



ISSN 2223-7097

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

ХЛАДОСТОЙКИЕ СТАЛИ С ИНДЕКСОМ Arc
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПЫТАНИЯ 29

МОРСКИЕ ПОДВОДНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ
РАЗВИТИЕ ТРЕБОВАНИЙ РС 74

НАДЕЖНОСТЬ СУДОВЫХ СИСТЕМ
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ 86

№ 50/51
Июнь
2018



БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 629.12.004; 656.6.08; 341.225.5

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ НАСТАВЛЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА В ПОЛЯРНЫХ ВОДАХ И АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ КОНТРОЛЯ ЕГО СОДЕРЖАНИЯ

А.А. Петров, Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота (АО «ЦНИИМФ»), Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 271-12-67, e-mail: Petrov25@cniimf.ru

И.З. Черейский, АО «ЦНИИМФ»), Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 274-47-52,
e-mail: ChereyskiyIZ@cniimf.ru

С.А. Идрисова, студент, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ», Санкт-Петербург,
e-mail: sabina22idrisova@gmail.com

На основе структуры и требований Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах, проанализированы необходимость и актуальность детальной разработки технического документа «Наставление по эксплуатации в полярных водах» (НЭПВ). Приведен ряд разделов НЭПВ и их краткое содержание, требующие по результатам оценки текущего состояния навигационной обстановки и эксплуатационных ограничений судна тщательного инженерного анализа, основная сложность которого заключается в комплексном учете внешних условий и конструктивных особенностей судна. Сделан вывод о том, что, вследствие сложности адекватной оценки получаемых результатов и предоставляемых указаний судовладельцам, в перспективе целесообразно предусмотреть процедуры контроля содержания НЭПВ и достоверности приведенных в нем сведений.

Ключевые слова: Наставление по эксплуатации судна в полярных водах, НЭПВ, Северный морской путь, допускаемые режимы движения, ледопроездимость, полярный класс, безопасность судоходства

TECHNICAL ASPECTS OF THE POLAR WATER OPERATIONAL MANUAL DEVELOPMENT AND THE ASSESSMENT OF THE NEED TO CONTROL ITS CONTENT

A.A. Petrov, Central Marine Research and Design Institute, St. Petersburg, tel.: +7 (812) 271-12-67,
e-mail: Petrov25@cniimf.ru

I.Z. Chereysky, Central Marine Research and Design Institute, St. Petersburg, tel.: +7 (812) 274-47-52,
e-mail: ChereyskiyIZ@cniimf.ru

S.A. Idrisova, graduate student, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg,
e-mail: sabina22idrisova@gmail.com

The article, based on the structure and requirements of the International Code for Ships Operating in Polar Waters, contains relevance and applicability of elaboration analysis of the technical document "Polar Water Operational Manual" (PWOM). The article lists series of sections from the PWOM and their brief content that require, based on the assessment of the current state of the navigation conditions and operating restrictions of the ship, a thorough engineering analysis, the complexity of which lies in the reliability and availability of the provided initial information and the necessity of joint consideration of external conditions and a ship's structural particulars. Due to the complexity of an adequate evaluation of the obtained results and the provided guidance to shipowners, in the long term perspective, it is reasonable to develop the procedures for verification of PWOM content and reliability of the submitted information.

Keywords: Polar Water Operational Manual, PWOM, Northern Sea Route, safe operating regimes, ice trafficability, polar class, safety of navigation

ВВЕДЕНИЕ

Анализ ряда документов стратегического планирования РФ показывает, что в период 2020 – 2030 гг. будет наблюдаться стабильный рост разведки и освоения нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе с достаточно надежным долгосрочным прогнозом [1]. Помимо привлекательности существенного ресурсного потенциала арктического региона трассы арктических морей и Северного морского пути (СМП) представляют большой интерес как для отечественных, так и для зарубежных грузоперевозчиков, что делает их на сегодняшний день достаточно быстро развивающимся инфраструктурным объектом судоходства. Это, в свою очередь, выдвигает первоочередную необходимость расширения соответствующего нормативного обеспечения судоходной деятельности в регионе, прежде всего, с точки зрения безопасности и экологии. Этой цели отвечают вступивший в силу Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс) [2] и Руководство по применению положений Полярного кодекса [3].

