



ЗАКЛИНИВАНИЕ ВО ЛЬДАХ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

А.А. Радюк, студентка,
nastya.radiuk@yandex.ru

Е.В. Маслюк, канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Проектирование судов ледового плавания флота береговой охраны для стратегически важных исключительных экономических зон России и особенно районов Дальнего Востока и Крайнего Севера – актуальная задача современного этапа развития флота РФ. Цель работы – определить основные требования к форме корпусов ледоколов и судов ледового плавания для повышения их ледопроеходимости при гарантированном отсутствии заклинивания судна.

ледоколы, суда ледового плавания, форма обводов корпуса, ледопроеходимость, заклинивание во льдах

Морские перевозки имеют важнейшее значение для Российской Федерации, как в обеспечении внутригосударственных перевозок, так и во внешнеэкономической деятельности. Продолжает оставаться решающей роль морских перевозок для жизнеобеспечения районов Дальнего Востока и Крайнего Севера [1].

В связи с вышесказанным была поставлена задача: определить основные требования к форме корпусов ледоколов и судов ледового плавания с целью повышения их ледопроеходимости при гарантированном отсутствии заклинивания судна.

Необходимо было установить, как основные характеристики и параметры формы корпуса судна влияют на толщину льда, которую оно может преодолеть, не застревая. Рассмотренные параметры выходили за диапазоны стандартных и статистических значений, с целью разработки новых обводов корпуса ледокола.

С помощью расчётов, проведенных с использованием формулы Л.Г. Цоя [2] для оценки толщины льда, который ледокол гарантированно преодолевает на скорости 2 уз $R_{\text{льда}}$ (1), было установлено, что наибольшее значение $R_{\text{льда}}$ достигается при максимальных значениях угла заострения КВЛ α_0 и максимальном значении угла развала бортов β_0 , при минимальных значениях угла наклона форштевня φ [3]. Однако данные расчёты не учитывали условия заклинивания судна.

$$R_{\text{льда}} = \frac{0,163 \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\sin\left(\frac{\alpha_0 + \beta_0}{2}\right)} \cdot \sqrt{\frac{P_e}{B}} \cdot \sqrt[6]{D}}{\sqrt[3]{\delta} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{B}} \cdot \sqrt[4]{\sin\left(\frac{90 - 0,5\varphi - \beta_x}{2}\right)}}, \text{ м} \quad (1)$$

где φ – угол наклона форштевня к конструктивной ватерлинии (КВЛ), град;

α_0 – угол заострения КВЛ, град;

β_0, β_x – углы развала борта в носу на нулевом шпангоуте и на мидель-шпангоуте соответственно, град;

δ – коэффициент общей полноты;

$L = L_{\text{квл}}$ – длина судна по КВЛ, м;

$B = B_{\text{квл}}$ – ширина судна по КВЛ, м;

D – водоизмещение по КВЛ, т;

$P_e = \Sigma T$ – суммарная тяга винтов в режиме, близком к швартовому, м.

Цель нижеприведённого исследования – установить, при каких значениях угла наклона форштевня к КВЛ, угла развала бортов β_0 , β_x и угла заострения ватерлинии α_0 будет достигнута предельная толщина льда, при которой произойдёт заклинивание ледокола или судна ледового плавания форштевнем и средней частью со всплытием корпуса.

Недостатки данного исследования:

1. Не учитывается возможность конструктивного обеспечения определённых параметров судна;

2. Его незавершённость без проведения опытовых испытаний.

Заклинивание форштевнем происходит вследствие вползания носа ледокола на лёд. Было использовано следующее условие заклинивания ледокола форштевнем [4]:

$$f_{ст} \geq \frac{tg\varphi}{\cos\varphi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\beta \cdot \cos^2\varphi}} \quad (2)$$

где φ – угол наклона форштевня к горизонтали;

β' – угол наклона шпангоута к горизонтали;

$f_{ст} = 0,3$ – коэффициент статического трения.

Диапазон изменения коэффициента статического трения в зависимости от изменения внешних факторов (температуры, наличия или отсутствия снега и др.) относительно велик: 0,2–0,8. Значение $f_{ст} = 0,3$ соответствует трению морского бесснежного льда по стали при сравнительно малых отрицательных температурах воздуха [4].

Были изучены значения следующих параметров: угла наклона форштевня к КВЛ φ , угла наклона шпангоута к горизонтали β' в диапазонах:

$$\beta' = 20 \div 80^\circ;$$

$$\varphi = 8 \div 20^\circ;$$

График изменения коэффициента статического трения в зависимости от изменения данных параметров представлен на рис. 1.

