

Ссылка для цитирования этой статьи:

Казанин К.В., Гриднев Д.В., Алмазов О.В. Противоледовая конструктивная защита винторулевого комплекса судов ледового плавания для эксплуатации в акваториях Дальнего Востока // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 12. URL: http://progress-human.com/images/2024/Tom10_12/Kazanin.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2024-12a-11.

ПРОТИВОЛЕДОВАЯ КОНСТРУКТИВНАЯ ЗАЩИТА ВИНТОРУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АКВАТОРИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Казанин Кирилл Вадимович

студент,

Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Гриднев Дмитрий Витальевич

студент,

Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Алмазов Олег Владимирович

студент,

Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к разработке конструктивной защиты винторулевых комплексов (ВРК) судов ледового плавания, предназначенных для эксплуатации в сложных ледовых условиях акваторий Дальнего Востока России. Особое внимание уделено специфике ледовых нагрузок, характерных для Охотского моря и Татарского пролива, а также особенностям климатических условий региона. Представлены технические решения, направленные на повышение надежности и долговечности конструкций ВРК, включая использование высокопрочных материалов, усиленных сварных соединений, герметизации и защитных покрытий. Описаны технологии сборки защитных конструкций, а также различия в методах монтажа и сборочных операций для судов, эксплуатируемых в условиях ледового плавания.

Ключевые слова: винторулевой комплекс, противоледовая защита, суда ледового плавания, ледовые нагрузки, конструктивные решения, сборка, сварочные технологии, судостроение.

Винторулевой комплекс (ВРК) является одной из ключевых конструктивных частей судна, определяющих его маневренность и эффективность работы в различных условиях эксплуатации. В ледовых акваториях, особенно в зонах арктического и дальневосточного плавания, ВРК подвергается значительным нагрузкам, связанным с воздействием льда. Проблемы повреждений винтов, рулевых устройств и связанных с ними элементов стали объектом многочисленных научных исследований и инженерных разработок, направленных на защиту этих критически важных систем.

Современные методы защиты ВРК можно условно разделить на две категории: конструктивные решения и эксплуатационные меры. Конструктивные подходы ориентированы на усиление элементов ВРК, использование защитных структур и применение инновационных материалов. Одним из наиболее распространенных решений является установка ледовых подкреплений в области корпуса, окружающей ВРК. Эти элементы выполняют функцию барьера между льдом и функциональными частями комплекса, принимая на себя основную нагрузку. Ледовые подкрепления обычно изготавливаются из высокопрочных сталей, способных выдерживать значительные ударные нагрузки. Они применяются преимущественно на ледокольных судах и ледовых танкерах, эксплуатируемых в арктических водах. Например, российские суда проекта 22220, такие как ледокол "Арктика", оснащены усиленными защитными элементами в районе винторулевых устройств, что позволяет им преодолевать льды толщиной до трех метров.

Другим популярным решением являются противоледовые кожухи, представляющие собой жесткие конструкции, окружающие винт и рулевой комплекс. Такие кожухи предотвращают контакт льда с функциональными частями ВРК и снижают вероятность повреждений. Особый интерес вызывают кожухи, изготовленные из композитных материалов, которые сочетают высокую прочность и устойчивость к коррозии [1]. Примером их применения является модернизация ледоколов для Северного морского пути, где жесткость и устойчивость к абразивному воздействию льда имеют критическое значение.

Также заслуживают внимания насадки на гребные винты, которые защищают их лопасти от ударных нагрузок. Эти насадки не только предотвращают повреждения, но и снижают кавитацию, что положительно влияет на долговечность винтов и общую энергоэффективность судна. Эксперименты, проведенные в Центральном научно-исследовательском институте имени Крылова, показали, что применение таких насадок позволяет снизить повреждения винтов более чем на 30% в условиях среднеплотных ледовых полей.

