

УДК 629.12.06.628.84

CREATING WIDE ICE CHANNELS FOR NAVIGATION OF LNG TANKERS AND REDUCING ICE STRESS ON THE FLOATING TERMINAL**СОЗДАНИЕ ШИРОКИХ КАНАЛОВ ВО ЛЬДАХ ДЛЯ ПРОВОДКИ СПГ ТАНКЕРОВ И СНИЖЕНИЕ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПЛАВТЕРМИНАЛ****Boyko P.A., doctoral student****Бойко П.А., докторант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

This paper discusses problems related to the conditions and development of the fuel-energy complex of the global LNG market in which Ukraine is being included. It is based on the experience of existing and future projects on uninterrupted supply of LNG for offshore oil terminals and offshore regasification plants by the means of application of innovative technical solutions in the field of making wide channels in fast, packed and drifting ice.

Keywords: LNG, ice navigation, safety of navigation

Постановка проблемы в общем виде и связь ее с научными и практическими задачами

Создание морской транспортной системы поставки СПГ в Украину, сталкивается с актуальной проблемой снижения температуры воздушных масс до $-20 - 25^{\circ}\text{C}$ при отсутствии ветра и, как следствие, ежегодного замерзания побережья Черного моря.

Морозы привели к тому, что ледяной покров побережья в районе Керчи, Евпатории и Одессы превращается в лед и носит эпизодический (сезонный) характер. Толщина льда в некоторых прибрежных районах достигает 0,7 – 1,2 м.

Танкеры для транспортировки СПГ составляют ключевое звено во всей производственно-сбытовой системе, поэтому основная нагрузка в обеспечении нормативно – правовых требований по безопасности судоходства (Положение о системе управления безопасностью судоходства на морском и речном транспорте Украины, утверждена Приказом Мин. инфраструктуры Украины от 20.11.2003 г., №904, ранее МТУ) возложена на руководителей предприятий, терминалов, учреждений и организаций, а также капитанов судов, которые в своих подразделениях, управляя системой безопасности на объектах, обеспечивают мониторинг оценки факторов, оказывающих влияние на уровень безопасности, включая факторы риска, подготовку, принятие и реализацию

управленческих решений, направленных на обеспечение надлежащего уровня безопасности судоходства [7].

Для снижения уровня риска судоходства в Украине с 2009 года принята Государственная система управления безопасностью судоходства (постановление КМУ от 09.10.2009 г., №1137), которая, используя свои субъекты, осуществляет государственное регулирование безопасной перевозки пассажиров, грузов и ряд других важных функций по организации безопасного судоходства.

Экономические расчеты показывают, что эффективность системы транспортировки СПГ может быть обеспечена только при использовании крупнотоннажных судов. Их использование затрудняется из-за того, что современные ледоколы не в состоянии надежно и безопасно проводить крупнотоннажные суда, так как их ширина корпуса меньше, чем у проводимых судов.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Возможность использования ледоколов и ледокольных судов для снижения ледовой нагрузки на СПГ танкер и плавтерминал.

Из всего многообразия ледовых условий, которые могут встречаться в точке установки плавтерминала, необходимо рассматривать только те, которые могут вызвать опасную нагрузку. К таким условиям можно отнести сплошной ледяной покров и торосы.

Лед и характеристики его неравномерности формируют размеры ледовой зоны, в которой ледокольное судно разрушит лед для обеспечения безопасности плавтерминала. Снижение нагрузки дрейфующего льда ледокольным судном устраняется движением ледокола галсами перед терминалом. Обеспечить такую операцию можно на одном и том же расстоянии от терминала.

Увеличение толщины льда затрудняет выполнение этого маневра, поэтому необходимо оценить характеристики ледокольного судна, исходя из условий данного района, представленной линейной функцией [1].

$$\gamma_I = \gamma_\omega - (\gamma_\omega - \gamma_{min}) \frac{h}{h_{lim}}, \quad (1)$$

где γ_ω – скорость движения на чистой воде; γ_{min} – минимально устойчивая скорость в придельных льдах; h_{lim} – предельная ледопроемкость; γ_{lim} – скорость движения ледокола в сплошных льдах толщиной h .