Достаточно подробно структура и требования Полярного кодекса рассмотрены в работах [4 – 6]. В дополнение к конструктивным, эксплуатационным, организационно-техническим мероприятиям и иным требованиям, предъявляемым к судам, работающим за полярным кругом, Полярный кодекс в обязательном порядке предусматривает наличие на судне технического документа «Наставление по эксплуатации судна в полярных водах» (НЭПВ), примерное содержание которого приведено в приложении 2 к [2]. Кроме того, с 10.01.2018 г. в перечень документов, предоставляемых в Администрацию СМП в составе заявления на плавание судна в акватории СМП, включено Свидетельство судна полярного плавания (ССПП), ф. 2.1.29 [7], выдаваемое, согласно [3] по результатам освидетельствования судна подразделением РС после предоставления ряда технической документации по судну, в том числе НЭПВ. Однако, несмотря на то, что наличие НЭПВ обязательно, ни одним нормативным документом не предусмотрен контроль за его содержанием и достоверностью приведенных в нем сведений, что может отрицательно сказаться на безопасности эксплуатации судна, поскольку помимо общей информации, такой как перечень допущенного оборудования, характеристики судовых систем и т.д., которая может быть внесена в НЭПВ экипажем, рассматриваемый документ должен содержать ряд разделов, данные для которых могут быть получены только в результате инженерного анализа, выполненного на основании соответствующих расчетов, трудоемкость и сложность которых рассмотрена ниже.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ОПЕРАТОРУ ПО БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ (РАЗД. 1, ГЛ. 1, П. 1.1)

НЭПВ должно определить средства для принятия решения о том, превышает ли ледовая обстановка расчетные пределы возможностей судна, с учетом эксплуатационных ограничений, указанных в ССПП. Для этих целей может использоваться система поддержки в принятии решений, например, Система арктических ледовых режимов для судоходства Канады – Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS), и/или российская система Ледовых сертификатов (Ледовых паспортов).

Применяя AIRSS, при переходе от оценки состояния ледяного покрова к оценке условий ледового плавания для отдельно взятой ледовой категории судна, используется особый интегральный показатель состояния ледяного покрова – ледовый критерий IN ("Ice Numeral" или "Ice Decision Numeral") [8].

Основным источником данных для оценки безопасности мореплавания служат декадные карты ледовой обстановки (рис. 1), где характеристики ледового режима представлены в виде овала и соответствующих цифр. К примеру, на рис. 1 в овале первая цифра (9) указывает на общую сплоченность льда, равную 9/10, что соответствует очень сплоченному льду и 1/10 – чистой воде. Во второй строке указана частная сплоченность льда цифрой (5), что означает наличие ледового образования сплоченностью 5/10 и следующая за ней цифра (4) указывает на наличие ледового образования сплоченностью 4/10. В третьей строке указан возраст ледовых образований (тип льда согласно коду Всемирной метеорологической организации): цифра (8•) это двухлетний лед первой стадии 5/10 сплоченности и цифра (1•) однолетний лед средней толщины 4/10 сплоченности [8].

Если в результате величина ледового критерия получается меньше нуля, то считается, что судно не может выполнять плавание в таких ледовых условиях.

Ледовый критерий (IN) для конкретного ледового режима в любой зоне контроля безопасности представляет собой сумму сплоченностей в десятых долях каждого типа льда и ледового множителя, определяемого как:

$$IN = \sum_i C_i IM_i \quad (1)$$

где C_i – частная концентрация (сплоченность) i -го типа льда в десятых долях (0..10);
 IM – ледовый множитель IM (ice multiplier) для заданного i -го типа льда.

