

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 629.12

Риски получения повреждений корпуса судна при ведении промысла во льдах

Виталий Витальевич Ганнесен¹, Екатерина Евгеньевна Соловьёва²

^{1, 2} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹gannesen.vv@dgtru.ru

²pillers@mail.ru

Аннотация. Зимняя навигация – сложная, но обычная операция в морях Дальневосточного региона. Ведение промысла в замерзающих морях имеет специфическую проблему – риск получения повреждения корпуса от столкновения со льдом. При проектировании судов, плавающих в районах, покрытых льдом, ледовые нагрузки, вызванные взаимодействием судна со льдом, представляют собой доминирующий источник нагрузки. Спецификой промысловых судов является то, что в процессе эксплуатации может меняться посадка. И если изменение дифферента предусмотрено в требованиях установки верхней и нижней границ ледового пояса, то наличие крена не учитывается. В работе приводится характеристика ледового плавания, реакция корпуса судна на ледовые нагрузки, а также риск получения повреждений корпуса выше ледового пояса при осуществлении промысла. Приведены формулы, учитывающие величину угла динамического крена на циркуляции в зависимости от состояния остойчивости, радиуса кривизны траектории и скорости движения, позволяющие оценить риск получения повреждений корпуса выше «ледового пояса».

Ключевые слова: ледовая прочность, лед, ледовый класс, ледовая нагрузка, проблема ледового плавания прочность корпуса судна, промысловое судно, безопасность мореплавания

Для цитирования: Ганнесен В.В., Соловьёва Е.Е. Риски получения повреждений корпуса судна при ведении промысла во льдах // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61, № 3. С. 77–86.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

Features of operation of fishing vessels in ice conditions

Vitalii V. Gannesen¹, Ekaterina E. Soloveva²

^{1, 2} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹gannesen.vv@dgtru.ru

²pillers@mail.ru

Abstract. Winter navigation is a complex but common operation in the seas of the Far Eastern region. Fishing in freezing seas has a specific problem – the risk of damage to the hull from a collision with ice. When designing vessels sailing in areas covered with ice, ice loads caused by the interaction of the vessel with ice represent the dominant source of load. The specifics of fishing vessels is that the landing may change during operation. And if the trim change is provided for in the requirements for the installation of the upper and lower boundaries of the ice belt, then the presence of a roll is not assumed. The paper describes the characteristics of ice navigation, the reaction of the vessel's hull to ice loads, as well as the risk of damage to the hull above the ice belt during fishing. Formulas are given that take into account the magnitude of the dynamic roll angle on the circulation, depending on the state of stability, the radius of curvature of the trajectory and the speed of movement.

Keywords: ice strength, ice, ice class, ice load, problem of ice navigation ship hull strength, fishing vessel, navigation safety

For citation: Gannesen V.V., Soloveva E.E. Features of operation of fishing vessels in ice conditions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2022; 61(3): 77–86. (in Russ.).

Введение

Суда при осуществлении плавания во льдах могут испытывать серьезные нагрузки от ударов льда. Эта проблема ставит огромные задачи перед навигацией, безопасной эксплуатацией, управлением и остойчивостью судов. В зависимости от толщины и состояния льда эти взаимодействия могут привести к повторяющимся ударам, которые в конечном итоге приведут к нарушению прочности и могут в тяжелых условиях вызвать опрокидывание судна. Рассмотрены проблемы ледовой прочности корпусов морских судов (С.В. Каленчук и В.А. Кулеш) [1], изучены ледовые качества рыбопромысловых судов (В.А. Кулеш) [2], рассмотрен анализ прочности корпуса судна при ударе об лед (В.Г. Бугаев)[3], безопасность эксплуатации судов во льдах (В.А. Кулеш, С.А. Огай и др.) [4].

Процесс взаимодействия судна со льдом из-за его динамической, нелинейной, трехмерной и многофизической природы очень сложен. На процесс взаимодействия судна со льдом влияют геометрия и скорость судна, размеры и процесс разрушения ледового элемента, а также окружающая вода. Детальное моделирование задействованных процессов требует значительных вычислительных ресурсов и еще более усложняется тем фактом, что механика процесса взаимодействия еще не полностью понята. В основном реакция корпуса на нагрузку представляет собой изменяющиеся во времени силы реакции, возникающие из-за различных процессов приложения нагрузки. Эти нагрузки:

- силы от дробления/ломки льда;
- силы из-за разрушения при изгибе или разрушении при изгибе (выпучивание);
- силы погружения льда;
- силы трения из-за скольжения, задевания или разрушения фрагментов льда вдоль корпуса (силы скольжения);
- гидродинамические силы открытой воды.

