

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, старшего научного сотрудника Сазонова Кирилла Евгеньевича на диссертационную работу Огая Сергея Алексеевича Огая Сергея Алексеевича «Методологические подходы для определения оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.08.03 – Проектирование и конструкция судов

Актуальность избранной темы связана с особым значением для Российской Федерации морской деятельности в замерзающих морях Дальнего Востока и Восточного сектора Арктики, а также в осуществлении в замерзающих морях транспортных коммуникаций, включая Северный морской путь, в освоении природных ресурсов в этих районах и иных направлениях промышленной деятельности в замерзающих морях.

Для оценки актуальности нужно также учесть, что постройка многоцелевых судов ледового плавания с использованием федеральных субсидий дает возможность развития судостроительной промышленности, а также развивает научные и проектные организации, профильные университеты.

Важнейшим этапом создания инновационного судна, в частности, многоцелевого судна ледового плавания, оказывающим преобладающее влияние на эксплуатационные и экономические показатели, служит проектирование, и прежде всего, его начальные этапы. Научные подходы на начальных этапах проектирования выступают фундаментом эффективности в судоходстве и в судостроении.

Указанные причины определяют актуальность выполненных в диссертации исследований, разработки подходов и методов определения характеристик и элементов при проектной оптимизации инновационных судов для замерзающих морей.

Общая характеристика работы.

Предметом исследования выступает многоцелевое судно ледового плавания при определении его оптимальных характеристик и элементов на начальных этапах проектирования. Судно указанного типа, создаваемое в соответствии со стратегией развития судостроительной промышленности пригодно для автономной эксплуатации в замерзающих и арктических морях и способно обслуживать другие суда в ледовых условиях. При этом судно должно выполнять широкий спектр операций: прокладка канала во льдах, перевозка и разгрузка различных грузов, осуществлять спасательные, патрульные или иные операции. Область исследования охватывает подходы и методы определения на началь-

ных стадиях проектирования оптимальных по применяемым экономическим критериям характеристик судов указанного типа.

В первой главе диссертации анализируются характеристики создаваемых в Российской Федерации и за рубежом многоцелевых судов ледового плавания, и характеристики по проектам этих судов. Создание судов для замерзающих и арктических морей осуществляется на основе бюджетного субсидирования, а также на основе частно-государственного партнерства. В соответствии со Стратегией судостроительной промышленности для правительственных нужд требуется постройка морской техники и судов следующих типов: танкеров для использования в замерзающих морях, в том числе для перевозки сжиженного природного газа (LNG-танкеров); ледоколов; контейнерных судов для замерзающих морей; разведочных и добычных платформ и оборудования для работы на арктическом шельфе; научно-исследовательских судов для работы в Арктике; плавучих средств для переработки природного газа в Арктике. Для определения подходов к определению проектных характеристик многоцелевых судов ледового плавания в диссертации имеется обзор практики создания судов рассматриваемого типа на судостроительных верфях в Российской Федерации и за рубежом.

Во второй главе многоцелевое судно ледового плавания анализируется как сложная вероятностная система, состоящая из подсистем. При совмещении подсистем, то есть отдельных качеств судна, выступающих его частями (подсистемами), возникают новые качества, отсутствующие в отдельных подсистемах. Возникает системная иерархия уровней задач проектирования, к которым относятся: задача внешнего проектирования – определение характеристик судна и задача внутреннего проектирования – определение проектных элементов судна. Вторая глава содержит, также, примеры комплексных объектов, подсистемой которых может выступать проектируемое судно, что необходимо учитывать при нахождении проектных ограничений. Использование принципов системного подхода дает возможность в составе математической модели классифицировать аргументы применяемой целевой функции в множества: искомым переменных характеристик судна; исходных данных, характеризующих проектные ограничения, и параметров, то есть проектных элементов судна.

В третьей главе рассматриваются критерии прочности корпуса судна и ледопробиваемости для нахождения проектных ограничений. Алгоритм, используемый для определения мощности помимо заданного ограничения по толщине форсируемого льда, охватывает также учет ограничения по достаточной скорости в открытой воде и резерв установочной мощности для генерирования энергии, передаваемой на другие суда или на береговой пункт. Прочность в условиях воздействия льда в районе ледового пояса оценивается с учетом изгиба бортового перекрытия и обшивки. Рассматривается возможность применения комплексного критерия эксплуатационных качеств судна во льдах, учитывающего как безопасную скорость судна, так и толщину сплошного форсируемого льда,

а также толщину битого льда определенной сплоченности, преодолеваемого при избегании «ледового плена», и толщину сплошного льда, давление которого судно выдерживает со стороны бортов.

