях достигает тысяч проходов в год, а плотность судоходства уже получила количественную оценку [13].

Системная оценка основных качественных характеристик судна с точки зрения синергии подводного шума судов и их энергоэффективности выполнена в [1, 6, 7], где рассматриваются эти характеристики для ряда основных судовых элементов, т.е. конструкции корпуса; пропульсивного комплекса; судовой энергетики, машин и механизмов, а также текущего оперативного управления – скорости, оптимизации загрузки, текущего контроля параметров судовых систем.

На рис. 1–3 приведены иллюстрации сочетаний подводной шумности и энергоэффективности для корпуса судна, движителей, судовой энергетики, машин и механизмов. По ординате отложены % энергоэффективности, показанные светло-серым цветом, и показатели акустической эффективности в дБ, окрашенные в темно-серый цвет. На горизонтальной оси показаны основные конструктивные элементы судна, на оптимизацию которых могут быть направлены усилия по виброакустическому проектированию. Здесь же (в скобках, в %) указана оценка капитальных затрат на внедрение рассматриваемой конструкции по отношению к стоимости традиционного варианта корпуса, движителя или энергетической установки.

На указанных рисунках такие оценки должны рассматриваться как ориентировочные, но показывающие ожидаемую процентную оценку затрат. Из приведенных на рис. 1 данных по судовому корпусу

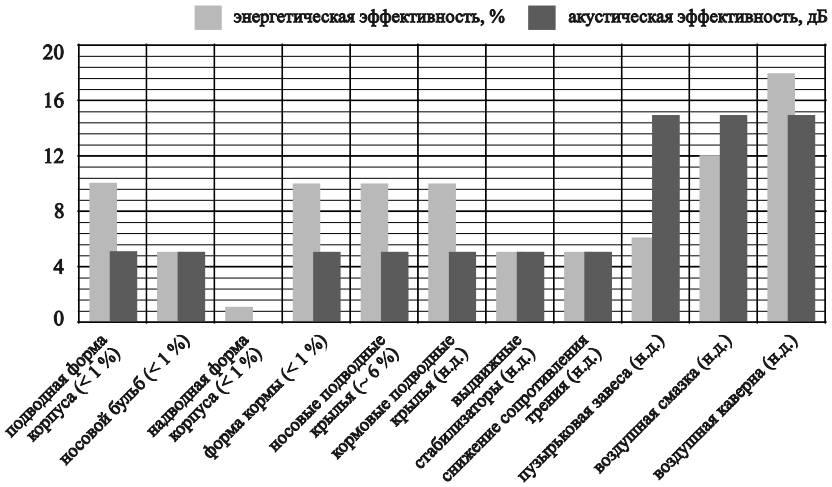

Рис. 1. Иллюстрация сочетания энерго- и акустической эффективности судна при проектировании корпуса

Fig. 1. Illustration of synergy between power efficiency and noise mitigation of ship in the process of hull design

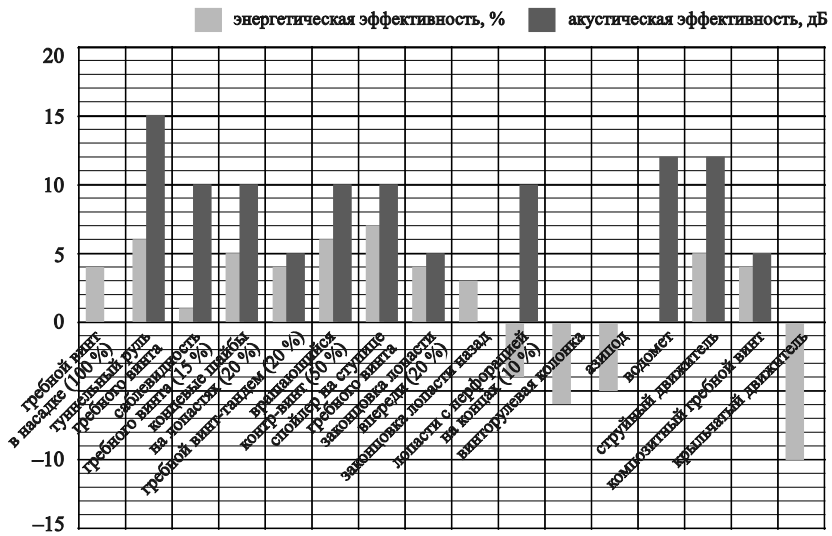

Рис. 2. Иллюстрация сочетания энергетической и акустической эффективности судна при проектировании движителей