Алгоритм расчета IN по системе AIRSS приведен в [8] и [10]. Важно подчеркнуть, что результаты расчета IN зависят от достоверности сведений о фактической

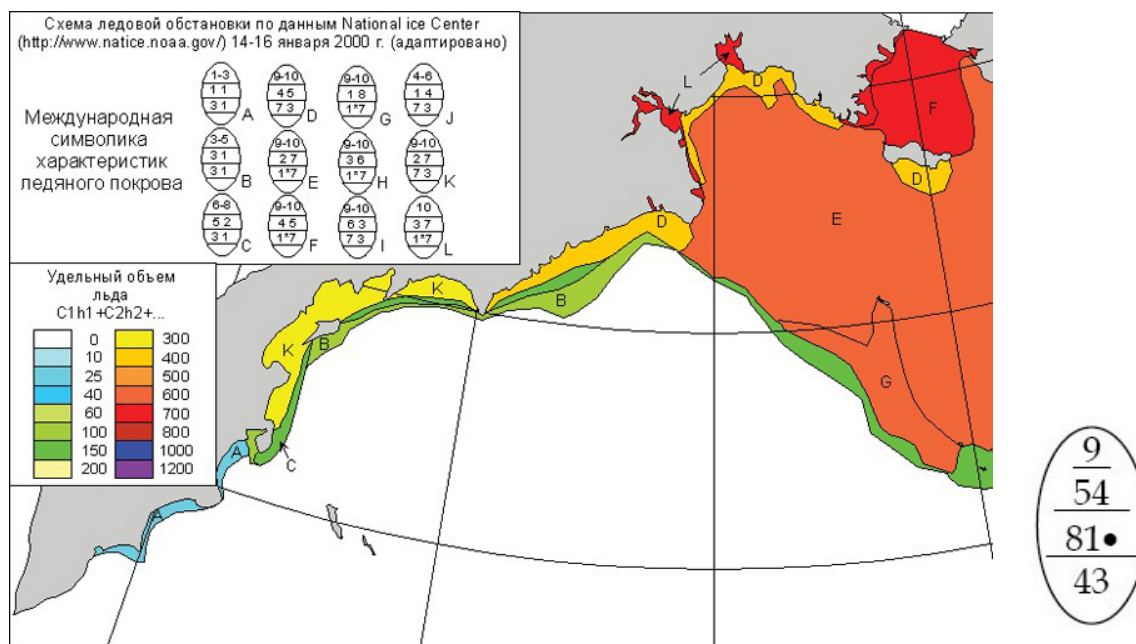


Рис. 1 Пример картосхемы ледовой обстановки для второй декады января в наиболее суровый сезон 1999/2000 гг. [9]

ледовой обстановки, данные о которой не всегда могут быть получены из декадных картосхем, а также от квалификации специалиста, выполняющего расчет, который, согласно [8] и [10], зачастую является нетривиальной инженерной задачей.

Вариантом альтернативы системе AIRSS является российская система Ледовых паспортов, одно из главных преимуществ которой заключается в возможности предоставления капитану рекомендаций по реализации технического потенциала судна в сложных ситуациях ледового плавания с учетом его фактического технического состояния и практики мореплавания [11] с сохранением требуемого уровня безопасности. Кроме того, такой Ледовый паспорт дает четкие критерии безопасного движения судна как самостоятельно в битом льду, так и в канале за ледоколом с одновременным определением минимальной безопасной дистанции. Ледовый паспорт состоит, по меньшей мере, из следующих разделов [12]:

1. Характеристика и учет ледовых условий в районах эксплуатации судна;
2. Перечень расчетных режимов взаимодействия корпуса судна со льдом;
3. Расчет допустимых скоростей хода судна в различных ледовых условиях;
4. Оценка безопасных дистанций движения судна под проводкой ледокола;
5. Расчет прочности бортовых конструкций во всем диапазоне допускаемых нагрузок;
6. Общие выводы с рекомендациями по возможным ограничениям для обеспечения минимизации рисков.