В четвертой главе представлены используемые в составе математических моделей методы определения водоизмещения в зависимости от проектного дедвейта многоцелевого судна ледового плавания и от заданного ограничения по толщине форсируемого льда в рамках системного подхода с использованием уравнения баланса водоизмещения. Размерность проектной задачи можно сократить за счет использования уравнений баланса, устанавливающих соотношения между зависимыми и независимыми характеристиками многоцелевого судна ледового плавания. На начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания в качестве второй независимой характеристики помимо размера судна можно назвать показатель мореходности во льдах, в диссертации используется показатель толщины сплошного форсируемого льда.

В пятой главе формулируются критерии оптимальности для их использования на начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания. С учетом того, что многоцелевое судно для арктических и замерзающих морей создается с привлечением бюджетных инвестиций, то соискатель в диссертации придерживается использования в качестве целевой функции критерия минимизируемых затрат с учетом возможного внебюджетного дохода к затратам. Для нахождения целевой функции строится математическая модель, с помощью которой определяются оптимальные проектные характеристики многоцелевого судна ледового плавания. Экономический критерий, используемый при оптимизации, основывается на соотношении основных экономических показателей: дохода, себестоимости и инвестиций. Для оценки эффективности вариантов многоцелевого судна ледового плавания критерий приведенных затрат оценивается по удельной величине – в расчете на единицу полезного эффекта. В качестве характеристики полезности многоцелевого судна ледового плавания в диссертации рассмотрены: характеристика транспортной функции судна (годовой провозоспособности) и характеристика размера судна.

Шестая глава посвящена исследованию показателя полезного эффекта, а также определению штрафной (или премиальной) поправки к целевой функции за соблюдение инвестиционного ограничения субсидий, выделенных на создание многоцелевого судна ледового плавания. Найдено, что размер судна этого типа находится в пропорциональной зависимости с показателем провозоспособности, и эти характеристики полезности в широком диапазоне данных могут быть взаимозаменяемыми в составе критерия при нахождении оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания. Инвестиционное ограничение по размеру субсидий учитывается введением штрафной или премиальной поправки к целевой функции. Поправка связана с оценкой потребности в дополнительных инвестициях. Функция полезности характеризует

а также толщину битого льда определенной сплоченности, преодолеваемого при избегании «ледового плена», и толщину сплошного льда, давление которого судно выдерживает со стороны бортов.

В четвертой главе представлены используемые в составе математических моделей методы определения водоизмещения в зависимости от проектного дедвейта многоцелевого судна ледового плавания и от заданного ограничения по толщине форсируемого льда в рамках системного подхода с использованием уравнения баланса водоизмещения. Размерность проектной задачи можно сократить за счет использования уравнений баланса, устанавливающих соотношения между зависимыми и независимыми характеристиками многоцелевого судна ледового плавания. На начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания в качестве второй независимой характеристики помимо размера судна можно назвать показатель мореходности во льдах, в диссертации используется показатель толщины сплошного форсируемого льда.

В пятой главе формулируются критерии оптимальности для их использования на начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания. С учетом того, что многоцелевое судно для арктических и замерзающих морей создается с привлечением бюджетных инвестиций, то соискатель в диссертации придерживается использования в качестве целевой функции критерия минимизируемых затрат с учетом возможного внебюджетного дохода к затратам. Для нахождения целевой функции строится математическая модель, с помощью которой определяются оптимальные проектные характеристики многоцелевого судна ледового плавания. Экономический критерий, используемый при оптимизации, основывается на соотнесении основных экономических показателей: дохода, себестоимости и инвестиций. Для оценки эффективности вариантов многоцелевого судна ледового плавания критерий приведенных затрат оценивается по удельной величине – в расчете на единицу полезного эффекта. В качестве характеристики полезности многоцелевого судна ледового плавания в диссертации рассмотрены: характеристика транспортной функции судна (годовой провозоспособности) и характеристика размера судна.