Из графика видно, что значение коэффициента статического трения увеличивается с уменьшением угла развала борта и возрастанием угла наклона форштевня. Таким образом, вероятность заклинивания во льдах тем ниже, чем меньше угол наклона форштевня к КВЛ и больше угол развала бортов.

В настоящий момент в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства (РМРС) стандартные значения угла наклона форштевня к КВЛ не должны превышать 25° (для ледовых усилений Arc8, Arc9), согласно данным статистики $\varphi \approx 20^\circ (15^\circ)$ [5]. Ввиду вышесказанного, а также того, что ледопроеходимость ледокола тем выше, чем меньше значение угла φ , имеет смысл уменьшить стандартные значения угла наклона форштевня к конструктивной ватерлинии с $15\text{--}20^\circ$ до $10\text{--}15^\circ$.

Согласно статистике, угол развала бортов составляет $\beta_0 \leq 65 - 70^\circ$ (согласно РМРС $\beta_0 \geq 45^\circ$ на расстоянии $0,05L$ от носового перпендикуляра для ледовых усилений Arc8, Arc9). В силу того, что коэффициент статического трения ниже, а ледопроеходимость тем лучше, чем больше значение β_0 , возможно его увеличение на $5\text{--}10^\circ$ (до $75\text{--}80^\circ$).

При заклинивании средней частью корпуса со всплытием при двух зонах контакта ледокол находится в равновесии под действием потерянной силы плавучести [4]:

$$f_{ст} \geq \sin\beta \, tg\alpha \sqrt{1 + tg^2\alpha \cdot tg^2\beta} \quad (3)$$

где α – угол между касательной к ватерлинии и диаметральной плоскостью

β – угол наклона шпангоута к горизонтали

$f_{ст} = 0,3$ – коэффициент трения.