Плавание в ледовых условиях – это очень сложный вид плавания, который требует от каждого судоводителя не только знаний мореходных качеств судна, его маневренных элементов [5, 6], но и понимания процессов формирования и структуры ледовых полей, а также особенностей плавания и маневрирования во льдах, где имеется высокий риск повреждения корпуса судна.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования данной работы являются риски получения повреждений корпуса судна при ведении промысла во льдах.

Предметом исследования являются конструктивные требования к морским судам ледового класса, а также особенности эксплуатации судов при ведении промысловых операций.

Методы исследования, применимые в работе:

- 1) анализ нормативных требований к конструкции ледовых усилений рыбопромысловых судов;
- 2) анализ практики маневрирования судов при ведении промысла.

Результаты и их обсуждение

Ледовое плавание можно считать маневрированием между плавучими опасностями, поэтому необдуманый маневр, излишняя скорость, торопливость могут привести к аварии судна.

Различают два основных вида движения во льдах – в битом льду и в сплошном. При этом в битом льду могут осуществлять плавание все суда в зависимости от разрешенного им района и условий плавания, а в сплошном ледяном поле – ледоколы и суда класса arc5-arc9 [7].

Под проходимостью льда следует понимать возможность самостоятельного плавания во льдах того или иного судна. Отсюда и проходимость одного и того же льда будет различной для судов различного типа. Проходимость льдов определяют, с одной стороны, разреженностью или сплоченностью их, т.е. количеством льда, выражающимся в баллах, а с другой стороны – физическим состоянием льдов в данное время. Судоводитель должен помнить, что он видит над водой от 1/4 до 1/8 полной толщины льда и чем плотнее лед, тем меньшая его часть остается над водой. Крепость льда зависит от температуры воздуха и воды, а также от количества примесей в воде и ее солености. Осенний лед обладает большой прочностью, по сравнению с весенним льдом, что следует учитывать при плавании судов. Проходимость льда облегчается тем, что крепость льда уменьшается от растрескивания. Чем слабее лед, тем он более вязкий. Вязкий лед уменьшает скорость продвижения, но дает возможность проходить судам со слабыми корпусами. Снежный покров на льду значительно затрудняет продвижение судна, потому что снег, приликая к корпусу, увеличивает трение. Под влиянием ветра или течения, или при совместном их действии происходит передвижение льда.

В подвижном льду существует опасность сжатия судна. Это бывает, когда дрейфующий лед на своем пути встречает какое-либо препятствие: острова, банки, кромку подвижного льда и т.д. – и прижимает к ним суда или если ветер и приливоотливные течения действуют противоположно друг другу. Во время прилива наблюдается сжатие льда, во время отлива – разрежение [5, 6]. Во время сжатия судно может получить значительные повреждения наружной обшивки корпуса с прогибом шпангоутов, а также руля и винта. Во избежание сильного сжатия судна в дрейфующих льдах следует по возможности располагать корпус судна штевнями против сил сжатия.

Еще одна опасность ледового плавания – обломки тяжелого старого льда. В сплоченном мелкобитом льду их сложно заметить, и они могут стать причиной тяжелых повреждений судна, особенно если оно идет с большой скоростью.

Маневрирование во льдах несёт повышенную опасность как для корпуса судна, так и для винторулевой группы. Меры, которые необходимо предпринимать при подготовке судна к плаванию во льдах, а также руководства к действиям во время ледового плавания изложены в Наставлении по организации штурманской службы на морских судах флота рыбной промышленности СССР (НШСР-86) [8].

Согласно правилам эксплуатации судно имеет право плавания только в таких ледовых условиях, на которые рассчитан его корпус. Информация об этом указывается в классе, присвоенном надзорным органом, занимающимся классификацией судов (для судов, плавающих под флагом Российской Федерации, таким органом является Российский морской регистр судоходства (РС). Защита корпуса от ледовых повреждений обеспечивается ледовыми уси-

лениями, которые образуют так называемый «ледовый пояс», охватывающий зону переменных ватерлиний от состояния «в балласте» до состояния «в полном грузу».