На рис. 1 представлена кривая ледопроемкости ледокольного судна.

γ_0 – скорость ледокольного судна на чистой воде; γ_{min} – минимально устойчивая скорость движения ледокольного судна во льдах; h_{lim} – предельная толщина проходимого льда; h_{lim} – предельная толщина льда преодолеваемая ледокольным судном набегами.

Зона I – ледокольное судно движется непрерывным ходом в сплошных льдах; Зона II – ледокольное судно движется непрерывным ходом с небольшой скоростью; Зона III – судно движется, работая набегами.

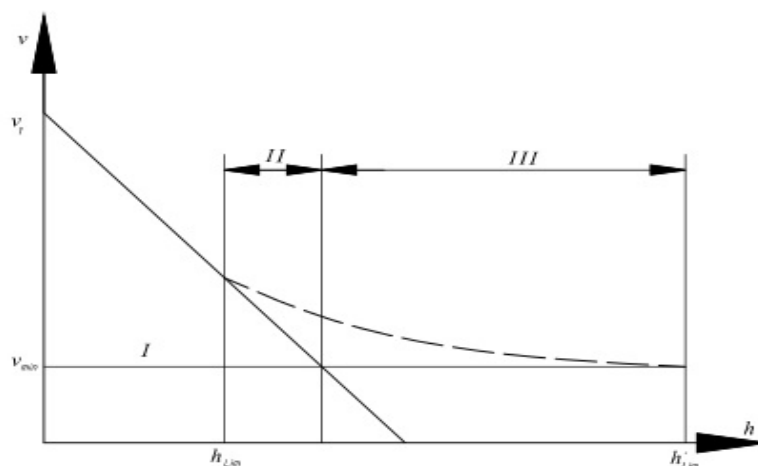


Рис.1. Типичный вид кривой ледопроеходимости

Для разрушения льда ледокольному судну необходимо выполнять движение галсами попеременно - то носом, то кормой вперед с одинаковой эффективностью, поэтому сформулировать это условие можно следующим отношением:

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_l} = \sin\chi, \quad (2)$$

где χ – угол курса ледокольного судна.

Выполняя маневры, ледокольное судно прокладывает расходящиеся каналы. Для эффективной работы ледокольного судна максимальное расстояние между этими каналами не должно превышать величину d .

Это условие запишем следующим образом:

$$2_s \sin\chi \leq d. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена схема движения ледокольного судна.

Здесь s – длина одного галса ледокольного судна.

