

УДК 656.61.052

## ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА СУДА ЛЕДОВОГО КЛАССА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

*Лысый А.А.*

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

*В статье обоснована необходимость использования в управлении производственной деятельностью морских портов анализа и прогнозирования сезонных процессов. Приведены статистические данные, показывающие существенное уменьшение грузооборот портов Азовского моря в период ледовой обстановки. Дано определение понятия фактора сезонности, под которым понимается регулярное периодичное наступление определенных погодных условий, связанных со сменой времени года. Подчеркивается, что сезонность выражается в виде колебательных процессов, которые описываются в экономико-математических исследованиях индексами и коэффициентами сезонности. Разработан специальный подход к формированию информационной базы, учитывающий разнообразные формы производственной деятельностью порта в условиях ледовой обстановки, удовлетворяющий требования непрерывного планирования и регулирования работы порта. Предложен и разработан словесный алгоритм прогноза состояния ледового покрова для формирования караванов с целью статистического прогнозирования, включающий все стадии обработки динамических рядов: анализ сезонных процессов и планирование регулярных перевозок в регионе при объявлении ледовой обстановки.*

*Ключевые слова: ледовая обстановка, судоходство, сезонные колебания, информационная база, прогнозирование, индексы сезонности, словесный алгоритм, колебание грузового оборота.*

**Постановка задачи.** Организация и планирование круглогодичных перевозок на Азовском море в значительной мере зависит от влияния зимнего периода навигации. В целом, в течении 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 также и высоким уровнем изменчивости внешней среды и окружающей обстановки.

В таких сложных условиях процесс судоходства 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.** Опыт ледовых проводок караванов судов [1, 4, 5] может быть использован для планирования ледовых операций и для составления пошагового алгоритма прогноза состояния ледового покрова по формированию каравана судов.

**Цели и задачи.** В статье исследуются подходы обеспечения безопасности судоходства в Азовском море с учетом ледовой обстановки.

**Основное содержание статьи.** Определение вида, величины и характера взаимодействия судов ледового класса в неарктических южных морях, на примере Азовского моря, связано с двумя обстоятельствами: в процессе проводки суда ледового каравана взаимодействуют с битым льдом в канале за ледаколом, соударяясь с отдельными льдинами; в процессе колки льда и проводки каравана ледакол должен эффективно преодолевать ледовые поля различной интенсивности [6].

Ввиду динамичности льдообразования и ледовых полей, анализу были подвергнуты данные метеопрогнозов за более полувековой период (с 1950 по 2013 годы), которые обрабатывались методами статистики и обобщались в графической, табличной и аналитической формах.

Характер взаимодействия битого льда с корпусом судна, кроме дрейфа ледяных полей и льдин, а также их способности создавать ледовые перемычки в виде торосов, зависит от возраста ледового канала проложенного ледоколом [2].

Важным вопросом, на который следует дать ответ – это установление характера экстремальных ледовых нагрузок на рассматриваемом участке водного пути для последующего выбора энергетических характеристик ледоколов.

По методическим соображениям участок водного пути, в условиях ледового судоходства, в неарктических морях 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.

Поэтому первыми статистическими методами определяются участки трассы, которые пред оставляют серьезные затруднения для плавания по водному пути, например, 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 1950–2013 гг. на средину месяцев.

Таблица 1 – Среднестатистическая протяженность ледовых трасс Азовского моря за период с 1950 по 2013 годы