Но так как лёд имеет толщину, то и его воздействие на корпус может происходить как выше самой высокой из возможных грузовых ватерлиний (ледовой ГВЛ), так и ниже самой нижней из возможных балластных ватерлиний (БВЛ). Требования к ледовым усилениям установлены Правилами классификации и постройки морских судов Морского регистра судоходства (далее – Правила РС) (рис. 1, табл. 1) [7, 9].

В связи с этим верхняя граница ледовых усиления должна проходить выше ледовой ГВЛ на расстоянии не менее h_1 , а нижняя – ниже БВЛ на расстоянии не менее h_3 (табл. 1).

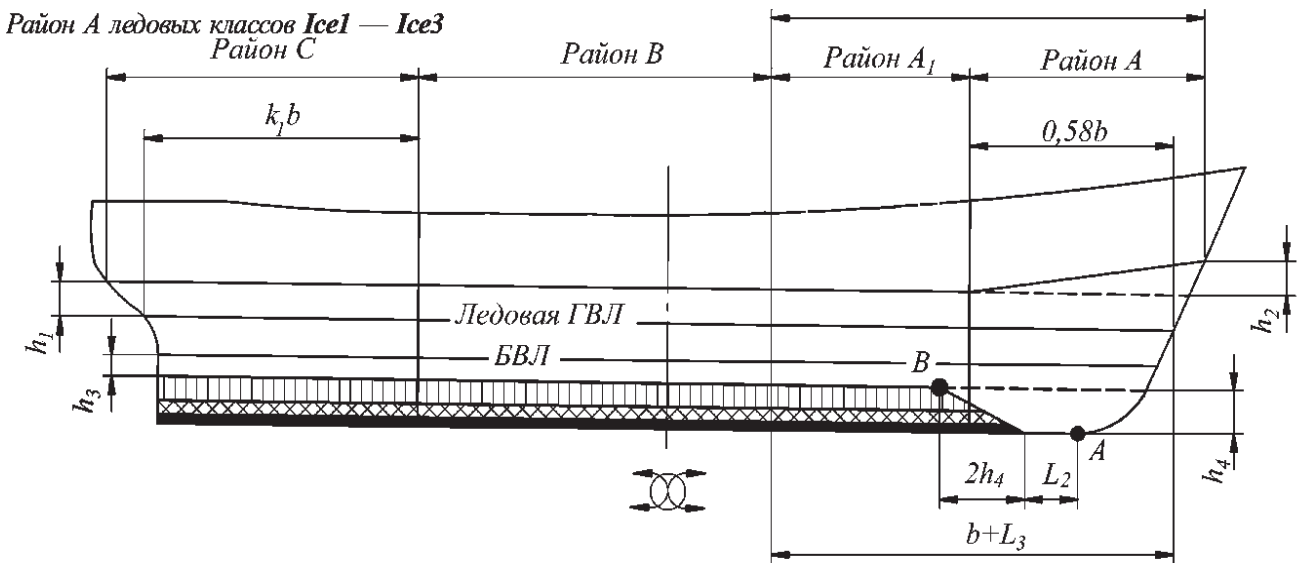


Рис. 1. Районы ледовых усиления судов ледовых классов
 Fig. 1. Areas of ice reinforcement for ice-class ships

Таблица 1

Вертикальный отступ границ ледовых усиления от ледовых ГВЛ и БВЛ судов ледовых классов

Table 1

Vertical indentation of the boundaries of ice reinforcements from ice load WL and ballast WLships of ice classes

Параметр		Ледовый класс		
		Ice3	Ice2	Ice1
$h_1, \text{ м}$	при $B \leq 20 \text{ м}$	0,50		
	при $B > 20 \text{ м}$	$0,5B + 8$ 36		0,50
$h_2, \text{ м}$		0,2		
$h_3, \text{ м}$		$1,10h_1$	h_1	

Следует обратить внимание, что возможность разрушения ледовых усиления зависит от трёх ограничивающих факторов – толщины льда, сплоченности льда и скорости хода судна. В Правилах РС 2021г условия самостоятельного плавания устанавливаются следующим образом (табл. 2) [7].