Шестая глава посвящена исследованию показателя полезного эффекта, а также определению штрафной (или премиальной) поправки к целевой функции за соблюдение инвестиционного ограничения субсидий, выделенных на создание многоцелевого судна ледового плавания. Найдено, что размер судна этого типа находится в пропорциональной зависимости с показателем провозоспособности, и эти характеристики полезности в широком диапазоне данных могут быть взаимозаменяемыми в составе критерия при нахождении оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания. Инвестиционное ограничение по размеру субсидий учитывается введением штрафной или премиальной поправки к целевой функции. Поправка связана с оценкой потребности в дополнительных инвестициях. Функция полезности характеризует

полезный эффект многоцелевого судна ледового плавания и служит неотъемлемой частью экономического критерия.

В седьмой главе исследуется качество проектных характеристик, найденных и с использованием целевой функции и математической модели в соответствии с заданными проектными ограничениями. Найденные оптимальные характеристики судна исследуются на предмет их устойчивости, то есть сохранения свойства оптимальности их найденных значений при возможных вариациях исходных данных и проектных ограничений. К числу факторов устойчивости в диссертации отнесены: свойства целевой функции в окрестности ее экстремума, логичная классификация величин в составе целевой функции, нахождение проектных элементов по их относительной величине. Исследование устойчивости свойства оптимальности найденных характеристик судна в седьмой главе подкреплено расчетами и анализом графиков целевой функции. Проектные элементы многоцелевого судна ледового плавания по относительной величине в диссертации найдены в интервалах: отношение длины судна по ватерлинии к ширине – от 4,06 до 4,76; отношение ширины судна к осадке по грузовую марку – от 2,34 до 4,97; отношение высоты борта до уровня главной палубы к осадке по грузовую марку – от 1,32 до 1,50. Найденные приближенно на начальных стадиях проектирования элементы судна служат для сокращения интервалов их возможных значений, уточняемых на последующих стадиях проектирования, когда найденные оптимальные значения независимых характеристик судна будут выступать как данные.

В восьмой главе рассматриваются варианты методологической комплексной системы, в которую проектируемое многоцелевое судно ледового плавания может входить как подсистема. Понятие комплексной системы используется для нахождения проектных ограничений при оптимизации характеристик судна. Этими ограничениями для проекта судна служат характеристики комплексной системы, в которую судно входит как подсистема, то есть, элемент. Рассмотрены следующие варианты общей комплексной системы: флот морских грузоперевозчиков; судоходная компания; морской грузопоток определенной интенсивности и протяженности; комплекс идентичных судов, осуществляющих освоение морских ресурсов в определенном морском районе, или комплекс судов разных типов и проектов, взаимно дополняемых в нем; система судостроительных заводов и судосборочных верфей, практикующих постройку судов ледового плавания; Стратегия развития судостроительной промышленности и соответствующие федеральные целевые программы в судостроении и судоходстве и др. К числу независимых целевых признаков общей комплексной системы отнесены: имущественный признак цели создания судна для получения экономического результата; технологический признак ценности создания инновационных возможностей в судостроении; конструктивный признак цели создания инновационных морских технических средств, ранее не являющихся серийно освоенными; функциональный признак назначения судна, например,

по Стратегии развития судостроительной промышленности или по целевым программам.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научные положения, сформулированные в диссертации обоснованы как целостная совокупность выводов и рекомендаций. Отдельные части работы, а также соответствующие результаты и выводы обоснованы их последовательностью и взаимозависимостью, целостностью общей структуры диссертации. Диссертационная работа охватывает, как определение предмета исследования – многоцелевого судна ледового плавания на начальных стадиях его проектирования, так и места предмета в рамках системного подхода – в общей иерархии объектов. Достоверность обеспечивает комплексное рассмотрение вопросов по нахождению и оценке проектных ограничений различной природы, по построению критериев принятия проектных решений, целевых функций, математических моделей и вопросов разностороннего анализа качества полученных.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность исследования характеризуется теоретическим обоснованием при построении математических моделей и разносторонним исследованием полученных результатов. Теоретические обоснования базируются на использовании положений, соответствующих методологии проектирования гражданского судна и теории экономической эффективности капиталовложений, а также на использовании собранных и систематизированных соискателем технических данных о новых многоцелевых судах ледового плавания и о проектах судов этого типа. Полученные результаты представлены в форме графических функциональных поверхностей, каждая из которых сопровождается анализом зависимости критерия от проектных ограничений как физической природы, так и экономического ограничения по размеру выделенных бюджетных инвестиций в создание судна. Исследуется устойчивость найденных значений проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания при разных сочетаниях проектных ограничений или устойчивость зависимости оптимального сочетания характеристик судна от этих ограничений. Указанные теоретические основания при построении математических моделей и анализ устойчивости полученных результатов, представленных в диссертации, характеризует достоверность результатов.