Наиболее эффективным инструментом, позволяющим всесторонне охватить перечисленные выше разделы применительно к НЭПВ, является нормативный документ (НД) Регистра «Методические рекомендации по выполнению допустимых режимов движения судна во льдах» [13]. Однако, несмотря на то, что этот НД содержит законченные алгоритмы всех необходимых расчетов, их выполнение в оперативно-практическом аспекте связано с рядом трудностей. Например, для каждого расчета прочности конструкции корпуса учет различных значений толщины льда и размеров льдин на весь период навигации дает большой разброс физико-механических характеристик льда. Это обстоятельство превращает задачу в мультипараметрическую, что приводит к неизбежным трудностям в ее практической реализации. Кроме того, в распоряжении специалиста, выполняющего расчет, не всегда имеются надежные исходные данные по ледовым условиям в предполагаемом районе эксплуатации, для чего в НД предусмотрены некоторые полуэмпирические методы, применимость которых остается на усмотрение специалиста, или в отдельных случаях согласуется с Регистром.

Аналогичная проблема имеет место и при определении минимальной безопасной дистанции. Характеристикой сопротивления движению судна в канале является суммарная сила сопротивления R_{Σ} , определяемая по формуле (2):

$$R_{\Sigma} = R_W + R_{ice} \quad (2)$$

где $R_W = c_W Fr^2$ – гидродинамическое сопротивление на чистой воде, Н;
 $R_{ice} = R_{iceDirect} + c1_{ice} Fr + c2_{ice} Fr^2$ – ледовое сопротивление, Н;

$R_{iceDirect}$ – «прямое» ледовое сопротивление, не зависящее от скорости хода, Н.

Величина соответствующих коэффициентов движения судна, а также «прямого» ледового сопротивления по согласованию с Регистром может быть определена экспериментально или с помощью аналитических методов [14]. Учитывая, что возраст судов, для которых необходима разработка НЭПВ, может составлять 15 – 20 лет и более, и за время эксплуатации мог смениться не один судовладелец, построечная проектная информация (результаты модельных и/или натурных испытаний, в том числе ледовых) с большой долей вероятности будет отсутствовать, следовательно, для таких судов остается возможность выполнять расчеты только с помощью аналитических методов, при этом каких именно, в НД не уточняется.

2. ЛЕДОПРОХОДИМОСТЬ (РАЗД. 1, ГЛ. 1, П. 1.2)

НЭПВ должно содержать сведения о ледовых условиях, в которых судно может идти непрерывным ходом, но такая информация, как правило, может быть получена из численного анализа, либо в результате модельных испытаний.

В первую очередь эта задача должна сводиться к определению минимальной устойчивой скорости движения судна в ровном сплошном пласте льда предельной толщины. Несмотря на то, что значение скорости хода принято равным 1,5 – 2,0 уз, понятие ровный сплошной морской лед является условным [11]. Данный факт при оценке ледовых условий приводит к необходимости учета прочности нового или разрушенного льда и добавки от снежного покрова.

В силу того, что в реальных условиях движение судна не является установившимся, даже небольшое увеличение сопротивления может привести к его возможно быстрой остановке и/или существенной пульсации. Поэтому на сегодняшний день основным оптимальным критерием, обеспечивающим минимальный допустимый уровень ледопроходимости судна в зависимости от класса, является мощность его силовых установок [6], отвечающая требованиям 2.1 части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов РС [15].