Fig. 2. Illustration of synergy between power efficiency and noise mitigation of ship in the process of propeller design

следует, например, что использование носового бульба ведет к повышению энергоэффективности на величину порядка ~5 %, при этом можно ожидать снижения подводной шумности в определенном частотном диапазоне до 5 дБ, а капитальные затраты на проектирование и изготовление этого судового элемента составят не более 1 % от строительной стоимости судна. Использование воздушной каверны между гребным винтом и днищем кормовой части судна позволяет повысить энергоэффективность на ~18 % и снизить подводный шум на ~15 дБ. Капитальные затраты на использование такого проектного решения зависят от параметров конкретного судна, поэтому используется обозначение (н.д.), т.е. нет данных. Снижение воздушного сопротивления надводной части корпуса позволяет повысить энергоэффективность на ~1 %, что, однако, не сказывается на уровнях подводной шумности.

В [1, 6, 7] рассматривается более 20 вариантов движителей. На рис. 2 приводятся данные по синергии энергоэффективности и подводного шума для некоторых из них. Если для приведенного на рисунке варианта движителя не отражены данные о его акустической эффективности, это означает отсутствие теоретических или натурных данных. По аналогии с оценками энерго- и акустической эффективности корпусных проектных мероприятий видно, что повышение энергоэффективности и снижение подводной шумности могут рассматриваться как предмет проектной оптимизации. Обращает на себя внимание акустическая эффективность (>15 дБ) туннельного руля (от англ. gate rudder) гребного винта, общее расположение которого показано на рис. 3.

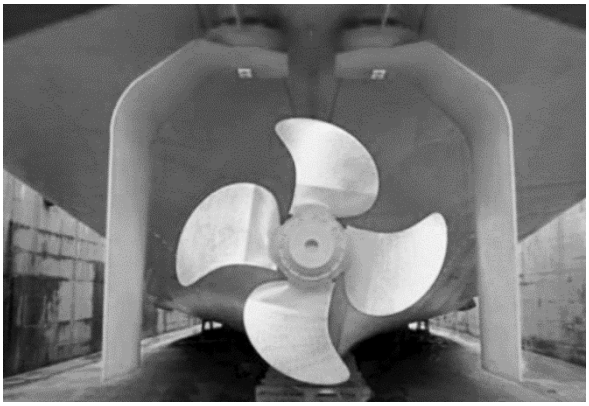

Рис. 3. Общее расположение туннельных рулей гребного винта с ожидаемым высоким уровнем энергетической и акустической эффективности

Fig. 3. General arrangement of tunnel propeller rudders with high expectation of power efficiency and acoustic efficiency

Приведенные на рис. 4 данные отражают изменения энерго- и акустической эффективности для различных вариантов применения судовых энергетических установок. В скобках указана оценка роста стоимости конкретного проектного решения по сравнению с использованием дизельного двигателя.

Из материалов [1, 6, 7], проиллюстрированных на рис. 5 и отражающих изменения энерго- и акустической эффективности для вариантов применения

