

<http://dx.doi.org/10.15589/evn20140301>

УДК 656.61.052

Л 88

ANALYSIS OF INFLUENCE OF ICE ON NAVIGATION IN THE AZOV SEA

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА СУДОХОДСТВО В АЗОВСКОМ МОРЕ

Andrii O. Lysyi¹

anlis@ami.edu.ua

ORCID: 0000-0002-5596-0856

Valerii V. Zaitsev²

valery.zaitsev@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8590-5671

А. А. Лысый,

канд. техн. наук, доц.¹;

Вал. В. Зайцев,

д-р техн. наук, доц., проф. каф. морской логистики²

¹Azov Sea Institute of Odessa National Maritime Academy, Mariupol

² Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

¹Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь

²Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. Unlike summer period sailing in ice conditions is connected with the necessity of going through ice of 1,5 m thickness within 100 days beginning with the second part of December. Marine routes of the Azov Sea also have flexible time limits caused by weather conditions both on the intensity and the period of the perturbation. Ice passability to the ports of Mariupol and Berdyansk changes according to the season. It is connected with the changes of weather conditions – power and direction of wind, temperature of air and water. The greatest changes of isochrom position can be observed from December to January moving to the south and from February to March moving to the north. That's why there are all kinds of natural obstacles in the Azov Sea for active navigation. The data collected for thirty years of navigation has been used for the analysis due to the dynamics of the ice formation and ice fields. The characteristics of the ice field on the section of the water way have been determined for severe, moderate and mild winters. The limiting dependencies of the terms when ice phenomena and the characteristics of ice cover appear have been found out. The step-by-step algorithm for predicting the condition of ice cover to form the convoys of the vessels is suggested.

Keywords: ice cover; icebreaker; pilotage; relative error; convoy; step-by-step algorithm.

Аннотация. Рассмотрены особенности судоходства в Азовском море в условиях ледовой обстановки. Из-за динамичности ледообразования и ледовых полей для анализа использованы данные за последние 30 лет судоходства. Определены характеристики ледового поля на участке водного пути в суровые, умеренные и мягкие зимы. Установлены зависимости сроков наступления ледовых явлений и характеристик ледяного покрова. Предложен пошаговый алгоритм прогноза состояния ледяного покрова для формирования караванов судов.

Ключевые слова: ледяной покров; ледокол; проводка судов; относительная погрешность; караван; пошаговый алгоритм.

Анотація. Розглянуто особливості судноплавства в Азовському морі в умовах льодової обстановки. Зважаючи на динамічність льодоутворення і льодових полів для аналізу використані статистичні показники за останні 30 років судноплавства. Визначено характеристики льодового поля на відрізьку льодового шляху в зимовий період з низькими, середніми та малими температурними показниками. Визначено лімітні залежності термінів настання льодових явищ і характеристик льодового покриття. Запропоновано покрововий алгоритм прогнозування стану льодового покриття для формування караванів суден.

Ключові слова: льодове покриття; криголам; проводка суден; відносна похибка; караван; покрововий алгоритм.

REFERENCES

- [1] Golikov V.V., Lysyy A.A. Raschet maksimalno dopustimykh prokhodnykh kharakteristik sudna v portovykh vodakh [Calculation of the maximum allowable feed through characteristics of the ship in port waters]. *Materialy nauk.-metod. konferencii «Zabezpechennia bezavariinoho plavannija sudden 16.11 – 17.11.2011»* [Providing trouble-free navigation of ships: materials of scientific and methodical conference]. Odessa, 2012, pp. 67–69.
- [2] Lobanov V.A. Chislennaya otsenka ledovykh kachestv sudna. Khodkost [Numerical evaluation of ice qualities of the vessel. Saleability]. *Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya* [Bulletin of Science and Technology Development], 2012, issue 53, no. 1, pp. 37–44.

