

УДК: 629.5.021

## **Оценка возможности использования двух ледоколов для проводки крупнотоннажных судов**

*А. А. Добродеев, К. Е. Сазонов<sup>1</sup>*

Отличительной способностью крупнотоннажных танкеров является их большая длина, ширина и значительная протяженность цилиндрической вставки. Указанные особенности этих танкеров существенным образом сказываются на тактических приемах ледового плавания. Одной из схем взаимодействия крупнотоннажного судна и ледокола является способ проводки танкера с использованием двух ледоколов. При таком способе проводки судно будет двигаться преимущественно в крупнобитых льдах. Результаты, полученные в ходе расчетов и описанные в данной статье, показали, что эффективность проводки крупнотоннажного танкера в ледовых условиях во многом зависит от условий, в которых ему приходится двигаться – размеров льдин и их толщины, скорости движения судна, что по-разному сказывается на сопротивлении, оказываемом судну, и на мощности, затрачиваемой при движении в крупнобитых льдах.

### **Large tanker escort by two icebreakers under ice compression conditions.**

*Alexey A. Dobrodeev, Konstantin E. Sazonov, Saint-Petersburg.*

A distinctive feature of large tankers used for oil transportation from the Pechora Sea consists in their large length, beam, as well as large length of the cylindrical insert. These features of large tankers shall affect seriously the tactical ice operation techniques; they also strongly regard large vessel interaction with an icebreaker as the beam of the existing icebreakers does not exceed 28 m. Large tanker escort by two icebreakers is one of the schemes of large vessel – icebreaker interaction. It consists in tanker operation by the course made in the ice canal after operation of two icebreakers. The specific features of vessel operation in such conditions are defined by ice compactness in the canal, ice floes thickness and their sizes. Under such an escort method, the large tanker will mainly operate in small floes. The results described in article and received during calculations show that efficiency of a wiring of the large tankers in ice conditions depends on moving conditions – the sizes of ice floes and their thickness, speed of movement of a vessel, that differently affects resistance, to rendered vessel and the capacity spent by it at movement in described ices.

### **Введение**

Одним из важнейших направлений развития хозяйственной деятельности в полярных регионах в конце XX века стала разработка месторождений

---

<sup>1</sup> *Добродеев Алексей Алексеевич* – инженер, аспирант; *Сазонов Кирилл Евгеньевич* – начальник сектора – ледового опытового бассейна, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института имени А. Н. Крылова, доктор технических наук, г. Санкт-Петербург.

нефти и газа, расположенных на шельфе замерзающих морей. Эта деятельность предусматривает создание морских транспортных систем, предназначенных для вывоза добытой продукции, а также для обеспечения снабжения добычных ледостойких платформ. Важнейшей особенностью таких транспортных систем является необходимость использования в их составе крупнотоннажных судов активного ледового плавания, т. к. только наличие таких судов обеспечивает экономическую эффективность системы. Отличительными способностями этих танкеров является их большая длина (более 200 м), ширина (более 30 м), а также большая протяженность (до 70 % от длины) цилиндрической вставки. В соответствии с требованиями Регистра РФ эти танкеры обладают достаточно большой энерговооруженностью. Указанные выше особенности крупнотоннажных танкеров должны существенным образом сказаться на тактических приемах ледового плавания, в большей степени они касаются взаимодействия крупнотоннажного судна с ледоколом, т. к. ширина существующих ледоколов не превышает 28 м.