№ n/n	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

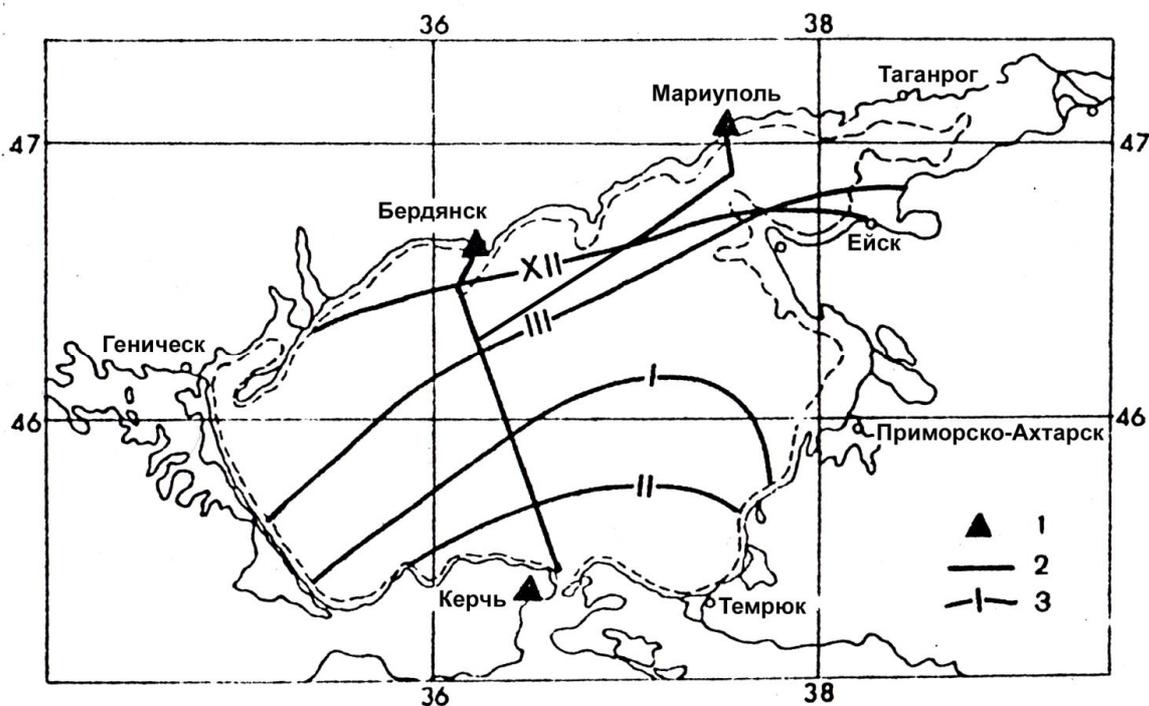


Рисунок 1 – Изохроны положения кромки льдов на ледовых трассах Азовского моря: 1 – морские порты; 2 – морские трассы; 3 – изохроны

Положение кромки льда и распространение его в Азовском море зависит от суровости зимы и носит сложный системный характер. Так, суровые зимы формируются при активной деятельности ветров от N и NE, исходящих из центра действия атмосферных

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 отклонения среднесуточной температуры воздуха от нормы составляет – 9–8 °С [3].

В умеренные зимы наблюдается чередование зональных и меридиальных переносов воздушных масс. Причем, кратковременное вторжение арктических масс воздуха не интенсивное по температурному градиенту, а поэтому создают 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 этого, в припае лед дрейфует под действием ветра и течений в основном от N, NE и SE и течений в основном к Керченскому проливу и торошится от сгонно-нагонных колебаний уровня моря. 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 1950 по 2013 годы

Часть моря	Ледяной период, сутки	Тип зимы, м	
		мягкая	суровая
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 географической широты местонахождения или предстоящего местонахождения судна (табл. 3).

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

$$\begin{cases} 10 \cdot (M + 2,0) - \text{в суровую зиму,} \\ 3,3 \cdot (M + 3,0) - \text{в мягкую зиму.} \end{cases}$$

Таблиця 3 – Величина коефіцієнтів уравнения прямих вида, характеризующих явления ледового режима Азовского моря за период (1950 – 2013 гг.)

