

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЛЕДОВОГО УПОРА ДВИЖИТЕЛЯ НА ЛЕДОВУЮ ХОДКОСТЬ СУДНА

А.А. Добродеев, К.Е. Сазонов, А.М. Клубничкин,
А. М. Жидкова, Я.Ф. Иванова, Д.С. Рябченко
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный
морской технический университет»
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
СПб ГБПОУ «Петровский колледж»

Тяга судов во льдах

$$T_E = T_E^{boll} \left[1 - \frac{1}{3} \frac{V_S}{V_{ow}} - \frac{2}{3} \left(\frac{V_S}{V_{ow}} \right)^2 \right]$$

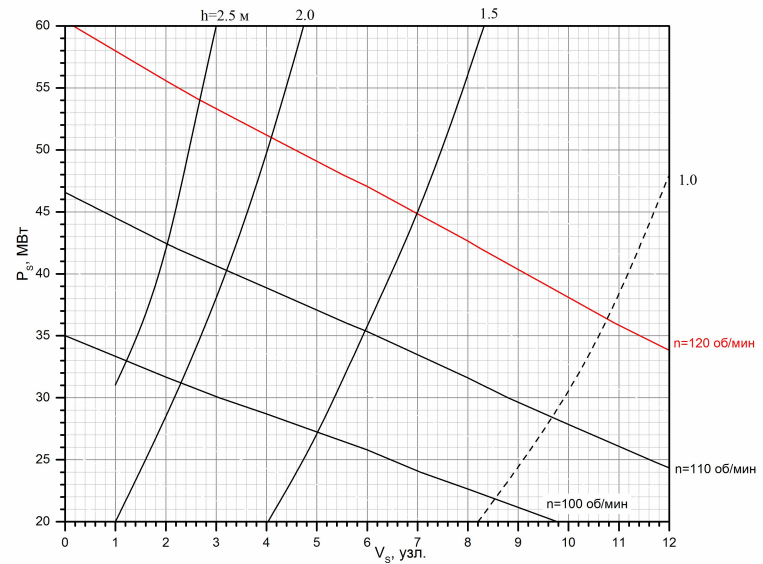
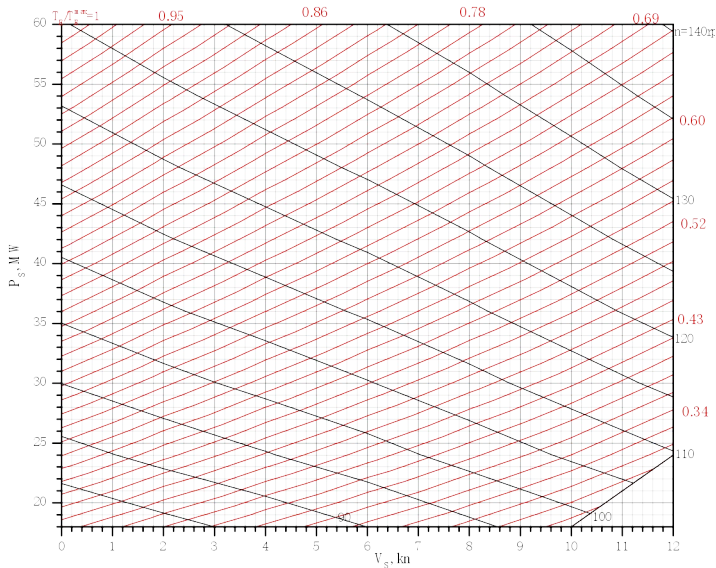


Диаграмма тяговых характеристик ледокола и модифицированная диаграмма

Возможное влияние ледового упора на ходкость судна

Обработка данных испытаний атомного ледокола «Сибирь»

№	Характеристика	ЛВ	Ср. В	ПВ	ЛВ	Ср. В	ПВ
1	Установочная мощность ЭУ, %	60			80		
2	Скорость, узлы	4.6			5.8		
3	Измеренная мощность на ГЭД, МВт	12.2	12.2	11.4	16.0	16.3	16.0
4	Измеренная частота вращения валов, об/мин	100	103.5	97.3	108.2	117	108.2
5	Кажущаяся мощность, определенная по частоте вращения, МВт	9.3	11.0	9.0	12.0	13.0	12.0
6	Тяга, определенная по измеренной мощности, кН	3500			4200		
7	Тяга, определенная по кажущейся мощности, кН	2900			3300		
8	Пересчитанная на изменение прочности тяга, определенная по измеренной мощности, кН	4025			4830		
9	Пересчитанная на изменение прочности тяга, определенная по кажущейся мощности, кН	3335			3795		
10	Тяга, определенная по модифицированной диаграмме, кН	3800			4450		