Таблица 2

**Условия самостоятельного плавания во льдах судов ледового класса
по Правилам РС 2021 г. издания**

Table 2

**Conditions for independent navigation in ice of ice-class ships according to the RS Rules,
2021 edition**

Ледовый класс	Описание
Ice1	Эпизодическое плавание в мелкобитом разреженном льду неарктических морей толщиной до 0,4 м
Ice2	Регулярное плавание в мелкобитом разреженном льду неарктических морей толщиной до 0,5 м
Ice3	Регулярное плавание в мелкобитом разреженном льду неарктических морей толщиной до 0,7 м

Однако в Правилах предыдущих лет издания устанавливались несколько иные нормы (табл. 3).

Таблица 3

**Условия самостоятельного плавания во льдах судов ледового класса
по Правилам РС предыдущих изданий**

Table 3

**Conditions for independent navigation in ice of ice-class ships according
to the RS Rules of previous editions**

Категория судна	Допустимая толщина льда (при самостоятельном плавании в мелкобитом разреженном льду со скоростью 5 уз), м	Характер эксплуатации
Ice1	0,40	Эпизодически
Ice2	0,55	Регулярно
Ice3	0,70	Регулярно

Предполагается, что если не превышать установленные ограничения, то повреждений корпуса можно избежать. Однако следует обратить внимание не только на толщину и сплоченность льда, что всегда определяется визуально «на глаз», а значит, оценка может быть занижена, но и на предельно допустимую скорость 5 уз, которая нередко превышает [10, 11].

Поскольку промысловые суда не выходят на промысел в состоянии «в балласте», то и риск ударного воздействия льдин ниже ледового пояса маловероятен. В дальнейшем будет рассматриваться только риск получения ледовых повреждений выше ледового пояса.

Спецификой промысловых судов является то, что в процессе эксплуатации может меняться посадка. И если изменение дифферента предусмотрено в требованиях установки верхней и нижней границ ледового пояса, то наличие крена не учитывается. Но промысловые суда, работающие с большими массами улова при выборке на борт, обработке, складировании, могут приобретать значительный крен. Возникает вопрос – достаточно ли высоко простираются ледовые усиления, чтобы не допустить удара льдин выше ледового пояса?

Высота борта, ушедшего в воду при наличии крена (рис. 2), определится выражением

$$\Delta h = (B/2)tg\Theta, \tag{1}$$

где Δh – приращение высоты борта, ушедшего в воду (рис. 2), м; B – ширина корпуса судна, м; θ – угол крена, град.

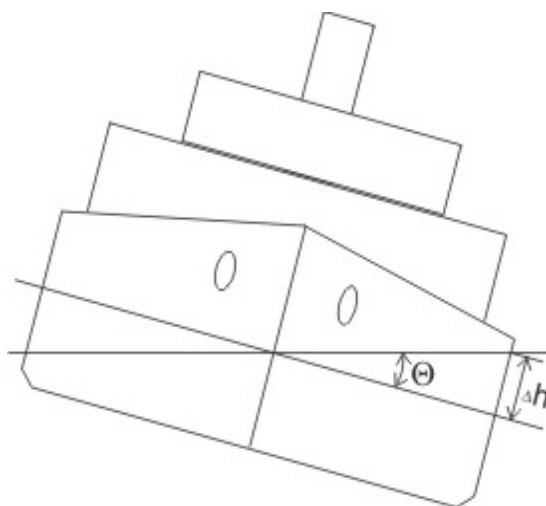


Рис. 2. Изменение положения действующей ватерлинии при наличии крена
 Fig. 2. Changing the position of the current waterline in the presence of a roll

Если выражение (1) применить к средне- и крупнотоннажным рыбодобывающим судам, работающим в ледовых условиях, то получается, что при плавании «в полном грузу» им практически нельзя допускать крена. Так, например, суда типа БАТМ в полном грузу (имеющие ширину корпуса 16 м и, соответственно, возвышение верхней кромки ледового пояса над ледовой ГВЛ 0,5 м (табл. 1) утопят верхнюю кромку ледового пояса уже при крене $\theta=4$ град (табл. 4).

