

УДК 629.124

Ю.А. Москвичева

ВЛИЯНИЕ СПЛОЧЕННОСТИ МЕЛКОБИТОГО ЛЬДА И ШИРИНЫ ЛЕДОВОГО КАНАЛА НА ЛЕДОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СУДОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Приводятся результаты модельных исследований арктического судна-снабженца в мелкобитых льдах различной сплоченности. Приводится приближенная зависимость для учета сплоченности в ледовом сопротивлении. Описывается влияние ширины ледового канала на сопротивление модели в битых льдах.

Ключевые слова: модель судна, модель битого льда, ледовый канал, сопротивление, влияние сплоченности.

Развитие судоходства в условиях продления навигации на морских и внутренних водных путях, необходимое для развития экономики России, ставит задачи прогнозирования ледового сопротивления для различных условий плавания. Одним из таких условий является движение судов в поле мелкобитого льда или в ледовом канале, проложенном ледоколом.

В статье приводятся результаты модельных испытаний в модели битого льда, в ледяном поле и в ледовом канале. Испытания проводились в ледовом бассейне Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева. Размеры бассейна 16,5 x 1,65 x 0,9 м. Испытания проводились в июле 2014 г. Битый лед имитировался треугольными плитками полиэтилена высокого давления. Как показали исследования [1], в настоящее время этот материал наиболее полно удовлетворяет условиям подобия, которые для битого льда можно записать в виде:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} = idem; \quad \rho_l / \rho_v = idem; \quad f = idem;$$

$$\bar{S} = idem; \quad h_m = \frac{h_n}{\lambda}; \quad S_n / S_m = \lambda^2,$$

где индекс «м» относится к модели, индекс «н» относится к натуре;

Fr – число Фруда;

ρ_l, ρ_v – плотность льда и воды;

f – коэффициент трения льда или его модели о корпус;

h_m, h_n – толщины модели льда и натуре;

λ – геометрический масштаб модели;

S_n, S_m – площадь обломков льда натуре и модели.

При выполнении приведенных условий чисто ледовое сопротивление $R^{чл}$ можно переписать по кубу линейного масштаба

$$R^{чл} = R_{обл}^л - R_v,$$

где $R_{обл}^л$ – сопротивление обломков льда; R_v – сопротивление воды.

Большое разнообразие ледовых условий, нестабильность свойств и характеристик битых льдов, делают достаточно сложным точно и определенно зафиксировать многочисленные параметры, характеризующие натуральную ледовую обстановку (формы и размеры льдин, их сплоченность), поэтому в эксперименте приближенно моделируется движение

судна в некоторой условной среде с осредненными характеристиками. Условия подобия соблюдаются лишь в наиболее важных характеристиках битого льда (толщины, сплоченности, ширины канала и коэффициента трения льда о корпус). При этом можно выполнить повторяемость проводимых опытов. Отношение размеров льдин в плане к толщине принимались равными 6, что соответствует средним размерам обломков при разрушении льда изгибом ($5 \div 7$).

Плотность льда полиэтилена высокого давления $\rho_{\text{л}} \approx 0,92 \text{ т/м}^3$, коэффициент трения $f \approx 0,15$, что соответствует реальным ледовым условиям.

В поле и в канале битого льда испытывалась модель судна-снабженца ледового класса, выполненная из дерева и покрытая специальной эмалью, обеспечивающей близкий коэффициент трения полиэтилена о корпус. Модель выполнена в масштабе 1:100 с характеристиками: $L = 1450 \text{ мм}$, $B = 270 \text{ мм}$, $T = 77 \text{ мм}$, $H = 155 \text{ мм}$, масса модели 26,4 кг.

Бассейн оборудован гравитационной буксировочной системой – сопротивление измерялось весом падающего буксировочного груза, скорость – частотомером, работающем от фоторезистора, сигналы от которого через АЦП передавались на компьютер. Сплоченность битого льда определялась суммарной площадью обломков (плиток полиэтилена), заполнявших водную поверхность бассейна.

Испытания проводились при разной сплоченности льда от 0 до 10 баллов через один балл, что соответствовало функции сплоченности $\bar{S} = 0; 0,1; 0,2 \dots 1,0$.

Результаты испытаний приведены на рис. 1. Каждое испытание повторялось 3–4 раза, из которых выбиралось среднее арифметическое значение.