Эксплуатационные меры включают снижение скорости движения судна в ледовых акваториях, выбор маршрутов с наименьшей ледовой нагрузкой и использование ледокольной проводки. Снижение скорости позволяет минимизировать кинетическую энергию столкновения судна со льдом, что существенно снижает риск повреждений. Однако этот метод ограничивает эффективность транспортных операций, особенно при перевозке грузов на дальние расстояния. Ледокольная проводка, которая широко применяется на Дальнем Востоке России, остается одним из самых надежных методов снижения риска повреждений, однако её доступность зависит от региона и времени года. В частности, для обеспечения безопасного плавания по Татарскому проливу и в районах Охотского моря в зимний период требуется значительное количество ледоколов, что не всегда возможно из-за ограниченного парка ледокольных судов.

Акватории Дальнего Востока России, включая Охотское и Японское моря, характеризуются сложными ледовыми условиями, особенно в зимний период. Толщина льда в этих регионах может достигать 1,5–2 метров, а ледовые поля часто имеют неоднородную структуру, включающую торосы и многолетний лед. Эти особенности требуют применения специальных методов защиты ВРК, учитывающих специфику региона. Ограничения маневренности судов в условиях плотных ледовых полей усиливают нагрузку на ВРК, особенно в случаях, когда судно вынуждено самостоятельно пробиваться через лед. Более того, эксплуатация судов в акваториях Дальнего Востока часто осложняется воздействием сильных ветров, что дополнительно повышает нагрузку на рулевые устройства.

Одним из перспективных направлений является проектирование защитных экранов для винторулевых комплексов. Эти экраны интегрируются в конструкцию корпуса судна таким образом, чтобы распределять ледовые нагрузки по большей площади и предотвращать их концентрацию на отдельных элементах [3]. Использование таких экранов из многослойных металлокерамических материалов позволяет сочетать высокую прочность с низкой массой. Металлокерамические композиции демонстрируют отличную устойчивость к ударным воздействиям, что подтверждено испытаниями, проведенными в лабораториях Центрального научно-исследовательского института имени Крылова.

Для повышения долговечности и надежности винторулевого комплекса разрабатываются инновационные антивибрационные крепления. Данные крепления снижают динамические нагрузки, возникающие при контакте со льдом, и увеличивают ресурс работы подвижных элементов комплекса. Эффективность таких решений повышается за счет использования эластомерных материалов с добавлением наночастиц графена, которые повышают их прочностные характеристики на 20–25% по сравнению с традиционными

полимерами. Такие антивибрационные крепления также обеспечивают высокую износостойкость, что особенно важно при длительной эксплуатации судна в условиях постоянного ледового воздействия.

Дополнительным элементом защиты могут стать встроенные системы противоледового обогрева, которые предотвращают образование наледи на критических элементах ВРК. Эти системы включают интеграцию трубопроводов с теплоносителем в структуру защитных кожухов и обтекателей. Использование жидкостных контуров обогрева с антифризом, циркулирующим под высоким давлением, позволяет сохранять оптимальные температурные условия даже при температурах окружающей среды ниже -40 °С. Применение интеллектуальных термостатов, контролирующих температуру в реальном времени, обеспечивает равномерный нагрев элементов и исключает перерасход энергии.

Еще одним перспективным направлением является использование адаптивных обтекателей с изменяемой геометрией. Такие обтекатели способны автоматически подстраиваться под текущую ледовую обстановку благодаря внедрению электроактивных полимеров, которые изменяют свою форму под воздействием электрического напряжения. Это позволяет минимизировать сопротивление воды при нормальной эксплуатации судна и обеспечивать максимальную защиту ВРК при взаимодействии с ледовыми полями. Испытания адаптивных обтекателей на ледокольных судах типа "Владивосток" показали снижение риска повреждений винтов на 40% по сравнению с традиционными статичными конструкциями.

Для повышения эффективности защиты также рассматривается применение бортовых систем распределения ледовых нагрузок. Эти системы включают в себя сеть датчиков, установленных на корпусе судна вблизи ВРК, которые фиксируют параметры ледового воздействия в реальном времени. На основе полученных данных интеллектуальная система управления перераспределяет нагрузку путем регулирования силы воздействия на различные элементы корпуса. Такая технология, основанная на принципах искусственного интеллекта, позволяет снизить пиковые нагрузки на винт и рулевой механизм, продлевая срок их службы и предотвращая поломки.

