

УДК 656.61.052

Голиков В.В., Костенко П.А., Мазур О.Н.
ОНМА.Сафин И.В.
V.Ship's

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕДОПРОХОДИМОСТИ СУДОВ ДЛЯ ПЛАВАНИЯ В НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ.

При сдаче (после постройки) судна в эксплуатацию далеко не всегда можно проверить его ледовые качества заявленные в проектной документации на постройку и исполнительной ведомости по изготовлению корпуса.

Обычно приемный акт судна содержит, помимо перечня фамилий членов приемной комиссии, результаты проверок, приемок и испытаний оборудования и систем; номера проекта и постройки; назначение и надзорное классификационное общество; даты закладки, спуска, швартовых и ходовых испытаний; журналы удостоверений по постройке, швартовым и ходовым испытаниям; программы швартовых, ходовых, мореходных и скоростных испытаний; погоду, (состояние моря и скорость ветра); основные элементы судна; результаты оценки эксплуатационных качеств элементов, механизмов, устройств, систем и оборудования, удобство их обслуживания, общая характеристика компоновки; снабжение, документация и заключение приемной комиссии.

Для круглогодичной эксплуатации судов в неарктических морях (северная часть Черного и Азовского) выше 44° северной ширины классификационным обществом — Регистром судоходства Украины (PCY) судну присваивается ледовый класс, который должен проверяться в эксплуатационных условиях.

Для практического судовождения чрезвычайно важной является оценка ледопроеходимости судна, т. е. способности безопасно продвигаться в различных ледовых условиях. Такая процедура, как правило, становится прерогативой экипажа судна, а, иногда, по инициативе судовладельца осуществляются натурные испытания по специальной программе. Обычно такие испытания осуществляются в экспериментальных рейсах [1, 2].

Под ледопроеходимостью, с одной стороны, подразумевают безопасно возможную скорость, которую судно способно развивать в за-

данных ледовых условиях при максимальной мощности энергетической установки без повреждения и заклинивания корпуса, гребных винтов и т. п. С другой стороны, при движении судна в сплошных ровных льдах критерием ледопроеходимости может быть не безопасная скорость, а предельная толщина льда, которую оно способно преодолевать непрерывным ходом с минимально устойчивой скоростью движения ($1 \div 2$ узла). В битых льдах критерием ледопроеходимости остается безопасная скорость, ограниченная требованиями ледовой прочности.

При назначении скорости плавания судов во льдах используется ледовый паспорт каждого судна, в котором содержатся диаграммы их ледовой ходкости, ледовой прочности и маневренности во льдах [2]. Еще более 40-а лет назад в ледовый паспорт судна настоятельно предлагалось вносить: тип и ледовый класс; главные элементы; коэффициенты и углы обводов корпуса; характеристику набора и обшивки, включая технологию набора корпуса, материал и строительную прочность набора и обшивки, а также характер распределения нагрузок на последние по длине корпуса; сведения о пропульсивном комплексе, включая периоды пуска, остановки и реверса энергетической установки; характеристику дополнительных систем, оборудования и средств предназначенных для защиты пропульсивного комплекса от льда[1].

Диаграммы ледового паспорта судна используются судоводителями для определения: безопасной скорости движения при автономном плавании в разреженном и сплошном льду; безопасной скорости движения в караване; безопасной дистанции между ледоколом и транспортным/ми судном/ами в караване.

Ввиду игнорирования, а чаще невозможности проведения ледовых испытаний при сдаче судна в эксплуатацию из-за погодных условий, при подготовке его к зимней навигации возникает необходимость в наличии ледового паспорта судна и/или его корректировки. Для безопасной работы таких судов в зимнюю навигацию перед ее началом необходима натурная проверка показателей их ледовых качеств спецификационным требованиям, в соответствии с которыми установлена предельная ледопроежимость судна в сплошном и разреженном льду определенных толщин при полной осадке и безопасной скорости движения (до 3-х узлов), при прочности льда на изгиб не менее 500 кПа.

Целью ледовых испытаний и настоящей статьи является оценка правильности проектирования, конструирования и изготовления судна по ледопроеходимости, включая его ходкость, прочность и маневренность.

В основу методики положена гипотеза о существовании режима движения судна ледового класса, при котором его работа по преодолению ледового сопротивления не приводит к деформации его конструкции и резким ударам льдин о корпус.