Эту величину можно рассчитать по формуле

$$S = \frac{l}{\cos\chi - 2\sin\chi \operatorname{tg}\alpha}, \quad (4)$$

$$\text{где } \alpha = \operatorname{arctg} \frac{\gamma_d}{\gamma_l}.$$

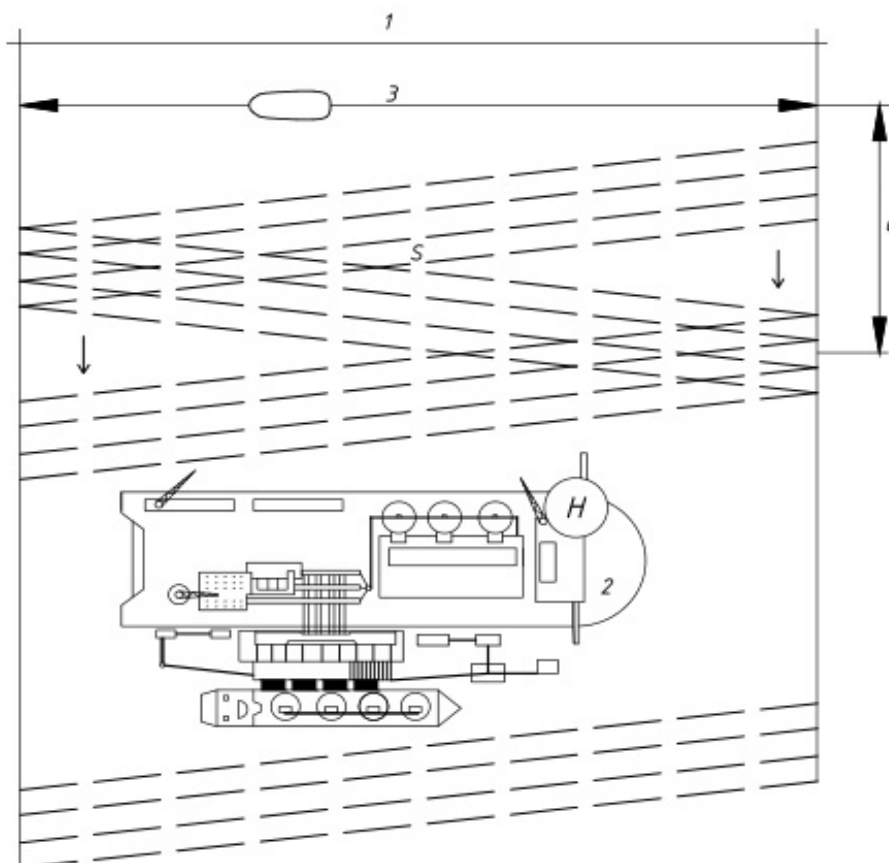


Рис. 2. Схема работы ледокольного судна перед плавтерминалом в сплошных льдах

1. Канал, проложенный ледокольным судном. 2. Плавтерминал. 3. Ледокольное судно.

Размер зоны, в котором могут находиться ледяные образования, опасные для плавтерминала, можно задать отношением:

$$I = L + 2 \frac{\gamma_d}{d} r, \quad (5)$$

где L - конструктивные характеристики плавтерминала относительно направления дрейфа льда; I - поперечный размер опасной зоны, расстояния r от плавтерминала.

Подставив выражения (2), (4), (5) в соотношение (3), и учитывая соотношение, принятое для скорости дрейфа $\gamma_d = k\gamma_l$, получим неравенство для определения толщины ровного льда, в котором ледокольное судно может эффективно снижать нагрузку на плавтерминал.

$$2 \frac{\gamma_d}{\gamma_l} \frac{L + 2 \frac{\gamma_d}{d} r}{\sqrt{1 - \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_l}\right)^2 - 2 \frac{\gamma_d}{\gamma_l}}} \leq d. \quad (6)$$

Упростим это неравенство, воспользовавшись соотношением, принятым для скоростей дрейфа $\gamma_d = k\gamma_l$. Получим следующее неравенство:

$$\frac{L + 2kr}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_l}{\gamma_d}\right)^2 - 1 - 2k}} \leq \frac{d}{2}. \quad (7)$$

Подставив в это выражение формулу (1), получим неравенство для определения толщины ровного льда для выполнения указанных маневров ледокольным судном:

$$h \leq \frac{h_{lim}}{\gamma_w - \gamma_{min}} (\gamma_w - \gamma_d \sqrt{C^2 + 1}), \quad (8)$$

где $C = \frac{2(L+2kr)}{d} + 2k$.

Полученное неравенство позволяет оценить эффективность применения ледокольного судна для разрушения сплошного ровного, дрейфующего льда перед плавтерминалом. К факторам, снижающим эффективность, относятся размеры плавтерминала, увеличение скорости дрейфа льда, увеличение неравномерности дрейфа, а также выбор минимально-безопасного расстояния от терминала.

Анализируя данные, приведенные на этом рисунке, можно сделать вывод, что важной характеристикой является скорость дрейфа $\sigma_d \leq 0,2$ м/с, когда ледокол может использовать всю свою ледокольную способность.