Возможное влияние ледового упора на ходкость судна



Движение газовоза «Кристоф де Маржери» задним ходом во льдах

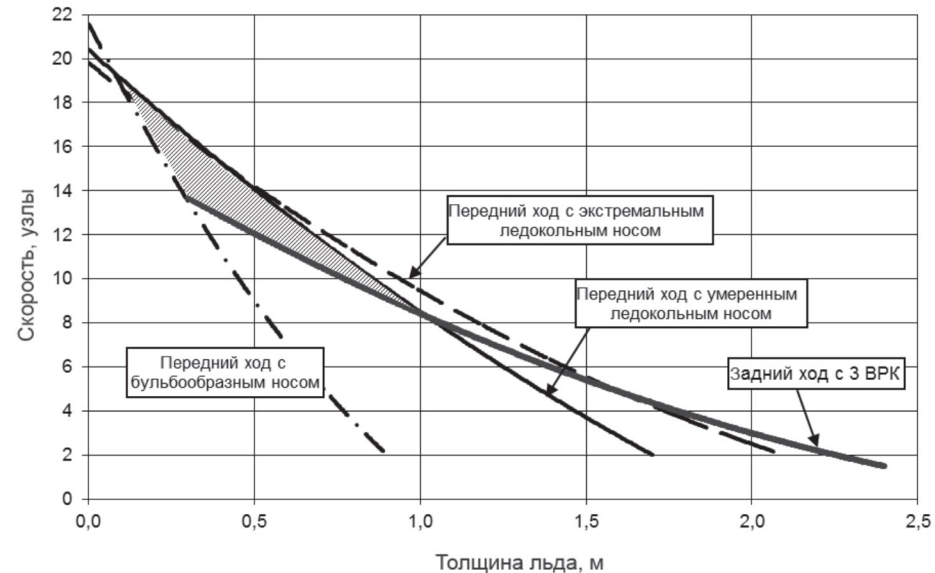
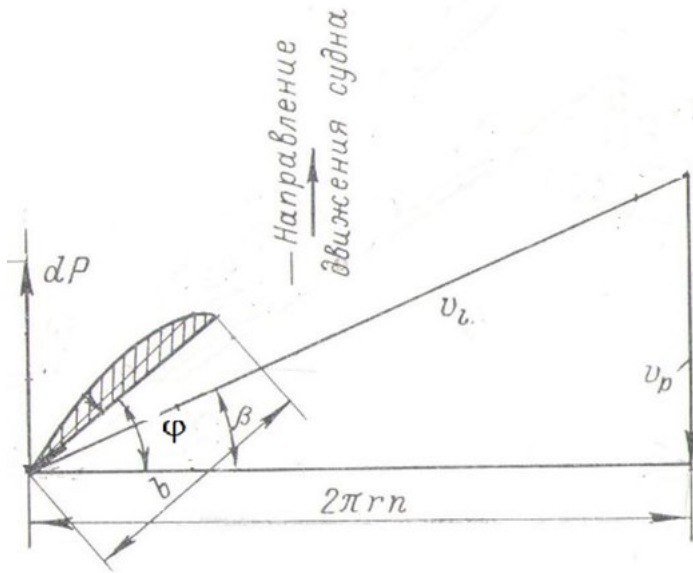