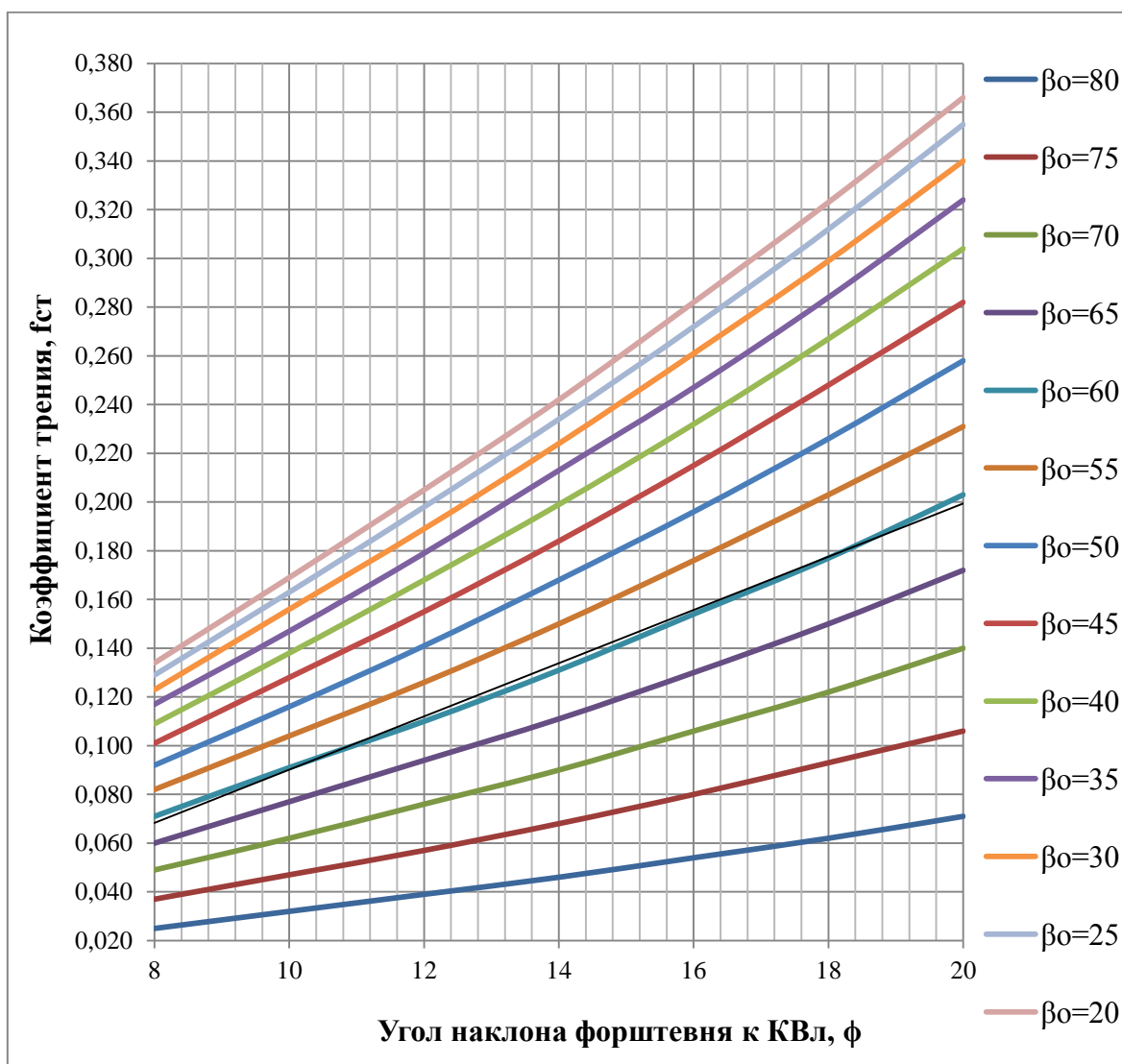


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента статического трения от угла наклона форштевня к КВЛ при различных значениях угла развала бортов

Изучены значения следующих параметров: угла заострения ватерлинии α_0 , угла наклона шпангоута к горизонтали β' в средней части в диапазонах:

$$\beta' = 8 \div 24^\circ;$$

$$\alpha_0 = 39 \div 48^\circ;$$

График изменения коэффициента статического трения в зависимости от изменения вышеприведённых параметров представлен на рисунке 2.

Несмотря на то, что величина преодолеваемого льда будет возрастать при увеличении угла развала бортов на миделе, увеличивать его можно до определённого значения, т.к. с определённого значения угла β' в сочетании с конкретными значениями угла α_0 может произойти заклинивание судна средней частью. Увеличение значения угла заострения ватерлинии так же положительно влияет на ледопроходимость [3], но отрицательно сказывается на коэффициенте статического трения. Таким образом, если считать $f_{ст} = 0,3$, при значении угла $\beta' = 15^\circ$ (согласно РМРС $\beta' \geq 15^\circ$ для ледовых усилений Arc8, Arc9) значения α_0 можно увеличивать до $10-18^\circ$ в сравнении со стандартным значением (согласно РМРС $\alpha_0 \leq 30^\circ$ для ледовых усилений Arc8, Arc9) (см. рисунок 2). Однако стоит отметить, что увеличение угла заострения ватерлинии неизбежно приводит к увеличению коэффициента статического тре-

ния, и на судах с более высокими ледовыми усилениями его стараются сделать как можно меньше, поэтому данное техническое решение требует дополнительных исследований.