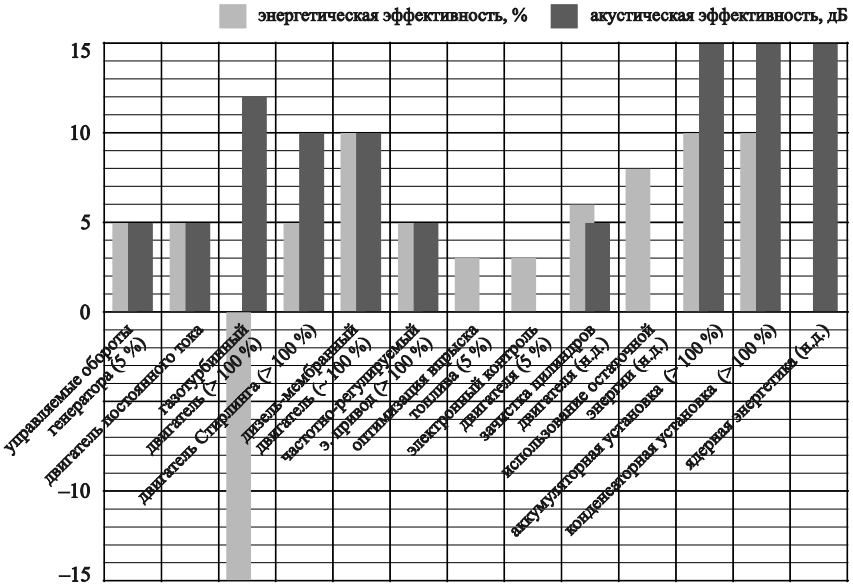

Рис. 4. Иллюстрация сочетания энергетической и акустической эффективности судна при проектировании его энергетики

Fig. 4. Illustration of synergy between power efficiency and noise mitigation of ship in the process of main engine design

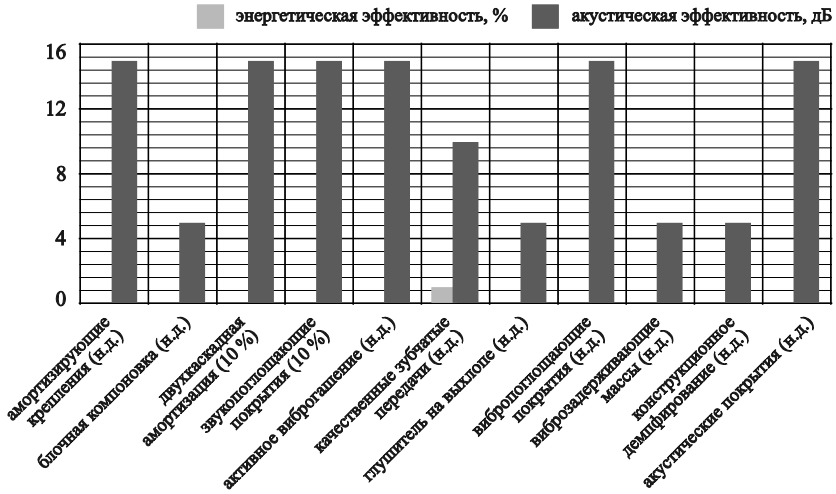

Рис. 5. Иллюстрация сочетания энергетической и акустической эффективности судна при реализации методов виброакустического проектирования

Fig. 5. Illustration of synergy between power efficiency and noise mitigation of ship in the process of vibroacoustic design

различных виброакустических проектных решений, следует, что связь между этими показателями качества не прослеживается. Практически нет данных и о процентной оценке стоимости виброакустических мероприятий, что на рис. 5 отмечено как (н.д.) Таким образом, оценка мероприятий по виброакустическому проектированию судна, судовых систем и оборудования направлена на повышение его качества с позиций повышения акустической эффективности и снижения уровней подводной шумности. В то же время синергетические сочетания энерго- и акустической эффективности при проектировании корпуса (рис. 1), движителей (рис. 2) и судовой энергетики (рис. 4) позволяют считать целесообразным использование методов оптимизации проектных решений при создании судна.

Стоимостный критерий качества судна

Cost criterion of ship quality

В практике фрахтования судов различных типов большое значение имеет их суточная эксплуатационная стоимость, которую необходимо компенсировать судовладельцу, фрахтователю или оператору. Во многих морских чартерах (договорах) опорным значением суточной стоимости является т.н. тайм-чартерный эквивалент судна, который определяется суммой постоянных суточных затрат на судно, требующих компенсации из фрахта. Эта величина является коммерческой тайной судовладельца и представляет собой информационный источник фрахтовой прибыли. В связи с тем, что финансовой оценки стоимости виброакустических мероприятий в общей сумме затрат на строительство судна на сегодня нет, на основании приведенных выше данных, отраженных на рис. 1, 2, 4, 5 (и показанных в % от стоимости базового прототипа), можно предположить, что их оценочная доля в строительной стоимости судна, разделенная на расчетное время эксплуатации 25 лет, не играет существенной роли в суточной ставке фрахта.