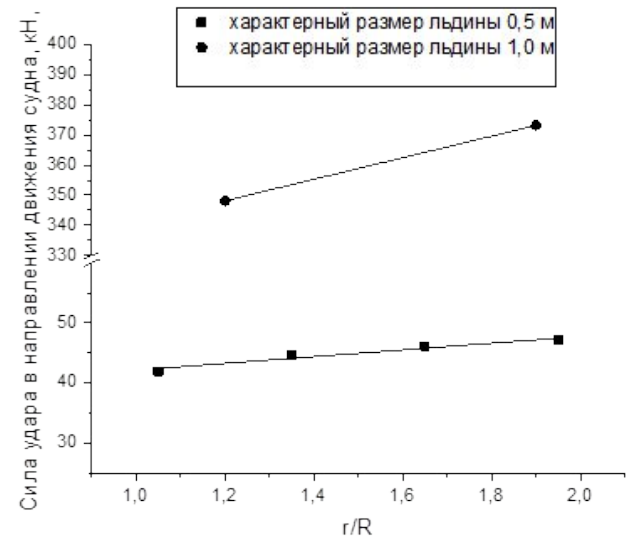
График ледовой ходкости газовоза вместимостью около 170 тыс. м³ с тремя ВРК и тремя вариантами носовой оконечности

Теоретический анализ ледового упора



План скоростей, действующих на профиль лопасти

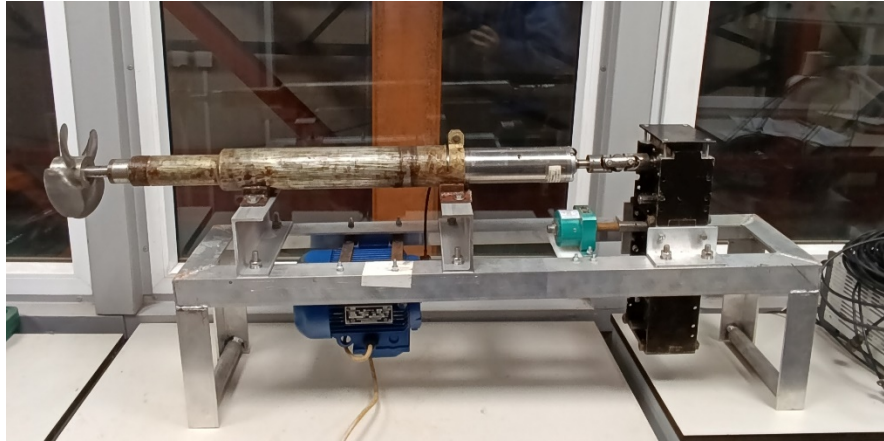
$$J < \frac{P}{D}$$



Дополнительный упор гребного винта, возникающий при ударном взаимодействии гребного винта с обломками льдин

Экспериментальные исследования

Фрезерование



Установка для проведения испытаний по фрезерованию льда

Таблица Геометрические характеристики гребного винта

Диаметр винта, м	Число лопастей	Дисквое отношение	Шаговое отношение	Относительный диаметр ступицы
0,18	4	0,774	0,8	0,29

Экспериментальные исследования Фрезерование

Программа испытаний

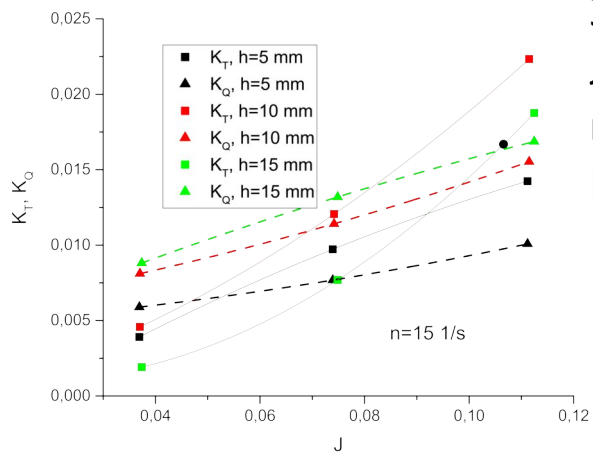
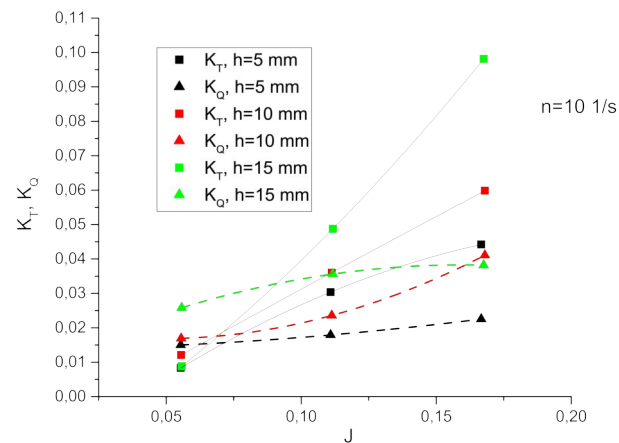
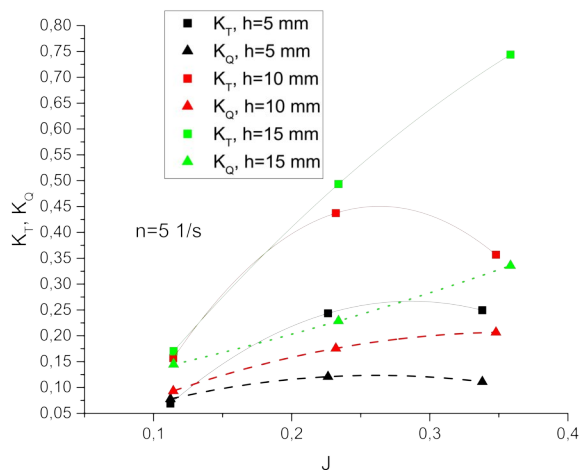
Испытания проводились в двух типах моделированного льда: гранулированном и столбчатом. Приведенная ниже матрица испытаний при испытаниях в столбчатом льду была реализована при 3 значениях заглубления лопасти в лед: 5,10 и 15 мм.