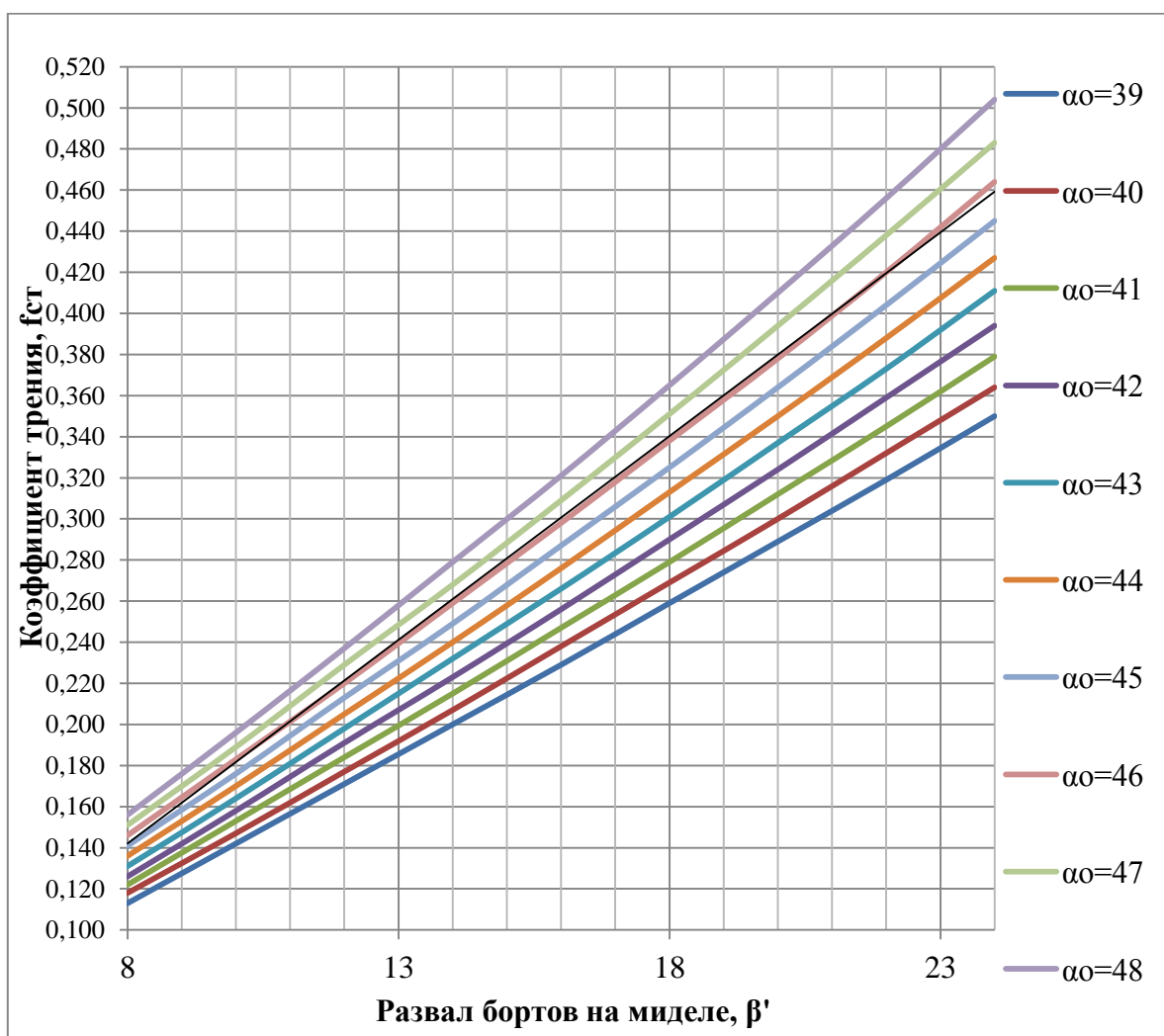


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента статического трения от угла наклона форштевня к КВЛ при различных значениях угла заострения ватерлинии

Таким образом, результаты проведённых исследований позволяют оптимизировать формы корпуса проектируемого судна на стадии оценки основных характеристик и размерений проектируемого судна, построения эскизного теоретического чертежа; оценить, при каких параметрах формы корпуса не произойдёт заклинивание ледокола или судна ледового плавания во льдах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года
2. Цой, Л.Г. Формула для определения ледопроеходимости и рекомендации по выбору формы обводов корпуса ледоколов и транспортных судов ледового плавания / Л.Г. Цой // Перспективные типы морских транспортных судов, их мореходных и ледовых качеств: сб. науч. тр. ЦНИИМФ. – Москва: Транспорт, 1990. – С. 141–144.
3. Радюк, А.А. Проектные требования к форме корпусов ледоколов / А. А. Радюк // 66-я Международная студенческая научно-техническая конференция, 18–22 апреля 2016 г., [Электронный ресурс]: материалы/ Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2016.

4. Каштелян, В.И. Ледоколы / В. И. Каштелян, А.Я. Рывлин. – Ленинград: Судостроение, 1972. – 288 с.
5. Правила классификации и постройки морских судов. – Санкт-Петербург: Российский морской Регистр Судоходства, 2013.

JAMMING IN THE ICE SHIPS ICE NAVIGATION

A.A. Radiuk, Student, Kaliningrad State Technical University
nasya.radiuk@yandex.ru

E.V. Maslyuk, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kaliningrad State
Technical University

The role of ships ice navigation at the creation of coast guard vessels to the strategically important exclusive economic zones of Russia and for areas of the Far East and far North there is important problem of development of the fleet. The aim of this work is to determine the basic requirements for the form of hulls of icebreakers and ice sailing vessels for improving icebreaking capability and guarantee absence of jamming of the vessel.

ice-breakers, ice-capable ships, the shape of the hull form, icebreaking capability, jamming in the ice