Таблица 4

Приращение высоты борта, ушедшего в воду в зависимости от угла крена

Table 4

Increment of the height of the side that went into the water depending on the angle of heel

		Приращение высоты борта, ушедшего в воду, м						
Ширина корпуса, м		14	15	16	17	18	19	20
Угол крена, град								
1		0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2		0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35
3		0,37	0,39	0,42	0,45	0,47	0,50	0,52
4		0,49	0,52	0,56	0,59	0,63	0,66	0,70
5		0,61	0,66	0,70	0,74	0,79	0,83	0,87
6		0,74	0,79	0,84	0,89	0,95	1,00	1,05
7		0,86	0,92	0,98	1,04	1,11	1,17	1,23
8		0,98	1,05	1,12	1,19	1,26	1,34	1,41
9		1,11	1,19	1,27	1,35	1,43	1,50	1,58
10		1,23	1,32	1,41	1,50	1,59	1,68	1,76

Следует учитывать, что отсутствие статического крена не снимает опасность получения повреждений выше ледовых усилений, так как у судна может наблюдаться крен динамический, который может быть вызван бортовой качкой либо маневрированием судна, и при загрузке по ледовую ГВЛ может происходить контакт льда с корпусом выше ледового пояса.

Капитаны траулеров, попав на большое скопление рыбы, часто применяют маневр ухода на циркуляцию, чтобы трал с уловом, располагающийся в центре промысловой палубы, с помощью центробежной силы и крена переместить к борту и освободить палубу для постановки второго трала.

Приблизительные значения динамического угла крена на циркуляции можно получить исходя из допущения равенства моментов кренящего $M_{кр}$ и восстанавливающего $M_{в}$.

Восстанавливающий момент зависит от состояния остойчивости и угла крена:

$$M_{в} = \Delta h_0 \sin \theta, \quad (2)$$

где Δ – водоизмещение судна, кг; h_0 – начальная метацентрическая высота, м; θ – угол крена, град.

Кренящий момент на циркуляции зависит от состояния остойчивости, радиуса кривизны траектории и скорости движения [12]:

$$M_{кр} = 0,233 * \frac{\Delta}{g} * \frac{V^2}{2R_{\kappa}} \left(Z_g - \frac{d}{2} \right), \quad (3)$$

где V – скорость, м/с. Поскольку скорость судна при входе в поворот падает в зависимости от угла кладки руля и продолжительности поворота (величины изменения курса), то точные данные следует выбирать из таблицы маневренных элементов судна. Если приемлем приближенный расчет, то величину скорости для выражения (3) можно принять как 0,8 от скорости входа в поворот; R_{κ} – радиус кривизны траектории, м. Точные параметры этой величины неизвестны. Единственным источником данной информации является график циркуляции в таблице маневренных элементов судна, откуда она может быть получена с определенной погрешностью, влияющей на результат несущественно; Z_g – возвышение центра тяжести судна над основной плоскостью, м. Информация получается одним из методов контроля остойчивости; d – средняя осадка судна, м; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Приравняв и преобразовав выражения (2) и (3), можно определить приближенную величину угла динамического крена на циркуляции в зависимости от состояния остойчивости, радиуса кривизны траектории и скорости движения:

$$\Theta \approx \arcsin \left(\frac{0,233 V_{\kappa}^2 (2Z_m - 2h_0 - d)}{h_0 * g * 2R_{\kappa}} \right), \quad (4)$$

где $Z_m = Z_g - h_0$ – возвышение метацентра, м. Выбирается из кривых элементов теоретического чертежа.

Из выражения (4) видно, что угол динамического крена на циркуляции в большей степени зависит от скорости судна.

Рассмотрим абстрактное рыболовное судно с параметрами: $Z_m = 6$ м; $d = 5$ м; $R_{\kappa} = 200$ м (с кладкой руля «на борт»); $h_0 = 0,5$ м. При соблюдении требований к минимальной остойчивости угол динамического крена остается в приемлемом диапазоне (рис. 3).

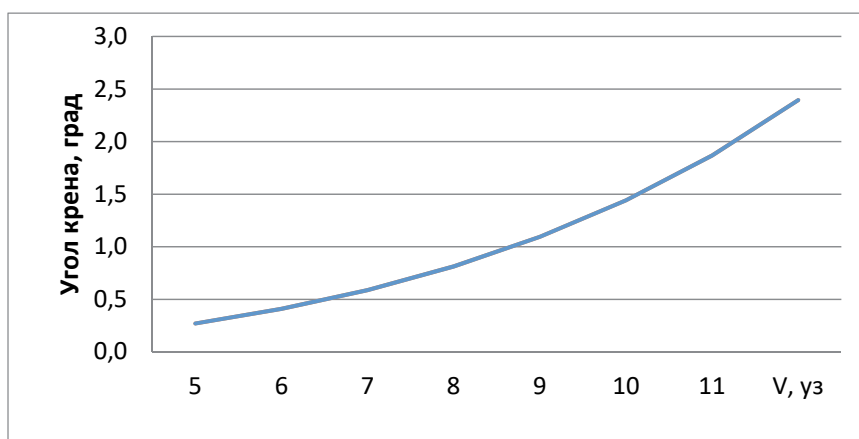


Рис. 3. Зависимость угла крена абстрактного судна от скорости
 Fig. 3. Dependence of the angle of roll of an abstract ship on speed