При испытаниях в гранулированном льду заглубление составляло 7-9 мм

Частота вращения двигателя , об/с	Скорость движения, м/с		
	0,1	0,2	0,3
5	+	+	+
10	+	+	+
15	+	+	+

Матрица испытаний

Экспериментальные исследования Фрезерование



Зарегистрированные в экспериментах значения ледовых упора и момента были представлены в виде традиционных коэффициентов. На слайде представлена их зависимость от поступи J .

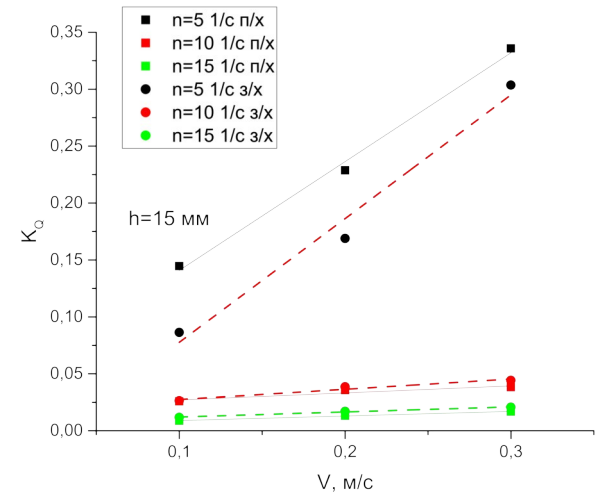
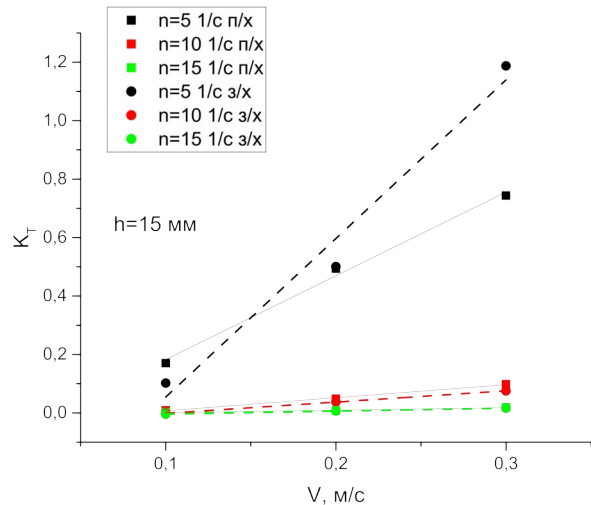
Экспериментальные исследования Фрезерование

Из приведенных выше графиков можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Подтверждается очевидная зависимость величины коэффициентов от глубины внедрения лопасти в лед
2. Данные разбились на 3 группы в соответствии с частотой вращения двигателя, что говорит о большом влиянии именно этого кинематического параметра
3. Все зависимости описаны полиномом 2 степени, который при уменьшении поступи все больше приближается к линейной функции.
4. Для каждого конкретного винта должен существовать максимум зависимости коэффициентов от поступи.
5. При значениях поступи выше 0,1 коэффициенты могут принимать весьма значимые значения.