Согласно [15], минимально требуемая мощность на гребных валах судов ледовых классов должна определяться по формулам (3) и (4):

$$P_{min} = f_1 f_2 f_3 (f_4 \Delta + P_0) \quad (3)$$

$$P_{min} = K_e \frac{(R_{CH}/1000)^{3/2}}{D_p} \quad (4)$$

Параметры, входящие в выражения (3) и (4), учитывают характеристики пропульсивных установок и особенности конструкции корпуса судна, определение каждой из которых требует как скрупулезной работы с проектной судовой документацией, например, при определении площади ватерлинии носового заострения или углов наклона форштевня и ватерлинии в отдельных точках, так и учета ряда условий, включая класс, водоизмещение, фактическую мощность и т.д. Подробно алгоритмы определения этих переменных приведены в [15]. Необходимо отметить, что требуемая мощность P_{min} , кВт для судов ледовых классов **Ice2** и **Ice3**, должна быть не менее любого, а для судов ледового класса **Arc4** не менее меньшего из значений (3) и (4). При этом величина P_{min} , оцениваемая по формуле (4), должна определяться как наибольшее значение, рассчитанное для верхней и нижней ледовых ватерлиний, что тоже, в свою очередь, увеличивает общий объем расчетов.

Таким образом, безопасность плавания во льдах должна обеспечиваться в комплексе как ледовой прочностью, так и ледовой ходкостью судов, что требует выполнения большого объема расчетов, подтверждающих выполнение соответствующих требований [3, 14, 15].

3. МАНЕВРИРОВАНИЯ ВО ЛЬДАХ (РАЗД. 1, ГЛ. 1, П. 1.3)

Несмотря на тот очевидный факт, что маневрирование любого судна в конкретных ледовых условиях должно осуществляться в рамках безопасности, в рекомендациях по примерному содержанию НЭПВ не оговорено, какая информация должна входить в данный раздел. С одной стороны, в настоящее время судоводители пользуются общими рекомендациями по плаванию в ледовых условиях, которые основываются на хорошей морской практике и являются универсальными, но, с другой стороны, они не учитывают конкретные конструктивные особенности и маневренные характеристики судна, что противоречит требованиям Полярного кодекса. При этом такие рекомендации зачастую не имеют технического основания для их автоматического распространения с одного проекта судна на другой. Соответственно, такая задача должна решаться либо на основе признанных аналитических методов, либо путем математического моделирования. В этой связи представляет интерес подход авторов СПБГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, описанный в [16]. В работе предложена математическая модель, описывающая различные сценарии столкновения судна с отдельной плавающей льдиной (рис. 2), на основании которой даются конкретные рекомендации для

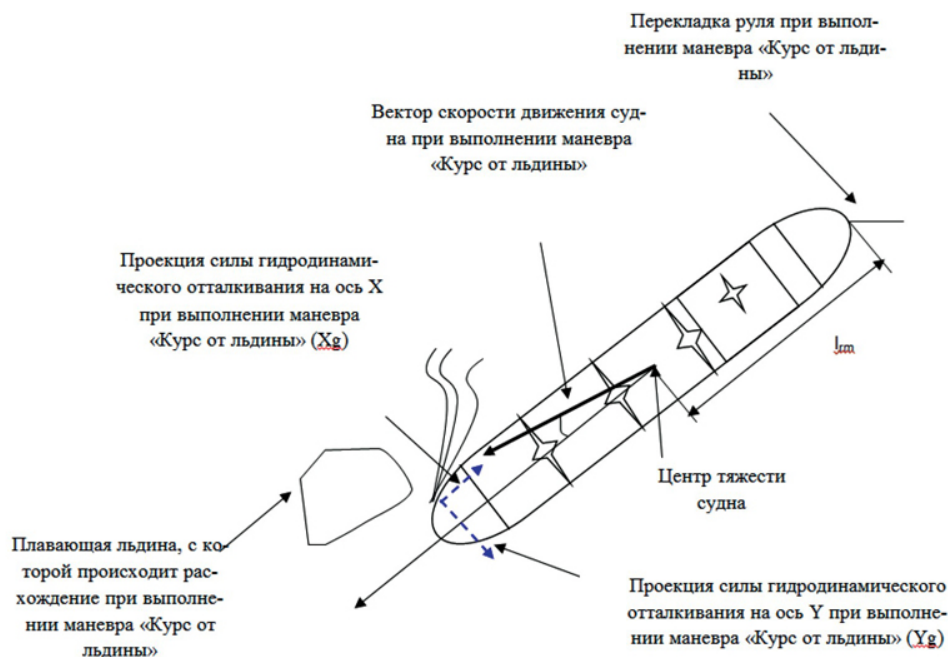


Рис. 2 Возникновение силы гидродинамического отталкивания при выполнении маневра «Курс от льдины» и сближении с плавающей льдиной [16]