Однако если обратиться к периодически имеющим место случаям, когда в погоне за прибылью на борт принимается значительно больше рыбы, чем допустимо, то делается это в ущерб остойчивости путем максимального избавления от судовых запасов (топливо, вода), расположенных в междудонном пространстве. А сочетание пониженной остойчивости и движения с повышенной скоростью при маневрировании приводит к большим углам крена (рис. 4). Наличие морского волнения обеспечивает дополнительный прирост динамического крена.

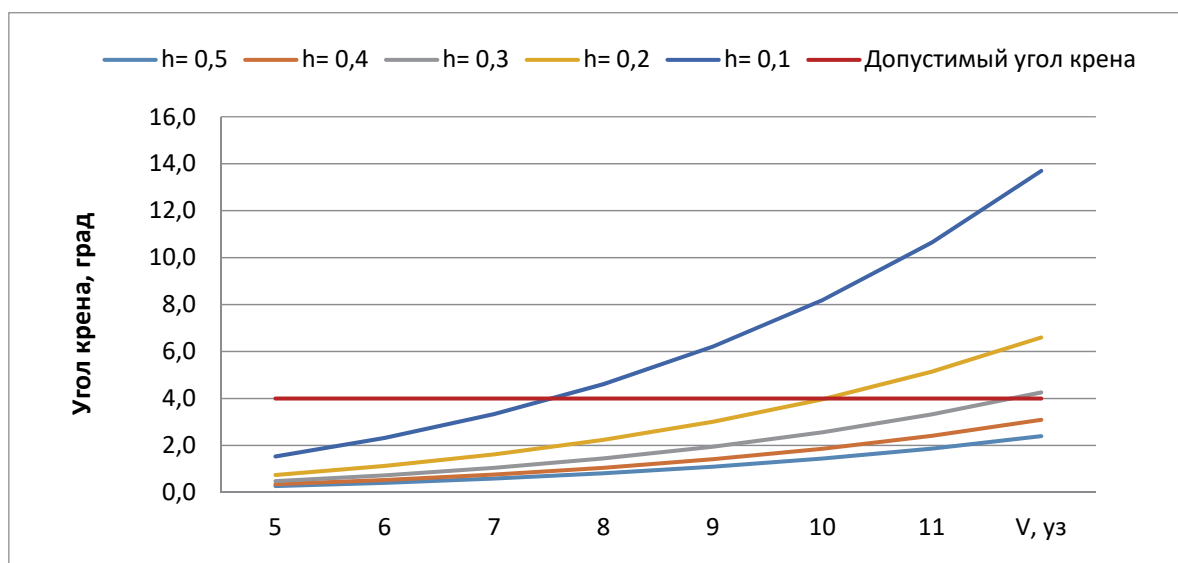


Рис. 4. Зависимость угла крена абстрактного судна от скорости и начальной метацентрической высоты
 Fig. 4. Dependence of the angle of roll of an abstract ship on the speed and initial metacentric height

Таким образом, рыбодобывающие суда, находясь в состоянии, близком к полной загрузке, подвергаются повышенному риску получения ледовых повреждений, так как условия эксплуатации не могут исключить появление статического или динамического крена, а повышение верхней кромки ледовых усилений над ледовой ГВЛ обеспечивает защиту лишь при самых малых углах крена.

Заключение

Анализ требований к конструкции ледовых усилений показал, что плавание во льдах промысловых судов в состоянии полной загрузки должно проводиться при отсутствии крена. Все перемещения судна по криволинейным траекториям в таком состоянии должны проводиться на предельно малой скорости для предотвращения появления динамического крена, приводящего к возникновению ледовых нагрузок на корпус выше ледовых усилений. Капитаны промысловых судов и их вахтенные помощники должны осознавать риски получения повреждений выше ледовых усилений корпуса при плавании «в полном грузу».