Экспериментальные исследования Фрезерование

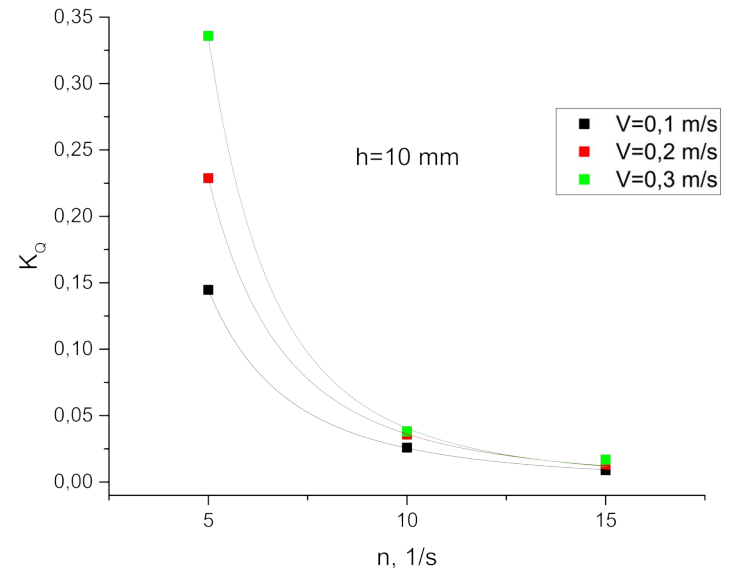
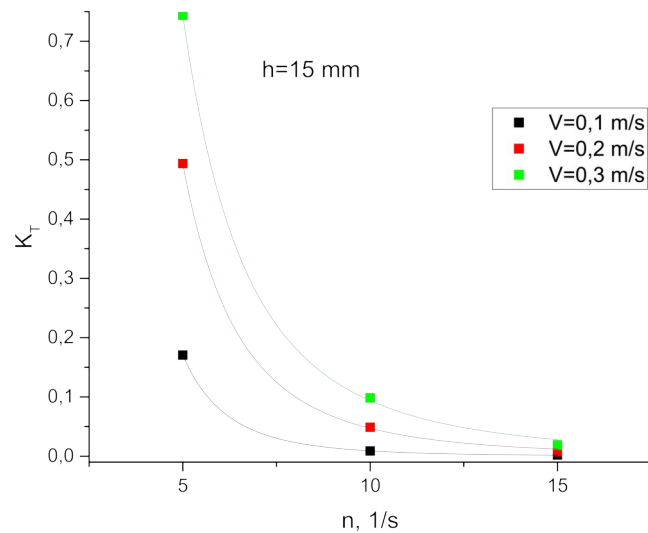
Зависимость от скорости



1. Зависимость от скорости линейна, что, по-видимому, связано с линейным возрастанием толщины разрушаемого лопастью слоя льда
2. Для измененной геометрии на некоторых режимах фрезерования был зафиксирован отрицательный ледовый упор. В диапазоне частот вращения от 10 до 15 об/с режим з/х практически не отличается от п/х, показывая чуть худшие показатели. При частоте вращения ниже 10 об/с характеристики резко улучшаются. Коэффициент упора растет, а рост коэффициента момента наоборот уменьшается, что повышает эффективность двигателя.