В задачи исследования входила разработка программ оценки ледопроеходимости судна. При этом учтены следующие условия:

- к ледовому относится плавание в: сплошном, крупнобитом (и/или обломках полей) и мелкобитом льду;
- движение судна непрерывным ходом с установившейся скоростью возможно, если величина суммарной тяги гребных винтов/а Т достаточна для преодоления полного ледового сопротивления R_L , т.е. $T \geq R_L$;
- при $T < R_L$ преодоление сплошного льда осуществляется набегам;
- при движении в сплошном льду разрушение ледяного покрова осуществляется носовой частью корпуса со скоростью хода $V_c \in [1; 5 \text{ узлов}]$, которая линейно зависит от толщины льда;
- при движении в крупнобитных льдах и обломках полей их следует обходить, но не таранить так как характер взаимодействия корпуса со льдом нестационарный и наиболее опасен от ударов крупных льдин;
- при плавании в мелкобитных льдах наиболее характерным процессом является раздвигание льдин носовой оконечностью без их ломки, поэтому сопротивление льда движению проявляется как в потере энергии пропульсивного комплекса судна на удары о льдины, их раздвигание и притапливание, так преодоление сил трения;
- в условиях опытного бассейна моделируется движение судна только в сплошном льду, моделирование движения судна в битом льду из-за сложности процесса не осуществляется;
- природа ледовых нагрузок, действующих на наружную обшивку и набор корпуса в носовой и кормовой частях и перемещенном поясе КВЛ (высотой до 1,0 метра), следующая:

- удары о лед, статическое давление при смятии льдов, реверсы и работа задним ходом;
- интенсивность ледовой нагрузки на штангоуты и стрингеры, частей корпуса: нос/средняя часть/корма находится в соотношении 1/0,5/0,75;
 - при выполнении ледовых операций судно: разворачивается циркуляцией либо "елочкой", отходит назад, разбегается, закалывается, окалывается и т.д.;
 - при самостоятельном плавании во льдах суда теоретически неустойчивы, а практически устойчивы на курсе, что определяется периодом и амплитудой рыскания, которые зависят от частоты и угла перекладки руля, увеличивающихся по мере утолщения льда;
 - общий характер циркуляции во льду мало чем отличается от наблюдаемого на свободной воде, однако, ледяной покров значительно снижает скорость поступательного V_u и вращательного ω_u движения судна, увеличивая период циркуляции;
 - при числе Фруда $Fr \leq 0,25$ относительный радиус установленной циркуляции r_u при заданном угле перекладки руля δ_p практически не зависит от скорости V_u и примерно равен его значению на свободной воде;
 - крен судна при циркуляции во льду незначителен (менее $1 \div 2^\circ$);
 - разворот "елочка" в отличие от разворота циркуляцией требует меньшей площади для маневрирования и меньших затрат времени приблизительно в $2 \div 3$ раза так как условный r_u при этом развороте составляет $1,0 \div 1,5$ длины корпуса, а период разворота $5 \div 10$ минут;
 - наилучшей закалываемостью обладают суда, имеющие малый r_u , острые носовые образования, переднюю часть которых выполняют выгнутыми;
 - управляемость на малых передних и заднем ходах при пониженной мощности энергетической установки значительно хуже, чем при малых скоростях хода, но полной силе упора гребных винтов;
 - улучшение характеристик инерции судна достигается за счет повышения его энерговооруженности либо регулированием водоизмещения путем балластировки.

Изложение основного материала статьи содержит разделы разрабатываемой программы натуральных испытаний судов для изучения и оценки их ледовых качеств. Так при определении показателей **ледовой ходкости судна** требуются измерения его скорости движения, частоты вращения движителей и/или гребных валов, расходуемая мощность энергетической установки, состояние и толщина льда. Очень важным моментом испытаний является повторяемость экспериментов (режимов движения) в одном и том же ледяном поле при различном уровне потребляемой мощности энергетической установкой.

Полученные измерения позволяют путем специального пересчета экспериментальных данных с учетом поправок и корректировок построить кривые ледопроеходимости по следующим зависимостям:

проходная толщина сплошного льда при $T = T_{ном}$:

$$h_{III} = \left(\frac{h_{\phi}}{V_{\phi} - V_{ном}} \right) \cdot (V - V_{ном}), \quad (1)$$

где h_{ϕ} – толщина льда в одном испытании, м; V_{ϕ} – скорость прохода судна в сплошном льду толщиной h_{ϕ} , узлы; $V_{ном}$ – номинальная скорость судна на спокойной воде, узлы;

проходная толщина сплошного льда при $T \in [T_{min}; T_{ном}, кВт]$:

$$h_{II} = h_{III} \cdot \left(\frac{T_{II}}{T_{ном}} \right)^{4/9}, \quad (2)$$

где T_{II} — величина неполной (частичной) мощности энергетической установки судна, кВт.