- [3] Lysyy A.A. Upravlenie deyatelnostyu gosudarstvennykh portov v usloviyakh ledovoy obstanovki [Management of public ports activities in ice conditions]. *Zb. nauk. prats Donetskoho derzh. universytetu upravlinnia «Derzhavne upravlinnia»* [Public administration: Coll. Science. works of Donetsk State University of Management], 2010, vol. 11, issue 147, pp. 222–235.
- [4] Pro zatverdzhennia Pravyi lodovoho provedennia suden: Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 12.03.2011, no.14 (On approval rules for ice conduction of ships: Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine from 12.03.2011 No. 14). Available at: <http://www.delta-pilot.ua/uk>.
- [5] Berestovoy A.M., Perepechaev S.N., Lysyy A.A. Sudovozhdenie v kanalakh Azovskogo morya v zimnikh usloviyakh [Azov Sea navigation in channels in winter conditions]. *Materialy mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konferencii «Suchasni tendencii i perspektivy rozvytku morehospodarskoho kompleksu Ukrainy (15.06–16.06.2011)»* [Materials of the International scientific and technical conference «Modern trends and prospects of Ukraine marine economy development»]. Mariupol, 2011, pp. 96–100.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Организация перевозок на Азовском море в значительной мере зависит от зимнего периода навигации. В целом в течение ледового периода грузопотоки через основные порты – Мариуполь и Бердянск снижаются более чем в 5 раз по сравнению с летне-осенним периодом плавания.

Проводка судов по магистральным каналам в ледовых условиях характеризуется не только ограниченностью ширины свободного прохода каравана судов, но и высоким уровнем изменчивости внешней среды и окружающей обстановки. В таких сложных условиях процесс судовождения сопровождается применением соответствующих нормативных документов по режимам проводки судов и требует оперативного реагирования на внешние факторы.

Результаты анализа условий плавания в ледовой обстановке на Азовском море показывают, что актуальными являются методы и расчеты, учитывающие как природные, так и производственные аспекты транспортного процесса.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Опыт ледовых проводок караванов судов [1, 5] может быть использован для планирования ледовых операций и составления пошагового алгоритма прогноза состояния ледяного покрова для формирования каравана судов.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – исследование и совершенствование подходов к обеспечению безопасности судоходства в Азовском море с учетом ледовой обстановки.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Ледовый режим Азовского моря характеризуется непостоянством ледовых условий, которые зависят от суровости зимы и малых глубин. Лед в море образуется каждый год, но только в мягкие зимы ледовый режим затрудняет судоходство незначительно. В умеренные зимы навигация прекращается из-за наличия льда и создаются значительные трудности для ледовых проводок ледоколами. В суровые зимы большая

часть, и даже все море, покрывается льдом, непроходимым даже для ледоколов средней мощности.

Плавание судов с ледовым классом не менее ЛЗ осуществляется только с разрешения руководителя ледовыми операциями в регионе [5]. Средняя продолжительность ледового периода на маршруте Керчь–Мариуполь–Бердянск 76 сут (21 % годового периода), наименьшая – 22 сут (6 %), а наибольшая – 145 сут (40 %).

Замерзание украинской части Азовского моря обычно начинается во второй половине декабря, ледяной покров устанавливается к концу января, достигая максимальной толщины в начале февраля. Ветры от N до NE вызывают интенсивный дрейф льда из Таганрогского залива, что может привести к повреждению судов, а в юго-западной части моря образуются гряды торосов высотой 1,5...3,5 м, которые смещаются к Керченскому проливу, осложняя ледовую обстановку. Ветры от NW разрушают льды в зоне подходов каналов портов Мариуполь и Бердянск, льды скапливаются в центральной и южной частях моря, где отмечается их сжатие и торошение. Ветры от SW и SE усложняют ледовую обстановку в северной части моря, где лед у его береговой части и на берегу образует торосы высотой 3 м и более, парализуя работу портов Мариуполь и Бердянск.

Плавание в северной части Азовского моря в ледовой обстановке связано с необходимостью преодоления в течение около 100 сут ледового покрытия толщиной 0,65...1,50 м, начиная со второй половины декабря. В западной части моря толщина льда колеблется в пределах 0,4...0,3 м, достигая в суровые зимы 0,95 м. Продолжительность ледовой обстановки, начиная с третьей декады декабря, в южной части моря составляет около 80 сут, а толщина льда колеблется в пределах 0,45...1,5 м. В Керченском проливе продолжительность ледового периода около 40 сут, лед подвижен, очищение от льда – конец марта – первая декада апреля, толщина льда 0,15...0,35 м.

Ответственность за плавание судов во льдах лежит на судовладельце, разрешение на плавание дает руководитель ледовых операций, проход судов во

льдах осуществляется по следующим правилам [1, 4]:

- проводку судов осуществляют ледоколы;
- торосистые ледяные поля и льдины обходят, а не форсируют;
- малым судам в осенне-зимне-весенний период опасно заходить или находиться в дрейфующем льду при понижении температуры воды до точки замерзания и ниже;
- у судов с малой осадкой во льду могут повредиться гребные винты.