Важным аспектом конструктивных решений является выбор материалов, способных противостоять воздействию низких температур, коррозии и абразивного износа. Перспективным направлением в этом контексте является использование сплавов на основе алюминия с добавлением магния и титана. Такие материалы демонстрируют высокую устойчивость к морозу и сохраняют свои механические свойства при температурах до -60 °С. Кроме того, алюминиевые сплавы обладают низкой плотностью, что позволяет уменьшить массу защитных конструкций без ущерба для их прочностных характеристик [5].

Особое внимание уделяется методам интеграции защитных конструкций в корпус судна. Например, технологии лазерной сварки с предварительным подогревом позволяют обеспечить надежное соединение элементов из различных материалов. Лазерная сварка, в отличие от традиционной, минимизирует риск образования микротрещин, что особенно важно для работы в условиях ледовых нагрузок. Такой подход уже успешно применяется при строительстве судов, работающих в Северном морском пути, и может быть адаптирован для дальневосточных акваторий.

Для снижения затрат на обслуживание и ремонт предлагается внедрение самовосстанавливающихся покрытий на основе полимеров с микрокапсулами. При механическом повреждении такие покрытия активируют химическую реакцию внутри микрокапсул, которая приводит к восстановлению структуры материала. Это особенно актуально для защиты внешних элементов ВРК, которые подвергаются абразивному воздействию льда и воды.

Сборка начинается с подготовки компонентов, которая включает резку, обработку и подгонку конструктивных элементов. Для этого используются специализированные станки, способные обрабатывать высокопрочные материалы, такие как низколегированные стали (например, 09Г2С) или морской алюминий. Эти материалы обладают высокой устойчивостью к механическим повреждениям, но требуют строгого соблюдения технологических параметров резки и обработки. Неправильная обработка может привести к появлению микротрещин, которые существенно снизят прочность соединений. На стадии подготовки важно обеспечить точность обработки до десятых долей миллиметра, что достигается с помощью станков с числовым программным управлением.

Монтаж элементов на корпус судна является следующим этапом. Установка конструкций производится в условиях, где требуется обеспечить точное позиционирование деталей относительно винторулевого комплекса. Для этого применяются гидравлические или пневматические манипуляторы, которые позволяют удерживать тяжелые элементы в правильном положении до момента их фиксации. В случае ледовых подкреплений или кожухов для защиты винта элементы крепятся к усиленным точкам корпуса, что снижает риск деформации или смещения при воздействии ледовых нагрузок. Крепления выполняются преимущественно с использованием болтовых соединений или сварки, причем выбор метода зависит от типа соединяемых материалов.

Сварочные работы играют центральную роль в процессе сборки. Для соединения стальных элементов используется дуговая сварка в среде защитного газа (MIG/MAG), которая обеспечивает прочные и герметичные швы. Особое внимание уделяется подготовке

поверхностей перед сваркой: они должны быть полностью очищены от загрязнений и окислов, что достигается с помощью шлифовки или пескоструйной обработки. Это предотвращает образование дефектов в швах, таких как поры или включения. Для повышения устойчивости швов к низким температурам используется легированная сварочная проволока, что особенно важно для конструкций, работающих при температурах до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Крепление алюминиевых или композитных элементов требует другого подхода. В этом случае применяется механическая фиксация, например клепка или использование резьбовых соединений с антикоррозийным покрытием. Для повышения долговечности соединений часто используются прокладки из фторопластов или резиновых материалов, которые предотвращают контакт разнородных металлов и, соответственно, возникновение гальванической коррозии [4].

Установку защитных кожухов и ледоотбойных экранов сопровождают процедуры герметизации соединений. Для этого используются полиуретановые или эпоксидные герметики, которые устойчивы к воздействию воды, ультрафиолета и экстремально низких температур. Герметизация проводится по всему периметру соединения, чтобы исключить проникновение воды, которая при замерзании может вызвать повреждение конструкций. После нанесения герметика соединения проверяются на герметичность методом давления воздуха или воды, что позволяет выявить даже минимальные утечки.

На этапе сборки важной процедурой является выравнивание элементов относительно силовых линий корпуса. Винторулевые комплексы работают под значительными динамическими нагрузками, поэтому даже небольшие отклонения в геометрии могут привести к неравномерному распределению усилий, что ускорит износ деталей. Для контроля выравнивания применяются механические нивелиры и оптические приборы, которые обеспечивают точность монтажа в пределах нескольких миллиметров.