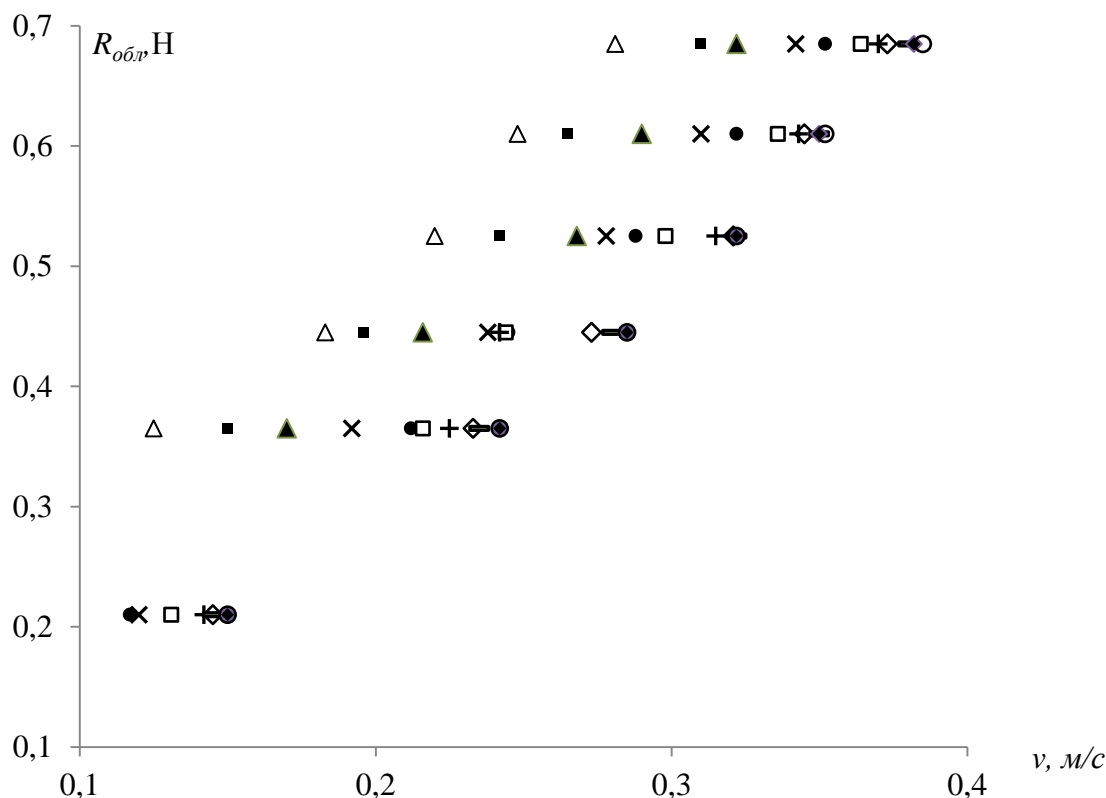


Рис. 1. Зависимость сопротивления модели от скорости при движении в битых льдах разной сплоченности:

○ - 0; ◆ - 1; ▢ - 2; ◇ - 3; + - 4; □ - 5; ● - 6; X - 7; ▲ - 8; ■ - 9; △ - 10

Экспериментальные данные для построения графика приведены в табл. 1

Таблица 1

Сопротивление модели в битом льду заданной сплоченности

Сплоченность льда, баллы	Наименование	Величины					
		v , м/с	$R_{обл}$, кН	v , м/с	$R_{обл}$, кН	v , м/с	$R_{обл}$, кН
10	v , м/с	0,125	0,183	0,220	0,248	0,281	
	$R_{обл}$, кН	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685	
9	v , м/с	0,150	0,196	0,242	0,265	0,310	
	$R_{обл}$, кН	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685	
8	v , м/с	0,170	0,216	0,268	0,290	0,322	
	$R_{обл}$, кН	0,365	0,45	0,525	0,610	0,685	
7	v , м/с	0,120	0,192	0,238	0,278	0,310	0,342
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
6	v , м/с	0,117	0,212	0,245	0,288	0,322	0,352
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
5	v , м/с	0,131	0,216	0,244	0,298	0,336	0,364
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
4	v , м/с	0,142	0,225	0,242	0,315	0,343	0,370
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
3	v , м/с	0,145	0,233	0,273	0,321	0,345	0,373
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
2	v , м/с	0,145	0,235	0,280	0,322	0,350	0,380
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
1	v , м/с	0,150	0,242	0,285	0,322	0,350	0,382
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685
0	v , м/с	0,150	0,242	0,285	0,322	0,353	0,385
	$R_{обл}$, кН	0,210	0,365	0,445	0,525	0,610	0,685

На рис. 2 и рис. 3 приведены фрагменты испытаний.