Опасное обледенение судов в Азовском море наблюдается с декабря по март при отрицательной температуре и высокой скорости воздуха, развитием волнения с образованием брызг.

Морские пути Азовского моря подвержены также и гибким (временным) ограничениям, вызванным погодными условиями, как по интенсивности, так и периоду возмущений. Таким образом, в Азовском море присутствуют почти все виды природных препятствий для активного судоходства [3].

Определение вида, величины и характера взаимодействия судов ледового класса на примере Азовского моря связано с двумя обстоятельствами: в процессе проводки суда ледового каравана взаимодействуют с битым льдом в канале за ледоколом, соударяясь с отдельными льдинами; в процессе колки льда и проводки каравана ледокол должен эффективно преодолевать ледовые поля различной интенсивности.

Ввиду динамичности ледообразования и ледовых полей анализу были подвергнуты данные метеопрогнозов за более полувековой период (с 1950 по 2010 гг.), которые обрабатывались методами статистики и обобщались в графической, табличной и аналитической формах.

Характер взаимодействия битого льда с корпусом судна, кроме дрейфа ледовых полей и льдин, а также их способности создавать ледовые переемы в виде торосов, зависит от возраста ледового канала, проложенного ледоколом или ледоколами.

По методическим соображениям участок водного пути в условиях судоходства по ледовым условиям можно разделить на три типа: сплошной дрейфующий и торосистый лед (припай); разреженный, включая битый, лед различной сплоченности (в баллах) и свободная водная поверхность [2].

В соответствии с этим первыми статистическими методами определяются участки трассы, которые представляют серьезные затруднения для плавания по водному пути Азовского моря и характеризуются протяженностью ледовых трасс (табл. 1), а также шириной прибрежного ледового пояса или расположением кромки льда в открытом море (рис. 1). Среднестатистические данные о протяженности ледовых трасс и положении кромки льда обработаны за период 1980–2014 гг. на середину месяцев.

Таблица 1. Среднестатистическая протяженность ледовых трасс Азовского моря за период с 1980 по 2014 гг.

Номер	Трасса	Тип зимы	Протяженность пути во льдах, мили		
			в припае	в плавучем льду	по свободной воде
1	Мариуполь – Керчь (115 миль)	Суровая	110±5	–	–
		Умеренная	22±2	82±2	10±4
		Мягкая	5±1	10±5	100±5
2	Бердянск – Керчь (95 миль)	Суровая	92±3	–	–
		Умеренная	–	25±5	70±5
		Мягкая	–	–	90±5

Положение кромки льда и распространение льда в Азовском море зависят от суровости зимы и носят сложный системный характер. Так, суровые зимы формируются при активной деятельности ветров от N и NE, исходящих из центра действия атмосферы в Карско-Таймырском районе России и сопровождающихся вторжением арктических масс воздуха на Украину. При таком типе формирования погоды наиболее холодным оказывается район юго-восточной части Украины, включая Азовское море, где отклонение среднесуточной температуры воздуха от нормы составляет –9...+8 °С.

В умеренные зимы наблюдается чередование зональных и меридианных переносов воздушных масс. Причем кратковременное вторжение арктических масс воздуха – не интенсивное по температурному градиенту, а поэтому создает лишь временное похолодание,

после чего происходит вторжение теплых масс воздуха с Атлантики. Среднесуточные температурные отклонения воздуха находятся в пределах нормы.

Мягкие зимы формируются при активной деятельности ветров от SW–S–SE из районов Средиземного и Черного морей. При этом среднесуточная температура воздуха над Азовским морем оказывается на 6...7 °С, а иногда и 9...11 °С выше нормы. Поэтому в суровую зиму протяженность пути Мариуполь–Керчь в ледяном припае составляет 100 %, в умеренную – 10 % в припае, 60 % в плавучем льду и 30 % по свободной воде, а в мягкую – 5 % в припае, 15 % в плавучем льду и 80 % по свободной воде. Кроме того, в припае лед дрейфует под действием ветра и течений в основном от N, NE и SE и течений в основном к Керченскому проливу и торосится от сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