При встрече ледокольным судном льда, толщина которого больше предельной толщины, необходимо перейти к работе набегам. Скорость движения судна в зависимости от толщины льда в зонах II и III, может быть описана следующим выражением:

$$\gamma_I = \gamma^* - (\gamma^* - \gamma_{min}) \frac{h - h^*}{h'_{lim} - h^*}, \quad (9)$$

где σ^* , h^* - значения скорости ледокольного судна и толщины льда, при которых движение ледокола непрерывным ходом и набегам осуществляется с одинаковой эффективностью.

Для определения толщины ровного льда, в котором необходимо ослабить ледовую нагрузку на плавтерминал, при работе ледокола набегам, можно получить, подставить зависимость (9) в формулу (7). Таким образом, получим

$$h \leq h^* + \frac{h'_{lim} - h^*}{\gamma^* - \gamma_{min}} (\gamma - \gamma_d \sqrt{C^2 + 1}). \quad (10)$$

Учитывая тот факт, что современные ледоколы не в состоянии надежно и безопасно проводить крупнотоннажные суда, так как их ширина корпуса меньше, чем у проводимых судов, необходимо рассмотреть работу двух, трех и более ледокольных судов, как наиболее вероятное кол-во, возможное для защиты терминала от ледовой нагрузки. Это необходимость на случай использования ледокольных судов с различными характеристиками ледовой ходкости.

При работе двух ледокольных судов, первая схема заключается в самостоятельной работе каждого из ледокольных судов. Каждый из двух судов должен сломать поле льда меньшего участка, где величина C' , должна рассчитываться по формуле:

$$C' = \frac{(L+2kr)}{d} + 2k. \quad (11)$$

Во второй схеме работы двух ледоколов способом «тандем», когда носовая оконечность одного ледокола размещается в кормовом подрезе

другого, позволяет в два раза увеличить тягу сцепки примерно в степени 0,67. Используя это соотношение, получим предельную ледопроходимость тандема в 1,59 раза, тогда предельная толщина ледопроходимости ледокольных судов, может быть определена неравенством (8).

На рис. 3 представлены два варианта защиты плавтерминала двумя ледокольными судами с одинаковыми характеристиками ледовой ходкости и предельной ледопроходимостью в 1,5 м.

Анализируя данные, приведенные на рис. 3, можно сделать вывод, что наиболее эффективной является схема использования двух ледоколов. Недостатком являются трудности при маневрировании и управлении «тандемом» ледокольных судов.

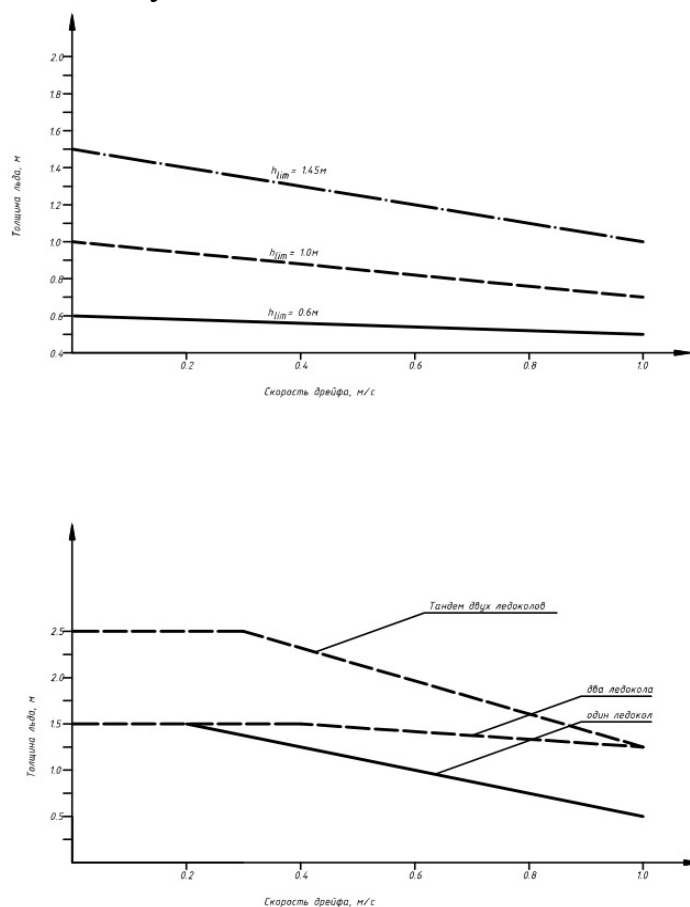


Рис. 3. Сравнение условий использования ледокольных судов для разрушения ровного льда