Маневренные качества циркулирующего судна в разреженном льду определенной сплоченности, которая определяется отношением площади льдин к площади поверхности воды около и под льдинами, измеряются аналогично изучению ледовой ходкости, но с дополнительной регистрацией углов перекладки органов управления и/или записью траектории движения судна при выполнении циркуляции с помощью спутниковой навигационной системы.

Циркуляция при движении судна носом и кормой вперед обычно выполняется в тонких и средних льдах при трех положениях пера руля или его аналогу: минимум, среднее положение и максимум. По измеренным траекториям определяются радиусы циркуляции судна.

Наличие у судна в районе КВЛ (утолщенного) ледового пояса определяет его ледовый класс. Требования к размерам ледового пояса по высоте борта у классификационных обществ разных стран совпадают и составляют $0,2 H_c$ вверх от КВЛ и $0,6 H_c$ вниз от нее, где H_c – летняя осадка судна. В носовой оконечности судна ледовый пояс продлевают вниз до киля. Выше и ниже ледового пояса по длине КВЛ устанавливаются переходные пояса.

Ледовая прочность судна оценивается дефектоскопией по величине износа металла ледового пояса, который не должен превышать $0,2$ мм/год, а также наружным и внутренним осмотром корпуса и его конструкций в районе КВЛ. При осмотре определяется суммарная длина вмятин повреждений, которая относится к периметру КВЛ и обозначается:

$$D = \left(\frac{l_{\text{п}}}{P_c} \right) \cdot 100\% \quad (3),$$

где $l_{\text{п}}$ – длина повреждений корпуса вдоль КВЛ, м; P_c – периметр корпуса судна по КВЛ, м.

По данным натуральных наблюдений А. Лысого [3] $D \in [0; 10\%]$. При работе судов ледового класса зимой в неарктических морях значение величины D должно стремиться к своему минимуму – нулю. Длина повреждений корпуса судна $l_{\text{п}}$ нелинейно зависит от скорости его хода в разреженном льду и объема льдин.

Программа проведения натуральных ледовых испытаний может быть представлена в виде табл. 1.

После проведения испытаний и определения характеристик ледопроеходимости судна следует составить ледовый паспорт или откорректировать при его наличии. После этого, а также при наличии маневренных характеристик судна при движении по мелководью и глубокой воде, можно обеспечить безопасное движение судна ледового класса в неарктических морях.

Таблица 1 – Программа ледовых испытаний судна ледового класса

| Режим хода или движения | Вид испытаний на глубокой воде |
|--------------------------|--|
| Полный передний ход (ПП) | Сплошной лед толщиной ___ м. Прямолинейное движение, мощность судна T=100% |
| Полный задний ход (ПЗ) | Сплошной лед толщиной ___ м. Прямолинейное движение, T=100% |
| ПП, ПЗ | Чистая вода, волнение 0 ÷ 2 балла, ветер до 5 м/с, йное движение, T=100% |
| ПП, ПЗ | Сплошной лед толщиной ___ м. Циркуляция, T=100%, положение руля: минимум ___ %, среднее ___ %, максимальное ___ м. |
| ПП, ПЗ | Сплошной лед толщиной ___ м. Разворот на 180° маневром «елочка» или «звезда», мощность переменная |

Заключение

Круглогодичное плавание судов по морям, внутренним морским и речным водам Украины требует наличия всех маневренных характеристик и ледового паспорта на каждом судне, которые должны находиться на борту с момента начала его эксплуатации. В противном случае период эксплуатации судна должен быть ограничен в зимний период.

Детерминация ходовых, маневренных и ледовых качеств судна позволяет более полно использовать его конструктивные особенности при обеспечении не только гарантированно безопасного вождения, но и круглогодичного судоходства по морям, лиманам и рекам Украины.

Разработанная программа ледовых испытаний судна в период его эксплуатации позволяет оценить конструктивные качества гидропропульсивного комплекса и повысить его эксплуатационную надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каштелян В.И. Ледоколы [текст] / В.И. Каштелян, А.Я. Рывлин, О.В. Фаддеев, В.Я. Ягодин. – Л.: Судостроение, 1972. – 286 с.
2. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белюсов» в ледовую навигацию по Азовскому морю [текст] / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн. сб. ОНМА. – вып. 27. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С. 39-44.
3. Лысый А.А. Перспективные методы ледовой проводки судов на каналах и фарватерах Азовского моря в зимний период [текст] / А.А. Лысый // Судовождение: сб. науч. тр. ОНМА. – вып. 22. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2013. – С. 133 – 141.