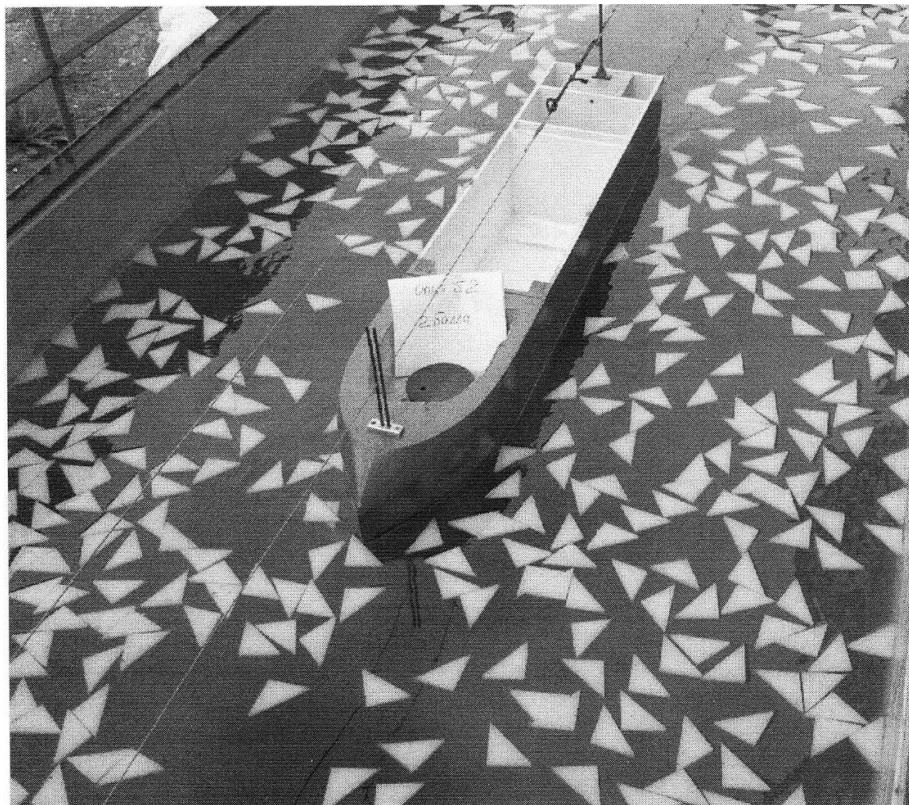


Рис. 2. Фрагмент испытаний во льду сплоченностью 2 балла

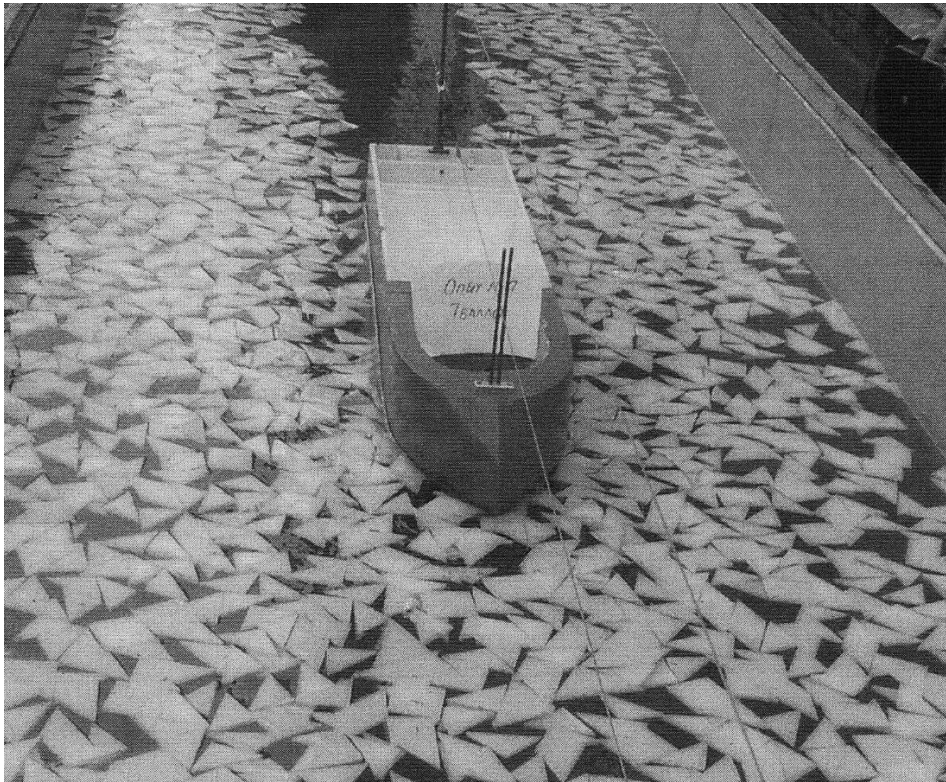


Рис. 3. Фрагмент испытаний во льду сплоченностью 8 баллов

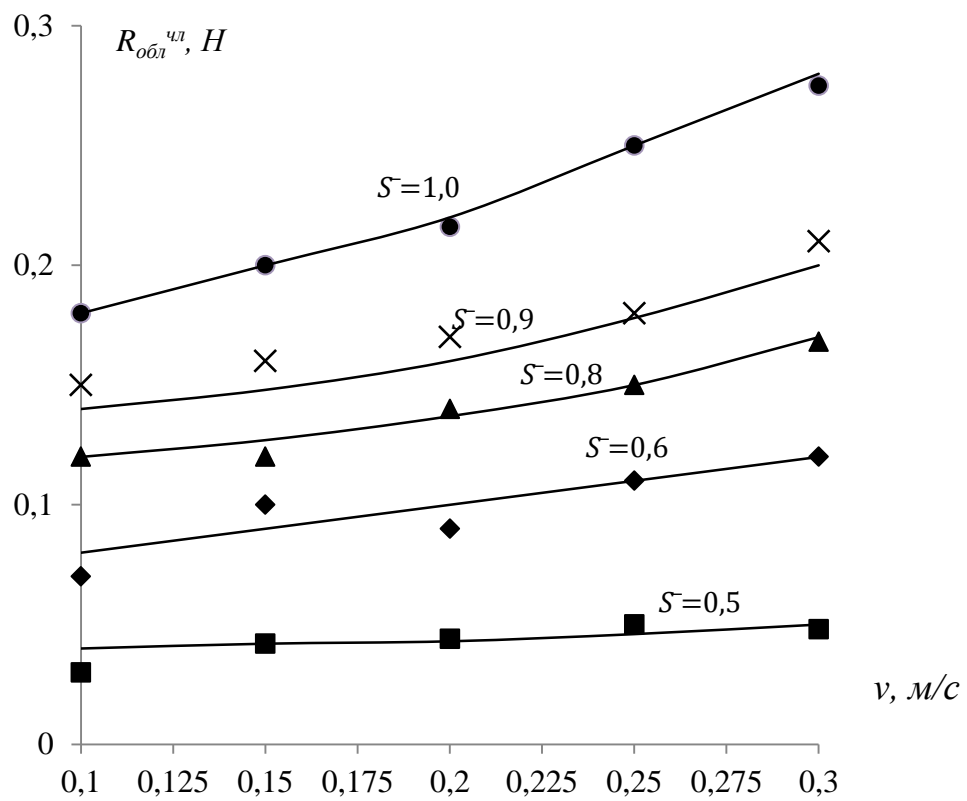


Рис. 4. Чисто ледовое сопротивление в поле битого льда различной сплоченности — по формуле *):

●, ×, ▲, ◆, ■ — эксперименты

Сопротивление модели при движении в битом льду сплоченностью до 3 баллов практически не отличается от сопротивления в чистой воде, а затем начинает интенсивно возрастать с увеличением сплоченности.

На рис. 4 приведены кривые чисто ледового сопротивления модели в обломках льда. Если сопротивление в сплоченном 10-ти бальном льду принять за единицу, или за какую-то величину, полученную при расчетах или испытаниях, то сопротивление в битом льду другой сплоченности можно получить следующим образом:

$$R_{обл}^{чл} = R_{\bar{S}=1,0}^{чл} \cdot \bar{S}^3 (2 - \bar{S}).$$

Этой же зависимостью можно пользоваться для приближенной оценки сопротивления во льду любой сплоченности, если известно сопротивление в какой-то сплоченности.

Следующим этапом модельных испытаний была оценка влияния ширины ледового канала на сопротивление при движении модели в обломках.

Для этого вдоль длины бассейна выкладывались пластины из полиэтилена толщиной 20 мм. Ширина пластины варьировалась. Испытания проводились в битом льду толщиной 10 мм, сплоченностью 9 баллов.