Схему, предполагающую использование двух ледокольных судов в отдельном режиме, можно применять только во льдах, толщина которых не превышает предельную ледопроходимость. Эта схема оказывает меньшие нагрузки относительно величины скорости дрейфа льда, что является ее основным преимуществом.

При скорости дрейфа льда (Рис.4), близким к 1 м/с, - первая схема становится более эффективной, относительно второй схемы ледопроходимости.

Следует отметить, что для обеспечения безопасности плавтерминала, увеличение кол-ва ледокольных судов, приведет к исчезновению зависимости эффективности работы судов от скорости дрейфа льда.

Работа одного ледокола для защиты плавтерминала от взаимодействия ледяного покрова значительно сложнее и связана в первую очередь с недостаточно изученными процессами, происходящими при форсировании ледокольного судна торосистых образований. Другими словами, необходимо знать, сколько проходов в торосах с заданными размерами необходимо проделать ледокольному судну, чтобы снизить нагрузку на плавтерминал до допустимого уровня. Такое решение необходимо искать в первую очередь путем проведения испытаний в ледовых опытовых бассейнах [3].

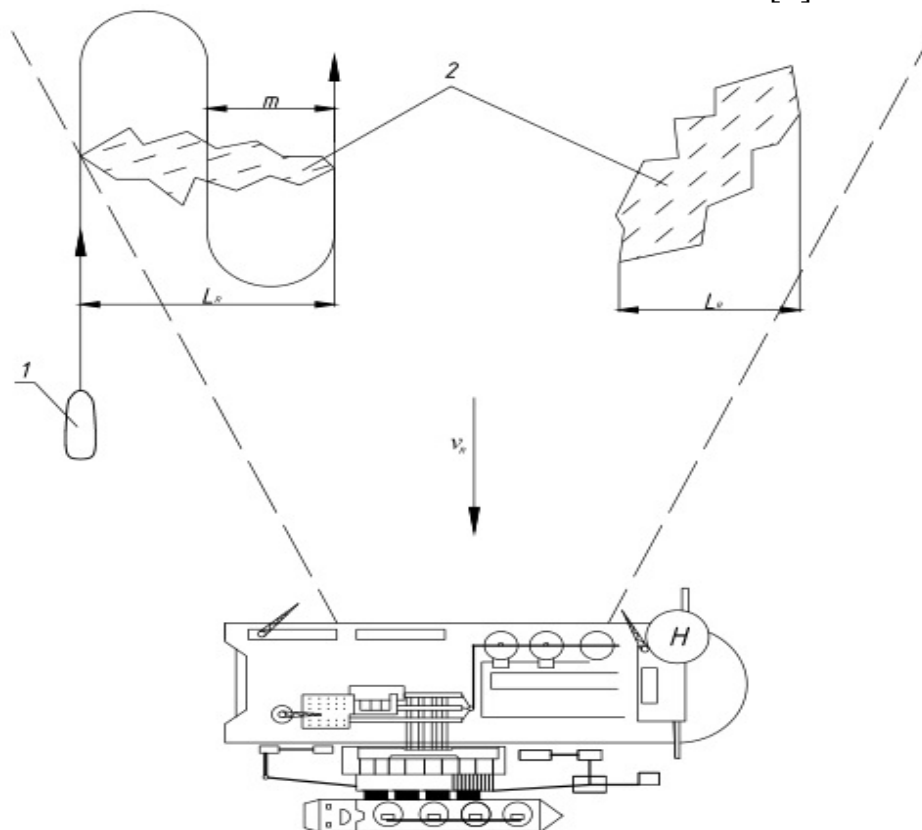


Рис. 4. Схема разрушения ледокольным судном ледяных полей перед плавтерминалом. Общее количество каналов рассчитаем по формуле:

$$n = \left[\frac{I_R}{B_I + m} \right] - \begin{cases} 1, \text{ если } \left\{ \frac{I_R}{B_I + m} \right\} < \frac{B_I}{2}; \\ 0, \text{ если } \left\{ \frac{I_R}{B_I + m} \right\} \geq \frac{B_I}{2}. \end{cases} \quad (12)$$

где [...] , { ... } - целая и дробная части чисел соответственно;

I_R - протяженность, торосистого образования в направлении перпендикулярном дрейфу льда; B_I - ширина ледокола.

Время, необходимое для разрушения тороса, до безопасного состояния t_R определим как

$$t_R = n \frac{\bar{b}_R}{\bar{v}_R} + n \frac{\bar{l}_\gamma}{\bar{v}_R} + (n - 1) \bar{t}_{180}. \quad (13)$$

где \bar{b}_R - средняя протяженность тороса в направлении дрейфа льда; \bar{v}_R - средняя скорость ледокола при проходе одного тороса; \bar{l}_γ - среднее расстояние, проходимое ледоколом в ровном льду при прокладке канала в торосе; \bar{t}_{180} - среднее время разворота ледокольного судна на 180° [4].

При преодолении не смерзшихся ледяных торосов средняя скорость прокладки одного канала может быть определена из дифференциального уравнения движения:

$$(1 + K_{11})M \frac{dy_I}{dt} = T_E(\gamma_I) - R_R, \quad (14)$$

где M – масса ледокольного судна; R_{11} – коэффициент присоединения массы; $T_E(\gamma_I)$ – зависимость тяги движительного комплекса ледокольного судна от скорости движения; R_R – сопротивление торосистого льда ледокольному судну.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Наибольшей опасностью для судов, представляют как ледяные поля, так и торосистые образования. На разрушение торосов, ледокол затрачивает больше времени, чем на ровные ледяные поля. Эти потери времени компенсируются небольшими размерами торосистых гряд по сравнению с ледяными полями. Наиболее эффективно ледокольные суда могут снижать ледовую нагрузку, когда толщина льда не превышает предельной ледопроеходимости используемых ледоколов.

Проведенный анализ показывает, что ледоколы могут эффективно разрушать сезонные торосы и ледовые поля, защищая от их воздействия на инженерный комплекс судно – плавтерминал. Необходимо отметить, что возможность защитить поавтерминал с помощью ледокольных судов от торосов с экстремальными размерами маловероятна, или скорее всего невозможна. В подобных и крайне редких случаях, необходимо применять другие меры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах / К.Е. Сазонов – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. – 274 с.
2. Касаткин Р.Г., Система морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики / Касаткин Р.Г. М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 104 с.
3. Костылев И.И. Морская транспортировка сжиженного газа / И.И. Костылев, М.К. Овсянников. ГМА им. Макарова, 2009. – 304 с.
4. Сазонов К.Е. Ледовая управляемость судна / К.Е. Сазонов – СПб., 2006. – 252 с.
5. Сазонов К.Е. Танкер и ледокол: сложение сил / К.Е. Сазонов. Мир транспорта, 2007. № 4, 50 – 59 с.
6. Sazonov K.E. Navigation challenges for large-size ships in ice conditions / K.E. Sazonov Ship and Offshore Structures, Vol. 3. №3, 2011. – P. 231–238.
7. Матеріали науково – технічної конференції «СЕУ: експлуатація та ремонт», 20.03.2013 – 22.03.2013. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2013. – 175 с.
8. Бойко П.А., Судовые энергетические установки: - научно – технический сборник / П.А.Бойко – Вып. 32. – Одесса. ОНМА, 2013. – С. 168 – 176.