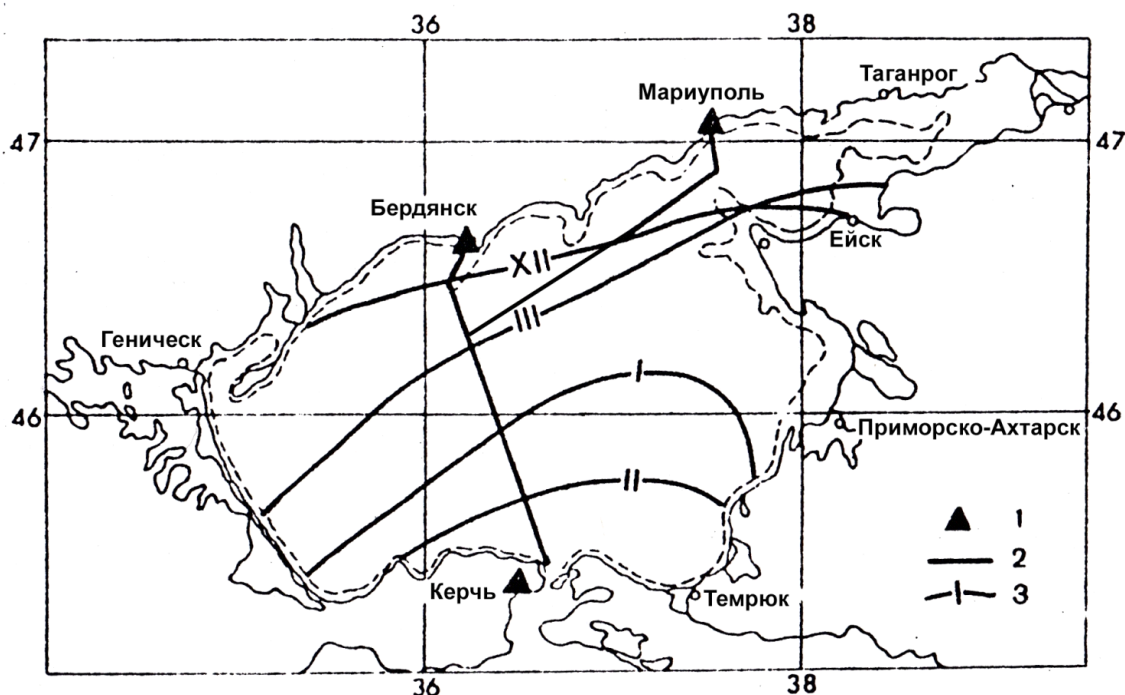


Рис. 1. Изохроны положения кромки льдов на ледовых трассах Азовского моря: 1 – морские порты; 2 – морские трассы; 3 – изохроны

Ледопроездимость полей к портам Мариуполь и Бердянск по месяцам года весьма изменчива, что связано с изменением параметров погоды, таких, как сила и направление преобладающего ветра, температуры воды и воздуха. Наибольшие изменения положения изохрон наблюдаются от декабря к январю, смещаясь к югу, и от февраля к марту, смещаясь к северу. Толщина льда также существенно зависит от района плавания и суровости зимы (табл. 2).

Таблица 2. Среднестатистическая толщина льда в открытой части Азовского моря за период с 1980 по 2014 гг.

Часть моря	Ледяной период, сут	Толщина льда, м	
		Мягкая зима	Суровая зима
Северная	100±12	0,5±0,1	0,8±0,2
Западная	> 100	0,2±0,1	0,7±0,1
Восточная	100±15	0,2±0,1	0,7±0,1
Центральная	90±10	0,2±0,05	0,4±0,1
Южная	80±10	0,3±0,05	0,6±0,05
Керченский пролив	55±5	0,42±0,05	0,42±0,02

Для планирования ледовых операций и составления планов перехода судов методом наименьших квадратов были установлены линейные эмпирические зависимости с определением коэффициентов уравнений прямых сроков наступления ледовых явлений и характеристик ледяного покрова в Азовском море в зависимости от предстоящего местонахождения судна (табл. 3).

Таблица 3. Величина коэффициентов уравнения прямых, характеризующих явления ледового режима Азовского моря за период 1980–2014 гг.

Номер	Явление или характеристика	$y = ax + b$	
		a	b
1	Продолжительность ледового сезона, дни	-925	22
2	Максимальная толщина льда, м	-14,716	0,33(3)
3	Число очищений за зиму	72	-1,45
4	Первое ледообразование*, дни	697	-15
5	Первое образование забега или припая*, дни	372	-8
6	Начало устойчивого ледообразования*, дни	571	-12,3
7	Первое полное замерзание*, дни	412	-9
8	Начало образование припая*, дни	579	-12,3
9	Окончательное замерзание*, дни	456	-9
10	Окончательное разрушение припая*, дни	-306	8
11	Полное очищение от льда*, дни	-228	6,52

* Если функция положительная, то количество дней отсчитывается по календарю после Нового года; если функция отрицательная, то отсчет дней ведется от Нового года в обратном направлении в предыдущий год.