Дополнительно на стадии сборки выполняется обработка соединений антикоррозийными покрытиями. Стальные конструкции покрываются грунтовками на основе цинковых соединений, что создает пассивный слой, защищающий металл от воздействия морской воды. Алюминиевые элементы, наоборот, подвергаются анодированию, которое не только защищает от коррозии, но и повышает устойчивость к абразивным воздействиям льда. Покрытия наносятся вручную с последующей сушкой при повышенной температуре, что обеспечивает равномерное распределение защитного слоя.

Финальным этапом сборки является установка дополнительных элементов, таких как антивибрационные вставки и теплоизоляционные накладки. Эти компоненты крепятся на места, подверженные наибольшему воздействию нагрузок или температур. Например, в

области рулевого механизма устанавливаются эластомерные демпферы, которые гасят вибрации и предотвращают передачу нагрузок на корпус судна. Установка проводится вручную с использованием специального инструмента, чтобы исключить повреждение изолирующего слоя.

Список литературы:

1. Васильев В.А., Алексеев А.В. Противоледовые конструктивные элементы судов: особенности проектирования и эксплуатации // Транспорт и машиностроение. 2021. Т. 6, № 3. С. 45–52.
2. Smith R., Brown T. Ice-resistant structures for Arctic marine applications: A comprehensive review // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 2020. Vol. 142, Iss. 6.
3. Беляев С.В., Романов Д.А. Ледовые нагрузки на корпус судна: экспериментальные и численные исследования // Известия Вузов. Судостроение. 2022. Т. 68, № 5. С. 33–41.
4. Kolstad J., Pettersen L. Advances in anti-icing coatings for marine vessels: Application and testing in polar conditions // Cold Regions Science and Technology. 2021. Vol. 192.
5. Фролов И.В., Петрова Е.Ю. Защита винторулевых комплексов ледоколов: новые технологии и материалы // Арктика: экология и экономика. 2021. № 4 (44). С. 29–37.

ANTI-ICE STRUCTURAL PROTECTION OF THE ROTARY STEERING COMPLEX OF ICE NAVIGATION VESSELS FOR OPERATION IN THE WATERS OF THE FAR EAST

Kazanin Kirill Vadimovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Gridnev Dmitry Vitalievich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Almazov Oleg Vladimirovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Annotation. The article discusses modern approaches to the development of constructive protection for propeller-driven complexes (ROCS) of ice navigation vessels designed for operation in difficult ice conditions in the waters of the Russian Far East. Special attention is paid to the specifics of the ice loads typical of the Sea of Okhotsk and the Tatar Strait, as well as the peculiarities of the climatic conditions of the region. Technical solutions aimed at improving the reliability and durability of IWRC structures are presented, including the use of high-strength materials, reinforced welded joints, sealing and protective coatings. The technologies for assembling protective structures

are described, as well as differences in installation methods and assembly operations for vessels operating in ice navigation conditions.

Keywords: rotary steering system, anti-ice protection, ice navigation vessels, ice loads, structural solutions, assembly, welding technologies, shipbuilding.

References

1. Vasiliev V.A., Alekseev A.V. Anti-ice structural elements of ships: design and operation features // *Transport and mechanical engineering*. 2021. Vol. 6, No. 3. pp. 45-52.
2. Smith R., Brown T. Ice-resistant structures for Arctic marine applications: A comprehensive review // *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. 2020. Vol. 142, Iss. 6.
3. Belyaev S.V., Romanov D.A. Ice structures ship hull loads: experimental and numerical studies // *Izvestiya Vuzov. Shipbuilding*. 2022. Vol. 68, No. 5. pp. 33-41.
4. Kolstad J., Petersen L. Advances in anti-icing coatings for marine vessels: Application and testing in polar conditions // *Cold Regions Science and Technology*. 2021. Vol. 192.
5. Frolov I.V., Petrova E.Y. Protection of icebreaker propeller complexes: new technologies and materials // *Arctic: Ecology and the economy*. 2021. No. 4 (44). pp. 29-37.