К такому выводу приводят и результаты работы ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по договору с ООО «Газфлот» [10], когда были выполнены исследования различных вариантов кредитного финансирования и эксплуатации танкеров СПГ грузовместимостью 155 тыс. м^3 и 215 тыс. м^3 для расчетных 25 лет до капитального ремонта, и полных 40 лет их работы.

На рис. 6 приведена расчетная оценка суточной стоимости танкера-газовоза грузовместимостью 155 тыс. м^3 при инвестиционном варианте строительства за счет 100 % собственных инвестируемых средств судовладельца, при различных значениях прибыли (внутренней нормы доходности – ВНД) судовладельца от фрахтования судна. При выполнении расчетов учитывались все принципиально значимые факторы, определяющие коммерческую эффективность: капитальные затраты на строительство, докование, условия кредитования строительства, эксплуатационные затраты, пошлины и налоги.

ВНД в пределах 0 % фактически отражает значения тайм-чартерного эквивалента (ТЧЭ), ниже уровня которого фрахтование судна становится бесприбыльным, но обеспечивает объем постоянных платежей и отчислений судовладельца (бесприбыльная работа судна в течение определенного времени не редкость в морской практике). Фактически ТЧЭ показывает цену фрахтования судна,

которую должен получать судовладелец от стороннего арендатора (фрахтователя) судна при его аренде в тайм-чартер. Расчетная модель (рис. 6), построенная на основании работы [10], показывает, что гипотетический уровень применяемых виброакустических мероприятий стоимостью, например, в ~7 % (на рис. 6 это соответствует величине ~500 млн руб.) в пересчете к ТЧЭ повышает его на величину ~1 %, что в практической деятельности находится на уровне погрешностей оперативного управления судном. При норме доходности ВНД = 15 % расчетный рост ТЧЭ составляет величину ~5 %, что также может быть нивелировано качеством фрахтования.

Аналогичные результаты получены для условий строительства по пяти различным схемам его кредитования (% и срок кредита, налоги, отчисления и пр.), в т.ч. в условиях лизинга. Для танкера СПГ грузовместимостью 215 тыс. м^3 оценка зависимости ТЧЭ от объема виброакустических мероприятий ~7 % показывает значения даже меньше 1 %.

Заключение

Conclusion

Исследования, выполненные в статье, показывают, что создание перспективных судов, конкурентных на отечественном и международном морских рынках, требует повышенного внимания к их значимым характеристикам качества: экологичности, неотъемлемой частью которой является низкая подводная шумность; энергоэффективности, определяющей экологический статус судна; конкурентоспособности, характеристикой которой являются качества судна, оптимизированные по энергоэффективности и подводной шумности

Эти характеристики требуют синергии, т.е. оптимизированного сочетания в процессе проектирования, строительства и эксплуатации. Подводная шумность судна занимает особое место как экологический параметр. Необходимо ясное понимание, что пренебрежение надвигающимися требованиями по подводной шумности морской техники неизбежно приведет к конкурентному давлению, которое может быть реализовано по различным направлениям. Так, могут вводиться ограничения по скорости хода судна, принуждение к изменению маршрута с обходом экологических уязвимых акваторий, повышение экологических сборов и платежей, что нанесет серьезный ущерб конкурентному статусу судна на морском рынке.

Энергоэффективность и экологичность судов по критерию подводного шума являются предметом регулирования со стороны международных классификационных обществ. В морскую практику вводятся требования по расчетным коэффициентам энергоэффективности действующих и строящихся судов, которые обязаны предоставлять судоходные компании. В течение 2026–2027 гг. со стороны IMO ожидаются мероприятия по введению регламентации техногенного подводного шума. Анализ публикаций показывает, что синергия энергоэффективности и подводной шумности пока находится на начальных этапах исследований международных морских организаций, однако можно утверждать, что сочетание этих двух критериев в ближайшее