№ п/п	Явление или характеристика, размерность	<i>a</i>	<i>b</i>
1	Продолжительность ледового сезона, дни	- 925	22
2	Максимальная толщина льда, м	- 14,716	0,33 (3)
3	Число очищений на зиму, ед.	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 ото льда*, дни	- 228	6,52

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

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

Результаты влияния ледовых факторов припая на суда в Азовском море демонстрируются на рис. 2–4.



Рисунок 2 – т/х «MYSTERY К». Флаг St. Vincent Grenadines в ледовом плену Азовского моря



Рисунок 3 – т/х «Аласа 1», флаг Панама в ледовом плену Азовского моря



Рисунок 4 – т/х «MYSTERY К», флаг St. Vincent Grenadines в ледовом плену Азовского моря

Такое состояние судов подтверждает губительную опасность самостоятельно плавания во льдах Азовского моря, а также сложность проводки каравана судов ледоколом.

По результатам анализа разработан словесный алгоритм 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 интеролированием.

- Шаг 3. Для выбора лидирующего ледокола определяется максимальная толщина ледяного покрова в зависимости от широты северной части местонахождения каравана по формуле (1) и табл. 2.
- 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.** В результате анализа методов определения главных размерений судов для плавания на каналах, фарватерах и зонах маневрирования в табличной форме создан метод расчета максимальных и безопасных значений главных размерений судна, комплексно учитывающая основные процессы в элементах системы «судно – водный путь – погода – маневры» для повышения пропускной способности водных путей и отличающаяся тем, что в нем используются апробированные методы расчета, которые в совокупности за счет повышения информативности системы позволяют учесть как природные, так и производственные аспекты транспортного процесса, а не только осадку судна как фактор безопасного судовождения. Однако данный метод требует еще и апробации.

В результате статистического анализа и обработки данных за период с 1950 по 2013 годы разработан метод в виде словесного алгоритма, позволяющий не только качественно, но и количественно устанавливать виды и характер ледовых нагрузок на суда по труднопроходимым участкам морского пути с учетом ледовых явлений и суровости зимы для безопасной проводки судов в период зимней навигации на примере Азовского моря.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков В. В. Расчет максимально допустимых проходных характеристик судна в портовых водах / В. В. Голиков, А. А. Лысый // Забезпечення безаварійного плавання суден : матер. наук.-метод. конф. ОНМА, 16–17.11.2011. – Одеса : Видавінформ ОНМА, 2012. – С. 67-69.
2. Лобанов В. А. Моделирование взаимодействия льда с конструкциями / В. А. Лобанов // Вестник научно-технического развития. – 2011. – № 10 (50). – С. 31-39.
3. Лоція Чорного та Азовського морів на води України (101) : посібник. – К. : ДУ «Держгідрографія», 2005. – 320 с.
4. Лысый А. А. Перспективные методы ледовой проводки судов на каналах и фарватерах Азовского моря в зимний период / А. А. Лысый // Судовождение : сб. научн. тр. ОНМА. – Вып. 22. – Одесса : ИздатИнформ ОНМА, 2013. – С.133-141.
5. Миусов М. В. Стратегия позиционирования транспортного потенциала в глобальном рынке морской торговли / М. В. Миусов, Н. Т. Примачев, В. В. Винников, С. В. Винников, Н. Н. Примачева, под общ. ред. Н. Т. Примачева. – Одесса : Автограф, 2006. – 234 с.
6. Правила льодового проведення суден (наказ Міністерства інфраструктури України від 12.03.2011 р. за №14, зареєстровано Міністерством юстиції України від 04.04.2011 р. за №447(19185). – 15 с.

### REFERENCES

1. Golikov V. V. Raschet maksimaljno dopustimihkh prokhodnihkh kharakteristik sudna v portovihkh vodakh / V. V. Golikov, A. A. Lihsihyj // Zabezpechennya bezavariyjnogo plavannya suden : mater. nauk.-metod. konf. ONMA, 16–17.11.2011. – Odesa : Vidav Inform ONMA, 2012. – S. 67-69.