Новыми являются основные положения, выдвигаемые на защиту. Многоцелевое судно ледового плавания в процессе его проектирования ранее не рассматривалось в тех аспектах, которые в диссертации характеризует предмет исследования. Это побудило соискателя решить ряд взаимосвязанных задач и получить результаты, представляющие ценность для теории проектирования судов этого типа, сформулировать понятие многоцелевого судна ледового плавания в соответствии с принципами системного подхода для целей проектирова-

ния. В результате такого подхода открылась возможность классифицировать математические величины в составе алгоритмов, обосновать функциональные ограничения и форму показателя эффективности, разработать целевую функцию на основе использования результатов перечисленных задач, проверить качество полученного решения.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Разработанные методологические подходы для определения характеристик и элементов на начальных стадиях проектирования многоцелевых судов ледового плавания являются значимым шагом для этой научной отрасли и в совокупности являются трудоемким исследованием, включающим решение ряда ключевых практических вопросов. Решение этих задач позволяет повысить качество и обоснованность определения характеристик многоцелевого судна ледового плавания на начальных стадиях проектирования и элементов этого судна на дальнейших этапах, поскольку более распространенные для серийных судов подходы, основанные на использовании прототипов, малопригодны для определения характеристик и проектных элементов инновационных судов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты и выводы, полученные соискателем в диссертации, могли бы использоваться экспертными группами как судоходных компаний и других заинтересованных организаций, выступающих заказчиками постройки судов, при подготовке контрактов на создание (проектирование и постройку) многоцелевых судов ледового плавания. Кроме этого, результаты и выводы могут использоваться в дальнейшей отраслевой научной работе и в учебном процессе.

Содержание диссертации и ее завершенность.

Диссертация включает 8 глав, вводную и заключительную части, ее объем составляет 386 страниц, а также 2 части приложения. Список литературы включает 191 наименование. Отдельным разделом представлен развернутый перечень используемых условных обозначений, который также можно использовать как глоссарий терминов. Можно отметить достаточно обширный объем опубликования результатов, как в научных изданиях в Российской Федерации, так и за рубежом, большое количество публикаций в журналах, в которых ВАК рекомендует публиковать результаты диссертаций, а также, в изданиях, цитируемых в системах РИНЦ, Web of Science и Scopus. По результатам исследования автор опубликовал две монографии. Апробация осуществлена в докладах на многочисленных конференциях, проводившихся в России и за рубежом. Качество оформления и редактирования работы хорошее. Диссертация является завершенным исследованием.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

К числу достоинств диссертации можно отнести принятый автором подход, при котором объектом исследования выступает многоцелевое судно ледового плавания в процессе его проектирования. В отличие от выполняемых исследований мореходных и ледовых качеств, конструкции судов ледового пла-

вания определение оптимальных проектных характеристик и элементов судов этого типа в меньшей степени попадало в сферу внимания специалистов. Использование системного подхода для определения проектных характеристик и элементов непосредственно связана с исследованиями в области теории ледокольного корабля, а также с задачами обеспечения прочности, надежности и металлоемкости судов ледового плавания. Найденные при решении указанных задач характеристики и элементы многоцелевого судна ледового плавания в системном отношении выступают исходными данными, что характеризует взаимосвязь всех перечисленных направлений. Экономическая актуальность всей совокупности смежных задач, связанных с созданием инновационных судов ледового плавания и с усовершенствованием судостроительной отрасли, при нахождении оптимальных проектных характеристик судна определяется используемыми экономическими критериями оптимальности.

По рассматриваемой работе имеются следующие замечания.