Результаты испытаний приведены на рис. 5. Замечено, что при отношении ширины канала к ширине судна $B_k/B \geq 2$, движение в канале не отличается от движения в поле битого льда. При некоторой «критической» ширине канала, меньшей, чем $B_k \leq B + 2h$, часто возникало сжатие модели от повернутых льдин, а иногда и заклинивание модели.

С увеличением скорости влияние ширины канала на сопротивление падает, что видимо связано с повышением инерционных характеристик льдин и уменьшением заклинивания.

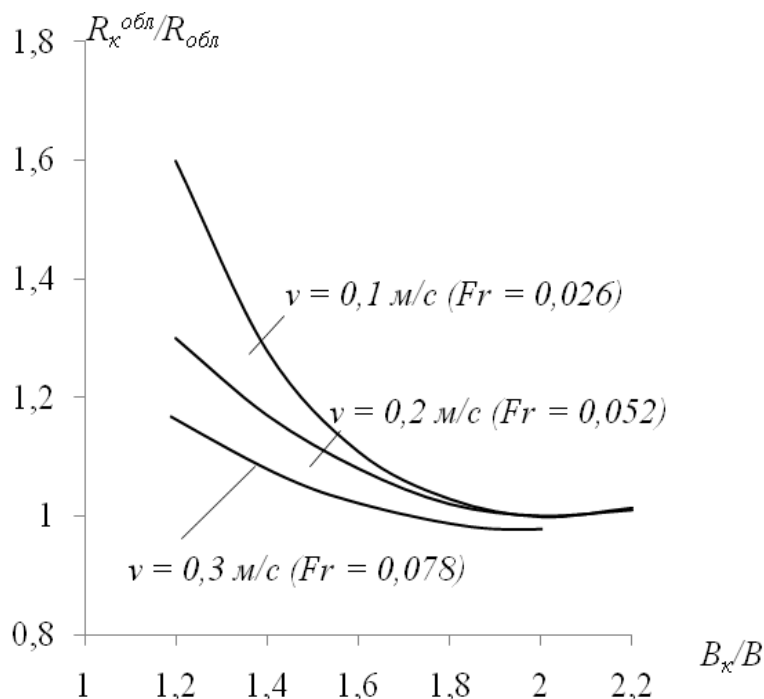


Рис. 5. Зависимость сопротивления в канале от отношения B_k/B ($Fr = v/\sqrt{gL}$)

На рис. 6 показан ледовый канал переменной ширины, заполненный битым льдом, в котором проходили испытания модели.



Рис. 6. Общий вид ледового бассейна. Ледовый канал переменной ширины

Библиографический список

1. **Зуев, В.А.** Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.
2. **Сазонов, К.Е.** Метод расчета ледового сопротивления судна при его движении в крупнобитых льдах и обломках ледяных полей / К.Е. Сазонов, А.А. Добродеев // Сб. трудов ЦНИИ им. акад. Е.Н. Крылова. – Вып. 63 (347). – С. 73–79.
3. **Сазонов, К.Е.** Расчет ледового сопротивления судна по проложенному ледоколом каналу // Сб. трудов ЦНИИ им. акад. Е.Н. Крылова. – Вып. 51 (335). – С. 101–112.
4. **Сазонов, К.Е.** Теоретические основы плавания судов во льдах / К.Е. Сазонов. – СПб.: ЦНИИ им. Акад. Е.Н. Крылова, 2010. – 274 с.

*Дата поступления
в редакцию 26.10.2015*

Ju. Moskviceva

INFLUENCE OF UNITY OF SMALL BROKEN ICE AND WIDTH OF THE ICE CHANNEL ON THE ICE RESISTANCE OF SHIPS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Development of navigation in the conditions of extension of navigation on maritime and internal waterways, necessary for development of economy of Russia, sets tasks of forecasting of ice resistance for various conditions of swimming. One of such conditions is the movement of courts in the field of melkobyty ice or in the ice channel laid by the ice breaker.

The article presents the results of modeling studies of the Arctic supply vessel in different ice cohesion. An approximate relationship for the account of cohesion in the ice resistance. It describes the effect of the width of the ice channel resistance patterns in broken ice.

In a field and in the channel of beaten ice the model of the supplying vessel of an ice class executed from a tree and covered with the special enamel providing close coefficient of friction of polyethylene about the case was tested.

Key words: ship model, model broken ice, ice channel, resistance, the influence of cohesion.