2. Lobanov V. A. Modelirovanie vzaimodeystviya l'da s konstrukciyami / V. A. Lobanov // Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya. – 2011. – № 10 (50). – S. 31-39.
3. Lociya Chornogo ta Azovskogo moriv na vodi Ukraïni (101) : posibnik. – K. : DU «Derzhgidrografiya», 2005. – 320 s.
4. Lihsihyj A. A. Perspektivnihe metodih ledovoyj provodki sudov na kanalakh i farvaterakh Azovskogo morya v zimniyj period / A. A. Lihsihyj // Sudovozhdenie : sb. nauchn. tr. ONMA. – Vihp. 22. – Odessa : IzdatInform ONMA, 2013. – S.133-141.
5. Miyusov M. V. Strategiya pozicionirovaniya transportnogo potentsiala v globalnom rihinke morskoyj trgovli / M. V. Miyusov, N. T. Primachev, V. V. Vinnikov, S. V. Vinnikov, N. N. Primacheva, pod obth. red. N. T. Primacheva. – Odessa : Avtograf, 2006. – 234 s.
6. Pravyla lodovoho provedennia suden (nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 12.03.2011 r. za #14, zareiestrovano Ministerstvom yustytstii Ukrainy vid 04.04.2011 r. za #447(19185). – 15 s.

**Лисий А.О. ВПЛИВ ФАКТОРІВ КРИЖАНОГО ПОКРИВУ НА СУДНА ЛЬДОВОГО КЛАСУ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ**

*У статті обґрунтовано необхідність використання в управлінні виробничою діяльністю морських портів аналізу та прогнозування сезонних процесів. Наведено статистичні дані, що показують суттєве зменшення вантажообігу портів Азовського моря в період льодової обстановки. Дано визначення поняття фактора сезонності, під яким розуміється регулярне періодичне настання певних погодних умов, пов'язаних зі зміною часу року. Підкреслюється, що сезонність виражається у вигляді коливальних процесів, які описуються в економіко-математичних дослідженнях індексами і коефіцієнтами сезонності. Розроблений спеціальний підхід до формування інформаційної бази, що враховує різноманітні форми виробничої діяльності порту в умовах льодової обстановки, що задовольняє вимоги безперервного планування та регулювання роботи порту. Запропонований і розроблений словесний алгоритм прогнозу стану льодового покриття для формування караванів з метою статистичного прогнозування, що включає всі стадії обробки динамічних рядів: аналіз сезонних процесів і планування регулярних перевезень у регіоні при оголошенні льодової обстановки. Ключові слова: льодова обстановка, судноплавство, сезонні коливання, інформаційна база, прогнозування, індекси сезонності, словесний алгоритм, коливання вантажного обороту.*

**Lysiy A.A. THE INFLUENCE OF ICE COVER FOR ICE CLASS SHIPS AS A CONTROL OBJECT**

*The article proves the necessity of use in the management of production activities of seaports analysis and forecasting of seasonal processes. The statistical data showing a significant reduction in the turnover of the ports of the Azov sea in the period of ice conditions. Given the definition of the seasonal factor, which is defined as the regular periodic occurrence of certain weather conditions associated with the change of seasons. It is emphasized that the seasonality is expressed in the form of oscillatory processes, which are described in the economic-mathematical research indices and coefficients of seasonality. Developed a special approach to the formation of the information base that takes into account various forms of industrial activity of the port in terms of ice conditions, satisfying the demands continuous planning and management of port operations. Proposed and developed a verbal prediction algorithm the state of the ice cover to form caravans for statistical forecasting including all stages of processing of time series: seasonal analysis and planning processes regular traffic in the region with the announcement of ice.*

*Keywords: ice conditions, navigation, seasonal fluctuations, information base, forecasting, seasonality index, verbal algorithm, the fluctuation of freight turnover.*

© Лисий А.О.

Статтю прийнято  
до редакції 8.04.15