каждого судна в условиях ледового плавания, как это требуется в соответствии с НЭПВ.

В результате систематических расчетов с использованием предложенной математической модели, был разработан как универсальный маневр «Курс от льдины», который может быть применен к всем судам, так и конкретные предложения касательно маневренности, учитывающие конструктивные особенности судна и район взаимодействия (столкновения) корпуса со льдиной, где также было выявлено совпадение полученных рекомендаций с имеющимся опытом ледового плавания [16].

4. ОСОБЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (РАЗД. 1, ГЛ. 1, П. 1.4)

НЭПВ должно включать анализ равноценности, выполненный для установления категории/полярного класса судна полярного плавания. Такой анализ может быть выполнен в соответствии с разд. 1 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные и эксплуатационные особенности судна» Правил классификации и постройки морских судов РС [17]. Расчеты прочности корпуса и винторулевого комплекса (ВРК) судна полярного плавания – комплексная задача, решение которой сопряжено с необходимостью оперировать большим количеством переменных, зависящих от класса судна, конструктивных особенностей корпуса, типа и

компоновки ВРК. Опыт АО «ЦНИИМФ» показывает, что для выполнения этих расчетов необходим высокий уровень подготовки специалистов и использование специализированного программного обеспечения. Например, для уменьшения времени выполнения расчетов по корпусу и повышения качества их результатов оказалось эффективным использовать программное обеспечение (ПО) MAR-SOLS [18] (рис. 3).

Следует отметить, что в [17] даны прямые указания на использование при определении несущей способности рамных связей корпуса, а также напряжений в лопасти гребного винта признанного и хорошо представленного (документированного) пакета Метода конечных элементов (МКЭ) или другого приемлемого альтернативного метода (рис. 4). Численное моделирование МКЭ – отдельная самостоятельная область инженерной деятельности, особенно при учете пластических свойств материала в нелинейной постановке задачи, при этом создание конечно-элементных моделей сложных геометрических объектов, таких как гребной винт, является достаточно трудоемким процессом. Необходимость выполнения подобных расчетов применительно к ВРК подтверждается практикой мореплавания и многочисленными статистическими исследованиями, например, приведенными в [11], из которых следует, что в период с 2008 по 2012 годы в Финском заливе имели место систематические случаи повреждения гребных винтов на рефрижераторных судах с ледовыми

MARSOLS

Номер IMO
IMO number 7654321

Параметры расчета / Calculation parameters

Полярный класс судна
Ship's Polar Class PCL

Планируемый срок
Planned period 12

Полярный класс / Polar Class

Районы корпуса судна Нагрузки Наружная обшивка Основной набор Рамный набор Оптимизация конструкции