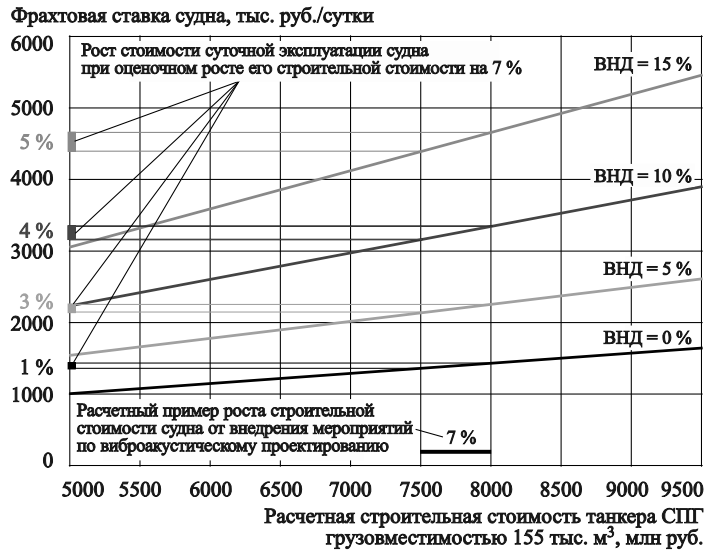

Рис. 6. Иллюстрация изменений суточной стоимости судна в % при гипотетическом варианте роста стоимости судна (например, на ~ 7 %) за счет внедрения мероприятий по его виброакустическому проектированию

Fig. 6. Changes of ship operation costs (per day), in %, in case of hypothetical growth of ship costs, e.g. by 7 %, due to vibroacoustic design measures

время будет рассматриваться как показатель качества и конкурентоспособности морской техники.

На этом фоне в Российской Федерации отсутствуют собственные нормативные требования к подводной шумности объектов гражданской морской техники (за исключением некоторых специальных типов судов), а в отношении энергоэффективности имеют место унификация и обязательное следование зарубежным требованиям. Такое положение неприемлемо и ведет к полному вытеснению российского морского флота с международного морского рынка, с последующим огромным ущербом для судостроения как наукоемкой отрасли тяжелого машиностроения.

Ряд специалистов судостроительных предприятий высказали уместные предположения о повышении строительной и эксплуатационной стоимости судов, связанных с внедрением мероприятий по снижению их подводной шумности, и, как следствие, негативного влияния на конкурентоспособность отечественного морского флота. Авторы благодарны им за акцентирование внимания к этому вопросу.

В статье показано, что применение широкого комплекса мероприятий, направленных на снижение подводной шумности судна, в сочетании с мероприятиями по повышению его энергоэффективности, не приведет к значимому росту стоимости судна в эксплуатации и в итоге может быть связано только с незначительным (порядка нескольких процентов) увеличением эксплуатационных суточных затрат. Результаты выполненных оценок позволяют считать, что на практике такое увеличение будет находиться в пределах ошибок фрахтования и оперативного управления судном. В то же время оптимальное сочетание виброакустического проектирования и мероприятий по повышению энергоэффективности позволяет существенно повысить качество и конкурентоспособность судна, значительно снижая риски конкурентного давления на международном морском рынке.

Для формирования системного, комплексного подхода к обозначенной проблеме на ближайшее десятилетие в рамках «Основных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Национального исследовательского центра судостроения имени академика А.Н. Крылова» (так будет называться после реорганизации ФГУП «Крыловский государственный научный центр») планируются системные исследования по направлению «Обеспечение энергоэффективности и охраны морской среды». Его разделами являются «Повышение качества, конкурентоспособности и экологической безопасности продукции российского судостроения по критериям подводной шумности объектов гражданской морской техники» и «Повышение энергоэффективности судов». Составной частью этих исследований являются заявленные в 2025 г. к выполнению работы «Разработка технологий исследований подводного шума объектов гражданской морской техники в арктических акваториях» (НИР «Барьер») и «Разработка методов виброакустического проектирования малошумных объектов гражданской морской техники» (НИР «Выбор»).