Экспериментальные исследования Фрезерование

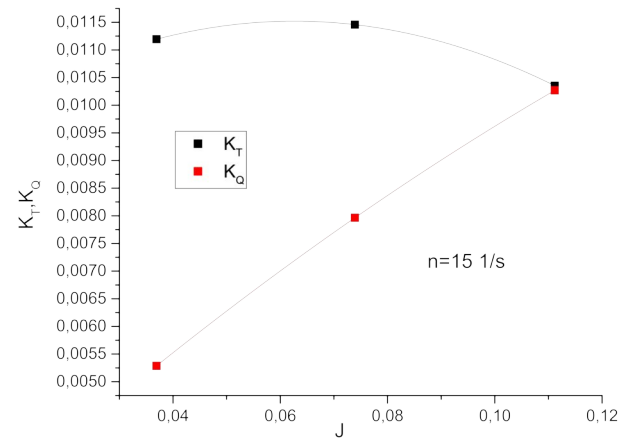
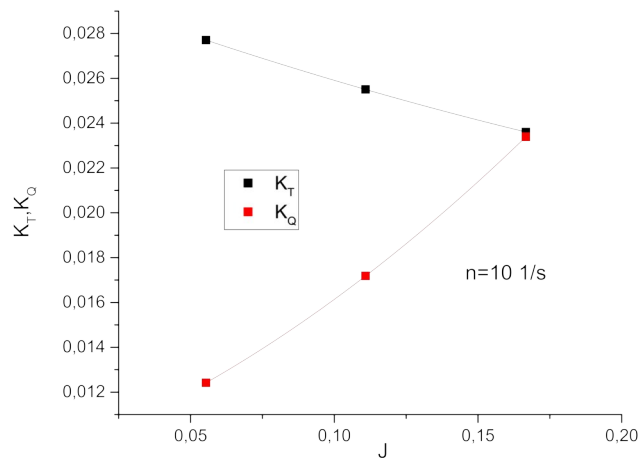
Зависимость от частоты вращения



Данные на рисунках аппроксимированы степенной зависимостью. Во всех экспериментах наблюдается достаточно сильная зависимость от частоты вращения. Наиболее заметные изменения происходят в диапазоне от 5 до 10 об/с. При частоте 15 об/с результаты слабо различимы. Возможно, это свидетельствует о том, что при достаточно высокой частоте вращения изменяется механизм разрушения льда лопастью винта.

Экспериментальные исследования Фрезерование

Гранулированный лед



Можно констатировать качественное совпадение с данными, полученными на столбчатом льду. При этом наблюдается общее снижение ледовых нагрузок, которое связано в различиях в физико-механических свойствах гранулированного и столбчатого льда. Пока еще имеет слишком мало экспериментальных данных, чтобы судить о наличии корреляций между испытаниями в различных типах льда.

Экспериментальные исследования Буксировка

Буксировочные испытания модели с работающими двигателями проводились в двух типах моделированного льда: гранулированном и столбчатом. Толщина составляла 45 мм.



Испытания в
гранулированном льду

Скорость 0,3 м/с

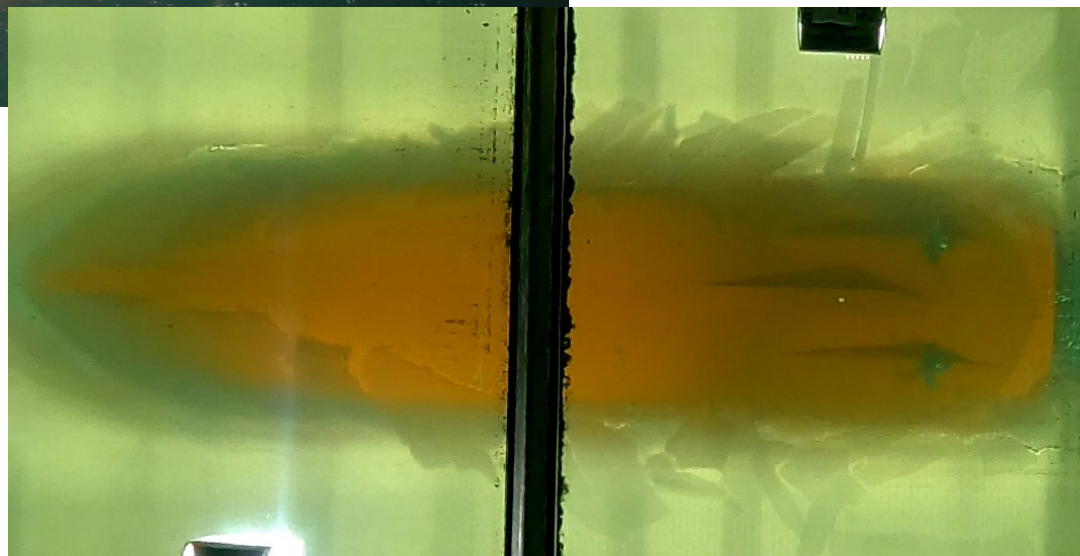


Экспериментальные исследования Буксировка



Испытания в
столбчатом льду

Скорость 0,3 м/с



Экспериментальные исследования

Буксировка

Средние значения упоров и моментов на двигателях за корпусом модели, движущейся в различных условиях