Наружная обшивка Основной набор Рамный набор

№	Обозначение Designation	По умолчанию Default	Шаг, н Frame spacing, m	Пролет шп., н Frame, m	$A_w \geq A_r$ $A_w \geq A_r$	$Z_r \geq Z_w$ $Z_r \geq Z_w$	$b_w \geq 282$ $b_w \geq 282$ $b_w \geq 282$ $b_w \geq 282$	$b_r \geq 5t_w$	$b_w \geq 155$ $b_w \geq 155$ $b_w \geq 155$ $b_w \geq 155$
Носовой район (N)									
1	Шпангоут, полоса 55x4, поперечная, в балластном	☒	0,590	2,000	83,90 ≤ 233,40	2761,30 ≤ 28849,60	27,46 ≥ 14,19	—	—
Носовой промежуточный район, ледовый (NB)									
1	Шпангоут, уголок (равнобокий) 16x11, поперечная, л	☒	0,600	2,000	81,30 ≤ 64,72	2827,50 ≤ 1953,80	25,74 ≤ 40,50	150,00 ≥ 87,40	5,51 ≤ 7,80
Носовой промежуточный район, днищевой (NBb)									
1	Днищевая прод. балка, уголок (равнобокий) 2,8x3, л	☒	0,600	1,800	81,30 ≤ 25,85	2700,20 ≤ 750,10	20,88 ≤ 40,50	125,00 ≥ 91,40	3,98 ≤ 6,93
Средний район, ледовый (M)									
1	Шпангоут, полосульба (несимметричный) 5, попере	☒	0,600	2,000	61,80 ≤ 131,40	2624,60 ≤ 12548,40	38,46 ≤ 40,50	125,00 ≥ 62,40	4,41 ≤ 7,80
Кормовой район, ледовый (S)									
1	Шпангоут, полосульба (симметричный) 1035, попере	☒	0,500	2,000	68,70 ≤ 17,40	1857,60 ≤ 475,00	20,74 ≤ 40,50	125,00 ≥ 87,40	4,09 ≤ 7,80

Чтение из БД Запись в БД

Рис. 3 Иллюстрация результатов расчета в ПО MARSOLS:
оценка соответствия балок основного набора корпуса требованиям [17]

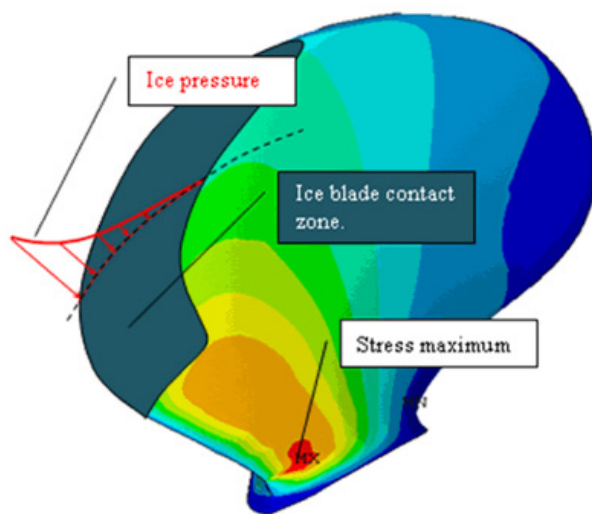


Рис. 4 Результат расчета ледовой прочности лопасти
гребного винта [19]

классами, допускающими эксплуатацию в данном районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящей работы показывают, что разработка НЭПВ является сложной задачей,

особенно применительно не к новым, а к уже эксплуатирующимся судам. НЭПВ – комплексный документ, требующий от разработчиков высокой квалификации, обширных знаний в области ледовой прочности корпусов и ВРК, а также навыков в использовании специализированного ПО. И если учесть, что НЭПВ является важнейшим эксплуатационным документом, исключающим формальный подход к обеспечению безопасности судна, работающего в условиях низких температур и ледовой обстановки различной тяжести, то информация и расчеты, приведенные в нем по глубине и объему проработки должны быть, по крайней мере, близкими к вышеизложенному анализу. В связи с этим представляется целесообразным в перспективе рассмотреть возможность не только корректировки нормативно-правовой базы заинтересованных ведомств, но и организации соответствующего контроля разрабатываемых эксплуатационных документов в дополнение к тем, которые рассматриваются Регистром в установленном порядке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров А.А. Проблемы проектирования и эксплуатации морских нефтегазовых платформ, предназначенных для работы на арктическом шельфе //Сб. научных трудов. – Вып. 1 (2016). – СПб: АО «ЦНИИМФ», 2016. – с.75 – 80.