Список использованной литературы

1. Ship energy efficiency and underwater-radiated noise : Report 545-000-01 : Rev 3 / Vard Marine Inc. [S. l.], 2023. Pag. var. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/ Events/Documents/ShipEnergyEfficiencyandUnderwaterRadiatedNoise.pdf (Accessed: 10.03.2026).
2. ГОСТ Р 56828.29-2017. Наилучшие доступные технологии. Энергосбережение. Порядок определения показателей (индикаторов) энергоэффективности. Москва : Стандартинформ, 2017. V, 13. [1] с.
3. Новые требования МК МАРПОЛ, вступающие в силу в 2022–2023 годах : презентация // Российский морской регистр судоходства : [сайт]. Санкт-Петербург, [б. г.]. URL: https://rs-class.org/upload/iblock/593/593bf1f93d6143c6d3d8f11d7d8ac95f.pdf (дата обращения: 10.03.2026).
4. Workshop on the Relationship between Energy Efficiency and Underwater Radiated Noise from Ships, 18–19 September 2023 : summary // International Maritime Organization (IMO) : [site]. London, 2023. URL: https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/workshop-on-energy-efficiency-and-underwater-radiated-noise-from-ships.aspx (Accessed: 10.03.2026).
5. Review of the 2014 Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life (MEPC.1/CIRC.833) (2014 Guidelines) and identification of next steps / International Maritime Organization // Intertanko : [site]. 2024. 1 may. URL: https://www.intertanko.com/images/imo-submissions/2024/SDC_10.5.1.pdf (Accessed: 10.03.2026).
6. *Vakili S., White P., Turnock S.R.* The impact of shipping's energy efficiency measures on reduction of underwater radiated noise, and opportunities for co-benefit : ePrints / University of Southampton. Southampton, 2023. 70 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.14505.98400.
7. *Vakili S., White P., Turnock S.R.* Advancing a sustainable maritime future: Integrating energy efficiency and

underwater radiated noise reduction strategies in commercial shipping // Marine pollution bulletin. 2025. Vol. 215. P. 117835. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2025.117835.

8. Energy Efficiency and Underwater Radiated Noise Technologies. American Bureau of Shipping (ABS). November 2025. URL:https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/Energy%20Efficiency%20and%20Underwater%20Noise%20Technologies.pdf (Accessed: 08.04.2026).
9. Resolution MEPC.333(76). 2021 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI) : adopt. 17 June 2021 // MEPC 76/15. London, 2021. Annex 7. 10 p. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.333(76).pdf (Accessed: 10.03.2026).
10. Актуализация финансово-экономического обоснования строительства и эксплуатации танкеров СПГ Штокмановского ГКМ : научно-технический отчет ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова ; рук. Тимофеев О.Я. Санкт-Петербург, 2010. 138 с.
11. Ship energy efficiency and underwater radiated noise : presentation / *G.S.K Kaja, M. Sireli, A. Kendrick, R. Terweij* // Workshop on the relationship between energy efficiency and underwater radiated noise from ships / IMO, Marine Environment Protection Committee. London, 2023. 18 p. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/Documents/Rienk%20Terweij,%20Vard%20Marine.pdf (Accessed: 10.03.2026).
12. Workshop on the relationship between ship energy efficiency and underwater radiated noise // International Maritime Organization (IMO) : [site]. London, 2023. URL: https://www.imo.org/en/about/events/pages/urn-workshop-2023.aspx (Accessed: 10.03.2026).
13. EU Vessel density map : Detailed method : vers. 1.6 / *L. Falco, A. Pititto, W. Adnams* [et al.] ; European Commission. Brussels, 2023. 29, [5] p. DOI: 10.2771/518143.