### Схема ледовой проводки крупнотоннажного судна

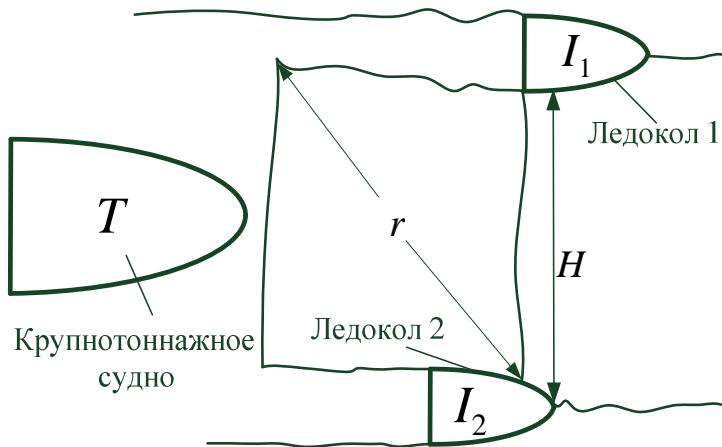


Рис. 1. Схема движения

Одной из схем взаимодействия крупнотоннажного судна и ледокола является способ проводки танкера с использованием двух ледоколов (рис. 1). Он заключается в движении танкера курсом, проложенным по ледовому каналу, оставшемуся после прохождения двух ледоколов. Особенности движения судна в этих условиях определяются сплоченностью льда в канале, толщиной льдин и их размерами. При таком способе проводки крупнотоннажный танкер будет двигаться преимущественно в крупнобитых льдах.

Смысл тактического приема в том, что два ледокола на дистанции  $H$  друг от друга двигаются параллельным курсом, образуя канал крупноби-

того льда для прохода проводимого судна, с целью уменьшения ледового сопротивления танкера.

Оценка ходкости судна в крупнобитых льдах представляет достаточно большую сложность. Поэтому можно привести лишь чисто эмпирическую зависимость для расчета сопротивления крупнотоннажного судна при движении в этих льдах [2].

$$R_l = (c_k + 9,0v^{1,3})h^{1,2}, \text{ кН}, \quad (1)$$

где:  $c_k$  – эмпирический коэффициент, зависящий от протяженности льда  $r$ , определяемый по графику (рис. 2).

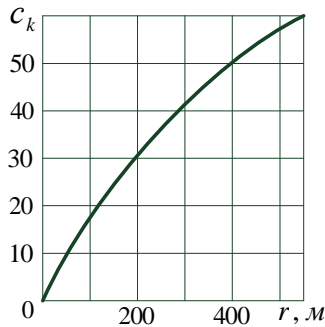


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $c_k$  от протяженности крупнобитого льда  $r$

Для оценки минимальной мощности на валах судна в зависимости от изменения сопротивления следует записать следующую расчетную зависимость [1]:

$$N_{min} = f_1 f_2 K_e (f_3 R_l)^{1,5} / D, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где  $f_1$  – коэффициент, учитывающий тип гребного винта:  $f_1 = 1$  для ВФШ и  $f_1 = 0,9$  для ВРШ;  $f_2$  – коэффициент, учитывающий число движителей:  $f_2 = 1$  для одновальных судов,  $f_2 = 0,71$  для двухвальных судов и  $f_2 = 0,58$  для трехвальных судов;  $f_3$  – коэффициент, учитывающий наличие насадки:  $f_3 = 0,9$  при установке насадки на судно и  $f_3 = 1$ , когда насадка отсутствует;  $R_l$  – расчетное ледовое сопротивление в кН;  $D$  – диаметр гребного винта, м.

Для того чтобы сделать вывод о том, способно ли крупнотоннажное судно при данном способе проводки преодолеть лед, образованный вследствие прохода двух ледоколов, требуется рассчитать мощность, которую необходимо ему затратить при проходе через льды, в зависимости от величины следующих параметров:

- размеров льдины  $H$ , м;
- толщины льда  $h$ , м;
- скорости движения судна  $v$ , узл.

Для проведения расчета следует взять следующие основные характеристики судна-прототипа (табл. 1).

*Оценка возможности использования двух ледоколов для проводки  
крупнотоннажных судов*

**Таблица 1**

Основные характеристики рассматриваемого крупнотоннажного судна

Длина судна, м	230
Ширина судна, м	36
Осадка судна, м	14
Диаметр ВФШ, м	6,7
Коэффициент общей полноты	0,77

Для выбранного судна по формуле (2) следует рассчитать величины мощности в зависимости от параметров  $H$ ,  $h$  и  $v$ . Для этого сначала необходимо, используя эмпирическую зависимость (1), сосчитать величину сопротивления крупнотоннажного судна при движении во льдах для каждого случая. Результаты расчетов можно представить в виде таблиц (табл. 2–5).