Список источников

1. Бугаев В.Г., Славгородская Д.В. Анализ прочности корпуса судна при ударе об лед // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1, № 3(41). С. 62–67.
2. Каленчук С.В., Кулеш В.А. Ледовая прочность корпусов морских судов: этапы развития, проблемы и перспектив // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2010. № 3(5).
3. Кулеш В.А. Анализ ледовых качеств рыбопромысловых судов // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 1 (спецвыпуск). С. 62–66.
4. Кулеш В.А., Огай С.А., Войлошников М.В. Безопасность и эффективность эксплуатации судов во льдах // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 1 (спецвыпуск). С. 11–20.
5. Аносов А.В. Управление судами. М.: Морской транспорт, 1961. 276 с.
6. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. СПб.: Судостроение, 2001. 512 с.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Часть I. Классификация. СПб.: Морской регистр судоходства, 2021. 116 с.
8. Наставление по организации штурманской службы на морских судах флота рыбной промышленности СССР. Л.: Транспорт, 1987. 135 с.
9. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус. СПб.: Морской регистр судоходства, 2021. 319 с.
10. Попов Ю.Н., Фадеев О.В., Хейсин Д.Е., Яковлев А.Я. Прочность судов, плавающих во льдах. Л.: Судостроение, 1967. 224 с.
11. Каптелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. Л.: Судостроение, 1968. 238 с.
12. Аксютин Л.Р. Контроль остойчивости морских судов. Одесса: Феникс, 2003. 178 с.

References

1. Bugaev V.G., Slavgorodskaya D.V. Analiz prochnosti korpusa sudna pri udare ob led [The ship hull resistance to the dynamic ice body impact] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. T. 1, № 3(41). S. 62–67.
2. Kalenchuk S.V., Kulesh V.A. Ledovaya prochnost' korpusov morskikh sudov: etapy razvitiya, problemy i perspektivy [Ice strength of sea-going ship hulls: stages of development, problems, perspectives] // Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2010. № 3(5).
3. Kulesh V.A. Analiz ledovykh kachestv rybopromyslovykh sudov [The analysis of the ice-going properties of fishing vessels] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2013. № 1 (spetsvypusk). S. 62–66.
4. Kulesh V.A., Ogay S.A., Voyloshnikov M.V. Bezopasnost' i effektivnost' ekspluatatsii sudov vo l'dakh [The safety and the effectiveness of ships navigation in ice] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2013. № 1 (spetsvypusk). S. 11–20.

5. Anosov A.V. Upravlenie sudami [Ship management]. M.: Sea transport. 1961. 276 p.
6. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaja hodkost' sudov. Saint-Petersburg: Sudostroenie, 2001. 512 p.
7. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Chast' I. Klassifikatsiya [Rules of classification and construction of ships]. Т. 1. SPb.: Morskoy Registr Sudokhodstva, 2021. 116 s.
8. Guidance on the organization of navigational service on sea vessels of the USSR fishing fleet. L.: Transport, 1987. 135 p.
9. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Chast' II. Korpus [Rules of classification and construction of ships]. №2. SPb.: Morskoy Registr Sudokhodstva, 2021. 319 s.
10. Yu.N. Popov, O.V. Fadeev, D.E. Kheysin, A.Ya. Yakovlev. Prochnost' sudov, plavayushchikh vo l'dakh [The strength of ships floating in ice]. L.: Sudostroenie, 1967. 224 s.
11. Kashtelyan V.I., Poznyak I.I., Ryvlin A.Ya. Soprotivlenie l'da dvizheniyu sudna [Ice resistance to vessel movement]. L.: Sudostroenie, 1968. 238 s.
12. Aksyutin L.R. Kontrol' ostroychivosti morskikh sudov [Control of stability of sea vessels]. Odessa: Feniks, 2003. 178 s.

Информация об авторах

В.В.Ганнесен – доцент, доцент кафедры судовождения, SPIN-код: 8351-9640, AuthorID: 812731;

Е.Е. Соловьёва – старший преподаватель кафедры судовождения, SPIN-код: 2621-0656, AuthorID: 1108787.

Information about the authors

V.V. Gannesen – Associate Professor, Associate Professor of the Department of Navigation, SPIN-code: 8351-9640, AuthorID: 812731;

E.E. Soloveva – Senior Lecturer of the Department of Navigation, SPIN-code: 2621-0656, AuthorID: 1108787.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования 05.10.2022; принята к публикации 07.10.2022.

The article was submitted 03.10.2022; approved after reviewing 05.10.2022; accepted for publication 07.10.2022.