1. Вызывает некоторое недоумение выбор в качестве исходного соотношения для анализа предельной ледопроеходимости формулы Титова - Климашевского. Единственным достоинством этой формулы можно считать ее простоту. Все особенности формы корпуса описываются в ней с помощью форм-функции, которая зависит от двух параметров, определяемых в районе $0 - 1$ теоретических шпангоутов носовой оконечности. Такая функция никак не может даже приближенно полностью описать особенности форму корпуса, которые оказывают существенное влияние на ледовое сопротивление, например, район перехода носового заострения в цилиндрическую вставку. В диссертационной работе форм-функция вообще сведена к некоторому постоянному числу, что означает отказ от анализа влияния формы на ледопроеходимость.

Если же принять допустимым использование формулы Титова - Климашевского на начальных стадиях проектирования, то возникает вопрос каким образом из этой формулы получено выражение (3.1). В формуле Титова - Климашевского, а также в исходной для нее формуле Цоя предельная ледопроеходимость пропорциональна некоторой степени водоизмещения, т.е. увеличивается с его ростом. Из формулы же (3.1) следует снижение предельной ледопроеходимости при увеличении водоизмещения. В формулы Цоя и Титова - Климашевского входит значение полезной тяги движителей, которая пропорциональна мощности в степени « $2/3$ ». В формулу (3.1) мощность входит без какого-либо показателя степени.

2. Предыдущие замечания в какой-то мере нивелируются тем, что автор не использует в работе формулу (3.1), а подбирает к ней новые коэффициенты на основании анализа данных о ледоколах судах современной постройки. Однако данные приведенные в таблице 3.1, на наш взгляд, не совсем корректны. Так ледопроеходимость строящегося в настоящее время ледокола пр. 22220 указана 2 м, в то время как по прогнозам она должна быть около 3 м. Также завышена ледопроеходимость ледоколов типа «Арктика».

вания определение оптимальных проектных характеристик и элементов судов этого типа в меньшей степени попадало в сферу внимания специалистов. Использование системного подхода для определения проектных характеристик и элементов непосредственно связана с исследованиями в области теории ледокольного корабля, а также с задачами обеспечения прочности, надежности и металлоемкости судов ледового плавания. Найденные при решении указанных задач характеристики и элементы многоцелевого судна ледового плавания в системном отношении выступают исходными данными, что характеризует взаимосвязь всех перечисленных направлений. Экономическая актуальность всей совокупности смежных задач, связанных с созданием инновационных судов ледового плавания и с усовершенствованием судостроительной отрасли, при нахождении оптимальных проектных характеристик судна определяется используемыми экономическими критериями оптимальности.

По рассматриваемой работе имеются следующие замечания.

1. Вызывает некоторое недоумение выбор в качестве исходного соотношения для анализа предельной ледопроеходимости формулы Титова - Климашевского. Единственным достоинством этой формулы можно считать ее простоту. Все особенности формы корпуса описываются в ней с помощью форм-функции, которая зависит от двух параметров, определяемых в районе $0 - 1$ теоретических шпангоутов носовой оконечности. Такая функция никак не может даже приближенно полностью описать особенности форму корпуса, которые оказывают существенное влияние на ледовое сопротивление, например, район перехода носового заострения в цилиндрическую вставку. В диссертационной работе форм-функция вообще сведена к некоторому постоянному числу, что означает отказ от анализа влияния формы на ледопроеходимость.

Если же принять допустимым использование формулы Титова - Климашевского на начальных стадиях проектирования, то возникает вопрос каким образом из этой формулы получено выражение (3.1). В формуле Титова - Климашевского, а также в исходной для нее формуле Цоя предельная ледопроеходимость пропорциональна некоторой степени водоизмещения, т.е. увеличивается с его ростом. Из формулы же (3.1) следует снижение предельной ледопроеходимости при увеличении водоизмещения. В формулы Цоя и Титова - Климашевского входит значение полезной тяги движителей, которая пропорциональна мощности в степени « $2/3$ ». В формулу (3.1) мощность входит без какого-либо показателя степени.

2. Предыдущие замечания в какой-то мере нивелируются тем, что автор не использует в работе формулу (3.1), а подбирает к ней новые коэффициенты на основании анализа данных о ледоколах судах современной постройки. Однако данные приведенные в таблице 3.1, на наш взгляд, не совсем корректны. Так ледопроеходимость строящегося в настоящее время ледокола пр. 22220 указана 2 м, в то время как по прогнозам она должна быть около 3 м. Также завышена ледопроеходимость ледоколов типа «Арктика».