Расчетная толщина льда (102 м) на участках трасс Мариуполь–Бердянск–Керчь при $\varphi \geq 46^\circ$ на середину месяца M от декабря (в декабре $M = 0$) до марта ($M = 3$) включительно следующего года для $M \in [0; 3]$:

$$h_{\text{л(р)}} = \begin{cases} 10(M + 2,0) - \text{в суровую зиму;} \\ 10(M + 1,5) - \text{в умеренную зиму;} \\ 3,3(M + 3,0) - \text{в мягкую зиму.} \end{cases} \quad (1)$$

Максимальная относительная погрешность аппроксимации выражений табл. 3 и формулы (1) не превысила 6 % при аргументе φ , измеряемом в градусах.

По результатам проведенного анализа можно предложить следующий метод, описанный пошаговым алгоритмом прогноза состояния ледового покрова для формирования караванов с целью выбора ледоколов и количества проводимых судов, а также планирования регулярных перевозок в этом регионе при объявлении ледовой обстановки.

Шаг 0. Задаются: тип зимы; период проводки каравана; маршрут проводки; районы плавания.

Шаг 1. Определяется (по табл. 1) протяженность пути во льдах в зависимости от типа зимы.

Шаг 2. Определяются широта и долгота начала и конца припая (по изохронам рис. 1 на маршруте проводки по периоду проводки. Промежуточные изохроны устанавливаются интерполированием.

Шаг 3. Для выбора лидирующего ледокола определяется максимальная толщина ледяного покрова в зависимости от широты северной части местонахождения каравана.

Шаг 4. Устанавливается распределение толщин ледяного покрова на трассе в зависимости от типа зимы и районов плавания (по табл. 2) и периода проводки (по формуле (1)) для прогноза передвижения каравана.

Шаг 5. Для планирования ледовых операций определяются среднестатистические характеристики ледового режима плавания в Азовском море для каждого порта в зависимости от широты его расположения (по табл. 3).

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемые апробированные методы расчета позволяют учесть как природные, так и производственные аспекты транспортного процесса, а не только осадку судна как фактор безопасного судождения.

2. Для обеспечения безопасной проводки судов в период зимней навигации на Азовском море на базе статистического анализа и обработки данных за период с 1980 по 2014 гг. разработан метод в виде пошагового алгоритма, позволяющий качественно и количественно устанавливать виды и характер ледовых нагрузок на суда по труднопроходимым участкам морского пути с учетом ледовых явлений и суровости зимы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Голиков, В. В.** Расчет максимально допустимых проходных характеристик судна в портовых водах [Текст] / В. В. Голиков, А. А. Лысый // Забезпечення безаварійного плавання суден: матеріали наук.-метод. конференції. – О. : ОНМА, 2012. – С. 67–69.
- [2] **Лобанов, В. А.** Численная оценка ледовых качеств судна. Ходкость [Текст] / В. А. Лобанов // Вестник научно-технического развития. – 2012. – № 1 (53). – С. 37–44.
- [3] **Лысый, А. А.** Управление деятельностью государственных портов в условиях ледовой обстановки [Текст] / А. А. Лысый // Державне управління: зб. наук. праць Донецького держ. університету управління. – Донецьк : ДонДУУ, 2010. – Т. XI, вип. 147. – С. 222–235.
- [4] Про затвердження Правил льодового проведення суден: Наказ Міністерства інфраструктури України від 12.03.2011 р. № 14 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.delta-pilot.ua/uk>.
- [5] Судоходство в каналах Азовського моря в зимніх умовах [Текст] / А. М. Берестовой, С. Н. Перепечаев, А. А. Лысый [и др.] // Сучасні тенденції і перспективи розвитку морегосподарського комплексу України: матеріали Міжнар. наук.-техн. конференції. – Маріуполь : АМІ ОНМА, 2011. – С. 96–100.

© А. О. Лисий, Вал. В. Зайцев

Надійшла до редколегії 12.11.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК д-р техн. наук, проф. Ю. М. Коробанов

Статтю розміщено у Віснику НУК № 3, 2014