References

1. Ship energy efficiency and underwater-radiated noise : Report 545-000-01 : Rev 3 / Vard Marine Inc. [S. l.], 2023. Pag. var. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/ Events/Documents/ShipEnergyEfficiencyandUnderwaterRadiatedNoise.pdf (Accessed: 10.03.2026).
2. GOST R 56828.29-2017. Best available techniques. Power management. Procedure for determination of power efficiency indicators. Moscow : Standartinform, 2017. V, 13 [1] p. (*in Russian*).
3. New MARPOL requirements to become effective in 2022–2023. Presentation // Russian Maritime Register of Shipping : [site]. St. Petersburg. URL: https://rs-class.org/upload/iblock/593/593bf1f93d6143c6d3d8f11d7d8ac95f.pdf (Accessed: 10.03.2026) (in Russian).
4. Workshop on the Relationship between Energy Efficiency and Underwater Radiated Noise from Ships, 18–19 September 2023 : summary // International Maritime Organization (IMO) : [site]. London, 2023. URL: https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/workshop-on-energy-efficiency-and-underwater-radiated-noise-from-ships.aspx (Accessed: 10.03.2026).
5. Review of the 2014 Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life (MEPC.1/CIRC.833) (2014 Guidelines) and identification of next steps / International Maritime Organization // Intertanko : [site]. 2024. 1 may. URL: https://www.intertanko.com/images/imo-submissions/2024/SDC_10.5.1.pdf (Accessed: 10.03.2026).
6. *Vakili S., White P., Turnock S.R.* The impact of shipping's energy efficiency measures on reduction of underwater radiated noise, and opportunities for co-benefit : ePrints / University of Southampton. Southampton, 2023. 70 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.14505.98400.
7. *Vakili S., White P., Turnock S.R.* Advancing a sustainable maritime future: Integrating energy efficiency and underwater radiated noise reduction strategies in commercial shipping // Marine pollution bulletin. 2025. Vol. 215. P. 117835. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2025.117835.
8. Energy Efficiency and Underwater Radiated Noise Technologies. American Bureau of Shipping (ABS). November 2025. URL:https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/Energy%20Efficiency%20and%20Underwater%20Noise%20Technologies.pdf (Accessed: 08.04.2026).
9. Resolution MEPC.333(76). 2021 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI) : adopt. 17 June 2021 // MEPC 76/15. London, 2021. Annex 7. 10 p. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.333(76).pdf (Accessed: 10.03.2026).
10. Updated feasibility study for construction and operation of LNGCs for Shtokman gas condensate field. Report of the Krylov State Research Institute. Under editorship of O. Timofeev. St. Petersburg, 2010. 138 p. (*in Russian*).
11. Ship energy efficiency and underwater radiated noise : presentation / *G.S.K Kaja, M. Sireli, A. Kendrick, R. Terweij* // Workshop on the relationship between energy efficiency and underwater radiated noise from ships / IMO, Marine Environment Protection Committee.

London, 2023. 18 p. URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/Documents/Rienk%20Terweij,%20Vard%20Marine.pdf (Accessed: 10.03.2026).
12. Workshop on the relationship between ship energy efficiency and underwater radiated noise // International Maritime Organization (IMO) : [site]. London, 2023. URL: https://www.imo.org/en/about/events/pages/urn-workshop-2023.aspx (Accessed: 10.03.2026).
13. EU Vessel density map : Detailed method : vers. 1.6 / *L. Falco*, *A. Pititto*, *W. Adnams* [et al.] ; European Commission. Brussels, 2023. 29, [5] p. DOI: 10.2771/518143.

Сведения об авторах

Новиков Дмитрий Олегович, генеральный директор ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-46-23. E-mail: krylov@ksrc.ru. https://orcid.org/0009-0009-8495-8331.
Таровик Владимир Иванович, к.т.н., заместитель начальника лаборатории – начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. E-mail: v_tarovik@ksrc.ru. https://orcid.org/0000-0002-4001-8016.
Чижов Виталий Юрьевич, начальник отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. E-mail: v_chishov@ksrc.ru.

About the authors

Dmitry O. Novikov, Director General, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-46-23. E-mail: krylov@ksrc.ru. https://orcid.org/0009-0009-8495-8331.
Vladimir I. Tarovik, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector – Deputy Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-46-81. E-mail: v_tarovik@mail.ru. https://orcid.org/0000-0002-4001-8016.
Vitaly Yu. Chizhov, Head of Division, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. E-mail: v_chishov@ksrc.ru.

Поступила / Received: 12.03.26
Принята в печать / Accepted: 07.05.26
© Новиков Д.О., Таровик В.И., Чижов В.Ю., 2026