Чистая вода												
Мощность, %												
100												
80												
60												
V, m/s	P1	M1	P2	M2	P1	M1	P2	M2	P1	M1	P2	M2
0,6	20,59	0,88	21,61	0,86	16,38	0,72	18,35	0,66	13,74	0,58	15,79	0,51
0,5	22,33	0,93	23,41	0,93	17,75	0,74	19,68	0,68	15,94	0,63	17,70	0,56
0,4	23,04	0,93	24,05	0,92	19,03	0,78	21,14	0,72	17,0	0,69	19,59	0,6
0,3	26,29	1,04	27,14	1,02	21,44	0,84	23,53	0,77	19,57	0,74	21,35	0,65
0,2	28,27	1,09	29,23	1,05	24,34	0,92	26,04	0,86	20,97	0,77	22,76	0,69
0,1	31,09	1,18	32,42	1,12	27,12	0,98	28,02	0,91	22,34	0,84	24,82	0,75
Ровный гранулированный лед												
0,5	26,46	1,03	24,87	1,04	21,17	0,99	19,95	0,88	17,47	0,73	14,93	0,845
0,3	29,77	1,13	28,28	1,14	25,11	1,02	22,69	1,05	21,14	0,75	18,49	0,85
0,1	33,32	1,22	31,48	1,22								
Ровный русский лед												
0,498	24,85	1,2	24,16	1,17	20,39	0,88	19,55	-0,96				
0,300	29,47	1,11	28,53	1,12	24,33	0,92	24,09	-1,01				

Экспериментальные исследования

Буксировка

- Данные демонстрируют увеличение среднего за один пробег модели упора и момента, что можно связать с происходящими взаимодействиями движителей с притопленным корпусом льдом. Так, при частоте вращения движителей, соответствующей потреблению 100% мощности энергетической установки изменение упора одного из движителей по сравнению с чистой водой максимально составило 18,5% при среднем 13,8%. Аналогично увеличение момента соответственно 29% и 13,8%.
- Полученные данные свидетельствуют, что буксировочные самоходные испытания могут дать важную информацию для разработки методики прогнозирования ходовых характеристик судов, движущихся в ледовых условиях.

Выводы

1. Модельные эксперименты показывают, что ледовый упор гребного винта, взаимодействующего со льдом, существует. В зависимости от кинематических условий движения судна величина этого упора может изменяться в довольно широких пределах вплоть до возникновения отрицательных значений. Поэтому учет ледового упора необходим при прогнозировании характеристик ходкости судна в ледовых условиях.
2. Анализ экспериментов по фрезерованию льда показывает, что величина коэффициентов зависит от большого числа факторов. Наиболее важными из них являются глубина внедрения, скорость и частота вращения. Коэффициенты увеличиваются с возрастанием глубины внедрения и скорости. Зависимость этих величин от частоты вращения более сложная. Общая тенденция уменьшение упора и момента при возрастании частоты. Существует вероятность, что при возрастании частоты может происходить изменение механизма разрушения слоя льда лопастью гребного винта.

Выводы

- Большое влияние на упор и момент при фрезеровании оказывает состояние льда, его физико-механические характеристики. Об этом свидетельствуют результаты фрезерования, выполненные в различных физических моделях моделированного льда: столбчатом и гранулированном.
- Буксировочные испытания моделей с работающими двигателями демонстрируют возрастание упора и момента на двигателях по сравнению с испытаниями на чистой воде при одинаковых кинематических параметрах движения. Величина этого возрастания зависит от частоты попадания притопленного корпусом льда к гребным винтам, которая определяется особенностями формы корпуса судна. В экспериментах были зафиксированы весьма значительные (до 20%) увеличения среднего за один пробег судна при постоянных кинематических условиях упора двигателя.