**Таблица 2**

Величины сопротивления  $R_1$  и мощности  $N_{min}$  в зависимости от  $H$ ,  $h$  и  $v = 1$  узл.

Размер льдины $H$ , м		50		150		300		500	
		$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт
Толщина льда, м	0,5	60	0,15	125	0,43	213	0,27	256	1,28
	1	137	0,5	288	1,52	488	3,37	587	4,44
	2	316	1,76	662	5,32	1121	11,73	1352	15,36
	3	515	3,65	1076	11,03	1824	24,34	2198	32,2

**Таблица 3**

Величины сопротивления  $R_1$  и мощности  $N_{min}$  в зависимости от  $H$ ,  $h$  и  $v = 1,5$  узл.

Размер льдины $H$ , м		50		150		300		500	
		$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт
Толщина льда, м	0,5	110	0,36	175	0,72	262	1,33	306	1,67
	1	254	1,27	403	2,53	603	4,63	703	5,83
	2	580	4,37	926	8,8	1386	16,13	1616	20,3
	3	944	9,08	1505	18,24	2253	33,42	2627	42,08

**Таблица 4**

Величины сопротивления  $R_1$  и мощности  $N_{min}$  в зависимости от  $H$ ,  $h$  и  $v = 3$  узл.

Размер льдины $H$ , м		50		150		300		500	
		$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт
Толщина льда, м	0,5	207	0,93	272	1,4	359	2,11	400	2,5
	1	478	3,27	625	4,88	825	7,41	925	8,79
	2	1093	10,38	1438	17,04	1898	28,84	2128	30,68
	3	1778	23,13	2340	35,37	3087	53,56	3460	63,6

**Таблица 5**

Величины сопротивления  $R_1$  и мощности  $N_{min}$  в зависимости от  $H$ ,  $h$  и  $v = 5$  узл.

Размер льдины H, м		50		150		300		500	
		$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт	$R_1$ , кН	$N_{min}$ , МВт
Толщина льда, м	0,5	361	2,14	426	2,78	813	3,63	556	4,15
	1	829	7,46	979	9,57	1179	12,65	1279	14,294
	2	1907	26,2	2252	39,65	2712	44,14	2942	49,87
	3	3102	53,99	3663	69,28	4410	91,52	4785	103,44

### Заклучение

Полученные результаты показали, что эффективность проводки крупнотоннажного танкера в ледовых условиях во многом зависит от условий, в которых ему приходится двигаться. Используя предложенный метод проводки крупнотоннажного судна двумя ледоколами, следует выбирать оптимальную скорость движения, при которой судно с минимальной мощностью на валах было бы способно двигаться в проложенном канале с крупнобитым льдом. Расчеты показали, что увеличение геометрических размеров льдин значительно сказывается на росте сопротивления движению судна и соответственно затрачиваемой мощности. При толщине льда около трех метров мощности судна хватит только на преодоление крупнобитого льда диаметром не более 200 м на скорости в один узел. При дальнейшем увеличении скорости способность к продвижению во льдах будет снижаться, и на скорости в пять узлов мощности может хватить только на преодоление льда толщиной в один метр. Из проведенного расчета следует, что движение с минимальной скоростью в 1–2 узла позволит судну с наименьшими затратами мощности преодолевать лед толщиной до трех метров. Для более полного изучения обнаруженных процессов необходимо проведение дополнительных модельных испытаний, включая испытания с самоходными моделями.

### Литература

1. Бицуля А. В., Сазонов К. Е. Разработка расчетных формул для определения минимальной мощности главных механизмов судов ледового плавания // Вопросы морской ледотехники. – Л.: Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2007. – Вып. 34 (318). – С. 22–43.
2. Каштелян В. И., Позняк И. И., Рывлин А. Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968.